ISSN 2221-7975

ТРУДЫ

СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФИЛИАЛА
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗАНМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»
ЧАСТЬ I

РОСТОВ-НА-ДОНУ
2017

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

ТРУДЫ

СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФИЛИАЛА

МОСКОВСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ

Часть I

Подготовлены по результатам
Международной научно-практической конференции
«ИНФОКОМ-2017»
16 – 18 мая 2017 года

Ростов-на-Дону
2017

УДК 621.396.1

ББК 32
Т 78

Т 78 Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2017, 575с.

Сборник зарегистрирован в международном центре ISSN (**ISSN 2221-7975**) и включен в перечень журналов РИНЦ

Сборник размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.skf-mtusi.ru

В настоящий сборник включены статьи, подготовленные по результатам работы X-ой Международной научно-практической конференции «ИНФОКОМ-2017», которая проходила 16-18 мая 2017 г. в СКФ МТУСИ. Сборник объединяет статьи по актуальным научным направлениям создания, совершенствования, перспективного развития современных технологий обработки и передачи информации, а также инфокоммуникационных технологий в сфере менеджмента, экономики, и образования.

Первая часть сборника содержит материалы статей работы 1 секции конференции по направлению «Состояние и перспективы развития инфокоммуникаций».

Материалы статей, представленных в сборнике, даны в авторской редакции.

Сборник рассчитан на научных сотрудников, аспирантов, студентов и специалистов, работающих в области современных технологий связи, информационных технологий обработки информации, инфокоммуникационных технологий в образовании и в сфере экономики предприятий связи.

Составление, дизайн, редакционная верстка сборника: Опарин А.Ю., Сафронов А.И

© СКФ МТУСИ, 2017

Подписано в печать 24.05.2017
Формат 60x84/8. Печать офсетная. Тираж 50 экз.
Полиграфический центр «Университет» СКФ МТУСИ,
Ростов-на-Дону, 344002, ул. Серафимовича, 62

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ I

СЕКЦИЯ №1
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

***П.П. Акулин, *О.А. Сафарьян, **Н.В. Болдырихин** Технологическая сингулярность **.....20**

***Ф.А. Алтунин, *В.М. Кносаль, *Р.В. Давыдов, **Н.В. Болдырихин** Анализ методов классификации трафика **.....23**

Д.Х. Аль Ясири Исследование протоколов маршрутизации в сетях с коммутацией пакетов **.....27**

У.Б. Амирсаидов Метод распределения потоков в облачных IMS **.....34**

А.М. Бабычев, Н.В. Будылдина Методика определения параметров потоков в мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия **.....43**

Е.В. Бармина, Ф.П. Филиппов, Н.И. Ильиных Термодинамическое моделирование поведения Al_2O_3 с добавками SiC и ZrO_2 в широком интервале температур **.....49**

И.М. Безруков Аппроксимация и сжатие классическим и модифицированным методами Прони импульсной характеристики канала связи **.....58**

Н.В. Болдырихин, И.П. Рыбалко, И.А. Сосновский, И.С. Гирин Применение динамических моделей при описании сетевого оборудования в задачах мониторинга **.....70**

А.В. Бородин Исследование материалов перспективных для использования в волноводной и интегральной оптике **.....73**

П.С. Бражуненко, О.П. Иевлев Исследование вероятностных характеристик сигнального трафика сетей IMS в целях предотвращения перегрузок SIP- сервера **.....77**

И.А. Брежный, Е.А. Ревякина, Е.М. Уколов Перспективы развития отрасли электроэнергетики с применением геоинформационных систем **.....84**

Е.В. Букрина Промышленный интернет вещей – инновационный сегмент экосистемы телекоммуникационного оператора **.....87**

А.Н. Буренин, К.Е. Легков, В.В. Оркин Постановка задачи управления функционированием информационной системы специального назначения **.....92**

В.С. Волков, К.А. Шимельфених Построение беспроводных сетей широкополосного доступа, основанных на стандарте IEEE 802.16, на распределенных инфраструктурах **.....98**

В.Е. Герасименко, Е.А. Карпов, А.В. Лаухин Перспективы применения телекоммуникационных технологий в диагностике аритмических и ишемических болезней сердца в телемедицине **.....109**

Е.А. Горохова Моделирование алгоритма распознавания наземных объектов на борту беспилотных летательных аппаратов **.....114**

***Н.О. Горшенин, *И.В. Щербань, К.Д. Грабовый** Распределенная система измерения и контроля параметров почвы **.....122**

И.Д. Григорьев, В.Г. Орлов Механизмы качества обслуживания в VDL Mode 4 **.....129**

И.Д. Григорьев, В.В. Трофлянин, А.А. Кальфа Исследование средств качества обслуживания операционной системы VRP Huawei **.....133**

В.А. Данилов, Ю.В. Жабинский, А.С. Усик Вероятностные характеристики узкополосного случайного процесса на выходе инерционно-нелинейного преобразователя **139**

В.А. Данилов, В.Л. Львов Амплитудное подавление частотно-модулированных помех в ВЧ-диапазоне **145**

В.А. Данилов, Л.В. Данилова Эффективнось непараметрических обнаружителей слабых сигналов при негауссовских помехах узкополосного типа..... **148**

Д.В. Денисов, М.С. Самков, К.С. Сухоева, Д.Э. Королёв Техническая реализация многослойных линзовых антенн Люнеберга **153**

Д.В. Денисов, К.А. Санникова, Д.Э. Королев Рассеяние электромагнитных волн сотовых диапазонов на многослойной сферической модели..... **161**

Д.В. Денисов, К.С. Сухоева, Д.А. Максимов, К.А. Санникова Измерение параметров материалов..... **170**

Д.В. Денисов, В.С. Чащин О применимости методов генерации электромагнитных волн с ненулевым орбитальным угловым моментом в системах радиосвязи **176**

В.В. Евстафьев, Н.В. Руденко, К.А. Кашуба, А.П. Зуйков, И.А. Ситьков Возможности маршрутизации информационных потоков в сетях связи следующего поколения..... **180**

А.В. Елисеев, С.Н. Овсянников, А.Г. Прыгунов Управление параметрами линейного дискретного фильтра на основе нечеткой экспертной системы **187**

М.А. Елфимов, Н.В. Руденко, В.В. Евстафьев, Н.А. Коньшина, В.А. Федотов, М.К. Баженов Электроснабжение инфокоммуникационных систем, размещаемых на низкоорбитальных дирижаблях **196**

И.А. Енгибарян, А.В. Ермолаев, *О.А. Сафарьян, *А.И. Тютюнникова Оценка эффективности использования свойств эмерджентности в инфокоммуникационных системах..... **200**

А.В. Ермолаев, К.А. Артынов, И.Ю. Сулименко, И.В. Решетникова Анализ технологий VSAT **205**

В.В. Ершов, Н.В. Руденко, К.А. Решетникова, Д.С. Боковеев О целесообразности использования вертикально-осевых ветроэнергетических установок для базовых станций сотовой связи..... **207**

***А.П. Зверев, И.П. Рыбалко, М.А. Дерканосов** Программное средство управления маршрутизацией в подвижных радиосетях спасательных формирований МЧС на основе экспертной системы..... **213**

***А.П. Зверев, И.П. Рыбалко** Использование БПЛА для МЧС России **220**

С.В. Зеленский, К.А. Батенков Исследования вероятностно-временных характеристик видеоприложений **226**

Н.И. Ильиных, И.А. Малкова, Е.А. Волгарев Исследование поведения системы Al-N при нагревании в широком интервале температур **230**

М.О. Киреев, *Е.В. Глушак Исследования факторов, влияющих на параметры качества технологии широкополосного доступа ADSL..... **233**

***Н.Е. Кириленко, *С.О. Красников, К.Д. Бадыштова, *И.В. Щербань** Решение задачи поиска осцилляторных паттернов в составе зашумленных сигналов..... **236**

М.А. Клевакин, Д.В. Кусайкин О новых способах генерации электромагнитных волн оптического диапазона с ненулевым орбитальным угловым моментом в ВОСП **238**

[*]В.М. Кносаль, [*]Ф.А. Алтунин, [*]Р.В. Давыдов, [**]Н.В. Болдырихин Анализ математических моделей сетей связи, используемых в задачах мониторинга **245**

В.Г. Кобак*, Д.А. Жуковский*, Н.И. Кривошей Исследование модифицированной модели уитли с различными методами формирования элитных особей **248**

В.Г. Кобак*, А.Г. Жуковский, А.А. Манин, А.А. Пешкевич* Использование гибридного алгоритма при решении задачи коммивояжёра небольшой размерности **252**

В.Г. Кобак*, А.Г. Жуковский, В.М. Поркшеян* Решение однородной минимаксной задачи исландской моделью, где в качестве островов выступает модифицированная модель Голдберга **257**

В.Г. Кобак*, А.Г. Жуковский, В.М. Поркшеян* Сравнение эвристических алгоритмов при решении неоднородной минимаксной задачи **262**

А.В. Колосков, А.С. Шпилько, Н.В. Болдырихин Анализ технологии CWDM **267**

С.И. Конева, Ю.Е. Михайленко Модернизация волоконно-оптической линии связи на участке Ростов-на-Дону – Куйбышево **269**

С.И. Конева, В.Г. Кабакова Модернизация ЛВС Кропотскинского почтамта УФПС Краснодарского края - филиала ФГУП «Почта России» **273**

С.И. Конева, А.С. Кузьменко Разработка WiMAX-сети в Веселовском ЛТЦ Азовского МЦТЭТ Ростовского филиала МРФ «Юг» ПАО «Ростелеком» **277**

И.С. Коновалов, В.А. Фатхи, В.Г. Кобак Исследование влияния параметров модифицированной модели Голдберга генетического алгоритма на точность решения задачи покрытия множеств **281**

Я.Б. Константинова, Н.О. Светличная Информационные методы прогнозирования свойств сегнетоэлектриков. Фазовый переход в сегнетоэлектриках **287**

Н.А. Коньшина, Н.В. Руденко, В.В. Ершов*, М.А. Елфимов, Т.Э. Тимирбулатова*, Е.М. Мищук О целесообразности размещения инфокоммуникационных систем на низкоорбитальных дирижаблях **292**

В.Т. Куанышев, А.Б. Папаев, И.А. Зубарев Использование информационных технологий при моделировании чрезвычайных явлений **297**

Д.В. Кусайкин, С.В. Коновалов, М.А. Клевакин Об эффективности применения форматов модуляции RZ-DQPSK, RZ-BPSK и 16QAM в современных ВОСП **302**

Д.В. Кусайкин, Р.И. Хурматов Классификация типов оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах **308**

М.А. Лукиенко, П.В. Лобзенко Автоматизированная система удаленного контроля и управления **319**

В.Л. Львов, Е.В. Игначкова, К.В. Львов Оценка структурной живучести сети связи по узловым сечениям **324**

А.А. Манин, Н.В. Болдырихин, *С.В. Коробенко, И.А. Сосновский Минимизация технологического риска при эксплуатации комплексов связи на основе разработки информационной системы контроля и управления подготовкой сотрудников **328**

И.А. Молоковский, М.Г. Каличак Алгоритм маршрутизации ad-hoc сетей в условиях неоднородной среды **335**

Д.А. Овчинников, С.А. Баранов Интроскопия поверхности земли электромагнитными волнами при использовании беспилотных летательных аппаратов **340**

Э.Л. Портнов, Т.Д. Фатхулин Анализ методов подавления шумовых явлений в современных DWDM-системах связи **345**

Г.А. Птицын, Д.Н. Безумнов Математическая модель интенсивности межузлового потока между двумя транспортными узлами **350**

А.С. Пузанов, К.А. Батенков, М.В. Стремоухов Имитационное моделирование сети связи с отказами с помощью программы Riverbed..... **354**

А.В. Рахимьянов, П.В. Лобзенко Android приложение для эффективного запоминания изучаемого материала **366**

И.Г. Ремез Актуализация основных стратегических направлений развития инфокоммуникаций в Свердловской области..... **372**

И.П. Рыбалко, В.Г Караченцев, Е.А. Цибульский Характеристика технологии IEEE 802.3bz 2.5 GBASE-T И 5 BASE-T..... **377**

А.И. Сафронов Исследование полосно-пропускающего фильтра на копланарной линии, возбуждающей поверхностные магнитостатические волны..... **380**

В.О. Семенец, М.П. Трухин Способы противодействия радиоуправляемым устройствам. **394**

***Н.Ю. Семиряд, **Н.В. Болдырихин** Анализ принципов организации параллельных вычислений..... **398**

И.С. Синева, Д.С. Зайченко Генетические алгоритмы в задачах помехоустойчивого кодирования **402**

В.Н. Смоляков, Г.В. Детко Разработка сети беспроводного доступа на основе технологии LTE в Крыловском районе Краснодарского края силами Крыловского ЛТЦ ПАО «Ростелеком»..... **416**

В.Н. Смоляков, Д.А. Ланко Модернизация локальной вычислительной сети ООО «Вилмари» город Москва **422**

В.Н. Смоляков, В.В. Чернышев Модернизация локальной вычислительной сети типографии «Lucky Pack» город Ростов-на-Дону **427**

С.В. Соколов, М.В. Полякова, О.И. Соколова Решение проблемы адаптивной фильтрации на основе нерегулярных точных наблюдений..... **432**

О.В. Сумарокова Сравнение характеристик помехоустойчивости системы OFDM в различных режимах модуляции поднесущих **437**

А.П. Сухоев, Н.И. Ильиных Исследование температурной зависимости показателя преломления SiO_2 ..... **439**

И.Н. Таов, А.А. Манин Сравнение современных стандартов видеонаблюдения **447**

Е.С. Тарасов Исследование эффективности алгоритма сжатия кодовой последовательности сформирванной текстовым сообщением **450**

Э.Р. Тлекова Развитие инфокоммуникационных технологий для высокоскоростных железных дорог: от GSM-R к LTE-R **462**

В.В. Трофлянин, М.Н. Беленькая Исследование средств передачи потокового видео по сети..... **474**

А.А. Уманов, Н.Г. Бикбулатова Исследование Dataflow-архитектуры **479**

Н.Б. Усманова Представление и формализация процессов взаимодействия в распределенных сетевых структурах..... **487**

Д.С. Федоров, *В.И. Юхнов Антенна базовой станции на основе кольцевой антенной решетки..... **492**

В.В. Федотов, Б.П. Борисов Применение сверхплотных ленточных оптических кабелей при генеральном планировании и строительстве сетей связи **499**

В.В. Харченко, В.В. Бурдюг Использование метаматериалов для улучшения направленных свойств антенных систем **503**

К.Ш. Хушмуродов, М.П. Трухин Факторы, влияющие на сбои электропитания персонального компьютера **508**

В.Г. Черемных, В.С. Невельский, Д.В. Астрецов Исследование возможности перехвата сигналов излучаемых клавиатурой компьютера **513**

Г.Н. Черпаченко, П.В. Лобзенко Клиент-северное приложение для регистрации состояния информационной сети **520**

А.А. Шадрин, М.П. Трухин, И.В. Соловаров Восстановление частоты несущего колебания MSK -сигнала **525**

А.М. Шаповалов, А.Ю. Опарин Автоматизация или гуманизация экономики будущего **529**

М.В. Юферев, А.Н. Езин Фреймворк как основной инструмент разработки Web-приложения **532**

П.В. Явтушенко, А.Ю. Опарин Проблемы и перспективы развития современных средств отображения информации **541**

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ **552**

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ **572**

ЧАСТЬ II

СЕКЦИЯ №2
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Ю.А. Безуглый, А.В. Вершенник, А.В. Попова, Е.В. Сухорукова Анализ методов аутентификации **20**

Ю.А. Безуглый, А.В. Вершенник, А.В. Попова, Е.В. Сухорукова Основные угрозы аутентификации **25**

Н.В. Белан, И.В. Карасев, Л.А. Луганская Сравнение ансамблей многофазных ортогональных сигналов **29**

Н.П. Борисенко, А.М. Цыганов, М.А. Куликов Генерация s-блоков с заданными параметрами с использованием параллельных вычислений **35**

Б.П. Борисов, А.И. Янкина Анализ аппаратных средств защиты информации в сетях передачи данных **39**

А.Э. Боярчук, *В.И. Юхнов, *П.С. Шевчук Анализ угроз безопасности организации **43**

А.В. Вершенник, М.Н. Корчемкина, Н.А. Куприянов, Е.В. Сухорукова Анализ условий обеспечения подлинности информации при ее передаче по каналам ССОП ЕСЭ РФ **49**

А.В. Вершенник, М.Н. Корчемкина, Н.А. Куприянов, Е.В. Сухорукова Анализ методов компьютерной стеганографии **54**

А.С. Галкин, Д.О. Маркин Распределенное тестирование веб-приложений методом фаззинга на основе технологий веб-прокси и активных данных **61**

М.Г. Гизатуллин, Д.В. Варакосов Некоторые особенности реализации угрозы несанкционированного доступа к системе по беспроводным каналам связи **72**

И.С. Гирин, Е.А. Стаценко, И.А. Сосновский Анализ методов защиты информации в беспроводных сетях стандарта 802.11 ..... **77**

О.В. Гончарова, А.А. Гончаров Информационная безопасность современного молодежного общества: тенденции и угрозы **79**

А.С. Жук[1], В.А. Головской[2] Анализ вычислительной сложности решения задачи о мультипликативном рюкзаке **82**

А.С. Жук[1], В.А. Головской[2] Синтез иерархической системы защиты информации от несанкционированного доступа на основании модели Белла-ЛаПадулы **91**

Э.Т. Ишдавлетова, К.А. Ролдугина Обеспечение информационной безопасности в условиях модернизации и развития почтовых услуг на базе ИКТ **98**

А.Г. Кирхеев[1], В.А. Головской[2] К вопросу обеспечения безопасности информации мобильного устройства **104**

С.М. Краснопеев, А.А. Юркин Расследование инцидентов информационной безопасности на основе анализа образа оперативной памяти **107**

А.Ю. Кудряшова , А.Н. Руднев Исследование и разработка метода оценки информационной безопасности сетевых хранилищ **115**

С.И. Кузнецов, С.П. Тесля, Е.В. Сухорукова, А.В. Вершенник Вариант изменения логической структуры адресного пространства информационно-коммуникационных сетей **125**

А.А. Полков, А.С. Совенко Некоторые аспекты практической реализации электронной цифровой подписи **133**

А.А. Полков, Д.С. Совенко Обзор способов программной реализации линейного преобразования **136**

Н.В. Путилин[1], В.А. Головской[2], В.А. Крутов[1] Комплексный подход к построению и модернизации сетей радиосвязи специального назначения **141**

Н.И. Сидняев, С.А. Говор Исследование планирования эксперимента при построении моделей со случайным дрейфом параметров регрессионной модели **146**

В.Н. Смоляков, Р.М. Кильдишов Модернизация системы информационной безопасности офиса контактного центра Теле2-Ростов программно-аппаратными средствами **156**

В.Н. Смоляков, В.В. Сильченко Разработка системы защиты информации ЛВС Руднянского ЛТЦ Волгоградского филиала МРФ «Юг» ПАО «Ростелеком» **162**

М.Г. Усынин, А.Ю. Опарин Защита информации и информационная безопасность **168**

А.Н. Чикалов, А.И. Янкина Переполнение буфера в стеке. методы обнаружения и борьбы с данным видом эксплойта **176**

О.В. Швачко, И.С. Деркачев Вопросы обеспечения защиты персональных данных в информационных системах **180**

Д.А. Яковлев, И.С. Синева Часто встречаемые ошибки при проектировании и реализации сетевых протоколов для обмена данными **184**

СЕКЦИЯ №3
«ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ, ЭКОНОМИКИ И МЕНЕДЖМЕНТА»

А.С. Артеменкова, А.И. Момот Применение системы бережливого производства на предприятиях почтовой связи **190**

А.Х. Бабаян, П.В. Лобзенко Интерактивное обучающее приложение по дисциплине «Технология программирования» **197**

***Д.А. Безуглов, ****А.П. Кузин, ****С.А. Швидченко** Обнаружение контуров изображений в мультимедийных приложениях на основе дискретного вейвлет-преобразования **200**

Э.А. Бинеев Особенности структуры дисциплины БЖД по направлению ИТСС **209**

А.Э. Боярчук, *В.И. Юхнов, *П.С. Шевчук Повышение эффективности систем управления проектами **211**

С.А. Быстров Задача идентификации личности по голосу: анализ подходов к решению **217**

Н.А. Вернигорова, И.В. Головина Проблема импортозамещения в инфокоммуникациях **221**

И.В. Водовозов, Д.А. Васинев Разработка узла доступа к транспортной сети с коммутацией пакетов для применения в учебном процессе **225**

М.Г. Гизатуллин, Ф.И. Тураев Некоторые аспекты реализации медиаобразовательных технологий в рамках организации образовательного процесса по учебной дисциплине «Основы информационной безопасности в органах внутренних дел» **228**

Е.И. Гниломёдов, И.И. Шестаков Оценка применимости компонентов разветвленных сетей стандарта ITU-T G.984 архитектуры FTTX, для организации учебного процесса с целью формирования профессиональных компетенций выпускников в соответствии с ФГОС ВО 3+ **242**

О.В. Гончарова, А.Ю. Опарин Здоровье педагога – залог профессионального долголетия **249**

А.М. Данилова, Ш.А. Турсунов Организация управления инвестиционными процессами в сфере информационно-коммуникационных технологий **251**

Н.В. Данилова Оценка параметров в модели стохастической волатильности **256**

Д.Е. Демидов, Л.Н. Евдакова Перспективы и проблемы развития отрасли инфокоммуникаций в России **258**

Ю.Н. Денисенко, Ю.А. Олейникова «Сарафанный» маркетинг как инструментарий брендинга **265**

В.Ю. Денисов, И.С. Синева Применение и инструменты Business intelligence **271**

С.А. Докучаев, Г.С. Костецкая, Н.О. Светличная О формировании общепрофессиональной компетенции бакалавров в области информационных технологий и вычислительной техники при изучении общенаучных дисциплин (на примере кейс-метода) **276**

С.А. Докучаев, Г.С. Костецкая О междисциплинарном взаимодействии при обучении бакалавров в области инфокоммуникаций (на примере одной задачи математической физики) **279**

Л.И. Долинер, Н.Г. Бикбулатова Электронный курс как базовый компонент обучения в современном ВУЗе **282**

А.С. Доткулова, М.С Мосева Метод интеллектуальной верификации логических связей модулей ООП в соответствии с ФГОС ВО. **287**

Л.Н. Евдакова Роль самостоятельной работы в формировании компетенций у студентов инфокоммуникационных вузов **294**

И.В. Калиенко, И.С.Абрамов, Н.И.Абрамова Разработка методических рекомендаций по исследованию тиристоров на лабораторной установке «Электронные приборы» кафедры «Радиоэлектроника» ДГТУ **300**

Е.А. Коломиец, А.М. Коршун Совершенствование внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся на базе информационных технологий **309**

Б.Б. Конкин Информационно-коммуникационные технологии в обучении **314**

Д.В. Костюченко, П.М. Табунщикова Культура речи в жизни IT -специалистов и всего человечества **319**

В.Г. Лисицин Проблемы организации маркетинговых коммуникаций в малом бизнесе **322**

Р.А. Момот Особенности формирования процессов венчурного инвестирования в России **326**

М.Л. Мухитдинова , В.А. Каримова Анализ процесса управления запасами предприятия на основе метода совмещенного ABC и XYZ анализа **330**

***В.А. Погорелов, *А.О. Семилеткин, **С.А. Швидченко** Исследование метода параметрической идентификации динамической системы в условиях действия помех **335**

М.А. Пташинский, А.И. Момот Особенности перехода на версию инновационного стандарта ИСО 9001-2015 ..... **341**

Е.Г. Ротова, А.И. Момот Использование процессного подхода при осуществлении закупочной деятельности предприятия **346**

А.А. Санников, В.Т. Куанышев Информационные технологии и обработка больших массивов данных в сфере образования **351**

Е.А. Свирщ Информационная компетентность экономистов **354**

Т.В. Сидорина Обеспечение безопаности на предприятиях почтовой связи **358**

Е.А. Скоробогатова Влияние инфокоммуникационных услуг на эффективность деятельности Сбербанка **364**

И.А. Степская, С.А. Уколова, А.И. Момот О ценка конкурентоспособности услуги по приему коммунальных платежей УФПС Ростовской области – Филиала ФГУП «Почта России» **368**

В.Н. Трофименко, А.В. Павлова, К.В. Пащенко Имитационное моделирование контура угловой стабилизации самолета **373**

Д.Л. Устименко, Е.А. Гатилова Актуальные проблемы компьютерного дизайна в современных инфокоммуникационных технологиях **377**

В.В. Федотов, Е.Н. Тищенко, А.А. Яковенко Построение системы информационной поддержки жизненного цикла проектирования и производства наукоемкой телекоммуникационной продукции на базе единого информационного пространства в виде виртуального предприятия между ПАО «Ростелеком» и ведущими производителями, проектировщиками ТК материалов и оборудования, строительными ТК компаниями **380**

П.Ч.Е. Федотова, Н.В. Будылдина Реализация в России индустриальных интернет вещей **384**

О.И. Шаравова , М.П. Белянчикова, И.А. Новикова Результаты сравнительной оценки финансового положения крупнейших российских операторов подвижной связи **.....388**

А.А. Яковенко, М.А. Галухин Трансформации современного общества и инновации в управлении персоналом **.....395**

А.А. Яковенко, Е.П. Косарева Планирование как механизм реализации целей социально-экономического развития современного общества**.....401**

А.А. Яковенко А.А. Пятина Инновации и риски в отрасли связи **.....407**

А.А. Яковенко, О.О. Шадрунова Статистическое исследование бедности и социального неравенства в российском обществе **.....412**

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....419

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....439

CONTENTS

PART I

SECTION 1
STATE AND PROSPECTS OF INFOCOMMUNICATION DEVELOPMENT

***P.P. Akulin, *O.A. Safaryan, **N.V. Boldyrikhin** Technological singularity **20**

***F.A. Altunin, *V.M. Knosal, *R.V. Davydov, **N.V. Boldyrikhin** Analysis of traffic classification methods **23**

J.H. Al-Yasiri Investigation of routing protocols in packet switched networks **27**

U. Amirsaidov Method for flow distribution in cloud-based IMS **34**

A.M. Babychev, N.V. Budyldina Methodology for determining parameters of flows of multi-service telecommunication network with regard to the effect of self-design **43**

E.V. Barmina, A.P.Philippov, N.I. Ilinykh Thermodynamic modeling of the behavior of Al_2O_3 with additives of SiC and ZrO_2 in a wide range of temperatures **49**

I.M. Bezrukov Approximation and compression of impulse response of the communication channel by classical and modified Prony's method **58**

N.V. Boldyrikhin, I.P. Rybalko, I.A. Sosnovsky, I.S. Girin Application of dynamic models in description of network equipment in monitoring problems **70**

A.V. Borodin Study of perspective materials to use in guided-wave optics and integrated optics .. **73**

P.S. Brajunenko, O.P. Ievlev The study of probabilistic characteristics of signal traffic for the preventing SIP-server overloads in IMS **77**

I.A. Brezhny, E.A. Revyakina, E.M. Ukolov Perspectives of development of the electric power industry with application of geoinformation systems **84**

E.V. Bukrina Indastrial internet of things is an innovative segment of telecommunications operator ecosystem **87**

A.N. Burenin, K.E. Legkov, V.V. Orkin Problem formulation of information system for special purposes functioning management **92**

V.S. Volkov, K.A. Schimelfenikh Constructions of a wireless broadband networks based on the standard IEEE 802.16 on distributed infrastructures **98**

V.E. Gerasimenko, E.A. Karpov, A.V. Laukhin Prospects of application of telecommunication technologies in diagnostics of arithmic and ischemic heart diseases in telemedicine **109**

E.A. Gorokhova Modeling of the algorithm for recognition of ground object on board the unmanned aeria vehicle **114**

***N.O. Gorshenin, *I.V. Shcherban, K.D. Grabovy** Distributed measurement and control system of soil parameters **122**

I.D. Grigoryev, V.G. Orlov Quality of service mechanisms in VDL Mode 4 ..... **129**

I.D. Grigoryev, V.V. Troflyanin, A.A. Kalfa Quality of service methods researching in operating system VRP Huawei **133**

V.A. Danilov, Y.V.Zhabinskiy, A.S. Usik Probabilistic characteristics of narrow-band random process the output of the inertial-non-linear converter **139**

V.A. Danilov, V.L. Lvov Amplitude suppression of frequency-modulated noise in the HF-range **145**

V.A. Danilov, L.V. Danilova The efficiency of nonparametric detector of weak signals with not gaussian interferences of narrowband type **148**

D.V. Denisov, M.S. Samkov, K.S. Sukhoeva, Korolev D.E. Technical realization of multilayer luneberg lens antenna **153**

D.V. Denisov, K.A. Sannikova, D.E. Korolev Dispersion of electromagnetic waves of the cellular ranges on multi-layer spherical model **161**

D.V. Denisov, K.S. Sukhoeva, D.A.Maksimov, K.A. Sannikova Measurement of the materials parameters **170**

D.V. Denisov, V.S. Chaschin The applicability of vortex beams generation methods for radio communication systems **176**

V.V. Evstafiev, N.V. Rudenko, K.A. Kashuba, A.P. Zuikov, I.A Sitkov Possibilities of information routing by streaming next-generation communication networks **180**

A.V. Eliseev, S.N. Ovsyannikov, A.G. Prigunov The control parameters of linear discrete filter based on fuzzy expert system **187**

M.A. Elfimov, N.V. Rudenko, V.V. Evstafyev, N.A. Konshina, V.A. Fedotov, M.K. Bazhenov Electrical supply of infocommunication systems, located on low-orbital directions **196**

I.A. Engibaryan, A.V. Yermolayev, *O.A. Safar'yan, A.I. Tyutyunnikova Efficiency estimation of usage of emergentness properties in infokommunication systems **200**

A.V. Yermolaev, K.A. Artynov, I.Y. Sulimenko, I.V. Reshetnikova Analysis of technologies VSAT **205**

V.V. Ershov, N.V. Rudenko, K.A. Reshetnikova, D.S. Bokoveev About the purpose of the use of vertical-axial wind-power plants for basic stations cellular communication **207**

***A.P. Zverev, I.P. Rybalko, M.A. Derkanosov** Routing in mobile radio networks of the savior-enforcement forces the Ministry of emergency situations on the basis of expert system **213**

***A.P. Zverev, I.P. Rybalko** The use of UAVS for emergency situations of Russia **220**

S.V. Zelensky, K.A. Batenkov The study of probabilistic-temporal characteristics of video applications **226**

N.I. Ilinykh, I.A. Malkova, E.A. Volgarev Investigation of the behavior of the Al-N system in heating in a wide temperature interval **230**

M.O. Kireev*, E.V. Glushak Study of factors influencing the quality parameters of broadband access technologies ADSL **233**

***N.E. Kirilenko, * S.O. Krasnikov, K.D. Badyshtova, * I.V. Shcherban** The solution of the problem for searching an oscillatory patterns in the noised signals **236**

M.A. Klevakin, D.V. Kusaykin The new ways to generate vortex beams in fiber optic transmission systems **238**

***V.M. Knosal, *F.A. Altunin, *R.V. Davydov, **N.V. Boldyrikhin** Analysis of mathematical models of communication networks used in monitoring problems **245**

V.G. Kobak*, D.A. Zhukovskiy*, N.I. Krivoshey* A study of a modified model of wheatley with different methods of formation of elite individuals **248**

V.G. Kobak*, A.G. Zhukovskiy, A.A. Manin, A.A. Peshkevich* Using hybrid algorithms for solving traveling salesman problem of low dimension **252**

V.G. Kobak*, A.G. Zhukovskiy, V.M. Porksheyan* T he homogeneous solution of the minimax problem the icelandic model, where the islands speaks a modified Goldberg`s model ... **257**

V.G. Kobak*, A.G. Zhukovskiy, V.M. Porksheyan* Comparison of heuristic algorithms for the minimax solution of the inhomogeneous problem **262**

A.V. Koloskov, A.S. Shpilko, N.V. Boldyrikhin CWDM technology analysis **267**

S.I. Koneva, Yu.E. Mikhaylenko Modernization of fiber optic line on the site Rostov-na-Donu – Kuibyshev **269**

S.I. Koneva, V.G. Kabakova Modernization of the LAN Kropotkinskaja post office UFPS Krasnodar region - filial FGUP «Russian Post» **273**

S.I. Koneva, A.S. Kuzmenko Development of a WiMAX network in Veselovska NO MTSTAT Azov of the Rostov branch of the «South» JSC «Rostelecom» **277**

I.S. Konovalov, V.A. Fathi, V.G. Kobak Research of influence of parameters of the modified model, Goldberg's genetic algorithm on the accuracy of solving the problem of covering sets **281**

Y.B. Konstantinova, N.O. Svetlichnaya Information methods for predicting properties of ferroelectrics. Phase transitions in ferroelectrics **287**

N.A. Konshina, N.V. Rudenko, V.V. Ershov *, M.A. Elfimov, T.E. Tamirbulatova*, E.M. Mischuk About the performance of accommodation of infocommunication systems on low-orbital directions **292**

V.T. Kuanyshev, A.B. Papaev, I.A. Zubarev The use of information technology in the modeling of natural phenomena **297**

D.V. Kusaykin, S.V. Konovalov, M.A. Klevakin About applications of RZ-DQPSK, RZ-BPSK and 16QAM modulation formats in modern optical networks **302**

D.V. Kusaykin, R.I. Khurmatov Classification of bend-insensitive optical fibers **308**

M.A. Lukienko, P.V. Lobzenko An interactive tutorial on the subject "Technology of programming" **319**

V.L. Lvov, E.V. Ignachkova, K.V. Lvov Amplitude suppression of frequency-modulated noise in the HF-range **324**

A.A. Manin, N.V. Boldyrikhin, * S.V. Korobenko, I.A. Sosnovsky Minimization of technological risk in operation of communication complexes based on development of information system of control and management of preparation of employees **328**

I.A. Molokovskiy, M.G. Kalichak Ad-hoc networks' routing algorithm within heterogeneous environment conditions **335**

D.A. Ovchinnikov, S.A. Baranov Introscopy of the earth's surface by electromagnetic waves with the use of unmanned aerial vehicles **340**

E.L. Portnov, T.D. Fatkhulin Analysis of noise reduction methods in modern DWDM communication systems **345**

G.A. Ptitsyn, D.N. Bezumnov Mathematical model of internodal transport flow intensity between two transport nodes **350**

A.S. Puzanov, K.A. Batenkov, M.V. Stremoukhov Imitative modeling of the communication network with rejections with the Riverbed program **354**

A.V. Rahimjanov, P.V. Lobzenko An Android application for efficient memorization of the studied material **366**

I.G. Remez Actualization of the basic strategic directions of infocommunications development in Sverdlovsk region **372**

I.P. Rybalko, V.G. Karachentsev, E.A. Tsibulsky Technology characteristic IEEE 802.3bz 2.5 GBASE-T И 5 BASE-T **377**

A.I. Safronov Investigation of a band-pass filter, based on a magnetostatic surface waves excitating coplanar line **380**

V.O. Semenets, M.P. Trukhin Methods of counteraction to radio-controlled devices **394**

***N.Y. Semiryad, ****N.V. Boldyrikhin** Analysis of the principles of parallel computing organization **398**

I.S. Sineva, D.S. Zaichenko Genetic algorithtms in the noise proof coding **402**

V.N. Smolyakov, G.V. Detko Development of wireless access network on LTE technology in Krylovsk district of Krasnodar territory Krylovskogo LETS PJSC Rostelecom **416**

V.N. Smolyakov, D.A. Lanko Modernization of local computer network LLC "Vilmari" city Moscow **422**

V.N. Smolyakov, V.V. Chernyshev Modernization of the local computer network of the printing house "Lucky Pack" city of Rostov-on-Don **427**

S.V. Sokolov, M.V. Polyakova, O.I. Sokolova Solution problem of adaptive filtration by the acyclic correct observations **432**

O.V. Sumarokova Comparison of the features of the ofdm interference system in various modes of modulation of substating **437**

A.P. Sukhoev, N.I. Ilinykh Investigation of temperature dependence of the refractive index of SiO_2 ..... **439**

I.N. Taov, A.A. Manin Comparison of video surveillance standards **447**

E.S. Tarasov Research efficiency compression algorithm code sequence formed text messages **450**

E.R. Tlekova The Development of infocommunication technologies for high-speed railways: from GSM-R to LTE-R **462**

V.V. Troflyanin, M.N. Belenkaya Researching of video stream transmission instruments over the network **474**

A.A. Umanov, N.G.Bikbulatova Dataflow architecture research **479**

N. Usmanova Representing and formalizing the processes of interactions in distributed network structures **487**

D.S. Fedorov, *V.I. Yuhnov Ring antenna array as base station antenna **492**

V.V. Fedotov, B.P. Borisov The use of ultra-dense tape optical cables general the planning and construction of communication networks **499**

V.V. Kharchenko, V.V. Burdyug The use of metamaterials for improving the directional properties of antenna systems **503**

K.Sh. Khushmurodov, M.P. Trukhin The factors, influencing failures of power supply of the personal computer **508**

V.G. Cheremnykh, V.S. Nevelskiy, D.V. Astretsov Investigation of the possibility of interfering signals radiated by the keyboard by the computer **513**

G.N. Cherpachenko, P.V. Lobzenko The client and the application for registration of the state information network **520**

A.A. Shadrin, M.P. Trukhin, I.V. Solovarov Frequency recovery of MSK signal **525**

A.M. Shapovalov, A.Yu. Oparin Automation or humanizing economy of the future **529**

M.V. Yuferev, A.N.Ezin Framework as the main tool for developing a web application **532**

P.V. Yavtushenko, A.Yu. Oparin The modern displaying devices development problems and prospects **541**

BRIEF INFORMATION ABOUT THE AUTHORS **552**

AUTHOR INDEX **572**

PART II

SECTION 2
INFORMATION SECURITY

J.A. Bezugly, A.V. Vershennik, A.V. Popova, E.V. Sukhorukova The authentication methodology analysis **20**

J.A. Bezugly, A.V. Vershennik, A.V. Popova, E.V. Sukhorukova The main threats to authentication **25**

N.V. Belan, I.V. Karasev, L.A. Luganskaya Comparison of ansembles of multiphase orthogonal signals **29**

N.P. Borisenko, A.M. Tsyganov, M.A. Kulikov Generation of s-blocks with the specified parameters using parallel computing **35**

B.P. Borisov, A.I. Yankina Analysis of hardware information protection equipment in data-networks **39**

E.A. Boyarchuk, *I.V. Yukhnov, *P.S. Shevchuk Analysis of security threats to organizations **43**

A.V. Vershennik, M.N. Korchemkina, N.A. Kupriyanov, E.V. Sukhorukova Analysis of the conditions ensuring the authenticity of information, during transmission through the channels of the MTSIP UTN of the Russian Federation **49**

A.V. Vershennik, M.N. Korchemkina, N.A. Kupriyanov, E.V. Sukhorukova Analysis of methods of computer steganography **54**

A.S. Galkin, D.O. Markin Distributed testing of web-applications by fazzing method based on web-proxy and active data technologies **61**

M.G. Gizatullin, D.V. Varakosov Some features of realization of threat of unauthorized access to system through wireless channels of communication **72**

I.S. Girin, E.A. Statsenko, I.A. Sosnovsky Analysis of protection methods in wireless networks of 802.11 standard **77**

O.V. Goncharova, A.A. Goncharov Information security of modern youth society: tendencies and threats **79**

A.S. Zhuck[1], V.A. Golovskoy[2] The analysis of the computational complexity of solving the problem on the multiple knapsack **82**

A.S. Zhuck[1], V.A. Golovskoy[2] Synthesis of a hierarchical system of information protection from unauthorized access on the basis on the Bell–LaPadula model **91**

E.T. Ishdavletova, K.A. Roldugina E nsuring information security in the context of modernization and development of postal services on the basis of ICT **98**

A.G. Kirheev[1], V.A. Golovskoy[2] To the problem of information security mobile device **104**

S.M. Krasnopeev, A.A. Yurkin Investigation incidents of information security, based on analysis image of main storage **107**

A.Y. Kudriashova, A.N. Rudnev Researching and developing of method for assessing information security network storage **115**

S.I. Kuznetsov, S. P. Tesla, E.V. Sukhorukova, A.V. Vershennik The option of changing the logical structure of the address space information and communication networks **125**

A.A. Polkov, A.S. Sovenko Some aspects of practical realization of digital signature. **133**

A.A. Polkov, A.S. Sovenko Overview of ways for the software implementation of linear transformation **136**

N.V. Putilin[1], V.A. Golovskoy[2], Krutov V.A.[1] Comprehensive approach to building and modernization of special radio networks **141**

N.I. Sydnyaev, S.A. Govor Study of experiment planning when building models with random drift parameters of the regression model **146**

V.N. Smolyakov, R.M. Kildishev Modernization of the system of information security office contact center Tele2 - Rostov software and hardware **156**

V.N. Smolyakov, V.V. Silchenko Development of the information protection system for LANTS of Rudnyansky letter of Volgograd branch of MYFF "South" PJSC "Rostelecom" **162**

M.G. Usynin, A.Yu. Oparin Information protection and information security **168**

A.N. Chikalov, A.I. Yankina Buffer overflow on the stack. methods of detection and fight against this type of exploit **176**

O.V. Shvachko, I.S. Derkachev The issues on the protection of personal data in information systems **180**

D.A. Yakovlev, I.S. Sineva Common mistakes in design and implementation of the network protocols for data exchange **184**

SECTION 3
INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES IN MANAGEMENT, ECONOMY AND EDUCATION

A.S. Artemenkova, A.I. Момот Application of the lean production system at the enterprises of postal communication **190**

A.H. Babayan, P.V. Lobzenko A n interactive tutorial on the subject "Technology of programming" **197**

***D.A. Bezuglov, ****A.P. Kuzin, ****S.A. Shvidchenko** Contour detection of images for multimedia applications based on the discrete wavelet transform **200**

E.A. Bineev Features of the structure of the discipline Life safety in the direction of ITCS **209**

A.E. Boyarchuk, *V.I. Yukhnov, *P.S. Shevchuk Improving the efficiency of the system project management **211**

S.A. Bystrov Personal identity identification: analysis of approaches to solution **217**

N.A. Vernigorova, I.V. Golovina The problem of import substitution in infocommunications **221**

I.V. Vodovozov, D.A. Vasinev Developing of the access node to the packet switching network for using in an education process **225**

M.G. Gizatullin, F.I. Turaev S ome aspects of realization of media educational technologies within organization of educational process for the subject matter «Basis of information security in interior» **228**

Y.I. Gnilomyodov, I.I. Shestakov Estimation of the applicability of the components of the elected networks of the ITU-T G.984 standard architecture FTTX, for the organization of the training process for the formation of the professional competencies of graduates in accordance with the federal state educational standard of higher education 3+ **242**

O.V. Goncharova, A.Yu. Oparin The health of the teacher is the key to professional longevity **249**

A.M. Danilova, Sh.A. Tursunov Organization of investment processes management **251**

N.V.Danilova Estimation of parameters in the stochastic volatility model **256**

D.E. Demidov, L.N. Evdakova Development prospects and problems of infocommunication branch in russia **258**

Yu.N. Denisenko, Yu.A. Oleinikova "Word of mouth" marketing as a tool of branding **265**

V.Yu. Denisov, I.S. Sineva Business intelligence: usage and tools **271**

S.A. Dokuchaev, G.S Kostetskaya, N.O. Svetlichnaya To the question of forming general vocational competences of bachelors in the field of information technologies and computing techniques when studying general science group subjects (on the example of case-method) **276**

S.A. Dokuchaev, G.S Kostetskaya T o the question of interdisciplinary interaction in educating bachelors of infocommunication industry (on the example of a problem of mathematical physics) **279**

L.I. Doliner, N.G. Bikbulatova E-course as a basic component of learning in modern university **282**

Dotkulova A.S., Moseva M.S. Method of intellectual verification of logical connections of modules of educational program in accordance with new educational standards. **287**

L.N.Evdakova The role of self-working in the infocommunication university students competences formation **294**

I.V. Kalienko, I.S. Abramov, N.I. Abramova Development of methodical recommendations study of thyristors in a laboratory setting "Electronic devices" of the department "Electronics" DGTU **300**

E.A. Kolomiets, A.M. Korshun Improving of the students out-of-class individual work based on information technologies **309**

B.B. Konkin Infocommunications technologies used in education **314**

D.V. Kostyuchenko, P.M. Tabunshchikova Culture of speech in the life of it-specialists and all of humanity **319**

V.G. Lisitsin Problems of organization marketing communications in a small business **322**

R.A. Момот Peculiarities of forming venture processes investments in russia **326**

M.L. Mukhitdinova, V.A. Karimova The analysis of process of the enterprise stocks management on the basis of the combined ABC and XYZ analysis method **330**

***V.A. Pogorelov, *A.O. Semiletkin, S.A. Shvidchenko** The research method of parametric identification of dynamic systems in conditions of interference **335**

M.A. Ptashinskiy, A.I. Момот F eatures of transition to version of innovation standard ISO 9001-2015 **341**

E.G. Rotova, A.I. Момот Use of the process approach when performing purchasing activity of the enterprise **346**

A.A. Sannikov, V.T. Kuanyshev Information technologies and processing big data in education **351**

E.A. Svirsch Information competence of economists **354**

T.V. Sidorina Providing of security on enterprises of postal connection **358**

E.A. Skorobogatova Infocommunication services influence for efficiency of Sberbank activity **.364**

I.A. Stepskaya, S.A. Ukolova, A.I. Момот Evaluation of the competitiveness of services for the receipt of utility bills in the organization «Post of Russia» **368**

V.N. Trofimenko, A.V. Pavlova, K.V. Pashchenko Of the plane imitating modelling of the contour of angular stabilization **373**

D.L. Ustimenko, E.A. Gatilova Actual problems of computer design in the modern information and communication technologies **377**

V.V. Fedotov, E.N. Tishchenko, A.A. Yakovenko Building a system of information support of life cycle design and production of science-intensive telecommunication products based on a common information space in the form of a virtual enterprise between PJSC Rostelecom and leading manufacturers and designers of TC materials and equipment, construction of TC companies **380**

P.C.E. Fedotova, N.V. Budyldina Realization industrial internet of thing in Russia **384**

O.I. Sharavova, M.P. Belyanchikova, I.A. Novikova The results of the comparative evaluation of the financial situation of the largest russian operators mobile **388**

A.A. Yakovenko, M.A. Galukhin Modern society transformations and human resources management innovations **395**

A.A. Yakovenko, E.P. Kosareva Planning as a mechanism of implementation of social and economic development goals of the contemporary society **401**

A.A. Yakovenko, A.A. Pyatina Innovations and risk in the communications industry **407**

A.A.Yakovenko , O.O. Shadrunova Statistical study of poverty and social inequality in the russian society **412**

BRIEF INFORMATION ABOUT THE AUTHORS **419**

AUTHOR INDEX **439**

***П.П. Акулин, *О.А. Сафарьян, **Н.В. Болдырихин**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ

*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
**Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: технологическая сингулярность, искусственный интеллект, самовоспроизводящаяся машина, информационные технологии, нанотехнолгии.

В статье анализируются закономерности развития вычислительной техники. Рассматривается соответствие эволюции реальных характеристик процессоров закону Гордона Мура. Раскрывается понятие «технологическая сингулярность» (ТС).

***P.P. Akulin, *O.A. Safaryan, **N.V. Boldyrikhin**

TECHNOLOGICAL SINGULARITY

**Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
**North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: technological singularity, artificial intelligence, self-reproducing machine, information technology, nanotechnology.

In the article the laws of the development of computer technology are analyzed. The correspondence of the evolution of the real characteristics of the processors to the Gordon Moore law is considered. The notion of "technological singularity" (TS) is disclosed.

Термин «технологическая сингулярность» [1,2] приписывают Вернору Винджему, который предположил, что существует некий момент времени, когда технологическое развитие цивилизации станет настолько быстрым, что график технического прогресса устремиться к бесконечности. В области вычислительной техники эту теорию подтверждает закон Гордона Мура [3], гласящий о том, что количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца, что в свою очередь обеспечивает рост производительности в два раза каждые в 18 месяцев. На сегодняшний день можно сказать, что это прогноз в общем сбывается.

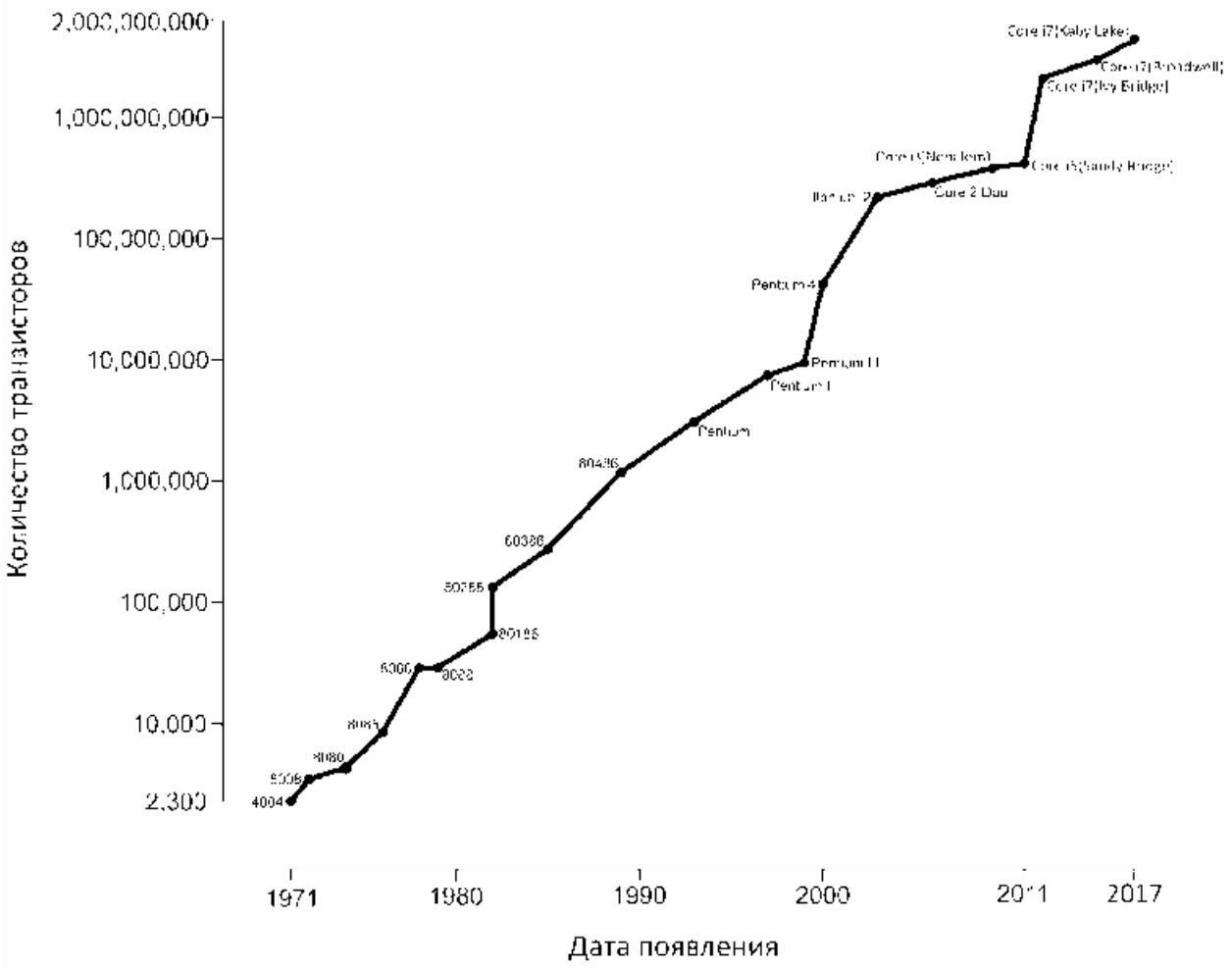


Рисунок 1 – Зависимость увеличения количества транзисторов на кристалле кремниевой решетки от времени

На рисунке 1 представлена кривая, показывающая количество транзисторов в процессорах на определенный год. Их появление увеличивается, в среднем, каждые 2 года. Все процессоры, представленные на графике, от компании «Intel». Эта компания задает темп развития на рынке компьютерных технологий и стремится поддерживать закон Мура. В скобках указаны названия архитектуры микропроцессора. Транзисторы Intel 8008 были размером около 10 микрометров. Это примерно половина диаметра одной нити человеческих волос. Транзисторы на микропроцессоре Kaby Lake составляют 14 нанометров. Это меньше, чем рибосома, один из компонентов человеческой клетки. Микросхемы с меньшими размерами транзисторов более быстрые, т.к. малые размеры элементов позволяют разместить на одном кристалле более сложные схемы. Они гораздо энергоэффективнее. Тот факт, что на чипсетах Intel Broadwell, Skylake и Kaby Lake используются 14-нм транзисторы, не что иное, как инженерное чудо. Однако, это не предел, и следующее поколение чипов под названием Cannonlake появится в конце 2017 года. В этих чипах будут использовать 10-нанометровые транзисторы. Компания «Intel» по-прежнему стремится перейти к 7-нанометровому производственному процессу, и в этот момент они, вероятно, должны будут перейти от кремния к другому материалу. Это связано с тем, что невозможно удваивать число транзисторов до бесконечности. Одним из барьеров является уменьшение числа атомов. Например, 7-ми нанометровый транзистор имеет около 35 атомов кремния в поперечнике. Чтобы ток протекал в этом поперечнике,

электроны должны физически перепрыгивать с орбиты одного атома на другой. В чистых кремниевых пластинах практически невозможно получить достаточный ток, чтобы он протекал через такое небольшое число атомов. Также кремний начинает плохо функционировать в масштабе 10 нанометров. Для решения этой проблемы разработчикам пришлось отказаться от чистого кремния в пользу добавления германия. Это имеет ключевое преимущество, так как увеличивает, «подвижность электронов» - способность электронов проходить через материал. Заменой кремния может стать графеновое нановолокно. Однако недавно исследовательская группа, возглавляемая компанией «IBM», продемонстрировала прототип процессора с компонентами транзистора шириной всего 7 нанометров, который должен появиться в 2018 году. Это в 2 раза меньше нынешних 14-нанометровых технологий и в 4 раза превышает их производительность. В очередной раз, это доказывает, что закон Мура по-прежнему держится. Для его продолжения, скорей всего, потребуется уменьшение точки до квантового предела. Под точкой следует понимать любой элемент, который будет функционировать в ядре компьютера и задавать его вычислительную мощность.

Если такие темпы роста сохранятся, а это вполне возможно, т.к. помимо полупроводниковых технологий развиваются и квантовые компьютеры, то где-то между 2025 и 2035 годами вычислительная мощность отдельных компьютеров сравняется с примерной вычислительной мощностью человеческого мозга, который оценивается в 10^{14}–10^{17} операций в секунду, а затем и превзойдёт её. Предположительно, это как раз тот момент, когда будет создан искусственный интеллект (ИИ) и самовоспроизводящаяся машина [4].

В настоящее время ИИ, это просто набор технологий для построения компьютерных систем, которые могут выполнять сложные аналитические операции, независимо друг от друга. Такие системы решают различные задачи: от распознавания речи и принятия решений до визуального восприятия. Однако, компьютерная система не умеет точно определять образы зрительные и смысловые, а тем более абстрактно мыслить. Но есть целый ряд узких, но полезных систем ИИ такие, как Siri или Kinect Xbox One. Эти системы не являются «человеческими» и могут действовать только под наблюдением и руководством человека. Они просто представляют компьютерные системы, построенные для имитации некоторых аспектов человеческого интеллекта.

Для машины трудно создать так называемое сознание, как у человека, несмотря на то, что уже достаточно изучено строение и функционирование мозга. Попытки создать аналоги нейронов и соединить их в структуру, подобную человеческому мозгу, пока не увенчались успехом. Однако, можно констатировать, что на сегодняшний день нейронные сети догнали и обогнали людей во многих вопросах. Например, есть нейросети, способные анализировать фото и видеоизображения. Такие системы позволяют отыскивать конкретных людей или объекты на фотографиях, в видеоархивах, и даже работать с видеоизображением в реальном времени.

Таким образом, системы ИИ продолжают активно развиваться.

Развитие нанотехнологий также может приблизить момент технологической сингулярности [5].

Основным продуктом, который может нам дать нонотехнология — это роботы, способные управлять материей на молекулярном уровне. Однако, на субатомном уровне предстоит пройти еще много барьеров и, по некоторым прогнозам, это управление

наступит ещё не скоро. Пока не решены проблемы энергообеспечения и ориентации в пространстве нанороботов (для самого маленького гироскопа или камеры нужны триллионы молекул). Однако, есть попытки создать роботов, которые, смогут работать с биологическими клетками и стать интеллектуальным помощником нашей иммунной системы.

Данная технология может иметь прекрасное медицинское применение: лишить человека большой части известных заболеваний и удалять уже существующие, а также регенерировать клетки организма.

В тоже время имеются и риски, связанные с развитием данной технологии, такие как создание вирусов или развитие шпионажа.

Таким образом, если существующие тенденции технического прогресса сохранятся, то технологическая сингулярность из области фантастики может превратиться в реальность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vinge, Vernor.* "The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era", originally in Vision-21: Interdisciplinary Science and Engineering in the Era of Cyberspace, G. A. Landis, ed., NASA Publication CP-10129, pp. 11–22, 1993.
2. *Kurzweil R.* The Singularity Is Near. N. Y.: Viking, 2005, 434c.
3. *Moore, Gordon E.* No Exponential is Forever: But “Forever” Can Be Delayed! // International Solid-State Circuits Conference (ISSCC) 2003 / SESSION 1 / PLENARY / 1.1. 2003.
4. URL: http://cseweb.ucsd.edu/classes/wi10/cse241a/slides/mooreISSCC03.pdf (дата обращения: 25.03.2017).
5. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект: современный подход / Пер. с англ. и ред. К. А. Птицына. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2006. — 1408 с.
6. *Дрекслер Э., Мински М.* Машины создания: Грядущая эра нанотехнологии . — 2-е изд. — 2007.
7. URL: http://e-drexler.com/d/06/00/EOC_Russian/eoc.html (дата обращения: 25.03.2017).

[*]Ф.А. Алтунин, [*]В.М. Кносаль, [*]Р.В. Давыдов, [**]Н.В. Болдырихин

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАФИКА

[*]Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
[**]Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: классификация трафика, анализ трафика, идентификация трафика, сетевой трафик.

Данная статья посвящена обзору и анализу методов классификации сетевого трафика. Сетевой трафик является одним из важнейших фактических показателей работы компьютерной сети и является носителем информации о поведении пользователей.

[*]F.A. Altunin, [*]V.M. Knosal, [*]R.V. Davydov, [**]N.V. Boldyrikhin

ANALYSIS OF TRAFFIC CLASSIFICATION METHODS

[*]Don state technical university, Rostov-on-don, Russia
[**]North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: traffic classification, traffic analysis, identification of traffic, network traffic.

This article is devoted to the review and analysis of methods for classifying network traffic. Network traffic is one of the most important actual indicators of the computer network and is the carrier of information about the behavior of users.

В настоящее время технологии конфиденциальности пользователей общественных сетей широко используются и постоянно совершенствуются [1-3]. Они популярны среди представителей бизнеса, журналистов, обычных пользователей. Однако технологии конфиденциальности не всегда используются по назначению. Есть много сетей и технологий, которые предоставляют анонимный доступ к цифровым ресурсам. Самой популярной анонимной сетью в настоящее время является Tor. Tor является ценным инструментом для хакеров, наркоторговцев и торговцев оружием, поэтому зачастую возникает необходимость идентификации пользователя сети, идентификации типа трафика, определении приложения, которое создает трафик. Эта задача является нетривиальной, поскольку появилось большое количество программ и сетевых сервисов приводящих к огромному разнообразию типов трафика. Помимо решения задачи деанонимизации [4], необходимо выполнять идентификацию и классификацию трафика, который генерируется приложениями и управляющими операционными системами в целях управления для обеспечения работоспособности сети.

Классификация трафика - это основной этап идентификации различных приложений и протоколов [1,3]. После того как проведена классификация, все передаваемые пакеты маркируются по принадлежности к тому или иному приложению или протоколу, что дает возможность сетевым устройствам применять ограничения и различные политики доступа к ресурсам.

Классификация трафика делится на следующие два типа.

1. Классификация, основанная на содержимом, она в свою очередь делится на ту, которая основана на TCP/UDP портах и на полезной нагрузке.

Классификация трафика на основе номеров портов предполагает анализ TCP SYN-пакетов, которые содержат информацию о целевом номере порта, что в свою очередь позволяет определить набор приложений, использующих данный порт. Протокол UDP использует порты похожим образом. Данный способ характеризуется малыми

вычислительными затратами, но и обладает небольшой точностью, т.к. некоторые порты используются большим количеством приложений.

Классификация трафика на основе полезной нагрузки предполагает анализ информационного содержимого пакетов. Такой способ является более точным, но и более затратным с вычислительной точки зрения. Кроме того, им нельзя воспользоваться в случае зашифрованного трафика.

2. Классификация, основанная на статистических методах. Данные методы учитывают особенности трафика, создаваемого различными приложениями. Например, на рисунке 1 представлена зависимость скорости передачи информации от времени для протокола https при просмотре видео на странице YouTube.

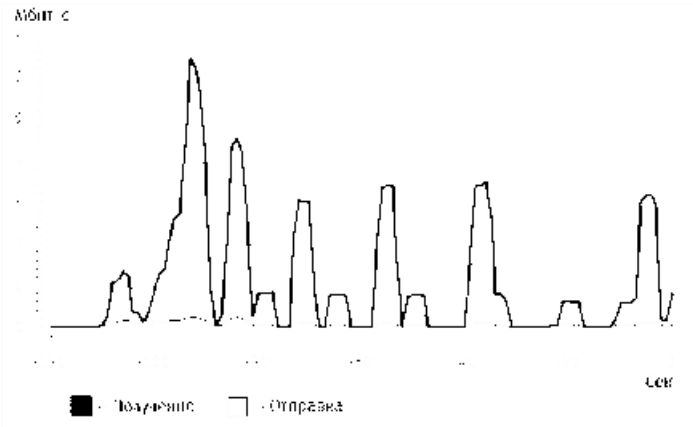


Рисунок 1 – Трафик, создаваемый при просмотре видео на странице YouTube

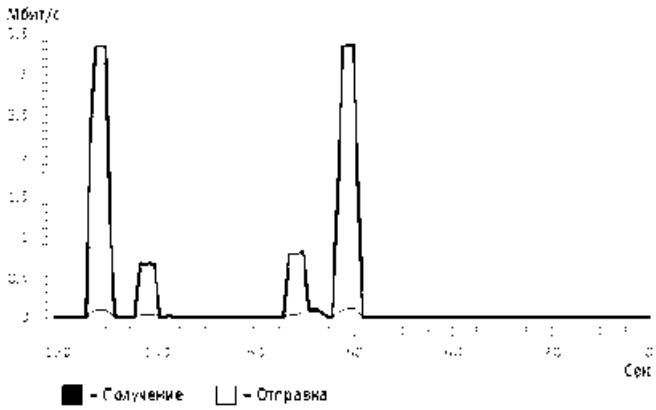


Рисунок 2 – Трафик, создаваемый при прослушивании музыки на странице ЯндексМузыка

На рисунке 2 представлена временная зависимость скорости передачи информации при прослушивании музыки на странице ЯндексМузыка, на рисунке 4 приведена аналогичная зависимость при скачивании файла.

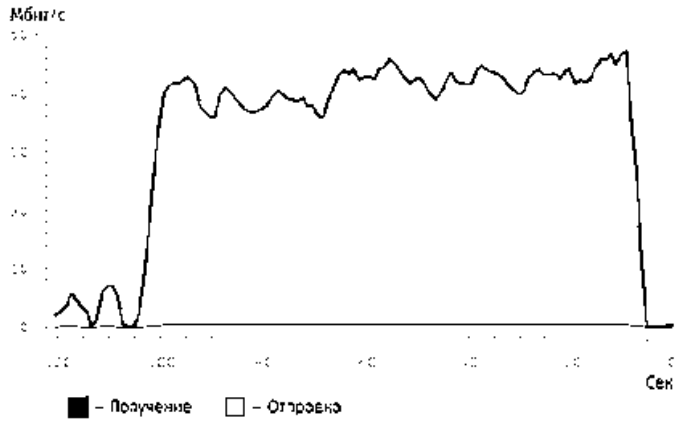


Рисунок 3 – Трафик, создаваемый протоколом https при скачивании файла

Из приведенных выше рисунков видно, что каждый из видов трафика имеет свои особенности, а значит, может быть классифицирован с использованием методов корреляционного анализа. Данный метод хорош тем, что позволяет классифицировать даже зашифрованный трафик, т.к. он не зависит от доступа к содержимому пакетов. Недостатком метода является большая вычислительная сложность. Однако, при классификации туннелированного трафика статистический анализ является единственно возможным подходом к решению задачи классификации.

Статистические методы классификации сетевого трафика предоставляют возможность обнаружения трафика, генерируемого вредоносным программным обеспечением, использующим, стандартные протоколы прикладного уровня. Например, статистические методы позволяют обнаруживать трафик, генерируемый троянами, которые загружают и устанавливает на компьютер-жертву новые версии вредоносных программ или рекламные системы.

Посредствам статистических методов можно решать не только задачу классификации сетевого трафика, но и задачу деанонимизации, т.е. сопоставление некоторого пользователя анонимному сетевому профилю [4].

Таким образом, применяя один из рассмотренных подходов классификации трафика, можно решать такие задачи, как определение приоритетов при формировании полосы пропускания для отдельных типов трафика, установление правил по управлению трафиком, обеспечение безопасности сети, диагностический мониторинг и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Классификация трафика и Deep Packet Inspection [Электронный ресурс] - URL: http://blog.vasexperts.ru/?p=342 (дата обращения: 16.03.2017)
2. *Шыхалиев Р.Г.* Анализ классификации сетевого трафика компьютерных сетей / İnformasiya texnologiyaları problemləri.- 2010, №2, С.15-23.
3. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.

4. *Тюрин К.А., Болдырихин Н.В.* Алгоритм вероятностной идентификации пользователей сети // Молодой исследователь Дона. -2016. № 2. С. 81-86.

пустая строка
пустая строка
пустая строка
пустая строка

Д.Х. Аль Ясири

пустая строка

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

пустая строка

Южный федеральный университет ,Физический факультет, Кафедра Радиофизики ,
Ростов-на-Дону, Россия

пустая строка

Рассмотрены различные протоколы маршрутизации с анализом влияния их алгоритмов и структурных параметров на основные сетевые характеристики, такие как время доведения пакетов и пропускная способность сети. Анализ проводился с помощью программы моделирования «Cisco Packet Tracer Student» и на лабораторном макете, содержащим три маршрутизатора, коммутатор и несколько персональных компьютеров. Проведено конфигурирование сетевых маршрутизаторов со статическими и динамическими протоколами маршрутизации. *пустая строка*

J.H. Al-Yasiri

пустая строка

INVESTIGATION OF ROUTING PROTOCOLS IN PACKET SWITCHED NETWORKS

устая строка

Southern Federal University, Physics Faculty, Radio-Physics Department,
Rostov-on-Don, Russia

пустая строка

Keywords: routing protocols, distance-vector protocol, link-state protocol, dynamic protocol , static protocol .

Different routing protocols are analyzed with the effect of their algorithms and structural parameters on the main network characteristics, such as packet lead time and network bandwidth. The analysis was carried out using the “Cisco Packet Tracer Student” simulation program and on a laboratory layout containing three routers, switch and several personal computers. Configured network routers with static and dynamic routing protocols.

Теоретическая часть.

Протокол маршрутизации —сетевой протокол, используемый маршрутизаторами для определения возможных маршрутов следования данных в составной компьютерной сети. Применение протокола маршрутизации позволяет избежать ручного ввода всех допустимых маршрутов, что, в свою очередь, снижает количество ошибок, обеспечивает согласованность действий всех маршрутизаторов в сети и облегчает труд администраторов.

На Рис.1 показана классификация основных протоколов маршрутизации.

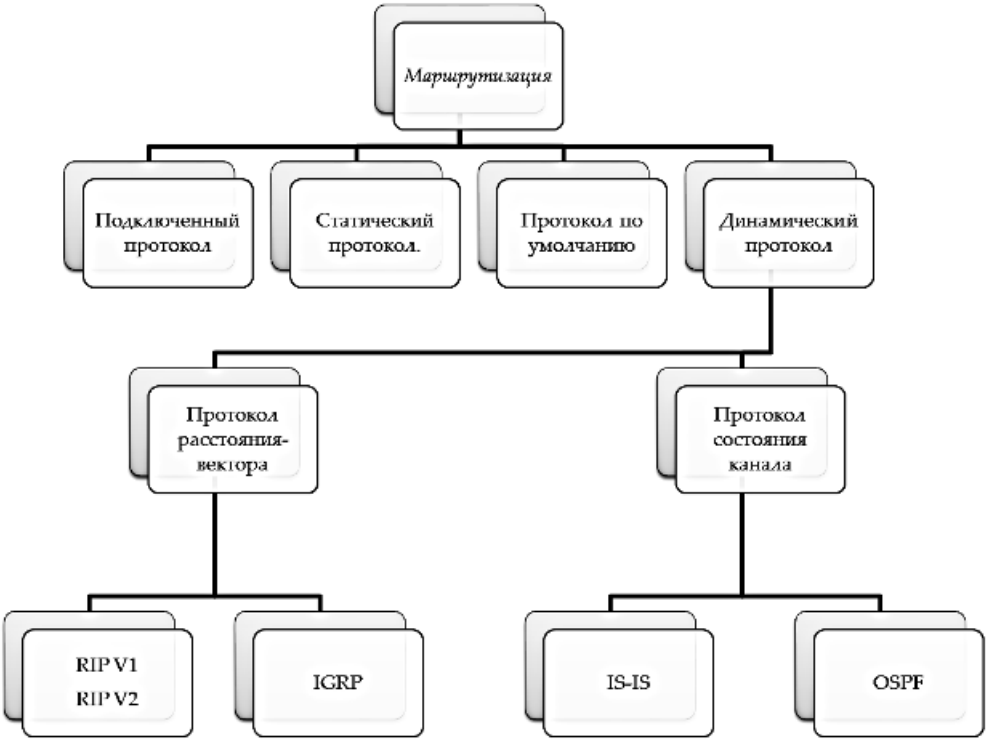


Рис. 1. Классификация основных протоколов маршрутизации

Подключенный протокол : в этом протоколе подсети, непосредственно подключенные к интерфейсу маршрутизатора, добавляются в таблицу маршрутизации маршрутизатора. Интерфейс должен иметь IP-адрес, сконфигурированный, и оба кода состояния интерфейса должны находиться в состоянии «вверх и вверх». Маршрутизатор будет иметь возможность маршрутизировать все пакеты, предназначенные для всех хостов в подсетях, напрямую связанных с его активными интерфейсами.

Статическая маршрутизация - вид маршрутизации, при котором маршруты указываются в явном виде при конфигурации маршрутизатора. Вся маршрутизация при этом происходит без участия каких-либо протоколов маршрутизации.
При задании статического маршрута указывается:

- Адрес сети (на которую маршрутизируется трафик), маска сети;
- Адрес шлюза (узла), который способствует дальнейшей маршрутизации (или подключен к маршрутизируемой сети напрямую);
- (опционально) метрика (иногда именуется также "ценой") маршрута. При наличии нескольких маршрутов на одну и ту же сеть некоторые маршрутизаторы выбирают маршрут с минимальной метрикой.

Динамическая маршрутизация :Динамически адаптируемые таблицы используют правила маршрутизации «напрямую», используя маску и номер сети из таблицы маршрутизации для проверки пакета и определения порта, на который нужно передать пакет. При этом изменения в таблице маршрутизации (в результате работы, например, протоколов маршрутизации/резервирования) сразу же влияют на обработку всех новопришедших пакетов. Динамически адаптируемые таблицы также позволяют легко реализовывать быструю (аппаратную) проверку списков доступа.

Протоколы динамической маршрутизации делятся на следующие типы:

- Дистанционно-векторные протоколы (RIP1, RIP2, IGRP и другие);
- Протоколы состояния каналов связи (IS-IS, OSPF и другие).

Протокол RIP — протокол маршрутной информации (англ. *Routing Information Protocol*) — один из самых простых протоколов маршрутизации. Применяется в небольших компьютерных сетях, позволяет маршрутизаторам динамически обновлять маршрутную информацию (направление и дальность в хопах), получая ее от соседних маршрутизаторов.

Протокол IGRP (англ. *Interior Gateway Routing Protocol*) — протокол маршрутизации, разработанный фирмой Cisco, для своих многопротокольных маршрутизаторов в середине 1980-х годов для маршрутизации в пределах автономной системы (AS), имеющей сложную топологию и разные характеристики полосы пропускания и задержки. IGRP является протоколом внутренних роутеров (IGP) с вектором расстояния.

OSPF(англ. *Open Shortest Path First*) — протокол динамической маршрутизации, основанный на технологии отслеживания состояния канала (link-state technology) и использующий для нахождения кратчайшего пути алгоритм Дейкстры.

Протокол маршрутизации промежуточных систем (англ. *IS-IS*) — это протокол внутренних шлюзов (IGP), стандартизированный ISO и использующийся в основном в крупных сетях провайдеров услуг. IS-IS может также использоваться в корпоративных сетях особо крупного масштаба. IS-IS — это протокол маршрутизации на основе состояния каналов. Он обеспечивает быструю сходимость и отличную масштабируемость. Как и все протоколы на основе состояния каналов, IS-IS очень экономно использует пропускную способность сетей.

Основные принципы работы дистанционно-векторных протоколов и протоколов состояния каналов связи.

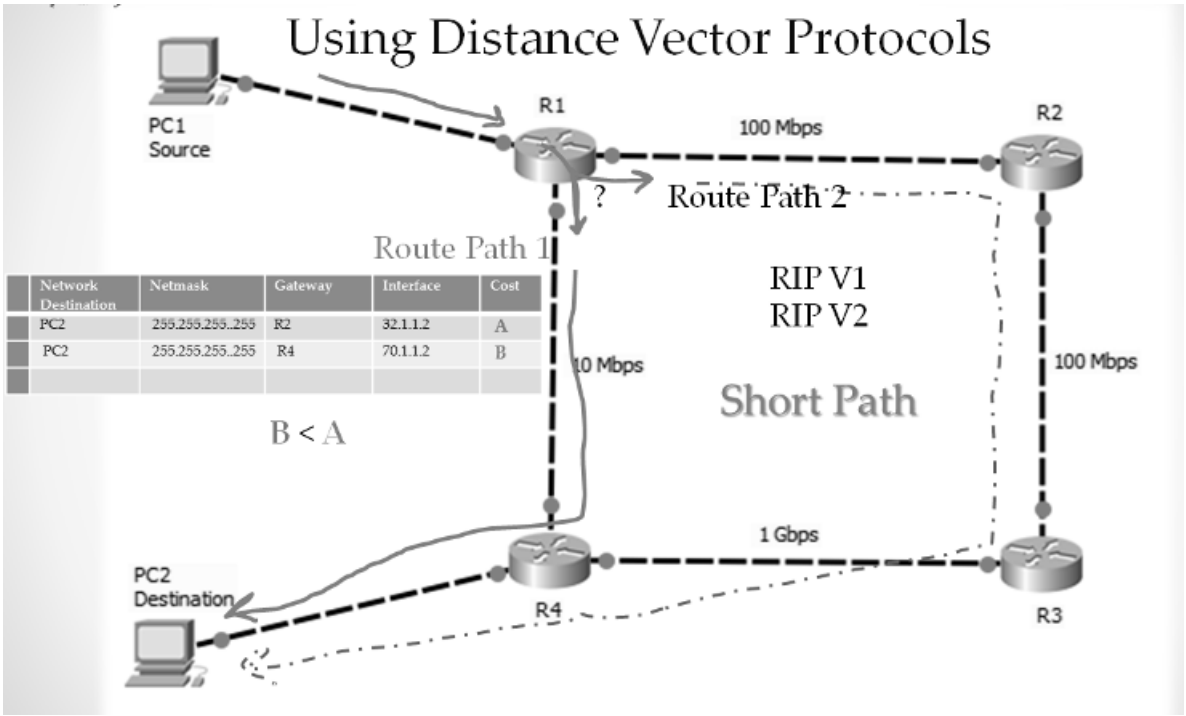


Рис.2. Выбор маршрута с использованием дистанционно-векторных протоколов

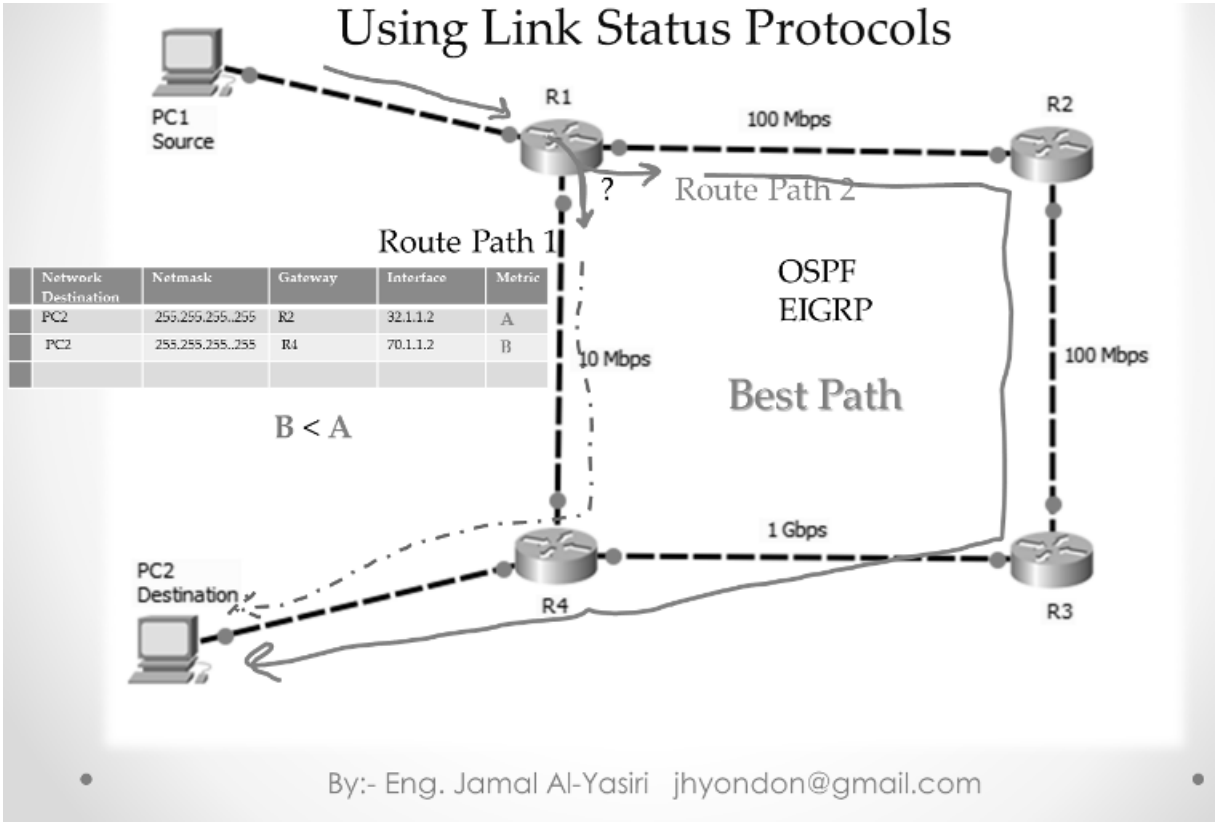


Рис.3. Выбор маршрута с использованием протоколов состояния каналов связи

Практическая часть.

Порядок работы с помощью использования программного обеспечения (ПО) Packet Tracer.

1- Подключенный протокол.

На Рис.4 показаны два компьютера PC0 и PC1 и один маршрутизатор router0 на которых подченный протокол.

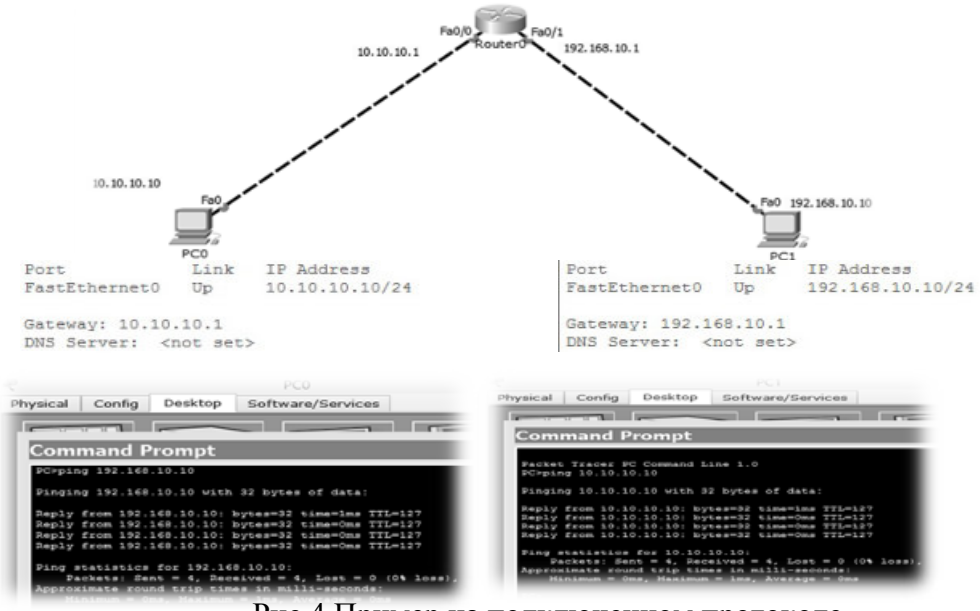


Рис.4 Пример на подключенном протоколе

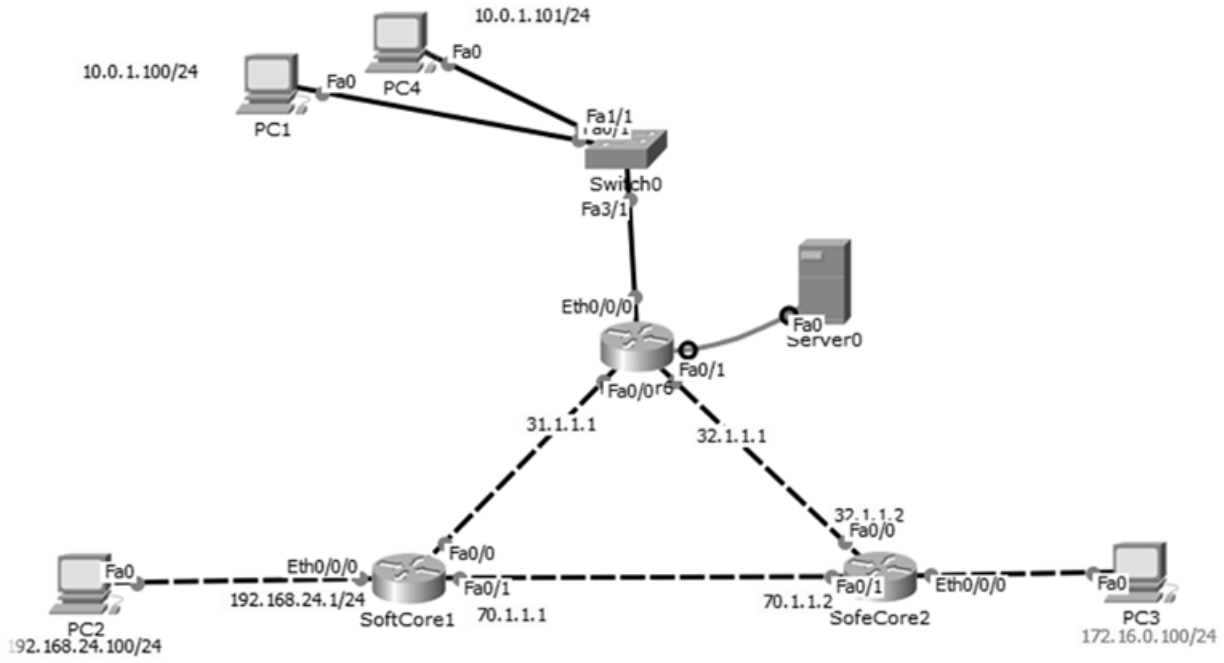
Рис. 5 , Таблица.1 и Таблица.2 показывают информацию о рабочей сети, которую мы будем использовать в следующих экспериментах.

Таблица.1 Работающие сетевые маршрутизаторы

№	Называния устройсво	Тип устройсво	Называния порта	IP-address	Mask
1	R1	Маршрутизатор.	E0/0	10.0.1.1	255.255.255.0
			F0/0	31.1.1.1	255.255.255.0
			F0/1	32.1.1.1	255.255.255.0
2	R2	Маршрутизатор.	E0/0	192.168.24.1	255.255.255.0
			F0/0	31.1.1.2	255.255.255.0
			F0/1	70.1.1.1	255.255.255.0
3	R3	Маршрутизатор.	E0/0	31.1.12	255.255.255.0
			F0/0	70.1.12	255.255.255.0
			F0/1	172.16.0.1	255.255.255.0

Таблица.2 Работающие сетевые персональные компьютеры

№	Называния устройсво	Тип устройсво	Сетевой шлюз	IP-address	Mask
4	PC	персональный компьютер	10.0.1.1	10.0.1.100	255.255.255.0
5	PC4	персональный компьютер	10.0.1.1	10.0.1.101	255.255.255.0
6	PC2	персональный компьютер	192.168.24.100	192.168.24.100	255.255.255.0
7	PC3	персональный компьютер	172.16.0.100	172.16.0.100	255.255.255.0



2- Настройки маршрутизаторов по статическому протоколу.

После того, что мы выполнили требуемую конфигурацию и определили статический маршрут на каждом маршрутизаторе , как показано на Рис.6, Рис.7, Рис.8 таблица маршрутизации схемы для R1, R2, R3 соответственно . Результат команды ping с каждого компьютера показывает, что протокол статической маршрутизации работает правильно как на Рис.9, Рис.10, Рис.11.

Рис.12 показывает информацию R1 таблицы маршрутизации.

Network Destination	Netmask	Gateway	Interface
172.16.0.0	255.255.255.0	32.1.1.2	32.1.1.1
192.168.24.0	255.255.255.0	31.1.1.2	31.1.1.1

Рис.6. R1 Таблица маршрутизации схемы

Network Destination	Netmask	Gateway	Interface
10.0.1.0	255.255.255.0	31.1.1.1	31.1.1.2
172.16.0.0	255.255.255.0	70.1.1.2	70.1.1.1

Рис.7. R2 Таблица маршрутизации схемы

Network Destination	Netmask	Gateway	Interface
10.0.1.0	255.255.255.0	32.1.1.1	32.1.1.2
192.168.24.0	255.255.255.0	70.1.1.1	70.1.1.2

Рис.8. R3 Таблица маршрутизации

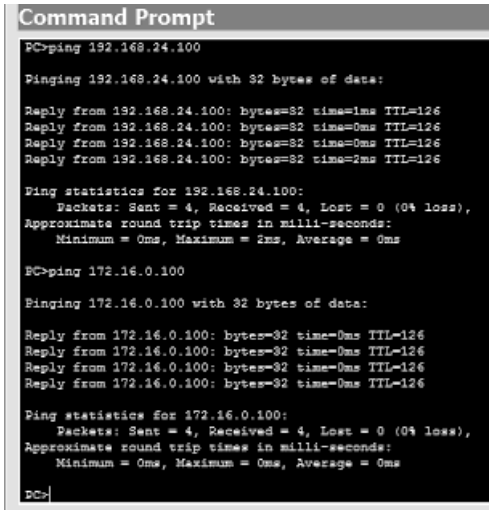


Рис.9. Пинг с PC1 в PC2 и PC3

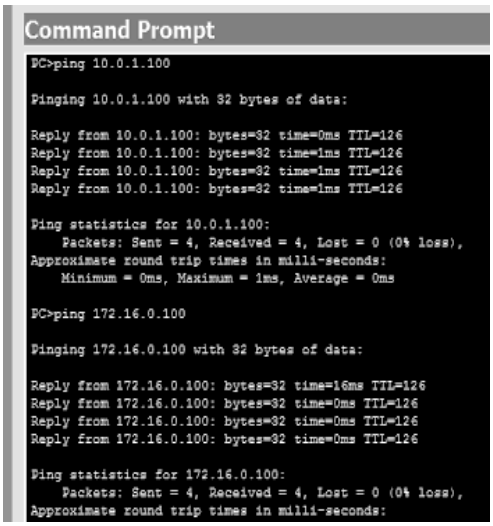


Рис.10. Пинг с PC2 в PC1 и PC3

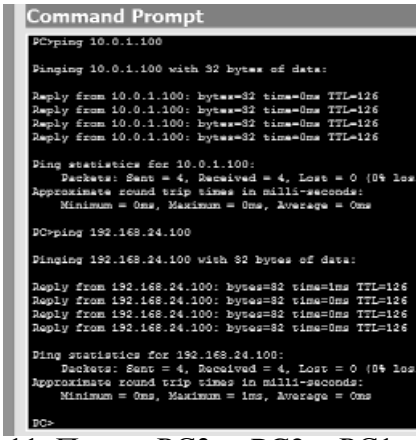


Рис.11. Пинг с PC3 в PC2 и PC1

```
R1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

     10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       10.0.1.0 is directly connected, FastEthernet2/0
     31.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       31.1.1.0 is directly connected, GigabitEthernet0/0
     32.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       32.1.1.0 is directly connected, GigabitEthernet1/0
     172.16.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
S       172.16.0.0 [1/0] via 32.1.1.2
S    192.168.24.0/24 [1/0] via 31.1.1.2
R1#
```

Рис.12. информацию R1 таблицы Маршрутизации

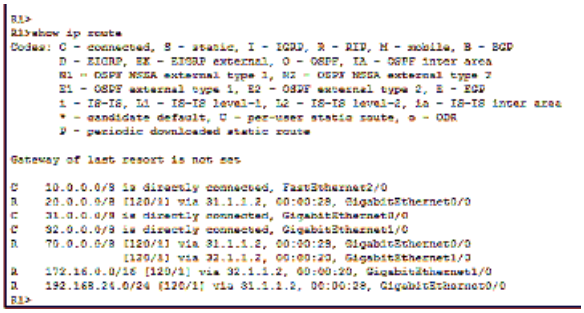
3- Протоколы динамические маршрутизации.

3.1- Настройки маршрутизаторов по протоколу RIP 1

После того, что мы выполнили требуемую конфигурацию, чтобы получить RIP1 протокол на каждом маршрутизаторе . Результат команды ping с каждого компьютера показывает, что протокол RIP 1 работает правильно.

Рис.13 показывают информацию таблицы маршрутизации в R1 .

Отслеживание маршрута пакета от исходного компьютера до конечного компьютера, как на Рис.14 ,доказывает, что RIP использует короткий путь, как в теории .



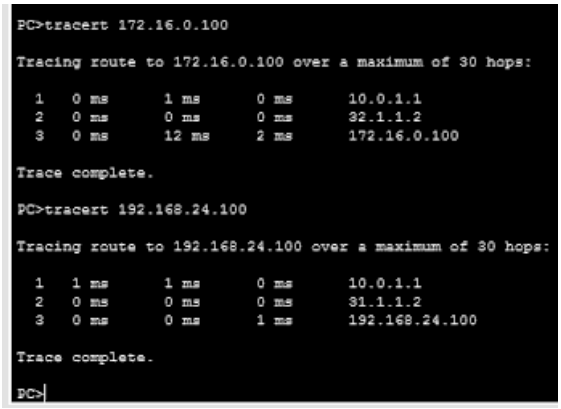


Рис.13. информацая R1 таблицы Маршрутизации

Рис.14. Трассируя маршрут пакета от PC1 в PC2 и PC3

3.2- **Настройки маршрутизаторов по протоколу OSPF**

После того, что мы выполнили требуемую конфигурацию, чтобы получить OSPF протокол на каждом маршрутизаторе . Результат команды ping каждого компьютера, показывает, что протокол OSPF работает правильно.

Отслеживание маршрута пакета от исходного компьютера до конечного компьютера, доказывает, что OSPF использует лучший путь, как в теории.Отключение любого пути заставляет маршрутизатор повторно вычислить его маршрутизацию. В качестве примера, путь R1-R3 обновляет путь от PC1 до PC3 по новому маршруту, как Рис.15. и Рис.16 показывают решение динамического алгоритма .

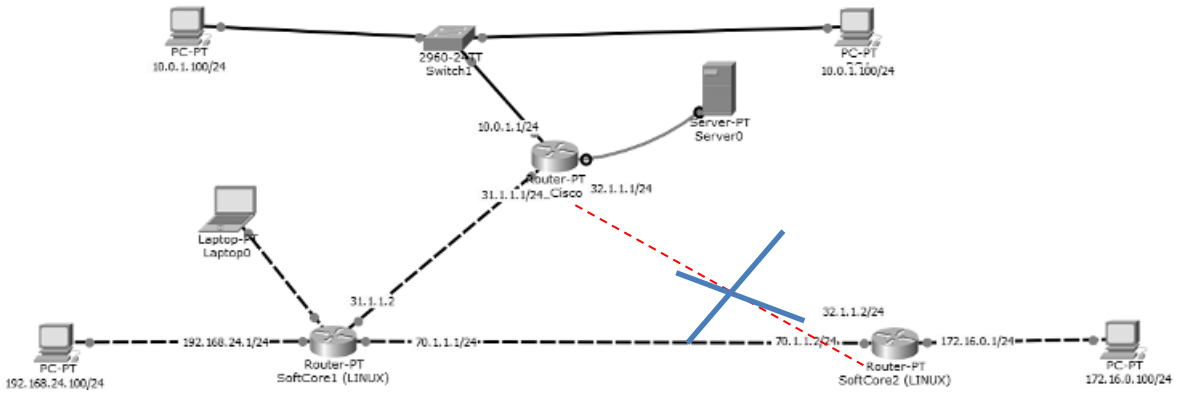
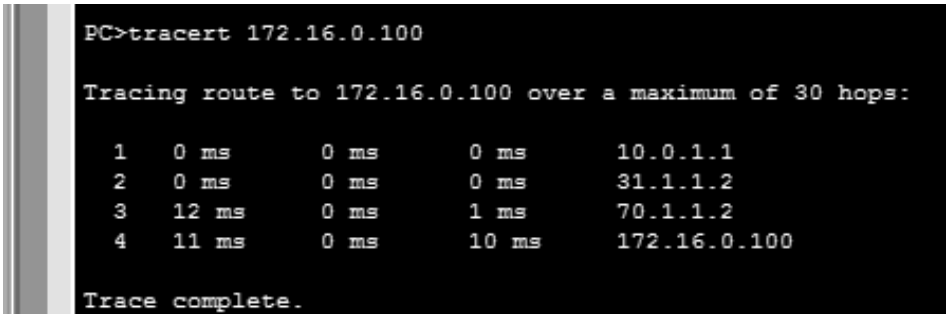


Рис.15. Отключение прямого маршрута между R1 и R3



ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Рассмотрены различные протоколы маршрутизации с анализом влияния их алгоритмов и структурных параметров на основные сетевые характеристики, такие как время доведения пакетов и пропускная способность сети .По результатам анализа сетевых моделей представлены функциональные зависимости, иллюстрирующие сильные и слабые стороны различных протоколов. Практическим результатом работы является, также, разработка методических указаний к лабораторной работе «Изучение протоколов маршрутизации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cisco Systems. Руководство Cisco по междоменной многоадресатной маршрутизации = Interdomain Multicast Solutions Guide. — М.: «Вильямс», 2004. — С. 320.
2. -Moy, J. (April 1998). "OSPF Version 2". The Internet Society. OSPFv2. Retrieved 2007-09-28.
3. *Malkin, Gary Scott (2000).* RIP: An Intra-Domain Routing Protocol. *Addison-Wesley Longman*
4. RFC 1058, *Routing Information Protocol*, C. Hendrik, The Internet Society (June 1988)
5. http://www.ciscopress.com/store/is-is-network-design-solutions-9781578702206

У.Б. Амирсаидов

МЕТОД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ В ОБЛАЧНЫХ IMS

Ташкентский университет информационных технологий, Ташкент, Узбекистан

Ключевые слова: мультимедийная конвергенция, уровень управления сеансами, виртуализация сетевых функций, балансировка нагрузки, индекс сбалансированности.

В статье рассмотрены функциональная структура NGN/IMS, методы распределения потоков в облачных IMS, предложен метод распределения потоков с учетом трудоемкости сценариев установления соединения, проведен сравнительный анализ эффективности методов распределения потоков по критерию индекса сбалансированности.

U. Amirsaidov

METHOD FOR FLOW DISTRIBUTION IN CLOUD-BASED IMS

Tashkent University of information technologies, Tashkent, Uzbekistan

Key words: multimedia convergence, session control level, virtualization of network functions, load balancing, balancing index.

The paper considers the functional structure of NGN/IMS and methods for distribution of flows in cloud based IMS. The method is proposed for distributing flows with taking into account the complexity of connection establishment scenarios, and comparative analysis is provided for the efficiency of flow distribution methods by the criterion of balancing index.

Введение

Изменения, происходящие в последнее время в телекоммуникационной индустрии и сфере услуг инфокоммуникаций, свидетельствуют о дальнейшей мультимедийной конвергенции, когда в качестве конвергентной платформы следующего поколения используется IMS - IP Multimedia Subsystem - технология передачи мультимедийного содержимого на основе протокола IP.

Функциональная схема сети NGN/IMS включает в себя: транспортный уровень, реализующий функции доступа на различных технологиях; уровень управления сеансами связи, включающий в себя функциональные модули управления вызовами CSCF (Call Session Control Function) и базу данных абонентов HSS (Home Subscriber Server); уровень приложений, включающий в себя серверы приложений AS (Application Server). В состав модуля CSCF включены три уровня (функции) [1]:

1. Proxy CSCF (P-CSCF): уровень взаимодействия с сетью – посредник для взаимодействия с абонентскими терминалами. Основные задачи – аутентификация абонента и формирование учетной записи.
2. Interrogating CSCF (I-CSCF): уровень коммутации – посредник для взаимодействия с внешними сетями. Основные задачи–определение привилегий внешнего абонента по доступу к услугам, выбор соответствующего сервера приложений и обеспечение доступа к нему.
3. Serving CSCF (S-CSCF): уровень реализации услуг– центральный элемент сети IMS, обрабатывает все SIP-сообщения, которыми обмениваются оконечные устройства.

Перспективы рынка IMS связаны с такими концепциями, как виртуализация сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV) и программно-определяемые сети (Software Defined Network, SDN), и практически каждый крупный поставщик оборудования IMS имеет в своем продуктовом портфеле соответствующие решения. В основе решений при реализации функций виртуализации лежат технологии облачных вычислений на основе модели обеспечения повсеместного сетевого доступа по требованию к общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов, которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами.

В облачных IMS рассматривается задача балансировки нагрузки, которая заключается в распределении входящего потока между локальными серверами на основе

имеющихся данных о загрузке ресурсов сервера, тем самым уменьшая вероятность того, что перегрузка произойдет на одном из серверов.

Современные алгоритмы распределения потоков можно разделить на два типа: статистические и динамические алгоритмы [2]. Статистические алгоритмы просты в реализации, например, случайное распределение нагрузки Random, круговая балансировка нагрузки Round Robin и взвешенное распределение нагрузки Weighted Round Robin. Динамические алгоритмы используют информацию о текущем состоянии системы или узла на основе различных метрик, чтобы определить способ распределения нагрузки. Информация о состоянии системы является важным элементом работы динамического алгоритма. Существуют различные методы сбора данных о загруженности системы и построения характеристик загруженности. Загруженность сервера может определяться, например, как доля процессорного времени, затраченная на обработку запроса, как количество запросов в очереди сервера, либо как вероятность обнаружить сервер занятым обработкой запроса в какой-либо момент времени [3].

Алгоритм балансировки Round Robin (RR). Когда приходит новый запрос на установление сессии, SIP-балансировщик выбирает следующую запись IP-адреса для конкретного сервера SIP, которая хранится в системе доменных имен (DNS). Если предыдущий вызов был отправлен на сервер M, то следующий вызов будет направлен на $(M+1) mod\, N$ сервер, где N – число серверов в кластере. Этот метод является неэффективным, когда все серверы не имеют равную производительность ресурсов.

Алгоритм балансировки RWMA. Алгоритм RWMA (Response-time Weighted Moving Average) направляет вызов на сервер, который имеет самое маленькое значение взвешенного скользящего среднего времени отклика сервера для последних n расчетов времени отклика. Формула для вычисления отклика RWMA измеряет нагрузку через определенные интервалы времени, последние значения исходной функции более значимы, чем предыдущие, причем функция значимости линейно убывающая. Однако алгоритм может неправильно среагировать на увеличение нагрузки, если самые последние измерения времени отклика аномальны.

Алгоритм балансировки Least Queue. Динамический алгоритм с обратной связью: заявка будет направлена тому серверу, очереди к которому в данный момент ожидает наименьшее число заявок.

Алгоритм балансировки нагрузки Least Load. Динамический алгоритм с обратной связью: заявка направляется на тот сервер, который менее всего загружен. Величина загруженности сервера определяется, например, по времени соединения с сервером.

Рассмотренные методы балансировки нагрузки не учитывают особенностей создания сессий по протоколу SIP. В связи с этим, задача выбора оптимального метода балансировки нагрузки между серверами кластера SIP является актуальной.

В работе [2] предложен метод балансировки нагрузки с учетом транзакций (INVITE, BYE, ACK, OK и другие сигнальные сообщения) SIP. В данном методе алгоритм направляет вызов на сервер с наименьшим количеством активных работ, которые на данный момент еще не завершены. Метод балансировки нагрузки по числу активных транзакций подсчитывает количество запросов, которые относятся и обслуживаются на конкретном сервере в кластере. Для этого предложено ввести вес для каждой транзакции, который учитывался бы при подсчете числа транзакций на сервере балансировки нагрузки: анализируя заголовок входящего запроса, сервер присваивает этому запросу вес

и увеличивает свое содержимое на значение этого веса. Новые вызовы направляются на сервер с наименьшим значением счетчика транзакций. Недостатком метода является то, что транзакциям присваиваются веса субъективно.

Целью данной работы является устранение вышеуказанных недостатков существующих методов распределения потоков.

Метод распределения потоков с учетом трудоемкости процедур установления соединения

В данной работе предлагается метод управления потоками с учетом трудоемкости различных процедур установления соединения. Мерой трудоемкости может служить количество обращений к серверам IMS при установлении соединения определенного типа. На основе анализа функционирования IMS определены трудоемкости различных процедур установления соединения и сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Трудоемкости запросов на установление соединения

№	Процедура установления соединения	Трудоемкость
1	Перерегистрация (*rereg*)	9
2	Регистрация (*reg*)	18
3	Установление соединения *sip-sip*	45
4	Установление соединения *sip-pstn*	66
5	Предоставление услуг *(iptv)*	16

В системе имеются один сервер балансировки нагрузки и *N* виртуальных серверов (IMS-VM) для обслуживания запросов на установление соединения. В каждом виртуальном сервере IMS-VM имеется счетчик трудоемкости запросов. При поступлении на сервер IMS-VM запроса INVITE, например, на установление соединения *sip-sip*, счетчик трудоемкости данного сервера увеличивается на 45. После обслуживания данного запроса счетчик данного сервера уменьшается на 45. Сервер балансировки направляет запросы на виртуальный сервер IMS-VM с наименьшим значением счетчика трудоемкости.

Критерием эффективности методов распределения потоков является среднее квадратичное отклонение (индекс сбалансированности) загруженностей серверов:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\rho_i - \bar{\rho})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где: n – общее количество серверов;

ρ_i- загрузка сервера i и $\bar{\rho} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\rho_i$– среднее арифметическое загрузки серверов.

Исследование методов распределения потоков с помощью имитационного моделирования в среде AnyLogic

Для оценки индекса сбалансированности серверов проводится имитационное моделирование кластерной системы IMS в среде AnyLogic [4]. Пример структуры облачной системы IMS показан на рисунке 1.

Структура имитационной модели приведена на рисунке 2.

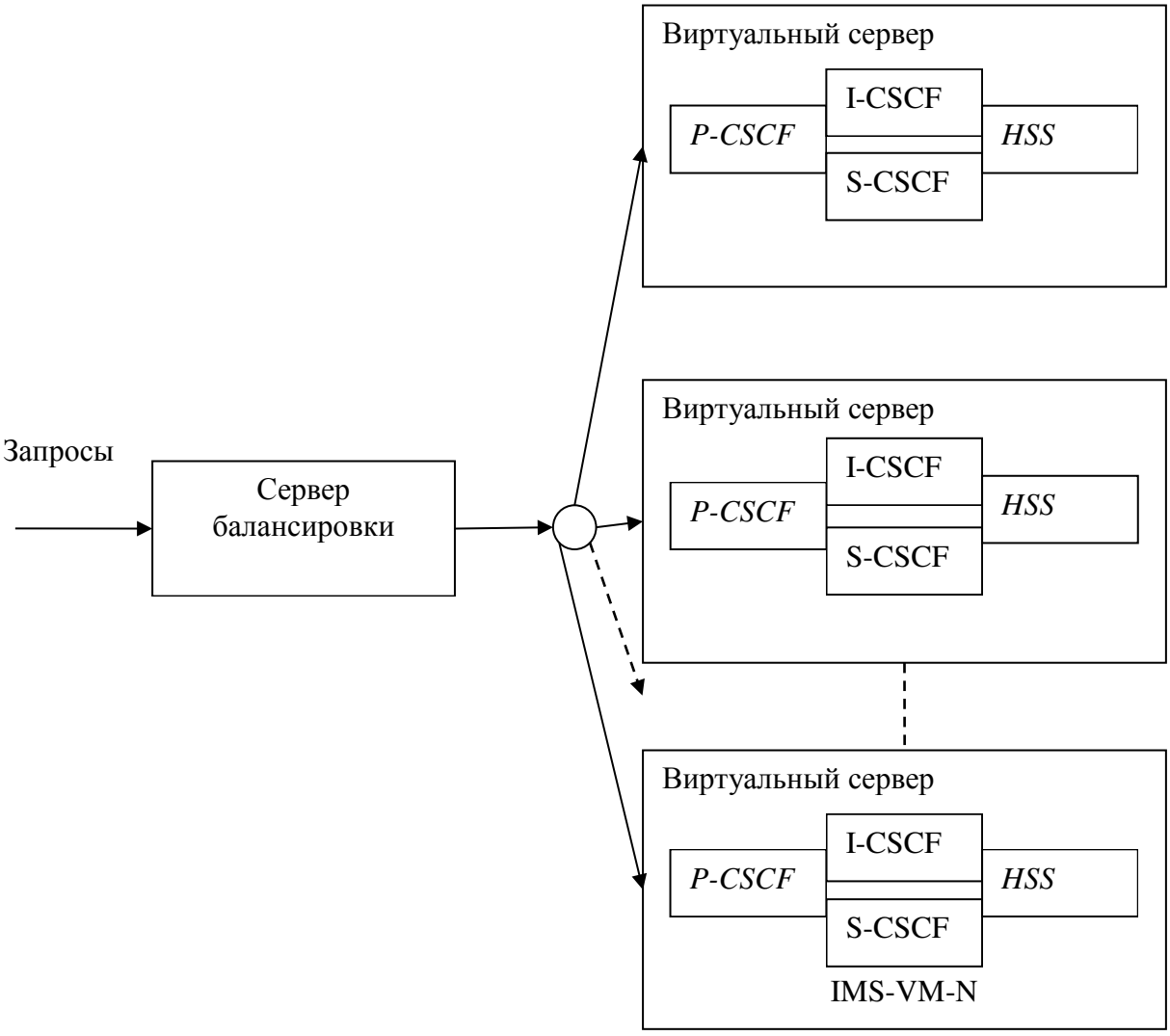


Рис. 1. Структура облачной системы IMS

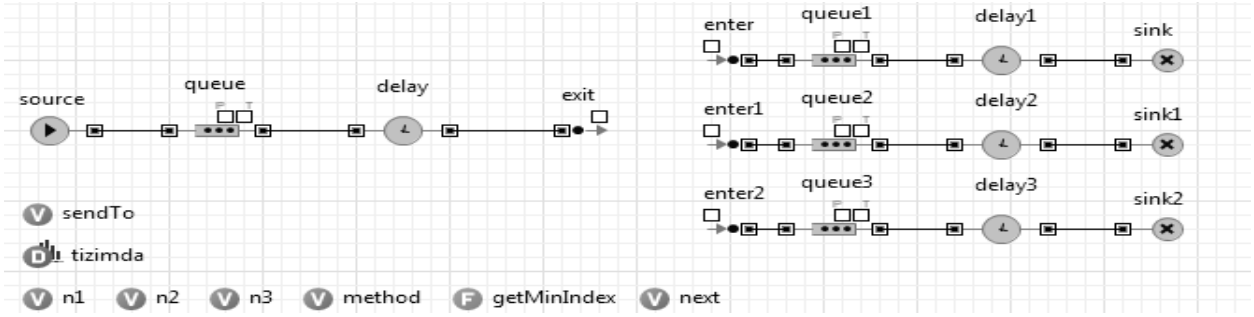
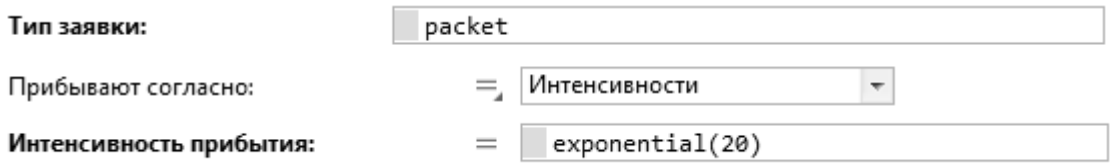


Рис.2. Структура имитационной модели

Сервер балансировки и виртуальные сервера IMS представлены как системы массового обслуживания. При этом Source генерирует экспоненциальный поток запросов (заявок):

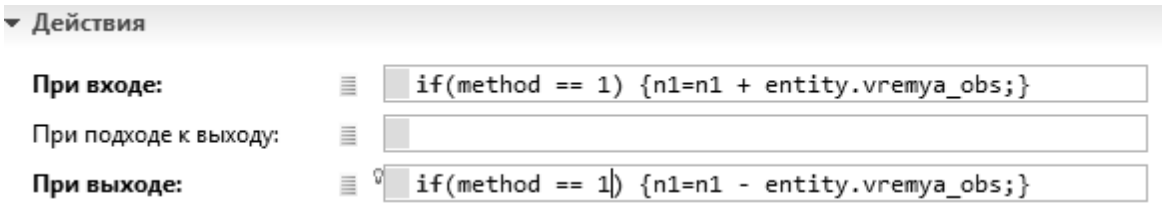


Каждый тип запроса на установление соединения появляется с определенной вероятностью и имеет трудоемкость, указанную в таблице 1. Эти данные записываются в соответствующие поля заявки:

```
double rand = Math.random();
if(rand <= 0.714) {
    entity.set_tip("rereg");
    entity.set_vremya_obs(9);
} else if(rand > 0.714 && rand <= 0.893) {
    entity.set_tip("reg");
    entity.set_vremya_obs(18);
} else if(rand > 0.893 && rand <= 0.943) {
    entity.set_tip("sip");
    entity.set_vremya_obs(45);
} else if(rand > 0.943 && rand <= 0.976) {
    entity.set_tip("pstn");
    entity.set_vremya_obs(66);
} else if(rand > 0.976 && rand < 1) {
    entity.set_tip("iptv");
    entity.set_vremya_obs(16);
}
```

Поток запросов обслуживается в устройстве delay. Механизм распределения потока запросов по виртуальным серверам реализуется в блоке exit. В модели реализованы три метода распределения потоков. Предложенный метод распределения потоков с учетом трудоемкости запросов обозначен как первый метод (method-1), циклическое распределение запросов – второй метод (method-2) и распределение потоков с учетом длины очереди – третий метод (method-3).

В первом методе в каждом сервере имеется счетчик трудоемкости запросов:



Для реализации первого метода создана функция getMinIndex. Функция getMinIndex на основе сравнения значений счетчиков трудоемкости запросов (n1, n2 и n3) трех виртуальных серверов определяет номер сервера с наименьшим значением счетчика трудоемкости. Далее на вход этого сервера направляется очередной запрос.

getMinIndex - Функция

```
double[] ns = {n1, n2, n3};
int min_index = 0;
boolean is_changed = false;
double min_val = ns[0];
for(int i = 1; i < ns.length; i++) {
    if(ns[i] < min_val) {
        min_val = ns[i];
        min_index = i;
        is_changed = true;
    }
}
if(is_changed == false) {
    switch (next) {
        case -1:
            next = 0;
            min_index = 0;
            break;
        case 2:
            next = 0;
            min_index = 0;
            break;
        case 0:
            next = 1;
            min_index = 1;
            break;
        case 1:
            next = 2;
            min_index = 2;
            break;
    }
}
return min_index;
```

Во втором методе в циклическом порядке запросы направляются на виртуальные сервера:

```
switch (sendTo) {
    case 1:
        enter.take(entity);
        sendTo = 2;
        break;
    case 2:
        enter1.take(entity);
        sendTo = 3;
        break;
    case 3:
        enter2.take(entity);
        sendTo = 1;
        break;
}
break;
```

Программный код третьего метода распределения запросов с учетом длины очереди приведен на скриншоте:

```
double q1 = queue1.size();
double q2 = queue2.size();
double q3 = queue3.size();
if(q1 <= q2 && q1 <= q3) {
    enter.take(entity);
} else if(q2 <= q1 && q2 <= q3) {
    enter1.take(entity);
} else if(q3 <= q1 && q3 <= q2) {
    enter2.take(entity);
} else {
    enter.take(entity);
}
break;
```

Результаты имитационного моделирования

Результаты имитационного моделирования для первого метода приведены на рисунке 3, где с помощью диаграммы показаны значения загрузок (item) виртуальных серверов.

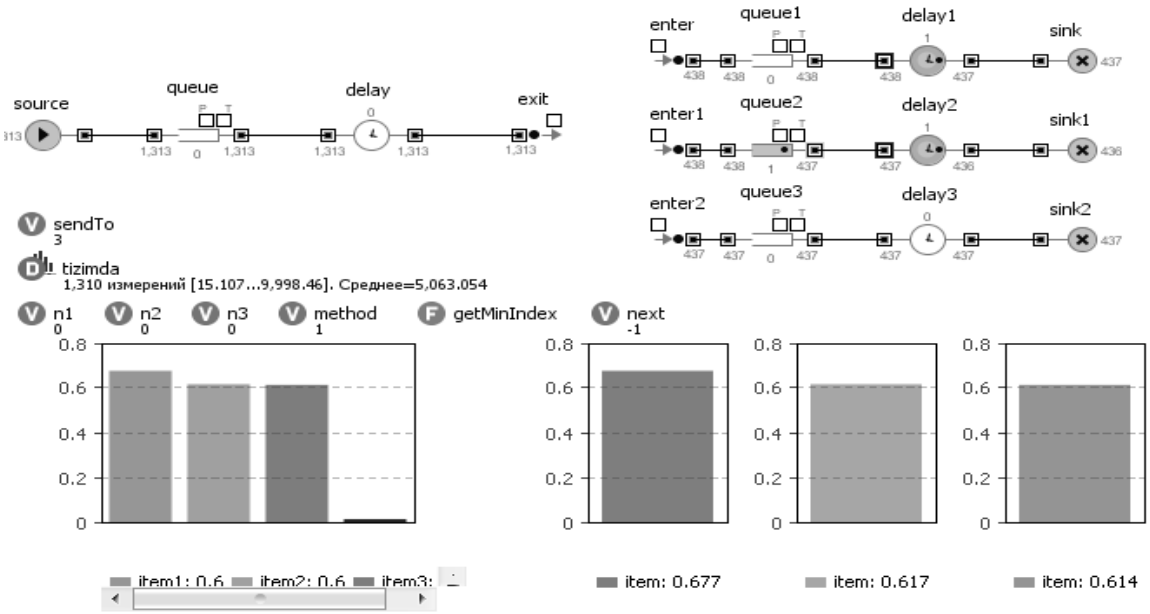


Рис.3. Результаты имитационного моделирования для первого метода

Результаты имитационного моделирования для второго и третьего методов приведены на рисунках 4 и 5 соответственно.

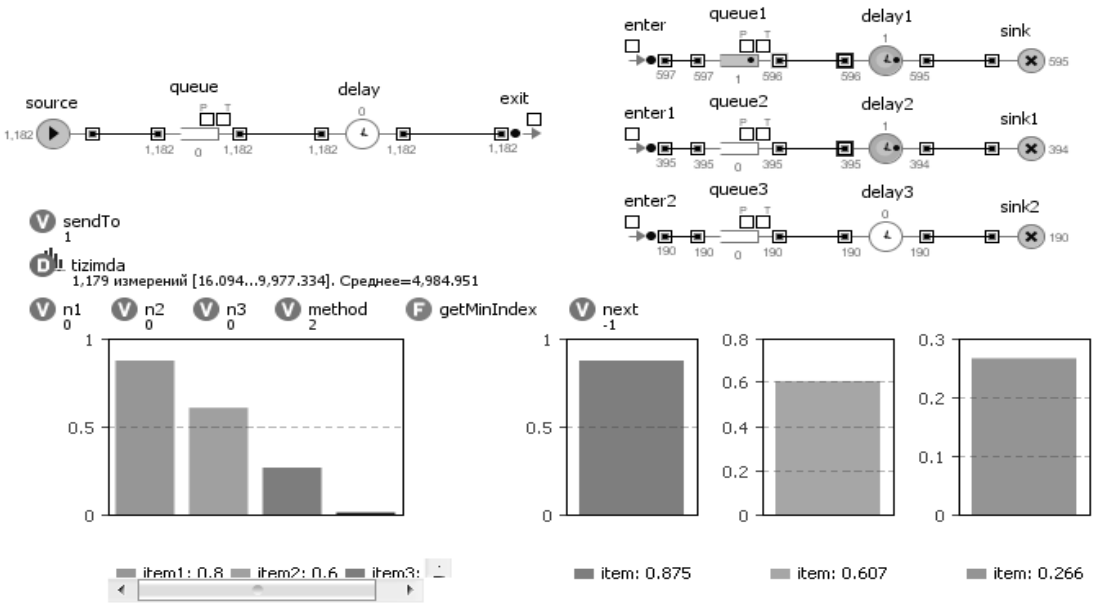


Рис.4. Результаты имитационного моделирования для второго метода

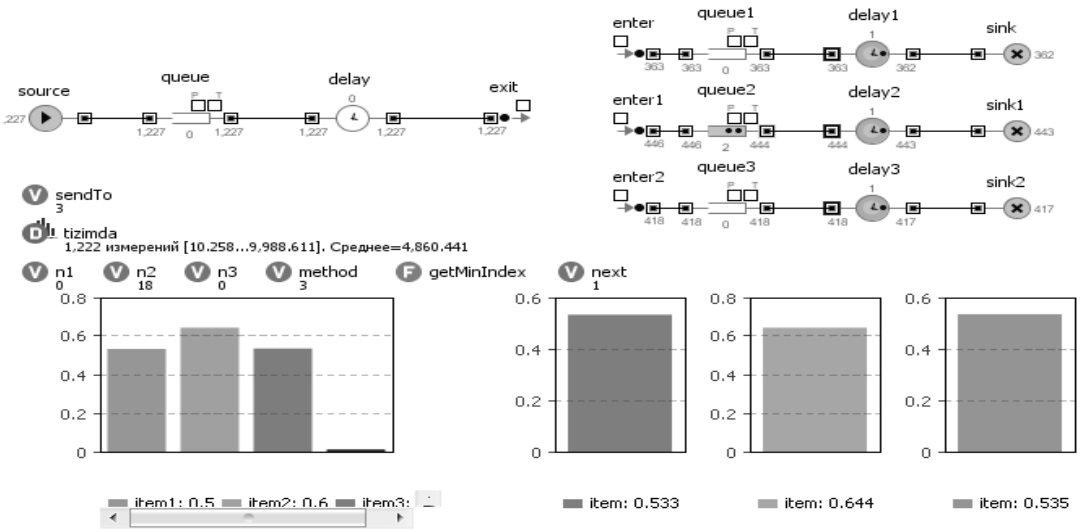


Рис.5. Результаты имитационного моделирования для третьего метода

На основе результатов имитационного моделирования с помощью формулы (1) рассчитаны индексы сбалансированности серверов при рассмотренных методах распределения запросов и сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Эффективность методов распределения потоков

№	Метод распределения потоков	Индекс сбалансированности серверов
1	Метод распределения с учетом трудоемкости запросов	0.000969
2	Циклический метод распределения	0.0916
3	Метод распределения с учетом длины очереди	0.00403

Заключение

В целях балансировки нагрузки в облачных системах IMS исследованы методы распределения потоков. Предложенный метод распределения потоков с учетом трудоемкости процедур установления соединения имеет наименьший индекс сбалансированности и поэтому эффективнее по сравнению с широко распространенными методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яновский Г.Г.* IP Multimedia Subsystem: принципы, стандарты и архитектура. // Вестник связи. - 2006, №3, с.71-76.
2. *Кузьминых Е.Д.* Анализ методов балансировки нагрузки в кластере SIP-серверов. // Электронное научное специализированное издание – журнал Проблемы телекоммуникаций. - 2014, №2, с.67-75.
3. *Хританков А.С.* Модели и алгоритмы распределения нагрузки.// Информационные технологии и вычислительные системы.- 2009, №3, с.33-48.

4. *Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П.* Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования.- СПб.: ВАС, 2011.- 348 с.

А.М. Бабычев, Н.В. Будылдина

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ В МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА САМОПОДОБИЯ

Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: Самоподбный трафик, случайны процесс, стохастические фрактальные процессы, коэффициент Херста, трафик.

Последние исследования свойств информационных потоков в мультисервисных телекоммуникационных системах показали, что использование моделей самоподобных процессов (самоподобных потоков) позволяет более точно описывать трафик, передаваемый в данных системах.

В статье рассмотрены основные свойства самоподобных процессов и моделирование индивидуальных источников трафика в мультисервисной телекоммуникационной сети.

A.M. Babychev, N.V. Budyldina

METHODOLOGY FOR DETERMINING PARAMETERS OF FLOWS OF MULTI-SERVICE TELECOMMUNICATION NETWORK WITH REGARD TO THE EFFECT OF SELF-DESIGN

Federal Communications Agency Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: Self-sampling traffic, random process, stochastic fractal processes, Hurst coefficient, traffic.

Recent studies of the properties of information flows in multiservice telecommunications systems have shown that the use of models of self-similar processes (self-similar flows) allows more accurate description of traffic transmitted in these systems.

The article considers the main properties of self-similar processes and the modeling of individual traffic sources in a multiservice telecommunications network.

Определения и основные свойства самоподобных процессов.

Современные исследования трафика, передаваемого в телекоммуникационных системах, показывают, что его статистические характеристики отличаются от тех, которые приняты в классической теории телетрафика. Использование представления о том, что объединение большого числа потоков от независимых источников информации приводит к получению процесса, описываемого пуассоновским потоком, не соответствует истине. Это приводит к тому, что использование традиционных методов расчета параметров телекоммуникационных систем и их вероятностно–временных характеристик, основанных на пуассоновских моделях и формулах Эрланга, дает неоправданно оптимистические результаты, приводящие к недооценке нагрузки.

Самоподобие случайного процесса выражается в точном либо частичном повторении свойств данного процесса при рассмотрении его в различных временных масштабах.

Фрактальность – это свойство присущее самоподобным процессам. Фракталом называют математическую структуру, любая часть которой подобна целому.

С математической точки зрения фрактальный объект, прежде всего, обладает дробной (нецелой) размерностью.

Основных факторов возникновения свойства самоподобия в трафике мультисервисных сетях может быть несколько. Например:

- поведение пользователя (канальный и интернет-серфинг, одновременная загрузка нескольких мультимедийных файлов);
- объединение трафика на различных сетевых уровнях;
- масштабирование и переконфигурация сети;
- автокорреляции, существующие в непуассоновском трафике в различных масштабах времени[3].

Стохастические фрактальные процессы характеризуются набором параметров, взаимосвязь [4] между которыми представлена на рисунке 1.

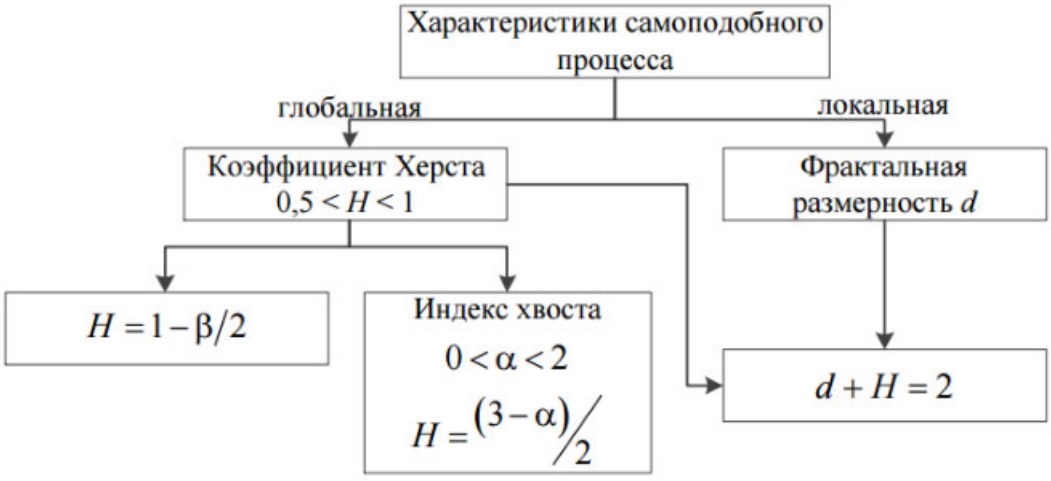


Рисунок 1 – Связь между параметрами самоподобного процесса

С математической точки зрения фрактальный объект, прежде всего, обладает дробной размерностью, которая определяется в виде $d = (logN)/(log\frac{1}{r})$, где N – количество равных частей, на которые нужно разбить объект, а каждая часть будет уменьшенной копией целого в $\frac{1}{r}$ раз. Фрактальная размерность может рассматриваться как мера неровности изрезанной поверхности объекта $d \in [n, n+1)$ в n – мерном пространстве, причем более неровные, «шероховатые» поверхности соответствуют более высоким значениям d .

Дадим определение и рассмотрим основные свойства самоподобных процессов, которые в дальнейшем используются в данной статье при изложении методики [5]. Процесс $\zeta(t)$ является точно самоподобным второго порядка с параметром Херста H (0,5 <H< 1), если

$$R(k) = \frac{\sigma^2}{2}[(k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}] \; \forall k \geq 1. \quad (1)$$

где $R(k)$ и σ^2 — корреляционная функция и дисперсия процесса $\zeta(t)$ соответственно.

Процесс ζ(t) является асимптотически самоподобным второго порядка с параметром Херста H (0,5<H<1), если

$$\lim_{m\to\infty} R^{(m)}(k) = \frac{\sigma^2}{2}[(k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}] \; \forall k \geq 1. \quad (2)$$

где $R^{(m)}(k)$ m и σ^2 — корреляционная функция агрегированного процесса $\zeta^{(m)}(t)$.

Самоподобность второго порядка означает, что корреляционная структура точно (условие (1)) или асимптотически (условие (2)) сохраняется при агрегировании временного ряда. Самоподобие второго порядка (точное или асимптотическое) является основной структурой для моделирования трафика в сети.

Процесс $\xi(t)$, $t \in Y$ является самоподобным с параметром Херста H (0,5<H<1), если для любого $a>0$ и $t \geq 0$,

$$\xi(t)^d = a^{-H}\xi(at) \quad (3)$$

Таким образом, процесс $\xi(t)$ и его масштабированная версия $\xi(at)$ после нормализации на коэффициент a^{-H} – должны иметь идентичные распределения.

Процесс $\zeta(t)$ дискретного времени $t \in '$ является точно самоподобным с параметром Херста H (0,5<H<1), если

$$\xi(t)^d = m^{1-H}\xi^{(m)}(t), \forall m \geq 0 \quad (4)$$

Процесс $\zeta(t)$ дискретного времени $t \in '$ является асимптотически самоподобным с параметром Херста H (0,5<H<1), если

$$\xi(t)^d = m^{1-H}\xi^{(m)}(t), m \to \infty \quad (5)$$

Дополнительно к рассмотренной выше статистической подобности при масштабировании эти процессы обладают другими количественными свойствами. Самоподобные процессы можно обнаружить по следующим равноценным признакам:

- медленно затухающая дисперсия;
- наличие долговременных зависимостей;
- наличие распределения с тяжелыми хвостами.

Свойство медленно затухающей дисперсии заключается в том, что дисперсия выборочного среднего затухает медленнее, чем величина, обратная размеру выборки, т.е.

$$D(\xi^{(m)}(t)) = \sigma^2 m^{(2H-2)}, m \to \infty \quad (6)$$

в то время как для традиционных случайных процессов $D(\xi^{(m)}(t)) = \sigma^2 m^{-1}$ т.е. уменьшается обратно пропорционально объему выборки. Наличие долговременной зависимости заключается в том, что самоподобный процесс обладает гиперболически затухающей корреляционной функцией

$$R(k) \cong k^{(2H-2)} L(k), k \to \infty \quad (7)$$

где L(k) – медленно меняющаяся функция на бесконечности (т.е.$\lim_{k\to\infty} \frac{L(kx)}{L(k)} =$ 1для всех $x>0$).

Свойство наличия распределения с тяжелым хвостом заключается в том, что случайная величина ξ имеет распределение с тяжелым хвостом, если

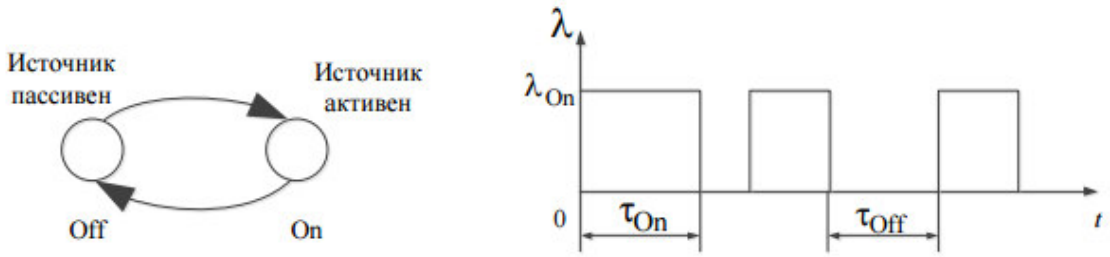
$$P[\xi > x] \sim c \times x^{-a}, x \to \infty \quad (8)$$

где $0<a<2$, и называется параметром формы, c – некоторая положительная константа, в отличие от распределений с легкими хвостами, такими как экспоненциальное или гауссовское, которые имеют экспоненциальное убывание хвоста.

Моделирование индивидуальных источников трафика в мультисервисной телекоммуникационной сети.

Для описания потока, поступающего от индивидуального источника, предлагается использовать модель On/Off источника. Источник трафика, описываемый данной моделью, представляет собой источник, который имеет два состояния: активное (On-период) и пассивное (Off-период) (рисунок 2,а). В активном состоянии он выдает поток с постоянной скоростью λ_{On} . В пассивном состоянии трафик не передается (рисунок 2,б). Длительности периодов On и Off являются случайными величинами. Длительность интервала активности $\widetilde{\tau_{on}}$ опишем функцией плотности вероятности $\rho_{on}(\tau)$, функцией распределения $P(\tau) = \int_0^\tau (\tau - \bar{\tau})^2 \rho_{on}(\tau) dt$я, комплементарной функцией распределения $P^c{}_{on}(\tau) = 1 - \rho_{on}(\tau)$, математическим ожиданием $\bar{\tau}_{on} = M[\tilde{\tau}] \int_0^\infty \bar{\tau} \rho_{on}(\tau) d\tau$ и дисперсией

$\sigma^2{}_{on} = M[(\widetilde{\tau} - \bar{\tau})^2] \int_0^\infty (\widetilde{\tau} - \bar{\tau})^2 \rho_{on}(\tau) d\tau$. Длительности интервалов пассивности описываются соответственно: $\rho_{off}(\tau), P_{off}(\tau), P^c{}_{off}(\tau), \bar{\tau}_{off}, \sigma^2{}_{off}$.



а) б)

Рисунок 2 – Модель индивидуального источника трафика

Длительности интервалов могут иметь распределение с тяжелым хвостом, т.е. для периодов активности будут выполняться условия либо

$$P^c{}_{on}(\tau) = l_{on}\tau^{-\alpha_{on}} L_{on}(\tau), 1 < \alpha_{on} < 2, \tau \to \infty \quad (9)$$

либо

$$\sigma^2{}_{on} < \infty \quad (10)$$

Соответственно для периода пассивности – условия: либо

$$P^c{}_{off}(\tau) = l_{off}\tau^{-\alpha_{off}} L_{off}(\tau), 1 < \alpha_{off} < 2, \tau \to \infty \quad (11)$$

$$\sigma^2{}_{off} < \infty \quad (12)$$

где $l_{on}>0$ и $l_{off}>0$ – константы и $L(\tau)>0$ медленно меняющаяся функция на бесконечности, такая, что $\lim_{\tau\to\infty} \frac{L(a\tau)}{L(\tau)} = 1$ для любого $a>0$. Отметим также, что математические ожидания $\bar{\tau}_{on}$ и $\bar{\tau}_{off}$ для длительностей интервалов всегда конечны, а дисперсии $\sigma^2=\infty$, когда $\alpha<2$. Например, в качестве функции распределения может использоваться распределение Парето

$$P^c(\tau) = \begin{cases} b^a t^{-a}, \tau \geq b > 0, 1 < \alpha < 2; \\ 0, \tau < b \end{cases} \quad (13)$$

или экспоненциальное. Заметим также, что функции распределения $P_{on}(\tau)$ и $P_{off}(\tau)$ могут быть разными для длительностей активного и пассивного периода. Так, например, одно из распределений может иметь конечную дисперсию, в то время как другое – бесконечную.

Таким образом, описанная модель позволяет моделировать широкий класс информационных потоков, создаваемых абонентскими терминалами при предоставлении телекоммуникационных услуг.

При описании с помощью приведенной выше модели потоков, передаваемых в каналах связи, между параметрами модели и параметрами канала связи существуют следующие закономерности. Если поток, поступающий в узел сети, описывается моделью On/Off источника, скорость потока, производимого источником в активном состоянии λ_{On}, равна пропускной способности входящего канала связи c , при этом объем данных (длина пакета), поступающий за период активности, является инвариантом и определяется как

$$l = \lambda_{on}\bar{\tau}_{on}. \quad (14)$$

Средняя интенсивность потока, создаваемого источником трафика, определяется как

$$\lambda = \frac{\lambda_{on}\bar{\tau}_{on}}{\bar{\tau}_{on}+\bar{\tau}_{off}}. \quad (15)$$

Заключение:

Описанная модель в дальнейшем может быть использована для определения параметров потоков, передаваемых в мультисервисной телекоммуникационной системе, при решении задач параметрического синтеза и анализа качества обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *W.E.Leland, M.S.Taqqu, W.Willinger, and D.V.Wilson.* On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version).IEEE/ACM Transactions of Networking, 2(1):1-15,1994.
2. Исследовании свойства самоподобного трафика мультисервисной сети [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2010/01/2010-01-09.pdf
3. Networktoolsandtraffictraces [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php – Загл. с экрана.
4. *Федорова М.Л., Леденева Т.М.* Об исследовании свойства самоподобия трафика мультисервисной сети // Вестник ВГУ. Серия: системный анализ и информационные технологии. — 2010. — № 1. — С. 46-54
5. *Park K., Willinger W.* Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation. — New York: Wiley, 2000. — 576 p

Е.В. Бармина, Ф.П. Филиппов, Н.И. Ильиных

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ Al_2O_3 С ДОБАВКАМИ SiC И ZrO_2 В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

Уральский технический институт связи и информатики филиал
Сибирского государственного университета связи и информатики,
Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: термодинамическое моделирование, температурное воздействие, сапфировое волокно, химические добавки, конденсированная фаза, газовая фаза.

В настоящей работе проведено исследование равновесного состава и термодинамических характеристик Al_2O_3 с добавками SiC, ZrO_2.

Исследование выполнено с использованием программного комплекса TERRA.

Моделирование проведено в атмосфере аргона и кислорода в интервале температур 300-3000 К при общем атмосферном давлении $P=10^5$ Па.

E.V. Barmina, A.P.Philippov, N.I. Ilinykh

THERMODYNAMIC MODELING OF THE BEHAVIOR OF Al_2O_3 WITH ADDITIVES OF SiC AND ZrO_2 IN A WIDE RANGE OF TEMPERATURES

Ural technical Institute of communications and Informatics branch
Siberian state University of telecommunications and Informatics,
Yekaterinburg, Russia

Key words: thermodynamic modeling, thermal effects, the sapphire fiber, chemical additives, condensed phase, gas phase.

In the present work the study of equilibrium composition and thermodynamic properties of the Al_2O_3 with additives of SiC, ZrO_2.

The study was performed using the program complex Terra.

Simulation is carried out in an atmosphere of argon and oxygen in the temperature range 300-3000 K with a total atmospheric pressure $P=10^5$ Pa.

В настоящее время сапфировые волокна оптического класса представляют большой интерес, поскольку они используются при изготовлении прочных высокотемпературных термометров для промышленности, волноводов видимого и инфракрасного света для спектроскопии [1], жаростойких чувствительных элементов во внешних датчиках и устройствах с оптическими волокнами Фабри-Перо.

Подбор подходящих материалов оболочек и покрытий сапфировых волокон для оптических приложений представляет трудную задачу из-за многочисленных требований, которым они должны удовлетворять. Идеальная оболочка должна усиливать оптические характеристики, не ограничивая технический ресурс сапфировых волокон. Идеальное

покрытие должно служить барьером между химически неблагоприятной средой и сапфиром, при этом покрытие должно работать, по меньшей мере, в том же диапазоне температур, что и сам сапфир. Среди препятствий в достижении этой цели присутствуют: необходимость в согласовании коэффициентов температурного расширения материала оболочки и сапфира, необходимость хорошей связи между волокном и материалом, непреодолимая (до сих пор) проблема выращивания в одном процессе сапфировых волокон с плакированной сердцевиной, отсутствие определенности в материалах, пригодных в широком диапазоне приложений.

Потенциально плакирование, улучшая волноводные свойства сердцевины оптического волокна, может привести к одномодовому режиму работы. Оболочка должна иметь коэффициент преломления ниже, чем у сапфира, и коэффициент температурного расширения, совместимый с сапфиром; формировать слой с низким внутренним натяжением и быть способной переносить значительные температурные отклонения. Поскольку сапфировые волокна в процессе выращивания не плакируются, то оболочки следует наносить уже после выращивания волокна. Сапфировые волокна могут плакироваться либо методом ионного обмена, либо непосредственным осаждением материала. Существует несколько работ, в которых описано влияние легирования на индекс преломления сапфировых волокон, но это направление активно не исследуется. Непосредственное осаждение представляется более жизнестойким методом [1].

Непосредственное осаждение оболочки на поверхность сапфирового волокна может быть осуществлено химическим осаждением из паровой фазы методом разложения металлоорганических соединений (MOCVD - Metal-organic chemical vapor deposition), нанесением покрытия осаждением из паров (PVD - Physical vapor deposition), методами на основе растворителей. При физическом осаждении паров, как например, испарениях или напылении, волокно должно вращаться для однородности покрытия. Методы работы с растворителями, такие как золь-гель процесс, часто требуют дополнительного процесса уплотнения пор оболочки. Такое уплотнение может привести к заметным напряжениям между оболочкой и сапфировым волокном. Метод MOCVD представляет наиболее совершенную технологию благодаря тому, что осажденный слой обычно плотный, однородный и чистый. В этой технологии может использоваться обширный набор материалов, а состав и толщина осаждаемого слоя могут контролироваться в строгих допусках. Материалы оболочек, предлагаемые для нанесения данным методом, включают SiO_xN_y, Mg_xSiO_y и Ti_xSi_yO, при этом отношение x/y может варьироваться, что позволяет изменять коэффициент преломления в определенном диапазоне [1]. Вообще, принято считать, что получить такой материал оболочки, который обладал бы как хорошей прозрачностью, так и способностью выдерживать температуры свыше 1000°C, практически невозможно. Некоторый успех намечался с поликристаллическим глиноземом (Al_2O_3), но такие оболочки недопустимо дороги [2, 3].

Покрытия изолируют волокно от загрязнений окружающей среды и защищают поверхность от трения. Такая защита расширяет возможности использования сапфировых волокон за счет увеличения срока службы и диапазона рабочих условий окружающей среды. Нет ни одного материала, который можно было бы использовать в качестве покрытия сапфирового волокна в любых условиях. Поэтому покрытие должно выбираться, отчасти, с учетом приложения [1]. Также желательно отсутствие диффузии между материалами покрытия и волокна. Обычно рассматриваются такие материалы, как

поликристаллический глинозем (окись алюминия) $A1_2O_3$, металлический ниобий, карбид кремния (SiC) и двуокись циркония (ZrO_2). Технологии нанесения покрытия включают химическое покрытие, парофазное осаждение, плазменное напыление и электрохимическое покрытие [4].

Различные покрытия сапфировых волокон имеют свои сильные и слабые стороны. Окись алюминия и сапфир располагают одинаковым химическим составом; при этом стабильная фаза окиси алюминия около 1199°С имеет вид α - $A1_20_3$, а монокристалл α - AJ_2Oj - это сапфир, α - глинозем имеет коэффициент температурного расширения (CTE - Coefficient of thermal expansion) 8,1 х 10^{-6} при 1000°С и температуру плавления 2053°С. Другие свойства поликристаллического глинозема, например, прочность на разрыв и твердость, зависят от размеров гранул и чистоты окиси алюминия (глинозема). Глинозем обладает высокой химической стабильностью, но в натриевой атмосфере при температуре свыше 1100°С возникает натриевая диффузия, которая влечет за собой химические реакции и микротрещины [4].

Коэффициент CTE карбида кремния равен 5,8 х 10^{-6} при 1000°С, а температура плавления составляет 2830°С. Это прочный, плотный и термостойкий материал. Он легко окисляется, формируя внешний слой кварца (SiOj), который защищает материал от дальнейшего окисления. Использование карбида кремния дает максимальный эффект в восстановительной среде [4].

Двуокись циркония предоставляет менее широкие возможности, так как чистая или нестабилизированная двуокись циркония подвержена изменениям структуры из моно-симметричной в тетрагональную при температуре 950 °С. Это приводит к увеличению объема почти на 9 % [4]. Сапфировые волокна, покрытые нестабилизированным цирконием, обладают большей эластичностью, но при этом двуокись циркония изменяет структуру, что приводит к микротрещинам в покрытии [5]. Установлено, что окись циркония стабилизируется оксидом иттрия (Y_2O_3), формируя стабильную кубическую структуру [4]. Моноклинная форма двуокиси циркония имеет коэффициент CTE 6,5 х 10^{-6}/°С при температуре 1000°С, а устойчивая кубическая форма - 10,5 х 10^{-6}/°С при 1000°С [6]. При стабилизации двуокиси циркония натяжение снижается, но создается остаточное натяжение, обусловленное разницей коэффициентов CTE между сапфиром и стабилизированной двуокисью циркония, что, вероятно, будет приводить к снижению прочности [5]. Двуокись циркония вступает в реакцию с хлористоводородной и азотной кислотой, но она стабильна в окисляющей и умеренной восстановительной атмосфере. При 2000°С двуокись циркония вступает в реакцию с жаропрочным карбидом, а стабилизированная двуокись циркония начинает испаряться [4].

Ниобий имеет коэффициент CTE 7,1 х 10^{-6}, что служит хорошей предпосылкой для его использования в качестве покрытия сапфира. Он противостоит реакции с натрием, ртутью и другими веществами на повышенных температурах, но в плотной атмосфере на температурах более 1000°С приводит к реакции между ниобием и окисью алюминия [4].

Исследовательская группа университета Дрексела (США) создала покрытие сапфирового волокна на основе оксида алюминия и дополнительной оболочки из карбоната кремния. Волокна предназначались для использования в качестве датчиков, вставленных в композитные керамические матрицы. Для гарантии хорошего соединения между сапфиром и кристаллической окисью алюминия авторы использовали новейшие методы осаждения. Были использованы комбинации частиц окиси алюминия и способный

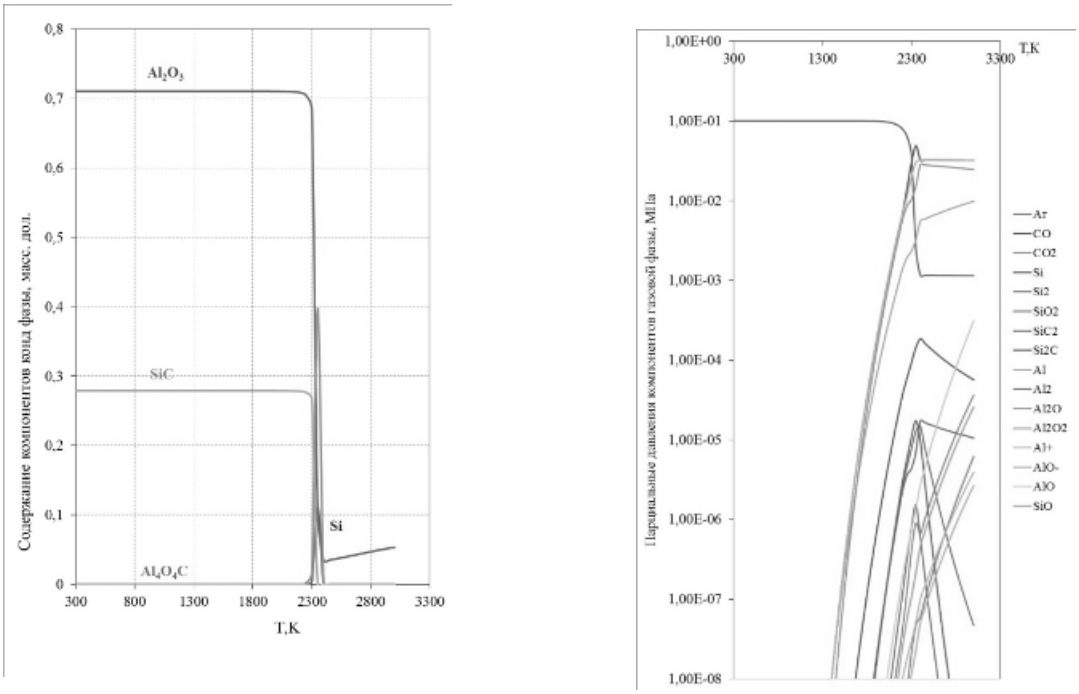
к полимеризации мономерный носитель. Мономер способствовал полимеризации поверхности сапфира, связывающее вещество удалялось, а слой спекался. Этот процесс повторялся несколько раз для достижения толщины поверхностного слоя в 20 мкм [3]. Для защиты волокна от окружающей среды, с помощью усиленного метода плазменной обработки CVD, наносился внешний слой карбида кремния толщиной 0,25 мкм [7]. После циклического температурного тестирования, проводимого на температурах 900 и 1300°C, явно наблюдались микротрещины, сколы или дефекты волокна [8].

В настоящей работе проведено исследование равновесного состава и термодинамических характеристик Al_2O_3 с добавками SiC, ZrO_2.

Исследование выполнено с использованием программного комплекса TERRA [9].

Моделирование проведено в атмосфере аргона и кислорода в интервале температур 300-3000 К при общем атмосферном давлении $P=10^5$ Па. Основные результаты проведены на рис.1-8.

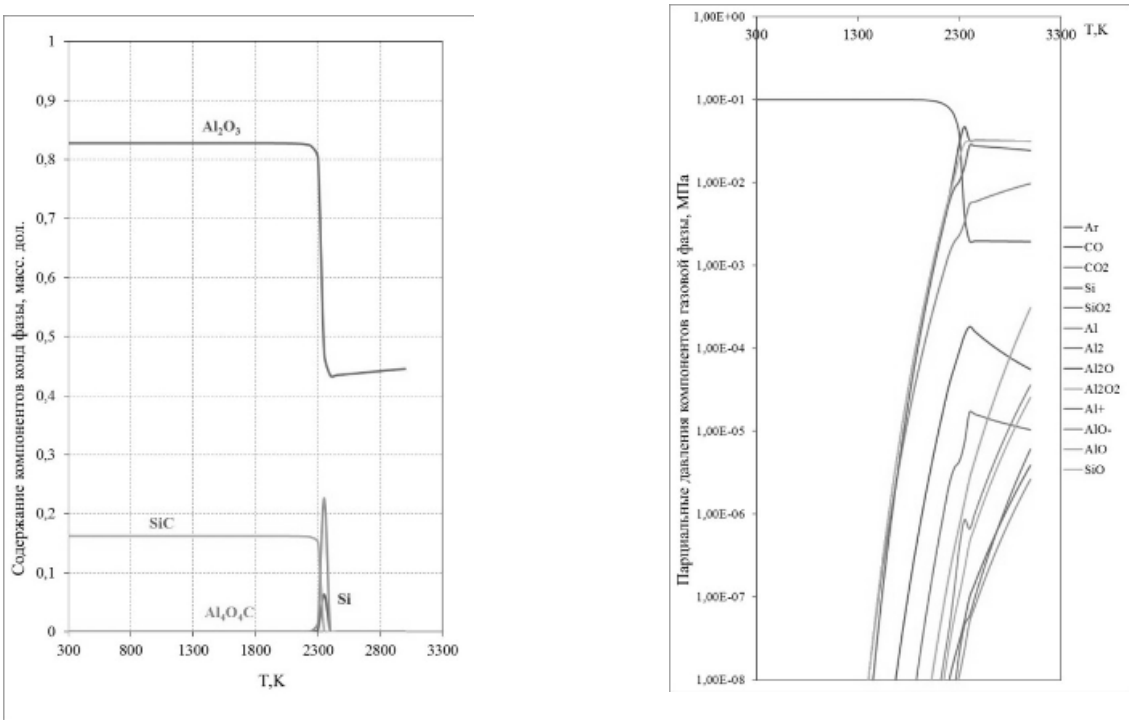
На рис.1 представлены температурные зависимости содержания компонентов конденсированной фазы и парциальные давления компонентов газовой фазы,



а б

образующихся при равновесном нагревании системы (масс. %): 28.2%SiC + 71.8% Al_2O_3 + 1% Ar. Этот состав соответствует эквимольному содержанию Al_2O_3 и SiC.

Рис.1. Содержание компонентов конденсированной фазы (а) и парциальные давления компонентов газовой фазы (б) при равновесном нагревании системы 28.2% SiC + 71.8% Al_2O_3 + 1% Ar.



а б

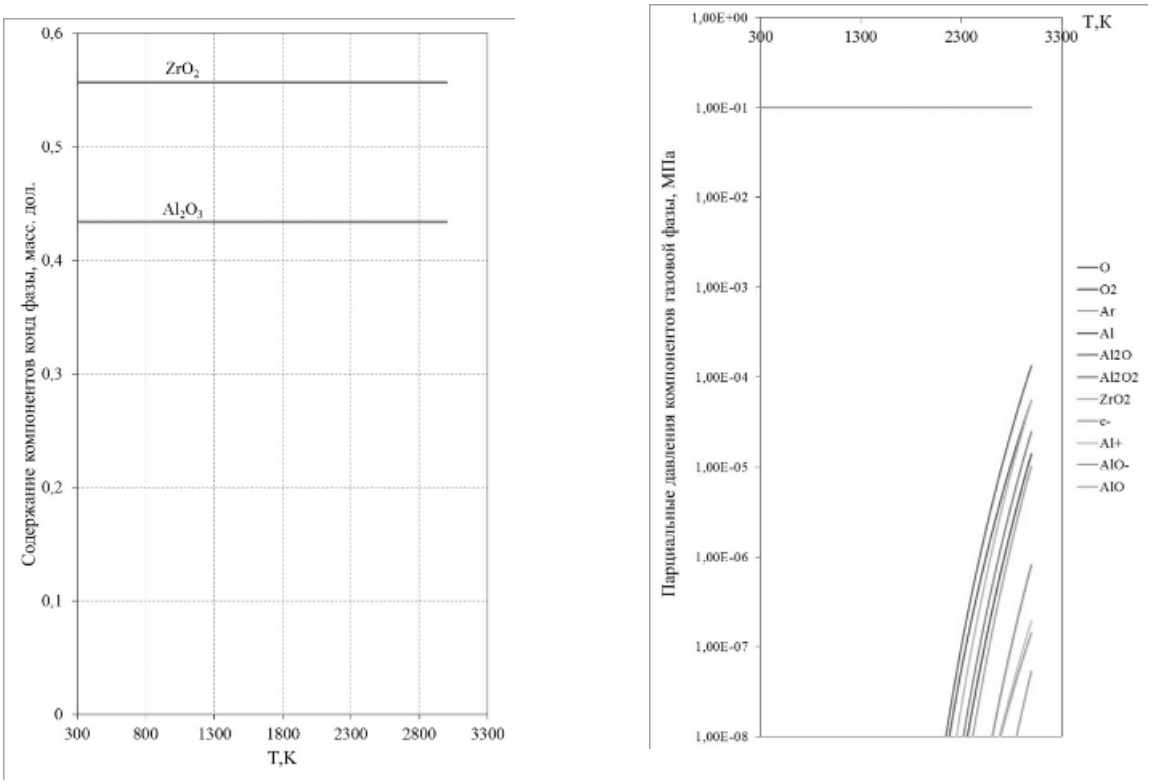
Рис.2. Содержание компонентов конденсированной фазы (а) и парциальные давления компонентов газовой фазы (б) при равновесном нагревании системы 16.4% SiC + 83.6% Al_2O_3 + 1% Ar.

Как видно из рис.1, в интервале температур 300-2300 К основными компонентами конденсированной фазы являются Al_2O_3 и SiC, кроме этого наблюдается небольшое количество Al_4O_4C. При температуре 2350 К появляется Si и наблюдается резкое увеличение содержания Al_4O_4C. Это может быть обусловлено распадом SiC и Al_2O_3 при этой температуре. Основным компонентом газовой фазы в этом температурном интервале является Ar. При температуре выше 2350 К содержание CO, SiO, Al_2O, Al становится достаточно большим из за распада Al_2O_3 и SiC.

Аналогичные зависимости построены и представлены на рис.2 при соотношении Al_2O_3:SiC = 2:1 (моль) в атмосфере Ar. Как видно из рис.2, сновные тенденции в поведении компонентов сохраняются.

На рис.3 представлены температурные зависимости содержания компонентов конденсированной и газовой фаз, образующихся при равновесном нагревании системы (масс.%): 56.2% ZrO_2 + 43.8% Al_2O_3 + 1%Ar. Этот состав соответствует эквимольному содержанию Al_2O_3 и ZrO_2.

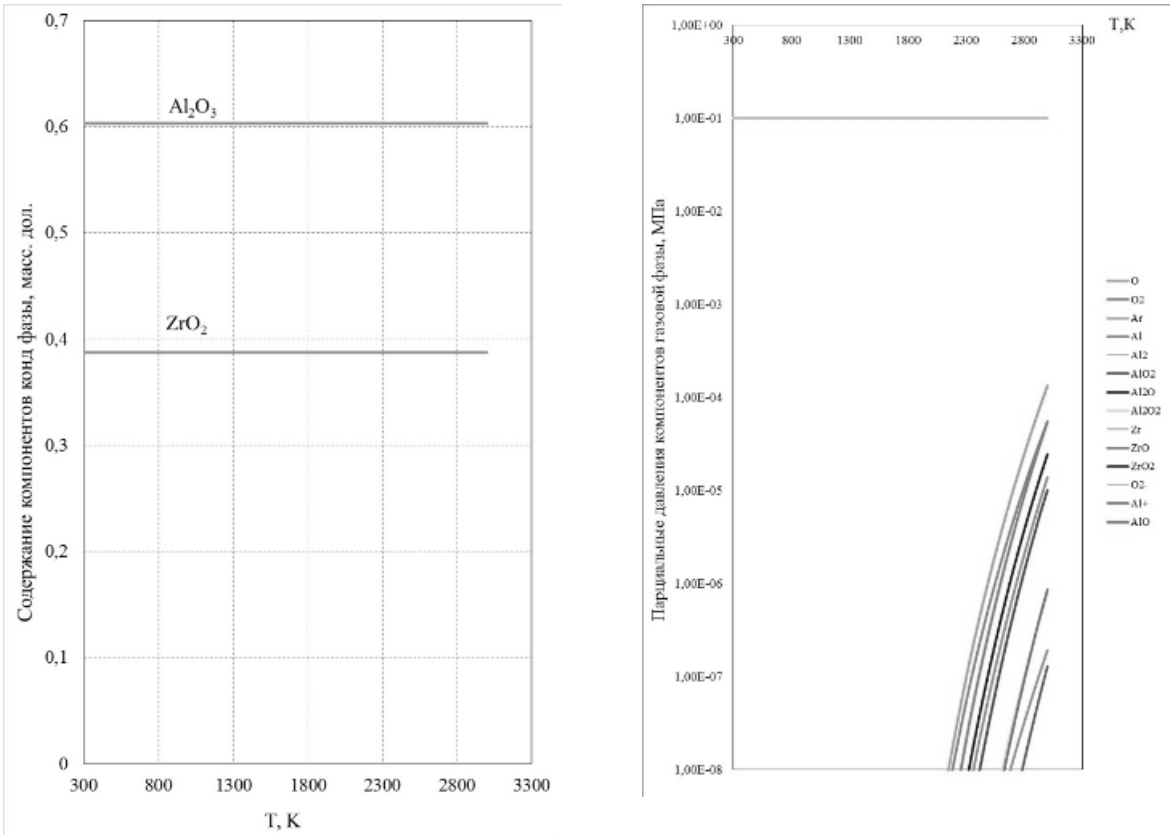
Как видно из рис.3, во всём интервале температур 300-3300 К содержание Al_2O_3 и ZrO_2 в конденсированной фазе не меняется. Это говорит об устойчивости состава к высоким температурам. Основным компонентом газовой фазы является Ar, при температуре выше 2350 К наблюдается небольшое содержание O, Al, AlO, Al_2O, ZrO_2.



а б

Рис.3. Содержание компонентов конденсированной фазы (а) и парциальные давления компонентов газовой фазы (б) при равновесном нагревании системы 56.2% ZrO_2 + 43.8% Al_2O_3 + 1% Ar.

Аналогичные зависимости построены и представлены на рис.4 при соотношении Al_2O_3: ZrO_2 = 2:1 (моль) в атмосфере Ar. Как видно из рис.4, основные тенденции в поведении компонентов сохраняются.



а б

Рис.4. Содержание компонентов конденсированной фазы (а) и парциальные давления компонентов газовой фазы (б) при равновесном нагревании системы 39.1% ZrO_2 + 60.9% Al_2O_3 + 1% Ar.

На рис.5-8 представлены зависимости содержания компонентов конденсированной фазы, образующейся при равновесном нагревании системы Al_2O_3 + SiC в атмосфере кислорода от исходного содержания O_2 при различных температурах.

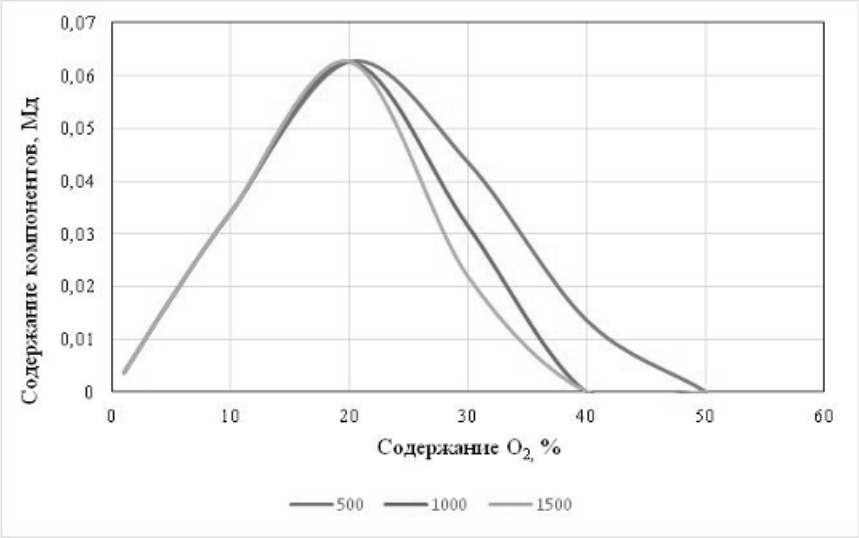


Рис.5. Концентрационные зависимости содержания углерода в конденсированной фазе при различных температурах.

Как видно из рис.5, массовая доля углерода в конденсированной фазе при повышении исходного содержания кислорода в системе изменяется немонотонно. Максимальное содержание С на кривой наблюдается при содержании 20% O_2.

Как видно из рис.6, зависимости содержания SiO_2 в конденсированной фазе от исходного содержания кислорода также немонотонны, максимальное содержание SiO_2 наблюдается при 20% O_2 при температуре 1500 К.

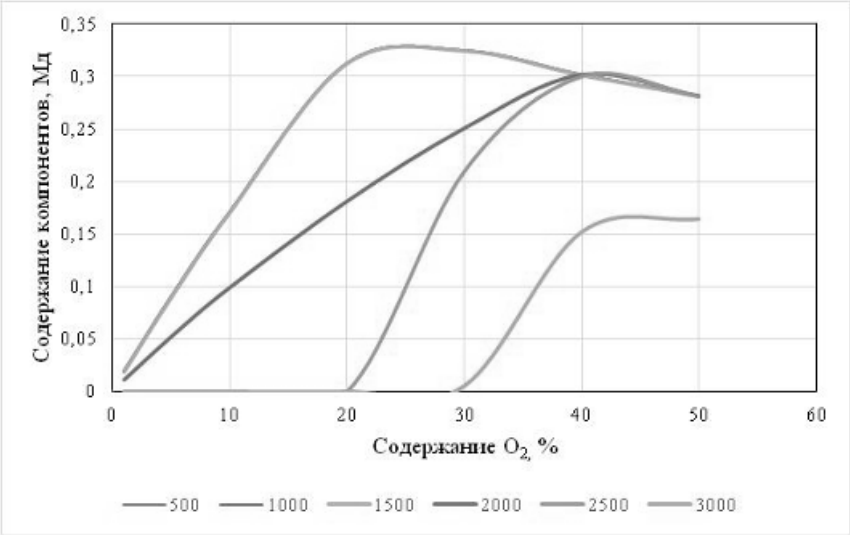


Рис.6. Концентрационные зависимости содержания SiO_2 в конденсированной фазе при различных температурах.

Из рис.7 видно, что с ростом % O_2 содержание SiC уменьшается при всех изученных температурах.

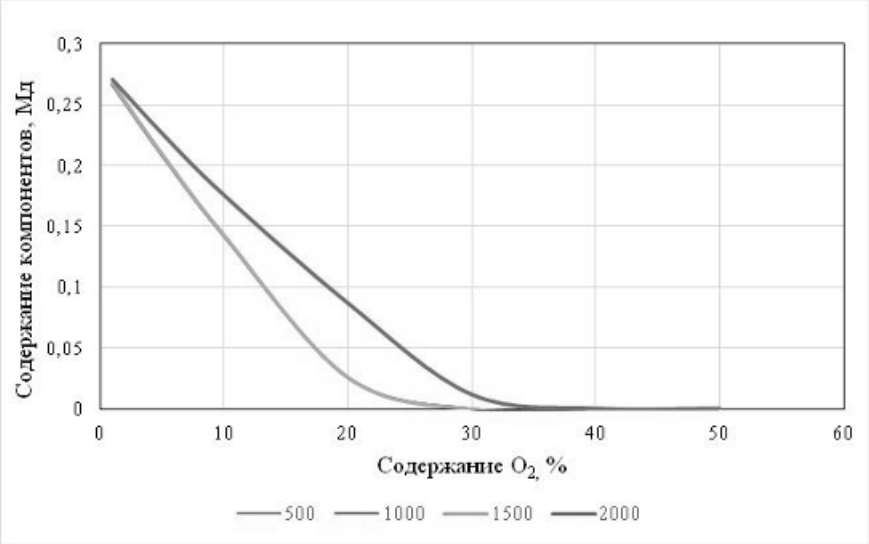


Рис.7. Концентрационные зависимости содержания SiC в конденсированной фазе при различных температурах.

На рис.8 представлено поведение Al_2O_3. Как видно из этого рисунка, в интервале температур 500-2000 К с ростом O_2 содержание Al_2O_3 падает, при температурах 2500-3000К содержание Al_2O_3 растёт, а затем немного уменьшается.

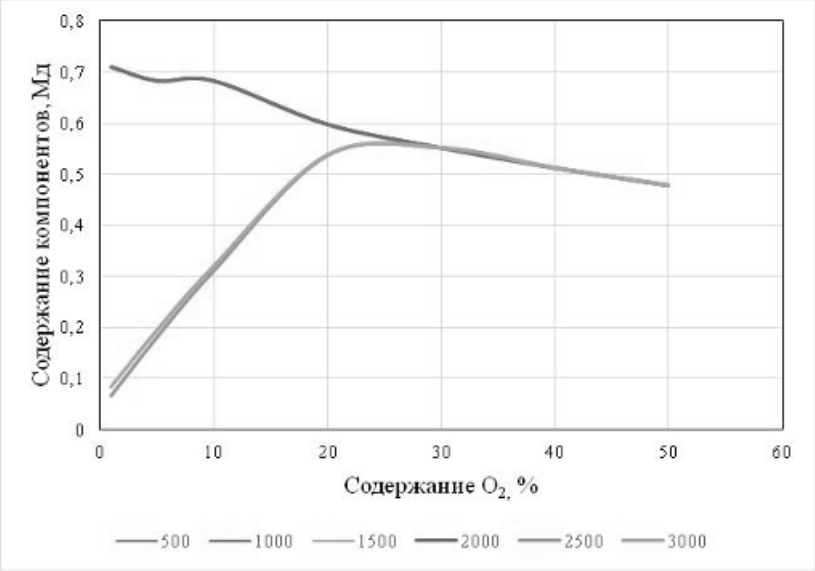


Рис.8. Концентрационные зависимости содержания Al_2O_3 в конденсированной фазе при различных температурах

На рис.9 представлены концентрационные зависимости содержания компонентов конденсированной фазы, образующейся при равновесном нагревании системы Al_2O_3 + ZrO_2 + O_2 при различных температурах. Как видно из рис.9, с ростом содержания кислорода в системе содержание Al_2O_3 и ZrO_2 уменьшается во всем исследованном интервале температур.

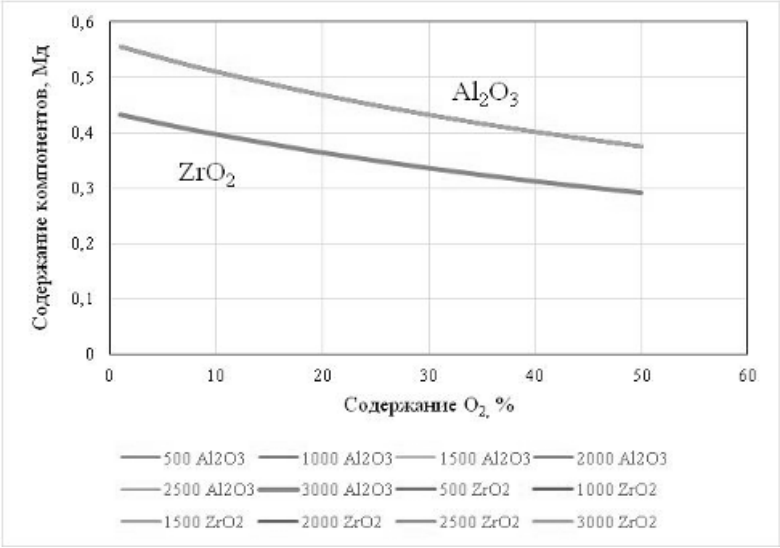


Рис.9. Концентрационные зависимости содержания Al_2O_3 и ZrO_2 в конденсированной фазе при различных температурах

Таким образом, проведено исследование равновесного состава и термодинамических характеристик Al_2O_3 с добавками SiC, ZrO_2 в широком интервале температур в атмосфере аргона и кислорода. Полученные результаты позволяют оценить состав конденсированной и газовой фаз, образующихся при равновесном нагревании изученных систем и прогнозировать поведение материалов в экстремальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Desu, S. B.* et al. 1990. High temperature sapphire optical sensor fiber coatings. SPIE Int. Soc-Opt. Eng. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 1307:2-9.
2. *Bates, S. C.* 1996. High temperature fiber optic imaging. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 2839:227-238.
3. *El-Sherif, M. A* et al. 1993. A novel sapphire fiber-optic sensor for testing advanced ceramics. Ceram.Eng. Sci. Proc. 14:437—444.
4. *Raheem-Kizchery, A. R.* et al. 1989. High temperature refractory coating materials for Sapp®[1]* waveguides. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 1170:513-517.
5. *Davis, J. B.* et al. 1993. Fiber coating concepts for brittle-Matrix composites. J. Am. Ceram. Soc, 76:1249-1257.
6. Stanford Materials Company. Available at www.stanfordmaterials.com.
7. *El-Sherif, M. A.* et al. 1994. Optical response of sapphire multimode optical sensor for ceramic composite applications.SPIE Int. Soc. Opt. Eng. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 2072:244 251.
8. *El-Sherif, M. A.* et al. 1994. Development of a fiber optic sensor for ceramic materials character! zation. Ceram. Engr. Sci. Proc. 15:373-381.
9. *Трусов Б.Г.* Программная система моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2012. С.240-249.

И.М. Безруков

АППРОКСИМАЦИЯ И СЖАТИЕ КЛАССИЧЕСКИМ И МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДАМИ ПРОНИ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА СВЯЗИ

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Москва, Россия

Ключевые слова: импульсная характеристика, оптимальная аппроксимация, модифицированный метод Прони, аппроксимация и сжатие импульсной характеристики.

В статье решается задача оптимальной аппроксимации и сжатия импульсной

характеристики частотно-селективного канала связи в базисе дискретных комплексных экспоненциальных функций. Рассматривается применение исходного и модифицированного методов Прони. Приводятся результаты математического моделирования.

I.M. Bezrukov

APPROXIMATION AND COMPRESSION OF IMPULSE RESPONSE OF THE COMMUNICATION CHANNEL BY CLASSICAL AND MODIFIED PRONY'S METHOD

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Keywords: impulse response, optimal approximation, modified Prony's method, approximation and compression of impulse response.

The problem of optimal approximation and compression of the impulse response of a frequency-selective communication channel in the basis of discrete complex exponential functions is solved in the article. The application of the classical and modified Prony's method is considered. The results of mathematical modeling are presented.

Введение

Развитие систем цифровой связи сопровождается неуклонным ростом требований к скорости передачи данных, как в проводных, так и в беспроводных каналах связи. Проводные каналы связи на базе кабелей с металлическими жилами в современных реалиях представлены прежде всего витыми парами под разъём 8P8C, соответствующими стандарту ISO/IEC 11801, коаксиальными кабелями сетей телевизионного вещания, а также значительным количеством устаревших медных телефонных кабелей. Во всех указанных типах кабелей формируются частотно-ограниченные каналы с фиксированными полосами, конкретные характеристики которых определяются используемыми технологиями, такими как Ethernet, DVB-T2, xDSL. Частотная ограниченность каналов проистекает из сравнительно незначительной ёмкости частотного диапазона кабелей с металлическими жилами и оставляет единственный путь повышения скорости передачи: улучшения спектральной эффективности. Увеличить спектральную эффективность можно повышая порядок модуляции, однако это влечет требование к увеличению отношения сигнал/шум (ОСШ, signal noise ratio, SNR) для сохранения надлежащей помехоустойчивости [1]. В существующих каналах повышение SNR как правило трудноосуществимо, поскольку энергетические соотношения сигналов стандартизированы, а улучшение методов кодирования представляет собой весьма сложную задачу [1]. Таким образом, практически единственным путём повышения скорости передачи остаётся сокращение длительности битовых посылок, что влечёт появление межсимвольной интерференции (МСИ, Intersymbol Interference, ISI) [1].

Из вышеизложенного следует, что повышение скорости передачи данных в частотно-ограниченных проводных каналах возможно прежде всего за счёт разработки мер подавления ISI, устраняющих или минимизирующих её влияние. Таковые меры

можно разделить на два больших класса: эквалайзирование (канальное выравнивание) [1] и канальное прекодирование (предыскажение) [4,5]. Однако, независимо от характера мер по подавлению ISI, для их реализации требуется знание параметров канала. Полную информацию о параметрах канала содержит его импульсная характеристика (ИХ, Impulse Response, IR) [1]. В подавляющем большинстве случаев истинная ИХ канала связи неизвестна и для её оценки приходиться применять специальные меры, которые выходят за рамки данной работы и приводятся в специальной литературе, например, в [1]. При дальнейшем изложении будем полагать, что мы располагаем идеальной оценкой, полностью тождественной истинной ИХ. На данное упрощение приходиться идти ввиду сложности рассматриваемого вопроса. Пусть теперь мы имеем истинную ИХ канала, но это не конец затруднений. Подгонка эквалайзера под значительный по размерам вектор ИХ оказывается весьма сложной вычислительно [1], а в случае канального прекодирования требуется также сообщить полученную ИХ передатчику с помощью обратного (служебного) канала связи [4,5]. Отсюда непосредственно следует задача аппроксимации ИХ с её сжатием, т.е. замена вектора ИХ меньшим по размеру вектором параметров аппроксимирующей модели, по похожему на вокодерный принципу. Таким образом, мы пришли к тому, что для реализации одного из способов повышения скорости передачи данных по частотно-ограниченным каналам в кабелях связи с металлическими парами требуется решить задачу аппроксимации и сжатия ИХ таких каналов связи.

Рассмотрим теперь беспроводные каналы связи. Они отличаются причинами возникновения ISI: основную роль играют не физические ограничения среды распространения, а дефицит частотного ресурса вследствие чрезвычайно высокого спроса на него (особенно в полосе 0,8-2,5 ГГц). Таким образом, на ширину полосы отдельных каналов накладываются весьма жёсткие ограничения. Для необходимости вписаться в них применяются особые виды модуляции, вплоть до модуляции с внесением контролируемой ISI, например, гауссова модуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK) [2]. Кроме того, беспроводные каналы подвержены т.н. «многолучевости», т.к. при распространении радиоволны в свободном пространстве она огибает препятствия и отражается от них. Соответственно, между передатчиком и приёмником возникает несколько путей распространения с различными временам хода луча, вследствие чего на приёмник приходит несколько копий сигнала, задержки которых случайны. Наложение друг на друга принятых сигнальных копий порождает т.н. «частотно-селективные замирания» [2]. Однако и многолучевой канал можно описать с помощью одной, как правило комплексной, ИХ, за счёт пересчёта значений задержки и амплитудных коэффициентов каждого луча по специальным формулам [1,2]. Следовательно, вышеприведённые рассуждения для проводного канала остаются в силе и в данном случае, а для целей нашего исследования несущественно, каков тип канала.

Итак, решение задачи повышения скорости передачи данных по каналу связи оказалась зависящим от решения задачи аппроксимации и сжатия ИХ канала. Для оптимальной аппроксимации ИХ необходимо, во-первых, выбрать аппроксимирующую модель с набором описывающих её параметров, и, во-вторых, определить критерий минимизации ошибки аппроксимации. В данной работе предлагается решать данную задачу в дискретном времени, используя в качестве аппроксимирующей модели базис дискретных комплексных экспоненциальных функций. Таковой базис выбран из-за его хорошей теоретической исследованности в методах спектрального оценивания [3].

Наиболее известным методом на основе данного базиса является метод Прони и его модификации [3]. Спектральная оценка по методу Прони оказывается весьма точной для синусоидального сигнала с малым уровнем шумов, а потому мы вправе ожидать от данного метода высокой эффективности и при аппроксимации временных последовательностей [3].

Исходный метод Прони

Согласно принятому при постановке задачи допущению, мы располагаем вектором комплексных отсчётов истинной ИХ канала связи длиной *N*, обозначим его как $\vec{h} = (h[1],....h[N])^T$. Зададим теперь аналитическое выражение, позволяющее оценить *n*–й отсчёт ИХ $h[n]$ с помощью выбранной модели аппроксимации. Известно [3], что при использовании обобщённой дискретной экспоненциальной модели порядка *p* оценка $\hat{h}[n]$ записывается в виде следующей линейной комбинации комплексных экспонент

$$\hat{h}[n] = \sum_{k=1}^{p} C_k \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)(n-1)T + j\theta_k], \qquad (1.1)$$

где C_k – амплитуда *k*–й комплексной экспоненты, α_k – коэффициент затухания *k*–й комплексной экспоненты, f_k – частота (Гц) *k*–й синусоиды, θ_k – начальная фаза (рад) *k*–й синусоиды, *T* – интервал взятия отсчётов (интервал дискретизации) в секундах. Формат оценки (1.1) содержит значительное число параметров и не удобен для анализа ввиду громоздкости. Запишем более удобную и практически полезную компактную запись оценки (1.1). Перегруппируем сомножители и введём обозначения *k*–ой комплексной амплитуды $c_k = C_k \exp(j\theta_k)$ и *k*–ого полюса $z_k = \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)T]$

$$\hat{h}[n] = \sum_{k=1}^{p} c_k \, z_k^{\,n-1} \qquad (1.2)$$

Получившаяся компактная запись (1.2) полностью описывается тремя параметрами: порядком модели *p*, независящими от времени комплексными амплитудами c_k и зависящими от времени полюсами (комплексными экспонентами) z_k. Таким образом, для описания данной модели потребуется вектор длиной *2p* комплексных отсчётов, содержащий *p* амплитуд и *p* полюсов. Учитывая, что комплексные отчёты в вычислительной технике представляются посредством упорядоченных пар вещественных чисел, получим итоговую длину вектора описания модели в *4p* вещественных отсчётов. Данная цифра особенно важна вследствие установленного требования к сжатию ИХ канала в ходе аппроксимации.

Теперь определим критерий минимизации ошибки аппроксимации. Пусть $\varepsilon[n]$ – ошибка экспоненциальной аппроксимации для *n*–го отсчёта ИХ $h[n]$

$$\varepsilon[n] = h[n] - \hat{h}[n] = h[n] - \sum_{k=1}^{p} c_k \, z_k^{\,n-1} \qquad (1.3)$$

Тогда требуется минимизировать среднеквадратическое значение $\varepsilon[n]$ на один отсчёт по приведённому в [6] в соответствии с [3] критерию

$$\Delta = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\sqrt{\varepsilon[n]^2} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\sqrt{\left|h[n] - \sum_{k=1}^{p} c_k\ z_k{}^{n-1}\right|^2} \rightarrow \min \tag{1.4}$$

Известно [3], что минимизация (1.4) в общем случае представляет собой сложную нелинейную задачу, неимеющую аналитического решения. До настоящего времени не удалось выработать методы, позволяющие найти оптимальное решение по всем параметрам [3]. Применение к (1.4) численных методов оптимизации также оказывается затруднительным из-за чрезвычайно большой вычислительной сложности требуемых расчётов при любых сколько-нибудь значительных длинах ИХ *N*. Соответственно, были разработаны методы субоптимальной аппроксимации, которые позволяют значительно упростить вычисления за счёт сведения нелинейных аспектов модели (1.2) к решению линейных уравнений и факторизации (поиску корней) полиномов. Основными представителями таковых методов являются рассматриваемые в данной работе методы Прони, отличающиеся друг от друга подходом к формированию и решению линейных уравнений для минимизации (1.4) [3].

Для обсуждения классического метода Прони нам потребуется определение тёплицевой матрицы. Тёплицевой матрицей называют квадратную матрицу особой структуры, персимметричную (симметричную относительно кроссдиагонали (побочной диагонали, второй диагонали)), у которой все элементы на любой диагонали идентичны $t[i, j] = t[i - j]$ [3]. Заметим, что данное определение даётся в узком смысле, поскольку возможна прямоугольная тёплицева матрица, не являющаяся персимметричной [3]

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} t[0] & t[-1] & ... & t[-M] \\ t[1] & t[0] & ... & t[-M+1] \\ t[2] & t[1] & ... & t[-M+2] \\ ... & ... & ... & ... \\ t[M-1] & t[M-2] & ... & t[-1] \\ t[M] & t[M-1] & ... & t[0] \end{pmatrix} \tag{1.5}$$

Главным полезным свойством тёплицевой матрицы является возможность упрощённого поиска её обратной матрицы. Пусть **U –** матица, обратная к (1.5), и $\vec{u}_1 = (u[0,0],....u[M,0])^T$ – её первый столбец, а $\vec{u}_M = (u[0,M],....u[M,M])^T$ –последний столбец. Тогда поиск обратной матрицы **U** можно свести к решению следующих двух матричных уравнений [3]

$$\begin{pmatrix} t[0] & t[-1] & ... & t[-M] \\ t[1] & t[0] & ... & t[-M+1] \\ t[2] & t[1] & ... & t[-M+2] \\ ... & ... & ... & ... \\ t[M-1] & t[M-2] & ... & t[-1] \\ t[M] & t[M-1] & ... & t[0] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u[0,0] \\ u[1,0] \\ u[2,0] \\ ... \\ ... \\ u[M,0] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ ... \\ ... \\ 0 \end{pmatrix} \tag{1.6}$$

$$\begin{pmatrix} t[0] & t[-1] & ... & t[-M] \\ t[1] & t[0] & ... & t[-M+1] \\ t[2] & t[1] & ... & t[-M+2] \\ ... & ... & ... & ... \\ t[M-1] & t[M-2] & ... & t[-1] \\ t[M] & t[M-1] & ... & t[0] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u[0,M] \\ u[1,M] \\ u[2,M] \\ ... \\ ... \\ u[M,M] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ ... \\ ... \\ 1 \end{pmatrix}$$

Данное свойство будем в дальнейшем для краткости именовать свойством (1.6). Также известно [3], что свойство (1.6) позволяет использовать для построения обратной матрицы **U** быстрые рекурсивные вычислительные алгоритмы, особенно простые, если **T** является эрмитовой.

Теперь зафиксируем длину ИХ с которой будем работать: пусть число отсчётов $N=2p$, т.е. установлена однозначная взаимосвязь между имеющимся числом отсчётов ИХ и порядком модели. Затем потребуем, чтобы была осуществлена точная подгонка экспоненциальной модели (1.2) к ИХ, т.е. чтобы ошибка (1.3) была равна нулю. Доказано [3], что данное требование можно удовлетворить за счёт применения исходного метода Прони и ошибка аппроксимации не должна превышать погрешности вычислений.

На первом шаге классического метода Прони составляется линейная система разностных уравнений следующего вида [3]

$$\sum_{k=0}^{p} a[k]\,h[n-k] = 0, \quad a[0] = 1, \quad n = p+1, \ldots, 2p \tag{1.7}$$

где $a[k]$ – коэффициенты линейного предсказания вперёд. Как видно, данное уравнение строится для обеспечения нулевой ошибки аппроксимации. Интересно, что уравнение (1.7) также определяет чисто рекурсивный цифровой фильтр с ИХ $\vec{h}$, поскольку коэффициенты $a[k]$ одновременно являются коэффициентами функции передачи фильтра. Таким образом, метод Прони можно рассматривать и как метод синтеза цифрового фильтра по заданной ИХ, и именно в таком качестве он используется в библиотеке встроенных функций среды математического моделирования Matlab. Кроме того, возможно рассмотрение метода Прони и в качестве специфической разновидности модели авторегрессии, как это делается при спектральном оценивании [3].

Для решения системы (1.7) её удобно представить в матрично-векторном виде (см. выражение (1.8)). Поскольку матрица в уравнении (1.8) имеет тёплицеву структуру, его решение относительно вектора коэффициентов $a[k]$ не представляет вычислительных сложностей в силу свойства (1.6). Если была поставлена задача синтеза чисто рекурсивного фильтра с заданной ИХ, то с решением уравнения (1.8) алгоритм заканчивается.

$$\begin{pmatrix} h[p] & h[p-1] & ... & h[1] \\ h[p+1] & h[p] & ... & h[2] \\ ... & ... & ... & ... \\ ... & ... & ... & ... \\ ... & ... & ... & ... \\ h[2p-1] & h[2p-2] & ... & h[p] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a[1] \\ a[2] \\ ... \\ ... \\ ... \\ a[p] \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} h[p+1] \\ h[p+2] \\ ... \\ ... \\ ... \\ h[2p] \end{pmatrix} \tag{1.8}$$

В ином случае по найденным коэффициентам линейного предсказания необходимо отыскать корни полинома, связывающего $a[k]$ с полюсами z_k

$$\sum_{k=0}^{p} a[k]\, z^{p-k} = 0,\ a[0] = 1 \tag{1.9}$$

Отметим, что процедура отыскания корней (1.9), как правило, оказывается самой простой вычислительной задачей из представленных и для неё имеются быстрые алгоритмы [3]. С получением значений полюсов z_k завершается второй шаг классического метода Прони.

На третьем шаге алгоритма необходимо по найденным в результате факторизации полинома (1.9) полюсам z_k найти комплексные амплитуды c_k . Для этого требуется решить следующее уравнение, где матрица полюсов имеет структуру Вандермонда

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & ... & 1 \\ z[1] & z[2] & ... & z[p] \\ z[1]^2 & z[2]^2 & ... & z[p]^2 \\ ... & ... & ... & ... \\ ... & ... & ... & ... \\ z[1]^{p-1} & z[2]^{p-1} & ... & z[p]^{p-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c[1] \\ c[2] \\ ... \\ ... \\ ... \\ c[p] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h[1] \\ h[2] \\ ... \\ ... \\ ... \\ h[p] \end{pmatrix} \tag{1.10}$$

Решение уравнение (1.10) оказывается несколько сложнее решения уравнения (1.8), однако в целом также не представляет существенных вычислительных сложностей. Таким образом, за три шага алгоритма получаем искомые комплексные амплитуды и полюса. Причём реализация каждого из шагов алгоритма классического метода Прони не представляет вычислительной сложности при малых порядках модели.

Однако, как видно из начального допущения, порядок модели всегда будет равен половине длины вектора ИХ. Соответственно, данный метод нецелесообразно применять для аппроксимации длинных векторов ИХ ввиду нарастания вычислительной сложности и роста ошибки аппроксимации из-за накапливающейся погрешности вычислений. Ещё более существенно то, что классический метод Прони не позволяет выполнить сжатие ИХ. Всегда будет получаться $2p$ комплексных параметров модели (p комплексных амплитуд c_k и p полюсов z_k), что соответствует $4p=2N$ вещественных отсчётов. Таким образом, полученная аппроксимация не соответствует поставленным целям и представляет интерес только в качестве эталона для сравнения. Теперь рассмотрим модификацию метода Прони, позволяющую понизить порядок модели без существенного увеличения ошибки аппроксимации.

Модифицированный ковариационный метод Прони

Ослабим ограничение, накладываемое уравнением (1.7). Пусть теперь не требуется точная подгонка и в правой его части стоит некоторая ошибка линейного предсказания $e[n]$. Тогда имеем следующее линейное уравнение

$$\sum_{k=0}^{p} a[k]\, h[n-k] = e[n],\ \ a[0] = 1,\quad n = p+1, \ldots, N,\quad p \le \frac{N}{2} \tag{2.1}$$

К сожалению, уравнение (2.1) уже нельзя решать аналогично уравнению (1.8) с помощью свойств тёплицевой матрицы. Решение необходимо поводить по критерию минимизации ошибки линейного предсказания $e[n]$, вместо минимизации ошибки экспоненциальной

аппроксимации $\varepsilon[n]$ (3). Соответственно, в данном случае целесообразно применить ковариационный метод решения линейных уравнений. Опишем кратко его основные этапы.

Во-первых, необходимо составить прямоугольную матрицу данных **H**

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h[p+1] & ... & h[1] \\ ... & ... & ... \\ h[N-p] & ... & h[p+1] \\ ... & ... & ... \\ h[N] & ... & h[N-p] \end{pmatrix} \tag{2.2}$$

Во-вторых составим вектор ошибок линейного предсказания $\vec{e} = (e[p+1], ...e[N])^T$ и определим среднеквадратическое значение ошибок как

$$\rho = (\vec{e})^* \vec{e} \quad , \tag{2.3}$$

где $\mathbf{A}^* = \overline{\mathbf{A}}^{\mathrm{T}}$ – эрмитово сопряжение матрицы.

Известно [3], что минимизация (2.3) достигается решением следующих уравнений

$$\mathbf{R}\begin{pmatrix} 1 \\ \vec{a} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho \\ 0 \end{pmatrix}, \tag{2.4}$$

где $\vec{a} = (a[1], ...a[p])^T$ –вектор коэффициентов линейного предсказания, **R** –квадратная эрмитова матрица, $\mathbf{R} = \mathbf{H}^*\mathbf{H}$, каждый элемент которой имеет вид корреляционной формы $r[i, j] = \sum_{n=p+1}^{N} h^*[n-i]h[n-j]$.

К сожалению, матрица **R** не является тёплицевой, однако в [3] показано, что построение быстрых вычислительных алгоритмов для решения (2.4) всё же возможно. Хотя получаемые алгоритмы и оказываются сложнее, чем алгоритмы, построенные на базе свойства тёплицевой матрицы (1.6). Не будем далее углубляться в ковариационный метод, поскольку его нюансы выходят за рамки работы (их можно узнать, например, в [3]).

Второй шаг модифицированного метода Прони аналогичен таковому в классическом методе: производится факторизация полинома (1.9).

На третьем шаге алгоритма необходимо решить относительно комплексных амплитуд c_k матричное уравнение

$$\left(\mathbf{Z}^*\mathbf{Z}\right)\vec{c} = (\mathbf{Z}^*\vec{h}) \tag{2.5}$$

где Z – матрица полюсов размерности $N \times p$, имеющая структуру Вандермонда

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & ... & 1 \\ z[1] & z[2] & ... & z[p] \\ z[1]^2 & z[2]^2 & ... & z[p]^2 \\ ... & ... & ... & ... \\ ... & ... & ... & ... \\ z[1]^{N-1} & z[2]^{N-1} & ... & z[p]^{N-1} \end{pmatrix}, \ \vec{c} = \begin{pmatrix} c[1] \\ c[2] \\ ... \\ ... \\ ... \\ c[p] \end{pmatrix}$$ – вектор комплексных амплитуд.

Решение уравнения (2.5) оказывается весьма схожим с решением уравнения (1.10) и не представляет существенных вычислительных трудностей.

Таким образом, в модифицированном ковариационном методе Прони изменяется прежде всего форма построения линейного уравнения для получения коэффициентов линейного предсказания. Вследствие этого изменяются первый и третий шаги алгоритма: включение в них ошибки линейного предсказания и применение прямоугольных матриц позволяет исключить связь числа отсчётов с порядком модели. Соответственно теперь аппроксимация ИХ моделью такого порядка *p,* что $2p<N$ позволяет осуществить сжатие ИХ, обеспечив одновременно хорошее качество аппроксимации.

Для большей наглядности сформулируем критерий оптимальной аппроксимации модифицированным методом Прони с учётом требования к сжатию

$$\Delta = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\sqrt{\varepsilon[n]^2} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\sqrt{\left|h[n]-\sum_{k=1}^{p} c_k\, z_k^{\,n-1}\right|^2} \rightarrow \min\ , \quad p<\frac{N}{2} \tag{2.6}$$

– Критерии (1.4) и (2.6) будут использоваться в следующем разделе для вычисления значения ошибки аппроксимации.

Результаты математического моделирования

С помощью математического моделирования в среде Matlab проиллюстрируем сформулированные выше теоретические утверждения. Поскольку во "Введении" мы рассуждали о двух типах каналов связи, будем использовать модель проводного канала и модель радиоканала. Также, поскольку это представляет интерес с точки зрения проверки алгоритмов и соответствует физической сущности данных каналов, будем считать модель проводного канала вещественной, а модель радиоканала–комплексной.

Согласно [7], проводной телефонный канал связи весьма хорошо аппроксимируется полосовым фильтром Баттерворта 8-го порядка. Будем рассматривать его низкочастотный эквивалент, имеющий аналитическое выражение для ИХ [7]. Частоту среза фильтра выберем исходя из полосы телефонного канала в 3,1 кГц, получим соответственно ФНЧ Баттерворта 8-го порядка с частотой среза $f_c = 1{,}55\,\text{кГц}$ и вещественной ИХ. АЧХ данного фильтра приведена на рис 3.1.

Для модели радиоканала необходимо обеспечить комплексную ИХ, описывающую возможные частотно-селективные замирания, возникающие в многолучевом радиоканале. Такую ИХ возможно получить из фильтра Чебышёва, например 5-го порядка, при искусственном деформировании его полюсов. Частоту среза оставим аналогичной предыдущей модели для более наглядного сравнения, соответственно $f_c = 1{,}55$ кГц . АЧХ, такого фильтра также показана на рис. 3.1.

Отметим, что вещественной ИХ соответствует четная АЧХ. В случае комплексной ИХ соответствующая АЧХ оказывается несимметричной относительно нулевой частоты. Подобная закономерность будет наблюдаться при сравнении любых вещественных и комплексных ИХ [1,2].

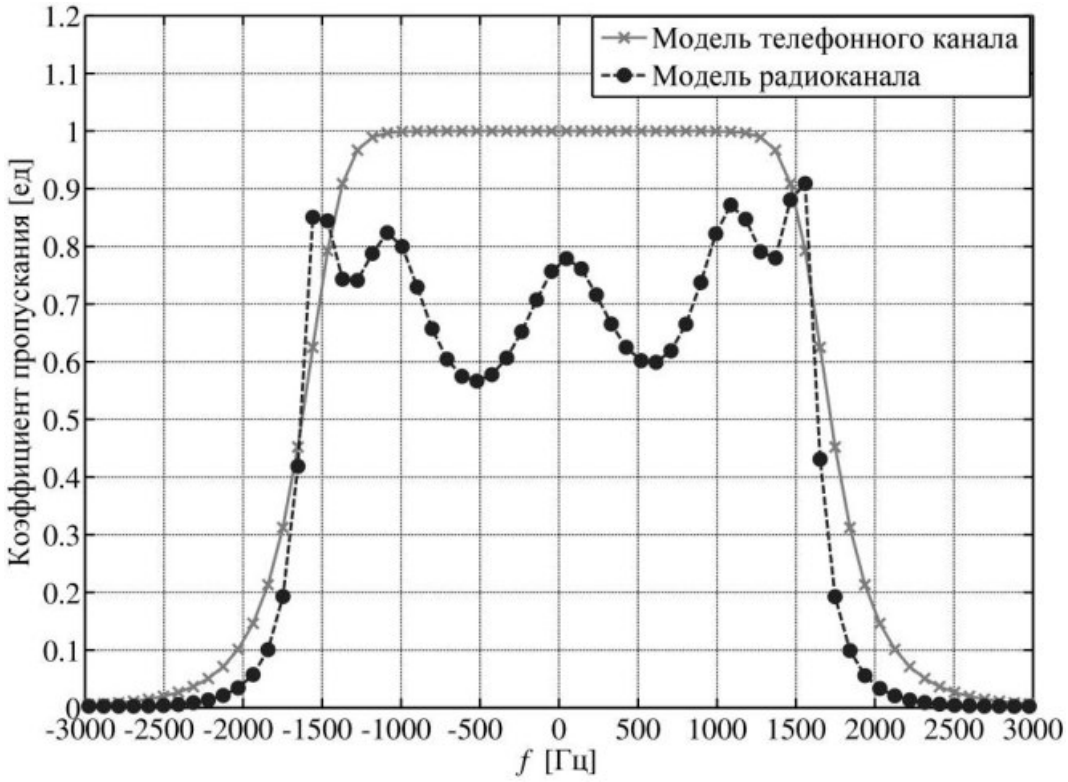


Рис. 3.1. АЧХ для рассматриваемых в работе ИХ.

Результаты моделирования для первого и второго случаев графически представлены на рис. 3.2 и рис. 3.3 соответственно. Значения ошибки аппроксимации по критериям (1.4) и (2.6) сведены в таблицу 3.1. Как видно из представленных данных, оба метода дают весьма точную аппроксимацию. При этом для вещественной ИХ точнее оказывается классический метод, что было теоретически ожидаемо. А вот в случае комплексной ИХ лучшую точность обеспечивает модифицированный метод, вследствие меньших погрешностей вычислений. Вообще, данная ситуация наглядно показывает, что классический метод Прони, при постулируемой нулевой ошибки аппроксимации, может оказываться неточным если велика длина вектора ИХ, т.к. при больших порядках модели погрешности накапливаются очень быстро.

Таблица 3.1. Сравнение точности аппроксимации различных вариантов метода Прони.

Метод	Исходный метод Прони		Модифицированный метод Прони	
Порядок модели p	32		8	5
ИХ	ИХ Баттерворта	ИХ Чебышёва	ИХ Баттерворта	ИХ Чебышёва
Значение ошибки аппроксимации, ед.	$3{,}59\cdot10^{-16}$	$1{,}9\cdot10^{-14}$	$1{,}27\cdot10^{-14}$	$1{,}02\cdot10^{-15}$

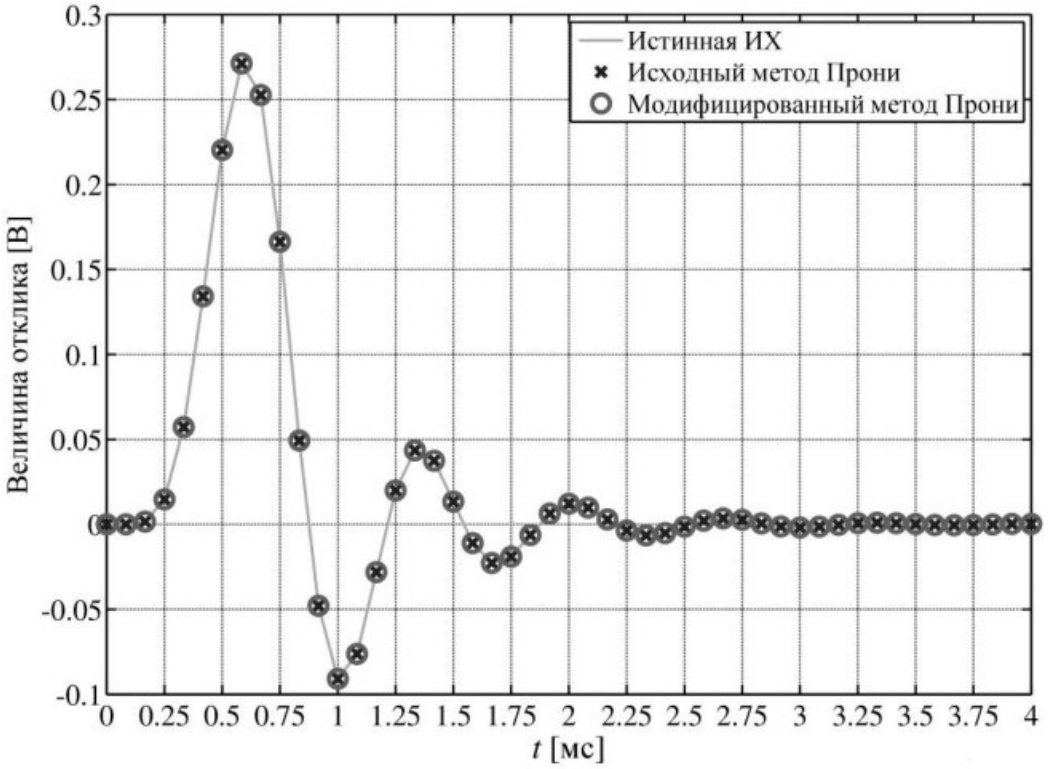


Рис. 3.2. Результаты аппроксимации для вещественной ИХ.

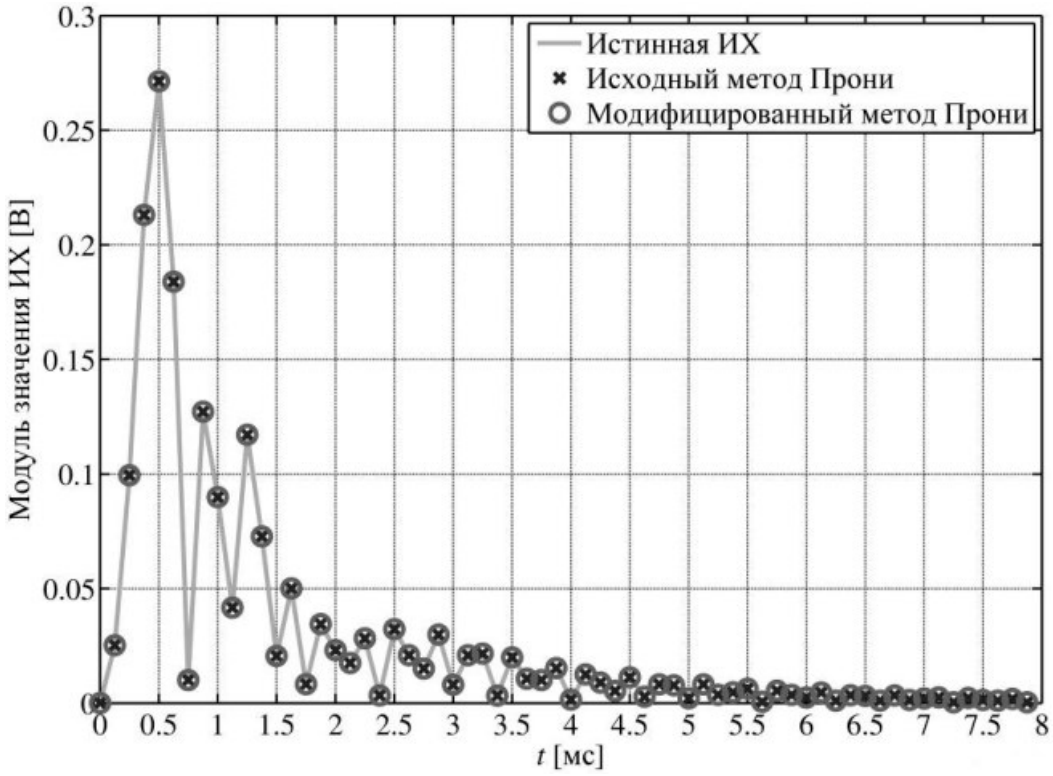


Рис. 3.3. Результаты аппроксимации для модуля комплексной ИХ.

Итак, для достижения указанной точности аппроксимации при классическом методе Прони потребовалось задействовать модель 32-го порядка для обоих случаев (128 вещественных отсчётов параметров модели). При этом ИХ проводного канала (рис. 3.2) вещественна, изначально имела 64 отсчёта, соответственно, вместо сжатия ИХ в ходе аппроксимации был получен вектор параметров, превышающий её длину в два раза. В

случае комплексной ИХ вектор параметров совпадает по длине с вектором ИХ. Данный результат иллюстрирует тезис о невозможности применения классического метода Прони для решения задачи сжатия ИХ в ходе аппроксимации.

Модифицированный метод Прони позволяет выбирать порядок модели (см. (2.6)), чем, вообще говоря, ставит дополнительную задачу оптимальной идентификации экспоненциальной модели (1.2). В табл. 3.1. приведены результаты расчётов ошибки аппроксимации для моделей 8-го и 5-го порядков, выбранных совпадающими с порядками фильтров, используемых в данной работе в качестве моделей каналов связи (см. рис. 3.1). Таким образом, показан идеальный случай, в котором задача оптимальной идентификации экспоненциальной модели решена. Для реальных каналов связи потребовалось бы проводить расчёт с увеличением порядка модели до тех пор, пока не будет определено значение порядка, обеспечивающее минимальное значение ошибки аппроксимации, либо не достигнуто ограничение на порядок модели, заданное в (2.6).

Выбранные порядки моделей обеспечивают векторы параметров длиной 32 и 20 вещественных отсчётов соответственно. Такие результаты позволяют осуществить эффективное сжатие ИХ. Если же степени сжатия недостаточно, можно уменьшить порядок используемых экспоненциальных моделей, тем самым уменьшив длину вектора параметров за счёт увеличения ошибки аппроксимации. Таким образом, для модифицированного метода Прони подтверждена возможность существенного сжатия ИХ при одновременном сохранении высокой точности аппроксимации, равно как и возможность увеличивать степень сжатия, снижая качество аппроксимации.

Заключение

1. Продемонстрирован общий подход к аппроксимации ИХ канала связи с помощью обобщённой дискретной экспоненциальной модели и сформулирован критерий оптимальной аппроксимации ИХ для модифицированного метода Прони, позволяющий обеспечить хорошее сжатие ИХ.
2. Разработаны алгоритмы аппроксимации ИХ канала связи с помощью классического и модифицированного ковариационного методов Прони и проведено их сравнительное экспериментальное исследование в среде математического пакета Matlab.
3. Установлено, что оба предложенных алгоритма обеспечивают высокую точность аппроксимации ИХ. При этом предложенный модифицированный вариант метода Прони позволяет обеспечить данную точность при одновременном эффективном сжатии ИХ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прокис Дж.* Цифровая связь : под ред. Кловского Д.Д. : пер. с англ. М. : Радио и связь, 2000. 800 с.
2. *Голдсмит А.* Беспроводные коммуникации : под ред. Березовского В.А. : пер. с англ. Бирюкова Н. Л., Триски Н. Р. М. : Техносфера, 2011. 904 с.
3. *С. Л. Марпл-мл.* Цифровой спектральный анализ и его приложения / под ред. Рыжака И.С. / пер. с англ. Хабарова О.И., Сидоровой Г.А. – М. : Мир, 1990. 584 с.
4. *Волчков В.П., И.М. Безруков* Синтез дискретного оптимального прекодера с финитной системой сигналов для систем OTDM // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2015. Т. 15. №5. С. 48-51.

5. *Безруков И. М.* Разработка оптимального дискретного прекодера для цифрового канала связи с ВРК с финитной системой сигналов // Сб. докладов V-й межвузовской студенческой конференции "Научная сессия – современная радиоэлектроника". 2016. Гл. III. С. 188 – 192.
6. *Волчков В.П., Безруков И.М.* Разработка модифицированного метода Прони для аппроксимации и сжатия импульсной характеристики канала // Сб. трудов X-й всероссийской конференции "Радиолокация и радиосвязь". 2016. С. 228 – 234.
7. *В.Г. Санников* Синтез финитных сигналов Найквиста, согласованных с телефонным каналом связи // Электросвязь. 2012. №5. С. 9-12.

Н.В. Болдырихин, И.П. Рыбалко, И.А. Сосновский, И.С. Гирин

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОПИСАНИИ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сеть связи, мониторинг сети, управление наблюдениями, динамическая модель.

Рассмотрены особенности применения стохастических дифференциальных уравнений в качестве математических моделей сетевых объектов в задачах мониторинга.

N.V. Boldyrikhin, I.P. Rybalko, I.A. Sosnovsky, I.S. Girin

APPLICATION OF DYNAMIC MODELS IN DESCRIPTION OF NETWORK EQUIPMENT IN MONITORING PROBLEMS

North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Key words: communication network, network monitoring, observation control, dynamic model.

The peculiarities of using stochastic differential equations as mathematical models of network objects in monitoring tasks are considered.

В настоящее время в связи с быстрым развитием сетей связи, повышением их сложности актуальными являются задачи мониторинга сетей связи [1-3]. Одним из существенных вопросов в этой области является вопрос оптимального распределения

ресурсов информационной системы мониторинга между наблюдаемыми объектами сети (маршрутизаторами, коммутаторами, серверами, рабочими станциями и т.д.). В этой связи представляется интересным исследование возможностей применения классической теории управления наблюдениями [4] применительно к задачам мониторинга сетей. В данной статье предлагается использование в качестве модели наблюдаемого сетевого объекта стохастического дифференциального уравнения.

В рамках теории управления наблюдениями в качестве модели информационного процесса может быть использовано стохастическое дифференциальное уравнение вида [5]

$$\frac{dy(t)}{dt} = \phi(y(t),t) + g(y(t),t)\xi(t),\ y(t_н) = y_н,\ t \in [t_н, t_к], \qquad (1)$$

где $y(t) \in R^n$ - вектор состояния; $y_н$ - случайный вектор с плотностью распределения $W_{y_н}(y)$; $t_н$ - момент времени начала наблюдения; $t_к$ - момент времени окончания наблюдения; $g(y(t),t) \in R^{n\times r}$; $\phi(y(t),t) \in R^n$; ϕ, g - нелинейные матричные функции, измеримые по совокупности аргументов, удовлетворяющие условию Липшица: $\left|\phi(y,t))\right|^2 + \left|g\ (y,t)\right|^2 \le M(1+\left|y\right|^2)$, $M = const \ge 0$, $\left|\phi(y_1,t) - \phi(y_2,t)\right| + \left|g\ (y_1,t) - g\ (y_2,t)\right| \le M\left|y_1 - y_2\right|$, для любых $y_1, y_2 \in R^n$; $\xi(t) \in R^r$ - белый шум, для которого $M[\xi(t)] = 0$; $M[\xi(t)\xi^T(t-\varsigma)] = Q_\xi\delta(\varsigma)$, $Q_\xi \in R^{r\times r}$.

Выражение (1) представляет собой модель непрерывного марковского случайного процесса, которая во многих случаях наиболее полно отражает физическую сущность изучаемых явлений.

Координатами вектора $y(t)$, описывающего состояние сетевого оборудования, могут быть: число занятых каналов в системе коммутации, длинны очередей, время задержки или доставки сообщений и т.д. Очевидно, что эти, и многие другие параметры сетевых объектов являются случайными величинами. Случайный характер этих величин может быть обусловлен как внутренними факторами, связанными с процессами, протекающими внутри объекта наблюдения, так и внешними. Например, случайное время ответа на эхо-запрос («лаг» или RTT) может быть связано как с загруженностью сервера (внутренний фактор), так и со скоростью соединения и загруженностью каналов на всём протяжении от клиента к серверу. В рамках модели (1) целесообразно с процессом $\xi(t)$ связывать внутренние случайные факторы. $\xi(t)$ часто называют формирующим шумом. Внешние случайные воздействия, влияющие на результат измерения параметров сетевого объекта, учитываются в модели наблюдения в виде шума наблюдения $\eta(t)$. Данная модель описывается выражением

$$V(t) = \gamma(t)h(y(t),t) + \eta(t),\ t \in [0,T], \qquad (3)$$

где $V(t) \in R^m$ - вектор наблюдения; $h(y(t),t) \in R^m$ - нелинейная вектор - функция; $\eta(t) \in R^m$ - белый шум, для которого $M[\eta(t)] = 0$; $M[\eta(t)\eta^T(t-\varsigma)] = Q_\eta\delta(\varsigma)$, $Q_\eta \in R^{m\times m}$ - диагональная матрица; $\gamma(t)$ - скалярная управляющая функция, удовлетворяющая

следующим ограничениям: $\gamma(t) \in \Gamma = \{0,1\}$, $\int_0^T \gamma(t)dt = t_\Sigma < T$, где t_Σ – общее время наблюдений на интервале $[0,T]$.

Следует отметить, что многие случайные параметры сетевых объектов не могут по определению иметь гауссовский характер. Так, например, время задержки пакета может быть только положительной величиной, то же относится и к числу пакетов в очереди. В таких случаях необходимо использовать метод гауссовской аппоксимации.

Помимо уравнений вида (1) возможно использование пространственно-дифференциальных моделей, описывающих состояние сетевого объекта. Использование таких моделей целесообразно в условиях когда объем априорной информации о состоянии объекта ограничен стохастическим пространственно - дифференциальным уравнением, описывающим фазовую траекторию объекта наблюдения в пространстве состояний, при этом закон движения вдоль такой траектории неизвестен. Особенности алгоритмов обработки измерительной информации, связанные с применением таких моделей, подробно рассмотрены в работе [6].

Поскольку сеть представляет собой совокупность объектов наблюдения, то в общем случае модель состояния будет иметь вид

$$\frac{dy_i(t)}{dt} = \phi_i(y_i(t),t) + g_i(y_i(t),t)\xi_i(t),\ y_i(t_н) = y_{iн},\ t \in [t_{iн}, t_{iк}], \qquad (5)$$

где $y_i(t) \in R^{n_i}$ - вектор состояния $i-$го объекта; $y_{iн}$ - случайный вектор с плотностью распределения $W_{i\,y_н}(y)$; $t_{iн}$ - момент времени начала наблюдения $i-$го объекта; $t_{iк}$ - момент времени окончания наблюдения $i-$го объекта; $g_i(y_i(t),t) \in R^{n_i \times r_i}$; $\phi_i(y_i(t),t) \in R^{n_i}$; $\xi_i(t) \in R^{r_i}$ - белый шум, для которого $M[\xi_i(t)] = 0$; $M[\xi_i(t)\xi_i^T(t-\varsigma)] = Q_{i\xi}\delta(\varsigma)$, $Q_{i\xi} \in R^{r_i \times r_i}$.

Следует иметь в виду, что в общем случае моменты времени $t_{iн}$ и $t_{iк}$ в уравнении (5) могут быть как детерминированными, так и случайными величинами, определенными на пространстве $[0,\infty]$. Во втором случае необходимо пользоваться алгоритмами управления наблюдениями за потоками случайных процессов [7,8].

Для совокупности сетевых объектов модель наблюдения принимает вид:

$$V(t) = \sum_{i=1}^{I} \gamma_i(t) h_i(y_i(t),t) + \eta(t),\ t \in [t_0, t_к], \qquad (6)$$

где $V(t) \in R^m$ - вектор наблюдения; $h_i(y_i(t),t) \in R^m$ - нелинейная вектор - функция; $\eta(t) \in R^m$ - белый шум; $\gamma_i(t)$ - скалярная управляющая функция, удовлетворяющая следующим ограничениям: $\sum_{i=1}^{I} \gamma_i(t) \in \Gamma$, $\int_0^{t_к} \sum_{i=1}^{I} \gamma_i(t)dt = t_\Sigma < T$, где t_Σ – общее время наблюдений на интервале $[0,t_к]$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Легков К.Е.* Модели и методы мониторинга параметров, характеризующих состояние инфокоммуникационной системы специального назначения // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №1. – С. 11-18.
2. *Скуратов А.К.* Статистический анализ телекоммуникационных сетей на основе исследования информационных потоков, представленных в виде временных рядов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. - 2006. -№ 1 (9). -С. 259-264.
3. *Габриэльян Д.Д., Енгибарян И.А., Сафарьян О.А.* Оценивание частот генераторов на основе совместной обработки фаз формируемых сигналов // Инженерный вестник Дона. -2012. -Т. 22. -№ 4-1 (22). -С. 65.
4. *Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Карлов В.И.* Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1989.
5. *Тихонов В. И., Харисов В. Н.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. - М.: Радио и связь, 1991.
6. *Хуторцев В.В., Семененко А.Н., Болдырихин Н.В.* Пространственнное описание траекторий в задачах навигации при неизвестных законах движения объектов // Радиотехника. -1997. -№ 4. -С. 13.
7. *Болдырихин Н.В., Хуторцев В.В.* Управление наблюдениями за потоками случайных процессов // Автоматика и телемеханика. - 2006. -№ 12. -С. 43-55.
8. *Болдырихин Н.В., Рыбалко И.П., Сосновский И.А., Яровой А.В.* Управление наблюдениями за потоками информационных процессов в измерительной системе // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. - 2015. - № 1. - С. 374-379.

А.В. Бородин

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ВОЛНОВОДНОЙ И ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИКЕ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: световод, сегнетоэлектрики, пироэлектрические приемники.

В статье рассмотрена возможность использования сегнетоэлектрических материалов в качестве активных устройств, которые в результате взаимодействия управляющих полей (электрических или акустических) позволяют менять характеристики распространения в них оптического сигнала.

A.V. Borodin

STUDY OF PERSPECTIVE MATERIALS TO USE IN GUIDED-WAVE OPTICS AND INTEGRATED OPTICS

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: optical fiber, ferroelectrics, pyroelectric receivers.

The article considers the possibility to use ferroelectric materials as active devices which enable to change characteristics of distribution of an optical signal in the materials as a result of interaction of affecting fields.

Развитие волноводной, или интегральной оптики способствует созданию новых типов систем для обработки больших объемов информации с высокой скоростью. В них используется волноводное распространение света в тонкопленочном световоде, материалами которого могут служить полупроводники, жидкие кристаллы, ферриты, стекло и др. Одним из наиболее перспективных материалов являются сегнетоэлектрики. На их основе могут быть созданы не только пассивные световоды, но и активные устройства, которые в результате взаимодействия управляющих полей (электрических или акустических) позволяют менять характеристики распространения в них оптического сигнала.

Световод в одном случае представляет собой тонкую пленку, нанесенную на подложку из другого вещества, в другом – тонкий слой с измененным показателем преломления, созданный на поверхности того же самого кристалла. Когда показатель преломления выше, чем показатели преломления граничащих сред – подложки и покрытия, то в такой структуре может распространяться оптическое излучение в виде бегущих волн, энергия которых сосредоточена в основном внутри слоя. Такие волны называются собственными модами световода.

В настоящее время в интегральной оптике большое распространение приобретают неоднородные (градиентные) световоды, получаемые диффузией металлов (Ti, Ni и др.) в подложки из монокристалла ниобата лития. Такие световоды обладают достаточно малыми потерями и позволяют благодаря наличию электро- и акустооптических эффектов управлять распространяющимся в них оптическим излучением. В [1] было проведено исследование параметров диффузии титаната в пластинках ниобата лития для получения градиентных световодов с заданными параметрами. Кристаллы ниобата лития ($LiNbO_3$) оптически прозрачны в области длин волн 0,4-5,0 мкм; показатель преломления обыкновенного луча 2,29, необыкновенного — 2,20 (для длины волны 0,63 мкм). Ниобат лития является сегнетоэлектриком с температурой Кюри ~1210 °С и величиной спонтанной поляризации 50—80 мкКл/см^2 при 300 К. Обладает высокими нелинейно-оптическими характеристиками, поэтому используется в лазерах для генерации второй гармоники. Кроме того, ниобат лития используется в качестве элементов в

электрооптических устройствах (модуляторы, дефлекторы и др.), пироэлектрических приемников излучения.

Методика изготовления световодов, используемых в [1] заключалась в следующем. На полирование пластинки Y-среза ниобата лития методом ВЧ распыления наносились слои титана толщиной от 0,06 до 0,015 мкм. Диффузия титана проводились в проточной атмосфере аргона, чтобы избежать его окисления. Температура диффузия варьировались в интервале 1170-1270 К. После процесса диффузии проводилось охлаждение образцов в атмосфере кислорода до комнатной температуры. Приготовленные таким образом световоды получались, как правило, бесцветными, прозрачными, без видимых включений и повреждений поверхности.

Знание параметров диффузии позволяет путем изменения температуры и времени диффузии получить световоды с заданным спектром собственных мод. Обратная задача также представляет интерес: изменяя характеристики созданного световода, можно получить информацию о параметрах диффузии примесей в материале световода.

В световодах на основе $LiNbO_3$ были измерены также коэффициенты затухания света. Полученные минимальные значения затухания $\alpha = 0,4$ дБ/см ($\lambda = 0,63$ мкм) являются вполне допустимыми для практического применения.

Результаты исследования распространения и преобразования оптического излучения в сегнетоэлектрических приборах показывают, что сегнетоэлектрики являются перспективным и конкурентноспособным материалом для интегральной оптики. На их основе созданы разнообразные устройства оптической обработки информации, в частности акустические дефлекторы, электрооптические модуляторы, оптические вентили и переключатели, которые имеют малые габариты, вес, малую мощность управления. В настоящее время для прикладных целей наиболее широко используются световоды из ниобата и танталата лития. Они отличаются малыми оптическими потерями, обладают сильными акусто- и электрооптическими эффектами и, кроме того, освоена технология их создания. Несомненный интерес представляют пленочные световоды из прозрачной сегнетоэлектрической керамики цирконат-титонат свинца (ЦТС и ЦТСЛ). Первые эксперименты по созданию таких световодов методом ВЧ распыления успешно выполнены. Однако для их широкого внедрения требуется дальнейшая отработка технологии, чтобы уменьшить оптического потери.

Керамическая технология позволяет довольно просто получить обширный класс сложных соединений и выявить среди них вещества с интересными физическими свойствами. Однако для более полного, детального исследования необходимы вещества в монокристаллическом состоянии. Исследование кристалла позволяет определить физические константы по различным кристаллографическим направлениям, что и определяет перспективность их практического применения.

Было проведено систематическое исследование пироэлектрических и диэлектрических свойств поликристаллических образцов системы $(1-x)NaNbO_3 - x\ LiNbO_3$ в трех смежных интервалах изменения x, перекрывающих весь диапазон образующихся твердых растворов ($0 \le x \le 0,1450$) [2].

В первом интервале для $0,0025 \le x \le 0,04$, включающем в себя область антисегнетоэлектрической фазы ($x < 0,015$), область сегнетоэлектрической Q-фазы $0,0225 < x < 0,0325$ и области морфотропных переходов между ними установлено, что для предварительно поляризованных образцов пироэлектрические и диэлектрические

параметры и их температурные зависимости становятся характерными для сегнетоэлектрической фазы уже при x≥0,015. При x=0,015 и 0,030 отмечено появление в циклах «нагрев-охлаждение» обратных («зарядных») токов при охлаждении, свидетельствующих о формировании вблизи границ морфотропных переходов внутреннего поля смещения E_i, частично восстанавливающего поляризованное состояние после прогрева на 50÷70°C выше максимума основного разряда сегнетоэлектрической поляризации. Аналогичное более сильное поле E_i обнаружено у керамик составов с x от 0,070 до 0,1075. При этом дополнительные аномалии на кривых температурных изменений диэлектрической проницаемости вместе с кривыми $\gamma_д(T)$(пироэлектрический коэффициент, измеренный динамическим методом), $\gamma_{ст}(T)$(пироэлектрический коэффициент, измеренный квазистатическим методом) однозначно указывают на появление дополнительной сегнетоэлектрической фазы. При x=0,07 на кривой $\varepsilon/\varepsilon_0(T)$ (относительная диэлектрическая проницаемость) при охлаждении она фиксируется в интервале 300÷325°C, при x≈0,100 и T=280÷340°C, при x=0,1075 и T=290÷345°C. Далее, она перемещается в область более высоких температур, сужается температурный интервал и при x≥0,110 она уже не обнаруживается.

В окрестности ромбоэдрической фазы 0,1100≤x≤0,145 установлено сильное размытие максимумов пироэлектрического тока, обусловленное наличием поляризации несегнетоэлектрической природы. При этом внутреннее поле смещения E_i не формируется.

Было установлено существование материалов с концентрацией x≤0,10 оптимальных для применения в качестве пироэлектрических приемников излучения стабильных в широком температурном интервале.

Установленные в работе закономерности изменения диэлектрических и пироэлектрических параметров твердых растворов на основе ниобата натрия могут быть использованы при создании новых сегнетокерамических материалов для конкретных областей применения, в частности, для пироэлектрических приемников излучения и электрооптических устройств. На основе сравнительного анализа факторов качества, определяющих вольт-ваттную и пороговую чувствительность пироэлектрических приемников излучения и стабильности поляризованного состояния выявлены составы, перспективные для практического применения [3]. Эти составы в отличие от ЦТС и ЦТСЛ не содержат вредных для здоровья человека свинецсодержащих компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смоленский Г.А., Миронов С.А., Агеев А.Н., Леманов В.В., Сухарев Б.В., Мокрушина Е.В., Шаплыгина Т.А.* Распространение и преобразование оптического излучения в планарных сегнетоэлектрических световодах. //Сегнетоэлектрики/ Ростовский государственный университет, 1983, с. 31-54.
2. *Ситало Е.И., Бородин А.В., Резниченко Л.А., Иванов П.В.* Электромеханические свойства сегнетокерамики на основе $(Na,Li)NbO_3$ в окрестности морфотропного фазового перехода. // Сборник трудов Международного симпозиума “Порядок, беспорядок и свойства оксидов.”, (“ODPO-2001”), г.Сочи, Лазаревское, Россия. 27-29 сент. 2001г. с.78.

3. *Бородин А.В.* Преимущества использования пироэлектрических приемников. // «INTERMATIC – 2016» / Материалы Международной НПК, 21-25 ноября 2016 г. Москва. – М.:МИРЭА,2016, ч.4, с.19-21.

П.С. Бражуненко, О.П. Иевлев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛЬНОГО ТРАФИКА СЕТЕЙ IMS В ЦЕЛЯХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПЕРЕГРУЗОК SIP-СЕРВЕРА

Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия

Ключевые слова: контроль состояния перегрузок, смешанная СМО, сервер, SIP, статистические данные.

В статье представлены основные статистические данные трафика контакт-центра и рекомендуемые для этих данных параметры вероятностных характеристик для обеспечения контроля состояния перегрузок в SIP сервере. Данные параметры выводятся по результатам оценок показателей статистических вероятностей систем массового обслуживания с несколькими классами сообщений.

P.S. Brajunenko, O.P. Ievlev

THE STUDY OF PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF SIGNAL TRAFFIC FOR THE PREVENTING SIP-SERVER OVERLOADS IN IMS

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Keywords: congestion monitoring, mixed MCS, server, SIP, statistical data.

The article presents main traffic statistics of the contact center and parameters of probabilistic characteristics recommended for these data to provide control over the state of overloads in the SIP server. These parameters are derived from the results of estimations of statistical probabilities of queuing systems with several message classes.

Современные мультисервисные сети связи строятся на основе концепции IMS (англ. IP Multimedia Subsystem), обеспечивающей предоставление неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и разработке новых услуг за счет унификации сетевых решений на базе IP.

Одной из основных задач при разработке и эксплуатации сетей на базе IMS является обеспечение заданного качества обслуживания (англ. Quality of Service, QoS).

Параметры качества обслуживания в сети подразделяются на два основных класса: к первому классу относятся параметры, связанные с установлением или разрушением соединений; ко второму – параметры, определяющие фазу соединения (например, между двумя различными абонентами). Наиболее важным процессом является соблюдение временных характеристик обработки трафика сигнальной информации.

Основным протоколом, стандартизированным для работы в IMS, является протокол инициации сессии (англ. Session Initiation Protocol, SIP). Все возможные соединения между конечными пользователями и различными доменными зонами всегда проходят через каскады SIP-серверов. Это оборудование предназначено как для работы с SIP запросами, так и для трансляции и преобразования сообщений других протоколов.

Большая часть нагрузки SIP-сервера приходится на обработку трафика сигнальной информации. При этом становятся нередкими случаи, когда на вход оборудования (взаимодействующего также с основными узлами сети) в определенную единицу времени поступает больше запросов, чем оно способно обслужить. В итоге, происходит значительное снижение пропускной способности оборудования.

Для решения данной проблемы были созданы специальные механизмы контроля состояния перегрузки, направленные на снижение эффекта деградации пропускной способности.

Однако подобные алгоритмы не во всех случаях их применения могут быть эффективными [1]. Поэтому активно ведутся работы по разработке различных способов оптимального управления и балансировки сигнального трафика во время большой загруженности оборудования SIP-серверов.

Существуют несколько видов механизмов: локальные, междусекционные и глобальные. В данной статье предлагается вариант локального механизма контроля перегрузок, который можно легко реализовать на практике.

В статье также проводится исследование вероятностных характеристик сигнального трафика в наиболее загруженные моменты рабочего времени колл-центра (англ. Call Center, CC) [3] с применением модели смешанной сети обслуживания нескольких классов сообщений и применения теоремы BCMP-сетей, относящейся к сетям данного типа. Представлена модель сервера, анализирующего два потока заявок: поступающего извне и ожидающего в порядке общей очереди своего обслуживания. На основе данных о характере изменений сигнального трафика CC за ограниченный период времени, построены функции распределения вероятностей (ФРВ) обнаружения двух вышеуказанных типов сообщений и зависящие от вероятности обработки ожидающих в очереди заявок.

В заключении, на основе рассмотрения полученных в процессе расчетов значений ФРВ, даются рекомендации по отслеживанию моментов загруженности сервера, когда необходимо подготовить оборудование к снижению влияния на него состояния перегрузки, которое может наступить в любой момент времени.

В процессе изучения материалов, представленных в [2], было принято решение о рассмотрении в качестве показательной модели мониторинга состояния перегрузки системы массового обслуживания, на вход которой поступают два вида заявок, упомянутых выше. Первый вид сообщений проходит через систему беспрепятственно – вне зависимости от состояния сервера. Второй вид – находится в буфере памяти сервера и ожидает очереди на обслуживание. Обработка этого вида заявок полностью зависит от

загруженности сервера. В определенные моменты времени, заявки могут быть отклонены либо транслированы в самый конец существующей очереди, откуда снова поступают на вход системы для дальнейшей обработки.

Для отражения возможности обработки ожидающих сообщений вводится для них дополнительная вероятность $p1$, которая показывает вероятность этой обработки с учетом текущей загрузки SIP сервера. Эта вероятность используется при описании обработки заявок, отправляющихся на повторную обработку сервером.

На рис. 1 приведена схема исследуемой системы. Она представляет собой стандартную схему замкнуто-разомкнутой (смешанной) сети и ее можно отнести к сетям BCMP [2]. В соответствии с теорией BCMP, предполагаем, что на вход серверного оборудования поток внешних заявок и возвращенных заявок поступает с интенсивностью, задаваемую распределением Пуассона, и интенсивность обслуживания подчиняется экспоненциальному распределению.

Рисунок 1. Исследуемая модель SIP сервера

Смешанные сети делятся на четыре типа: первый тип работает по принципу “первый пришел – первый ушел” (англ. FIFO); второй тип подразумевает наличие центрального ядра или процессора, задающего ход обработки поступающих на сервер сообщений, - “функциональность сервера” (англ. FS); третий тип действует по схеме “последний пришел – первый ушел” (англ. LCFO); а четвертый тип можно отнести к многоканальным сетям, использующие каскады серверов. В нашем случае будем использовать второй тип, в связи с тем, что именно возможности процессора определяют процесс обслуживания всех классов сообщений.

Предполагаем, что процессы в системе не зависят от их предыдущего состояния и описываются Марковским процессом: $P(S_{t+1}|S_1,\dots,S_t) = P(S_{t+1}|S_t)$, где S – определенное состояние, а t – период времени, в течение которого наблюдалось данное состояние. Введем обозначения для заявок первого типа $n1$ и заявок второго типа $n2$ и опишем с их помощью текущий процесс обработки сообщений как: $P(t) = \langle (\mathrm{n1(t)}, \mathrm{n2(t)}) : 0 \le \mathrm{n1} \prec \infty, 0 \le \mathrm{n1} \prec \infty, t \ge 0 \rangle$. Введем обозначение вероятности того, что в системе обрабатываются одновременно заявки первого вида и второго вида, $P(n1, n2), \mathrm{P} \in \mathrm{P(t)}$.

Используем положения теоремы смешанных сетей и выведем выражение для расчета маргинальных стационарных вероятностей одновременной обработки сообщений $n1$ и $n2$:

$$P(\mathrm{n}1,\mathrm{n}2) = (1-\rho(1+p1))\rho^{n1}(1+p1)^{n1}\,p^{n2}\,\frac{n!}{n1!n2!}, \qquad (1)$$

Необходимо отметить, что в формуле (1) параметр ρ обозначает всю внешнюю нагрузку, поступающую на входы сервера, причем данный параметр умножается на нагрузку повторно поступающих сообщений. В последнем множителе параметр $n = n1 + n2$ является суммой всех существующих в системе заявок, а комбинация всех сообщений n делится на комбинации отдельно взятых сообщений. Именно эта часть формулы (1) позволяет найти вероятности одновременного нахождения в системе сообщений всех классов. Расчеты стационарных вероятностей используются для построения ФРВ, по значениям которой можно будет определить граничные вероятности допуска сообщений к обслуживанию.

В целях получения экспериментальных результатов, были использованы данные измерения трафика сигнализации из [3].

На рис. 2 из [3] показаны флуктуации трафика сигнальной информации в течение одного отдельно рассмотренного дня работы СС. Нагрузка измерена в Эрл, а время представлено в часах:

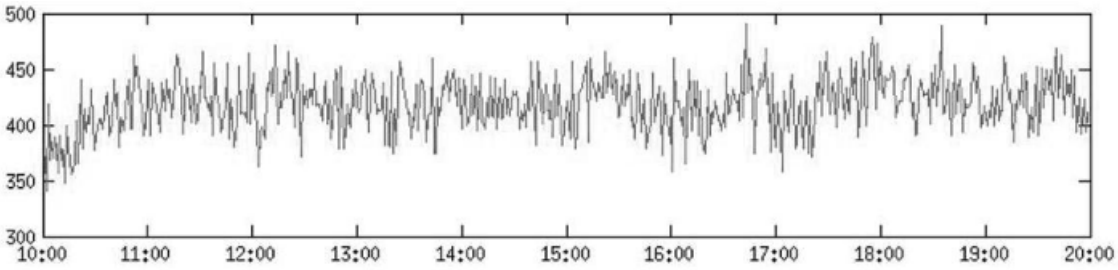


Рисунок 2. Флуктуации трафика сигнальной информации в течение одного рабочего дня СС

Трафик является двусторонним и связывает граничный SIP-прокси сервер, расположенный на стороне сетевого оператора, с узловой автоматической телефонной станцией У-АТС.

В качестве исходных данных были выбраны временные отрезки внутри дня между 10:00 и 11:00 и 19:00 и 20:00. Выбор этих интервалов объясняется тем, что именно в эти временные промежутки происходит заметное нарастание либо перераспределение сигнальной нагрузки, отражающие подключение к сети СС конечных пользователей. На первом диапазоне, в пределах одного часа, было отмечено увеличение нагрузки, равное 120 Эрл. Среднее значение нагрузки колеблется в пределах 400 Эрл и (до обеденного времени в СС) находится значительно ниже мгновенно измеренных значений трафика. Данное явление свидетельствует о том, что в данный временной диапазон возможно появление постоянного роста трафика на опорной сети и прокси-серверах и возникновение длительных перегрузок на данном оборудовании. При рассмотрении последнего временного отрезка, было зафиксировано максимальное нарастание трафика, равное 80 Эрл, и средняя нагрузка трафика, лежащая в пределах 440 Эрл. Можно

сделать вывод, что, в связи с тем, что изменение нагрузки в последний промежуток времени является меньшим, чем в первый диапазон (хотя возрастает быстрее), а измеренные мгновенные (минутные) значения нагрузки находятся ниже (в предыдущем диапазоне – выше) средней нагрузки трафика, перегрузки становятся более редким явлением, но опасность их остается такой же реалистичной, как и в предыдущем варианте.

Для дальнейшего исследования необходимо определить, какие из видов SIP-сообщений используются в установлении и прерывании стандартного соединения. Комбинации таких сообщений многочисленны [3]:

- успешное установление соединения или группы соединений с последующей генерацией ответного уведомления;
- установление соединения или группы соединений на занятого (в течение некоторого времени) оператора;
- завершение соединения, связанное с неверно набранным номером вызываемого абонента;
- завершение соединения, инициированное вызывающей стороной, до момента ответа У-АТС;
- завершение соединения по причине аварийной ситуации на линии связи или отдельного узлового оборудования.

В процессе выборки из сообщений, относящихся к успешно установленным и завершенным сеансам связи, была выделена группа сообщений, чаще всего передаваемая между SIP-прокси сервером и терминалом типичного абонента (доля в общем трафике сигнализации составляет 23,08%):

INVITE, 100 OK, 180, 200 OK, ACK, INVITE, 100 OK, 200 OK, ACK, BYE, 200 OK.

В данном блоке сообщений предлагается выделить две группы: первая группа заявок должна принадлежать к вышеописанному классу $n1$, вторая – к классу $n2$. Именно последняя группа имеет большую интенсивность при поступлении на вход серверного оборудования и имеет более высокую вероятность вывода из буфера памяти сервера при ситуациях, связанных с перегрузкой.

К такой группе относятся сообщения типа INVITE – их реальная интенсивность поступления на обработку в шесть или семь раз превышает значения для других сообщений. Доля INVITE в информационном блоке составляет 18 %, доля остальных сообщений – 82%.

Перед определением расчетов маргинальных вероятностей по формуле (1), обращаем основное внимание на первый множитель, в котором присутствует выражение $\rho(1+p1)$. Для существования стационарного режима, его значение должно быть меньше единицы. Для этого необходимо определить граничные значения загруженности сервера и вероятности приема сообщений из буфера памяти. В таблице 1 приведены данные значения:

Загруженность сервера	Вероятность приема
0,9	0,1
0,8	0,2
0,7	0,4
0,6	0,6
0,5	0,9
0,4	0,9
0,3	0,9
0,2	0,9
0,1	0,9

Таблица 1. Взаимосвязь загруженности сервера и вероятности приема поступающих сообщений

Далее для фиксированных значений загруженности сервера 0,9 и 0,5 (определены как граничный и предварительный момент возникновения состояния перегрузки), для вероятностей приема сообщений: [0,01…0,1] – для загруженности, равной 0,9; [0,1…0,9] – для загруженности, оцениваемой в 0,5, - строятся графики ФРВ для двух временных интервалов работы СС: 10:00-11:00 и 19:00-20:00.

На рис.3 и рис. 4 приводятся полученные результаты.

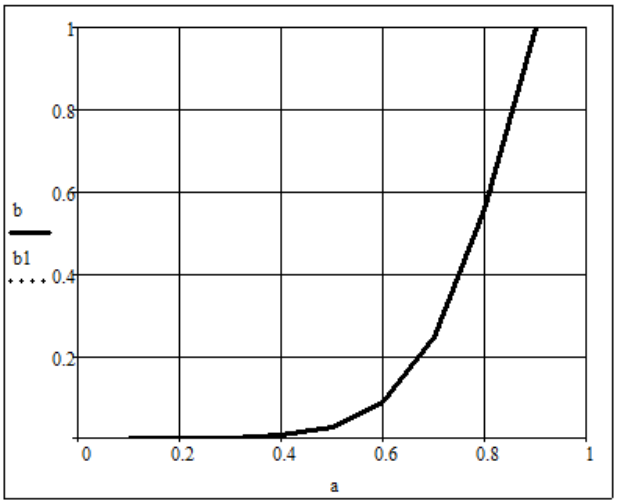


Рисунок 3. Распределение вероятности нахождения сообщений всех классов в системе обслуживания при загрузке сервера, равной 0.5

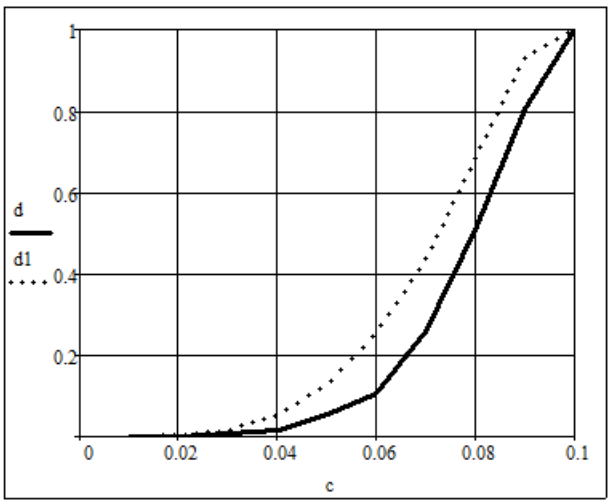


Рисунок 4. Распределение вероятности нахождения сообщений всех классов в системе обслуживания при загрузке сервера, равной 0.9

При анализе результатов расчетов становится очевидным, что при загруженности, оцениваемой в 0,9, графики распределения вероятности имеют ощутимые расхождения на всех временных интервалах, что сигнализирует о возможности подстройки параметров SIP-сервера для достижения необходимого качества обслуживания во время работы.

В заключение необходимо отметить, что при вероятности нахождения в системе сообщений INVITE и non-INVITE, равной 0,5, и загруженности сервера, равной 0,5, на всех временных диапазонах необходимо использовать единственное (с допустимой погрешностью) значение вероятности приема заявок, оцениваемое как 0.78. Значение должно быть зафиксировано во внутренней программе сервера, так как является граничным (при его дальнейшем росте загруженность оборудования может значительно возрасти). При загруженности сервера, равной 0.9, в течение интервала 10:00-11:00 возможно применение значения вероятности, равного 0,80; в конце рабочего дня рекомендуется обратить внимание на значение 0,72. Приведенное в статье исследование можно использовать в процессе создания новых механизмов контроля перегрузок или развития уже существующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rosenberg J.* Requirements for Management of Overload in the Session Initiation Protocol. // RFC 5390. -2008, p. 1-10.
2. *Вишневский В.М.* Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – с. 104-114.
3. *Абаев П. О., Разумчик Р. В., Углов И. В.* Анализ модели SIP-трафика контактного центра по результатам обработки данных сетевых измерений. // “Технологии информационного общества” / T-Comm, ноябрь 2013 г. Москва. – М.: Медиа ПАБЛИШЕР, 2013, ч. 11, с. 15-20.

И.А. Брежный, Е.А. Ревякина, Е.М. Уколов

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской Государственный Технический Университет», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: геоинформационные системы, энергетика, базы данных, мобильный клиент, информация.

В статье анализируется актуальная проблема современной электроэнергетики и рассмотрено применение геоинформационной системы для решения основных задач в данной отрасли, проведён анализ требований к решению данной задачи.

I.A. Brezhny, E.A. Revyakina, E.M. Ukolov

PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY WITH APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS

Federal state budget educational establishment of the higher professional education “Don State Technical University”, Rostov-on-Don, Russia

Key words: geoinformation systems, energy, databases, the mobile client, information.

The article examines the actual problem of modern electric power industry and considers the application of the geoinformation system for solving the main tasks in this industry, also the analysis of the requirements for solving this problem is carried out.

В настоящее время деятельность предприятия по распределению электроэнергии невозможна без использования специальных средств для автоматизации и структурирования производственных процессов. Динамичное развитие энергетики требует полномасштабного создания высокоэффективной системы, способной внедриться в процесс технологии сбора и обработки информации, необходимой в процессе поддержания роста энергетики в целом для решения многочисленных задач планирования, прогноза, анализа, моделирования и др.

Поскольку практически вся информация о линиях электропередачи, опорах и другом оборудовании, связанном с подачей электроэнергии, имеет пространственную привязку, очевидно, что в качестве базовой информационной технологии лучше всего использовать геоинформационные системы (ГИС).

Геоинформационные системы (ГИС) предназначены для сбора, хранения, обработки, доступа, анализа, интерпретации и графической визуализации пространственных данных. Данная технология позволяет визуализировать данные на карте и предоставить всю необходимую информацию по объектам независимо от

применения выбранной отрасли. Актуальность выбранной темы выражается тем, что автоматизация процессов с помощью геоинформационных систем поможет улучшить работу производственных, управленческих, а также всех остальных групп компаний, которые так или иначе базируются на больших пространствах, работают с объектами, распределёнными на большой территории или нуждающихся в оперативном обмене данными с разных территорий.

В условиях быстрого роста информатизации и глобализации энергетики ясно выражена общая мировая тенденция функциональной детализации информационно-аналитического обеспечения для оценки распределения масштабных энергетических узлов на различных территориальных уровнях.

Использование данной технологии даёт большие преимущества в работе многих подразделений. В качестве примера можно привести работу выездной группы в труднодоступные места по проведению аварийных работ, используя вышеизложенную технологию можно уменьшить траты на сбор информации по объекту, определение его точного расположения - что в следствии влечёт точное планирование выезда оперативной группы, анализ задачи и построение решения с применением всех необходимых данных, которые включают в себя: маршрут, ресурсы необходимые для выездной группы, логистическую работу относительно маршрута и т.д. Так же данная система может быть использована управленческими подразделениями по сбору всей информации визуализированной на карте и переработку этих данных в статистические для дальнейших действий и укреплений компании.

Исходя из вышесказанного, ГИС могут применяться в геоинформационном обеспечении энергетики в виде информационно-аналитического комплекса по следующим пунктам:

- мониторинга состояния территории на различных участках для определения их жизненного цикла, качества и своевременности проведения различных обслуживающих мероприятий;

- инвентаризации складов и материалов в них, выделение участков с особенными характеристиками;

- оптимизации работы на основе рационального размещения оборудования с учетом их потенциала;

- наблюдения за динамикой развития энергетики и прогнозирование производительности оборудования и затрат на его обслуживание.

Для геоинформационного обеспечения энергетики хорошо подходят векторные модели ГИС, являющиеся оптимальными для работы со статичными свойствами, такими как позиционирование оборудования и его прокладка на местности.

Целью данной работы является разработка ГИС-технологии для компании работающей в энергетической отрасли, которая включает в себя следующие задачи:

- создание электронных (цифровых) карт и рабочих участков;

- создание баз данных по оборудованию (позиционирование, данные по оборудованию, физические свойства);

- ситуационный анализ и принятие тех или иных решений по логистике;

- формирование команд по принятым решениям в пределах конкретных участков дифференцированного проведения операций.

Основными частями данной геоинформационной системы должны быть:

– клиент-серверная архитектура;

– база данных с территориально-распределенной технологической информацией объектов предприятия;

– веб-интерфейс данной геоинформационной системы представленной в виде веб-сайта.

Однако, использование данной технологии влечёт за собой ряд ситуаций, в которых применение геоинформационных систем затруднительно. Одной из самых главных является отсутствие возможности удалённой работы. Исходя из вышесказанного примера следует, что вся работа совершается на рабочем месте, т.е. не там, где непосредственно может потребоваться дополнительная информация, осуществление специализированных операций над данными или графическое отображение при возникновении неоднозначности полученных результатов. Эти и другие функции могут потребоваться в любой момент времени, невзирая на наличие рабочего места. Следовательно, разработка системы, функционирующей не только на рабочем месте специалистов, с использованием режима офлайн и предоставляющей актуальную информацию об объектах системы в условиях отсутствия автоматизированного рабочего места(АРМ), является актуальной задачей.

Актуальность создания проекта подкреплена тем, что при использовании данного продукта повысится гибкость и структурированность информационной системы в целом и одним из важных решений является уменьшение трудозатрат на работу с системой в условиях недоступности АРМ. Ситуация такова, что на производстве всё записывается на бумаге или электронных носителях, а сама информация предоставляется в разложенном виде, вырванного контекста.

Для данной геоинформационной системы – мобильные клиенты будут использоваться в качестве дополнительного пользовательского инструмента, который предоставляет доступ к данным, находящихся в пользовании компании. Главным преимуществом является мобильность и отсутствие непосредственной работы с АРМ. Таким образом, мобильным клиентам доступна вся база данных(БД). Данное решение повышает оперативность реагирования пользователей на различные рабочие ситуации. Цель выполненной работы заключается в создании мобильного клиента корпоративной геоинформационной системы, который позволяет работать с производственными данными. В результате анализа требований, предъявляемых к мобильному клиенту, определены следующие основные функциональные возможности мобильного приложения:

– получение данных по объекту из главной БД предприятия непосредственно в момент возникновения этой потребности;

– поиск информации по БД;

– загрузка в локальную версию БД предприятия только тех данных, которые в дальнейшем будут необходимы;

– обеспечение нескольких вариантов представления информации;

– ориентация на пальцевую работу с приложением;

– наличие интуитивного интерфейса и поддержка современных визуальных эффектов.

Для мониторинга и проведения оценки территории с установленным оборудованием, с целью определения эффективности и производительности для

предоставления услуг энергетической компании необходимо произвести работу по созданию базы данных по показателям основных характеристик и пространственного позиционирования оборудования необходимого для работы всей энергетической компании. Для работы необходимо программное обеспечение – пакет программ Android Studio 2.3 и PostgreSQL 9.6.2. Далее для проведения требуемых работ по оценке и мониторингу необходимо провести сбор всей необходимой информации с целью определения их целесообразности и приоритетности при формировании последующей базы данных, научно обоснованной специализации и размещения оборудования электроэнергетической компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блиновская Я.Ю., Задоя Д.С.* Введение в геоинформационные системы. – М.: Форум; Инфра-М – 2013, 112 с.
2. *Раклов В.П.* Картография и ГИС. – М.: Академический проект; Киров: Константа, 2011, 214
3. *Ревякина Е.А., Ромашкина А.Ю.* Автоматизация процессов учёта и расследования технологических нарушений с помощью ПК «Аварийность» // Влияние информационных процессов на становление современной науки - Ростов н/Д.: ДГТУ – 2015.-174 с.

Е.В. Букрина

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ – ИННОВАЦИОННЫЙ СЕГМЕНТ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОПЕРАТОРА

Федеральное агентство связи
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: телекоммуникационный оператор, OTT-провайдеры, экосистема телекоммуникационного оператора, Промышленный интернет вещей, Национальная ассоциация участников рынка промышленного интернета.

В статье рассмотрена проблема конкурентоспособности телекоммуникационных операторов и актуальное средство ее решения – формирование инновационного сегмента экосистемы операторов – Промышленного интернета вещей.

E.V. Bukrina

INDASTRIAL INTERNET OF THINGS IS AN INNOVATIVE SEGMENT OF TELECOMMUNICATIONS OPERATOR ECOSYSTEM

Federal Communication Agency
Ural Technical Institute of Communication and Computer Sciences (branch)
FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Ekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Key words: telecommunication operator, OOT-providers, industrial internet of things (IOT), national association of industrial Internet market members.

The competitiveness of telecommunications operators as well as its decision means (innovative segment forming of operator's ecosystem – Industrial Internet of Things) is considered in the article.

Современный этап развития телекоммуникаций в России характеризуется изменением модели рынка. Это обусловлено появлением сильных конкурентов для операторов связи в лице OTT-провайдеров (Over-The-Top), предоставляющих услуги с использованием IP-технологий. Отличительным признаком данной услуги является ее специальный субъект – поставщик услуги, а не оператор связи.

OTT (Over the Top – поверх) – данный термин обозначает доставку сигнала по сети Интернет без непосредственного контакта с оператором связи.

OTT-провайдеры предоставляют услуги с использованием IP-технологий, при этом в качестве отличительного признака данной услуги выделяют ее специальный субъект – поставщик услуги, а не оператор.

Конкуренция на рынке услуг, предопределившая стремительный успех OTT, обусловлена следующим фактором – абоненты все реже используют традиционные услуги связи, предоставляемые сотовыми операторами, предпочитая им бесплатные OTT-сервисы для мобильного широкополосного доступа в сеть Интернет.

Проблема конкуренции операторов с OTT-провайдерами в конечном итоге может привести к тому, что операторы превратятся в «битовые трубы». Например, абонентам в действительности будет интересно рассматривать своего мобильного оператора исключительно как поставщика мобильного Интернета.

В тоже время, с учетом высоких темпов развития сетей связи четвертого поколения, увеличением проникновения современных мобильных устройств и мобильного Интернета, абоненты могут осуществлять коммуникации любого вида посредством использования OTT-сервисов: видео и голосовая связь, обмен сообщениями и файлами, обмен геолокационными данными (определение местонахождения пользователя) и так далее.

Для того, чтобы предотвратить подобную негативную тенденцию, операторам необходимо разработать принципы создания инфокоммуникационной экосистемы оператора, которая в перспективе позволит пересмотреть их положение на рынке в результате создания конкурентных сервисов.

Зарубежный опыт работы операторов в современном мире, обусловленном жесткой конкуренцией за лояльность абонентов, показывает, что первые также выстраивают свой спектр услуг согласно концепции экосистемы.

Так, согласно венесуэльскому изданию PORTAFOLIO, работающему в области изучения инфокоммуникаций, сегодня экосистема телекоммуникационных операторов операторов включает в себя такие сегменты, как мобильный интернет, приложения, мобильные «объявления», окружающие медиа и «месседжинг» (рисунок 1).

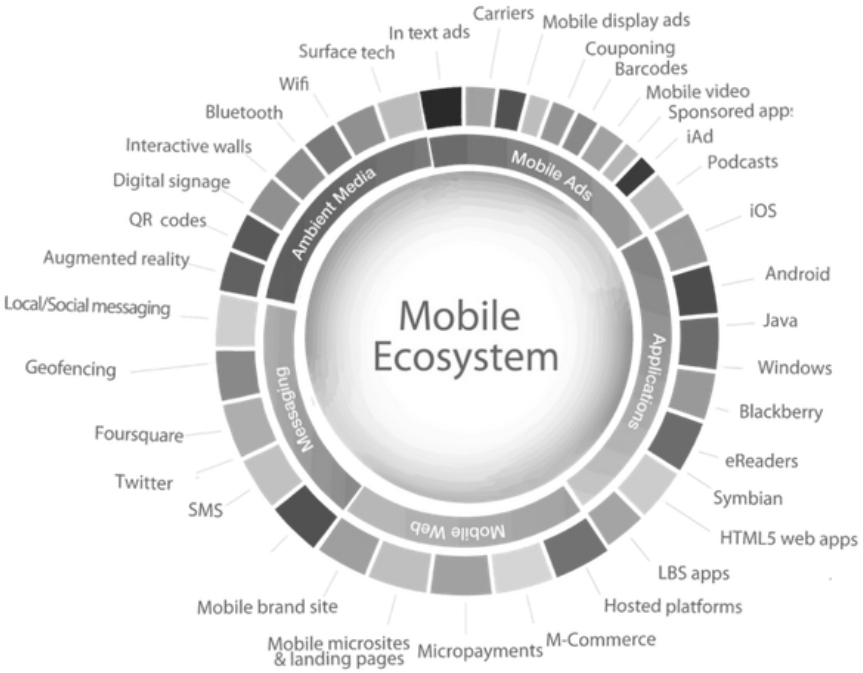


Рисунок 1 – Сегменты экосистемы

По мнению автора, экосистема телекоммуникационного оператора – это система мультимедийных услуг, которые предоставляются в любой момент, в любом месте, посредством инфокоммуникационных технологий и систем связи [1].

Цель создания такой системы – возврат контроля операторами над коммуникациями абонентов.

Основными факторами, обуславливающими формирование экосистемы, являются:

- использование OTT-провайдерами существующей инфраструктуры операторов без каких-либо инвестиционных вложений;

- растущий объем IP-трафика с доминированием в нем трафика OTT-провайдеров;

- развитие OTT-услуг приводит к снижению общих доходов операторов на телекоммуникационном рынке в Российской Федерации;

- снижение доходов приводит к ограничению или невозможности инвестирования в развитие инфраструктуры;

- изменение самой концепции восприятия оператора связи абонентами – оператор в перспективе может стать исключительно поставщиком мобильного Интернета;

- специфика OTT-сервисов и бурное развитие альтернативных способов доступа к Интернет стимулирует абонентов использовать бесплатные или условно-бесплатные OTT-сервисы.

Таким образом, телекоммуникационным операторам для поддержания конкурентоспособности необходимо сформировать экосистему или осуществлять ее совершенствование путем развития новых сегментов. На сегодняшний день самым перспективным сегментом можно считать сегмент Индустриального (промышленного) интернета вещей.

Индустриальный (промышленный) интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) – это сеть сетей, состоящих из уникально идентифицируемых объектов (устройств, датчиков, коммутационного оборудования), способных взаимодействовать друг с другом без вмешательства человека, через IP-подключение. Ключевым в этом определении является автономность устройств и их способность передавать данные самостоятельно, без участия человека. По этой причине такие устройства как смартфоны и планшеты нельзя включать в этот сегмент. Использование индустриального Интернета вещей подразумевает создание комплексного решения, объединяющего информационные процессы с производственными. Главная выгода от внедрения технологий IIoT на уровне предприятий – рост эффективности труда. Автоматизация процессов, их гибкая настройка, по подсчетам Deutsche Bank, может увеличить производительность на 30% [5].

Исходя из вышесказанного, появляется новая концепция цифровизации производства, которая, в свою очередь, формирует высокий спрос на применение инфокоммуникационных технологий и открывает для операторов инновационный сегмент в их экосистеме – сегмент Интернета вещей, который существенно расширит ее возможности.

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это новая концепция инфокоммуникационной сети, в которой вещи (физические или виртуальные) взаимосвязаны и взаимодействуют при минимальном человеческом вмешательстве. Объекты такой сети могут составлять определенное представление о своем состоянии, состоянии окружающих объектов, могут воспринимать знания об окружающей среде, делать логические выводы из накопленных знаний, адаптироваться к внешним и внутренним условиям [7].

Важную роль в становлении и успешном внедрении Интернета вещей играют различные перспективные инфокоммуникационные технологии, такие как большие данные, облачные технологии и повсеместная компьютеризация [4].

На сегодняшний день во многих странах, планирующих использовать технологии индустриального Интернета вещей, созданы ассоциации на базе государственных структур или с их участием, которые занимаются проблемами Интернета вещей.

В 2015 году в России была создана Национальная ассоциация участников рынка промышленного интернета (НАПИ) для активного участия России в мировой цифровой революции. Участниками Ассоциации могут быть разработчики систем, интеграторы, разработчики программного обеспечения, телекоммуникационные компании, инфраструктурные компании, производственные и транспортные компании, городские администрации и аграрные компании [6].

Миссия ассоциации – развитие цивилизованного рынка промышленного интернета как экономической основы производственной и бытовой инфраструктуры в России.

Участники ассоциации:

- ПАО «Ростелеком»;
- лаборатория Касперского;

- ПАО «Россети»;
- ПАО «Мегафон»;
- ПАО «Петер-Сервис»;
- группа компаний «ОСТЕК-ИНЖИНИРИНГ».

Как видно из списка, в состав ассоциации входит крупнейший государственный телекоммуникационный оператор России ПАО «Ростелеком», который был одним из главных инициаторов ее создания. «Ростелеком» определил Промышленный интернет одним из стратегических направлений развития. Это решение обусловлено следующими факторами [2]:

1 Промышленный интернет – это важная тенденция развития ИКТ-индустрии, которая уже отчетливо наметилась за рубежом и начинает формироваться в России. Одним из последствий развития этой тенденции станет резкое повышение спроса на традиционные услуги телекоммуникационных операторов;

2 увеличится объем трафика в сетях операторов;

3 вырастет спрос на защиту трафика;

4 увеличатся потребности в обработке и хранении данных.

ПАО «Ростелеком» планирует выступить не только в роли поставщика каналов связи и вычислительных мощностей на базе своих дата-центров, но и в роли координатора и гаранта внедрений Интернета вещей в ключевых отраслях российской экономики.

ПАО «Ростелеком» должен занять место бизнес-интегратора в крупных отраслевых проектах, которые формируют сложные цепочки бизнес-процессов между телекоммуникационными провайдерами, системными интеграторами, поставщиками средств ИТ-безопасности, разработчиками ПО и оборудования. В качестве бизнес-интегратора оператор сможет качественно определять процессы создания цепочки формирования ценности в проектах Промышленного интернета, в полной мере используя для этого свои инфраструктурные ресурсы [2].

Свои решения в области IIoT продвигают и другие операторы. В частности, «МегаФон» сам тестирует проекты IIoT. На объектах компании установлены системы учёта и контроля электроэнергии для экономии средств. Мониторинг помогает экономить до 7% электроэнергии. Также система позволяет следить за техобслуживанием и ремонтом объектов, выполняемых подрядчиками оператора.

Оператор «Транстелеком», один из крупнейших операторов рынка магистральных линий связи, за последние пять лет освоил розничный рынок и вошел в топ-5 российских интернет-провайдеров. Оператор для дальнейшего развития видит потенциал в сегменте интернета вещей. Оператор разрабатывает для ОАО «Российские железные дороги» системы контроля как состояния железнодорожной инфраструктуры, так и пользовательских сервисов для пассажиров и грузоотправителей, сервисов в области интеллектуальных транспортных систем и пр. Кроме того, планируется развивать сервисы управления автомобильным трафиком, умным городом, умным домом. В первую очередь, «Транстелеком» может выступать как оператор технологической инфраструктуры, на базе которой будет предоставлять услуги партнерам – разработчиков сервисов. Это и уровень сетей доступа, и уровень агрегации и платформенных сервисов. Во-вторых, оператор может взять на себя эксплуатацию инфраструктуры и клиентскую поддержку, чтобы партнеры могли сосредоточиться на своем профильном бизнесе. В области телематических услуг совместно с ИТ-блоком РЖД прорабатываются новые сервисы с

использованием носимых устройств, с помощью которых можно контролировать работу линейного персонала [3].

В соответствии с выше сказанным операторы в России столкнулись с проблемой дальнейшего роста. Данная проблема имеет два варианта решения. В первом, нужно выходить в новые города и регионы, при этом нет гарантии возврата инвестиций и получения рентабельности. На зрелом рынке крайне сложно переманивать клиентов, в том числе корпоративных. Во втором, необходимо создавать и развивать новые сегменты экосистемы одним, из которых является сегмент Индустриального интернета вещей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Букрина Е.В., Варламов Е.А.* Экосистема телекоммуникационного оператора: Учебное пособие. – Екатеринбург: УрТИСИ ФГОБУ ВПО «СибГУТИ», 2015. – 88 с.
2. *Б. Глазков.* Промышленный интернет: ключ на старт, 2016.Вестник цифровой трансформации CIO.RU. Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.cio.ru/news/. – Загл. с экрана.
3. Журнал CNews. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.cnews.ru/articles/ 6_transtelekom_my_vidim_potentsial_v_novyh_servisah_i_internete. / – Загл. с экрана.
4. *А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков* Интернет вещей: учебное пособие /. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.
5. Официальный сайт компании NAG.RU. Новости и аналитика телекоммуникаций. Фиксированная и мобильная связь, провайдеры и Интернет. Электрон. дан. – Режим доступа: http://nag.ru/articles/article/29673/industrialnyiy-internet-spas-t-operatorov-svyazi.html. – Загл. с экрана.
6. Официальный сайт Национальной ассоциации участников промышленного интернета (НАПИ). Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.iotunion.ru/ru/. – Загл. с экрана.
7. *Самсонов М., А. Росляков, А. Гребешков.* Когнитивный интернет вещей. Вещи все лучше адаптируются к людям. ИнформКурьерСвязь № 11, 2014 г.

А.Н. Буренин, К.Е. Легков, В.В. Оркин

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

АО «НИИ «Рубин»

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия.

Ключевые слова: информационная система, распределение потоков, маршрутизация, состояние системы, управление функционированием.

Одной из задач управления информационными системами и сетями специального назначения является обеспечение процедур направления заявок на предоставление информационных услуг и сообщений обслуживания по путям, проходящим через вполне

конкретные узлы предоставления услуг данных систем. В данной работе рассматривается задача обеспечения эффективного функционирования систем с применением тех или иных процедур управления на основе известных методов управления функционированием информационных систем и сетей.

A.N. Burenin, K.E. Legkov, V.V. Orkin

PROBLEM FORMULATION OF INFORMATION SYSTEM FOR SPECIAL PURPOSES FUNCTIONING MANAGEMENT

Research Institute «Rubin»
Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg, Russia

Keywords: information system, flow distribution, routing, system condition, functioning management.

One of the tasks of information systems and networks for special purposes managing is to provide procedures for sending requests for the provision of information services and service messages along paths that pass through quite specific nodes providing the services of these systems. In this paper, we consider the problem of ensuring the effective functioning of systems using various management procedures based on known methods for the operation managing of information systems and networks.

Введение

При создании комплексов средств автоматизации (КСА) для управления функционированием информационных сетей и систем специального назначения (ИС СН) использовались заранее спланированные виртуальные каналы передачи информационных сообщений, жёстко закреплённые в таблице маршрутизации. Позднее появилось понятие «динамическое управление сетью», предполагающее постановку задачи формирования и выбора маршрутов в сети как задачу управления.

Динамическое управление сетью предполагает адаптивную маршрутизацию. Под адаптивностью будем понимать такое функционирование системы, которое изменяется с учётом состояния внешней среды и внутреннего состояния, что определяет маршруты доставки в соответствии с этими состояниями. Динамические алгоритмы управления сетью принимают во внимание не только структуру самой сети, но и требования, предъявляемые к процессу передачи сообщений [1,2]. Эффективность адаптивной маршрутизации зависит от полноты информации о состоянии элементов ИС и поступающих потоках заявок на предоставление услуг.

В современных АСУ СН для эффективного управления силами специального назначения, существует необходимость предоставления широкого спектра услуг должностным лицам органов управления различных государственных структур с требуемыми показателями качества и эффективности. Обеспечение требуемых значений показателей эффективности функционирования ИС СН основывается на создании системы управления ИС СН и входящей в неё подсистемы оперативного управления информационными потоками в уровневых сетях ИС СН.

Известно множество методов управления информационными потоками [1,2,3,5], и перед системой управления сетью [1] многие исследователи ставили задачу решения вопросов распределения потоков [1], заключающуюся в маневрировании потоками в условиях выхода из строя узлов коммутации сети, и перестроении структуры [1]. Вместе с тем, требования, предъявляемые к функционированию ИС СН, всегда были выше требований к любой другой информационной сети, так как своевременное предоставление услуг должностным лицам органов управления, являющимся абонентами ИС СН, имеет большое значение в работе различных государственных структур. Поэтому при рассмотрении возможности использования стандартных решений по маршрутизации потоков в ИС СН возникает две проблемы. Во-первых, в связи с особенностью условий функционирования данных систем использование стандартных методов не всегда оправдано [6,7], а сведение управления потоками заявок на предоставление информационных услуг к минимально требуемому уровню не желательно, исходя из важности решаемых задач органами управления, в которых эти системы функционируют. Во-вторых, в условиях воздействия среды (помехи, информационные воздействия, целенаправленное искажение управляющей информации) может измениться состояние ИС СН. В этих условиях на ведущую позицию выходит приспособляемость ИС СН к решению задачи обмена между абонентами и узлами предоставления услуг заявками и сообщениями обслуживания заявок с заданными уровнями качества, и возникает проблема выбора структурных характеристик системы и управляющего воздействия, являющаяся одной из фундаментальных проблем системно-кибернетических исследований.

Постановка задачи

Рассмотрим модель ИС СН как модель «система-среда». Каждый из уровней ИС СН может быть описан графом $G(Y,B)$, где Y – множество вершин (узлов предоставления услуг), а B – множество ребер (дуг). Каждой дуге графа $b_{ij} \in B$ приписывается величина l_{ij}, равная весу ветви, соединяющей узел N_i с узлом N_j. Весовые коэффициенты ветвей ИС СН могут быть заданы матрицей $L=\| l_{ij} \|$, каждый элемент которой равен весу ветви, соединяющей узлы Y_i и Y_j. В силу конечной надежности оборудования ИС СН ее структура не остается неизменной. Отдельные узлы предоставления услуг и каналы между ними могут выходить из строя из-за воздействия среды и восстанавливаться. Поэтому структура сети будет постоянно меняться в процессе функционирования.

Среда, в которой находится ИС СН, представлена как $Z = \langle Z_{KA}, Z_{fl}, Z_{RV} \rangle$, где Z – воздействия на ИС СН (компьютерные атаки Z_{KA}, помехи Z_{fl}, разрушающие воздействия Z_{RV}). $S(t)$ – состояние системы в определённый момент времени, $S(t)=<V(t),Y(t)>$, где $V(t)$ обозначает контролируемое состояние системы (связи между узлами, количество серверов предоставления услуг, степень загрузки узлов (серверов)), $Y(t)$ – неконтролируемое состояние системы (интенсивности обслуживания пакетов). Состояние системы может меняться при управлении $U(t) = <U_s(t), U_f(t)>$, где $U_s(t)$ – управление структурой и ресурсами, $U_f(t)$ – управление функционированием ИС СН. При выборе определённого плана управления показатели качества принимают определённые значения.

Концептуальная модель управления ИС СН представлена на рис.1.

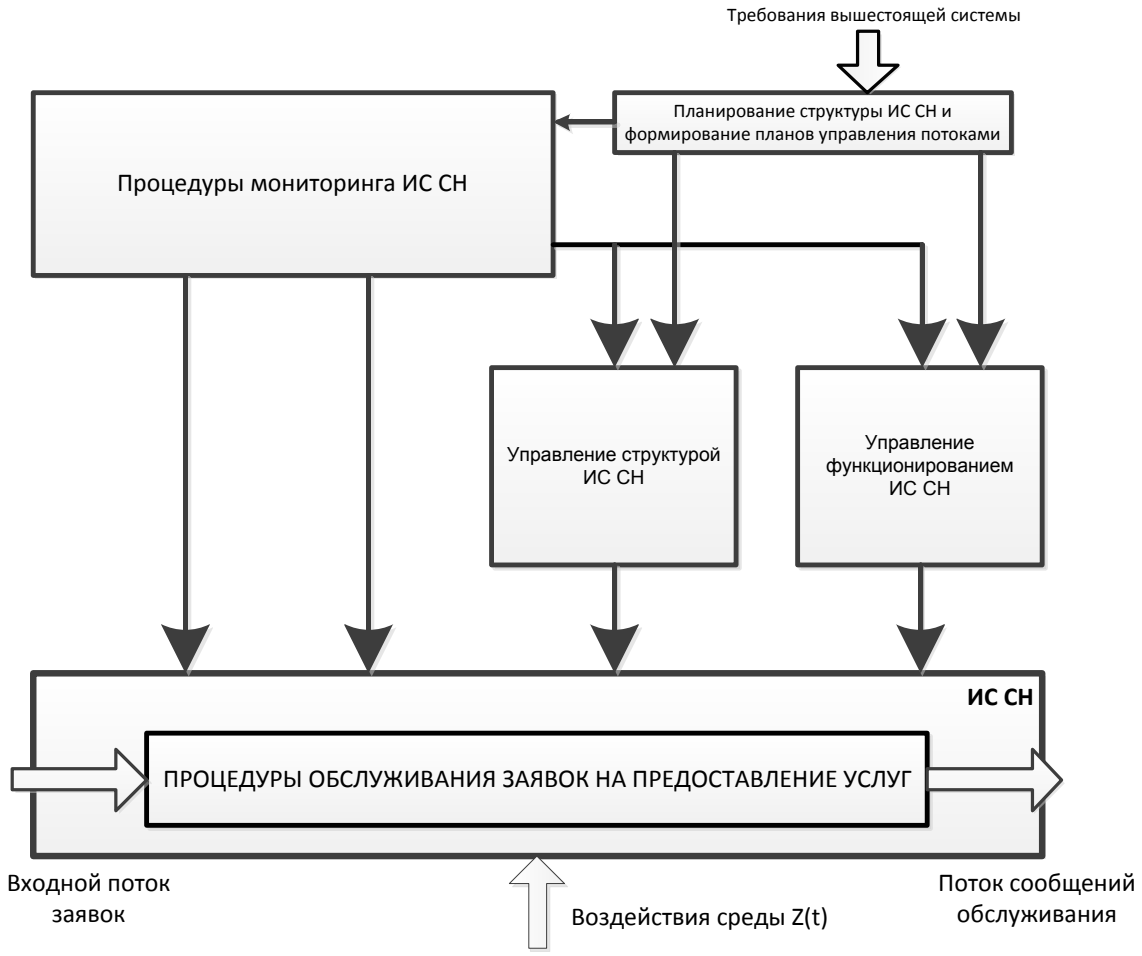


Рис. 1 Концептуальная модель управления ИС СН

Требуется в зависимости от состояния среды *Z(t)* и от состояния системы $S(t)$ осуществить управление *U(t),* заключающееся в выборе и реализации определённого решения. Решение по выбору метода управления функционированием ИС СН – *x;* $x \in X$, где *X* – область допустимых решений. Пусть *m* –заданное число возможных процедур управления функционированием ИС СН.

В конкретный момент времени примем, считая $U_s(t)$ неизменным:

$$U_f(t) = x_i : x_i \underset{i=\overline{1,m}}{\in} X . \quad (1)$$

Необходимо осуществить управление $U_{fopt}(t)$, являющееся оптимальным управлением функционированием ИС СН, то есть такое, чтобы показатель качества *W(x)* принимал максимальное значение при выборе решения из всех возможных.

Данная задача описана в следующем виде:

$$U_{fopt} \to arg \max_{x \in \Delta}(W(x)), \quad (2)$$

$$\text{где } \Delta = \left\{ X \,\middle|\, P(W(x) \geq W_{tr}(x)) \geq P_{tr} \right\}$$

$W_{tr}(x)$ –требуемый уровень значения показателя качества;

P_{tr} – требуемая вероятность обеспечения требуемого уровня показателя качества $W_{tr}(x)$.

Анализ возможной комплексной реализации методов управления функционированием ИС СН

Наиболее эффективным при решении задачи управления функционированием ИС СН является применение комплекса методов управления потоками заявок на предоставление услуг в зависимости от состояния системы, а также от состояния внешней среды. Для оценивания состояния ИС СН в концептуальную модель управления ИС СН введены процедуры мониторинга, выполняемые подсистемой мониторинга. По выходным данным подсистемы мониторинга в соответствии с заданным алгоритмом осуществляется управляющее воздействие на основе выбранного метода управления потоками заявок.

Рассмотрим вариант применения в ИС СН вероятностно-игрового метода [4,5]. На каждом i-м узле сети хранится стохастическая матрица с числом строк, равным числу узлов предоставления услуг ИС СН. В качестве средства управления потоками взяты стохастические автоматы $A_j = (p_{j1}, p_{j2}, ..., p_{j\gamma}, ..., p_{jk})$, которые «играют» с системой, принятой за случайную среду.

Каждая *j*-я строка представляет собой автомат A_j. P_{jr} – вероятность передачи заявки к *j*-му узлу обслуживания по направлению *r*, где $r = \overline{1,k}$. Вначале наугад выбирается исходящее направление. Если виртуальное соединение установлено или передача заявки успешно завершена, то направление поощряется, в противном случае штрафуется. В соответствии с этим изменяются элементы $p_{j\gamma}$ матрицы. Через некоторое время накопится статистика успешных и неуспешных соединений или передач, и выбор будет осуществляться осознанно.

При поиске маршрута к *j*-му узлу происходит обращение к *j*-м строкам матриц маршрутизации (матриц весовых коэффициентов) узлов, в которых находится максимальный весовой коэффициент, соответствующий определённому маршруту [5,8]. В результате маршрут между заданной парой узлов будет или определён, или данное требование получит отказ. В первом случае маршрут поощряется (весовой коэффициент увеличивается по определённому алгоритму), а в противном случае штрафуется (весовой коэффициент уменьшается). Элементы матрицы коэффициентов нормируются. Таким образом, формируется оптимальный план распределения потоков по критерию результата установления соединения в предыдущий период. В системе копится статистика успешных и неуспешных соединений или передач пакетов, и выбор направления передачи осуществляется согласно плану. Применение вероятностно-игрового метода возможно только при длительных периодах стационарности входящих потоков и при отсутствии структурных изменений, так как при изменении структуры ИС СН требуется большой промежуток времени для изменения матрицы весовых коэффициентов и достижения её адекватности.

В условиях деструктивных воздействий на структуру ИС СН (информационные атаки, разрушающие воздействия, помехи и т.д.) целесообразно изменить алгоритм функционирования ИС СН, осуществляя с момента изменения структуры сети управление потоками по алгоритму на основе первого варианта предложенного в работе [5] квазистатического метода. Выбор направления передачи заявки к конкретному узлу предоставления услуг будет осуществляться по маршруту первого выбора матрицы маршрутов, при неудачной передаче будет осуществлено несколько повторных попыток, и затем заявка будет передаваться по маршруту второго выбора. Некоторое время

управление потоками будет осуществляться по алгоритму на основе данного метода. За это время подсистема мониторинга выдаст данные о состоянии сети, и по этим данным будет осуществлена коррекция матриц маршрутов, а также будет снова осуществлён выбор управляющего воздействия на основе выбранного метода управления функционированием сети.

Возможно применение различных разновидностей волновых (лавинных) методов распределения потоков [8]. Недостатком данного метода является повышение загруженности ИС в результате передачи зонд-сигналов, что может сократить вероятность своевременного обслуживания заявок на предоставление услуг в ИС СН во время функционирования системы в режиме повышенной нагрузки. Преимуществом является то, что на каждом узле имеется актуальная информация об изменении структуры ИС СН либо на время установления одного соединения, либо (при групповом обслуживании) с созданием таблиц маршрутизации.

Соответственно в режиме повышенной загрузки (большой поток заявок на предоставление услуг) важно ограничить загрузку сети зонд-сигналами, посылая их лишь по направлениям, где требуется получения информации для подсистемы мониторинга. Более логично в периоды поступления большого числа заявок на предоставление услуг сделать попытки передачи по путям второго и третьего выбора в таблицах маршрутизации, то есть применить квазистатический метод управления потоками. В результате ИС СН не будет перегружена, но за счёт небольшой потери времени большее количество заявок на получение услуги сможет быть доставлено к узлам предоставления услуг.

Выводы

Применение динамических методов управления функционированием ИС СН должно быть обосновано современными требованиями, предъявляемыми к данным системам. Наиболее перспективным для повышения результативности ИС СН видится комплексное применение существующих методов в зависимости от состояния системы. Выбор того или иного метода управления потоками заявок на предоставление услуг должен осуществляться по определённому алгоритму. Данный алгоритм может стать основой методики комплексного обеспечения требуемых значений показателей эффективности функционирования определённой ИС СН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аванесов М.Ю., Присяжнюк С.П.* Оперативное управление потоками данных вмультисервисных сетях связиСПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2007. – 81 с.
2. *Лазарев В.Г., Саввин Н.Г.* Сети связи, управление, коммутация. – М.: Связь, 1973. – 264 с.
3. *Буренин А.Н.* Об управлении маршрутизацией на основе модифицированных адаптивных методов // Техника средств связи. – 1991. – № 7. – С.51-59.
4. *Буренин А.Н.*, *Легков К.Е*. Инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: ИД Медиа Паблишер, 2015.–348 с.
5. *Легков К.Е.* Методы управления параметрами, характеризующими процессы функционирования инфокоммуникационной системы специального назначения // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №3. – С. 49-55.

6. *Легков К.Е., Буренин А.Н.* К вопросу управления эффективностью инфокоммуникационных систем специального назначения // H&ES: Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2014. – Т.6. №1. – С. 38-43.
7. *Легков К.Е., Буренин А.Н.* Управление эффективностью инфокоммуникационных систем специального назначения // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Том 8. – №3. – С. 42-46.
8. *Оркин В.В., Левко И.В., Умаров А.Б.* Анализ методов распределения потоков в информационных системах специального назначения // H&ES: Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2016. – Т.8. №.S2 – С. 6-10.

В.С. Волков, К.А. Шимельфених

ПОСТРОЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА, ОСНОВАННЫХ НА СТАНДАРТЕ IEEE 802.16, НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южный федеральный университет", Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: широкополосный доступ, беспроводные сети, стандарт IEEE 802.16, технологии WiMAX, лицензирование частот, проектирование сетей

В статье рассматриваются основные принципы построения беспроводных сетей широкополосного доступа, основанных на стандарте IEEE 802.16, их преимущества и недостатки. Были определены ключевые факторы, способствующие быстрому развитию: поддержка ячеистой топологии (mesh networking) и point-to-multipoint, поддержка технологии frequency-division duplex (FDD), time-division duplex (TDD) и quality of service (QoS). Были обсуждены перспективы развития данных сетей и предложен проект их развертывания в условиях городской и пригородной сред.

V.S. Volkov, K.A. Schimelfenikh

CONSTRUCTIONS OF A WIRELESS BROADBAND NETWORKS BASED ON THE STANDARD IEEE 802.16 ON DISTRIBUTED INFRASTRUCTURES

Southern Federal University

Keywords: broadband access, wireless networks, IEEE 802.16, WiMAX technology, frequency licensing, network design

In the article were discussed the basic principles of construction of wireless broadband networks based on the standard IEEE 802.16, their advantages and disadvantages. Key factors

contributing to the rapid development have been identified: a mesh network (mesh networking) and point-to-multipoint, support of frequency-division duplex (FDD) technology, time-division duplex (TDD) and quality of service (QoS). Were considered prospects for the development of these networks and analyzed existing dot on the use of, suggested a project for their deployment in the urban environment.

Введение

Двадцать первый век – эпоха повсеместной информатизации и компьютеризации. Не осталось практически ни одной области, где бы не применялась всемирная паутина. Беспроводные технологии передачи данных, разработка и развитие которых ведется уже несколько десятилетий, главным образом представляют собой наиболее комфортный и передовой способ доступа к ней.

Интерес пользователей к интернет-сервисам и интернету в целом неуклонно растет, о чем свидетельствует данные статистики: за прошедшее десятилетие применение этой технологии и сервисов, основанных на ней, увеличилось с менее чем 5% до текущих 67% в России [Приложение 1]. Так же, в связи с бурным развитием мультимедийной связи, люди стали нуждаются в беспроводном широкополосном доступе, имеющим более высокую скорость, больший охват и мобильность, по сравнению с привычными кабельными технологиями. Появление WiMAX в некоторой степени отвечало требованиям людей к наличию беспроводного доступа в интернет.

Широкополосный доступ представляет собой подключение к сети Интернет со скоростью более 2 Мбит/с, осуществляемое посредством проводных, беспроводных и оптоволоконных линий связи. Его особенностью является неиспользование телефонной линии, большая скорость обмена данными и «двусторонняя» связь. В настоящее время, одним из основных способов соединения базовых станций операторов сотовой связи является Беспроводной Широкополосный Доступ (далее БШД). Однако, его средства также востребованы в качестве способа организации объектов сетевых инфраструктур. К ним относятся: коммерческие предприятия, промышленные зоны, государственные структуры и индивидуальные потребители. Все вышесказанное составляет основную область применения систем БШД.

В настоящее время около 3,5 млрд человек во всем мире имеют доступ к Сети [1, С. 46]. Анализируя рынок, как фиксированного ШД, так и беспроводного ШД, можно убедиться, что количество пользователей данных систем увеличилось в тысячи раз, с 915 тыс. в 2004 году, 3 млн. в 2006 году, до 500 млн. в 2010. И в 2017 году число абонентов фиксированного широкополосного доступа составляет 2,27 млрд, а беспроводного – 3,65 млрд [1, С.21].

Относительно сетей, использующих технологию WiMAX, ситуация выглядит следующим образом: в 2004г. число абонентов БШД, работающих на частотах ниже 11 ГГЦ, составляло 9,15 млн. абонентов систем, а к 2006 г. их число возросло до 170 млн. [2, С. 8]. Далее последовал активный рост, связанный с появлением новых стандартов IEEE 802.16.x и освоением новых рынков. Впоследствии, появление конкурирующих технологий снизило уровень заинтересованности в WiMAX, однако уже в 2016 году, количество абонентов составляет порядка 1,5 млрд. Мировой рынок инвестиций и стоимость инфраструктуры WiMAX вырос с 15 млн. долларов в 2004г. до 115 млн. долл. в 2005г. [2, С. 6], а к 2017г. достиг объема в 3,459 млрд. долларов [2, С. 9]

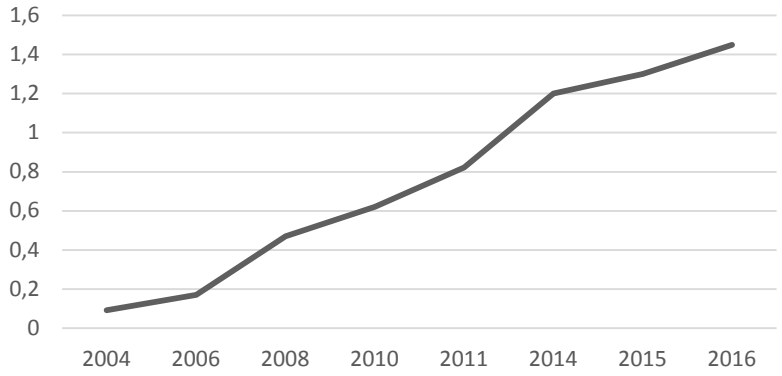


Таблица 1 – Число абонентов, использующих технологию WiMAX (в млрд.)

До недавнего времени, относительно невысокое распространение сетей БШД объяснялось высокой стоимостью оборудования. Новые стандарты, такие как LTE, могут быть приспособлены к уже развернутой инфраструктуре сетей GSM, UMTS, HSPA, в отличие от WiMAX. Что в свою очередь влияет на сдерживание роста последней технологии и переориентацию рынка. Так WiMAX приобретает новую роль «транзитного канала». Стоимость оборудования абонентской станции до недавнего времени составляло около 400 долларов. Актуальная цена установилась в районе от 50 до 250 долларов, в зависимости от рынка, что, гипотетически, должно привести к увеличению массового спроса со стороны индивидуальных пользователей.

Преимущества технологии WiMAX перед проводными технологиями

Анализируя различные технологии, обеспечивающие доступ к сети Интернет, можно выделить две основные: проводные технологии, такие как GPON, и беспроводные, такие как WiMAX. Основополагающими аспектами со стороны пользователя являются: доступность подключения, скорость обмена данными, цена оборудования и стоимость тарифа, мобильность. Уже на данном этапе можно прийти к выводу, что проводные технологии, получившие повсеместное распространение, небезупречны.

Перечислим их основные недостатки:

1. предоставляют доступ в Интернет в строго определенном рабочем месте, таким образом не обеспечивая мобильность;
2. имеют ограниченное количество подключений, как правило не более 4х устройств;
3. дороговизна подключения и обслуживание: данный фактор не сильно заметен в крупных городах, поскольку они имеют развитую инфраструктуру, что влияет на стоимость. Подключение же в малонаселенных пунктах либо невозможно, либо имеет высокую стоимость;
4. принимая во внимание распространённость в России ADSL – линий [3, С. 5-6], можно говорить о невысокой скорости, однако данный тезис не применим к GPON – технологиям;
5. кабельные сети относительно легко повреждаются, в частности, иногда в Ростовской области наблюдается шквалистый ветер, вызывающий обрывы линий, что лишает абонентов доступа в интернет и требует ремонта.

Разумеется, беспроводной широкополосный доступ не совершенен, однако разработка технологии WiMAX велась в том числе, чтобы избавиться от всех неудобств кабельных сетей и предоставить пользователям возможность получать трафик любого вида удобным способом

Основными преимуществами является:

1. большая зона покрытия и высокая скорость. В частности, стандарт IEEE 802.16.m обеспечивает устойчивое соединение в радиусе до 80 км с максимальной возможной скоростью до 100 Мбит/с на один сектор базовой станции;
2. наличие одной организации, сертифицирующей оборудование. Это позволяет стандартизировать технологию и предоставляет различным производителям осуществлять производство и реализацию оборудования конечным потребителям. Данное преимущество заключается, в формировании устойчивой динамики роста рынка, открывает возможность удовлетворить спрос и приводит к снижению стоимости комплекта абонентского оборудования. В практической реализации стоимость WiMAX подключения и оборудования будет не выше, чем ADSL – технологии;
3. быстрота развертывания сетей и меньшие затраты, по сравнению с проводными технологиями;
4. возможность использования TriplePlay: предоставление голоса, видео и доступа в Интернет на основе единого канала;
5. предоставляет возможность подключения точек доступа Wi-Fi, как решения для «последних ста метров».

Недостатки технологии WiMAX:

1. неподготовленность нормативно-правовых актов в области связи, регулирующих деятельность WiMAX операторов и процесса развертывания сетей WiMAX;
2. дефицит свободных частот и проблема их лицензирования;
3. совокупность различных проблем, низкая заинтересованность со стороны провайдеров и относительная дороговизна развертывания сетей выражается в конечной стоимости для потребителей.

Реализация технологии WiMAX на распределенных инфраструктурах

Переходя от обоснования проблемы и анализа WiMAX сетей к рассмотрению практической реализации, обозначим три вида комплексов приёмопередающий аппаратуры: базовая станция (БС), ретрансляционная станция (РС), абонентская станция (АС).

БС осуществляет централизованное обслуживание абонентских устройств. Её задача заключается в обеспечении конечных потребителей беспроводным подключением к сети Интернет и телефонной связью общего пользования. Также она может быть использована как метод объединения территориально-раздробленных корпоративных сетей в единую.

Принцип построение БС – секторные панельные антенны. БС может включать в себя от одного до шести секторов, в зависимости от расчетного радиуса действия, ожидаемой нагрузки, наличия свободных частот и используемого частотного диапазона. Каждый из секторов (или радиоинтерфейсов в двухсекторных моделях) обеспечивает

равномерное покрытие одного пространственного сектора, на основании диаграммы направленности антенны.

Типичные значения диаграммы направленности имеют ширину 60º, 120º и 360º. Соответственно, для организации связи может применяться шесть, три или один антенный блок. Оборудование БС не накладывает определенных требований к ширине сектора, которая в конкретных случаях может быть произвольной, определяемой конкретной топологией сети, наличием частотного ресурса и размещением абонентов.

В состав БС входят:

1. Беспроводные маршрутизаторы.
2. Антенно-фидерные устройства - по количеству секторов базовой станции.
3. Лицензии для подключения специализированных абонентских станций, на каждый сектор базовой станции.
4. Программное обеспечение для управления сетью
5. Коммутатор Ethernet (опционально).
6. Шкаф для монтажа оборудования (опционально).
7. Источники бесперебойного питания (опционально).

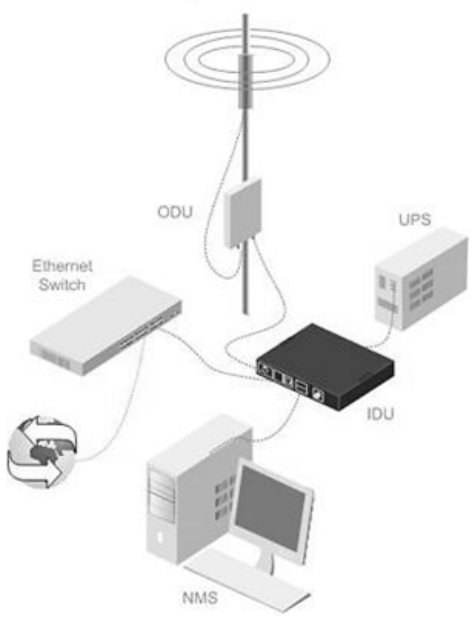


Рисунок 1 - схема односекторной БС.

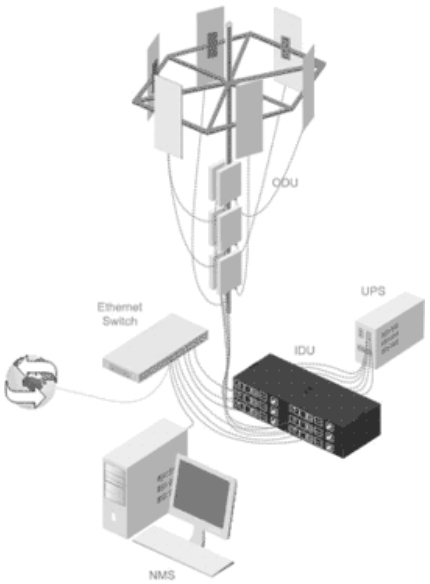


Рисунок 2 - схема шестисекторной БС.

РС предназначена для повышения дальности действия БС, обхода крупных препятствий, а также для создания протяженных магистральных каналов точка-точка. Количество последовательно подключаемых РС не ограничено. К каждой РС может быть подключена одна или несколько РС и/или АС.

В состав РС входят:

1. Двухмодульный беспроводный маршрутизатор.
2. Направленная антенна для связи с БС (в случае РС без интегрированной антенны).
3. Всенаправленная, секторная или направленная антенна для подключения АС и/или РС.
4. Кабели для подключения антенн.

5. Лицензия для подключения специализированных АС к РС.

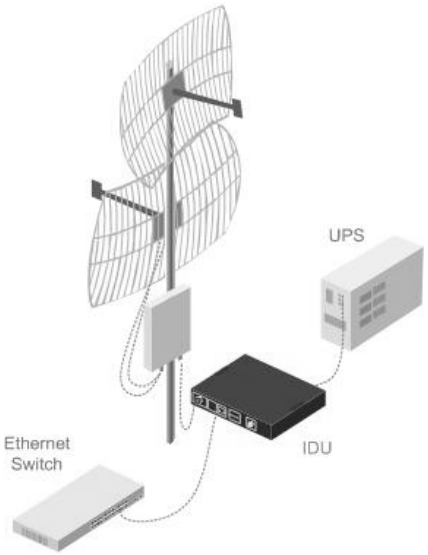


Рисунок 3 - типовая схема ретрансляционной станции

АС предназначена для беспроводного подключения абонентов к БС или РС, а также для создания магистральных каналов "точка-точка".

Состав АС:

1. Абонентский беспроводный маршрутизатор с интегрированной антенной или разъемом для подключения внешней антенны.
2. Направленная антенна и антенный кабель для моделей без интегрированной.

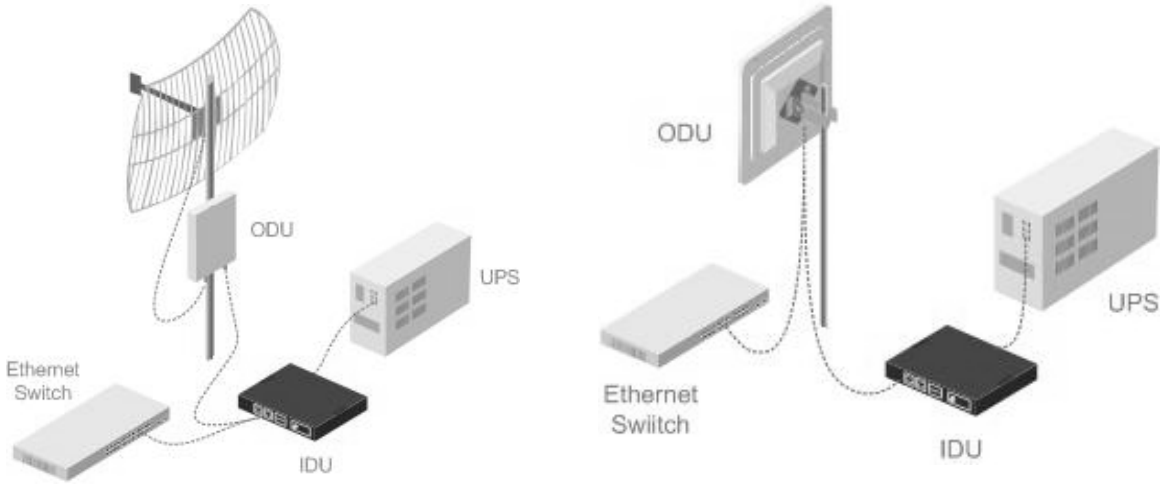


Рисунок 4 - типовые схемы АС

Исследование распространения сетей WiMAX в городе Ростов-на-Дону и его пригороде

Конечной целью данной работы является анализ распространения сетей WiMAX в городе Ростов-на-Дону и проект организации беспроводного широкополосного доступа в коттеджном поселке Беловодье.

Город Ростов-на-Дону расположен вдоль реки Дон в юго-восточной части Восточно-Европейской равнины, площадь порядка 350 квадратных километров.

Центральная часть города, ограниченная улицами: Садовая, Текучева, проспектами: Ворошиловский, Будёновский, Театральный. Характеризуется высокой плотностью средней и многоэтажной застройки и относительно невысоким количеством высотных домов. За пределами этой части и в пригородах в основном преобладает частная, средняя и многоэтажная застройка. Высота зданий 5-9 этажей, местами имеются дома до 16 этажей.

WiMAX услуги доступа к широкополосной сети Интернет предоставляют компании VirginTelecom, FreshTel, Мегафон, ТТК, МТС и ВымпелКом («Билайн – бизнес»).

Компания ТТК представляет услуги по всему городу и за его пределами. Существуют несколько тарифов, максимальная скорость передачи 3 мбит/с, различие в размере лимита трафика в дневное время (от 7:00 до 24:00). Ночной трафик без лимита ночное время (от 24:00 до 7:00). Существует безлимитный трафик за 1500 рублей в месяц. Остальные тарифы от 350 до 600 рублей [4].

Услуги подключения и регистрации одной точки с использованием радиоканала от 4680 рублей, что является довольно большой суммой.

Компания Freshtel обладает менее развитой инфраструктурой, вследствие чего зона покрытия сильно ограничена. Устойчивый сигнал наблюдается в центральной части города, окраине жилого района «Советский», а также в городах Аксай и Батайск. Стоимость оборудования от 2200 рублей (домашний роутер) до 7000 рублей (уличный роутер). Предлагается 2 тарифа: полностью безлимитный за 690 рублей и с включенным трафиком за 590 рублей. В обоих случаях скорость передачи и приема сигнала до 10 мбит/с.

Компании ПАО «ВымпелКом» [6] и ПАО «Мегафон» [7] развернули сети в городах Ростов-на-Дону, Аксай и Батайск. Ключевой особенностью данных сетей является большая зона покрытия, высокая скорость передачи данных (до 30-40 мбит/с), ориентированность на корпоративных клиентов, выделенные частоты работы. Компании предлагают различные варианты подключения и оплаты.

Альтернативная технология GPON от Ростелекома имеет скорость до 100 Мбит/с, стоимость 500 рублей в месяц.

Отзывы пользователей варьируются от восторженных до негативных. В пригородах, где до этого использовали мобильный Интернет, предоставляемый сотовыми операторами посредством USB – модемов, при переходе на WiMAX значительно выросла скорость передачи данных, уменьшились задержки сигналов. Имеются и жалобы на большое время отклика: измерения произведены через команду ping, отклик достигает 100-300 мс, меняется скачкообразно.

Переходя к вопросу об организации сетей WiMAX в коттеджном поселке Беловодье, следует описать его географическое местоположение. Он расположен в Азовском районе Ростовской области, в 8 километрах от г. Ростов-на-Дону. Территория вытянута с запада на восток и имеет протяженность порядка 1 км, с севера на юг – 0,6 км.

Анализ местности показал, что абонентскую станцию целесообразно установить в самом поселке, а базовая станция находится на проспекте Коммунистическом, 27.

Расстояние между ними 14 км, для проверки условий распространения радиоволн воспользуемся сервисом компании «Микран», который позволяет проверить условия

прямой видимости. В качестве исходных данных необходимы координаты, где будут находиться базовые и абонентские станции WiMAX.

Рисунок 5 - территория поселка Беловодье (сверху).

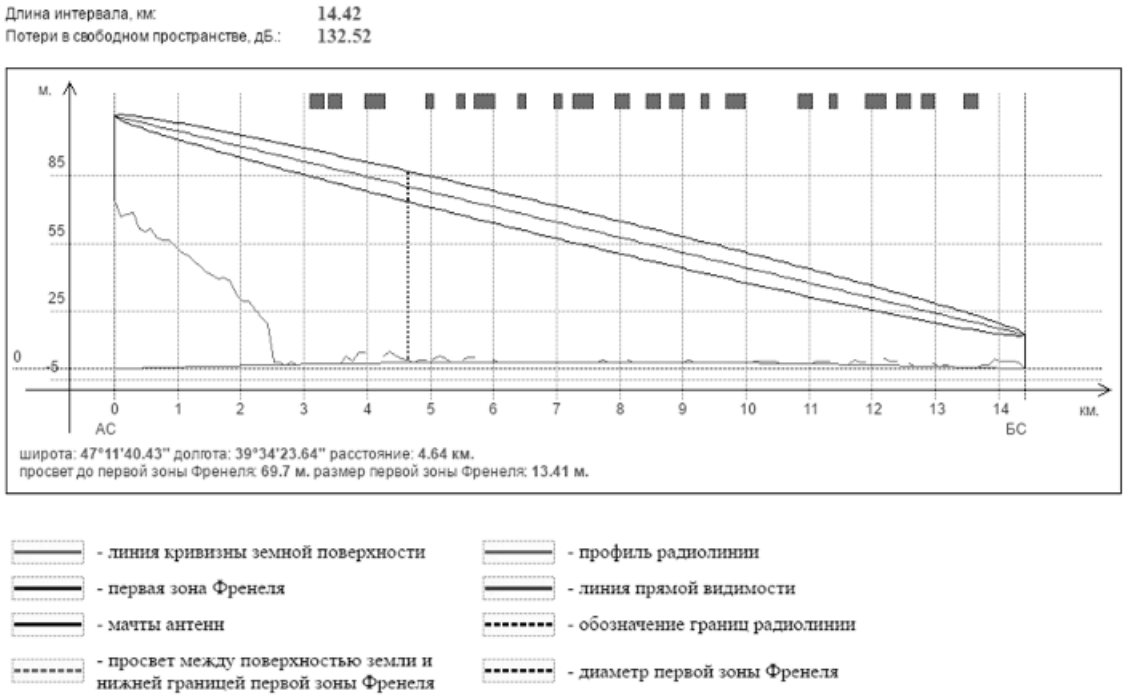


Рисунок 6 – профиль радиолинии.

Анализ полученных результатов показал: для реализации прямой радиовидимости между базовыми станциями и абонентскими станциями и радиомоста между базовыми станциями, необходимо расположить базовую станцию в точке 47°10′7″N, 39°26′56″E, а абонентскую в точке 47°12′27″N, 39°37′54″E

Необходимый объём трафика для передачи аудио, видео и данных будет определяться числом пользователей услугами из общего числа жителей. Для оценки трафика возьмем положение «уровень использования линий широкополосного доступа на 100 человек населения за счет всех технологий 35 линий.

Таким образом, для населения 800 чел. требуется 280 линий широкополосного доступа. Под высокоскоростным беспроводным доступом будем понимать доступ со скоростью до 10 Мбит/с (ТВ с высоким качеством). При коэффициенте загрузки 0,1 Эрл в ЧНН общий бюджет составит 280 Мбит/с, что более, чем приемлемо для технологии WiMAX стандарта 802.16m (до 1 Гбит/с). Кроме высокой скорости, широкополосный доступ обеспечивает непрерывное подключение к Интернету (без необходимости установления коммутируемого соединения) и так называемую «двустороннюю» связь, то есть возможность как принимать («загружать»), так и передавать («выгружать») информацию на высоких скоростях.

Рисунок 7 - структурная схема беспроводного высокоскоростного доступа в районе х. Обуховка.

Заключение

Настоящее время ознаменовало собой новую эру – «эру без проводов». Созданная в 1999 году сеть беспроводного доступа, основанная на стандарте IEEE 802.11 получила всемирную популярность и используется практически повсеместно. Все современные коммуникаторы, ноутбуки и IoT-бытовая техника имеют поддержку Wi-Fi.

Но в 2001 году появилась технология высокоскоростной беспроводной передачи данных WiMAX, разработанная организацией WiMAX-Forum и основанная на стандарте IEEE 802.16. По своей специфике, Wi-Fi и WiMAX схожи, за исключением вариантов применения. Первая решает проблему «последних 100 метров», так имеет небольшой радиус действия, вторая – проблему «последней мили», ее радиус порядка 50 км.

Продолжавшиеся исследования позволили создать новые стандарты IEEE 802.16.x: от фиксированного до мобильного, увеличить радиус действия связи и пропускную способность. Это дало неоспоримые преимущества WiMAX сетям: обеспечение мягкого и жесткого хэндовера, соединение по типу «многоточка-многоточка» (ячеистые сети), «точка-многоточка», «точка-точка», высокая пропускная способность. Однако существуют некоторые сложности: лицензирование частот, высокая стоимость оборудование, малая заинтересованность производителей в массовом применении технологий WiMAX.

Наиболее оптимальным вариантом использования является развертывание WiMAX сетей за пределами города: в коттеджных поселках, садовых товариществах, базах отдыха и т.д., в виду экономической нецелесообразности размещения волоконно-оптических линий.

В ходе анализа распространённости сетей WiMAX в городе Ростов-на-Дону и его пригороде, было установлено, что они заняли нишу между мобильным интернетом от сотовых операторов и волоконно-оптическими сетями. Имеются задержки сигналов, но преимущество в том, что имеются безлимитные тарифы. Для жителей частного сектора и пригорода города Ростов-на-Дону пока не существует альтернативы данной технологии для доступа к широкополосной сети. К примеру, жители большинства городов Ростовской области имеют возможность использовать только мобильный интернет сотовых операторов или ADSL – телефонную линию. В обоих случаях скорость передачи не высока, в пределах 2-3 мбит/с, при том что безлимитные тарифы имеют стоимость от 600-700 рублей. Покупка маршрутизаторов и модемов обходится в 1000-1500 рублей. Таким образом разница в стоимости и обслуживания относительно не велика, но пользователи получают более высокую скорость и надежное соединение, при использовании WiMAX технологий.

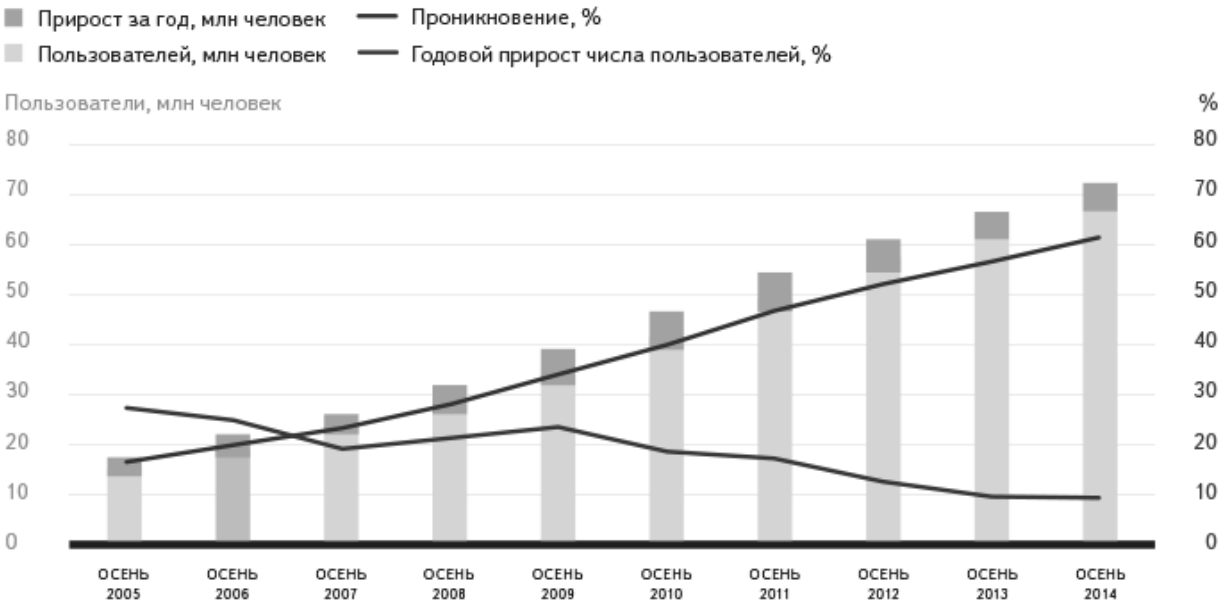
В будущем более широкое развитие волоконно-оптической сети позволит сузить рынок пользователей технологии WiMAX, однако она будет иметь гораздо большую востребованность и меньшую стоимость, по сравнению с альтернативными технологиями. В частности, многие предприятия, организации, работающие в сфере услуг и отдыха и находящиеся далеко от крупных городов, могут использовать WiMAX для предоставления доступа в интернет конечным пользователям или разворачивания собственных корпоративных сетей.

В качестве подтверждения был предложен проект развертывания беспроводного широкополосного доступа на территории коттеджного поселка «Беловодье» в районе х. Обуховка в 8 км от Ростова-на-Дону. Базовая станция расположена по адресу пр-т Коммунистический 27, приблизительная высота подвеса антенны – 35-37 метров. Абонентские станции могут быть размещены не только в вышеуказанном поселке, но и во всем обуховском районе, без ущерба для пользователей, в виду большой пропускной способности сети. При этом был построен профиль радиолинии, демонстрирующий выполнение условия «прямой видимости» и открытости зоны Френеля.

Таким образом, беспроводные сети, основанные на стандарте IEEE 802.16 представляют собой огромный потенциал для практической реализации в отдаленных районах. В виду продолжающейся активной разработке со стороны WiMAX-Forum, уже в ближайшем будущем откроются новые способы массового применения данных сетей, которые будут обладать неоспоримыми конкурентными преимуществами.

Приложение 1. «Исследования в области развития интернета в России»

АУДИТОРИЯ И ПРОНИКНОВЕНИЕ ИНТЕРНЕТА В РОССИИ



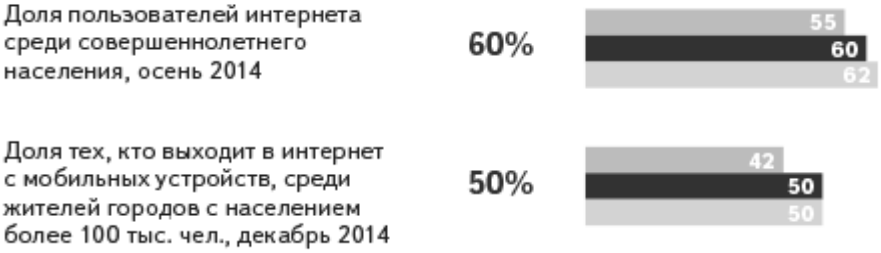
Здесь и далее, если не оговорено иное, аудитория интернета — это все пользователи, которые выходят в сеть не реже одного раза в месяц с любого устройства, включая мобильные.
Проникновение интернета — доля людей, пользующихся интернетом хотя бы раз в месяц, среди населения страны.

ПО ДАННЫМ ФОМ, ОСЕНЬ 2014

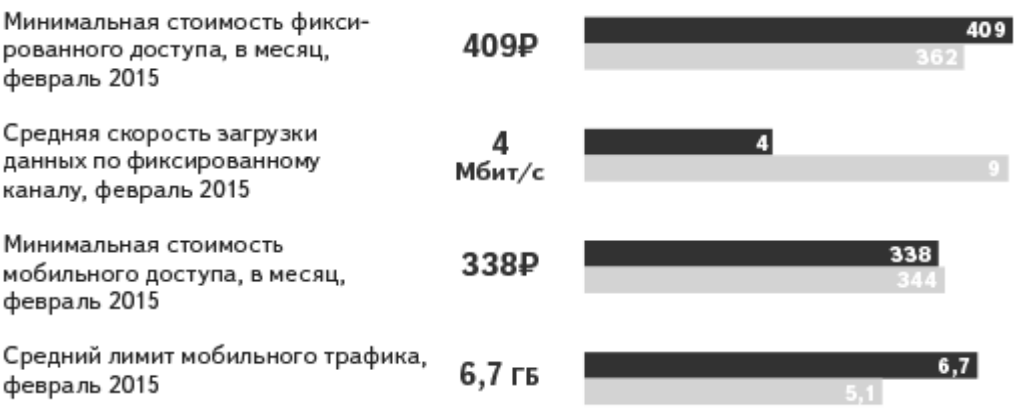
ЮФО

Значение показателя годом ранее
Значение показателя в указанный период
Среднее значение показателя по России в указанный период

ПРОНИКНОВЕНИЕ ИНТЕРНЕТА



ЦЕНЫ И СКОРОСТЬ



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Research work of Broadband Commission. The State of Broadband: Broadband catalyzing sustainable development. 2016. С.40- 50.
2. WiMAX Forum. WiMAX Forum Industry Research Report. С.6-8.
3. Исследование J'son & Partners Consulting. Рынок фиксированного широкополосного доступа в России в сегменте частных пользователей. 2015. С. 3-6.
4. Информация об условия подключения, зоне покрытия и тарифах адаптирована с официального сайта компании «ТТК».
5. Информация об условия подключения, зоне покрытия и тарифах адаптирована с официального сайта компании «FreshTel».
6. Информация об условия подключения, зоне покрытия и тарифах адаптирована с официального сайта компании ПАО «Вымпел-Коммуникации».
7. Информация об условия подключения, зоне покрытия и тарифах адаптирована с официального сайта компании ПАО «Мегафон».

В.Е. Герасименко, Е.А. Карпов, А.В. Лаухин

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИАГНОСТИКЕ АРИТМИЧЕСКИХ И ИШЕМИЧЕСКИХ БОЛЕЗНЕЙ СЕРДЦА В ТЕЛЕМЕДИЦИНЕ

Южный федеральный университет, физический факультет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: Телекоммуникации, телемедицина, Bluetooth, электрокардиограмма, программное обеспечение, связь, аритмия, ишемия, данные.

В статье рассматривается возможность применения инфокоммуникационных технологий в области телемедицины. Представлена основная задача исследования телемедицины с использованием телекоммуникационного ресурса. Описано устройство для определения основных жизненно важных показателей человека. Отмечены нюансы реализации алгоритмов в рассматриваемой среде и возможности программно-сетевого аппарата. Проведен анализ перспективы развития телемедицины в целом, а также разработанного устройства.

V.E. Gerasimenko, E.A. Karpov, A.V. Laukhin

PROSPECTS OF APPLICATION OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES IN DIAGNOSTICS OF ARITHMIC AND ISCHEMIC HEART DISEASES IN TELEMEDICINE

Southern Federal University, Faculty of Physics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: Telecommunications, telemedicine, Bluetooth, electrocardiogram, software, communication, arrhythmia, ischemia, data.

The article considers the possibility of using infocommunication technologies in the field of telemedicine. The main objective of the study of telemedicine using a telecommunication resource is presented. The device for determining the basic vital indicators of a person is described. The nuances of the implementation of algorithms in the considered environment and the capabilities of the software-network device are noted. The analysis of the prospects for the development of telemedicine as a whole, as well as the developed device.

На данный момент активно развивается такая отрасль науки, как телемедицина. По сути телемедицина - направление медицинской науки, которая тесно связана с анализом, проектированием и применением в практической деятельности различных сценариев оказания дистанционного медицинского обслуживания и предоставления всей необходимой информации посредством использования телекоммуникационных ресурсов и инструментов различного рода и направленности. Данное направление, бесспорно, является очень молодым, но уже внесло весомый вклад в различные отрасли медицины и спасения жизней в целом.

Одна из главных задач телемедицины - оперативное предоставление необходимой информации о здоровье пациента, независимо от того, где он находится, в каких условиях и в какое время суток.

Очень важен контроль состояния здоровья у людей пожилого возраста с целью оперативного выявления возможных заболеваний сердца с различной вероятностью.

В кардиологии данная отрасль активно используется для длительного мониторинга электрокардиограммы по методу Холтера, ведется контроль за прооперированными больными, у которых имеется кардиостимулятор.

В сфере спорта ведется диагностика состояния здоровья у спортсменов высших достижений, с последующим прогнозом эффективности их результатов перед соревнованиями или после тренировки.

Не меньшим спросом телемедицина пользуется в сфере военной промышленности. Уже есть опытные образцы снаряжения солдат, позволяющие снимать, обрабатывать и передавать основные показатели жизнедеятельности человека в специальные пункты управления, в которых, в свою очередь, принимается решение о дальнейшей возможности функционирования бойца на поле боя или в ходе испытаний.

Сферы применения телемедицинского оборудования представлены на рисунке 1.

Область применения	
Фокусная группа	**Применяемость**
Здоровые или практически здоровые люди (следящие за своим здоровьем и сознательно поддерживающих активный образ жизни)	Постоянный контроль функционального состояния, адаптационных резервов и уровня стресса, баланса вегетативной нервной системы, аритмий, профилактика заболеваний, определение ранних прогностических признаков неблагополучия
Спортсмены, спортсмены высших достижений, фитнес и физкультура, Отбор детей на спорт высших достижений	Контроль функционального состояния, оценка адаптационного потенциала и физической тренированности, раннее выявление дезадаптации и состояния перетреннированности, срочный контроль за процессом физической тренировки с целью его оптимизации, отображение параметров, вычисляемых в реальном времени (ЧСС, частота дыхания, температура тела и т.д)
Пенсионеры, люди после реабилитации, люди, имеющие хронические заболевания, в том числе сердечнососудистые, неврологические и т.д	Контроль аритмий, контроль сердечнососудистых патологий, подбор оптимальных доз препаратов с учетом фона вегетативной регуляции, оценка эффективности терапии и проаритмических эффектов (антиаритмической терапии), прогнозирование риска внезапной смерти у больных, перенесших инфаркт миокарда и страдающих желудочковыми аритмиями, детектирование фибрилляции предсердий, выявление ночных апноэ (эпизоды остановки дыхания в течение сна), профилактика заболеваний, определение ранних прогностических признаков неблагополучия.
Профессиональное здоровье: спасатели, работники силовых структур, человек-оператор, промышленная безопасность (водители поездов, самолетов, АЭС и др. опасные производства)	Контроль функционального состояния, адаптационных резервов и уровня стресса, баланса вегетативной нервной системы, аритмий, профилактика заболеваний, определение ранних прогностических признаков неблагополучия

Рисунок 1 – Области применения телемедицинского оборудования

В зависимости от предмета и целей исследования используются различные подходы к внешнему виду, дизайну устройств, к разработке программных решений и, соответственно, разных инструментов. Так как эти сегменты взаимосвязаны между собой, команда разработчиков должна обладать навыками и опытом в самых разнообразных областях науки и техники, включая специфику работы со встроенными решениями, сотовыми, портативными, облачными структурами и протоколами сетевой передачи данных, характерными для медицинской отрасли.

На данный момент НТЦ-3 «Инновационные разработки» в составе АО ВНИИ «Градиент» разработал аппаратно-программный комплекс «Опека», адаптированный к измерению основных жизненно важных показателей человека: электрокардиограмма (ЭКГ), дыхание, пульс, сопротивление кожи. В ближайшем будущем будет интегрировано измерение давления и объединение вышеперечисленных показателей в единый аппаратно-диагностический комплекс.

Один из основных принципов действия заключен в следующем: наручный или нательный модуль считывает необходимую информацию, которую в дальнейшем передает на мобильное устройство посредством радиоканала Bluetooth 4.0. В мобильном устройстве заложен программно-диагностический комплекс, который анализирует полученные результаты и на основе их предоставляет наглядную для пациента и врача диагностическую картину. Для повышения безопасности, надежности и хранения информации все данные автоматически записываются в облачную структуру хранилища с последующим хранением и возможностью доступа к любому фрагменту данных.

Основные принципы передачи и хранения информации представлены на рисунке 2.

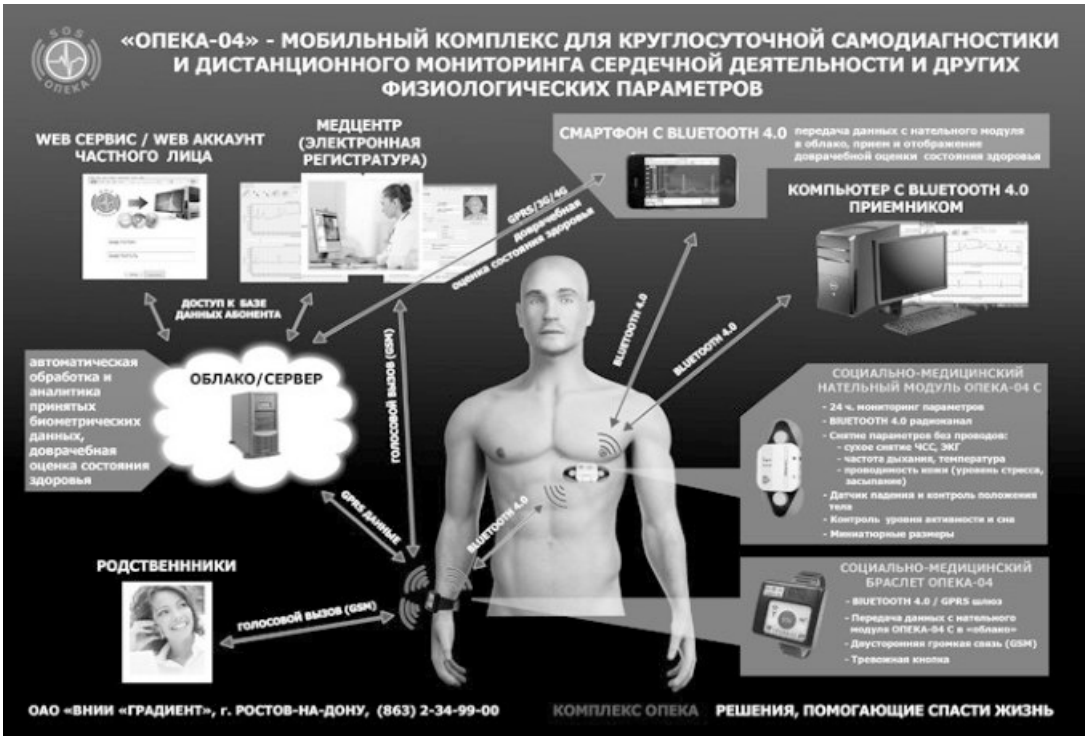


Рисунок 2 – Принцип передачи и хранения информации

Устройство постоянно записывает во внутреннюю память показатели биотелеметрии (ЭКГ, температуру, данные активности и другие параметры). Мобильное приложение на смартфоне / планшете (или Bluetooth 4.0 / GPRS шлюз) автоматически скачивает по Bluetooth 4.0 LE данные биотелеметрии с нательного модуля «Опека» за предварительно заданные равные интервалы времени, затем переправляет их на сервер в облако и получает обратно результаты обработки. Таким образом, на смартфоне автоматически формируется история состояния здоровья за время ношения модуля. [1]

Для получения информации о текущем состоянии здоровья возможен и мануальный (по запросу с мобильного приложения) съем данных биотелеметрии с нательного модуля, начиная от текущего момента времени, либо за любой момент времени использования нательного модуля. При мануальном съеме данных, начиная от текущего момента, возможен просмотр данных (ЭКГ, ЧСС, частоты дыхания, температуры и т.п.) в реальном масштабе времени.

В случае сердечной боли при помощи отдельного запроса с мобильного приложения (или путем нажатия красной кнопки на нательном модуле) можно проставить красный маркер на запись. В этом случае значения за этот временной интервал (с запасом по времени назад) сохранятся и скачаются на смартфон, а далее в облако, как экстренная запись, что удобно для дальнейшего фокусного анализа проблемы врачом аритмологом. Снятые биометрические данные и аналитические отчеты по ним доступны через «облако» как медцентру и лечащим врачам, так и самому пользователю с интерпретацией результатов на смартфоне в виде «ковра» здоровья, отображающего в наглядном виде как текущее состояние здоровья, так и динамику изменения показателей здоровья за требуемые временные периоды. [2]

Особое внимание уделяется диагностике и профилактике различных аритмий сердца. В настоящее время суточное мониторирование ЭКГ проводится исключительно

при помощи Холтер-мониторирования, что имеет ряд недостатков. По цене Холтер-мониторы доступны только крупным медицинским центрам (и на них стоит очередь на обследование), они не ориентированы для повседневной персональной диагностики, т.е. не предоставляют постоянные отчетные формы самому пользователю, они достаточно громоздкие - пользователи вынуждены мириться с большим количеством датчиков и проводов на своем теле. В связи с этим постоянно записываться на холтер-мониторирование довольно обременительно по времени, деньгам и комфорту. Одиночное обследование может и не дать полноценной картины заболевания (например, при отсутствии проявлений опасной аритмии в конкретный период времени), кроме того затрудняется оценка эффективности дальнейшей антиаритмической терапии, которая в некоторых случаях должна проводиться длительное время. [1]

При помощи нательного модуля «Опека» можно постоянно и комфортно контролировать аритмию в любых повседневных условиях даже самому, в том числе и эффективность антиаритмической терапии. При этом, помимо врача, результаты анализа постоянно доступны и самому пользователю.

Вид прибора, а также интерфейса программы представлены на рисунке 3.

Рисунок 3 – Вид устройства и интерфейса обработки данных

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.opeka-telemed.ru
2. *Никонов М. Н.* Протокол информационно-технического сопряжения телемедицинского модуля КардиоМаркер Patch One. Техническая документация на разрабатываемый продукт.

Е.А. Горохова

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БОРТУ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Москва

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, канал связи, нейронные сети, распознавание объектов.

В статье рассматривается возможность применения сверточной нейронной сети для снижения нагрузки на канал связи с беспилотным летательным аппаратом мониторинга и разведки местности.

E.A. Gorokhova

MODELING OF THE ALGORITHM FOR RECOGNITION OF GROUND OBJECT ON BOARD THE UNMANNED AERIA VEHICLE

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow

Keywords: unmanned aerial vehicle, communication channel, neural networks, recognition objects.

The article considers the possibility of using the convolutional neural network for reducing load on the communication channel with unmanned aerial vehicle for monitoring and reconnaissance of the area.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) получают все более широкое распространение в различных областях человеческой деятельности – от сельского хозяйства до доставки грузов. Однако основной задачей беспилотников является мониторинг земной поверхности.

Для получения информации о местности на беспилотный летательный аппарат устанавливается оптико-электронная система, которая может включать в себя несколько видов сенсоров: видимого, инфракрасного и тепловизионного диапазонов длин волн.

В зависимости от задач, возлагаемых на беспилотный летательный аппарат, оптико-электронные системы могут иметь различную разрешающую способность. Под разрешающей способностью цифровой оптической системы следует понимать способность оптической системы формировать на устройстве вывода (экране) изображения предметов, находящихся на заданном удалении от объектива оптической системы с заданным уровнем детализации [1].

Таблица 1

Вид целей	Требование к разрешению, м		
	Обнаружение	Общая идентификация	Точная идентификация
Автотранспорт	1,5	0,6	0,3
Городские постройки	60	30	3

Информация с оптико-электронных систем БЛА передается на наземный пункт управления (НПУ) для анализа территории мониторинга оператором по каналу связи. В таблице 1 представлены требования к разрешающей способности оптико-электронных систем беспилотных летательных аппаратов с точки зрения обнаружения и идентификации определенных объектов. Оценим скорость передачи несжатого видеоизображения, получаемого беспилотником в соответствии с таблицей 1. При этом примем, что:

разрешаемая площадь является квадратом линейного разрешения объекта;

площадь обзора оптико-электронной системы БЛА $S_{обз}$ является прямоугольником со сторонами 500 и 250 метров;

беспилотный летательный аппарат летит на высоте 1000 метров.

1. Обнаружение автотранспорта.

Для разрешаемой площади S_p, равной 2,25 м^2, по формулам (1) и (3) рассчитаем количество информации для статичного цветного изображения $I_{ст}$ и скорость передачи видеоизображения V, передающегося с частотой f 24 кадра/с.

$$I_{ст} = N \cdot i, \tag{1}$$

где N - число пикселей, которое рассчитывается по формуле (2),

$$N = \frac{S_{обз}}{S_p}, \tag{2}$$

i - количество информации для статичного цветного изображения. Для статичного цветного изображения 1 пиксель несет в себе количество информации, равное 24 битам.

$$V = I_{ст} \cdot f \tag{3}$$

2. Точная идентификация автомобиля.

Для разрешаемой площади 0,09 м^2 аналогично рассчитаем количество информации для статичного цветного изображения и скорость передачи видеоизображения. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

	Количество информации для статичного изображения $I_{ст}$	Скорость передачи видеоизображения V
Обнаружение	1,34 Мбит	32,2 Мбит/с
Точная идентификация	33,4 Мбит	0,8 Гбит/с

Для уменьшения объема передаваемых данных широко применяются алгоритмы видеокомпрессии, которые позволяют сократить избыточность видеоданных и уменьшить

передаваемый поток. Стоит отметить, что в настоящее время многие современные камеры беспилотных летательных аппаратов снимают и передают видео с разрешением HD, которое сжимается с использованием стандартов MPEG4/H.264. Скорости передачи видеопотока HD-качества со сжатием представлены в таблице 2.

Таблица 3

Формат	Число пикселей	Число кадров/с	Скорость передачи для MPEG4/H.264
720/24p или 25p	1280x720	24/25	4-5 Мбит/с
1080/50i	1920x1080	50	8-10 Мбит/с
1080/24p или 25p	1920x1080	24/25	14-18 Мбит/с

На данный момент существуют различные варианты организации канала передачи видеоинформации с БЛА на НПУ, скорость передачи данных в которых лежит в пределах 1 – 20 Мбит/с и зависит от назначения аппарата и типа полезной нагрузки. Однако зачастую передаваемые данные не несут в себе полезной информации, и их передача создает большую нагрузку на канал связи. Помимо этого, условия передачи сигнала осложняются условиями среды распространения сигнала, погодными условиями, городской застройкой и большим радиусом действия беспилотных летательных аппаратов.

Развитие современных перспективных технологий обработки информации позволяет организовать принятие решений о наличии определенных классов объектов в поле зрения оптической системы БЛА на борту аппарата, а затем передавать на НПУ изображения, несущие только полезную информацию. За счет передачи меньшего объема данных будет происходить снижение нагрузки на канал связи с БЛА [2]. Для реализации такого алгоритма предлагается использовать нейросетевые технологии.

Первой широко применяемой на практике нейронной сетью считается персептрон. Однако использование персептрона, как правило, затруднено большим количеством нейронов в промежуточных слоях из-за большой размерности вектора входных значений, и, как следствие, большими затратами вычислительных ресурсов на обучение и работу сети. Последующее развитие технологии обработки изображений с помощью нейронных сетей привело к идее создания архитектуры, использующей особенности человеческого мозга по анализу изображений. Основные идеи, которые были использованы – это локальность зон восприятия и деление нейронов по функциям внутри одного слоя. Первую сеть на основе этих идей – когнитрон, создал Кунихика Фукусима в 1975 году. Чуть позже, в 1980 году, он создал более продвинутую сеть, состоящую из нескольких слоев, являющихся комбинацией простых и сложных нейронов и получившую название неокогнитрон. Вышеупомянутые сети используют самоорганизацию в процессе обучения.

В 1995 году Яном ЛеКуном была предложена сеть, схожая по структуре с неокогнитроном, но использующая обучение с учителем по алгоритму обратного распространения ошибки. Этот тип нейросетей приобрел свою популярность в начале 2010-х годов благодаря появлению мощного вычислительного оборудования, а также больших обучающих выборок. Выяснилось, что любую задачу, связанную с распознаванием образов, такие сети могут решать эффективнее, чем классические подходы – методы перебора вида объекта под различными углами, масштабами, смещениями и методы исследования контура изображения. За последние годы в задачах

распознавания и классификации изображения сверточные сети достигли точности, сравнимой с точностью, достигаемой мозгом человека.

В результате анализа областей применения различных нейросетевых архитектур было установлено, что для реализации алгоритма распознавания наземных объектов на борту беспилотного летательного аппарата целесообразно использовать сверточную нейронную сеть, так как это один из наиболее эффективных алгоритмов по классификации и распознаванию изображений, использующий обобщение демонстрируемой информации, за счет чего получается меньшее количество настраиваемых весов, чем у полносвязных нейронных сетей типа персептрона.

Для реализации алгоритма распознавания с использованием нейронных сетей необходимо обучение этого алгоритма на большой выборке, содержащей как минимум несколько тысяч обучающих примеров. Обучающая выборка должна охватывать все возможные варианты представления распознаваемых объектов. Также необходимо учитывать то, что на БЛА ставятся различные дневные камеры, отличающиеся разрешением, цветопередачей и другими параметрами, съемка земной поверхности происходит при различном освещении и с различных ракурсов. Все это осложняет сбор необходимого числа примеров для обучения алгоритма. Существует вариант искусственного раздутия обучающей выборки на основе небольшого количества исходных изображений, однако такая база изображений в любом случае должна быть размечена, т.е. выделены объекты, на которые будет реагировать нейронная сеть, и определены классы, к которым они относятся. Также часть базы изображений должна быть выделена в тестовую выборку, на которой будет оцениваться качество распознавания.

На данном этапе целесообразно провести исследование возможности реализации алгоритма распознавания наземных объектов оптико-электронными средствами беспилотных летательных аппаратов на одной из свободно распространяемых баз изображений, предназначенных для исследовательских целей. Для данной задачи хорошо подходит база изображений NORB, в частности ее упрощенная версия – база Small NORB.

Базы данных NORB и Small NORB предназначены для экспериментов распознавания 3D объектов по форме [3], и содержит образы 50 игрушек, принадлежащих к 5 категориям:

четвероногие животные;

человеческие фигуры;

самолеты;

грузовики;

легковые автомобили.

Из этих категорий для поставленной задачи подходят три категории объектов – самолеты, грузовики и легковые автомобили. Примеры изображений из базы, принадлежащих к выбранным категориям, представлены на рисунках 1,2 и 3.

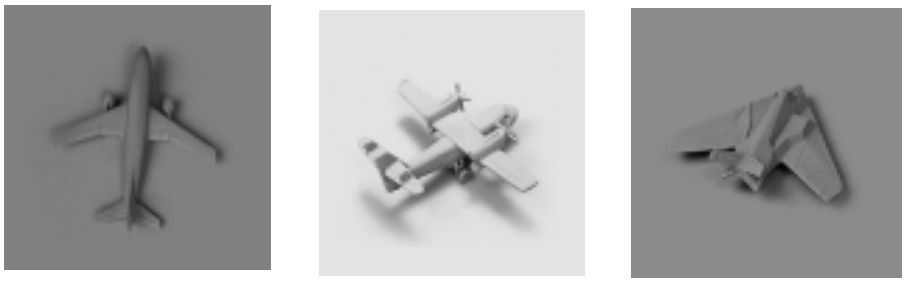


Рисунок 1 – Примеры изображений категории «самолеты» из базы Small NORB

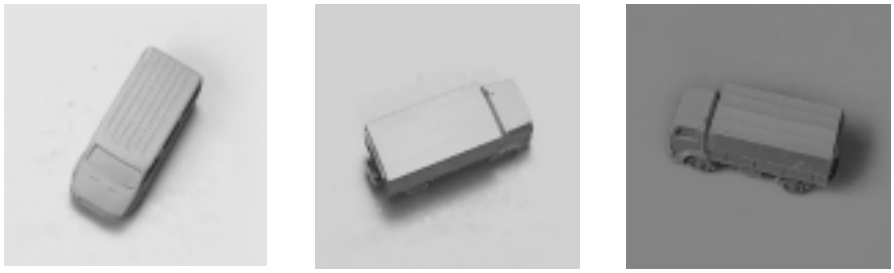


Рисунок 2 – Примеры изображений категории «грузовики» из базы Small NORB

Рисунок 3 – Примеры изображений категории «легковые автомобили» из базы Small NORB

Для исследования предлагается использовать сеть следующей архитектуры: входной слой, 4 слоя, содержащие карты признаков, и полносвязный выходной слой (рисунок 4).

Предполагается наличие выбора одной из двух функций активации нейронов:

1. функция активации типа гиперболического тангенса, определяется выражением вида (4)

$$f(s) = th(-a \cdot s), \tag{4}$$

где a - коэффициент, определяющий наклон функции,

s – входной сигнал;

2. Лог-сигмоидная функция активации, определяется выражением вида (5)

$$f(s) = \frac{1}{1+e^{-a \cdot s}}, \tag{5}$$

где a – коэффициент, определяющий вид сигмоиды (от горизонтальной линии до функции скачка),

s – входной сигнал.

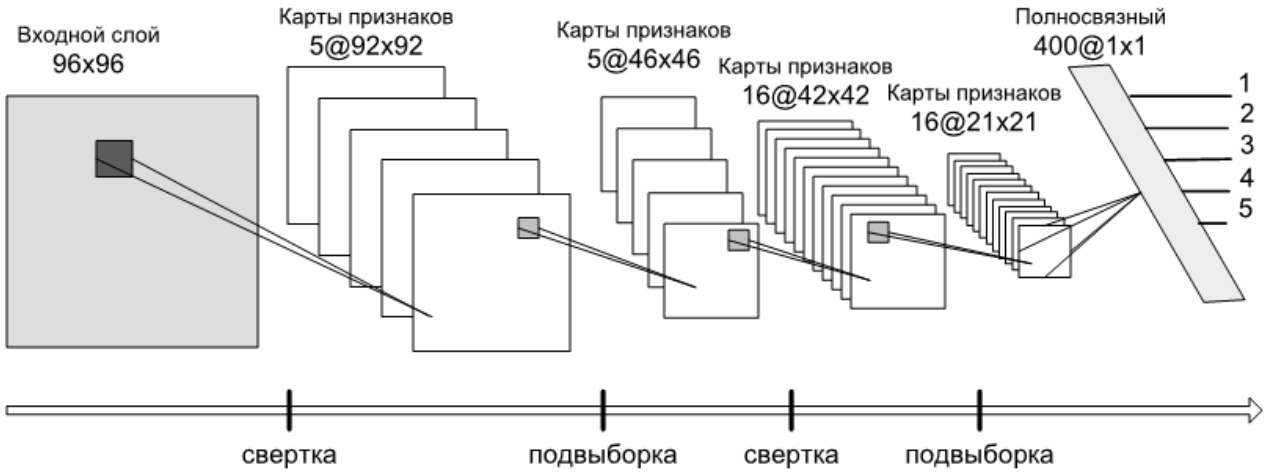


Рисунок 4 – Архитектура сверточной нейронной сети

Также может быть выбран один из двух типов предобработки изображений:

1. Метод Винода

Метод предполагает умножение яркости каждого изображения на скалярную величину таким образом, что все изображения имеют одинаковое среднее значение яркости пикселей. Таким образом, все изображения подвергаются обработке вида (6).

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{I} - M[\mathrm{I}]}{\sigma(\mathrm{I})}, \tag{6}$$

где I - обрабатываемое изображение,

$M[\mathrm{I}]$ – среднее значение яркости пикселов изображения,

$\sigma(\mathrm{I})$ - среднеквадратичное отклонение яркости.

2. Метод ди Карло

Метод преобразует изображение, используя весовое (Гауссовское) ядро вида:

ker = [

0.0163	0.0296	0.0360	0.0296	0.0163
0.0296	0.0535	0.0652	0.0535	0.0296
0.0360	0.0652	0.0794	0.0652	0.0360
0.0296	0.0535	0.0652	0.0535	0.0296
0.0163	0.0296	0.0360	0.0296	0.0163],

которое будет применяться в локальной области.

Последовательно для каждого изображения осуществляется следующая последовательность операций:

1. из каждого элемента матрицы изображения, взятого с повышенной точностью, вычитается среднее значение матрицы и делится на стандартное отклонение;
2. вычисляется локальное среднее и каждое значение яркости пикселя делится на это значение;
3. дополнение нулями.

В результате анализа результатов работы алгоритма в тестовом режиме для проведения дальнейшего моделирования была выбрана сигмоидная функция активации и предобработка методом ди Карло. В результате был получен следующий результат: после 100 эпох обучения ошибка на тестовой выборке составляет 0,1805. Результаты представлены на рисунке 5.

Однако по графику видно, что уже после 50 эпохи обучения ошибка распознавания при проверке на тестовой выборке практически перестает уменьшаться.

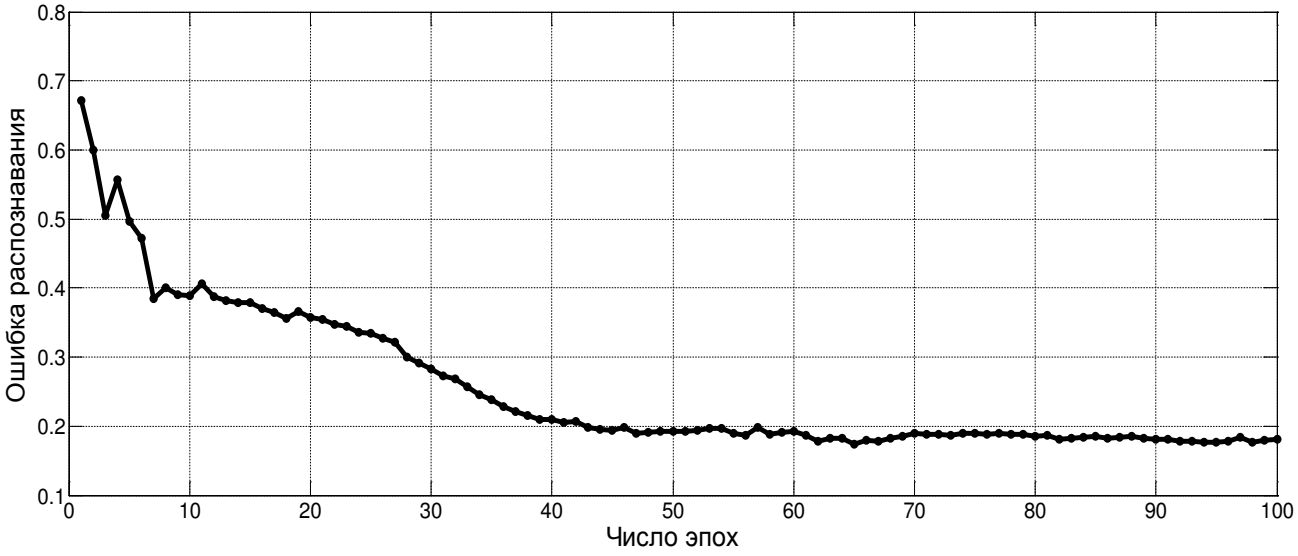


Рисунок 5 - Зависимость ошибки распознавания от числа эпох при сигмоидной функции активации и предобработке методом ди Карло

Однако было выяснено, что при использовании в качестве предобработки нормализации контраста изображений и функции активации гиперболический тангенс, ошибка на тестовой выборке после 100 эпох обучения составила 0,154. Результаты представлены на рисунке 6.

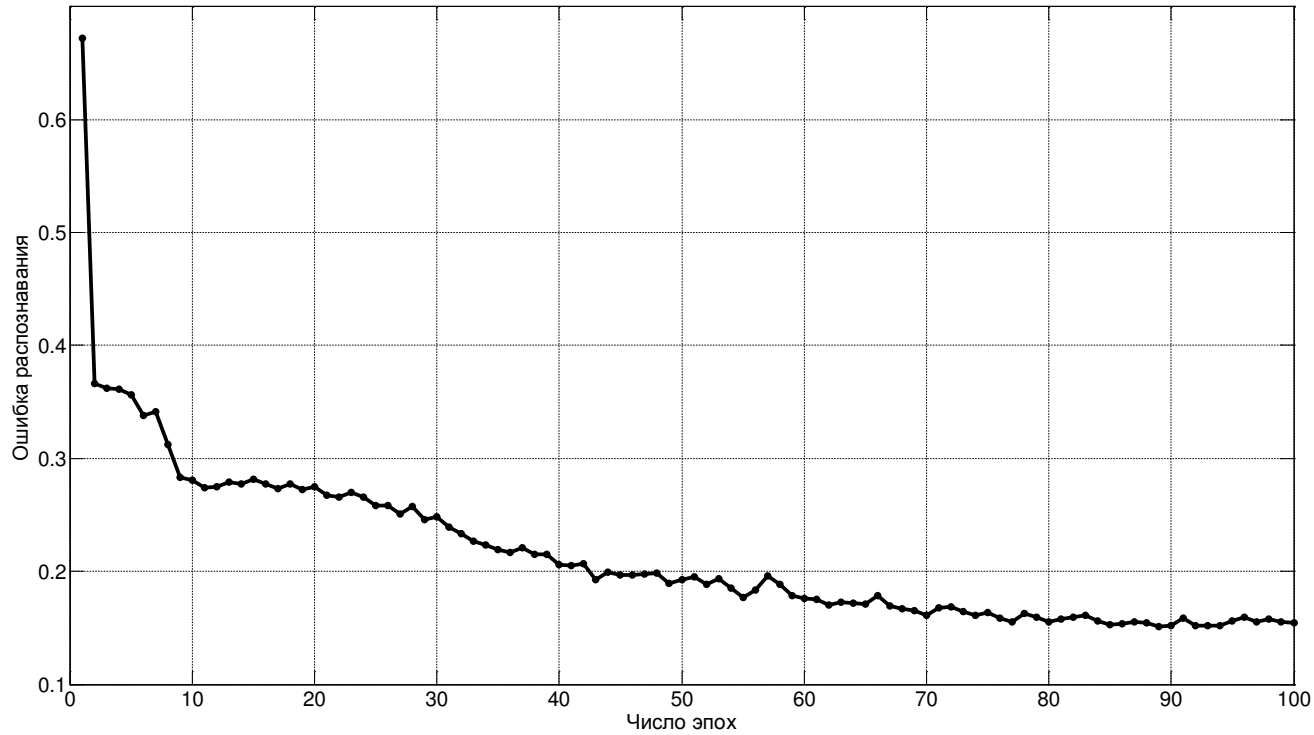


Рисунок 6 - Зависимость ошибки распознавания от числа эпох при функции активации типа гиперболический тангенс и нормализации контраста

В результате использования нормализации контраста изображений и функции активации типа «гиперболический тангенс» на тестовой выборке удалось достигнуть вероятность правильного определения объекта к одной из трех категорий, равную 0,846.

Вероятность неправильного распознавания объекта P_1 на поданном на вход алгоритма изображении зависит от качества обучения нейронной сети, и не зависит от предыдущих и последующих поданных алгоритму изображений. Тогда по формуле полной вероятности [4] (7) можно показать, что при подаче алгоритму двух изображений одного и того же объекта позволяет добиться вероятности правильного распознавания $P_{расп}$ 0,976, а при подаче трех изображений – уже 0,996.

$$P_{расп}(N) = 1 - (P_1)^N, \quad (7)$$

где N – число независимых событий: в данном случае количество изображений одного и того же объекта.

Описанный алгоритм предназначен для обработки статичных изображений, поэтому из видеопотока, получаемого камерой оптико-электронной системы, предлагается выбирать отдельные изображения, которые затем будут подаваться на вход алгоритма. Оптимальная частота выборки изображений в зависимости от частоты кадров изображения камеры, с учетом того, что уже при подаче двух изображений одного и того же объекта можно достичь вероятности правильного распознавания равной 0,976, представлена в таблице 4.

Таблица 4.

Частота кадров	Период взятия изображений	Результирующее число кадров, содержащих объект (при его наличии)
24 кадра/с	6 секунд	4
25 кадров/с	5 секунд	5
50 кадров/с	10 секунд	5

Оценка возможности реализации алгоритма распознавания наземных объектов оптико-электронными средствами беспилотных летательных аппаратов показала, что эффективность алгоритма на исследовательской базе высока, и при соблюдении определенных условиях вероятность правильного обнаружения объекта достигает 0,996. Дальнейшие исследования будут направлены на выработку предложений по практической реализации алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *В.В. Ростопчин, М.Л. Дмитриев* / Применение цифровых оптических систем для беспилотных летательных аппаратов [Электрон.ресурс] – URL: www.usav.ru/articles/opteq_uav.pdf . – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 20.10.2016).
2. *Горохова Е.А., Чиров Д.С.* Использование нейронных сетей для снижения нагрузки на канал связи БЛА-НПУ // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения / Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC– 2016», 21–25 ноября 2016 г., Москва. / Под ред. академика РАН А.С. Сигова. – М.: Галлея-Принт, 2016, часть 5. – с. 87-89.
3. *Y. LeCun, F.J. Huang, L. Bottou*, Learning Methods for Generic Object Recognition with Invariance to Pose and Lighting. CVPR 2004. online version

4. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.

***Н.О. Горшенин, *И.В. Щербань, К.Д. Грабовый**

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЫ

Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи
и информатики, г.Ростов-на-Дону, Россия
*Южный федеральный университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: информационно-измерительная система, LoRaWAN, контроль параметров почвы, сельское хозяйство

В рамках работы рассматривается процесс разработки распределенной системы измерения и контроля параметров почвы, обоснование ее эффективности и обзор возможных решений

***N.O. Gorshenin, *I.V. Shcherban, K.D. Grabovy**

DISTRIBUTED MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEM OF SOIL PARAMETERS

The North Caucasian Branch of the Moscow Technical University
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia
*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Key words: information-measuring system, LoRaWAN, control of soil parameters, agriculture

The work describes developing process of distributed measurement and control system of soil parameters, reasoning its effectiveness and reviewing possible solutions.

В настоящее время автоматизация затрагивает все больше сфер деятельности человека, в частности – сельское хозяйство. Актуальной задачей является создание системы, позволяющей осуществлять удаленный мониторинг влажности, кислотности, температуры и других параметров почвы, напрямую влияющих на урожайность.

Поскольку стандартное поле имеет неоднородную почвенную структуру, а также может быть поделено на участки, засеянные различными культурами, необходимо построение распределенной системы измерения и контроля (РСИиК) параметров почвы, представляющей собой совокупность разнесенных в пространстве измерительных точек (сенсорных блоков), передающих измерительные данные по беспроводному каналу связи (КС) на центральное устройство, обеспечивающее обработку полученных измерений, а

также представление данных в удобном конечному пользователю виде. Существующие на рынке решения представляют собой целевые узконаправленные разработки, полученные в результате выполненных ранее проектов в соответствии с требованиями заказчика. Многие из таких разработок являются закрытыми, без указания конкретных параметров и типов датчиков, входящих в состав измерительных точек, что делает невозможным рациональную оценку преимуществ и возможностей системы.

Для решения контрольно-измерительной задачи в соответствии с требованиями заказчика было составлено техническое задание (ТЗ), в соответствии с которым необходимо разработать РСИиК, включающую в себя от 40 до 45 измерительных точек (ИТ), каждая из которых обеспечивает измерение параметров почвы (таблица 1) в полевых условиях.

Таблица 1 – Требования к измерениям параметров почвы

№	Физический параметр	Глубина измерений, см	Единица измерений	Относительная точность измерений
1	Влажность	25-30	%	±2 %
2	Влажность	50-60	%	±2 %
3	Температура	поверхностный слой	°C	±0.5°C
4	Кислотность	поверхностный слой	pH	-

Помимо этого, необходимо обеспечение беспроводной связи между ИТ, удаленными друг от друга на расстояние до 250 метров, их установка в открытый грунт, с возможностью свободного извлечения всех датчиков ИТ из грунта по окончании очередного периода эксплуатации системы. Связь каждой ИТ с базовой станцией (БС) должна быть беспроводной, а питание – автономным, позволяющим поддерживать непрерывную работу ИТ в течение 6 месяцев. Периодичность опроса и сбора измерительной информации со всех ИТ должна составлять не менее 2х раз в сутки, а программное обеспечение (ПО) серверной станции обязано быть интуитивным, обладать простым и понятным пользовательским интерфейсом.

Ввиду представленных требований к параметрам РСИиК был выделен целый ряд проблем, рассмотренных далее. Поскольку требуется автономность при длительном времени необслуживаемого функционирования, а также обеспечение беспроводной связи между узлами системы, расположенными на значительном удалении друг от друга, важной проблемой становится выбор системы беспроводной связи, удовлетворяющей параметрам низкого энергопотребления и большой зоны покрытия. Также серьезной проблемой является разработка кроссплатформенного ПО, обеспечивающего конечному пользователю доступ к обработанным и представленным в удобном виде измерительным ресурсам, располагаемым окончательно на серверной станции (СС). Помимо указанных выше проблем критически важной является задача обеспечения минимально возможной стоимости РСИиК.

Объектом исследований является температурно-влажностный режим почвы поля для засева сидератов. Необходимость подобного контроля обуславливает, в свою очередь, предмет исследований – РСИиК параметров влажности, температуры и кислотности поля.

Важной задачей является выбор наиболее подходящего способа связи контрольных точек. Исходя из требований заказчика основными трудностями при реализации связи будут являться: большое расстояние между ИТ (до 250 метров), длительное время автономной работы (6 месяцев), а также большое количество ИТ (до 45 штук). В таблице 2 приведены технические характеристики беспроводных сетей нескольких типов.

Таблица 2 – Технические характеристики беспроводных сетей разных типов

Технические характеристики	Тип сети			
	LoRaWAN	СТРИЖ	Wi-Fi	ZigBee
Дальность, км	≤12	≤40	≤0.1	≤0.1
Частота, МГц	433, 868, 915	868	2400	915
Потребление энергии	Низкое	Низкое	Высокое	Низкое
Скорость передачи, кбит/с	0.3-50	50	$7*10^6$	250

Сети на основе модулей ZigBee являются довольно распространенными и часто применяются в домашней автоматизации, так как обладают низким энергопотреблением, однако за счет невысокой дальности, данный тип сети не подойдет для построения требуемой РСИиК. Сети Wi-Fi являются очень распространенными и обладают крайне высокой скоростью передачи, но за счет высокого энергопотребления поддержание длительной автономности работы устройств становится невозможным. Сети СТРИЖ и LoRaWAN являются глобальными сетями низкого энергопотребления (LPWAN — от англ. Low Power Wide Area Network). Основными преимуществами, как видно из названия, являются низкое энергопотребление (до 10 лет работы от одного элемента питания типа AA) и высокая дальность связи (десятки километров). Главным недостатком таких сетей является их низкая скорость передачи данных (до 50кбит/с), однако данное ограничение не мешает корректному функционированию проектируемой системы, так как частота опроса ИТ составляет 2 раза в сутки. Основным отличием СТРИЖ от LoRaWAN является специализированный тип модуляции на физическом уровне, который позволяет увеличить расстояние связи, но при этом появляется проблема, связанная с жесткой привязкой РСИиК на аппаратном и программном уровне к технологиям и решениям единственной компании. Учитывая этот факт, а также закрытость всех технологий СТРИЖ, выбор сделан в пользу протокола связи LoRaWAN, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к РСИиК заказчиком.

На физическом уровне для построения РСИиК целесообразно использовать топологию «звезда» (рисунок 1), предполагающую наличие концентратора (базовой станции), осуществляющей связь с каждой из ИТ. Использование такой топологии обусловлено требованиями протокола LoRaWAN.

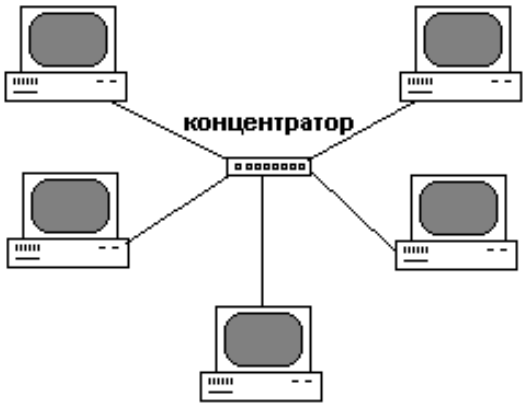


Рисунок 1 – Сетевая топология «звезда»

Протокол LoRaWAN [3] предполагает построение сети из устройств трех классов оконечных (end-note) устройств, шлюзов, а также сервера сети. Выделяют следующие классы end-node устройств: класс A – узел передает данные на шлюз короткими посылками по заданному графику, выступая инициатором обмена (симплексный режим); класс B – узел включает приемник по графику, заданному сервером (симплексный режим); класс C – окно приема открыто постоянно и закрывается лишь на период кратковременной передачи данных (дуплексный режим). В рамках проекта ИТ должны быть реализованы как устройства класса C, ввиду возможности двустороннего адресного обмена данными. Шлюзы LoRa предназначены для использования в радиальных звездообразных сетевых архитектурах большого радиуса действия и представляют собой трансиверы для управления и связи группой оконечных устройств. Связь между шлюзами и центральным сервером LoRaWAN сети осуществляется с помощью стандартных технологий (Ethernet, WiFi, GSM) по протоколу TCP/IP. Центральный сервер решает задачу временного разделения данных за счет посыла узлам управляющих команд через шлюзы. В рамках проекта центральный сервер, сервер сети и шлюз (в виде одноканального LoRa трансивера) представляют собой единое устройство, называемое базовой станцией.

Основными задачами, решаемыми БС, являются координация работы ИТ (управление скоростью передачи и временным слотом, выделенным под отправку информационного сообщения), высокоуровневая обработка измерительных данных, а также их отправка на серверную станцию посредством GSM. Исходя из задач, существует два варианта реализации БС. Первым вариантом является покупка готовой БС, что является наиболее простым, но при этом дорогим решением (цены на такие БС достигают нескольких тысяч у.е.). Ввиду необходимости поддержания минимальной стоимости РСИиК был выбран второй вариант – самостоятельная разработка БС, состоящей из приемо-передатчика LoRa и микропроцессорного устройства.

Исходя из решаемых задач актуальным является вопрос выбора микроконтроллера для БС. Чаще всего для решения подобных задач в DIY-проектах применяются два типа микропроцессорных устройств, характеристики которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная таблица микропроцессорных комплектов

Характеристика	Raspberry Pi 2 Model B	Arduino 2560
Тип	Одноплатный микрокомпьютер	Микроконтроллер
Параметры производительности и памяти	Частота процессора – 900 МГЦ Объем ОЗУ – 1 ГБ Объем ПЗУ – до 32 Гб	Разрядность МК – 8 бит FLASH память – 256 КБ EEPROM память – 4 КБ SRAM память – 4 КБ
Языки программирования	Python/Bash/JavaScript	C/C++
Энергопотребление	Высокое, требует внешнего источника питания	Низкое, длительное время автономной работы
Модульность	Большое количество внешних модулей разных производителей	Большое количество внешних модулей разных производителей

Проанализировав данные в таблице 3 и сопоставив их с требованиями к РСИиК, можно сделать вывод, что несмотря на превосходящие конкурента параметры производительности и памяти, Raspberry Pi нуждается во внешнем источнике питания, что противоречит требованиям заказчика касательно автономности. За счет модульности Arduino 2560 позволит использовать внешнюю SD карту для записи измерительной информации, а наличие шины SPI даст возможность подключения модуля приемо-передатчика LoRa.

Блок-схема типовой ИТ представлена на рисунке 2. Согласно требованиям к РСИиК, каждый измерительный блок содержит 2 датчика влажности, находящихся на разной глубине, датчик кислотности почвы, температуры, а также микроконтроллер, осуществляющий первичную обработку измерительной информации, формирование посылок и их отправку на БС через трансмиттер LoRa.

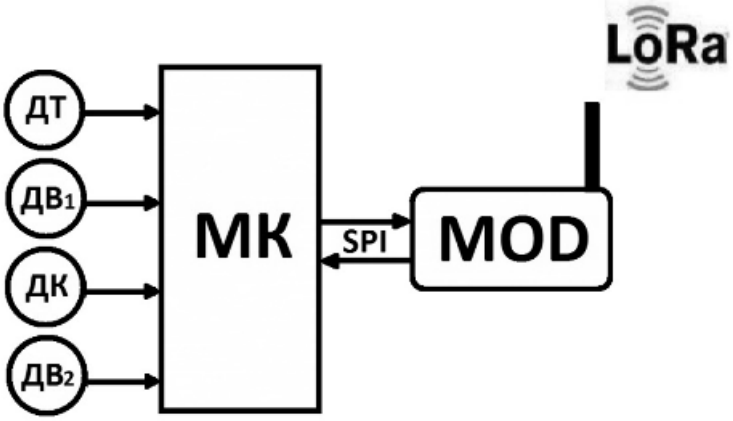


Рисунок 2 – Блок-схема измерительной точки РСИиК

Выбранная элементная база ИТ приведена в таблицах 4-6.

Таблица 4 – Датчики, входящие в состав ИТ

Наименование	Погрешность, %	Напряжение питания, В	Разрядность, бит	Потребляемый ток, мА
Датчик влажности и температуры SH15 (цифровой)	±0,5 – для температуры; ±2 – для влажности	5	14 – для температуры; 8 – для влажности	1
Датчик температуры DS18B20 (цифровой)	±0,5	5.5	12	1.5

Таблица 5 – Микроконтроллер, входящий в состав ИТ

Наименование	Память, кбит	Напряжение питания, В	Разрядность, бит	Потребляемый ток, мА
МК ATmega328P – MU	32 – Flash; 1 – ПЗУ; 2 – ОЗУ	5.5	8	0.2

Таблица 6 – Трансивер LoRa, входящий в состав ИТ

Наименование чипа	Рабочая частота, МГц	Напряжение питания, В	Скорость передачи, кбит/с	Потребляемый ток, мА	Максимальный радиус действия, км
SX1276	433, 868, 915	3.3	≤300	9.9	12
SX1272	433, 868, 915	3.3	≤300	10	12

Выбор датчиков [1] обусловлен их низкой стоимостью, полным соответствием требованиям к РСИиК и наличием цифровых интерфейсов связи (подключение по шине i2c). МК ATmega328P-MU также полностью позволяет решить поставленную задачу первичной обработки измерительной информации и формирования посылок, а шина SPI обеспечивает передачу сформированных в посылку данных на модем. В качестве трансивера выбран модуль на базе чипа Semtech SX1276, работающий на частоте 868 МГц, позволяющий в режиме минимального энергопотребления достигать радиуса действия до нескольких километров, что с избытком позволяет решить поставленную задачу.

Важным вопросом является поддержание совместимости блоков РСИиК [2] и их составных частей. Вопрос информационной совместимости решается за счет использования цифровых датчиков, работающих по шине i2c, а также стандартных однотипных модулей трансиверов LoRa как для отдельных ИТ, так и для БС. Основной проблемой является согласование разрядности сенсоров с разрядностью контроллера с

поддержанием требуемого уровня точностных характеристик. Однако, данная проблема разрешима (в техническом описании указана возможность выбора разрядности цифрового датчика). Конструктивная совместимость обеспечивается за счет размещения всех датчиков, контроллера и модема внутри ИТ в едином корпусе. Вопрос энергетической совместимости элементной базы ИТ не является проблемой, так как все сенсоры и МК питаются от напряжения 5-5.5В, а подключение трансивера LoRa требует применение преобразователя 5–3.3В.

Структурная схема РСИиК представлена на рисунке 3. Совокупность ИТ производит измерения требуемых параметров почвы, их первичную обработку и формирование посылки для отправки на БС, причем работа с каждым оконечным узлом осуществляется в отдельный time-frame (временной интервал), что исключает возможность одновременного обращения нескольких ИТ к БС. Базовая станция отвечает за поддержание временного разделения опроса ИТ, высокоуровневую обработку полученных измерительных данных, а также за отправку обработанных данных на серверную станцию (в нашем случае – облачное хранилище) посредством GSM-соединения. Представленная система обладает кроссплатформенностью: любое устройство вывода информации (УВ), обладающего возможностью выхода в интернет, способно отображать измерительные данные по каждой ИТ в наглядной форме.

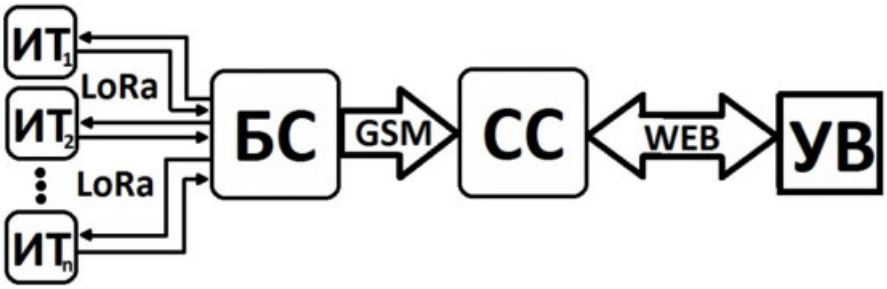


Рисунок 3 – Структурная схема РСИиК

Выполнено схемотехническое проектирование требуемой РСИиК, реализован действующий макет из 2 ИТ и одной БС, проведены его натурные испытания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. М.: Мир, 1998. 191 с.
2. Рубичев Н.А. Измерительные информационные системы. Учебное пособие – М.: Дрофа, 2010. – 334 с.
3. Интернет-ресурсы сообщества LoRaWAN http://lorawan.lace.io/

И.Д. Григорьев, В.Г. Орлов

МЕХАНИЗМЫ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В VDL MODE 4

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Москва

Ключевые слова: авиационные системы, беспроводные системы цифровой связи, АЗН-В, качество обслуживания.

Рассматриваются вопросы реализации механизмов качества обслуживания в системе передачи данных VDL Mode 4. VDL Mode 4 используется для работы сервиса автоматического зависимого наблюдения вещательного типа (АЗН-В). АЗН-В – это одно из авиационных приложений, занимающееся передачей таких параметров, как местоположение летательного аппарата и его идентификационные данные широковещательным способом для приема таких данных наземными или воздушными пользователями.

I.D. Grigoryev, V.G. Orlov

QUALITY OF SERVICE MECHANISMS IN VDL MODE 4

Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Moscow

Keywords: aviation systems, digital wireless communication systems, ADS-B, quality of service, QoS.

Authors reviewing implementation of QoS mechanisms in communication system VDL Mode 4. System is used like a network protocol stack to implement Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) service. ADS-B is the one of aviation systems applications, designed to broadcast surveillance and identification data of aircrafts.

Very High Frequency (VHF) Data Link (VDL) Mode 4 [1] представляет собой способ организации канала передачи информации между авиалайнером и базовой станцией, либо другим летательным аппаратом (ЛА). Внедрение реализации данной системы к использованию на территории РФ закреплено в программе внедрения средств вещательного автоматического зависимого наблюдения 2011 – 2020 годов. Канал функционирует в диапазоне 108 – 136.975 МГц, скорость передачи данных – 19,2 Кбит/сек. Основным приложением для системы является АЗН-В [2].

VDL Mode 4 разработан на основе технологии STDMA (Self- Organizing Time Division Multiple Access) с целью удовлетворить следующие требования:

1. Использование единого глобального решения для работы на земле и в воздушном пространстве любого типа;
2. Оперирование без сложной фиксированной наземной инфраструктуры;
3. Реализация и использование различных авиационных приложений;
4. Оптимальная стоимость установки и поддержания работы системы для пользователей, предъявляющих различные требования.

В обычном TDMA множественный доступ организуется путём передачи данных каждым пользователем в рамках временных интервалов. Их распределением между узлами занимается некоторая доверенная базовая станция. В STDMA данные временные слоты синхронизированы с Universal Time Coordinated (UTC). Каждый временной слот может быть использован радиоузлом, располагающимся на ЛА, наземном транспорте или фиксированной наземной станции, для передачи информации, предоставляемой приложениями. Временные метки слотов и их планируемое использование для передачи известны всем пользователям в зоне радиовидимости, таким образом организуется эффективное и структурированное использование канала [3]. В результате использования такого самоорганизующегося подхода, VDL Mode 4 для функционирования не требуется наличие наземной инфраструктуры, при этом поддерживается обмен «воздух-воздух», «земля-воздух», «воздух-земля».

Важной частью VDL Mode 4 являются методы выбора временных слотов для новой передачи, а также способы резервирования слотов для будущих передач. Если канал не занят в настоящий момент, выбор слота производится прямолинейно, поскольку слот, не зарезервированный другим узлов может быть найден простым последовательным способом. Когда количество используемых в канале слотов увеличивается, найти свободные и незарезервированные слоты становится труднее, VDL Mode 4 позволяет узлу занимать слот, зарезервированный другим удаленным узлом. В результате площадь покрытия для каждого узла уменьшается пропорционально количеству занятых слотов. При нормальном режиме работы занять слот может любой узел, ЛА или базовая станция. Также, существует режим, при котором определением слотов занимается только базовая станция [4].

Процесс выбора слота выглядит следующим образом: приложению требуется отправить данные либо зарезервировать слоты для отправки данных в будущем, для этого оно определяет набор слотов-кандидатов, из которых, впоследствии, будут выбраны конкретные слоты для передачи. После этого, узел получает список доступных слотов. Список этих слотов является подмножеством перечня слотов-кандидатов и состоит из слотов двух типов: незарезервированных и слотов, которые были зарезервированы ранее другим узлом, но могут быть выбраны для передачи исходя из специальных правил выбора слота. Из списка доступных слотов, слот для передачи выбирается случайным

образом.

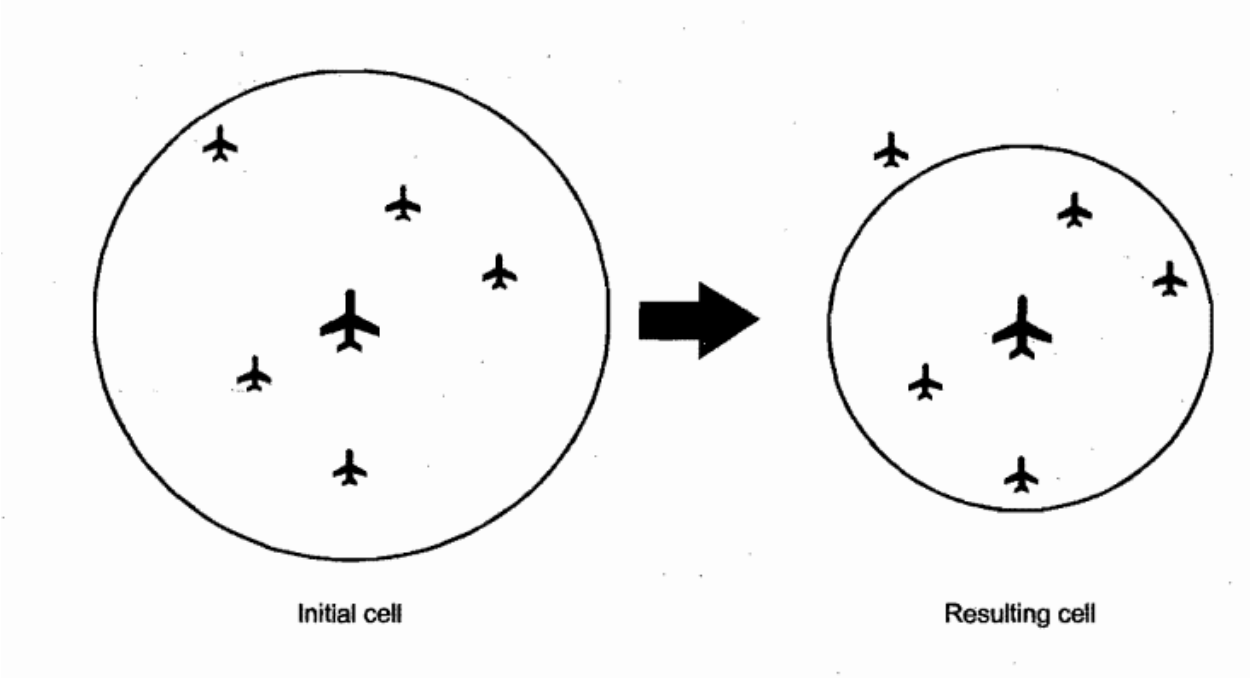


Рисунок 1 – Графическое отображение динамического изменения зоны, внутри которой передаются широковещательные сообщения.

В VDL Mode 4 можно выделить следующие средства обеспечения QoS:

- Очереди на отправку с приоритетами для каждого сообщения;
- Robin Hood и CCI механизмы, работа которых будет рассмотрена ниже;
- Возможность замены сообщений, находящихся в очереди на отправку, на более новые сообщения того же типа;
- Механизм повторной отправки безответных сообщений;

Существует 2 специальных правила для переназначения зарезервированных слотов для использования: «справедливый» способ (Robin Hood principle) и защита от интерференции в канале (Co-channel interference, CCI). «Справедливый» принцип распределения слотов позволяет узлу передавать информацию в занятом канале, используя слоты, предварительно зарезервированные для передачи широковещательных сообщений другими узлами. Чем дальше узел, изначально зарезервировавший слот, находится от узла, желающего передать данные, тем больший приоритет для повторного использования слота будет предоставлен узлу, который хочет передать информацию. Таким образом, реализуется механизм динамического изменения широковещательного домена, что отображено на рис. 1.

Метод CCI обобщает «справедливый» метод распределения слотов и позволяет использовать слоты, предварительно зарезервированные для связи точка-точка между двумя узлами. Принцип позволяет определять предпочтительные и нежелательные сигналы в пределах зоны радиовидимости на основании измерения приблизительных расстояний между узлами. Значение CCI определяется в соответствии со свободным пространственным затуханием сигнала в процессе прохождения некоторого расстояния. Для GFSK модуляции такое разделение сигналов возможно если они различаются на 12 дБ, то есть расстояние между приёмником предпочтительного сигнала и передатчиком нежелательного сигнала должно быть в 4 раза больше, чем расстояние между передатчиком и приёмником предпочтительного сигнала. Данный метод позволяет

осуществлять параллельную передачу сообщений внутри единой зоны радиовидимости между далеко отстоящими парами узлов.

На рис. 2 отражены параметры качества обслуживания, которые содержатся в каждом передаваемом сообщении.

Symbol	*Parameter Name*		*Minimum*	*Maximum*	*Default*	*Increment*
Q1	Priority		0	15	11	1
Q2a	Slot selection range constraint for level 1		0	1 000 NM	150 NM	1 NM
Q2b	Slot selection range constraint for level 2		0	1 000 NM	150 NM	1 NM
Q2c	Slot selection range constraint for level 3		0	1 000 NM	0 NM	1 NM
Q2d	Slot selection range constraint for level 4		0	1 000 NM	300 NM	1 NM
Q3	Replace queued data		FALSE	TRUE	FALSE	—
Q4	Number of available slots		1	20	3	1
$Q5_{min}$	VSS re-transmission parameters	minimum	0 sec	20 sec	0 sec	13.33 milliseconds
$Q5_{max}$		maximum	1 sec	20 sec	5 sec	13.33 milliseconds
$Q5_{mult}$		multiplier	1 sec	2.5 sec	1 sec	0.01 sec
$Q5_{exp}$		exponent	1	2.5	1.5	0.01
$Q5_{num}$		number of attempts	1	15	4	1
$Q5_{wait}$		maximum time to wait for a reply	1 sec	120 sec	60 sec	1 sec

Рисунок 2 – Параметры QoS в сообщении VDL Mode 4.

Манипуляция значениями данных параметров качества обслуживания приводит к ралиизации механизмов QoS. Поле Q1 используется для назначения приоритетов отправляемого сообщения. После того, как узел сформировал сообщение на отправку, он помещает его в буфер с определенным значеним приоритета. В VDL Mode 4 существует 16 типов приоритета для трафика – самым высоким приоритетом обладает трафик управляющих приложений, средним – сообщения с информацией о полете. Временные слоты для отправки сообщения выбираются на основании его приоритета.

Параметры Q2 отвечают за реализацию механизмов Robin Hood и CCI и указываются в морских милях. Каждый из данных параметров задействуется при специальном сценарии взаимодействия узлов. Значение Q2a учитывается при повторном использовании слота, зарезервированного для связи точка-точка, Q2b для широковещательного слота, Q2c задействуется для обоих вышеописанных типов и Q2d используется для передачи протоколом любого типа.

Параметр Q3 является булевым значением и, в случае установки его в значение «истина», указывает на возможность для сообщения, находящегося в буфере на отправку, быть замененным на обновленное сообщение того же типа. В комбинации с приоритетными очередями в VDL Mode 4 возможно реализовать механизм, который в IP-сетях называется «честными» очередями (Fair Queue): узел не позволяет высокоприоритетному трафику занять канал целиком, предоставляя время в канале в том числе низкоприоритетному трафику.

Из-за того, что размер передаваемого сообщения может быть эквивалентен нескольким слотам, для каждого сообщения в поле Q4 указывается требуемое количество доступных слотов в канале, требуемое для передачи сообщения. В случае, если успешная

доставка сообщения предполагает подтверждение его получения, таймеры ожидания подтверждения и количество попыток отправки сообщения указываются в группе параметров Q5.

С учетом вышеописанных механизмов, процесс выбора доступных для передачи временных слотов выглядит следующим образом. Все незарезервированные слоты добавляются в список доступных слотов. Если, после этого количество доступных слотов до сих пор меньше, чем значение Q4, доступные слоты должны быть выбраны из слотов, предварительно зарезервированных другими станциями. Выбор производится согласно Robin Hood и CCI правилам, с учетом параметров Q2.

Поскольку правила изменения параметров Q2 и Q5 не описаны в стандарте, представляется возможным реализовать адаптивные алгоритмы изменения данных параметров. Также, отдельного внимания требует реализация приоритетных очередей – это может быть как единственная очередь типа FIFO, так и несколько различных очередей для некоторых групп сообщений, дифференцируемых по указываемым приоритетам. Работа подобных алгоритмов потенциально позволит повысить гибкость средств QoS в VDL Mode 4 для передачи различных типов трафика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICAO DOC 9816 Manual on VHF Digital Link (VDL) Mode 4 Ed 1. / Международная организация гражданской авиации. – 1-е изд. – Канада: Монреаль. – 2004. – 24с.
2. *Григорьев И.Д., Орлов В.Г.* Анализ типов приложений в авиационной системе передачи данных. // «ИНФОКОМ-2016» / Труды Северо-Кавказского филиала Московского Технического Университета Связи и Информатики, 26-29 апреля 2016 г. Ростов-на-Дону. ISSN 2221-7975, с. 82-85.
3. *Rikard Kjellberg*, Capacity and Throughput using a Self Organized Time Division Multiple Access VHF Data Link in Surveillance Applications // GP&C Sweden AB, April 1998.
4. ETSI EN 302 842-1 VHF air-ground and air-air Digital Link (VDL) Mode 4 radio equipment // Technical characteristics and methods of measurement for aeronautical mobile (airborne) equipment, 2010.

И.Д. Григорьев, В.В. Трофлянин, А.А. Кальфа

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ VRP HUAWEI

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Москва

Ключевые слова: качество обслуживания, сети передачи данных, мультисервисные сети, huawei, vrp, ethernet, mpls, ip.

Механизмы обеспечения качества обслуживания (QoS – Quality of Service) в современных мультисервисных сетях реализуются в операционных системах (ОС) сетевого оборудования. Реализация данных средств значительно разнится в зависимости от производителя сетевых устройств. В данной статье рассмотрены сетевые метрики, подходы к классификации трафика, возможности конфигурации наиболее распространенных сетевых протоколов для ОС Huawei VRP, поскольку, программные и аппаратные блоки, реализующие такой функционал, фактически, полностью составляют средства QoS в любой мультисервисной сети.

I.D. Grigoryev, V.V. Troflyanin, A.A. Kalfa

QUALITY OF SERVICE METHODS RESEARCHING IN OPERATING SYSTEM VRP HUAWEI

Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Moscow

Keywords: QoS, communication networks, multiservice networks, huawei, vrp, ethernet, mpls, ip.

Quality of Service (QoS) mechanisms in multiservice networks having their implementation in a network equipment operating systems. The implementation of these tools varies greatly depending on the vendor of network devices. This article discusses network metrics, approaches to traffic classification, configuration options for the most common network protocols for OS Huawei VRP, since the software and hardware blocks implementing such functionality, in fact, completely constitute the means of QoS in any multiservice network.

Операторы связи предоставляют услуги согласно *SLA (Service Level Agreement)*. В данном договоре утверждены требования по скорости, задержкам и другим параметрам сети. Для поддержания данных требований операторы связи используют QoS. Однако, средства QoS у различных производителей оборудования существенно различаются, поэтому операторам связи при проектировании сетей необходимо учитывать возможности оборудования по обеспечению качества обслуживания. Выбор операционной системы данной компании для подобного исследования обусловлен тем, что в настоящее время компания является одной из ведущих по продажам сетевого оборудования в мире, а ОС VRP динамично развивается, что представляет интерес для изучения.

Под сетевыми метриками ОС понимаются некоторые количественные значения, вычисляемые средствами ОС, относящиеся к измерению производительности работы сети. Данные об измеряемых метриках трафика в ОС VRP содержатся в программном блоке statistics, который способен собирать и отображать информацию для отдельных интерфейсов и протоколов [1].

Сетевыми метриками для интерфейса в ОС VRP являются:

- Средняя скорость приёма и передачи за последние 300 сек, бит/сек;
- Пиковая скорость приёма и передачи на момент вызова команды, бит/сек;

- Количество принятых и отправленных пакетов (байт) с классификацией по типу: unicast, multicast, broadcast и т.п.;
- К-во возникших коллизий;
- Процент использования пропускной способности интерфейса;

Сетевыми метриками для протокола IP является количество IP-датаграмм, дифференцированных по различным признакам:

- Входящие;
- Исходящие;
- Фрагментированные;
- Собранные из фрагментов;
- С неверно указанным идентификатором протокола;
- Неверным форматом;
- С истекшим TTL и т.п.

Сетевыми метриками для протокола TCP, вычисляемыми средствами ОС VRP являются:

- Количество принятых и полученных пакетов с TCP-сегментами с дифференцированием по последовательностям, ошибкам контрольной суммы, ошибкам смещения и т.п., дублированию; также рассчитывается количество пакетов с TCP-сегментами с флагом ACK;
- Таймауты переотправки пакета, keep-alive;
- Количество инициированных, принятых, установленных, сброшенных, закрытых соединений;
- Количество сброшенных и принятых пакетов с аутентификацией по MD5 хеш-сумме;
- Количество отправленных, полученных и принятых, сброшенных пакетов с аутентификацией по Keychain;

Сетевые метрики для протокола UDP – это количество пакетов с UDP содержимым, разделенных по следующим параметрам**:**

- Количество полученных пакетов:
  - Всего;
  - С ошибкой контрольной суммы;
  - Короче, чем заголовок;
  - Длиннее, чем IP пакет;
  - С отсутствием сокета на порту;
  - Широковещательные;
  - Недоставленные из-за переполнения входного сокета;
- Количество отправленных пакетов.

Рассмотрим основные понятия QoS. QoS предназначен для предоставления дифференцированных услуг, основанных на требованиях сетей. Данная технология позволяет оценить возможности сервиса поставки услуг связи для удовлетворения требований заказчика. Сетевые устройства выполняют классификацию трафика, формирование трафика, управление трафиком и планирование очередей на основе информации. Реализация данных этапов в оборудовании Huawei представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы обработки трафика ОС VRP Huawei.

Функциональные компоненты	Реализация
Traffic policing (Ограничение трафика)	Ограничение трафика для отдельного интерфейса используется для входящих и исходящих WAN – интерфейсов. При этом traffic policing используется для входных LAN – интерфейсов. Ограничение трафика для отдельного потока возможно как для входных, так и для выходных интерфейсов.
Traffic shaping (Формирование трафика)	Формирование трафика для конкретного интерфейса реализуется как на входные, так и на выходные порты. Формирования трафика на основе формирования очередей используется только для выходных интерфейсов. Для работы traffic shaping с отдельным потоком могут использоваться выходные WAN – интерфейсы.
Congestion avoidance (Предотвращение перегрузки)	Предотвращение перегрузки на основе очередей может быть применено только к исходящим WAN-интерфейсам. Предотвращение перегрузки на для потоков трафика может быть применено только к исходящим WAN-интерфейсам.
Congestion management (Управление перегрузками)	Управление перегрузками на основе очередей может быть применено только к исходящим интерфейсам. Управление перегрузками на основе классов может быть применено только к исходящим WAN-интерфейсам.
HQoS (Hierarchical QoS)	Иерархическая QoS на основе потоков (HQoS) может быть применено только к исходящим WAN-интерфейсам.

В полях заголовков различных сетевых протоколов (Ethernet, IP, ATM, MPLS и др.) присутствуют специальные поля, выделенные для маркирования трафика. Маркировать трафик нужно для последующей более простой обработки в очередях.

Маркировать данные лучше всего ближе к источнику этих данных. По этой причине большинство IP-телефонов самостоятельно добавляют в IP-заголовок голосовых пакетов поле DSCP = EF или CS5. Многие приложения также маркируют трафик самостоятельно в надежде, что их пакеты будут обработаны приоритетно. Классы трафика в ОС VRP Huawei представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Классы трафика ОС VRP Huawei.

Класс трафика	802.1p	MPLS TC	IP DSCP	Пример
CS7	7	7	56	Трафик протоколов управления
CS6	6	6	48	
EF	5	5	40	Голос
AF4	4	4	32	Видео, высокоприоритетные данные
AF3	3	3	24	
AF2	2	2	16	
AF1	1	1	8	
BE	0	0	0	Остальной трафик

BE – передача без требования к полосе. Нет требований к задержкам, джиттеру и т.д.

AF – гарантированная передача. Обеспечивается определенная полоса пропускания. Цифра обозначает уровень требовательности к передаче.

EF – срочная передача, критичный к задержкам класс.

CS – самый высокоприоритетный трафик. Обычно, это трафик протоколов управления сетями.

Используя различные правила соответствия значения полей (mappings) поля 802.1p или DSCP ставятся в соответствие с значениями в специальных таблицах, на основании этого присваивается класс трафика. Условный тег привязывается к пакету внутри устройства и определяет его класс.

Далее, происходит коммутация фреймов или маршрутизация пакетов. Затем, они перегруппируются на исходящем интерфейсе устройстве и по определенным правилам они помещаются в буфер на отправку в соответсвии с классом. На основании этого, пакеты отправляются в определенном порядке. На входящем устройстве поле класса конвертируется в соответствующее поле приоритета (802.11p или DSCP).

Также, оборудование с ОС VRP позволяет настраивать параметры протоколов стека TCP/IP, напрямую влияющие на производительность работы приложений. Рассмотрим наиболее важные из них:

Maximum Transmission Unit (MTU)

Данный параметр определяет необходимость разбиения IP-пакета на фрагменты при их передаче через текущий интерфейс. MTU влияет на производительность, его значение желательно устанавливать таким, чтобы при инкапсуляции пакетов IP во фреймы канального уровня, размер пакетов IP не превышал максимально возможного размера фрейма. В случае, если данный параметр не будет учитывать размер фрейма протокола канального уровня, возникнут дополнительные задержки, связанные с разбиением исходного IP-пакета на фрагменты и последующему их соединению на принимающей стороне. Например, при работе с Ethernet_II фреймами MTU устанавливают равным 1500.

Maximum Segment Size (максимальный размер сегмента данных в TCP пакете)

Данный параметр вычисляется отправляющим устройством по формуле: MSS = Interface MTU (1500 bytes) - TCP header (20 bytes) - IP header (20 bytes). Он согласовывается при установлении соединения с принимающей стороной. Идея состоит в том, что MSS устанавливает максимальный размер сегмента данных TCP [2]. Это позволяет добиться того, чтобы размер IP-пакета, включающий заголовки TCP протокола, а также полезную нагрузку, не превышал максимально возможного размера фрейма канального уровня. Однако, если на пути следования пакета находится, например, IPSec-туннель, то размер IP-пакета может превысить размер фрейма канального уровня, что приведет к разбиению IP-пакета на несколько кадров канального уровня, что, в свою очередь, означает появление различного рода задержек для их обработки. Это происходит потому, что MSS автоматически высчитывается на исходящем устройстве и не учитывает промежуточные узлы. Поэтому при планировании сети желательно на всех устройствах установить значение MSS самостоятельно, учитывая протоколы, работающие в сети. Для установки данного параметра необходимо выполнить команду:

[Huawei] tcp adjust-mss 1200

TCP window size

Данный параметр в значительной степени влияет на производительность системы [3]. Он устанавливает размер буфера для неподтвержденных пакетов-TCP (значения 1-32 кБ). В ОС VRP 3.2 данный параметр является статическим и устанавливается командой:

[Huawei] tcp window 6

TCP SYN-timer

При получении SYN-запроса сервер запускает таймер и ожидает подтверждения от пользователя. Если таймер срабатывает до ответа от пользователя, то TCP-сессия закрывается и сервер ожидает очередной SYN-запрос. Отсюда можно сделать вывод, что настройки таймера также влияют на производительность системы. Слишком большое время ожидания приведет к тому, что могут закончится свободные TCP-порты, а слишком малое не позволит клиенту установить соединение с сервером. По умолчанию таймер для SYN устанавливается равным 75 секундам (из диапазона 2-600 секунд). Пример:

[Huawei] tcp timer syn-timeout 90

TCP FIN-timer

Данный таймер отвечает за закрытие TCP-сессии. ОС закрывает сессию, в случае, если от клиента нет подтверждения за определенный промежуток времени, данная процедура позволяет закрывать недействующие сессии, освобождая ресурсы сервера. FIN-таймер может получать значения от 76 до 3600 секунд. По умолчанию FIN=675. Пример:

[Huawei] tcp timer fin-timeout 500

Также немаловажным в современных сетях является настройка оборудования по обработке multicast-трафика. Ниже представлены основные параметры multicast, которые влияют на производительность сети:

Минимальный TTL для multicast пакетов

Данный параметр устанавливает нижнюю границу значения TTL для multicast-пакетов. Если TTL пакета ниже минимального, то он сбрасывается на интерфейсе. Этот параметр позволяет настроить пути распространения multicast-трафика, ограничив их передачу через определенные роутеры, тем самым более тонко распределяя имеющиеся сетевые ресурсы [4].

Пример:

[Huawei] multicast minimum-ttl 53

Максимальное число multicast-записей в таблице маршрутизации

Данный параметр может быть задан, чтобы предотвратить исчерпывание памяти маршрутизатора с помощью большого количества широковещательных записей маршрутов.

Пример:

[Huawei] multicast route-limit 100

Multicast Forwarding Boundary

Позволяет фильтровать multicast-трафик, проходящий через интерфейс на основе списков контроля доступа – Access Control List (ACL). В результате этого, часть ненужного multicast трафика будет отбрасываться при поступлении на интерфейс, то есть на его обработку не будут потрачены вычислительные ресурсы сетевого устройства.

Пример:

[Huawei] multicast packet-boundary acl-number

Ценность данного исследования заключается в систематизации данных о средствах ОС сетевого оборудования Huawei, тонкая настройка которых способна увеличить производительность работы различных приложений как в локальной сети, так и в сети Интернет. Точное представление того, какие из настроек сетевых устройств могут непосредственно влиять на скорость работы сервисов должно являться важной частью исходных данных при выборе сетевого оборудования как для оператора услуг связи, так и для центров обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huawei AR1200-S Series Enterprise Routers Configuration Guide – QoS / Huawei Technologies CO, LTD., 2012;
2. *D. Borman* IETF Request for Comments 6691, TCP Options and Maximum Segment Size (MSS) / Quantum Corporation, July 2012;
3. *Mohd. Khairil Sailan*, *Rosilah Hassan* Impact of TCP Window Size on IPv4 and IPv6 Performance / IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.9 No.12, December 2009;
4. *Qing Ye, Liang Cheng, Mooi Choo Chuah, Brian D. Davison* Performance Comparison of Different Multicast Routing Strategies in Disruption Tolerant Networks / Department of Computer Science and Engineering, Lehigh University, 2009.

В.А. Данилов, Ю.В. Жабинский, А.С. Усик

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗКОПОЛОСНОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА НА ВЫХОДЕ ИНЕРЦИОННО-НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: линейный полосовой фильтр, инерционно нелинейный преобразователь, характеристическая функция, двухмерная плотность вероятности, распределение огибающей.

В статье рассматривается задача определения плотности вероятности случайной величины, образованной из соседних отсчетов коррелированного случайного процесса с известной двухмерной плотностью вероятности ; исследуются вопросы аппроксимации полученных законов распределения.

V.A. Danilov, Y.V.Zhabinskiy, A.S. Usik

PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF NARROW-BAND RANDOM PROCESS THE OUTPUT OF THE INERTIAL-NON-LINEAR CONVERTER

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Key words: linear bandpass filter, nonlinear inertial Converter, characteristic function, two-dimensional probability density distribution of the envelope.

The article considers the problem of determining the probability density of a random variable formed from neighboring samples of a correlated random process with known two-dimensional probability density; explores the issues of approximation of the obtained laws of distribution.

Введение

При решении некоторых задач статистической радиотехники (см., например, [1-3]) иногда требуется знать вероятностные характеристики случайного процесса на выходе инерционно-нелинейного преобразователя (см.рис.1). Такие задачи возникают, например, при исследовании каналов обнаружения с некогерентным накоплением сигнала [1,2], при решении задач случайных блужданий на плоскости [3] и в некоторых других случаях.

Рассмотрим прохождение стационарного случайного процесса $x(t)$ через инерционно-нелинейный преобразователь (ИНП), приведенный на рис.1.

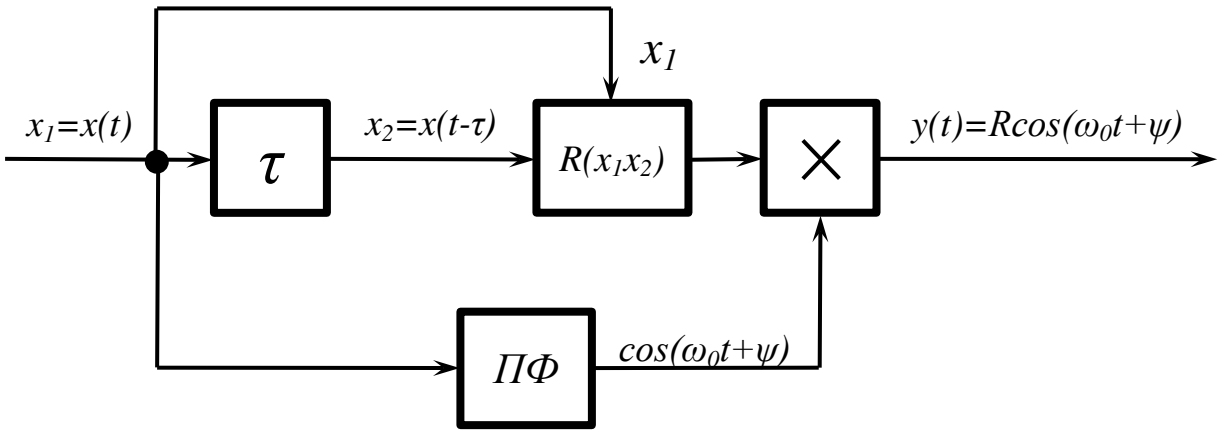


Рис.1.

Инерционная часть преобразователя состоит из элемента задержки на время τ , а нелинейная часть заключается в формировании случайной величины $R(x_1x_{2)}$ по формуле:

$$R(x_1x_2) = [(x_1^2 + x_2^2 - 2\rho_1 x_1 x_2)/(1-\rho_1^2)]^{1/2}\ , \qquad (1)$$

где $x_1(t),\ x_2 = x(t-\tau)$ - отсчетные значения входного случайного процесса; $\rho_1 = \rho_1(\tau)$ - действительная функция от времени τ , удовлетворяющая условию :

$$|\rho_1(\tau)| \leq 1 \qquad (2)$$

Величина $\rho_1(\tau)$ в (1) является в общем случае произвольной.

ИНП на рис.1. включает также линейный полосовой фильтр (ПФ), выделяющий спектральные составляющие с частотами , близкими к средней частоте ω_0 входного колебания . Таким образом , на выходе схемы рис.1 мы будем иметь узкополосное колебание вида

$$y(t) = Rcos(\omega_0 t + \psi)\,, \qquad (3)$$

где ψ – случайная начальная фаза , равномерно распределенная на интервале $(0,\ 2\pi)$; $R(x_1x_2)$ – случайная величина, определяемая по формуле (1).

Цель работы – определение вероятностных характеристик случайного процесса вида (3) при известной двухмерной плотности вероятности $w_2(x_1x_2)$ входного случайного процесса.

1.Характеристическая функция процесса на выходе ИНП.

При условии равномерного распределения случайной фазы ψ процесса (3) и взаимной независимости случайных величин R, ψ, характеристическая функция и распределение $W(R)$ амплитуды в (3) связаны преобразованиями Фурье-Бесселя [1] :

$$\frac{W(R)}{R} = \int_0^\infty Q_{1y}(\vartheta) J_0\,(R\vartheta)\vartheta d\vartheta \qquad , \qquad (4)$$

$$Q_{1y}(\vartheta) = \int_0^\infty \frac{W(R)}{R} J_0(R\vartheta) R dR \qquad , \qquad (5)$$

где $J_0(z)$ – функция Бесселя нулевого порядка.

Следовательно, вероятностные характеристики процесса (3) могут быть найдены, если известно распределение $W(R)$ случайной величины *R* вычисляемой по формуле (1).

На основании [4] для плотности вероятности $W(R)$ получаем

$$W(R) = Rcos\beta_1 \int_0^{2\pi} w_2\,[Rcos(\theta-\beta), Rsin\theta] d\theta \qquad , \qquad (6)$$

где обозначено

$$\cos\beta_1 = \sqrt{1-\rho_1^2(\tau)} \qquad . \qquad (7)$$

Отметим здесь, что выражение (7) имеет смысл , поскольку считается, что функция $\rho_1(t)$ удовлетворяет неравенству (2). Выражение (6) целесообразно видоизменить и представить его в форме аналогичной (4) . С этой целью введем двухмерную характеристическую функцию $Q_{2x}(\vartheta_1\vartheta_2)$ процесса *x*(*t*), связанную с плотностью вероятности $w_2(x_1x_2)$ преобразованием Фурье [2] :

$$w_2(x_1x_2) = \frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\infty}^{\infty} \exp(-j\vartheta_1 x_1 - j\vartheta_2 x_2) Q_{2x}(\vartheta_1\vartheta_2) d\vartheta_1 d\vartheta_2 \qquad . \qquad (8)$$

Переходя в (8) к обобщенным полярным координатам (R,θ) по формулам

$$x_1 = Rcos(\theta-\beta_1), \quad x_2 = Rsin\theta \ , \tag{9}$$

производя интегрирование по θ с учетом соотношения [5],

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \exp(-jR[\vartheta_1\cos(\theta-\beta_1)+\vartheta_2\, sin\theta])d\theta = J_0\left(R\sqrt{\vartheta_1^2+\vartheta_2^2+2\rho_1\vartheta_1\vartheta_2}\right) \ ,$$

принимая во внимание (6) , получаем

$$W(R) = \frac{Rcos\beta_1}{2\pi}\iint_{-\infty}^{\infty} Q_{2x}\,(\vartheta_1\vartheta_2)J_0\left(R\sqrt{\vartheta_1^2+\vartheta_2^2+2\rho_1\vartheta_1\vartheta_2}\ \right)d\vartheta_1 d\vartheta_2 \quad . \tag{10}$$

На плоскости $(\vartheta_1,\vartheta_2)$ также сделаем замену переменных по формулам

$$\vartheta_1 = \lambda\cos(\alpha+\beta_1) \quad , \qquad \vartheta_2 = \lambda\, sin\alpha \ . \tag{11}$$

Принимая во внимание соотношения

$$\vartheta_1^2+\vartheta_2^2+2\rho_1\vartheta_1\vartheta_2 = \lambda^2 cos^2\beta \ , \quad d\vartheta_1 d\vartheta_2 = \lambda\cos\beta_1\, d\lambda\, d\alpha \ ,$$

вытекающие из (11) с учетом (7) , для выражения (10) получаем

$$W(R) = \frac{Rcos^2\beta_1}{2\pi}\int_0^{\infty}\int_0^{2\pi} Q_2[\lambda\cos(\alpha+\beta_1)\,,\lambda\, sin\alpha]\, J_0(R\lambda\cos\beta_1)\lambda d\lambda d\alpha \quad .$$

Последнее выражение можно представить в такой форме:

$$W(R) = R\int_0^{\infty} F(z)\, J_0\,(Rz)zdz \quad , \tag{12}$$

где введено обозначение

$$F(z) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} Q_2\left[\frac{z\cos(\alpha+\beta_1)}{\cos\beta_1}, \frac{z\, sin\alpha}{\cos\beta_1}\right]d\alpha \quad . \tag{13}$$

Таким образом, плотность вероятности $W(R)$ огибающей колебания (3) представляется в виде умноженной на *R* трансформанты Фурье-Бесселя от функции $F(z)$, определяемой по формуле (13) . Сравнивая (4) и (12) заключаем , что функция $F(z)$ есть ни что иное , как характеристическая функция для процесса (3) , поэтому мы можем записать

$$Q_{1y}(\vartheta) \equiv F(\vartheta) \quad . \tag{14}$$

Таким образом, задача определения вероятностных характеристик случайного процесса (3) сводится к вычислению характеристической функции по формуле (13) при известной двухмерной характеристической функции $Q_{2x}(\vartheta_1,\vartheta_2)$ входного случайного процесса. Отметим здесь , что вычисление характеристической функции $Q_{1y}(\vartheta)$ для процесса (3) можно выполнить и непосредственно по формуле (5) при известном распределении $W(R)$ огибающей R . Отметим также , что для случайного процесса *x(t)* с независимыми выборочными значениями, при котором $Q_{2x}(\vartheta_1,\vartheta_2) = Q_{1x}(\vartheta_1)Q_{1x}(\vartheta_2)$, при условии $\rho_1(\tau) = 0$, из (13) получаем

$$F(z) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} Q_{1x}\,(z\cos\alpha)\, Q_{1x}(z\, sin\alpha)d\alpha \quad .$$

Последнее выражение совпадает с аналогичной формулой, приведенной в [3].

Рассмотрим примеры вычисления по формуле (13) для гауссовского случайного процесса *x(t)* и некоторых негауссовских случайных процессов с простейшими характеристическими функциями.

2. Гауссовский случайный процесс

Двухмерная характеристическая функция гауссовского стационарного случайного процесса с дисперсией σ^2 и коэффициентом автокорреляции $r_1 = r_1(\tau)$ имеет вид [2]:

$$Q_2(\vartheta_1, \vartheta_2) = exp\left[-\frac{\sigma^2}{2}(\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2 + 2r_1\vartheta_1\vartheta_2)\right] \quad , \tag{15}$$

Подставляя (15) в (13) , после интегрирования с помощью [5] , получаем

$$F(z) = \exp\left[-\frac{\sigma^2}{2}\frac{(1 - r_1\rho_1)}{1 - \rho_1^2}z^2\right] I_0\left[\frac{\sigma^2}{2}\frac{(\rho_1 - r_1)}{1 - \rho_1^2}z^2\right] \quad , \tag{16}$$

где $I_0(z)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Выражение (16) определяет характеристическую функцию процесса (3) на выходе ИНП при входном случайном процессе гауссовского типа. С помощью (16) можно вычислить вероятностные характеристики выходного процесса и распределение $W(R)$ его огибающей. Подставляя (16) в (12), интегрируя по переменной z с помощью [5] , получаем

$$W(R) = \frac{R}{\sigma^2}\sqrt{\frac{1 - \rho_1^2}{1 - r_1^2}}\ \exp\left[-\frac{R^2(1 - r_1\rho_1)}{2\sigma^2(1 - r_1^2)}\right] I_0\left[\frac{R^2(\rho_1 - r_1)}{2\sigma^2(1 - r_1^2)}\right] \quad , \tag{17}$$

Последнее выражение совпадает с аналогичным , полученным в [4]. При $\rho_1 = r_1$ функция $W(R)$ в (17) представляет собой релеевский закон распределения огибающей узкополосного гауссовского шума.

3. Гармоническое колебание со случайной начальной фазой

Пусть на входе ИНП воздействует случайный процесс, представляемый в виде

$$x(t) = A_0\cos(\omega_0 t + \psi)\,, \tag{18}$$

где A_0, ω_0 - амплитуда и частота гармонического колебания (ГК), являющиеся фиксированными величинами ; ψ – случайная начальная фаза, равномерно распределенная на интервале (0, 2π) . Колебание (18) определяет стационарный случайный процесс с двухмерной характеристической функцией , представляемой [4] в такой форме

$$Q_2^{\text{гк}}(\vartheta_1\vartheta_2) = J_0\left(A_0\sqrt{\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2 + 2\vartheta_1\vartheta_2\cos(\omega_0\tau)}\right) =$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty}(-1)^k\epsilon_k J_k(A_0\vartheta_1)J_k(A_0\vartheta_2)\cos(k\omega_0\tau) \quad , \tag{19}$$

где $\epsilon_0 = 1, \epsilon_k = 2$ при $k \geq 2$; $\tau = t_2 - t_1$; $J_k(Z)$–функция Бесселя порядка *k*.

Отметим здесь следующую важную особенность колебания (18), связанную с вычислением по формуле (1) при выполнении условия:

$$\rho_1(\tau) = cos\omega_0\tau = \rho_0(\tau). \tag{20}$$

Действительно , подставляя значения x_1, x_2 из (18) в формулу (1) , принимая во внимание равенство (2), получаем

$$R_0 = R(x_1, x_2)\Big|_{\rho_1=\rho_2} = A_0\,[cos^{\,2}(\omega_0 t_1 + \psi) + cos^2(\omega_0 t_2 + \psi) - \\ -2cos\omega_0\tau\cos(\omega_0 t_1 + \psi)\,\cos(\omega_0 t_2 + \psi)\,]^{1/2}\,(1 - cos^2\omega_0\tau)^{-1/2} = A_0\,.$$

(21)

В последней формуле через R_0 обозначена величина $R(x_1x_2)$ из (1) при условии выполнения равенства (20). Подставляя затем (19) в (13) , принимая во внимание (20), получаем

$$F(z) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} J_0(A_0\,z)d\alpha = J_0(A_0\,z) \quad . \tag{22}$$

Таким образом, при выполнении равенства (20) узкополосный случайный процесс вида (18) порождает аналогичный случайный процесс на выходе ИНП с характеристической функцией (22) . Подставляя (22) в (12), найдем [5]

$$W(R) = R\int_0^{\infty} J_0(A_0\,z)J_0\,(Rz)zdz = \delta(R - A_0) \quad , \tag{23}$$

где через $\delta(R - A_0)$ обозначена смещенная дельта-функция. Полученный результат (23) является очевидным, поскольку при условии (20) величина $R(x_1x_2) = A_0$ является фиксированной с распределением (23).

Рассмотрим далее вычисления по формуле (13) с учетом применения двухмерной характеристической функции (19) при произвольном значении $\rho_1(\tau)$.

Подставляя (19) в (13) , производя интегрирование с учетом интегрального представления функции Бесселя и с помощью [5], получаем

$$F(z) = \sum_{k,m=0}^{\infty} \epsilon_k\epsilon_m\,(-1)^m\cos(k\omega_0\tau)\cos m\left(\beta_1 - \frac{\pi}{2}\right) \\ * \; 2\pi^{-2}\left[\int_{-\pi}^{\pi} J_m\left(\frac{A_0 z}{cos\beta_1}cos\varphi_1\right)coskφ\;d\varphi\right]^2 \quad , \tag{24}$$

где величина β_1 определяется по формуле (7). Принимая во внимание значение интеграла [5]

$$\int_{-\pi}^{\pi} J_m\,(acos\varphi)\cos(k\varphi)\,d\varphi = 2\pi\,J_{\frac{m+k}{2}}\left(\frac{a}{2}\right)J_{\frac{m-k}{2}}\left(\frac{a}{2}\right) \quad ,$$

представим (24) в окончательной форме:

$$F(z) = \sum_{k,m=0}^{\infty} \epsilon_k\epsilon_m\,(-1)^m\cos(k\omega_0\tau)\cos\left[m\left(\beta_1 - \frac{\pi}{2}\right)\right] \\ * \; J^2_{\frac{m+k}{2}}\left(\frac{A_0 z}{2cos\beta_1}\right)\; J^2_{\frac{m-k}{2}}\left(\frac{A_0 z}{2cos\beta_1}\right) \quad . \tag{25}$$

Выражением (25) определяется характеристическая функция процесса на выходе ИНП при подаче на вход ГК постоянной амплитуды , постоянной частоты и случайной начальной фазы при произвольном значении $\rho_1(\tau)$.

Заключение

Полученные вероятностные характеристики (17), (19), (24) и (25) могут быть использованы в расчетах трактов обнаружения слабых сигналов при полосовом спектре негауссовской помехи и в других радиотехнических задачах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника / М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
2. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники / М.: Радио и связь, 1989. 656 с.
3. *Рытов С.М.* Введение в статистическую радиофизику. Часть 1/ М.: Наука, 1981. 420 с.
4. *Данилов В.А.* Вероятностные характеристики модуля радиус-вектора точки с коррелированными негауссовскими компонентами / Радиотехника и электроника. 1991. Т.36. №11. с. 2120 – 2124
5. *Градштейн И.С., Рыжик* И.М. Таблицы интегралов , сумм , рядов и произведений / М.: Наука, 1971. 1108 с.

В.А. Данилов, В.Л. Львов

АМПЛИТУДНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ В ВЧ-ДИАПАЗОНЕ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: амплитудное подавление, негауссовская помеха, нелинейный преобразователь, характеристики эффективности.

Работа посвящена анализу характеристик эффективности метода амплитудного подавления (АП) негауссовской помехи в виде суммы модулированного колебания и атмосферного шума. Отдельно рассматривается эффективность применения в схеме АП нелинейного преобразователя с оптимальной амплитудной характеристикой с применением преобразователя в виде кусочно-линейной функции. Показано, что эффективность метода АП может достичь весьма значительных величин.

V.A. Danilov, V.L. Lvov

AMPLITUDE SUPPRESSION OF FREQUENCY-MODULATED NOISE IN THE HF-RANGE

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: amplitude suppression, non-Gaussian interference, nonlinear transformer, performance characteristics.

The paper is devoted to the analysis of the efficiency characteristics of the amplitude suppression method of non-Gaussian interference as a sum of modulated fluctuations and atmospheric noise. Separately, the efficiency of using a nonlinear transformer with an optimal amplitude characteristic is considered using transformer in the form of a piecewise linear function. It is shown that the efficiency of the method of amplitude suppression is able to achieve sufficiently high values.

Амплитудное подавление негауссовских помех рассматривалось в работе [1], в которой приведены характеристики его эффективности для широкополосных и полосовых частотно-модулированных помех (ЧМ-помех). В работе рассматриваются аналогичные характеристики для модели ЧМ-помехи, в которой учитывается действие негауссовского атмосферного шума, характерного при работе радиосистем в ВЧ-диапазоне [2,3]. По аналогии с работой [3], такую помеху будем называть ЧМА-помехой.

Действующую на входе приемника ЧМА-помеху представим в виде

$$x(t) = y(t) + a(t), \tag{1}$$

где $y(t)$ – частотно-модулированное колебание с амплитудой A_0; $a(t)$ – атмосферный шум с дисперсией $\sigma_{\text{ш}}{}^2$.

Статистические характеристики (1) приведены в [2,3] и являются функцией параметра $\alpha = {A_0}^2 \big/ 2\sigma_{\text{ш}}{}^2$, характеризующего отношение мощности частотно-модулированного колебания к мощности атмосферных шумов.

Эффективность амплитудного подавления негауссовской помехи (1), обладающей радиочастотным спектром, будем определять коэффициентом подавления $\mu_{\text{р}}$, характеризующим меру изменения отношения сигнал – помеха за счет включения нелинейного преобразователя в тракт приемника: $\mu_{\text{р}} = q_{\text{нп}} / q_{\text{вх}}$, где $q_{\text{нп}}$ – отношение сигнал – помеха на выходе нелинейного преобразователя; $q_{\text{вх}}$ - отношение сигнал – помеха на входе нелинейного преобразователя.

Для оптимального нелинейного преобразователя значение коэффициента подавления [1] определяется как:

$$\mu_{0p} = \frac{P_{П}}{2}\int_0^{\infty}\left[\frac{d}{dA}\ln\left(\frac{W_A(A)}{A}\right)\right]^2 W_A(A)dA, \tag{2}$$

где $P_{\text{П}}$ – мощность помехи на входе приемника; $W_A(A)$ – распределение огибающей A_{x} помехового колебания.

На основании работы [2] получаем

$$W_A(A) = 3\alpha A\pi^{-1} S^{-5/2} \int_0^{2\pi} \left(1 - k\cos\varphi\right)^{-5/2} d\varphi, \tag{3}$$

где $A = {A_x}/{A_0}$ – нормированное значение огибающей;

$S = 1 + 2\alpha(1 + A^2)$; $R = 1 + 2\alpha(1 - A^2)$; $k = \left[4\alpha \cdot {(S - R)}/{S^2}\right]^{1/2}$.

Расчеты коэффициента подавления по формулам (2), (3) приведены на рисунке 1 (сплошная кривая 1). Штриховая кривая 1 соответствует коэффициенту подавления широкополосной ЧМА-помехи [3].

Рассмотрим эффективность амплитудного подавления для полосовой ЧМА-помехи при использовании в качестве нелинейного преобразователя функции $f(x)$, представляемой отрезками прямых [4]. Эффективность такого подавления незначительно уступает оптимальному, однако обладает более простой схемой реализации.

С использованием работы [4]:

$$\mu_p(\alpha) = 0{,}5\left(\alpha + 1\right)\left(\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1/2\right) \Big/ \left(\alpha + 1/2\right)^3, \tag{4}$$

Вычисления по формуле (4) приведены на рисунке 1 (кривая 2). Графики (рисунок 1) позволяют сделать следующие выводы. Путем оптимального амплитудного подавления можно подавить негауссовскую ЧМА-помеху практически до уровня собственных шумов приемника. Амплитудное подавление полосовых ЧМА-помех существенно эффективнее подавления широкополосных ЧМА-помех при включении нелинейного преобразователя, например, после когерентного детектора.

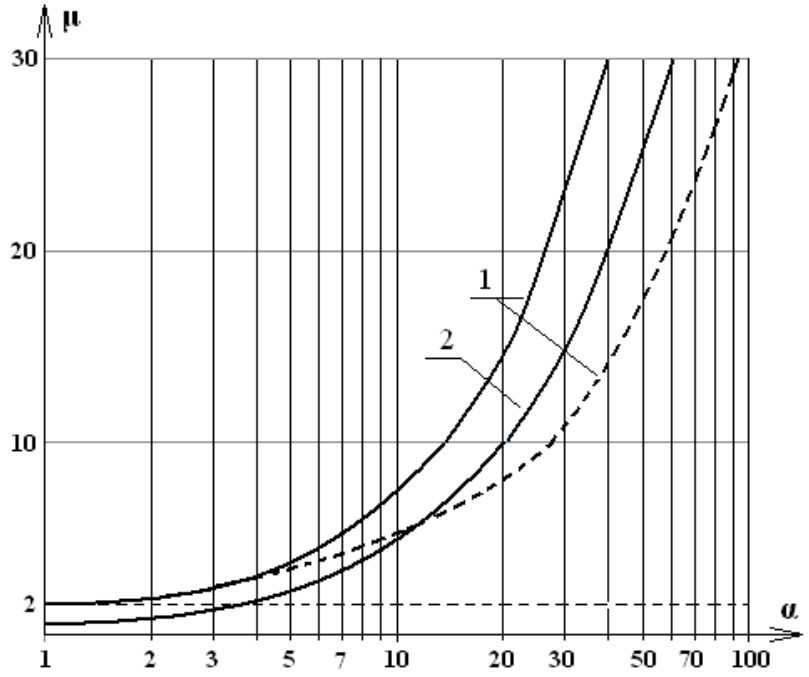


Рисунок 1

Полученные результаты позволяют оценивать эффективность амплитудного подавления при воздействии на входе приемника ЧМА-помехи с негауссовскими распределениями аддитивных компонент, одна из которых учитывает особенности распределения атмосферного шума в ВЧ-диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валеев В.Г., Гонопольский В.Б.* Метод амплитудного подавления негауссовских помех // Радиотехника и электроника. – 1981, т.26, № 11, с. 2301 – 2307.
2. *Рубцов В.Д.* Статистические характеристики смеси сигнала и атмосферного шума в ВЧ-диапазоне // Радиотехника и электроника. – 1977, т.22, № 4, с. 835 – 837.
3. *Данилов В.А.* К вопросу об обнаружении сигналов в присутствии помех с шумовой частотной модуляцией в ВЧ-диапазоне // Радиотехника и электроника. – 1979, т.24, № 3, с. 623 – 626.
4. *Данилов В.А.* Об эффективности амплитудного подавления синусоидальных помех // Радиотехника и электроника. – 1984, т.29, № 9, с. 1836 – 1838.

В.А. Данилов, Л.В. Данилова

ЭФФЕКТИВНОСЬ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕГАУССОВСКИХ ПОМЕХАХ УЗКОПОЛОСНОГО ТИПА

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: непараметрические обнаружители, негауссовские помехи, амплитудная характеристика, асимптотическая эффективность, распределение огибающей.

Приведена методика оценки коэффициентов асимптотической относительной эффективности (КАОЭ) для непараметрических алгоритмов обнаружения сигнала при негауссовских помехах узкополосного типа. Даны формулы расчета КАОЭ знакового и знаково-рангового алгоритмов обнаружения с учетом спектрального состава негауссовской помехи.

V.A. Danilov, L.V. Danilova

THE EFFICIENCY OF NONPARAMETRIC DETECTOR OF WEAK SIGNALS WITH NOT GAUSSIAN INTERFERENCES OF NARROWBAND TYPE

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia
Rostov state university of transport communications,
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: nonparametric detectors, not Gaussian interferences, amplitude characteristic, asymptotic efficiency, envelope distribution.

The way of evaluation of coefficients of asymptotic relative efficiency for the nonparametric algorithms of signal detection with not Gaussian interferences of narrowband type is presented. The formulas for the sign and the sign-ranking algorithms of determining with regard to spectral component of not Gaussian interference are given.

Простейшими непараметрическими обнаружителями, рассчитанными на помехи с независимыми выборочными значениями и симметричной плотностью распределения вероятности $w_1(x)$, являются знаковый, ранговый и знаково-ранговый обнаружители, использующие типовые знаковую и ранговую статистики входной выборки [1]. Помехозащитные свойства этих алгоритмов проявляются при отношении сигнал/помеха существенно меньше единицы и в предположении, что выборочные значения помехи независимы. Для стационарной помехи последнее условие эквивалентно условию широкополосности помехи относительно сигнала. При радиочастотном спектре, сосредоточенном в узкой полосе около центральной частоты, эффективность типовых непараметрических обнаружителей может быть выше, чем при видеочастотном спектре, сосредоточенном в полосе от нулевой частоты.

Цель работы – обоснование помехозащитных свойств непараметрических обнаружителей сигналов, использующих знаковую и ранговую статистики входной выборки негауссовской помехи со спектром полосового типа.

Определение КАОЭ знакового и знаково-рангового алгоритмов обнаружения при радиочастотном спектре помехи можно выполнить методом эквивалентного нелинейного преобразования, заключающемся в следующем. Предположим, что рассматриваемый непараметрический обнаружитель сигналов заменяется эквивалентным обнаружителем, в котором для защиты от негауссовских помех применяется безынерционный нелинейный преобразователь (НП) с заданной амплитудной характеристикой (АХ). Обнаружитель сигналов с НП в качестве подавителя негауссовских помех будем называть амплитудным подавителем (АП) [2]. При этом будем считать, что асимптотическая эффективность АП равна КАОЭ рассматриваемого непараметрического обнаружителя. Например, знаковый обнаружитель можно представить в виде АП с нелинейной характеристикой вида

$$f_1(x) = a_1 sign(x). \quad (1)$$

где a_1 – постоянный масштабный множитель.

Можно показать, что знаково-ранговый непараметрический обнаружитель эквивалентен по асимптотической эффективности АП, в котором применяется НП с АХ:

$$f_2(x) = \begin{cases} a_2 \int_0^x w_1(z)dz, & x \geq 0, \\ f_2(-x) = -f(x), & a_2 = const. \end{cases} \quad (2)$$

Действительно, применение НП с произвольной АХ $f(x)$ имеет асимптотическую эффективность по сравнению с линейным алгоритмом, которую следует вычислить по формуле [2]:

$$\rho = \sigma_x^2 \left(\int_{-\infty}^{\infty} f'(x) w_1(x)dx\right)^2 / \int_{-\infty}^{\infty} f^2(x) w_1(x)dx, \quad (3)$$

где σ_x^2 – дисперсия помехи на входе обнаружителя.

Подставляя (1), (2) в (3) и принимая во внимание равенство $df_2 = a_2 w_1(x)dx$, вытекающее из (2), и величину интеграла

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_2^2(x) w_1(x)dx = \frac{2}{a_2} \int_0^{a_2/2} f_2^2 df^2 = \frac{a_2^2}{12},$$

получаем

$$\rho_1 = 4\sigma_x^2 w_1^2(0), \quad (4)$$

$$\rho_2 = 12\sigma_x^2 \left(\int_{-\infty}^{\infty} w_1^2(x)dx\right)^2. \quad (5)$$

Выражения (4), (5) соответствуют КАОЭ знакового и знаково-рангового алгоритмов обнаружения постоянного сигнала на фоне широкополосной негауссовской помехи с произвольным симметричным распределением $w_1(x)$ [1]. Поэтому использование НП с АХ по формулам (1) и (2) в схеме соответствующего АП эквивалентно по асимптотической эффективности знаковому и знаково-ранговому алгоритмам обнаружения постоянного сигнала на фоне негауссовской помехи широкополосного типа.

Расчет КАОЭ для помехи с полосовым спектром при известной характеристике НП на основании [2] следует выполнять по формуле

$$\mu = \frac{\sigma_x^2}{2} \frac{\left(\int_{-\infty}^{\infty} [g(A)/A + g'(A)] W(A)dA\right)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} g^2(A) W(A)dA}, \quad (6)$$

где $W(A)$ – распределение огибающей негауссовской радиопомехи при её квазигармоническом представлении; $g(A)$– колебательная характеристика заданного НП по первой гармонике, определяемая выражением

$$g(A) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(A cos\Psi) cos\Psi d\Psi. \quad (7)$$

Таким образом, зная АХ НП, включаемые в схемы АП, эквивалентных по асимптотической эффективности знаковому и знаково-ранговому широкополосным обнаружителям, с помощью (6) и (7) можно вычислить соответствующие значения для КАОЭ при действии негауссовской помехи с полосовым спектром.

Асимптотическая эффективность знакового обнаружителя. Вычислим КАОЭ знакового обнаружителя при негаусовских помехах полосового типа. Подставляя (1) в (6) и учитывая (7), получаем

$$\mu_1 = \sigma_x^2 M_{-1}^2/2, \quad (8)$$

где

$$M_{-1} = \int_0^{\infty} A^{-1} W(A)dA = \pi w_1(0). \quad (9)$$

Отметим, что выражение (8) для КАОЭ полосового знакового обнаружителя совпадает с аналогичным [4], полученным другим способом.

Принимая во внимание (8), (9), находим

$$\mu_1 = \frac{\pi^2}{8}\rho_1 \approx 1{,}23\rho_1.$$

Таким образом, учёт спектрального состава негауссовской радиопомехи в знаковом обнаружителе приводит к увеличению КАОЭ в $\delta = \mu_1/\rho_1 = \pi^2/8$ раза по сравнению со случаем широкополосной помехи. При этом одномерные распределения помех следует считать одинаковыми. Отметим, что увеличение эффективности знакового радиочастотного обнаружителя не зависит от типа распределения помех и может быть достигнуто включением идеального полосового фильтра на выходе вычислителя знаков, который выделяет первую гармонику преобразованного воздействия.

Рассмотрим методику вычисления КАОЭ знаково-рангового алгоритма обнаружения постоянного сигнала при негауссовских помехах полосового типа. Подставляем выражение (2) при $a_2 = \pi/2$ в формулу (7), получаем

$$g(A) = \int_0^A w_1(x)\sqrt{A^2 - x^2}\,dx. \quad (10)$$

Если в последнем выражении перейти от плотности вероятности к преобразованию Фурье характеристической функции $Q_1(v)$ и выполнить затем интегрирование по переменной *x* с помощью [5], то получим

$$g(A) = \int_0^\infty v^{-1}Q_1(v)J_1(Av)\,dv. \quad (11)$$

где $J_1(z)$ – функция Бесселя первого рода.

Принимая во внимание (6) и (11), запишем интеграл в числителе (6) как

$$\langle \frac{g(A)}{A} + g'(A)\rangle_A = \int_0^\infty Q_1(v)\langle J_0(Av)\rangle_A dv, \quad (12)$$

где $\langle\cdots\rangle_A$ – знак статистического усреднения. Подставляя в (12) выражение [5]:

$$\frac{W(A)}{A} = \int_0^\infty Q_1(v)J_0(Av)vdv,$$

учитывая интегральную формулу

$$y\int_0^\infty J_0(Av)J_0(Ay)AdA = \delta(y - v),$$

где $\delta(y - v)$ –смещённая дельта-функция, будем иметь

$$\langle \frac{g(A)}{A} + g'(A)\rangle_A = \int_0^\infty Q_1^2(v)dv. \quad (13)$$

Подставляя далее (11), (13) в (6), находим

$$\mu_2 = \frac{\pi^2}{24}\langle g^2(A)\rangle_A^{-1} \cdot \rho_2. \quad (14)$$

Таким образом, КАОЭ знаково-рангового обнаружителя при полосовом спектре помехи определяется выражением (14) и также пропорционален КАОЭ при помехе широкополосового типа. Коэффициент пропорциональности

$$\delta_2 = \frac{\mu_2}{\rho_2} = \frac{\pi^2}{24\langle g^2(A)\rangle_A} \quad (15)$$

зависит в данном случае от вида и параметров входного негауссовского распределения.

Вычисление коэффициента δ_2 по формуле (15) для произвольного распределения *W*(*A*) затруднено сложностью вычисления интеграла, входящего в знаменатель. Рассмотрим методику получения точного значения для коэффициента (15) в одном частном случае. С этой целью, пользуясь неравенством Коши-Буняковского для интеграла в знаменателе (15), получаем

$$\langle g^2(A)\rangle_A = \int_0^\infty g^2(A)\,W(A)dA \geq \left(\int_0^\infty g(A)\,W(A)dA\right)^2. \quad (16)$$

Знак равенства в последнем выражении достигается в том случае, когда распределение $W(A)$ пропорционально дельта-функции и определяется как

$$W(A) = \delta(A_0 - A), \quad A_0 = const. \quad (17)$$

Выражением (17) определяется распределение огибающей квазидетерминированного гармонического колебания (ГК) постоянной амплитуды A_0 и случайной начальной фазы. Подставляя (17) в (16) получаем

$$\langle g^2(A)\rangle_A = g^2(A_0). \quad (18)$$

Характеристическая функция для ГК равна $Q_1(v) = J_0(A_0 v)$ [3]. Подставляя её значение в формулу (11), после вычисления интеграла с помощью [5], получаем

$$g(A_0) = \int_0^\infty v^{-1} J_0(A_0 v) J_1(A_0 v)\,dv = \frac{2}{\pi}. \quad (19)$$

Подставляя (18) в (15), учитывая (19), найдем

$$\delta_2 = \frac{\pi^2}{24 g^2(A_0)} = \frac{\pi^4}{96} \approx 1{,}015. \quad (20)$$

Таким образом, в том частном случае, когда распределение огибающей негауссовской помехи определяется формулой (17), вычислено точное значение для коэффициента (15), мало отличающееся от единицы. Можно показать, что и для других негауссовских распределений отличие коэффициента (15) от единицы не очень велико. Асимптотическая эффективность непараметрических обнаружителей при негауссовских помехах полосового типа выше, чем при помехах широкополосного типа. Повышение эффективности знакового полосового обнаружителя составляет $\approx 23\%$ и не зависит от типа распределения помехи, тогда как для знаково-рангового полосового обнаружителя увеличение КАОЭ составляет 1,5…3% и существенно зависит от типа распределения негауссовской помехи. Указанное повышение эффективности, например, для знакового алгоритма достигается включением идеального полосового фильтра на выходе вычислителя знака, с помощью которого вычисляется первая гармоника преобразованного воздействия. Описанная методика может быть применена и для анализа эффективности других непараметрических обнаружителей при воздействии негауссовских помех со спектром полосового типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989, – 656 с.
2. *Валеев В.Г., Гонопольский В.Б.* Метод амплитудного подавления негауссовских помех. // Радиотехника и электроника. – 1981, т. 26, №11, с. 2301-3207.
3. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982, – 624 с.
4. *Данилов В.А*. Об эффективности амплитудного подавления негауссовских помех. // Радиотехника и электроника. – 1984, т. 29, №9, с.1836-1838.
5. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Наука, 1971, – 1108 с.
6. *Акимов П.С., Бакут П.А., Богданович В.А. и др.* Теория обнаружения сигналов. / под ред. П.А. Бакута. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.

Д.В. Денисов, М.С. Самков, К.С. Сухоева, Д.Э. Королёв

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЛИНЗОВЫХ АНТЕНН ЛЮНЕБЕРГА

Уральский технический институт связи и информатики (филиал)ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слова: коэффициент преломления, диэлектрик, 3D-принтер, ABS и PLA-пластик, исследование.

В статье рассмотрены антенны на основе линз Люнеберга и возможность для её реализации с помощью определенного пластика на 3D принтере.

D.V. Denisov, M.S. Samkov, K.S. Sukhoeva, Korolev D.E.

TECHNICAL REALIZATION OF MULTILAYER LUNEBERG LENS ANTENNA

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: index of refraction, dielectrics, 3D-printer, ABS and PLA-plastic, research.

The article deals with the antenna based on Luneburg lens and the ability to be implemented by a 3D-printer and special plastic.

Введение

В настоящее время применяется огромное количество высоконаправленных антенн, их задача состоит в том, чтобы сопровождать какой-либо объект в широком диапазоне углов. Для этого антенна должна иметь способ управления лучом, в обычных антеннах это управление осуществляется за счет поворота антенны, путем управления амплитудно-фазовым распределением поля по раскрыву облучателя или путем электрического управления формой диаграммы направленности. Эти способы существенно усложняют конструкцию антенны, из этого вытекают некоторые недостатки – ограничение на ширине рабочих частот и ограниченный диапазон углов сканирования.

Антенна, лишенная этих недостатков, была основана на линзе Люнеберга. Впервые в работе «Математическая теория оптики» [1] Рудольф Кар Люнеберг показал, что сферическое тело, возбуждаемое в какой-либо точке поверхности, преломляет проходящие через него лучи таким образом, что они выходят из сферы параллельно своему диаметру и образуют на теневой стороне линзы эквивалентную апертуру. При этом коэффициент преломления материала линзовой сферы должен удовлетворить условию:

$$n(r) = \sqrt{\varepsilon'(r)} = \sqrt{2 - (\frac{r}{a})^2} = \sqrt{2 - r^2}, \quad (1)$$

где $\varepsilon'(r)$ – относительная диэлектрическая проницаемость материала линзы в точке r;

r– текущая радиальная координата;

a– радиус сферы.

На рисунке 1 изображена схема прохождения лучей через линзу Люнеберга[2].

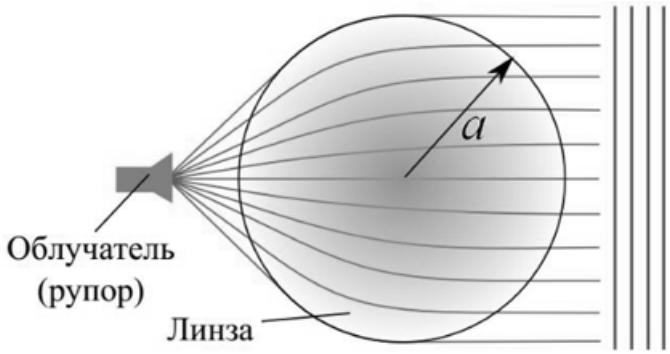


Рисунок 1 – Схема прохождения лучей через линзу Люнеберга

Антенна на базе линзы Люнеберга обладает следующими полезными свойствами:

- осуществляет сканирование лучей практически в любом диапазоне углов;
- из-за сферически-симметрично поверхности, линза может формировать несколько независимых диаграмм направленности одновременно;
- обеспечивается наилучшая развязка каналов;
- имеют малое сопротивление аэродинамическим нагрузкам.

Для изготовления антенны, основанной на линзе люнеберга, ее разбивают на сферические слои из материала с различными электрофизическими параметрами, чтобы диэлектрическая проницаемость линзы приближалась к условиям закона Люнеберга.

Долгое время как таковой технологии производства линз Люнеберга не было. Лишь 10-15 лет назад в связи с прогрессом в области компонентов линзовых антенн, появилась возможность их технической реализации. Это введение в основной материал (состоящий из композитных, углепластиковых, кремнийорганических соединений) различных добавок (металлических вкраплений и разнообразных неоднородностей). Основной материал линзы – диэлектрик, стабильный в используемом диапазоне частот и имеющий низкие омические потери [3-9].

Недостатки такой антенны – это сложность ее реализации. Это, во-первых, сложная технология изготовления многослойных линз, во-вторых, огромный вес такой конструкции.

1 Реализации линзы Люнеберга

Рассмотрим некоторые примеры реализации готовых антенн на базе линзы Люнеберга в технике и научных исследованиях. Основным их преимуществом является возможность широкоугольного сканирования, и одновременного формирования нескольких лучей. Линзы Люнеберга способны формировать узкий луч диаграммы направленности наравне с параболическими зеркальными антеннами.

Изготовление линзы с переменным коэффициентом преломления является технически сложной задачей. Линза может быть изготовлена из слоев искусственного диэлектрика, содержащего неоднородности, а также состоять из дискретных элементов с различными коэффициентами преломления [10]. При изготовлении может использоваться пенистый полистирол переменной плотности. Помимо этого, распространены конструктивные модификации линзы, состоящие из концентрических слоев [5-9].

Приведем несколько примеров технической реализации линзы Люнеберга. На рисунке 2 представлена конструктивная реализация многослойных линз Люнеберга в виде полусфер различного радиуса из натурального пенистого диэлектрика, и пенистого полистирола [9].

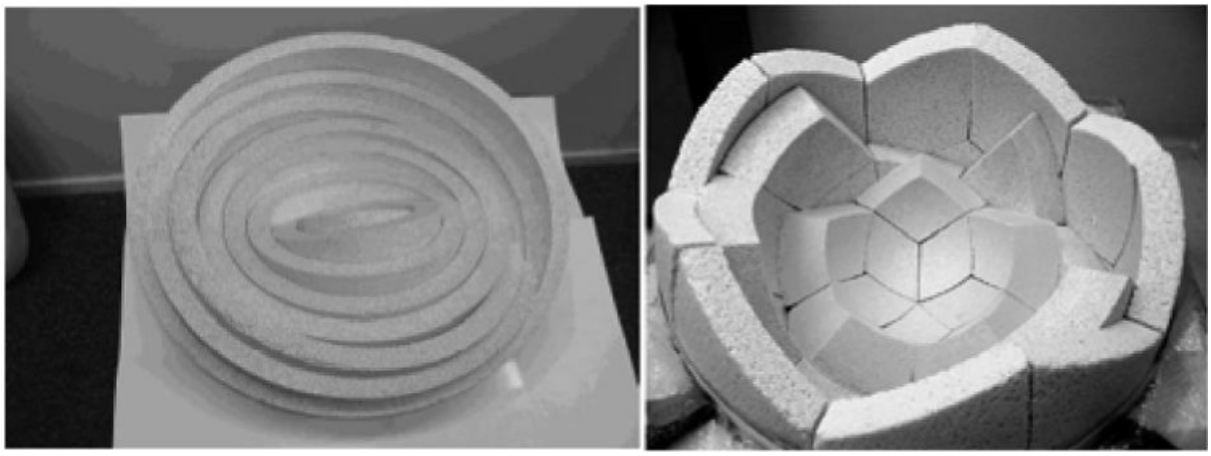


Рисунок 2 – Конструктивные реализации многослойных ЛЛ.

При использовании искусственного диэлектрика при изготовлении линзы, возможно внесение неоднородностей различного размера и формы в диэлектрический материал, из которого состоит тело линзы, или, наоборот, образование проницаемых отверстий и щелей [4,11]. Кроме того, тело линзы может состоять из дискретных элементов кубической формы с различными коэффициентами преломления [12]. Таким образом, необходимый закон изменения коэффициента преломления реализуется в виде переменного по радиусу скопления неоднородностей в виде дисков. Подобная модель линзы показана на рисунке 3.

Рисунок 3 – Модель линзы Люнеберга с внедрением неоднородностей.

Преимуществом данной конструкции является простота изготовления, использование материалов с низкими потерями и температурным коэффициентом равным нулю, результатом чего является улучшение характеристик линзы относительно потерь и изменения температуры в рабочей зоне.

В последнее время ведутся работы по исследованию искусственных материалов, и использование их для изготовления линзы Люнеберга. Линзу Люнеберга было предложено собирать из радиальных диэлектрических стержней (запатентованный метод) [13-15]. Внешний вид экспериментального образца показан на рисунке 4.

Рисунок 4 – Экспериментальный образец ЛЛ из диэлектрических стержней.

Отдельные радиальные штырьки специально подобранной формы расположены на расстоянии, много меньшем длины волны. Таким образом, они эффективно образуют однородный материал с относительной диэлектрической проницаемостью, меняющейся из-за изменения расстояния между штырьками от центра к периферии, тем самым моделируя закон Люнеберга.

Таким образом, применение антенн с линзами Люнеберга может быть разнообразным. Это станции обнаружения баллистических целей, для организации стабильного телевизионного сигнала, для сопровождения передающей станции, для мониторинга подстилающей поверхности, влажности почвы, борьбы с лесными пожарами. Линзы Люнеберга могут применяться в спутниковых системах, размещаемых на суше, на борту корабля, фюзеляже самолета и т.д. Такие антенны имеют хорошие характеристики для широкоугольного сканирования и обеспечивают высокий коэффициент усиления во всем диапазоне углов. Также, по своим конструктивным особенностям эти антенны обладают малым аэродинамическим сопротивлением и удовлетворяет эргономическим требованиям.

2 Реализация линзы Люнеберга с помощью 3D принтера

3D-принтер - это устройство, которое позволяет создавать самые настоящие объекты, причем из самых разных материалов. 3D-принтер состоит из корпуса (1), закрепленных на нем направляющих (2), по которым перемещается печатающая головка (3) с помощью шаговых двигателей (4), рабочего стола (5), на котором

выращивается изделие; и всё это управляется электроникой (6). На рисунке 5 представлен состав 3d принтера.

Расходные материалы (филаменты) для 3D-принтеров представляют из себя пластиковые нити, намотанные на катушки. Расходные материалы бывают различных типов и свойств. Нить (филамент) (1) поступает в печатающую головку (Экструдер) (2), в которой разогревается до жидкого состояния и выдавливается через сопло экструдера. Шаговые двигатели с помощью зубчатых ремней приводят в движение Экструдер (2), который перемещается по направляющим (3) и наносит пластик на платформу (4) слой за слоем. Снизу в вверх. В итоге ваше изделие (5) растёт слой за слоем. На рисунке 6 представлена схема работы 3D принтера.

Перед печатью, 3D модели подвергаются «слайсингу», то есть разбиваются на отдельные слои с помощью специальных программ, так и называемых – слайсеры. Слайсер формирует специальную программу для 3D-принтера, с помощью нее принтеру рассказывается как печатать: толщина параметров, где выдавливать пластика больше, где меньше [16].

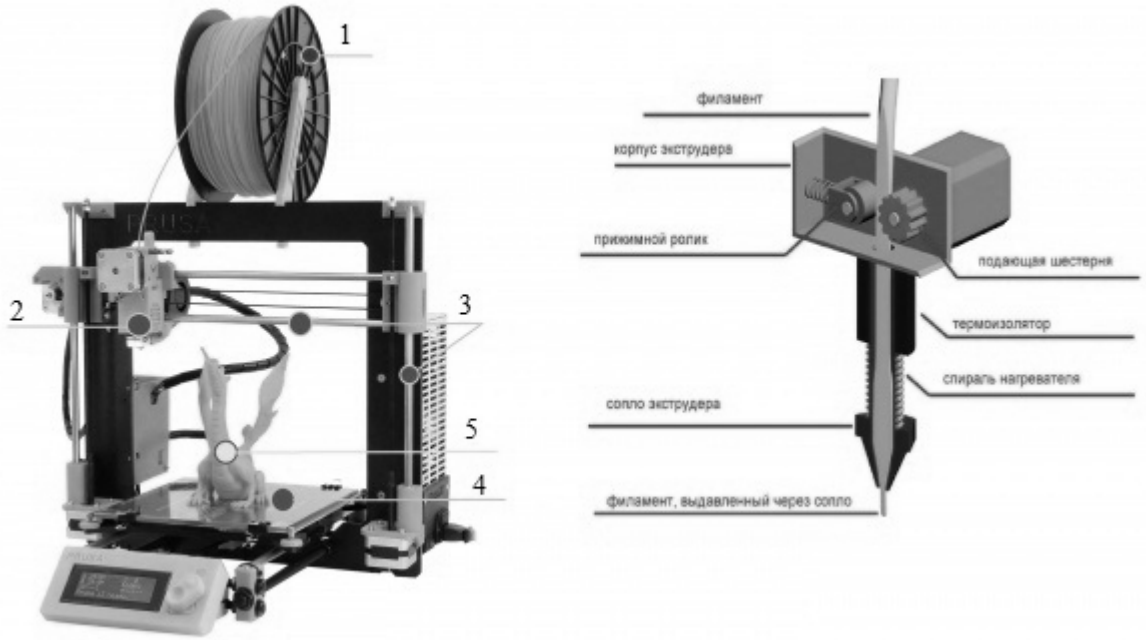


Рисунок 5 – Состав 3d принтера

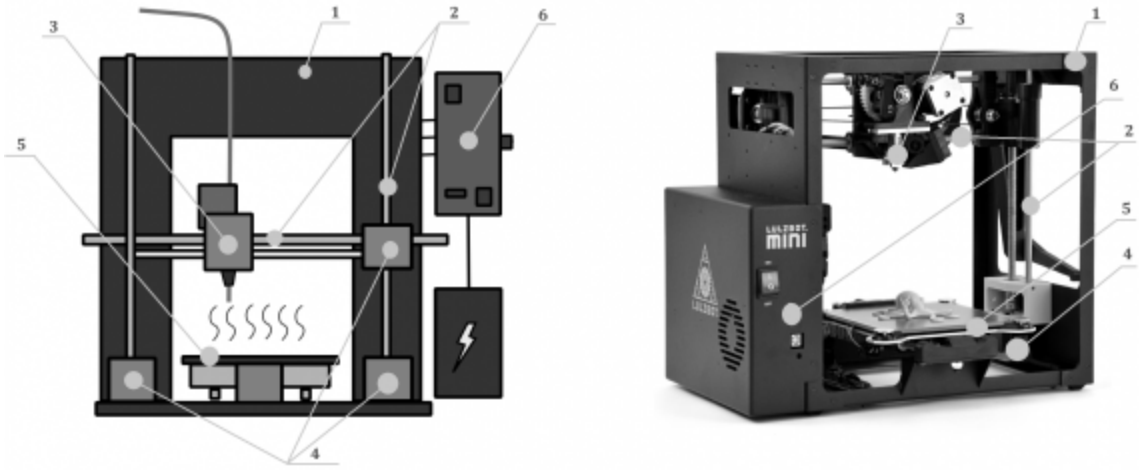


Рисунок 6 – Схема работы3d принтера

Существует огромное количество материалов, которые используются и изучаются для печати на 3D-принтерах. Рассмотрим самые распространенные – это АБС и ПЛА пластик. Данные виды пластика относят к категории термопластов, т.е. при нагревании они становятся мягкими и легко формуются, и наоборот при охлаждении, возвращаются в твердое состояние, не теряя при этом своих качеств. Этот процесс можно повторять снова и снова. Способность к переплавке и новому использованию в печати, - делает эти виды пластика очень распространеннымы, и именно поэтому они вызывают такой большой спрос среди потребителей. Каждый пластик, который будет использоваться в 3Д-печати должен обладать определенными свойствами и качествами, и чтобы подтвердить это, он должен успешно пройти ряд тестов:

- Начальная экструзия из пластиковой нити;
- Вторичная экструзия и закрепления слоя во время процесса 3D-печати;
- Финальная стадия печати.

ABS. Для большинства потребителей, основной проблемой при печати АБС-пластиком является шероховатость поверхности печатных объектов. Чтобы добиться ровной, гладкой поверхности, необходимо использовать настройки нагревания поверхности печати принтера. Некоторые, предварительно смачивают нить ацетоном. К сожалению, это не всегда можно применить к мелким деталям, которые имеют острые углы, например,какие-либо механизмы и шестерни, так как это вызовет скругление углов. Этого можно избежать, применив принудительное охлаждение в районе сопла экструдера, но сохранив четкость углов детали, есть риск переборщить с охлаждением и тем самым уменьшить слипаемость слоев, что в итоге может привести к трещинам на объекте.

PLA. По сравнению с ABS, объекты из PLA-пластика печатаются более гладкими. Это позволяет печатать без нагревания стола.

Помимо того, что объект должен быть качественно напечатан, он так же должен четко соответствовать 3D-модели.

ABS пластик имеет множество свойств, благодаря которым он может принимать любую форму. В целом это достаточно прочный пластик, обладающий достаточной гибкостью (по-сравнению с PLA). Природный цвет ABS-пластика имеет молочно-бежевый цвет. Он легко поддается обработке и шлифуется. Как уже говорилось выше, он растворяется в ацетоне, с помощью которого можно сплавить с друг другом две части (причем достаточно две-три капли ацетона). По сравнению с конкурентом, он намного легче поддается переработке.

PLA пластик производится из сахарной свеклы, картофеля или кукурузы и считается природным, в отличие от нефтехимического ABS. Используется в основном для производства пищевой упаковки и предметов не длительного срока хранения. Имеет естественную прозрачность, которая легко меняется на любую степень непрозрачности. Более прочный и твердый и напечатанные им объекты имеют более глянцевую поверхность чем у ABS. Поэтому он немного сложнее шлифуется и обрабатывается. Так же нужно отметить, что PLA пластик не требует особых требований по утилизации и его можно выбрасывать в обычный бытовой мусор. Но, для более быстрого разложения, этому материалу все равно необходимы определенная температура и влажность воздуха. Поэтому, если он попадет на городскую свалку, разлагаться он там будет дольше.

ABS - Его прочность, гибкость, поддатливость обработке и устойчивость к более высоким температурам - привлекают внимание инженеров и профессиональные отрасли производства. Но, как и любой продукт нефтехимической промышленности, при нагревании он имеет характерный запах. Так же имеет дополнительное требование к 3D-принтерам - иметь опцию подогрева рабочего стола. К сожалению, есть, принтеры, которые не обладают данной возможностью.

PLA - имеет более широкий диапазон цветов и обладает более глянцевой поверхностью, поэтому данный пластик удобно использовать в мелком быту. Так же имеет природное, растительное происхождение, и более приятный запах при нагревании. Данные характеристики делают его популярным для домашних принтеров, дизайнеров и учебных заведений [17].

На основе исследований пластиков для 3D печати, которое провели в технологическом центре коллективного пользования АО "Технопарк Слава" по направлению "Нанотехнологии и наноматериалы", можно сделать следующие выводы:

- Иследование показало, что образцы из материалов REC являются хорошими диэлектриками с показателями: от 1.82 10 в 12 степени ОМ*см REC FLEX, до 1.62 10 в 15 степени ОМ*см REC RUBBER. Диэлектрическая проницаемость варьируется на постоянном токе от 3.24 для REC HIPS до 5.73 REC FLEX.

- Что касается электрической прочности, образцы, напечатанные из расходных материалов REC, имеют высокие показатели - от 12.5 до 21.3 кВ/мм для всех исследованных образцов. А это значит, что изделие толщиной 1 мм может выдерживать более 10 киловольт без электрического пробоя.

- Самый главный вывод - все вышеперечисленные материалы можно использовать в качестве изоляторов в любых приборах и устройства кроме высоковольтных линий электропередач.

Все результаты исследуемых пластиков занесены в таблицу 1[18].

Таблица 1 – Результаты испытания электрических свойств образцов полимерных материалов, изготовленных с помощью 3D принтера из полимерный нитей производства компании ООО «РЭК»

Полимер	ρ_{dc}, Ом*см	ε'_{dc}	ε'_{50}	ε''_{50}	$E_{пр}$, кВ/мм
FLEX REC	$1.82* 10^{12}$	5.73	5.210	$1.04* 10^{-1}$	13.1
RUBBER REC	$1.62* 10^{15}$	3.62	3.16	$3.20* 10^{-2}$	21.3
ABS REC	$5.26* 10^{14}$	3.56	3.40	$3.13* 10^{-2}$	14.2
PLA REC	$3.95* 10^{13}$	4.89	3.46	$5.72* 10^{-2}$	12.5
HIPS REC	$5.40* 10^{14}$	3.24	2.96	$1.34* 10^{-2}$	20.2

Заключение

Таким образом, для реализации Линзы Люнебергаможно выбрать любой пластик, который будет удовлетворять условию Люнеберга и имеет возможность для печати на 3D. Основной материал линзы – диэлектрик, стабильный в используемом диапазоне частот и имеющий низкие омические потери. На основе выше пердставленный исследований, пластик обладает диэлектрическими свойствами, следовательно, можно подобрать

пластик, чтобкоэффициент преломления материала линзовой сферы удовлетворял условию (1).

Также для изготовления антенны, основанной на линзе люнеберга, ее разбивают на сферические слои из материала с различными электрофизическими параметрами. Это условие будет удовлетворяться у нас при 3dпечати, так как печать происходит посредством постепенного нарастания фигуры. То есть мы можем использовать пластик с разной диэлектрической проницаемостью, с разными электрофизическими параметрами, что и даст нам создать сферические слои, то естьнапечатать антенну на линзе Люнеберга

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Luneburg R.K.* The mathematical theory of optics [Текст] / R. K. Luneberg. - Providence, RI: Brown Univ. Press, 1944 - 401 p.;
2. *Глыбовский С.Б.*, Метаматериалы в антенной технике, презентация [Электронный ресурс] / С. Б. Глыбовский. - Электронные данные - Институт прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН), 26.03.2014 [Офиц. сайт]. URL:www.ipa.nw.ru/SPAS/download/glybovskiy.ppt;
3. *Fuchs B.* Design optimization of multishell Luneburg Lenses / B. Fuch, Le L. Coq, O. Lafond, S. Rondineau. // IEEE Trans. AP, vol. 55 - no. 2. - pp. 283-289, 2007.;
4. *Zouganelis G., Budimir D.* Effective dielectric constant and design of sliced Luneberg lens // Microwave and Optical Technology Letters, vol. 49, no. 10, pp. 23322337, 2007;
5. *Sanford J.R.* Scattering by Spherically Stratified Microwave Lens Antennas // IEEE Trans. AP, vol. 42, no. 5, pp. 690-698, 1994;
6. *Baev S.R., Gechev S.M., Hadjistamov B.N., Dankov P.I.* Modeling and Simulations of Luneburg Lens Antennas for Communication Purposes // 16th Telecommunications forum TELFOR, Serbia, Belgrad, 2008, pp. 488-491;
7. *Rondineau S., Himdi M. and Sorieux J.* A Sliced Spherical Luneburg Lens // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 2, pp. 163-166, Feb. 2003;
8. *JinghuiQiu; Shu Lin; Ying Suo; Qidi You.* The Simulation of the Focus Character of a Luneburg Lens Antenna // Systems and Control in Aerospace and Astronautics. 1st International Symposium, 2006, pp. 1429-1431;
9. *Baev S., Hadjistamov B., Dankov P.* Luneburg Lenses as Communication Antennas // Annuaire de l'Universite de Sofia "St. KlimentOhridski", Faculte de Physique, 102, 2009, pp. 67-84;
10. *Хёнл Х.* Теория дифракции [Текст] / Х. Хёнл, А. Мауэ, К. Вестпфаль. - Москва: Мир, 1964. - 333 с;
11. *John Hunt, Nathan Kundtz, Nathan Landy, Vinh Nguyen, Tim Perram, Anthony Starr and David R. Smith*. Broadband Wide Angle Lens Implemented with Dielectric Metamaterials // Sensors 2011, 11, pp. 7982-7991;
12. *Голубятников А.В.* Письма в ФТЖ №15 // Линза Люнеберга из кубиков. Геометрооптический расчёт. — Москва, 1998. - Т. 24;
13. Линза Люнеберга на основе метаматериалов [Офиц. сайт] URL:http://phoinf.ifmo.ru ;
14. *Мешковский И.К., Шанников Д.В.* Фазовые искажения в анизотропной линзе Люнеберга// Письма в ЖТФ, 2002, том 28, вып. 22. - с. 1-6;

15. Усройство для фокусировки при приеме - передаче радиоволн сантиметрового диапазона. Патент РФ №2159487, опубликовано 20.11.2000 г. Авторы: Мешковский И.К., Шанников Д.В. Правообладатель: Мешковский Игорь Косьянович;
16. Что такое 3D принтер. URL:http://3dtoday.ru/wiki/3Dprinter/
17. Чем отличается ABS пластик от PLA? URL: http://tp3d.ru/index.php?route=information/information&information_id=9
18. Диэлектрические свойства материалов REC! URL: http://3dtoday.ru/blogs/rec/dielectric-properties-of-materials-rec/

Д.В. Денисов, К.А. Санникова, Д.Э. Королев

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СОТОВЫХ ДИАПАЗОНОВ НА МНОГОСЛОЙНОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики" Уральский технический институт связи и информатики (филиал), г.Екатеринбург, Россия

В данной статье рассматривается рассеяние электромагнитных волн сотовых диапазонов на многослойной сферической модели головы человека. Рассматривалась модель головы человека, на основе опубликованных ранее работ другими авторами [7], [4].

Ключевые слова: диаграмма рассеяния, электродинамическая модель головы человека.

D.V. Denisov, K.A. Sannikova, D.E. Korolev

DISPERSION OF ELECTROMAGNETIC WAVES OF THE CELLULAR RANGES ON MULTI-LAYER SPHERICAL MODEL

Federal Communications Agency Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

This article considers the scattering of electromagnetic waves cell ranges on a layered spherical model of human head. Considered the model of the human head, based on previously published work by other authors [7], [4].

Keywords: chart of dispersion, electrodynamic model of the head of the person.

Введение

За последние годы почти у каждого жителя страны есть персональные средства связи, везде обсуждается вопрос, как в технической литературе, так и прессе о воздействии электромагнитного излучения на живые ткани и органы человека. Это беспокойство в настоящее время актуально. Практически всё население постоянно находится в зоне покрытия базовых станций сотовой связи и подвергается облучению. Люди, владеющие сотовыми телефонами, дополнительно подвергается облучению от антенн телефонов, работающих в режиме передачи. На сегодняшний день проблема несколько ослабла, в связи с двумя обстоятельствами: во-первых, существенно снизился уровень мощностей базовых станций и новых моделей сотовых телефонов, во-вторых, в аппаратах используются более безопасные антенны, построенные на базе полосковых излучателей, существенно ослабляющих, но не исключающих полностью излучение в сторону головы пользователя. Но всё же, проблема полностью не решена. Точные расчеты весьма сложны и требуют больших ресурсов машинного времени самых современных компьютеров [1].

Электромагнитные волны – неизбежные спутники бытового комфорта. В Швеции электромагнитную аллергию считают заболеванием, хотя Всемирная организация здравоохранения пока классифицирует такую реакцию организма как возможное заболевание. Среди его симптомов – головная боль, хроническая усталость, расстройства памяти, бессонница, раздражительность [10].

Все работающие электроприборы (и электропроводка) создают вокруг себя электромагнитное поле, которое вызывает движение заряженных частиц: электронов, протонов, ионов или молекул-диполей. Клетки живого организма состоят из заряженных молекул – белков, фосфолипидов (молекул клеточных мембран), ионов воды – и тоже обладают слабым электромагнитным полем. Под влиянием сильного электромагнитного поля молекулы, обладающие зарядом, совершают колебательные движения. Это дает начало целому ряду процессов: как позитивных (улучшение клеточного метаболизма), так и негативных (например, разрушение клеточных структур).

Проведя сотни экспериментов, российские ученые установили, что более всего подвержены влиянию растущие ткани, эмбрионы. Выяснилось, что электромагнитные поля влияют также на нервную и мышечную ткани, могут провоцировать неврологические нарушения и бессонницу, а также сбои в работе желудочно-кишечного тракта. Они меняют и частоту сердечных сокращений, и артериальное давление. Лучше по возможности экранировать источники электромагнитного излучения и стараться свести к минимуму его воздействие. [2].

Микроволновые печи, разумеется, также несут большой вред для человека. Вся пища, которая проходит через микроволновую печь, провоцирует изменения в крови. Уровень гемоглобина уменьшается, а общее количество белых клеток и уровень холестерина увеличивается. Количество лимфоцитов уменьшается.

Опираясь на статью "Сравнительное исследование пищи, приготовленной традиционным способом и с помощью микроволновой печи", опубликованную Raum & Zelt в 1992 году [4], ученые провели опыт на 8 добровольцах. Для обнаружения энергетических изменений в крови была задействована люминесцентная (светоизлучающая) бактерия. В этих бактериях наблюдалось значительное увеличение

люминесценции после их взаимодействия с сывороткой крови тех людей, кто употреблял пищу подогретую в микроволновой печи.

Также, находясь в постоянном контакте с компьютером, появляются сильные головные боли, жжение, сухость глаз, бессонница, вследствие этого возникают проблемы со здоровьем.

Основываясь на статьи научных исследователей, можно сделать вывод, что влияние электромагнитных волн приносит колоссальный вред окружающей среде и организму человека, чем пользу. Каждый человек пользуется всевозможными источниками электромагнитных волн, не задумываясь о том, чем он может заболеть.

Для того, чтобы риск заболеваний уменьшился, нужно ограничить себя от чрезмерного использования электромагнитных волн, например, разговаривать по телефону не по 30 минут, а по 5-10 минут, когда разогреваем еду в микроволновой печи, не стоять рядом с ней, лучше отойти на 1 метр от неё, за компьютером проводить не целые сутки, а так же ограничивать себя по времени, делать влажную уборку и так далее.

Модель головы человека

На сегодняшний день актуальна проблема влияния электромагнитных волн на живые организмы, чем больше люди находятся под действием электромагнитного излучения, тем больше возникает риск различных заболеваний. В свою очередь распространено раковое заболевание головного мозга, человек не задумывается, что провоцирует эту болезнь.

Кожа головы выполняет целый ряд очень важных функций, без которых была бы невозможна жизнедеятельность всего организма. К ним относится защитная функция, которая предохраняет от проникновения в организм вредоносных микробов или иных микроорганизмов. Именно слой эпидермиса препятствует разного рода механическим повреждениям. Иммунная функция призвана изыскивать чужеродные тела и доставлять их в места нейтрализации - лимфатические узлы. С помощью рецепторной функции кожи человек обладает способностью различать тактильные и температурные колебания и раздражители. Благодаря обменной функции кожа имеет способность дышать, а также вырабатывать секреты, которые создают на ее поверхности тонкую пленку.

В коже ток проходит в основном через протоки потовых и сальных желез, межклеточные пространства эпидермиса. Затем он идет по путям наименьшего сопротивления - кровеносным, лимфатическим сосудам, межклеточным пространствам, захватывая иногда области, далекие от места наложения электродов. При прохождении тока изменяются электропроводность и поляризация тканей. Образуются поляризационные зоны вследствие накопления у мембран ионов, которые оказывают дополнительное сопротивление электрическому току. Изменяется мембранный потенциал, связанный с изменением возбудимости клеток и тканей. Перемещение ОН-ионов к катоду вызывает сдвиги в кислотно-основном состоянии. Последние влияют на активность ферментов, тканевое дыхание, обмен веществ.

Данная тема ранее была рассмотрена в научном исследовании возможности использования линейных дипольных антенн для неинвазивной диагностики организма человека, авторами которого являются К.А. Волегов, В.М. Сидоренко. В своём

исследовании они рассматривали систему из двух вибраторных антенн, расположенных в свободном пространстве параллельно координатной оси X вблизи поверхности исследуемой среды с произвольным числом слоев n. Антенны были установлены на разной высоте от границы исследуемой среды. Экспериментальные исследования проводились на частотах 450, 800 и 1200 МГц с помощью панорамного измерителя комплексных сопротивлений Р4-11.

Характерные параметры приповерхностных слоев организма человека, влияющие на результаты расчетов теоретических зависимостей, приведены в таблице 1.1 [4,8,9].

Таблица 1.1 - Характерные параметры приповерхностных слоев организма человека

Диэлектрическая проницаемость ε_i, Ом	Толщина T_i, м	Слой, i	Номер слоя
53+57,24 i	$5 \cdot 10^{-3}$ м	Роговой слой	1
52+36,92 i	$3 \cdot 10^{-3}$ м	Влажная дерма	2
49+21,07 i	10^{-2} м	Жировой слой	3
49+21,07 i	10^{-2} м	Мышечный слой	4

Рассмотрим еще одну работу рассеяние и поглощение электромагнитных волн неоднородными сферическими телами, автором которой является Б.А. Панченко [7].

В качестве модели головы человека выбрана шестислойная сферическая структура. Модель построена на основе анатомических данных и результатов экспериментальных измерений характеристик живых тканей. Основной электрофизической характеристикой является комплексная относительная диэлектрическая проницаемость слоев $\varepsilon = \varepsilon' - i \cdot \varepsilon''$ [10].

Характеристики слоев модели для трех распространенных стандартов сотовой связи приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Характеристики слоев модели

Граничные радиусы слоев a_i, м	$\varepsilon = \varepsilon' - i \cdot \varepsilon''$			Ткань
	GSM-1800	**GSM-900**	**NMT-450**	
0,09	38,87-i1,85	41,405-i0,867	45,753-i0,709	Кожный покров
0,089	5,349-i0,078	5,462-i0,051	5,56-i0,041	Жировая прослойка
0,0876	11,78-i0,275	12,453-i0,143	13,038-i0,095	Костная часть
0,0835	42,893-i1,32	44,426-i0,961	46,243- i0,839	Хрящевая прослойка (Dura)
0,083	67,2-i2,923	68,638-i2,412	70,481-i2,264	Цереброспинальная жидкость (CSF)
0.081	50.08-i1.391	52.72-i0.942	56.55-i0.758	Мозг

Геометрия задачи приведена на рисунке 1.1. Поляризация падающего поля – линейная, записывается в сферической системе координат – $\mathbf{E} = \mathrm{E}_0 \cdot \mathbf{a}_\theta$. При $\theta = 0$ вектор Е параллелен оси 0*x*.

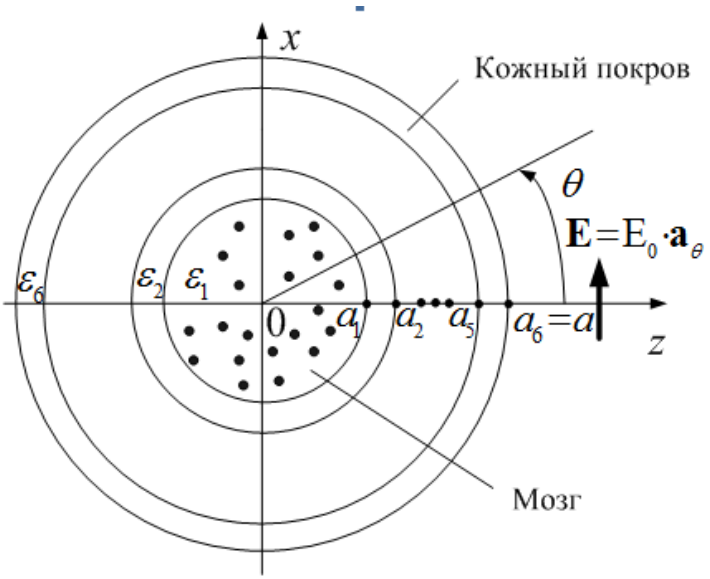


Рисунок 1.1 - Модель задачи

Поле представлено в виде разложения по ортогональной системе волн типа E и H. В поперечных сечениях структуры используются Фурье-разложение, характеристическая часть функций связана с радиальными координатами и учитывает пересчет от слоя к слою с помощью ориентированных модальных импедансов и адмитансов.

Эту же модель головы представим ниже, построенную в программном пакете Ansys HFSS.

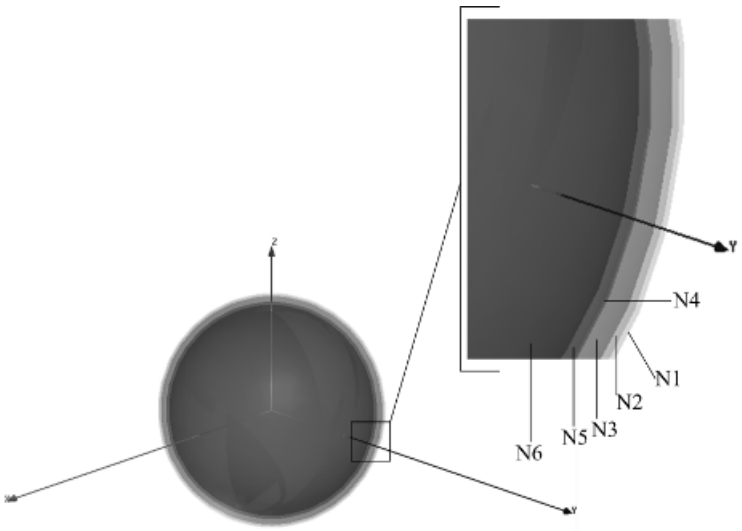


Рисунок 1.1 - Шестислойная модель головы

- N1 - кожный покров;
- N2 - жировая прослойка;
- N3 - костная часть;
- N4 - хрящевая прослойка (DURA);
- N5 - цереброспинальная жидкость;
- N6 - мозг.

Направление падения ЭМВ соответствует направлению оси z , колебание вектора Eo происходит вдоль оси y.

Состояние кожи очень сильно влияет на сопротивление. Наибольшее сопротивление оказывает чистая, сухая, неповрежденная кожа (10 000 – 100 000 Ом). Любые царапины, порезы, микротравмы могут снизить сопротивление тела человека до значения внутреннего сопротивления, что безусловно увеличивает опасность поражения электрическим током. Тоже при увлажнении, загрязнении кожи.

Нужно подчеркнуть, что при использовании в качестве компонентов косметических средств таких добавок как коллаген, эластин и кератин, коллоидные частицы которых имеют значительно большие размеры (70-110 нм), вряд ли следует надеяться на какое-либо влияние этих частиц на внутренние структуры кожи. Однако не все придерживаются подобной точки зрения.

Имеющиеся данные позволяют полагать, что немалую роль в проницаемости кожи наряду с роговым слоем играют фрагменты блестящего слоя. Более того, в некоторых случаях прохождение веществ через блестящий слой может играть определяющую роль. Так, если удалить роговой слой с поверхности кожи путем постепенного отслаивания чешуек липким пластырем, то скорость прохождения через кожу фосфорорганического отравляющего вещества типа зарина не меняется существенным образом. Однако аналогичное удаление блестящего слоя увеличивает ее в 100 раз. Объяснить подобное явление можно, не прибегая к каким-либо особым свойствам блестящего слоя. Рассмотрим ситуацию, когда любой слой ороговевших и/или не ороговевших пластинок представляет собой существенную преграду для зарина. Тогда последовательное освобождение от такого рода преград не будет влиять на проницаемость вещества. И только разрушение последней преграды приведет к существенному усилению проницаемости кожи [5].

Для того, чтобы исследовать электромагнитные процессы, возникающие внутри головы, будет рассмотрена задача исследования влияния электромагнитных волн на живые организмы, в частности голова человека. Данная задача является важной, потому что голова человека постоянно находится в непосредственной близости с источниками излучения, зачастую с мобильным телефоном.

Модель головы человека будет исследоваться в программе Ansys HFFS, данная модель головы человека будет строиться в виде сферы, потому что полномасштабные длительные эксперименты на живых тканях головы человека практически невозможны.

Основываясь на шестислойную модель головы человека из книги Б. А. Панченко: "Рассеяние и поглощение электромагнитных волн неоднородными сферическими телами", а так же на данные из работы К.А. Волегова и В.М. Сидоренко, будет построена восьмислойная модель головы человека.

В соответствии с таблицами (№1.1 и №1.2) зададим модель головы человека в Ansys HFSS, учитывая следующие допущения:

Таблица 1.3 - Характеристики слоев

Граничный радиус слоев a_i, м	Тангенс угла потерь GSM-1800	GSM-1800	Тангенс угла потерь GSM-900	GSM-900	Тангенс угла потерь NMT-450	NMT-450	Ткань
0,09	0,0476	38,87-i1,85	0,0209	41,405-i0,867	0,015496	45,753-i0,709	Кожный покров
52+36,92 i*							Влажная дерма
0,089	0,0146	5,349-i0,078	0,0093	5,462-i0,051	0,007374	5,56-i0,041	Жировая прослойка
49+21,07 i*							Мышечный слой
0,0876	0,0233	11,78-i0,275	0,0115	12,453-i0,143	0,007286	13,038-i0,095	Костная часть
0,0835	0,0308	42,893-i1,32	0,0216	44,426-i0,961	0,018143	46,243-i0,839	Хрящевая прослойка (Dura)
0,083	0,0435	67,2-i2,923	0,0351	68,638-i2,412	0,032122	70,481-i2,264	Цереброспинальная прослойка
0,081	0,0278	50,08-i1,391	0,0179	52,72-i0,942	0,013404	56,55-i0,758	Мозг

*Измерения производились на частотах: 450, 800, 1200 МГц.

Геометрия задачи приведена на рисунке 1.2.

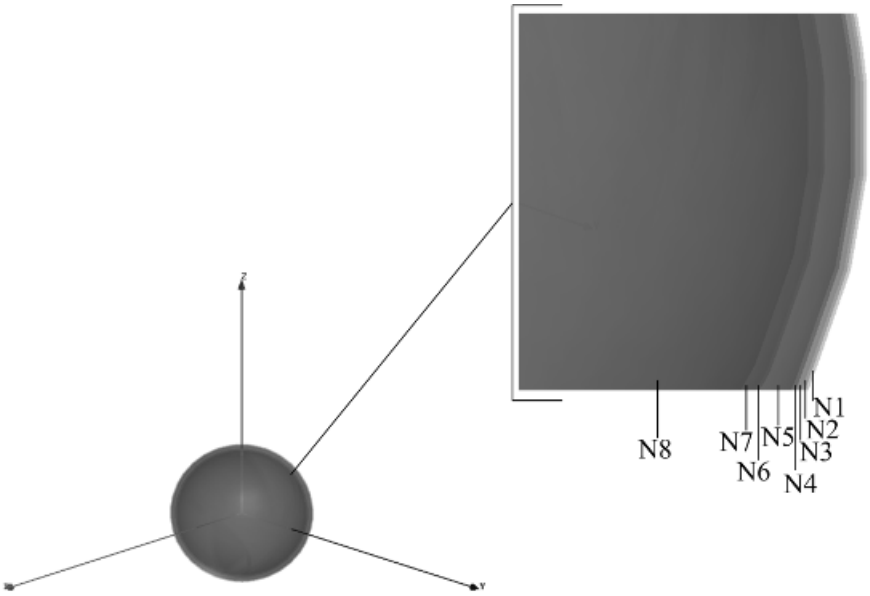


Рисунок 1.2 - Восьмислойная модель головы

- N1 - кожный покров;
- N2 - влажная дерма;
- N3 - жировая прослойка;
- N4 - мышечный слой;

- N5 - костная часть;
- N6 - хрящевая прослойка (DURA);
- N7 - цереброспинальная жидкость;
- N8 - мозг.

Результаты исследования

Результатом моделирования является получения диаграмм рассеяния электромагнитных волн сотовых диапазонов на неоднородных сферических моделях головы человека. Расчеты получены для шестислойной модели №1 [7]. Восьмислойной модели №2, разработанной нами.

Представим диаграммы рассеяния в плоскости 45° на частотах NMT - 450, 900 - GSM, 1800 - GSM .

NMT - 450

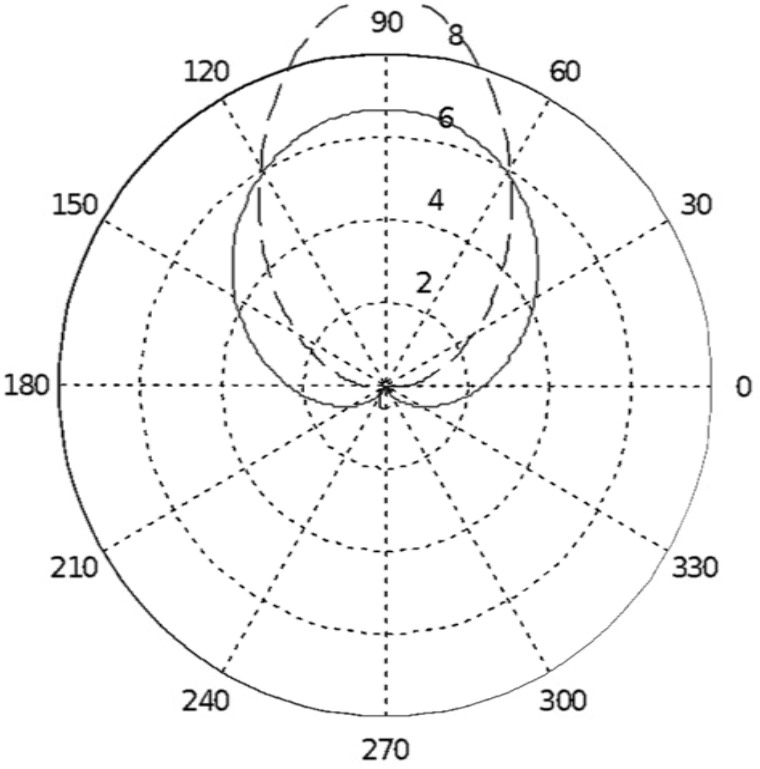


Рисунок 1.3 - Диаграмма рассеяния электромагнитных волн на частоте NMT - 450

--- - ортогональная кроссполяризация;

— - основная поляризация.

900 - GSM

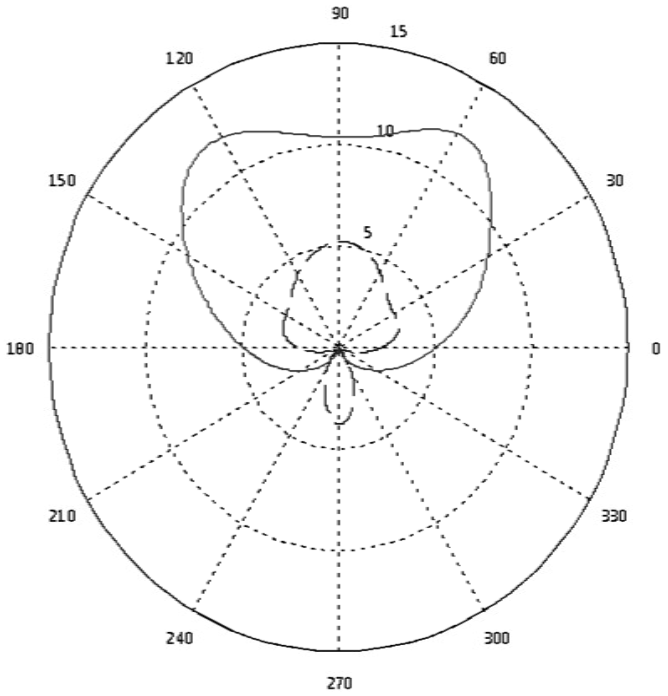


Рисунок 1.4 - Диаграмма рассеяния электромагнитных волн на частоте 900 - GSM

--- - ортогональная кроссполяризация;

— - основная поляризация.

1800 - GSM

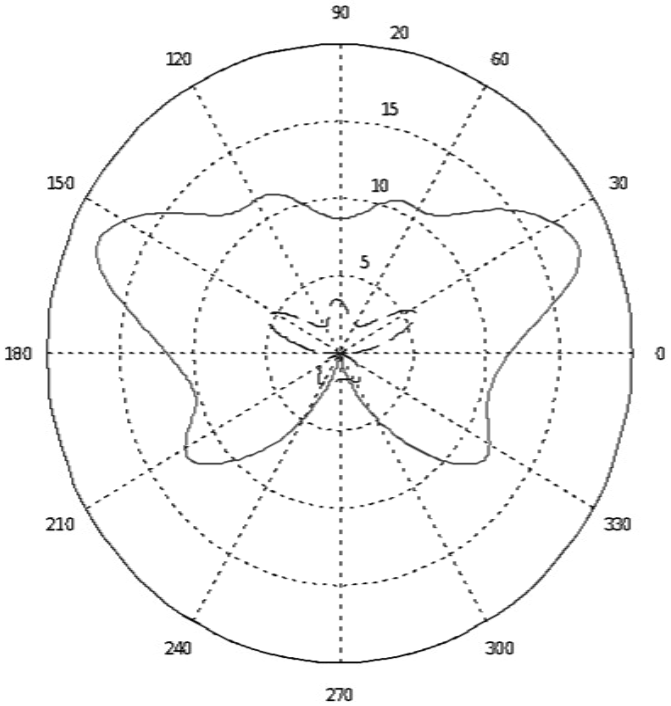


Рисунок 1.5 - Диаграмма рассеяния электромагнитных волн на частоте 1800 - GSM

--- - ортогональная кроссполяризация;

— - основная поляризация.

Заключение

В результате выполнения исследований была составлены модель головы человека, состоящая из восьми слоев. Работа является продолжением работы [7], получены диаграммы рассеяния, позволяющие оценить степень воздействия ЭМВ сотового диапазона на голову человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Council Recommendation // EC of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). 1999. P. 519;
2. *Ольга Редичкина* Psychologies №20 `07 – 1с.;
3. *Ковалько В.И.* Здоровье сберегающие технологии: школьник и компьютер.-М.: ВАКО, 2007.-125с.;
4. *Волегов К.А., Сидоренко В.М.* журнал "Известия Южного федерального университета" . Технические науки, выпуск№ 10 / том 99 / 2009;
5. *Сапожникова А.И., Лычников Д.С.* "Оценка агрегативной стабильности белковых субстанций косметического назначения" Тез. докл. II Международной научно-практической конференции "Биологически активные вещества и новые продукты в косметике" М., 1997, с.11-12;
6. *Ципоркина И.* Практическая косметология для всех. – СПб., 2002 г.;
7. *Панченко Б.А.* "Рассеяние и поглощение электромагнитных волн неоднородными сферическими телами. Монография. -М. : Радиотехника, 2013. -264с.;
8. *Avdochenko B.I., Batsula A.P., Shostak A.S., Kataev S.G., Volegov K.A.*. The investigation of the possibility of using linear dipole antennas for dimension of dielectric permittivity of the real soil and layered soil. Proceedings of conference Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals. Sevastopol, Ukraine. – 2008. – P. 261-263.;
9. *Шостак А.С, Авдоченко Б.И, Загоскин В.В, Круглов И.С, Волегов К.А.* Входной импеданс ультравысокочастотной линейной антенны, расположенной над трехслойной сре- дой / Известия вузов. Физика. – 2005. – С. 71-73.
10. *Артамонова В.Г., Шаталов Н.Н.* Профессиональные болезни, М.: Медицина, 1996.

Д.В. Денисов, К.С. Сухоева, Д.А. Максимов, К.А. Санникова

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: метод, образец, волновод, PLA-пластик, диэлектрическая проницаемость, S-параметры.

В статье рассмотрена необходимость измерения параметров материалов, представлены некоторые из существующих методов их измерения, разработана модель волновода для передачи электромагнитной волны H_{10} ISM диапазона 2,4 ГГц.

D.V. Denisov, K.S. Sukhoeva, D.A.Maksimov, K.A. Sannikova

MEASUREMENT OF THE MATERIALS PARAMETERS

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords:method, sample, waveguide, PLA plastic, dielectric permeability, S-parameters.

The article describes the need to measure material parameters, presents some of the existing methods of their measurement, the developed model of the waveguide for the transmission of electromagnetic wave H10 from ISM 2.4 GHz band.

Любой материал имеет набор электродинамических параметров и свойств, в зависимости от которых меняется поведение материала в электрических и магнитных полях. Измерение этих параметров позволяет сократить сроки разработки и изготовления образцов изделий. Точные значения электродинамических параметров позволят уменьшить количество корректировок размеров высокочастотных элементов разрабатываемых устройств. Знание диэлектрических свойств материалов имеет большую значимость в науке.

В литературе имеются сведения о нескольких методах измерения диэлектрических свойств материала.Одним из методов измерений является метод с использованием коаксиального пробника [1].

Суть данного метода заключается в том, что разомкнутый коаксиальный пробник является срезом линии передачи. При этом свойства материала измеряются с помощью погружения пробника в жидкость, либо касания пробником плоской поверхности твердого (или порошкового) материала. В тот момент, когда поля на конце пробника входят в контакт с испытуемым материалом, искажается структура поля (Рисунок 1). Отраженный сигнал (S_{11}) может быть измерен и связан с ε_r* [1, 2].

Компонентами типичной измерительной системы, использующей метод коаксиального пробника, являются анализатор цепей или импеданс, коаксиальный пробник и программное обеспечение[1, 3].

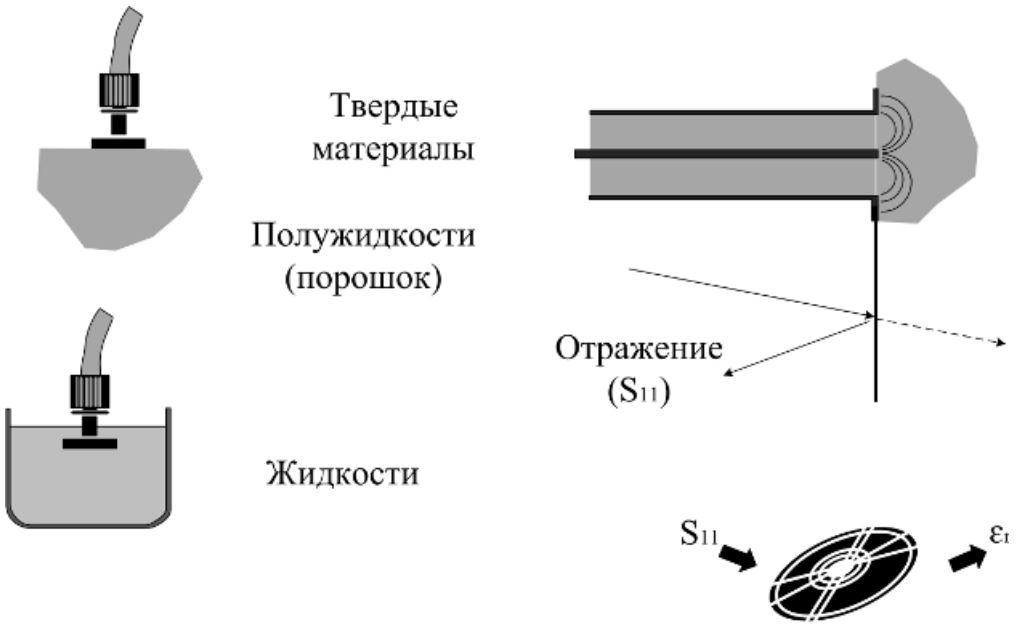


Рисунок 1 – Метод с использованием коаксиального пробника

Еще одним методом является метод свободного пространства. Такой метод дает возможность измерить материал в различном агрегатном состоянии, при условии наличия различных внешних воздействий. Измерение проводится при наличии протяженной и плоской поверхности измеряемого образца. Измерительная система состоит из двух антенн, расположенных друг напротив друга, и присоединенных к векторному анализатору цепей (Рисунок 2). Калибровка такой измерительной системы может производиться тремя методами:

- TRL - проходная мера, мера отражения и мера линии передачи;
- TRM – проходная мера, мера отражения, согласованная нагрузка;
- LRL – мера линии передачи, мера отражения[1, 2].

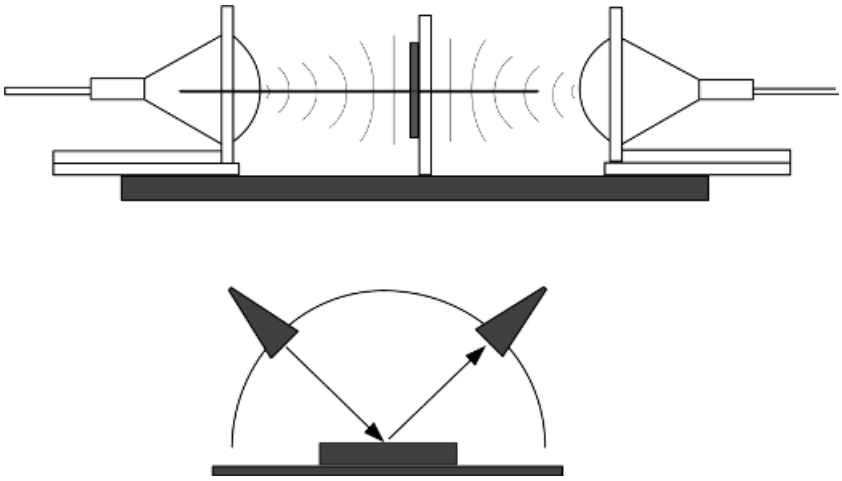


Рисунок 2 – Установки для измерений в свободном пространстве

Также существуют измерения с помощью объемного резонатора. Объемными резонаторами называют высокодобротные структуры, которые резонируют на

определенных частотах. Используемый материал оказывает влияние на центральную частоту (f) и добротность (Q) резонатора. С помощью данных параметров на одной частоте можно произвести расчет комплексной диэлектрической проницаемости (ε_r) или магнитной проницаемости (μ_r). Существует метод возмущения полей резонатора, который описан в стандарте ASTM 2520[10]. При реализации данного метода используется прямоугольный волновод с торцевыми пластинами с диафрагменной связью с модой TE_{10n} (Рисунок 3)[1, 2].

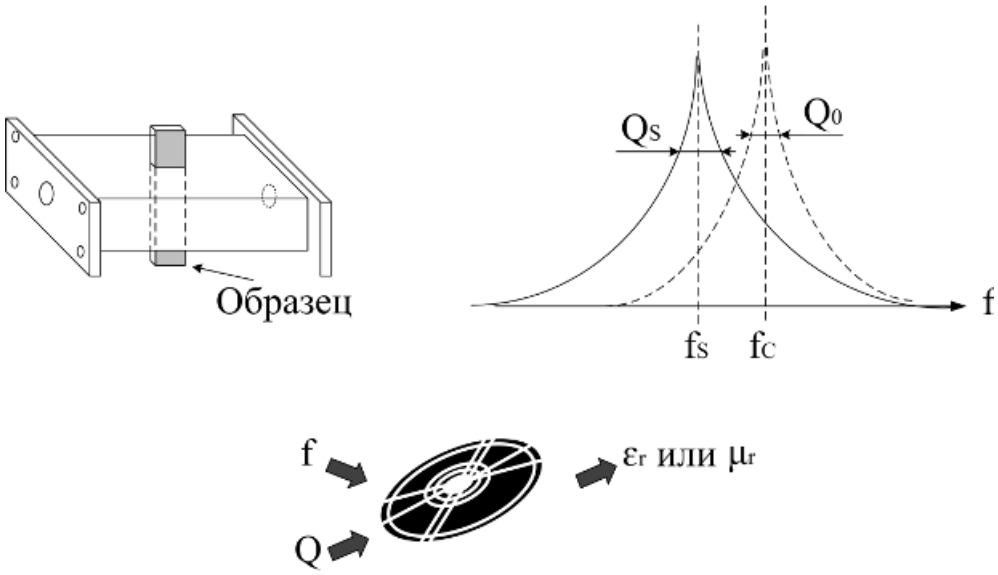


Рисунок 3 – Измерения с помощью объемного резонатора

При измерении диэлектрических свойств образец материала должен находиться в максимуме электрического поля, а при измерении магнитных свойств – в максимуме магнитного поля. В случае если образец расположен в отверстии по центру отрезка волновода, то максимум электрического поля в место расположения образца будет доставляться нечетным числом полуволн (n = 2k + 1). При этом максимум магнитного поля в место расположения образца будет доставляться четным числом полуволн (n = 2k).

Рассмотрим следующий метод – метод линии передачи. Этот метод состоит в том, что измерение компонентов комплексной матрицы рассеяния образца производится при его помещении в отрезок линии передачи (Рисунок 4). В данном методе производится измерение параметров отраженного (S_{11}) и прошедшего (S_{21}) сигналов[1, 3].

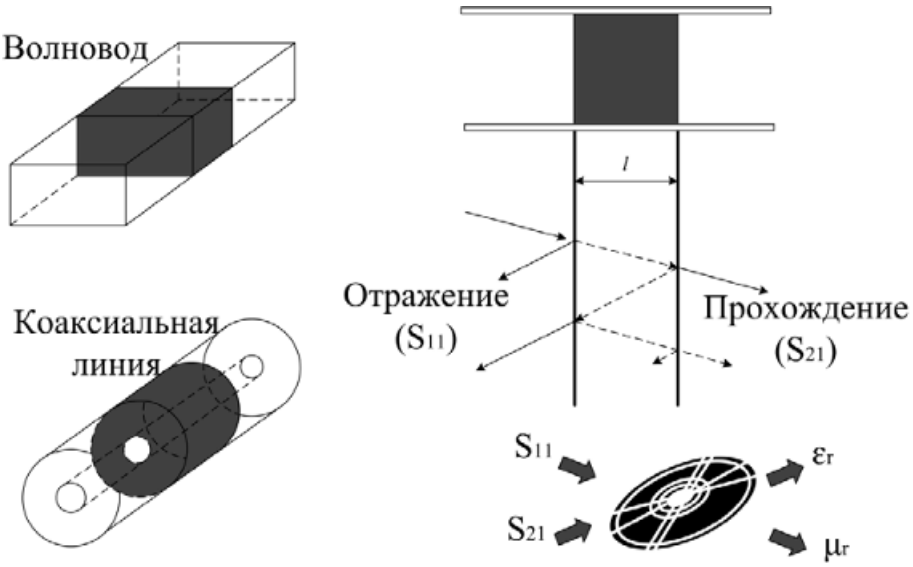


Рисунок 4 – Метод с использованием линии передачи; случай волновода и коаксиальной линии

Коаксиальной линией передачи перекрывается более широкий диапазон частот, однако изготовление образцов тороидальной формы представляет собой более сложный процесс. Волноводное испытательное оснащение распространяется до частот миллиметрового диапазона, при этом значительно упрощается обработка образцов, но диапазон частот, который ими перекрывается, ограничен. В состав измерительной системы, которая использует метод линии передачи, входит векторный анализатор цепей, воздушная коаксиальная линия или волноводная секция, программное обеспечение[1, 3].

Проанализировав данные методы, была рассмотрена возможность реализации измерения диэлектрической проницаемости материала путем внедрения неоднородностей. В качестве материала был выбран PLA-пластик, в силу его широкого использования в сфере 3D прототипирования. В программном пакете HFSS была разработана модель волновода для передачи электромагнитной волны H_{10} ISM диапазона 2,4 ГГц, длиной 400 мм, шириной 80 мм и высотой 40 мм, которая представлена на рисунке 5.

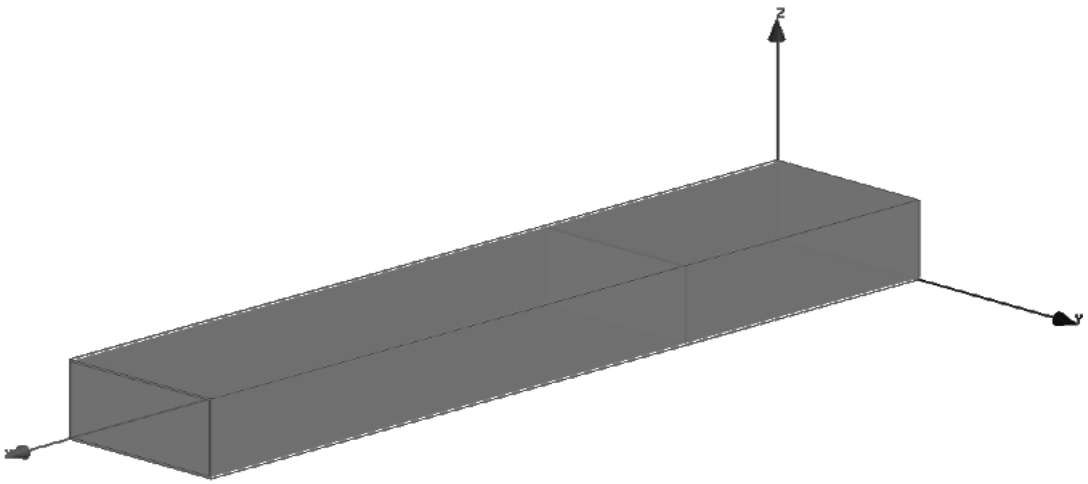


Рисунок 5 – Модель волновода

В волновод на расстоянии 270 мм помещен образец диэлектрика. При помощи S-параметров могут быть определены параметры и характеристики материала, график вывода S-параметров. Диэлектрическая проницаемость PLA-пластика равна 3,1[4, 5].

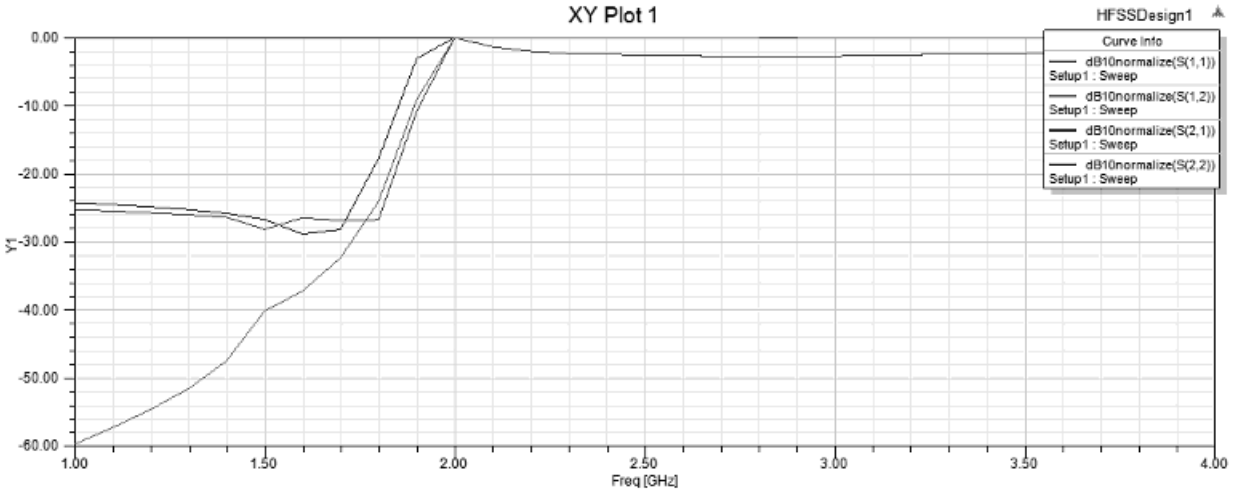


Рисунок 6 – Вывод S-параметров с помощью графика

Таким образом, в программном пакете HFSS была разработана модель для измерения S-параметров, которая позволяет определить параметры материала, внести необходимые изменения в его структуру и выйти на этап синтеза данных материалов с требуемыми электрофизическими параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Компания AgilentTechnologies, Inc.*Основы измерения диэлектрических свойств материалов. Заметкипопременению, 2010, с.3, 17-27.
2. *CompanyAgilent Technologies, Inc.* Agilent Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials Application Note, 2005-2006, с.17-27.
3. *Петухова Н.А., Куракин А.С.*Установки для измерения параметров диэлектриков // Инновации в науке: сб. ст. по матер. XLIV междунар. науч.-практ. конф. № 4(41). – Новосибирск: СибАК, 2015.
4. *Haroon, Ullah S. and Flint J.O.* Electro-Textile Based Wearable Patch Antenna on Biodegradable Poly Lactic Acid (PLA) Plastic Substrate for 2.45 GHz, ISM Band Applications, 2014, с.2.
5. *Fujikura Technical Review.*Polylactic Acid-Coated Cable. Thoru Nakatsuka, 2011, с.40.

Д.В. Денисов, В.С. Чащин

О ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН С НЕНУЛЕВЫМ ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «СибГУТИ», Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: коммуникации, радиоволны, орбитальный угловой момент, генерация вихревых пучков, параболическая антенна.

В статье рассмотрены методы генерации «закрученных» волн, их практическая реализация в виде экспериментов и произведен анализ на предмет пригодности для использования в системах радиосвязи и выбор наиболее перспективного направления развития данных технологии.

D.V. Denisov, V.S. Chaschin

THE APPLICABILITY OF VORTEX BEAMS GENERATION METHODS FOR RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

Urals Technical Institution for Engineering and Computer Science, Yekaterinburg, Russia

Key words: communications, radio waves, orbital angular momentum, vortex beams generation, parabolic antenna.

The article considers main methods of vortex beams generation were studied, compatibility to the radio communication system was analyzed and the most perspective of them were noticed.

Начиная с конца XX в и в настоящий момент все большую популярность набирают активные исследования применения орбитального углового момента (ОУМ) в различных технических сферах, в том числе и телекоммуникации. Суть метода заключается в том, что для передачи используются электромагнитные волны одинаковой длины, но с различными состояниями ОУМ.

Для систем передачи радиосигналов необходимо генерирование длин волн радиочастотного спектра (например в ISM-диапазоне) с различными состояниями ОУМ для передачи на одной несущей частоте сразу нескольких каналов. При ненулевом значении ОУМ волну как бы «закручивают», задавая некоторое квантовое значение m, описывающее степень этой самой «закрученности» (см. рисунок 1)[1].

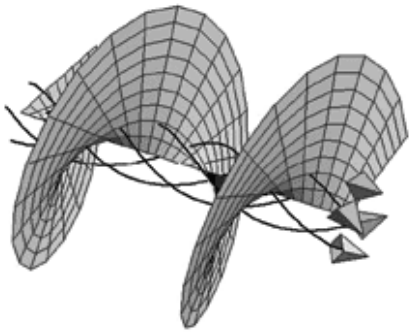


Рисунок 1–Поверхность постоянной фазы в «закрученной волне»

Для получения таких волн в радиодиапазоне существует методика, которая получила развитие в практической реализации. Суть данного метода поясняется рисунком 2[2]:

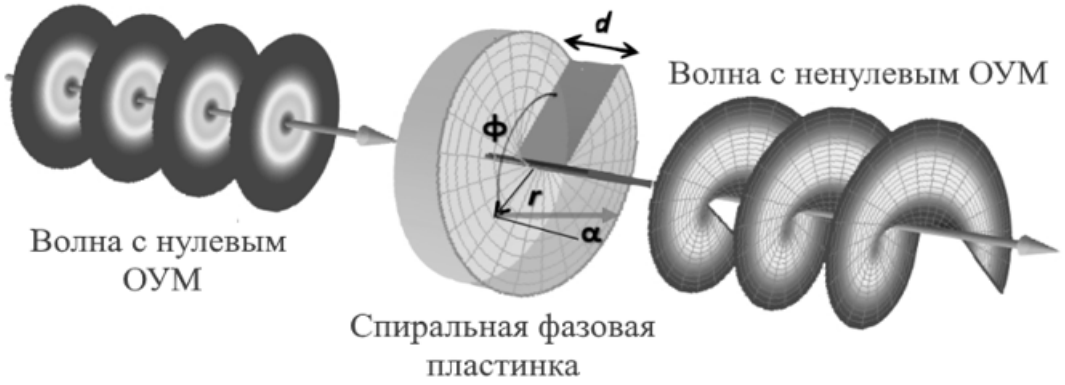


Рисунок 2 – Генерация волны с ненулевым ОУМ при помощи СФП

Данный метод удалось реализовать группе итальянских ученых с помощью простейшего устройства — обычной параболической антенны, которая разрезается по радиусу, после чего у «тарелки» отгибаются кромки так, чтобы получился как раз один шаг спирали (рисунок 3)[3].

Рисунок 3 – Генерация волны с ненулевым ОУМ при помощи параболической антенны»

Теоретически, используя новый подход разделения, на одной и той же частоте можно организовать до 11 независимых каналов передачи данных, используя пять фиксированных значений скорости вращения в одну сторону (+5) и еще пять скоростей вращения в обратную сторону (-5). А если применить еще и технологии мультиплексирования сигналов, подобные тем, которые применяются в цифровом телевидении, количество независимых каналов на одной несущей частоте может быть расширено до 55.[4]

Другой группе ученых из университета Южной Калифорнии удалось получить высокую скорость передачи за счет закручивания радиоволн и создания при помощи специальной пластинчатой фазовой антенны, которая закручивает каждый из входящих в нее нескольких лучей радиоволн, делая из него нечто, похожее на растянутую в одну линию бесконечную молекулу ДНК. На стороне приемника так же находится подобное фазовое устройство, выполняющее обратное преобразование, разделяющее результирующие лучи радиоволн и подающее их на устройство-детектор.[5]

Длинные радиоволны тоже несложно закручивать — например, с помощью специально настроенных фаз и мощностей фазированной антенной решетки (рисунок 4)[6]. Такие эксперименты делались на американской станции HAARP, которая занимается облучением ионосферы радиоволнами и наблюдением за возникающим из-за этого свечением.[7]

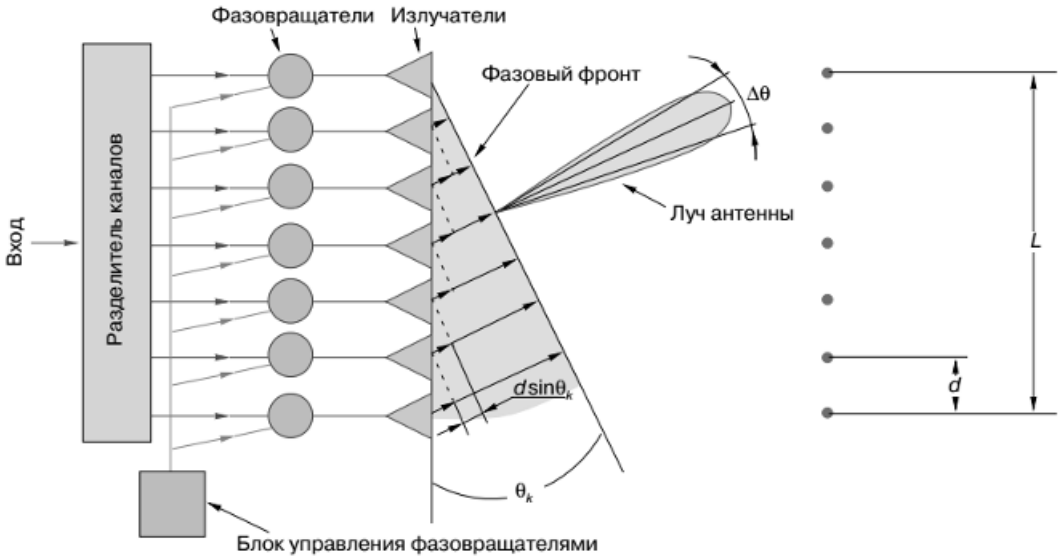


Рисунок 4 – Схема фазированной антенной решетки

В представленных примерах реализации методов закручивания волн на сегодняшний день расстояние передачи не является достаточно длинным в виду использования определенного (миллиметрового) диапазона частот, но производительность может быть лучше по мере оптимизации соответствующих условий. Совершенствование технологии закручивания радиоволн, позволит расширить ее рабочий диапазон, еще увеличить скорости передачи информации и поднять ее другие характеристики.[8]

Таким образом, использование параболических антенн и фазированных антенных решеток может значительно увеличить пропускную способность любого частотного диапазона, что позволяет использовать методы плотного кодирования в каждом из этих новых вихревых радиоканалов. Результаты экспериментов подтверждают, что ОУМ мультиплексирование может использоваться для развития способов передачи сигналов по радиоканалам и, вероятно, откроет новые взгляды в радиосвязи. Они могут представлять собой конкретные идеи о возможном решении нынешней проблемы насыщения полосы пропускания в беспроводной связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. New Twist Could Pack Photons With Data – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://science.sciencemag.org/content/296/5577/2316.2.summary.
2. *Beijersbergen, M.W.; Coerwinkel, R.P.C.; Kristensen, M.; Woerdman, J.P.* (1994). "Helical-wavefront laser beams produced with a spiral phase plate". Optics Communication. 112 (5–6): 321.
3. *Fabrizio Tamburini, Elettra Mari, Anna Sponselli, Bo Thidé, Antonio Bianchini1, Filippo Romanato* "Encoding many channels on the same frequency through radio vorticity: first experimental test". New J. Phys. 14, 033001 (2012) Режим доступа: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/14/3/033001#nj400111figA4

4. Scientists develop method of twisting radio waves – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.theengineer.co.uk/issues/5-march-2012/scientists-develop-method-of-twisting-radio-waves/
5. Scientists twist radio beams to send data: Transmissions reach speeds of 32 gigabits per second– [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://phys.org/news/2014-09-scientists-radio-transmissions-gigibits.html
6. *Вендик О.Г* (1997) "Фазированная антенная решетка – глаза радиотехнической системы".
7. *T. B. Leyser, L. Norin, M. McCarrick, T. R. Pedersen, and B. Gustavsson* (2009) "Radio Pumping of Ionospheric Plasma with Orbital Angular Momentum"
8. *Xiaonan Hui, Shilie Zheng, Yiling Chen, Yiping Hu, Xiaofeng Jin, Hao Chi & Xianmin Zhang* (2014) "Multiplexed Millimeter Wave Communication with Dual Orbital Angular Momentum (OAM) Mode Antennas".

В.В. Евстафьев, Н.В. Руденко, К.А. Кашуба, А.П. Зуйков, И.А. Ситьков

ВОЗМОЖНОСТИ МАРШРУТИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТЯХ СВЯЗИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования “Донской Государственный Технический Университет”, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сети связи следующего поколения, маршрутизация потоков, распределение потоков, маршрутная матрица, производительность, надежность.

В статье рассмотрены увеличение возможностей маршрутизации информационных потоков, в сетях следующих поколениях, предложены процедуры изменений значений элементов маршрутной матрицы, обеспечивающих распределение потоков в нескольких типах ресурсов сети с учетом их взаимосвязи, возможность численной оценки предлагаемых процедур проиллюстрирована примером.

V.V. Evstafiev, N.V. Rudenko, K.A. Kashuba, A.P. Zuikov, I.A Sitkov

POSSIBILITIES OF INFORMATION ROUTING BY STREAMING NEXT-GENERATION COMMUNICATION NETWORKS

Federal State Budgetary Institution of Higher Education « Don State Technical University», Rostov-on-Don, Russia

Keywords: next – generation communication networks, routing of flows distribution of flows, routing matrix, performance, reliability.

The article considers the expansion of the possibilities of routing information flows in the networks of the next generation. Procedures for changing the values of the elements of the routing matrix providing distribution of flows in several types of network resources, taking into account their interrelation, are proposed. The evaluation of the proposed procedures is illustrated by an example.

Актуальность задачи. Телекоммуникационные сети относятся к сложным и консервативным техническим системам. Но, при этом отрасль связи одна из самых динамично развивающихся. Данное противоречие приходится учитывать при разработке решений по модернизации и совершенствованию существующих сетей связи. [1]. Реальный уровень развития сетей связи на сегодня, особенности современных услуг связи и особенности инфокоммуникационных услуг позволяет реализовать концепцию сетей связи следующего поколения (NGN)- концепцию обеспечивающую предоставление неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и созданию новых услуг за счет унификации сетевых решений, предполагающая реализацию универсальной транспортной сети с распределённой коммутацией, вынесение функций предоставления услуг в оконечные сетевые узлы и интеграцию с традиционными сетями связи [2]

Данная концепция NGN-сетей предполагает объединение в сеть значительного количества элементов, в том числе элементов использующих различные технологии обработки и передачи информации. При классификации всех элементов сети их можно условно объединить в группы по функциональным возможностям, обозначив эти группы как типы ресурсов сети. В результате, каждый элемент NGN-сети можно рассмотреть (в исследуемом аспекте) как представитель (назовём это копией) того или иного типа ресурсов.

Рассматриваемая классификация становится более целесообразной, если учесть наличие в NGN-сети устройств, обеспечивающих соединение несхожих по технологиям фрагментов сети, в том числе таких как различные шлюзы, программный коммутатор Softswitch.

Среди направлений повышения надёжности и производительности сетей связи в большинстве случаев рассматривается распределение потоков информации, проведение оптимальной маршрутизации [1,3]. Основные протоколы маршрутизации в сетях следующего поколения (OSPF, IS-IS, BGP) [2] ограничены, во-первых, действием только в рамках одной автономной области AS, с незначительными возможностями обмена информацией о структуре соседних (других) AS. В обоих случаях рассматриваются только копии одного типа ресурса. Во-вторых, распределение потоков информации между копиями одного типа ресурса должно учитывать то, что эти копии рассматриваемого ресурса взаимодействуют с копиями других типов ресурсов. Перераспределение потоков в одном типе ресурсов приводит к перераспределению потоков и в других типах ресурсов. Улучшение отдельного фрагмента сети может привести к ухудшению характеристик всей сети.

Цель и задача работы. Целью настоящей статьи является разработка процедур по расширению возможностей маршрутизации информационных потоков в сетях следующего поколения.

Методы исследования и описание математических моделей

1. Описание математической модели. Распределение потоков информации отражает маршрутная матрица, показывающая на входы каких элементов, направляется информация с выхода рассматриваемого элемента. При этом стохастическая маршрутная матрица является более универсальной по сравнению с маршрутной матрицей, отражающей конкретные объемы передаваемой информации. При увеличении общей нагрузки на сеть стохастическая маршрутная матрица останется без изменений, в отличии от матрицы, отражающей конкретный объем передаваемой информации. Важным требованием является то, что строки и столбцы стохастической маршрутной матрицы соответствовали элементам сети, принадлежащим к разным типам ресурсов. Тогда при решении оптимизационной задачи распределения потоков информации использование стохастической маршрутной матрицы в качестве варьируемой характеристики расширит возможности маршрутизации.

Используемая в сетях следующего поколения пакетная передача информации характеризуется временем задержки сигнала. Под временем задержки подразумевается совокупность передачи и обработки сигнала [1, 3, 4], время «обслуживания» копиями различных типов ресурсов.

Для операторов, предоставляющих инфокоммуникационные услуги необходимо четко рассчитывать критическое время задержки сигнала, во избежание превышения допустимой нормы для того или иного вида услуг [1].

Выше перечисленным требованиям удовлетворяет модель рассмотренная в [3] представляющая собой отображение по оценке среднего времени передачи(обработки) определённого объёма информации в сети (задержка) $\bar{t}$.

$$\Gamma 1: X \rightarrow \bar{t}\ ,\ X=\{Q, M^*, CB, COA, HO, K_{эф.р}\}, \qquad (1)$$

где Q={q(i, j} - маршрутная матрица (i=0,L; j=0,L) L – число элементов системы связи; M*={M*(i)} – вектор интенсивностей обслуживания элементами системы связи входного потока при их абсолютной надежности; (i=1,L); CB={CB(i)} – вектор коэффициентов вариации распределения интервалов времени между окончаниями обслуживания заданий в элементе системы (i=1,L); COA={COA(0,i)} – вектор коэффициентов вариации распределения интервалов времени между поступлениями заданий в элемент от источника заданий; интенсивность источника заданий (i=1,L); H0 – интенсивность источника заданий $K_{эф.р}=\{K_{эф.р}(i)\}$ вектор реальных коэффициентов сохранения эффективности элементов системы (i=$\overline{1, L}$).

2. Формализация изменений элементов маршрутной матрицы. При описании процедур по изменению значений элементов маршрутной матрицы следует использовать эффекты, обусловленные нелинейностями, характеризующие поведение сети и определяющие узкие места (УМ).

УМ по производительности называется элемент, для характеристик которого выполняется условие:

$$GRT(i)=\left[\frac{\partial\bar{t}(M^*)}{\partial M^*(i)}\right] / \left[\max_{j=\overline{1, L}} \frac{\partial\bar{t}(M^*)}{\partial M^*(j)}\right] \geq DF, \qquad (2)$$

$$i = \overline{1,L};\ \ 0{,}5 < DF \leq 1.$$

Элемент сети, разгрузка которого обеспечивает приемлемый успех в снижении $\bar{t}$, обозначим

$$r(i)=\begin{cases} i, \text{ если } GRT(i)\geq DF, \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

Элемент сети, относящийся к тому же типу ресурса, к которому относится $r(i)$-ый элемент и дополнительная нагрузка которого обеспечивает наименьшее увеличение $\bar{t}$, обозначим:

$$rq(i)=\begin{cases} q, \text{ если } \frac{\partial \bar{t}(M^*)}{\partial M^*(q)} = \min_{j\in RES[r(i)]} \frac{\partial \bar{t}(M^*)}{\partial M^*(j)}, \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases} \quad (4)$$

где RES[r(i)] – множество элементов в том же типе ресурса, к которому относится r(i).

Строку маршрутной матрицы имеющую наибольшее значение вероятности, но не равное единице в r(i) – том столбце обозначим:

$$rl(i) = \begin{cases} l, \text{ если}[q(l,r(i)]=[\max_{j=\overline{1,L}} q(j,r(i))]\cap[q(l,r(i))\neq 1] \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

Требование q (j, r(i)) ≠ 1 обусловлено условием функционирования сети. Если q (j, r(i)) =1, то элемент rl(i) взаимодействует только элементом r(i), и изменение вероятности q(rl(i), r(i)) нарушит условия функционирования сети.

Изменения, обеспечивающие в совокупности наилучшее уменьшение $\bar{t}$, определяется соотношениями (основное изменение маршрутной матрицы):

$$\begin{cases} q\left(rl(i), r(i)\right)=q^*\left(rl(i),r(i)\right)-\Delta q_1 \\ q\left(rl(i),rq(i)\right)=q^*\left(rl(i),rq(i)\right)+\Delta q_1. \end{cases}, \quad (6)$$

Однако, чтобы не происходило эффекта “перегруппирования”, т.е. перераспределяя потоки в одном типе ресурсов не перераспределять (или значительно снизить это) потоки в других типах ресурсов, необходимо часть потоков, переданных элементу rq(i) “ вернуть” на прежние маршруты. То есть необходимо кроме основного изменения маршрутной матрицы (6) выполнить еще “зеркальное” измерение. Для этого определяем столбец, имеющий наибольшее значение вероятности в rq(i) – той строке среди копий ресурса, к которому относится элемент rl(i)

$$rz(i)=\begin{cases} z, \text{ если } q\left(rq(i), rz(i)\right)=\max_{z\in RES[rl(i)]} q(rq(i),z), \\ 0 \text{ в противном случае.} \end{cases}, \quad (7)$$

“Зеркальное” изменение обеспечивается следующими выражениями:

$$\begin{cases} q\left(rq(i), rl(i)\right) = q^{*}\left(rq(i), r(i)\right) + \Delta q_2 \\ q\left(rq(i), rz(i)\right) = q^{*}\left(rq(i), r(i)\right) - \Delta q_2. \end{cases}, \quad (8)$$

Смысл основного и “зеркального” изменений маршрутной матрицы для случая, когда в сети рассматривается одно УМ, поясняется рисунком 1.

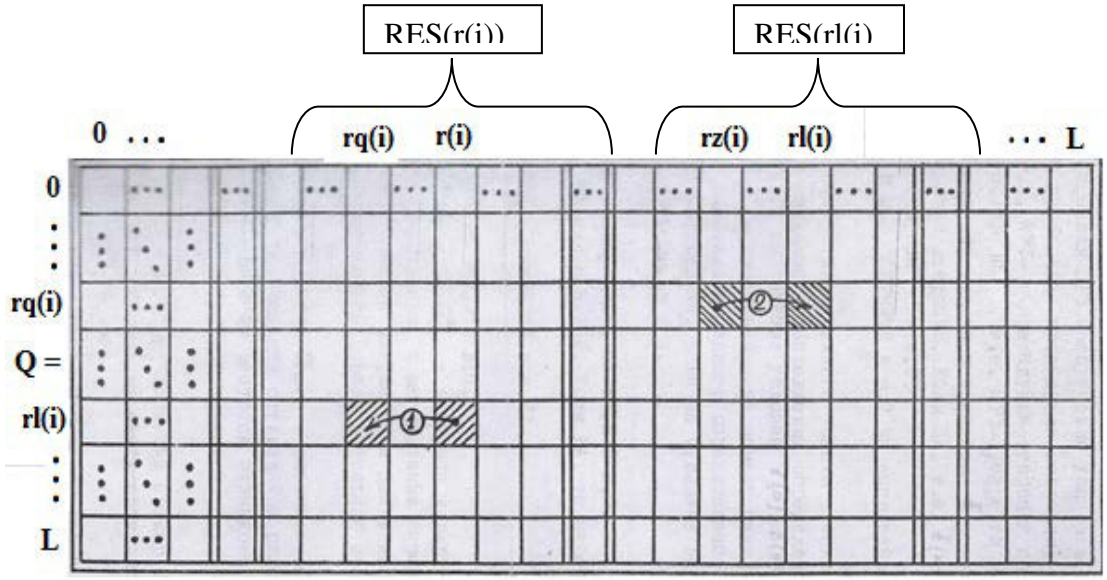


Рисунок 1- Основное (1) и “зеркальное” (2) изменения маршрутной матрицы

Результаты исследований. Методический пример.

Рассмотрим сеть связи, состоящую из 15 элементов, L=15. Входная нагрузка, HO=2 заявки/с, DF=0.9.Остальные исходные данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Исходные данные примера

	Ресурс 1-го типа			Ресурс 2-го типа	Ресурс 3-го типа	Ресурс 4-го типа	Ресурс 5-го типа
Номер элемента / Параметр	1	2	3	4,5,6	7,8,9	10,11,12	13,14,15
CB(i)	0,3	0,3	0,3	0,7	1,2	1,5	0,8
COA(0,i)	0,7	0,8	0,9	-	-	-	-
$M^{*}(i)$	3,75	3,75	3,75	3,75	5,625	5,0	2,5
$K_{эф}(i)$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Таблица 2 - Первоначальная маршрутная матрица Q0

j / i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		0.25	0.3	0.45												
1	0.4				0.4			0.2								
2	0.3					0.5			0.2							
3	0.4						0.3			0.3						
4		0.3									0.7					
5			0.4									0.6				
6				0.5									0.5			
7		0.2												0.5		
8			0.25												0.4	
9				0.2												0.4
10					0.6			0.4								
11						0.5			0.5							
12							0.4			0.6						
13								1								
14									1							
15										1						

При анализе сети выявлено узкое место r(i)=3, соответственно rq(i) = 1, rl(i)=6, rz(i)=4.

Основные и “зеркальное” изменения для условий примера показано в таблице 3.

Таблица 3 - Направления изменений маршрутной матрицы

j / i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		0.25	0.3	0.45		2										
1	0.4				0.4			0.2								
2	0.3					0.5			0.2							
3	0.4						0.3			0.3						
4		0.3									0.7					
5			0.4									0.6				
6		1		0.5									0.5			
7		0.2												0.5		
8			0.25												0.4	
9				0.2												0.4
10					0.6			0.4								
j / i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11						0.5			0.5							
12							0.4			0.6						
13								1								
14									1							
15										1						

Выводы

1. Возможности маршрутизации информационных потоков в сетях связи следующего поколения расширяются, если рассматривается одновременно распределения потоков и информаций в разных типах ресурсов с учетом их взаимосвязи.

2. Формализация процедур по изменению значений элементов маршрутной матрицы возможна использованием эффектов обусловленных нелинейностями, которые характеризуют функционирование сети.

3. Распределение потоков информаций в сети осуществляется в соответствий с основным и “зеркальным” изменениями маршрутной матрицы.

4. Возможности численной оценки предлагаемых процедур проиллюстрированы методическим примером.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Суботин М.Ю., Фирсов А.Ю.* Сети нового поколения. Задачи и проблемы. // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. [Электронный ресурс]: URL: http:// jurnal/org/artikes/2008/radio10.html (дата обращения 20.03.2017 г.).

2. Сети связи следующего поколение: Учебное пособие // Д.С. Гулевич – М.:Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 183 с.
3. *Евстафьев В.В., Руденко Н.В., Елфимов М.А., Коньшина Н.А.* Повышение надежности систем связи за счет перераспределения информационных потоков // Труды Северо-Кавказкого филиала Московского технического университета связи и информатики, 26-29 апр./ МТУСИ- Ростов н/Д, 2016, с. 102 – 105.
4. *Макаренко С.И., Чаленко Н.Н., Крылов А.Г.* Сети следующего поколения NGN // Системы управления, связи и безопасности. №1. 2016, С.81-102. [Электронный ресурс]: URL: http:// cyberleninka.ru/article/n/seti-sleduyuschego-pokoleniya-ngn (дата обращения 20.03.2017 г.).

А.В. Елисеев, С.Н. Овсянников, А.Г. Прыгунов

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ЛИНЕЙНОГО ДИСКРЕТНОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: линейная фильтрация, экспертная система, нечеткая логика.

Рассмотрена задача линейной фильтрации параметров вектора состояния объекта, совершающего маневр. Решаются задачи обнаружения маневра и управления коэффициентами фильтра. Для адаптации фильтра использована нечеткая экспертная система. Исследована эффективность фильтра на тестовом примере.

A.V. Eliseev, S.N. Ovsyannikov, A.G. Prigunov

THE CONTROL PARAMETERS OF LINEAR DISCRETE FILTER BASED ON FUZZY EXPERT SYSTEM

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Key words: linear filtering, expert system, fuzzy logic.

We consider the problem of linear filter parameters to the state vector of an object performing the maneuver. Solved the problem of maneuver detection and control coefficients of the filter. For adaptation of the filter used fuzzy expert system. Is-here, we investigate the efficiency of the filter in the test case

Введение. При организации воздушного движения самолетов гражданской авиации органами управления широко используется траекторная информация, поступающая от радиотехнических средств наблюдения. К средствам наблюдения, предназначенным для

контроля параметров положения и движения воздушных судов, относятся первичные и вторичные радиолокационные системы (РЛС), аппаратура автоматического зависимого наблюдения, мультилатерационные системы. Одним из важнейших параметров, характеризующих качество РЛС, является погрешность оценки параметров траектории воздушного судна, особенно в условиях его маневрирования. Данная погрешность зависит от многих факторов, в том числе и от используемых методов и алгоритмов вторичной обработки радиолокационных измерений. В системе вторичной обработки широко используются алгоритмы динамической фильтрации [1-6]. Особенностью данных алгоритмов является появление существенной динамической погрешности в условиях маневра летательного аппарата. Таким образом, актуальной является задача снижения указанной погрешности.

Цель работы – снижение динамической ошибки $\alpha-\beta-\gamma$-фильтрации параметров траектории маневрирующего летательного аппарата.

Решаемая задача: разработка алгоритма настройки параметров $\alpha-\beta-\gamma$ - фильтра.

Математическая постановка задачи. Пусть вектор состояния

$$\mathbf{X}(j)=\left[x(j),\dot{x}(j),\ddot{x}(j),y(j),\dot{y}(j),\ddot{y}(j)\right]^T$$

маневрирующего объекта, например, летательного аппарата, на интервале времени $[t_0,T]$ описываются разностным уравнением[1]

$$\mathbf{X}(t_{j+1})=\mathbf{X}(j+1)=\begin{cases}\boldsymbol{\Phi}(j+1,j)\mathbf{X}(j)+\boldsymbol{\Gamma}(j+1,j)\mathbf{N}_x(j),\\ if\ t_j\in[t_0,T]=[t_0,t_{\text{BM}}[\cup[t_{\text{EM}},T];\\ \boldsymbol{\Phi}(j+1,j)\mathbf{X}(j)+\boldsymbol{\Gamma}(j+1,j)\left(\mathbf{A}_x(j)+\mathbf{N}_x(j)\right),\\ if\ t_{\text{BM}}\le t_j<t_{\text{EM}};\\ \mathbf{X}(t_0)=\mathbf{X}_0,\mathbf{X}(t_{\text{BM}})=\mathbf{X}_{\text{BM}},\ \mathbf{X}(t_{\text{EM}})=\mathbf{X}_{\text{EM}},\end{cases} \quad (1)$$

а уравнение наблюдения имеет вид

$$\mathbf{Z}(j)=\mathbf{H}(j)\mathbf{X}(j)+\mathbf{N}_z(j),\ j=0,1,2,\ldots, \quad (2)$$

где $\mathbf{X}(j)$ – вектор неизвестных параметров процесса; $\mathbf{Z}(j)$ – вектор измерений; $\boldsymbol{\Phi}(j+1,j)$, $\boldsymbol{\Gamma}(j+1,j)$, $\mathbf{H}(j)$ – известные функциональные матрицы; $\mathbf{A}_x(j)$ – вектор интенсивностей изменения маневра, элементы которого неизвестны; t_{BM}, t_{EM} – время начала и конца маневра, соответственно; $\mathbf{X}_0,\mathbf{X}_{\text{BM}},\mathbf{X}_{\text{EM}}$ – начальные условия модели (2) для временных интервалов $[t_0,t_{\text{BM}}[$, $[t_{\text{BM}},t_{\text{EM}}[$, $[t_{\text{EM}},T]$, соответственно, характеризующиеся различными априорно неизвестными значениями ускорения объекта по координатам $x(j)$ и $y(j)$: $\ddot{x}(j)\in[a_{x\,min},a_{x\,max}]$, $\ddot{y}(j)\in[a_{y\,min},a_{y\,max}]$; $\mathbf{N}_x(j)$, $\mathbf{N}_z(j)$ – случайные шумы, соответственно, объекта (1) и канала наблюдения (2), имеющие нулевые значения математического ожидания и корреляционные матрицы $\mathbf{Q}(j)$, $\mathbf{R}(j)$.

Требуется: на основе обработки в реальном времени текущих наблюдений $\mathbf{Z}(j)$ получить оптимальную, в среднеквадратическом смысле, оценку $\hat{\mathbf{X}}(j)$ вектора состояния

(1) в условиях априорной параметрической неопределенности относительно значений начальных ускорений воздушного судна.

Решение задачи. Полагаем, что для обеспечения формирования оценки $\widehat{\mathbf{X}}(j)$ вектора состояния (1) в реальном времени и снижения требований к объему памяти и производительности подсистемы вторичной обработки измерений используем $\alpha-\beta-\gamma$ (альфа-бета-гамма) – алгоритм фильтрации [1, 14]:

$$\widehat{\mathbf{X}}(j+1)=\widehat{\mathbf{X}}(j+1|j)+\mathbf{K}(j+1)\left[\mathbf{Z}(j+1)-\mathbf{H}(j+1)\widehat{\mathbf{X}}(j+1|j)\right], \quad (3)$$

$$\widehat{\mathbf{X}}(j+1|j)=\mathbf{\Phi}(j+1,j)\widehat{\mathbf{X}}(j), \quad (4)$$

где

$$\mathbf{K}(j)=\begin{bmatrix} \alpha_x & 0 \\ \beta_x/\Delta T & \\ 2\gamma_x/\Delta T^2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \alpha_y \\ 0 & \beta_y/\Delta T \\ & 2\gamma_y/\Delta T^2 \end{bmatrix},$$

$\Delta T=t_j-t_{j-1}$ – интервал времени между измерениями $\mathbf{Z}(j)$, $j=1,2,3,\ldots$, $\alpha_x(j)$, $\beta_x(j)$, $\gamma_x(j)$, $\alpha_y(j)$, $\beta_y(j)$, $\gamma_y(j)$– элементы матрицы коэффициентов усиления $\mathbf{K}(j)$.

В работе [1] показано, что в общем случае коэффициент $\alpha_i(j), i\in\{x, y\}$ определяется следующим образом:

$$\alpha_i(j)=\frac{2(2j-1)}{j(j+1)}. \quad (5)$$

Для расчета коэффициентов $\beta_i(j)$, $\gamma_i(j)$, $i\in\{x, y\}$ целесообразно, с точки зрения минимизации динамической ошибки фильтрации и обеспечения устойчивости фильтра, как показано в работе [14], использовать следующее соотношение между $\alpha_i(j)$, $\beta_i(j)$, $\gamma_i(j)$:

$$\begin{cases}\left(\alpha_i(j)+\beta_i(j)+\gamma_i(j)/2\right)\alpha_i(j)=2\beta_i(j),\\ \beta_i^2(j)=2\alpha_i(j)\gamma_i(j).\end{cases} \quad (6)$$

Оценки дисперсий случайных ошибок фильтрации координаты $\hat{x}_i(j), i=\overline{1,q}$ вектора $\widehat{\mathbf{X}}(j)$, а также её первой и второй производной $\hat{\dot{x}}_i(j), \hat{\ddot{x}}_i(j), i=\overline{1,q}$, соответственно, могут быть найдены, по аналогии с [1], на основе следующих выражений:

$$\begin{cases} \sigma^2_{\tilde{x}_i} = \dfrac{\beta_i\left(2\alpha_i^2 - 3\alpha_i\beta_i + 2\beta_i\right) + 0.5\alpha_i\beta_i\left(2\gamma_i + \beta_i - 4\right)}{\left(\alpha_i\beta_i + 0.5\alpha_i\beta_i - \gamma_i\right)\left(4 - 2\alpha_i - \beta_i\right)}\sigma^2_{x_i}, \\ \sigma^2_{\dot{\tilde{x}}_i} = \dfrac{2\left(\beta_i - \gamma_i\right)\beta_i^2 + \gamma_i^2\left(2 - \alpha_i\right)}{\Delta T^2\left(\alpha_i\beta_i + 0.5\alpha_i\gamma_i - \gamma_i\right)\left(4 - 2\alpha_i - \beta_i\right)}\sigma^2_{x_i}, \\ \sigma^2_{\ddot{\tilde{x}}_i} = \dfrac{2\beta_i^2\gamma_i^2}{\Delta T^4\left(\alpha_i\beta_i + 0.5\alpha_i\gamma_i - \gamma_i\right)\left(4 - 2\alpha_i - \beta_i\right)}\sigma^2_{x_i}. \end{cases} \quad (7)$$

где $\sigma^2_{x_i}$ – дисперсия погрешности измерения координаты $x_i(j), i = \overline{1,q}$.

Из анализа формы записи алгоритма $\alpha-\beta-\gamma$-фильтра следует, что в уравнении фильтрации, предназначенном для прогноза оценки (4), отсутствует составляющая $\mathbf{\Gamma}(j+1,j)\mathbf{A}_x(j)$, входящая в модель информационного процесса (1). Это обусловлено, согласно постановке задачи, условием априорной параметрической неопределенности вектора $\mathbf{A}_x(j)$. Таким образом, используемое уравнение прогноза (4) имеет некоторый уровень неадекватности относительно моделируемого процесса (1). Указанная неадекватность в некоторых случаях может привести к потере устойчивости и к росту ошибок фильтрации, особенно в момент значительного изменения вектора ускорений $\mathbf{A}_x(j)$, то есть при маневре объекта. Данный случай характерен, например, при заходе воздушного судна на посадку по «коробочке». Таким образом, с целью обеспечения устойчивости алгоритма фильтрации (3)–(4) в условиях недостаточной адекватности модели (1) реальному процессу, потребуется адаптация его параметров, например, путем изменение коэффициента усиления фильтра $\mathbf{K}(j)$.

Таким образом, для адаптации $\alpha-\beta-\gamma$-фильтра необходимо последовательное решение двух основных задач: обнаружение начала или окончания маневра и управление значениями элементов коэффициента усиления $\mathbf{K}(j)$.

Рассмотрим последовательно решения указанных задач.

Задача обнаружения маневра. Для решения данной задачи в состав адаптивного $\alpha-\beta-\gamma$-фильтра необходимо ввести обнаружитель маневра (ОМ) [1], который должен формировать признак маневра $SM(t_j) = SM(j) \in \{0,1\}$, принимающий значение «1» в случае обнаружения начала маневра (продолжения маневра), или значение «0» – в случае окончания маневра (отсутствия маневра).

Введем по аналогии с [6] два дополнительных показателя невязки: показатель модуля среднего арифметического значения невязки $\left|\bar{\varepsilon}(j)\right|$, показатель среднего арифметического модуля значения невязки $\overline{\left|\varepsilon(j)\right|}$ (при этом для простоты изложения без потери общности примем, что невязка является скалярной):

$$\left|\bar{\varepsilon}(j)\right| = \frac{\left|\sum_{i=0}^{n-1}\varepsilon(j-i)\right|}{n}; \qquad \overline{\left|\varepsilon(j)\right|} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1}\left|\varepsilon(j-i)\right|}{n}, \quad (8)$$

где n - количество подряд следующих измерений, используемых для обнаружения маневра, $\boldsymbol{\varepsilon}(j) = \mathbf{Z}(j) - \mathbf{H}(j)\widehat{\mathbf{X}}(j|j-1)$.

Критерий обнаружения маневра, с учетом (8), будет имеет вид

$$K_{\text{ОМ}} \equiv \begin{cases} (SM = 1),\ if\ \ \left|\bar{\varepsilon}(j)\right| = \overline{\left|\varepsilon(j)\right|}, \\ (SM = 0),\ if\ \ \left|\bar{\varepsilon}(j)\right| < \overline{\left|\varepsilon(j)\right|}. \end{cases} \tag{9}$$

Задача управления значениями элементов коэффициента усиления $\mathbf{K}(j)$.

Применим для адаптации $\alpha-\beta-\gamma$ - фильтра к изменению модели движения объекта оперативно советующую экспертную систему (ОСЭС), основанную на применении нечеткого логического вывода [7, 8].

Будем считать, что процесс функционирования фильтра можно представить в виде кортежа некоторых проблемных ситуаций (ПрС). При этом любая ПрС описывается ситуационным вектором $\mathbf{sv} = \left[sv_k, k = \overline{1,K} \right]^T$, каждая координата которого sv_k является лингвистической переменной с заданным множеством термов $\left\{ SV_k^l, l = \overline{1, m_k} \right\}$. Полагаем, что для некоторых конкретных реализаций ситуационного вектора $\mathbf{sv}^*$ имеются прецеденты успешного решения текущей ПрС, характеризующиеся некоторым прецедентным вектором $\mathbf{pv} = \left\{ pv_m, m = \overline{1, m_{PV}} \right\}$, каждая координата которого pv_m является лингвистической переменной с заданным множеством термов $\left\{ PV_m^p,\ p = \overline{1, n_m} \right\}$.

Пусть ПрС, возникающая при функционировании $\alpha-\beta-\gamma$ - фильтра, описывается ситуационным вектором $\mathbf{sv} = \left[sv_k, k = \overline{1,2} \right]^T$ с элементами: sv_2 – «значение модуля относительной ошибки $\left|\delta\varepsilon(j)\right|$», при этом $\left|\delta\varepsilon(j)\right|$ определяется формулой

$$\left|\delta\varepsilon(j)\right| = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \left|\varepsilon(j-i)\right|}{n\sigma^*},$$

где σ^* – некоторое допустимое значение среднеквадратического отклонения ошибки $\varepsilon(j)$.

Пусть указанные переменные описываются следующими терм-множествами:
$\mathbf{SV}_1 = \{\text{"PE", "IDE"}\} = \left\{ SV_1^l, l = \overline{1,2} \right\}$; $\mathbf{SV}_2 = \{\text{"VSE", "SE", "AE", "BE", "VBE"}\} = \left\{ SV_2^l, l = \overline{1,5} \right\}$, где "PE", "IDE" – термы «допустимая ошибка» и «недопустимая динамическая ошибка», соответственно, "VSE" – «очень малая ошибка», "SE" – «малая ошибка», "AE" – «средняя ошибка», "BE" – «большая ошибка», "VBE" – «очень большая ошибка».

Полагаем, что лингвистическая переменная sv_1 задана на унифицированном универсальном множестве $E = \{0, 1\}$, лингвистическая переменная sv_2 – на универсуме $E = \left[0, \left|\delta\varepsilon_{\max}\right| \right]$, а их термы описываются функциями принадлежности $\mu_{SV_k} \in \left\{ \mu_{SV_k^l}, l = \overline{1, m_k} \right\}$.

Пусть термы лингвистической переменной sv_1 описываются функциями принадлежности типа синглетон:

$$SV_1^1 : \mu_{SV_1^1} = \delta\left(x, \overline{x}_1^1\right) = \begin{cases} 1, if\ x = \overline{x}_1^1 = 0 - \text{ситуация: } "PE"; \\ 0, \text{если } x \neq \overline{x}_1^1; \end{cases}$$

$$SV_1^2 : \mu_{SV_1^2} = \delta\left(x, \overline{x}_1^2\right) = \begin{cases} 1, if\ x = \overline{x}_1^2 = 1 - \text{ситуация: } "IDE; \\ 0, if\ x \neq \overline{x}_1^2. \end{cases}$$

Термы лингвистической переменной sv_2 описываются функциями принадлежности вида [7]:

$$\text{термы } SV_2^1,\ SV_2^5:\ \mu_{SV_2^l}\left(|\delta\varepsilon|\right) = 1 - \frac{1}{1 + \exp\left(-a_{2l}\left(|\delta\varepsilon| - c_{2l}\right)\right)}, l \in \{1, 5\}, \quad (10)$$

$$\text{термы } SV_2^2, SV_2^3, SV_2^4:\ \mu_{SV_2^l}\left(|\delta\varepsilon|\right) = \exp\left(\frac{-\left(|\delta\varepsilon| - c_{2l}\right)^2}{a_{2l}}\right), l \in \{2, 3, 4\}, \quad (11)$$

где $a_{2l}, c_{2l},\ l = \overline{1,5}$ – параметры функций принадлежности.

Учитывая, что управляемым параметром $\alpha - \beta - \gamma$ - фильтра, как было сказано ранее, является матрица коэффициентов усиления $\mathbf{K}(j)$, а в частном скалярном случае – коэффициенты $\alpha(j)$, $\beta(j)$, $\gamma(j)$ введем в рассмотрение прецедентный вектор $\mathbf{PV} = \left\{pv_m, m = \overline{1, m_{PV}}\right\} = \{pv_1\}$, состоящий из одной переменной pv_1 – «значение коэффициента $\alpha(j)$». При этом будем полагать, что вид прецедентного вектора определяется значением элемента ситуационного вектора sv_1 – «тип ошибки фильтрации».

При этом, когда $sv_1 = "PE"$, значение $\alpha(j)$ определяется на основе следующего прецедента

$$pv_1:\ \alpha(j) = \begin{cases} 0.743 - 0.043\, j, \text{при } j \leq 8, \\ 0.4 \text{ при } j > 8. \end{cases} \quad (12)$$

В случае, когда sv_1 принимает лингвистическое значение «недопустимая динамическая ошибка», прецедентный вектор содержит лингвистическую переменную pv_1, заданную на универсуме $E = [0, 1]$, а её термы описываются функциями принадлежности $\mu_{PV_1} \in \left\{\mu_{PV_1^p},\ p = \overline{1, n_m}\right\}$.

Пусть лингвистическая переменная pv_1 характеризуется следующим терм-множеством:

$$\mathbf{PV}_1 = \{"VSV\ \alpha",\ "SV\ \alpha", "AV\alpha",\ "BV\ \alpha", "VBV\alpha"\} = \left\{PV_1^p,\ p = \overline{1,5}\right\},$$

где "VSV α" – «очень малое значение параметра $\alpha(j)$» "SV α" – «малое значение параметра $\alpha(j)$», "AV α" – «среднее значение параметра $\alpha(j)$», "BV α" – «большое значение параметра $\alpha(j)$», "VBV α" – «очень большое значение параметра $\alpha(j)$».

Для задания терм- множества $\mathbf{PV}_1$ можно использовать функции принадлежности, аналогичные (10), (11).

Система нечетких продукционных правил, описывающих механизм функционирования ОСЭС в процессе адаптации $\alpha-\beta-\gamma$ - фильтра на основе управления коэффициентом $\alpha(j)$, будет иметь вид:

$$r=1:\ \text{if}\ \left(sv_1=''PE''\left(\mu_{SV_1^1}\right)\right),\ \text{then}\ \left(pv_1=\begin{cases}0.743-0.043j\ \forall\ j\le 8,\\ 0.4\ \forall\ j>8.\end{cases}\right),$$

$$r=2:\ \text{if}\ \left(sv_1=''IDE''\left(\mu_{SV_1^2}\right)\right)\text{and}\left(sv_2=''VSE''\left(\mu_{SV_2^1}\right)\right),\ \text{then}\ \left(pv_1=''VSV\alpha''\left(\mu_{PV_1^1}\right)\right),$$

$$r=3:\ \text{if}\ \left(sv_1=''IDE''\left(\mu_{SV_1^2}\right)\right)\text{and}\left(sv_2=''SE''\left(\mu_{SV_2^2}\right)\right),\ \text{then}\ \left(pv_1=''SV\alpha''\left(\mu_{PV_1^2}\right)\right),$$

$$r=4:\ \text{if}\ \left(sv_1=''IDE''\left(\mu_{SV_1^2}\right)\right)\text{and}\left(sv_2=''AE''\left(\mu_{SV_2^3}\right)\right),\ \text{then}\ \left(pv_1=''AV\alpha''\left(\mu_{PV_1^3}\right)\right),$$

$$r=5:\ \text{if}\ \left(sv_1=''IDE''\left(\mu_{SV_1^2}\right)\right)\text{and}\left(sv_2=''BE''\left(\mu_{SV_2^4}\right)\right),\ \text{then}\ \left(pv_1=''BV\alpha''\left(\mu_{PV_1^4}\right)\right),$$

$$r=6:\ \text{if}\ \left(sv_1=''IDE''\left(\mu_{SV_1^2}\right)\right)\text{and}\left(sv_2=''VBE''\left(\mu_{SV_2^5}\right)\right),\ \text{then}\ \left(pv_1=''VBV\alpha''\left(\mu_{PV_1^5}\right)\right).$$

Используя «минимаксное» правило Мамдани-Заде [7] выражение для расчета итоговой функции принадлежности $\mu_{pv_{1\Sigma}}$ выходной лингвистической переменной pv_1 будет иметь вид:

$$\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(sv_1^*, sv_2^*\right)=\max_r\min_{pv_1}\left(\min_k\left(\mu^*_{SV_k(r)}\right),\mu_{PV_1(r)}\right),$$

где $\mu_{SV_k(r)}\in\left\{\mu_{SV_k^l},\ l=\overline{1,m_k}\right\}$, $\mu_{PV_1(r)}\in\left\{\mu_{PV_1^p},\ p=\overline{1,n_m}\right\}$ – функции принадлежности соответственно лингвистических переменных sv_k и pv_1, входящие в состав продукционного правила с номером r, sv_1^*, sv_2^* – четкие значения входных переменных, $\mu^*_{SV_k(r)}=\mu_{SV_k(r)}\left(sv_k^*\right)$.

Для нахождения четкого значения pv_1^* выходной переменной используем, по аналогии с [7], метод «центра тяжести»:

$$pv^*_{1\Sigma}=\frac{\dfrac{pv^*_{1(\min)}\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\min)}\right)}{2}+\sum_{i=1}^{M}pv^*_{1(i)}\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(i)}\right)+\dfrac{pv^*_{1(\max)}\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\max)}\right)}{2}}{\dfrac{\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\min)}\right)}{2}+\sum_{i=1}^{M}\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(i)}\right)+\dfrac{\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\max)}\right)}{2}},\qquad(13)$$

где $pv^*_{1\Sigma}$ – абсцисса центра тяжести фигуры, образованной графиком итоговой функции принадлежности $\mu_{pv_{1\Sigma}}$ и осями координат, при изменении переменной pv_1^* от $pv^*_{1(\min)}$ до $pv^*_{1(\max)}$.

После определения на основе (13) адаптивного коэффициента $\alpha(j)$ рассчитываются, учетом условия (6), оставшиеся неизвестные коэффициенты $\beta(j)$ и $\gamma(j)$:

$$\beta(j)=4\left(1-\sqrt{1-\alpha(j)}\right)-2\alpha(j),\ \gamma(j)=\beta^2(j)\Big/2\alpha(j).\qquad(14)$$

Таким образом, алгоритм функционирования адаптивного фильтра можно описать следующими шагами:

– обнаружение факта начала маневра на основе использования критерия (9);

– расчет коэффициента $\alpha(j)$ с использованием ОСЭС на основе выражения (13);

– расчет коэффициентов $\beta(j)$ и $\gamma(j)$ с использованием выражения (14);

– обнаружение факта окончания маневра на основе использования критерия (9) и использование для расчета коэффициента $\alpha(j)$ выражения (12).

Моделирование. Для оценки эффективности разработанного алгоритма было проведено математическое моделирование. Использовалась следующая модель вектора состояния летательного аппарата:

$$\mathbf{X}(j+1)=\begin{cases}\mathbf{\Phi}\,\mathbf{X}(j)+\mathbf{\Gamma}\,n_x(j),\\ if\ \ j\in[1,600]=[0,100[\cup[200,400[\cup[500,600];\\ \mathbf{\Phi}(j+1,j)\,\mathbf{X}(j)+\mathbf{\Gamma}(j+1,j)\left(\mathbf{A}_x(j)+\mathbf{N}_x(j)\right),\\ if\ \ j\in[1,600]=[100,200[\cup[400,500[;\\ \mathbf{X}(j)=\left[r(j),v(j),a(j)\right]^T,\ \mathbf{X}(0)=\left[10^5\ \text{м},\,83\ \text{м/с},\,0\ \text{м/с}^2\right]^{\mathrm{T}};\\ a\,(0)=a\,(200)=a\,(500)=0;\ a\,(100)=1.5g,\ a\,(400)=-4g,\end{cases}$$

$$\mathbf{\Phi}=\begin{bmatrix}1 & \tau & \tau^2/2\\ 0 & 1 & \tau\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix},\ \mathbf{\Gamma}=\begin{bmatrix}\tau^2/2\\ \tau\\ 1\end{bmatrix},\ \mathbf{H}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\end{bmatrix},\ \text{где}\ \tau=t_{j+1}-t_j=1\text{с},\ \ j=\overline{0,600}.$$

На рисунке 1 показан результат принятия на основе критерия (9) решения о наличии или отсутствии маневра.

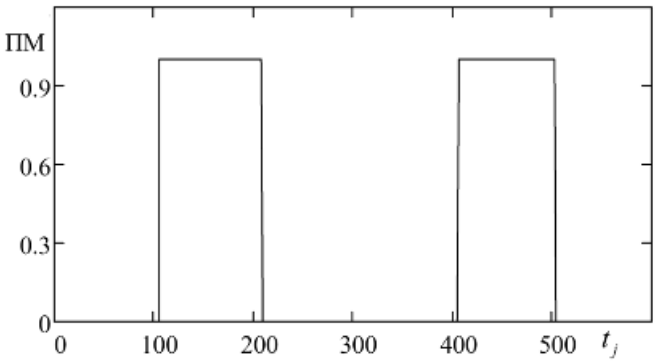


Рисунок 1 - График функции «Признак маневра (ПМ)»

На рисунке 2 показана динамика адаптации коэффициента $\alpha(j)$ к маневру летательного аппарата.

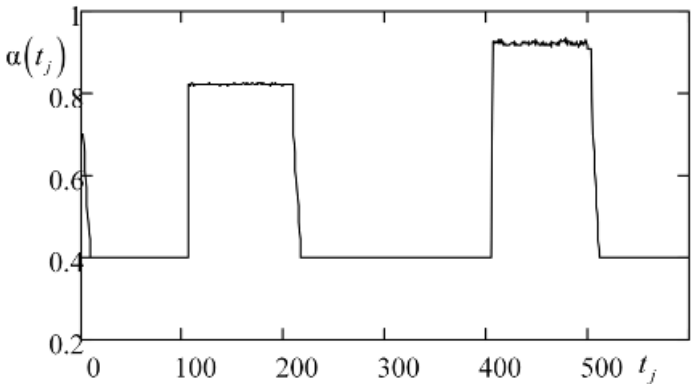


Рисунок 2 – График изменения коэффициента $\alpha(j)$ для адаптивного $\alpha-\beta-\gamma$-фильтра

В результате моделирования установлено снижение динамической ошибки фильтрации на 25% по сравнению с классическим неадаптивным $\alpha-\beta-\gamma$-фильтром.

Следует отметить, что при наличии в измерениях (2) мультиструктурных помех целесообразно для первичной обработки использовать алгоритмы, рассмотренные в работах [9-13].

Выводы. Применение разработанного алгоритма в условиях априорной неопределенности о значении ускорения объекта позволяет уменьшить динамическую ошибку фильтрации (для конкретного примера на 25%) за счет управления коэффициентами усиления $\alpha-\beta-\gamma$-фильтра на основе нечетких продукционных правил, анализирующих тип и значение ошибки фильтрации. Отличительной особенностью данного фильтра является наличие обратной связи по ошибке фильтрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фарина А., Студер Ф.* Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320с.
2. *Елисеев А.В., Калашников Р.М., Тюрин Д.А.* Алгоритм дискретной фильтрации в условиях динамических помех наблюдения // Автоматизация и современные технологии. 2014. №5. С. 26–34.
3. *Елисеев А.В., Крылов А.А., Остапенко А.В.* Алгоритмы обработки измерений параметров движения маневрирующего объекта в условиях неравноточных измерений // Радиотехника. 2014. №8. С. 29–38.
4. *Елисеев А.В.* Оценивание вектора состояния объекта на основе фильтра с нечеткой логикой // Авиакосмическое приборостроение. 2006. №4. С. 30–38.
5. *Елисеев А.В.* Алгоритм линейной фильтрации, устойчивый к сингулярным ошибкам // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2005. Т. 48. № 10. С. 20-29.
6. *Родкин М.М.* Адаптивный метод настройки фильтра Калмана // VI Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». ИРЭ им Котельникова РАН. 19–22 ноября 2012. С. 125–128.
7. *Гостев В.И.* Проектирование нечетких логических регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. –416с.

8. *Елисеев А.В.* Идентификация нечеткой модели в задаче синтеза регулятора // Автоматизация и современные технологии. 2005. №11. С. 3–12.
9. *Елисеев А.В., Калашников Р.М., Тюрин Д.А.* Алгоритм обработки измерений и адаптации математического обеспечения информационно-измерительной системы в условиях изменения модели информационного процесса // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. №8. С. 9-17.
10. *Булычев Ю.Г., Елисеев А.В.* Алгоритм обработки измерений при кусочно-непрерывной помехе // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2007. № 2. С. 57-64.
11. *Булычев Ю.Г., Елисеев А.В., Лапсарь А.П.* Повышение точности динамических измерений с использованием метода конечных разностей // Измерительная техника. 2006. № 4. С. 16-21.
12. *Булычев Ю.Г., Елисеев А.В.* Обработка измерений в условиях мультиструктурных помех // Автометрия. 2007. Т. 43. № 5. С. 26-38.
13. *Булычев Ю.Г., Елисеев А.В.* Обработка измерений в условиях мультиструктурных помех // Автометрия. 2007. Т. 43. № 5. С. 26-38
14. *Neal S. R.* Discussion on «Parametric relations for the $\alpha-\beta-\gamma$ filter predictor» // IEEE Trans, on AC-12, June 1967, p. 315 - 316.

М.А. Елфимов, Н.В. Руденко, В.В. Евстафьев, Н.А. Коньшина, В.А. Федотов, М.К. Баженов

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ, РАЗМЕЩАЕМЫХ НА НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ДИРИЖАБЛЯХ

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: инфокоммуникационные системы, аэростатные дирижабли, электроснабжение, возобновляемые источники энергии, топливные элементы.

Рассмотрено предложение по использованию аэростатных дирижаблей для предоставления услуг сотовой связи, интернета, цифрового телевидения. Показана целесообразность использования гибридной солнечно-ветро-водородной энергетической установки для электроснабжения телекоммуникационной аппаратуры, размещаемой на дирижабле. Рассмотрен опыт использования возобновляемых источников энергии для электроснабжения указанной аппаратуры.

M.A. Elfimov, N.V. Rudenko, V.V. Evstafyev, N.A. Konshina, V.A. Fedotov, M.K. Bazhenov

ELECTRICAL SUPPLY OF INFOCOMMUNICATION SYSTEMS, LOCATED ON LOW-ORBITAL DIRECTIONS

Don state technical University, Rostov-on-don, Russia

Keywords: infocommunication systems, balloon airships, power supply, renewable energy sources, fuel cells.

The proposal for the use of balloon airships for the provision of cellular communication services, the Internet, and digital television is considered. The expediency of using a hybrid solar-wind-hydrogen power plant for power supply of telecommunication equipment placed on an airship is shown. The experience of using renewable energy sources for power supply of the specified equipment is considered

Актуальность вопроса. В настоящее время обеспечение людей сотовой связью, а так же мобильным интернетом происходит за счёт базовых станций сотовой связи. Однако радиус действия стандартной базовой станции на частоте 1800 МГц не превышает 6-7 км [1], а их электропитание осуществляется традиционно от централизованной системы электроснабжения. Поэтому реализовать услуги связи в отдалённых и труднодоступных районах России оказывается практически невозможным. Так население 1343 населенных пунктов в России с численностью жителей от 500 до 10 тыс. остаются без доступа к интернету и мобильной связи. Эти малые города и села находятся, главным образом, в Ставропольском крае, Республике Башкортостан, Новосибирской области, Республике Дагестан и Карачаево-Черкесской Республике. Отсутствие интернета в них обусловлено отсутствием волоконно-оптических линий связи [2].

Решение этой проблемы было предложено академиком РАН Велиховым Е.П. Он отметил, что для создания инфраструктуры связи России не обязательно повсюду тянуть провода. Гораздо более перспективна беспроводная технология, связанная с воздухоплаванием. Антенна, установленная на аэростате, в состоянии передавать информацию в радиусе 30 км. Аэростат можно в буквальном смысле слова привязать тросом к конкретной точке на местности, либо перевозить с места на место [3].

Эту же идею реализует британская фирма ATG, которая разрабатывает дирижабельный комплекс StratSat(TM). Планируется создать флот из 19 дирижаблей над Великобританией, который сможет не только полностью обеспечить работу сетей мобильных телефонов, но и ретранслировать сигналы телевидения, цифрового радиовещания, интернета и служб наблюдения. ATG предлагает заменить дирижаблями обслуживающие мобильные телефоны релейные мачты, которые считают опасными для здоровья из-за создаваемого ими высокочастотного излучения. Фирма ATG считает, что система ее дирижаблей заменит не только нынешние 4 тыс. релейных мачт, но и еще 10 тыс. мачт, необходимых в будущем для обеспечения работы мобильных телефонов третьего поколения [3].

Цель и задачи исследования. В настоящее время отсутствует надёжная система электроснабжения телекоммуникационного оборудования, размещаемого на низкоорбитальных дирижаблях и стратостатах, для обеспечения работы этого оборудования максимально продолжительное время. Целью исследования является разработка предложений по использованию возобновляемых источников энергии для электроснабжения телекоммуникационного оборудования, размещаемого на низкоорбитальных дирижаблях, а также предложения по созданию и на их основе гибридной солнечно-ветро-водородной энергетической установки (ГСВВЭУ).

Результаты исследования. Использование солнечной энергии. Солнечные батареи представляют собой фотоэлектрические элементы, которые под воздействием солнечных лучей генерируют электрическую энергию. Дирижабль использует солнечные панели, которые в своей совокупности дают энергию мощностью 67,2 кВт [4]. Используя внешнюю обшивку с расширяемыми газонаполненными фотоэлементами, дирижабль поднимается до высоты от 9000 м и выше, где снижается неблагоприятное влияние атмосферы. Кроме этого, на высоте, превышающей уровень облаков, создаются оптимальные условия для максимального захвата солнечных лучей панелями солнечных батарей [4]. Низкая температура окружающего воздуха на большой высоте также способствует повышению производства энергии от солнечных батарей до 30%. Шаровой сегмент расположен в верхней части оболочки, а солнечные батареи на нем закреплены с внутренней стороны. При этом верхняя часть оболочки выполнена из материала, прозрачного для солнечных лучей в видимом диапазоне спектра, но не прозрачного в инфракрасном диапазоне спектра [4]. Техническим результатом дирижабля с солнечными батареями является его повышенная подъемная сила, обусловленная подогревом подъемного газа в оболочке тепловым инфракрасным излучением [5].

Использование ветровой энергии. Сегодня в мире широко распространены ветродвигатели и ветрогенераторы для преобразования энергии ветра в энергию электрическую. Важным вопросом является выбор конструкции ветрогенератора для его использования на аэростате. Такой ветрогенератор должен обеспечивать электроснабжение аппаратуры и системы стабилизации в ночное время суток. Современные технологии позволили создать ветроустановку в виде полноценного дирижабля [6]. Но подобная ветроустановка имеет очень большие массогабаритные характеристики для использования её в качестве источника энергии для отдельного дирижабля. Решением проблемы может стать использование более компактной конструкции ветрогенератора, на основе системы «МАНТА». Она представляет собой скатообразный воздухозаборник, в центре которого находится вращающиеся лопасти ветрогенератора. В целях упрощения и облегчения конструкции воздуховод может быть выполнен в виде надутого водородом пневмокрыла для увеличения подъемной силы, а турбина ветрогенератора может быть размещена внутри корпуса. Сама система может находиться на большой высоте, в зоне стабильно сильных воздушных потоков. Отличительной особенностью данной системы является то, что благодаря своей конструкции воздухозаборники и турбина всегда будут повернуты в направлении наиболее сильного ветра. Таким образом, имея данную систему, появляется возможность использовать её как полноценный источник энергии для работы дирижабля в ночное время суток (рисунок 1) [7].

Рисунок 1 - Аэростатный дирижабль с использованием воздушной системы «МАНТА»: 1 – воздухозаборник, 2 – турбина ветрогенератора

Использование топливных элементов. В дневное время аппаратура связи использует энергию от солнечных батарей и ветроустановки. При этом происходит заряд аккумуляторных батарей. В ночное время электроснабжение аппаратуры связи осуществляется от ветроустановки и аккумуляторных батарей. В случае отсутствия ветра в ночное время предусмотрено использование водородных топливных элементов. Для этого к дирижаблю крепятся ёмкости с водородом и кислородом. Система использует генерируемую солнечными батареями и ветроустановкой электроэнергию для расщепления воды на водород и кислород, сохраняемые в ёмкостях. Ночью топливные ячейки рекомбинируют кислород и водород, что создает достаточное количество электроэнергии для работы аппаратуры связи и вращения пропеллеров системы стабилизации [8]. На следующие сутки процесс повторяется. Система также производит тепло, которое предохраняет воду от замерзания на высоте. В ночное время эти составляющие будут сгорать в двигателе, пополняя запасы воды на борту.

Рассмотренные варианты решений задачи энергоснабжения инфокоммуникационных систем, размещаемых на аэростатных дирижаблях, позволяют сделать **следующие выводы.**

1. С целью надёжного электроснабжения инфокоммуникационных систем, размещаемых на аэростатных дирижаблях, целесообразно использовать гибридную солнечно-ветро-водородной энергетическую установку.

2. Алгоритм управления такой установки предполагает первоочередное использование солнечной и ветровой энергии. При этом водородные топливные элементы работают в качестве резервного источника по полному циклу с возможностью накопления энергии. Это позволяет продлить ресурс автономной работы телекоммуникационной аппаратуры и повысить эффективность её использования.

3. Используемые в составе ГСВВЭУ источники энергии являются экологически чистыми и по истечению срока службы подлежат утилизации, как обычная техника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Денисов Д.В.* Базовые станции сотовой связи и их антенная часть. Электронный портал NAG. [Электронный ресурс]: URL: // http://nag.ru/articles/article/29957/bazovyie-stantsii-sotovoy-svyazi-i-ih-antennaya-chast.html (дата обращения 14.03.2017)
2. Электронный портал Cnews. Издания о высоких технологиях. В 1343 городах и селах России нет интернета и сотовой связи. [Электронный ресурс]: URL: // http://www.cnews.ru/news/top/v_1343_gorodah_i_selah_rossii_net_interneta (дата обращения 14.03.2017)
3. *Бендин С.В.* Низкоорбитальные дирижабли придут на замену спутникам связи. [Электронный ресурс]: URL: // http://www.cnews.ru/articles/nizkoorbitalnye_dirizhabli_pridut_na (дата обращения 14.03.2017)
4. Электронный портал «Энергонезависимость». Дирижабль на солнечных батареях предлагает грузоперевозки без вредных выбросов. [Электронный ресурс]: URL: // http://ennt.ru/news/2010-04-16/215/ (дата обращения 14.03.2017).
5. *Шоромов Н.П.* Дирижабль с солнечными батареями. [Электронный ресурс]: URL: // http://www.findpatent.ru/patent/240/2404903.html (дата обращения 17.03.2017).
6. Электронный портал DailyTechInfo. Машины-монстры: Высотный ветрогенератор-дирижабль - способ получения дешевой возобновляемой энергии. [Электронный ресурс]: URL: // http://www.dailytechinfo.org/eco/3517-mashiny-monstry-vysotnyy-vetrogenerator-dirizhabl-sposob-polucheniya-deshevoy-vozobnovlyaemoy-energii.html (дата обращения 25.03.2017)
7. Электронный портал Skif. Альтернативные источники энергии. [Электронный ресурс]: URL: // https://www.skif.biz/index.php?name=Pages&op=page&pid=53 (дата обращения 26.03.2017).
8. Вышки для сотовой связи могут висеть в воздухе: [Электронный ресурс]: URL: // http://old.ci.ru/inform02_03/p_10-11.htm (дата обращения 27.03.2017).

И.А. Енгибарян, А.В. Ермолаев, *О.А. Сафарьян, *А.И. Тютюнникова

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВОЙСТВ ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия
*ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: инфокоммуникационная система, эмерджентность, стабильность и точность формирования сигналов, метод статистической стабилизации частоты, вероятность битовой ошибки.

Рассматриваются вопросы оценки эффективности при использовании свойства эмерджентности для повышения стабильности и точности формирования сигналов в инфокоммуникационных системах. Основой достижения эмерджентности инфокоммуникационной системы является использование метода статистической стабилизации частоты совокупности одновременно и независимо работающих генераторов. Проанализировано проявление эмерджентности в инфокоммуникационной системе как повышение стабильности частоты генераторов и соответствующее уменьшение вероятности битовой ошибки при передаче сигналов.

I.A. Engibaryan, A.V. Yermolayev, *O.A. Safar'yan, A.I. Tyutyunnikova

EFFICIENCY ESTIMATION OF USAGE OF EMERGENTNESS PROPERTIES IN INFOKOMMUNICATION SYSTEMS

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: info communication system, emergentness, stability and exactness of forming of signals, method of the statistical stabilizing of frequency, bit error probability.

The report deals with evaluation of efficiency in usage of the properties of emergence to enhance the stability and accuracy of signal formation in information and communication systems. The basis for achieving the emergence of information and communication systems is using of the statistical method of frequency stabilization of aggregate simultaneously and independently of the generators. The demonstration of emergence in information and communication system improving the frequency stability of generators and the corresponding decrease of the probability of bit error in the transmission of signals is analyzed.

Все более расширяющаяся интеграция телекоммуникационных и информационных технологий в единую структуру – инфокоммуникационные технологии – представляет собой общемировую тенденцию, обеспечивающую расширение возможностей по предоставлению глобальных информационных сервисов на основе развития телекоммуникационной сети. Быстрое развитие потребностей в различных сетевых сервисах, обусловило переход от «экономики трафика» к «экономике сервиса». Такой переход, в первую очередь, определяет развитие телекоммуникаций в неразрывной связи с развитием сервисов, которые выстраиваются на базе сетевых приложений. В то же время возможности предоставления различных и все более усложняющихся сетевых сервисов во многом определяется возможностью передачи больших объемов цифровых потоков, что напрямую связано с достоверностью передачи отдельных символов. Одним из ключевых факторов в осуществлении возможности передачи больших потоков информации является высокая достоверность передачи отдельных символов, что напрямую связано со стабильностью частоты сигналов в каналах телекоммуникаций [1-4].

В докладе [5] рассматривались вопросы повышения стабильности частоты сигналов в системах телекоммуникаций на основе использования свойства эмерджентности совокупности одновременно и независимо работающих генераторов. Примерами таких телекоммуникационных систем, включающих большое число одновременно и независимо работающих генераторов являются системы сотовой связи. Здесь можно, в частности, отметить фрагмент системы сотовой связи, включающий базовую станцию (БС) и абонентов, расположенных в пределах одной соты и базовую станцию, как показано на рисунке 1.

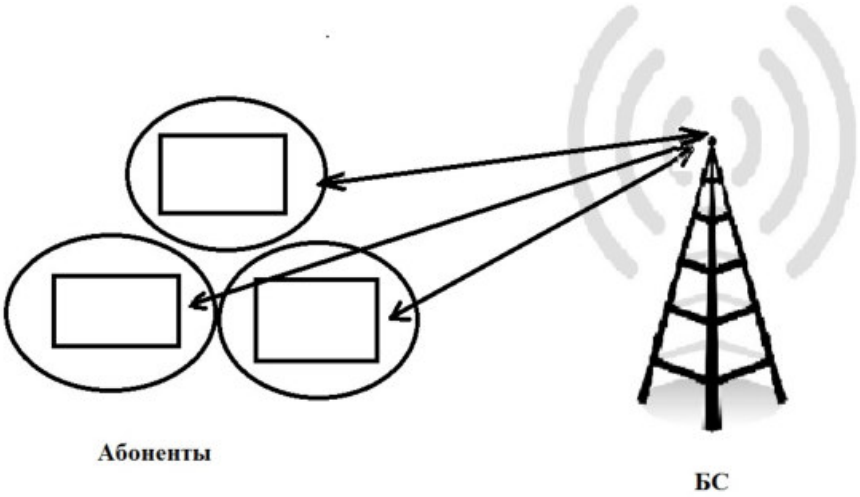


Рисунок 1 – Взаимодействие БС и абонентов, обслуживаемых БС

Другим примером является показанный на рисунке 2 фрагмент системы сотовой связи, включающий базовые станции и центр коммутации.

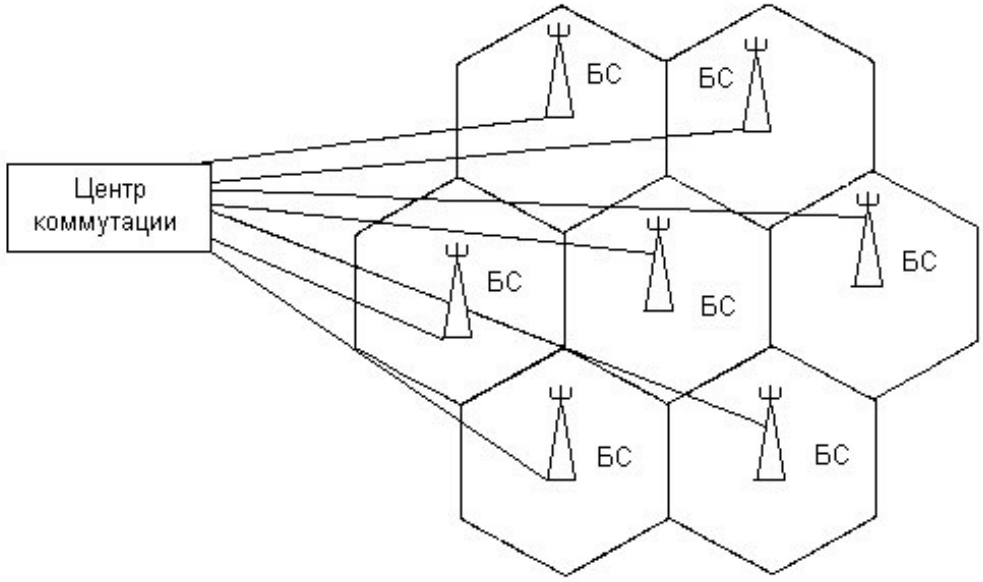


Рисунок 2 – Взаимодействие БС и центра коммутации

В этом случае формирование измерительного интервала может быть обеспечено с использованием генератора центра коммутации. С учетом результатов, приведенных в [5], достигаемое повышение частоты определяется выражением

$$\Delta f_k^{(0)} = t_0^{-1}\left\{\Delta\varphi_k - 2\pi\cdot f_{0k}\,\frac{\sum\limits_{p=1}^{K}\left(\Delta\varphi_p - 2\pi\cdot\Delta f_{0p}\cdot t_0\right)\sigma_{0p}^{-2}f_{0p}^{-1}}{\sum\limits_{p=1}^{K}\sigma_{0p}^{-2}}\right\},\quad k=1,...,K, \qquad (1)$$

где $\Delta\varphi_k$ - отклонение измеренного значения фазы формируемого сигнала k-м генератором от номинального значения на интервале измерений длительностью t, отличающейся от номинальной длительности t_0 на априорно неизвестную величину; Однако под действием внешних факторов, например, изменения температуры f_{0k} - средняя частота k-го генератора; σ_{0k} - относительная нестабильность k-го генератора; K - число одновременно и независимо работающих генераторов.

В частности, при подключении на один центр коммутации K БС относительная нестабильность формируемых генератором каждой БС сигналов может быть снижена в $\sqrt{K}$ раз по отношению к нестабильности самого генератора. Это позволяет, как показано в соотношении [6], повысить уровень принимаемого сигнала, и тем самым снизить вероятность битовой ошибки в передаваемых сигналах.

Передача сигналов от БС к центру коммутации может осуществляться с использованием оптоволоконных линий связи и/или радиорелейных линий на частотах, составляющих единицы-десятки гигагерц, длительность сигналов при использовании временного разделения каналов составляет $4{,}615\cdot10^{-3}$ с. Будем считать, что генераторы базовых станций и центра коммутации имеют одинаковые нестабильности, равные [7]. На рисунке 3 для различных значений частоты несущей сигнала приведена зависимость уровня, который с вероятностью 0,9545 будет превышен автокорреляционной функцией шумоподобного сигнала, от количества БС, подключенных к одному центру коммутации.

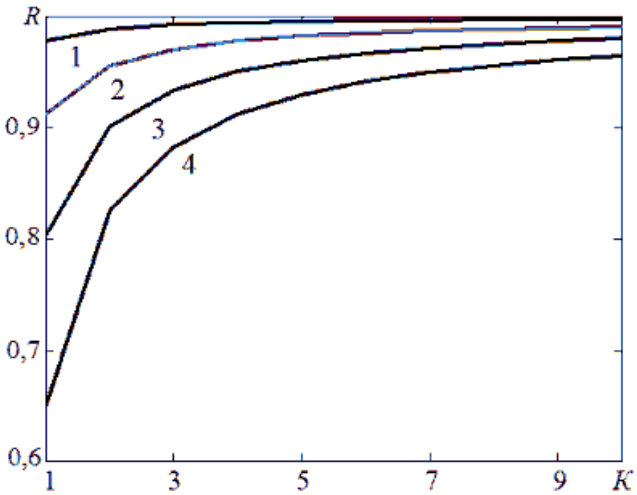


Рисунок 3 – Представление уровня автокорреляционной функции ШПС для различных значений несущей частоты:
кривая 1 - 5 ГГц; кривая 2 - 10 ГГц; кривая 3 - 15 ГГц; кривая 4 - 20 ГГц.

На рисунке 4 приведены зависимости битовой ошибки в указанных условиях, полученные с использованием соотношения [8]

$$P_b(R) \approx 2\left(1-1/\sqrt{M}\right) erfc\left[\sqrt{\frac{3\log_2 M}{2(M-1)} \cdot \frac{R \cdot \Delta F}{P_ш \cdot H}}\right], \qquad (2)$$

где ΔF - полоса частот, в которой ведется прием сигнала;

H - битовая скорость передачи;

$P_ш$ - мощность шума на входе приемного устройства;

$$erfc[x] = (2\pi)^{1/2} \int_x^\infty \exp\left(-x^2/2\right) dx.$$

При проведении исследований на основе математического моделирования отношение $R/P_ш$ при номинальном значении частоты принято равным 20 дБ.

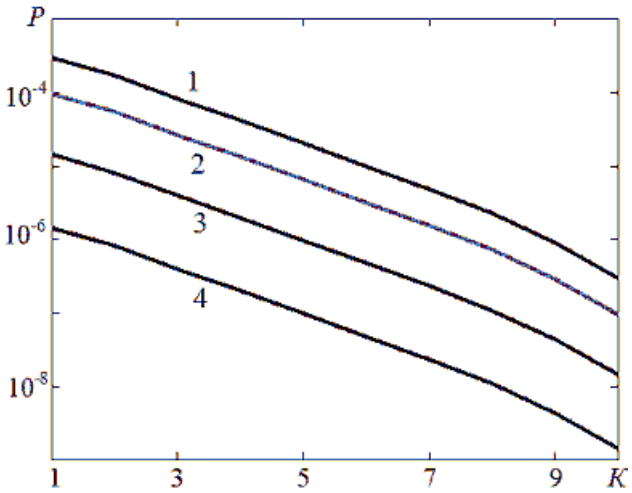


Рисунок 4 – Вероятность битовой ошибки при приеме сигнала 16QAM для различных значений несущей частоты:

кривая 1 - 5 ГГц; кривая 2 - 10 ГГц; кривая 3 - 15 ГГц; кривая 4 - 20 ГГц.

Таким образом, использование предлагаемого метода позволит при работе центра коммутации с девятью базовыми станциями на два порядка снизить вероятность битовой ошибки при передаче сообщений в каналах между базовыми станциями и центром коммутации и тем самым повысить скорость и достоверность передачи информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Журбенко Е.А., Заикина О.А.* Обеспечение достоверности и сохранности конфиденциальной информации в автоматизированных системах обработки данных
2. *Алешин Л.И.* Защиты информации в системах управления. – М.: МГУК. – 2009.
3. Уочбройт Р. Надёжность и достоверность: проблема информации в Интернете / Интернет в общественной жизни - М.: Идея-Пресс, 2006 - 160с.
4. *Шилин В.И., Круглов А.А.* Обеспечение безопасности информационных ресурсов интернет-порталов // ИНФОРМОСТ № 3 (39) 2009.

5. *Енгибарян И.А., Сафарьян О.А.* Использование свойств эмерджентности в инфокоммуникационных системах // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2016, С. 122-126.
6. *Сафарьян О.А.* Метод статистической стабилизации частоты независимо работающих генераторов в инфокоммуникационных системах: дис. канд. техн. наук: 05.12.04: защищена 23.04.15: утв. 6.10.15 № 1192/нк-6 / Сафарьян Ольга Александровна. – Ростов-на-Дону, 2014. – 151 с.
7. *Ипатов В.П., Орлов В.К., Самойлов И.М., Смирнов В.Н.* Системы мобильной связи: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.П. Ипатова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 272 с.
8. *Песков С.Н., Ищенко А.Е.* Расчет вероятности ошибок в цифровых каналах связи // Теле-Спутник. 2010. №11(181). С.70-75.

А.В. Ермолаев, К.А. Артынов, И.Ю. Сулименко, И.В. Решетникова

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ VSAT

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: спутниковые технологии, широкополосный доступ, технологии VSAT.

Рассмотрена технология VSAT, проанализированы ее характеристики, выявлены достоинства и недостатки.

A.V. Yermolaev, K.A. Artynov, I.Y. Sulimenko, I.V. Reshetnikova

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES VSAT

North-Caucasian branch of the order of the red banner of Labour of the Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Moscow technical University of communications and Informatics", Rostov-on-don, Russia

Keywords: satellite technology, broadband access, VSAT technology.

VSAT technology is considered, its characteristics are analyzed, advantages and disadvantages are revealed.

Сети связи на базе VSAT набирают в последнее время все большую популярность. Это связано с тем, что такие сети позволяют обеспечивать качественными телекоммуникационными услугами большое количество абонентов, строить географически разнесенные сети, подключать удаленные населенные пункты к мировым информационным сетям. Экономическая эффективность таких сетей связана с отсутствием необходимости дорогостоящей прокладки магистралей на большие расстояния. Особенности технологии таковы, что зона покрытия этих сетей достаточно обширна. Недостатки данных сетей связаны с ограниченными ресурсами спутникового приемо-передатчика. Однако существующее оборудование позволяет создавать конкурентоспособные сети на основе данной технологии.

Сети VSAT могут строиться по различным архитектурам:

-полно связная («каждый с каждым»);

- радиальная («звезда»);

-радиально-узловая (комбинированная).

У каждой архитектуры свои плюсы и минусы, выбор архитектуры необходимо реализовывать с учетом конкретных особенностей проекта.

Общие достоинства систем VSAT:

1. Сравнительно небольшая стоимость.
2. Установка в короткие сроки.
3. Высокая скорость передачи данных на далекие расстояния без применения множества ретрансляторов.
4. Допустимость широковещания.

Основная сфера применения:

1. Широкополосная передача данных (видео, аудио, данные).
2. Высокая помехоустойчивость.
3. Возможность создания большого количества каналов связи и сетей передачи информации.

Технические характеристики станции VSAT:

1. Поперечник антенны: от 2.5 до 4.7 м.
2. Мощность радиостанции: 6 или 20 Вт.
3. Платформа оснащена одним или двумя модулями:

-модуль BOD (обеспечивает каналы по запросу);

-модуль AA/TDMA (общий канал данных с разделением по времени).

Модуль BOD предоставляет:

1. Бюджетную цифровую передачу речевых и факсимильных сообщений с осуществимостью непосредственного включения телефонных устройств и офисных АТС.
2. Асинхронную трансляцию информации со скоростью до 14.3 (кбит/с).
3. Синхронную трансляцию информации со скоростью от 9.500 до 2048 (кбит/с).

Модуль AA/TDMA предоставляет:

1. Создание региональных компьютерных сетей, состоящих из станций VSAT, использующих общий канал.
2. Доступ в internet.

Сама технология является очень гибкой и позволяет проектировать сети, отвечающие самым серьезным требованиям по качеству услуг [3]. Установка и

подключение в сеть терминала занимает не большое количество времени. VSAT обеспечивают высокую надежность передачи цифровой информации не хуже $1 \cdot 10^{-7}$, т.е. не более одной ошибки на десять миллионов переданных бит информации, что соответствует примерно одной ошибке на пятьсот страниц текстовой информации.

Явных недостатков технологий не так много. Теоретически, любая спутниковая станция, находящаяся в зоне обслуживания спутника, если она настроена на нужную частоту, на нужный временной интервал, поддерживает нужные протоколы и работает в нужном стандарте, могла бы перехватывать сигналы. Но, во-первых, необходимо выполнение всех перечисленных условий, во-вторых, в спутниковых системах связи используются мощные системы кодирования сигнала, что делает перехват практически невозможным. Как и любая другая система радиосвязи, спутниковая связь уязвима помехам от других радиосредств. С другой стороны, для спутниковой связи выделяются полосы частот, не используемые другими радиосистемами. В спутниковых системах используются узконаправленные антенны, помогающие избавиться от помех. Таким образом, большинство недостатков спутниковых систем связи устраняются путем проектирования сети, выбора технологии и места установки антенн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В.* Спутниковые сети связи. - М.: Альпина Паблишер, 2004.
2. *Зеленский А.А.* Технологии спутниковых средств связи. - Харьков: ХАИ, 2004.
3. *Павлова Г.Г.* Системы спутниковой связи и вещания / Учебное пособие – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009.

В.В. Ершов, Н.В. Руденко, К.А. Решетникова, Д.С. Боковеев

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: базовая станция сотовой связи, система автономного электроснабжения, вертикально-осевые ветроэнергетические установки.

В статье рассмотрен вопрос обоснования выбора первичных источников в составе систем автономного электроснабжения базовых станций сотовой связи в районах, где отсутствует возможность электроснабжения от централизованной энергосистемы. В

качестве таких источников рассмотрены ветроэнергетические установки. Для обоснования и выбора конструкции таких установок выбраны следующие характеристики: экологичность; надежность, минимальная эффективная скорость ветра; стоимость. С учётом выбранных характеристик проведен сравнительный анализ ветроэнергетических установок с горизонтально и с вертикально расположенной осью вращения. Показано, что для электроснабжения базовых станций сотовой связи более целесообразно применение вертикально-осевых ветроэнергетических установок.

V.V. Ershov, N.V. Rudenko, K.A. Reshetnikova, D.S. Bokoveev

ABOUT THE PURPOSE OF THE USE OF VERTICAL-AXIAL WIND-POWER PLANTS FOR BASIC STATIONS CELLULAR COMMUNICATION

North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Key words: cellular base station, autonomous power supply system, vertically-axial wind power plants.

The article considers the issue of substantiating the choice of primary sources in the system of autonomous power supply of cellular base stations in regions where there is no possibility of electricity supply from a centralized power system. In the quality of such sources, wind power plants are considered. To justify and choose the design of such plants, the following characteristics were selected: environmental friendliness, reliability, minimum effective wind speed; cost. Taking into account the selected characteristics, a comparative analysis of wind power plants with a horizontally and vertically located axis of rotation was carried out. It is shown that the use of vertically-axial wind power plants is more expedient for power supply of base stations of cellular communication.

Постановка задачи. Базовые станции (БС) в структуре мобильной сотовой связи являются основным составным элементом. Поскольку по требованиям к бесперебойности электроснабжения электроприемники станции относятся к первой и второй категориям [1], то для обеспечения устойчивой связи абонентов в сети оборудование станции должно надежно и бесперебойно обеспечиваться электрической энергией от районной Госэнергосистемы. В зависимости от конкретных условий потребляемая мощность их электроприемников составляет от 3 до 15 кВт. При невозможности обеспечения станции электроэнергией от Госэнергосистемы применяется система автономного электроснабжения базовой станции (САЭ БС) на базе нетрадиционных возобновляемых источников электрической энергии. В состав такой САЭ БС, может входить ветроэнергетическая установка (ВЭУ), солнечная батарея и аккумуляторная батарея (АБ), а в качестве резервного источника – дизель-электрическая станция (ДЭС) [2, 3].

Принцип, положенный в основу САЭ БС заключается в минимизации расхода электрической энергии, получаемой от ДЭС, на основе максимально возможной, исходя

из текущих природных условий, продолжительности использования энергии ветра и солнца, и сформированного запаса энергии в аккумуляторной батарее АБ.

Функциональные возможности САЭ БС в значительной степени зависят от технических характеристик составных элементов станции. Поэтому выбор и обоснование типа ВЭУ как первичного источника энергии является актуальной научно-технической задачей.

Материалы исследования. Задача формулируется следующим образом. Требуется разработать предложения по выбору типа ветрогенератора в составе САЭ БС, исходя из анализа характеристик известных устройств. Для решения задачи необходимо:

- провести анализ характеристик известных типов ветрогенераторов;
- разработать предложения по выбору типа генератора в составе САЭ БС.

В настоящее время в практике достаточно хорошо известны и широко используются два типа ВЭУ: с горизонтальным и вертикальным расположением осей вращения привода установки [4, 5]. Горизонтальные ВЭУ в сравнении с вертикальными характеризуются бóльшим КПД. Недостатком горизонтальных ВЭУ является необходимость поддержания оси ветрогенератора в направлении ветра. Вертикальные ВЭУ представляются следующими типами установок:

а) ротор Савониуса;
б) ротор Дарье;
в) геликоидный ротор;
г) многолопастной ротор;
д) Н-образный ротор Дарье.

Первые два типа характеризуются низким использованием энергии ветра, третий - имеет хорошие показатели, но из-за сложности конструкции является дорогостоящим, четвертый считается наиболее эффективным как преобразователь энергии ветра, но имеет сравнительно высокую стоимость и, главное, - высокий звуковой фон. Н-образный ротор Дарье является наиболее технологичным. Установка такого типа является быстроходной (коэффициент быстроходности более 3), КПД достигает 0,38. Ротор Н-Дарье отличается пониженным уровнем шума и полным отсутствием инфразвука. Ветроэнергетическая установка этого типа имеет простую конструкцию [6, 7]. Для сравнения далее рассматриваются ВЭУ с горизонтальной осью обычной конструкции и вертикальная ВЭУ с Н-образный ротором Дарье.

Рабочие свойства ВЭУ оцениваются рядом технических характеристик, основными из которых являются [6-9]: а) экологичность; б) надежность. в) минимальная эффективная скорость ветра; г) стоимость.

Экологичность. Воздействие на окружающую среду со стороны работающих ВЭУ происходит по трем направлениям: Создание аэродинамических шумов, генерирование электромагнитных помех и опасность для перемещения птиц в прилегающем воздушном пространстве. По уровню шума ветрогенераторы с вертикальной осью вращения привода существенно превосходят горизонтально приводные ВЭУ.

Экспериментально доказано, что уровень аэродинамических шумов от горизонтально-пропеллерных установок значительно выше, чем у ВЭУ с вертикальной осью вращения, В частности для горизонтальных ВЭУ он составляет 40÷60 дБ, а для

вертикальных- 35÷50 дБ [9]. Это позволяет размещать вертикальные ВЭУ в непосредственной близости от жилых помещений, а также на крыше зданий.

На рисунке 1 для сравнения приведены уровни шума соответственно от вертикальных ВЭУ фирмы Sokol Air Vertical и горизонтальных ВЭУ фирмы Energystock для рядов мощностей 3, 5 и 10 кВт [10, 11].

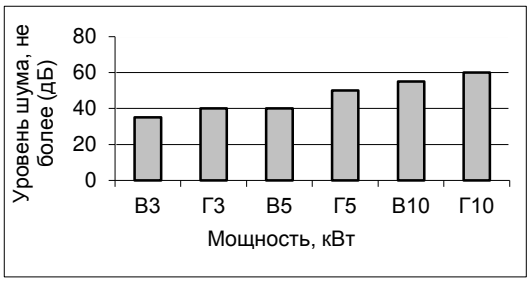


Рисунок 1 - Уровни шума от вертикальных (В) и горизонтальных (Г) ВЭУ с номинальными мощностями соответственно 3, 5 и 10 кВт

Электромагнитные помехи, создаваемые вертикально-осевыми ВЭУ значительно меньше, чем у ВЭУ горизонтально-осевых [9]. Поэтому их можно размещать вблизи центров, где требования к чистоте эфира достаточно высоки в связи с присутствием навигационного оборудования. Установлено также, что ВЭУ с вертикальной осью вращения для птиц в прилегающем воздушном пространстве, представляют значительно меньшую опасность по сравнению с горизонтальной осью вращения [9].

Надежность. Коэффициент использования энергии ветра для ВЭУ с горизонтальной осью вращения в значительной степени зависит от непрерывной ориентации оси ветрогенератора на изменяющееся направление ветра. Постоянное отслеживание направления ветра обеспечивается системой ориентации, работа которой требует дополнительных энергозатрат [7-9]. Опыт эксплуатации ВЭУ с горизонтальной осью убедительно доказывает, что до 13% отказов приходится на механизмы в системах ориентации ветроколеса на направление ветра [8]**.** Отсутствие необходимости отслеживания направления ветра для вертикальных ВЭУ упрощает конструкцию установки, облегчает выполнение комплекса монтажных и наладочных работ и в целом повышает надежность установки.

Минимальная эффективная скорость ветра. Принципиальным отличием вертикальных ВЭУ от горизонтальных является их свойство работать при малых скоростях ветра, начиная со значения 0,3 м/с [7, 8]. Это обстоятельство особенно важно для большинства регионов СНГ, на территории которых слабые ветры имеют место в течение 70-80% времени [12]. На рисунке 2 для сравнения приведены значения скоростей страгивания с места [7,8] вышеуказанных фирм и рядов мощностей, а на рисунке 3 – значения номинальных оборотов ветрогенераторов.

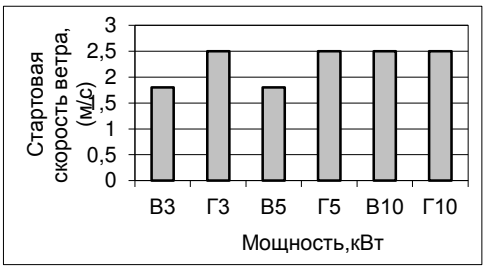


Рисунок 2 - Значения скоростей страгивания с места вертикальных (В) и горизонтальных (Г) ВЭУ с номинальными мощностями соответственно 3, 5 и 10 кВт

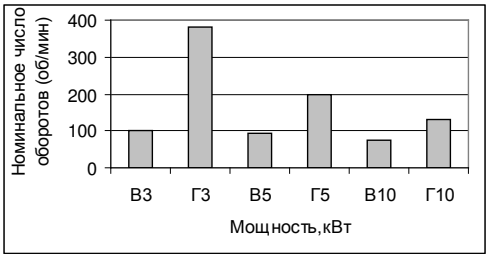


Рисунок 3 - Значения номинальных оборотов ветрогенераторов вертикальных (В) и горизонтальных (Г) ВЭУ с номинальными мощностями соответственно 3, 5 и 10 кВт

Стоимость. Сравнение ВЭУ по стоимости показывает, что отличие в цене не является существенным. На рисунке 4 для сравнения приведены цены за комплект оборудования ВЭУ вышеуказанных фирм и рядов мощностей [10, 11]. Однако благодаря свойству вертикальных ВЭУ вырабатывать в условиях слабых ветров большее количество энергии по сравнению с горизонтальными при сравнении моделей номинальной мощности, ВЭУ с вертикальной осью вращения на треть дешевле обычных горизонтальных ветряков при расчете оборудования на реально полученные киловатты, а эксплуатационные расходы для вертикально-осевых ВЭУ в основном определяются необходимостью смазки в узлах поворотных лопастей [13].

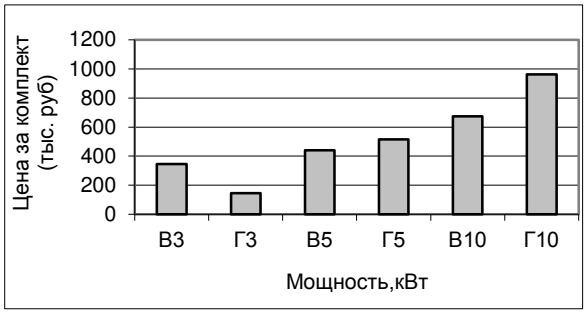


Рисунок 4 - Цены за комплект оборудования ВЭУ вышеуказанных фирм вертикальных (В) и горизонтальных (Г) ВЭУ с номинальными мощностями соответственно 3, 5 и 10 кВт

Из сравнительного анализа технических и стоимостных характеристик рассматриваемых ВЭУ малой мощности до 15 кВт можно сделать следующие выводы.

1. По вредному воздействию на окружающую среду вертикально-осевые ВЭУ оказываются значительно предпочтительней горизонтально-осевых, поскольку они характеризуются меньшим уровнем аэродинамических шумов и, следовательно, в меньшей степени наносят вред здоровью людей. Конструктивные особенности

вертикально-осевых ВЭУ практически исключают создание ими электромагнитных помех для соседних систем и телекоммуникационного оборудования, а для птиц представляют меньшую опасность.

2. Вертикально-осевые ВЭУ не нуждаются в непрерывном отслеживании направления воздушного потока и удержании оси ветрогенератора в этом направлении, в результате чего в конструктивном плане они проще и надежнее в эксплуатации.
3. Вертикально-осевые ВЭУ могут эффективно работать при малых скоростях ветра, поэтому они могут широко использоваться на обширных территориях Российской Федерации, где слабые ветры в течение года имеют наибольшую продолжительность по времени. Кроме этого пониженное значение числа оборотов вертикально-осевых ВЭУ упрощает требования к узлам трансмиссии установок, снижает уровень динамических нагрузок и повышает надежность и эксплуатационные свойства.
4. Несмотря на незначительные отличия в стоимости рассматриваемых ВЭУ благодаря свойству вертикально-осевых ВЭУ работать в условиях слабых ветров, они позволяют вырабатывать большее количество энергии и в пересчете на реально выработанную энергию оказываются на треть дешевле горизонтально-осевых.

Таким образом, для обеспечения электроснабжения базовых станций сотовой связи, удаленных от инфраструктуры Госэнергосистемы, в качестве основного источника целесообразно применять ВЭУ с вертикальной осью вращения привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Библиотека гостов и нормативов. РД 45.162-2001 «Ведомственные нормы технологического проектирования. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования». [Электронный ресурс]: URL: //http:// www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/10/10939/ (дата обращения 24.03.2017 г.).
2. *Rudenko N.V., Sukiyazov A.G., Shokova Yu.A.* Adaptive control efficiency enhance-ment for hybrid solar-wind energy farms // 7th International Scientific Conference Science and Society. Held by SCIEURO in London. 25-26 November 2014. P.43-50.
3. *Руденко Н.В., Ершов В.В., Воржев В.Б.* Система автономного электроснабжения крестьянского фермерского хозяйства на основе возобновляемых источников энергии. // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Сборник статей 10 международной научно-практической конференции 1 – 3 марта 2017 г., г. Ростов-на-Дону. В рамках 20-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2017», Ростов н/Д, 2017. С.563-567.
4. Основные виды ветрогенераторов: вертикальные, горизонтальные. [Электронный ресурс]: URL: http://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontalnye.html (дата обращения 24.03.2017 г.).
5. Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения российского производства. [Электронный ресурс]: URL: http://www.ekopower.ru/vetrogeneratoryi-s-vertikalnoy-osyu-vrashheniya-rossiyskogo-proizvodstva/ (дата обращения 24.03.2017 г.).
6. *Соломин, Е.В.* Технические особенности и преимущества ветроэнергетических установок / Е.В.Соломин, Р.Л.Холстед // Альтернативная энергетика и экология. – М.: НИИЭС, 2010. – №1. – С.36–41.

7. *Соломин Е.В.* Ветроэнергетические установки ГРЦ-Вертикаль // Альтернативная энергетика и экология, 2010 № 1.С. 10-15.
8. Сравнительный анализ ветрогенераторов Сравнительный анализ вертикально-осевых и горизонтально пропеллерных ветроустановок. [Электронный ресурс]: http://www.ecoteco.ru/id1198. (дата обращения 24.03.2017 г.).
9. Что лучше - вертикальный или горизонтальный ветрогенератор? Преимущества и недостатки [Электронный ресурс]: URL:http://vetrogenerator.com.ua/vetrogenerator/vertikal/148-chto-luchshe-vertikalnyy-ili-orizontalnyy-vetrogenerator-preimuschestva-i-nedostatki.html. (дата обращения 24.03.2017 г.).
10. Ветряные генераторы. [Электронный ресурс]: URL: Sokol Air Vertical HTTPS://WWW.ENVITECHNO.RU/КАТАЛОГ/ ВЕТРЯНЫЕ-ГЕНЕРАТОРЫ/S-A-V/. (дата обращения 24.03.2017 г.).
11. Ветряки для дома купить с гарантией - Energystock. [Электронный ресурс]: URL: http://energystock.ru/vetrogeneratory/vetryanye-elektrogeneratory/vetryaki-dlya-doma-kupit (дата обращения 24.03.2017 г.).
12. Критерии идеального ветрогенератора. [Электронный ресурс]: URL: http://vetronet.com/критерии-идеального-ветряка/. (дата обращения 24.03.2017 г.).
13. Окупаемость Ветроэнергетических установок в условиях средней полосы России. [Электронный ресурс]: URL: http://www.termocool.ru/products/okupaemost-vetroenergeticheskih-ustanovok. (дата обращения 24.03.2017 г.).

***А.П. Зверев, И.П. Рыбалко, М.А. Дерканосов**

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ В ПОДВИЖНЫХ РАДИОСЕТЯХ СПАСАТЕЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ МЧС НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия
* Академия Гражданской Защиты МЧС России, г. Химки, Россия

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, спасательные формирования, пакетные радиосистемы, пакетная радиоустановка, маршрутизация, экспертная система, продукционные модели представления знаний и вывода решений, база знаний, база данных, механизм логического вывода, программное средство.

Аннотация статьи: Описана проблема организации связи пакетных радиосетей спасательных организаций МЧС в ходе устранения последствий чрезвычайной ситуации. Проблема заключается в том, что при изменчивой топологии сети, на пересечённой местности, в условиях помех различного происхождения радиосети работают не стабильно из-за недостатков существующих методов маршрутизации, поэтому

необходимо совершенствовать методику управления маршрутизацией в сети. Для решения указанной проблемы предложено использовать экспертную систему, построенную на основе продукционной модели представления знаний и вывода решений.

Приведён фрагмент базы данных, правил и порядок логического вывода. Показана реализация программного средства

***A.P. Zverev, I.P. Rybalko, M.A. Derkanosov**

ROUTING IN MOBILE RADIO NETWORKS OF THE SAVIOR-ENFORCEMENT FORCES THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS ON THE BASIS OF EXPERT SYSTEM

Keywords: emergency, rescue formation, packet radio, packet radio, routing, expert system, production-innovative models of knowledge representation and inference solutions, knowledge base, database, fur-lowland inference, software tool.

Article summary: Describes the communications packet radio networks rescue organizations the Ministry of emergency situations during elimination of consequences of emergency situations. The problem is that when a changeable network topology, on rough terrain, in the conditions of interferences of various origins radio network are not stable because of the shortcomings of existing routing methods, it is therefore necessary to improve the method of routing control in the network. To solve this problem, the proposed IP is to use an expert system, built on the basis of production models of submission knowledge and inference making.

Given the snippet database of the rules and procedure of inference. Shows the implementation of software tools.

Современные ПРС в состоянии удовлетворять требованиям потребителей при условии достаточно стабильной связности и неизменности топологии связи. Способность ПРС развернуться за короткое время при любых условиях и обеспечить возможность передачи больших объемов различной информации привлекает внимание служб и ведомств, которым приходится работать в сложных условиях. Примером такой ПРС является «DARPA» [1, 26-41] и другие [2].

При возникновении чрезвычайной ситуации, и её развитии, существующая система проводной и беспроводной связи может катастрофически деградировать или полностью прекратить существование. Именно поэтому остро стоит проблема использования специализированных пакетных радиосистем (ПРС) для спасательных формирований МЧС. Они находятся в контейнерах, содержащих набор инструментов и средств связи, приготовлены заранее и размещённых на складах. Как сказано в [3] :«Набор должен содержать инструменты наиболее соответствующие типу ЧС (пожар, наводнение и т.д.) и типовые средства связи».

В условиях чрезвычайной ситуации алгоритмы, надёжно работающие в нормальной условиях, не могут справиться - это касается и маршрутизации потоков информации.

В настоящее время маршрутизация пакетов в ПРС осуществляется с использованием информации, поступающей в специальных служебных пакетах. Используемые в ПРС алгоритмические подходы не позволяют достичь потенциально возможного качества маршрутизации, так как они всегда используют устаревшую информацию о связности, качестве канала и т.д. Решение проблемы сетевого управления по эффективному использованию ресурсов сети остается ниже потенциально возможного по причине сложности учета, формализации и использования дополнительной информации о состоянии ПРС.

Можно выделить более 50 параметров, влияющих на маршрутизацию: данные поэлементной оценки состояния пакетной радиоустановки (ПРУ), результаты контроля параметров среды, высота антенны, информация о поступающих пакетах, а также управляющие и информационные (администраторские) действия оператора сети.

Существуют три метода маршрутизации: волновой, двухпунктовый, адаптивный, каждый из которых применим в определенных условиях. В ПРС используется двухпунктовый метод, но он не в состоянии адекватно реагировать на все передачи пакетов к используемой в ПРС двухпунктовой маршрутизации ввести дополнительно средства волнового метода, организацию их динамической смены в зависимости от обстановки, что позволит передавать потоки информации с требуемым качеством.

По рассматриваемому методу маршрутизация осуществляется каждой ПРУ, входящей в группу, по критерию: вхождение в единый слой относительно станции источника пакета. Любая ПРУ должна иметь возможность инициализировать в пределах группы смену метода маршрутизации в соответствии со сложившейся обстановкой. Принятие решения о выборе метода маршрутизации возлагается на экспертную систему (ЭС), вводимую в состав каждой ПРУ, для которой в качестве фактов, для вывода новых знаний, используются данные контроля параметров сети и ПРУ. Применение ЭС обеспечивает возможность собирать все потенциально полезные данные без оказания влияния на характеристики сети.

ЭС ПРУ, определив необходимый метод маршрутизации, подает заявку об его установлении. ПРУ включает механизм увязки перехода. Время изменения метода маршрутизации измеряется в задержках на пересылку заявок между станциями ПРС. Распространение заявок о смене ограничивается пределом группы. Факт получения запроса о смене интерпретируется как появление «проблемного места», и в таблице соседей ставится маркер, рекомендующий снижать нагрузку на станцию, инициализирующую смену, так как процесс маршрутизации должен сопровождаться изменением потоков в сети, не допускающим ее перегрузку.

Пример построения базы знаний ЭС

Особенности методики построения баз знаний для ЭС рассмотрены в [4]. Проведенный анализ способов и средств представления знаний показал, что наиболее приемлемыми для ПРС являются продукционные модели представления знаний и вывода решений [5].

Продукционная система ПРУ состоит из базы данных (рабочего пространства); набора продукционных правил вида условие – действие; интерпретатора, определяющего продукцию для дальнейшего действия над ней.

Порядок перехода от одного правила к другому определяет стратегию вывода. Исходя из специфики ПРС, наиболее подходит стратегия прямого вывода. При прямом выводе отправной точкой служат представленные данные, в нашем случае данные параметрического состояния ПРС и ПРУ (табл. 1). В результате механизма логического вывода из базы правил (табл. 2) выбираются те правила, левые части которых истинны. Процесс вывода повторяется до тех пор, пока не остается ни одного правила, которое может быть выполнено; сработавшие правила временно исключаются из рассмотрения. Пример выполнения цепочки прямого логического вывода показан в таблице 2.

В ходе логического вывода потребуется не только правила-заключения, но и правила-действия в виде команд на проверку правильности вывода (продукция 3, правило 02). На основе данных, поступающих в ЭС, и правил вывода можно составить правила в формате продукционной экспертной системы.

Таблица 1 - Данные, поступающие в ЭС

Условное имя	Порядок поступления в ЭС	Словесное описание	Источник информации
А	1	Принятая мощность не норма	ПРУ
Е	2	Флаг речевого пакета	Поступивший пакет
Б	3	Качество канала не норма	ПРУ
Г	4	Уровень шума не норма	ПРУ
Д		Двухпунктовый метод маршрутизации	ЭС
В1, В2		Волновой метод маршрутизации	ЭС
О1		Работа двигателя	Оператор
И	5	Наличие многолучевого накопления	ПРУ
О2	6	Наличие движения ПРУ	Оператор

Таблица 2 - Правила логического вывода

База правил	Применяемое правило	База данных
1: А&Е→Д 2: Д&Г&Б→В1 3: В1 →О1 4: В1&И→В2 5: О2 →В2	А&Е→Д Д&Г&Б→В1 В1 →О1 В1&И→В2 О2 →В2	А,Е А,Е,Д А,Е,Д, Г,Б А,Е,Д, Г,Б, В1 А,Е,Д, Г,Б, В1, И,О2

ПРАВИЛО 01
ЕСЛИ принятая мощность не норма
И флаг речевого пакета
ТО ЭТО вид маршрутизации двухпунктовый
{На этом этапе ЭС контролирует работу группы}.
ПРАВИЛО 02

ЕСЛИ	принятая мощность не норма
И	уровень шума не норма
И	флаг речевого пакета
И	качество канала норма
ТО ЭТО	установить волновой вид маршрутизации, проверить работает ли двигатель

{ЭС получает дополнительную информацию, на основании которой делается вывод, что источник шума – находящийся рядом двигатель, и выдает запрос оператору так ли это. В результате смены метода маршрутизации соседи снижают нагрузку на канал связи}.

ПРАВИЛО 03

ЕСЛИ	Правило 02
И	многолучевое накопление
ИЛИ	началось движение
ТО ЭТО	метод маршрутизации волновой.

Предположение, что станция располагается на движущемся транспортном средстве, подтверждается как оператором, так и появлением многолучевого накопления сигнала. Следовательно, заранее перейдя на волновой метод маршрутизации и перераспределив потоки, ПРУ приблизилась к решению основной задачи маршрутизации: обеспечение передачи заданного информационного потока с требуемым качеством.

Алгоритмы двух пунктового метода маршрутизации, не использующие ЭС, менее чувствительны, чем механизм логического вывода ЭС, и не в состоянии различать ситуацию в сети, следовательно, уже на этапе «Правило 01» канал считался бы потерянным. ЭС, учитывая специфику абонента, расположения ПРУ, качества канала, оставляет данный канал для использования. Реакция оператора сети решающей роли не играет, ЭС для него фокусирует внимание на главных вопросах, представляющих интерес.

Представленный пример отображает основные связи между параметрами ПРС и способами маршрутизации, показывает структуру ЭС, определяет правила корректности и непротиворечивости продукционной сети, удаляет неопределенность, вызванную расплывчатостью информации о состоянии параметров ПРС.

Оболочка предложенной экспертной системы была реализована в виде специального программного обеспечения на языке программирования C#. Фрагмент программного кода представлен на рисунке 1.

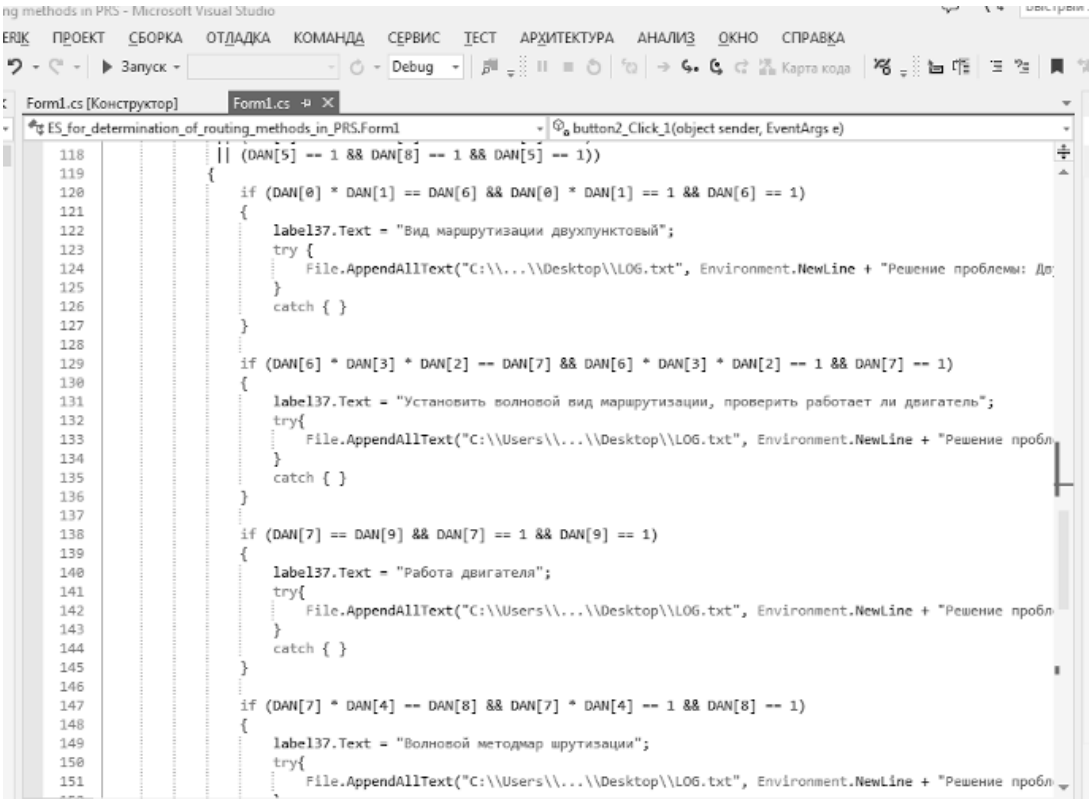


Рисунок 1 - Пример программного кода

На рисунке 2 представлен интерфейс программного средства, с которым работает оператор.

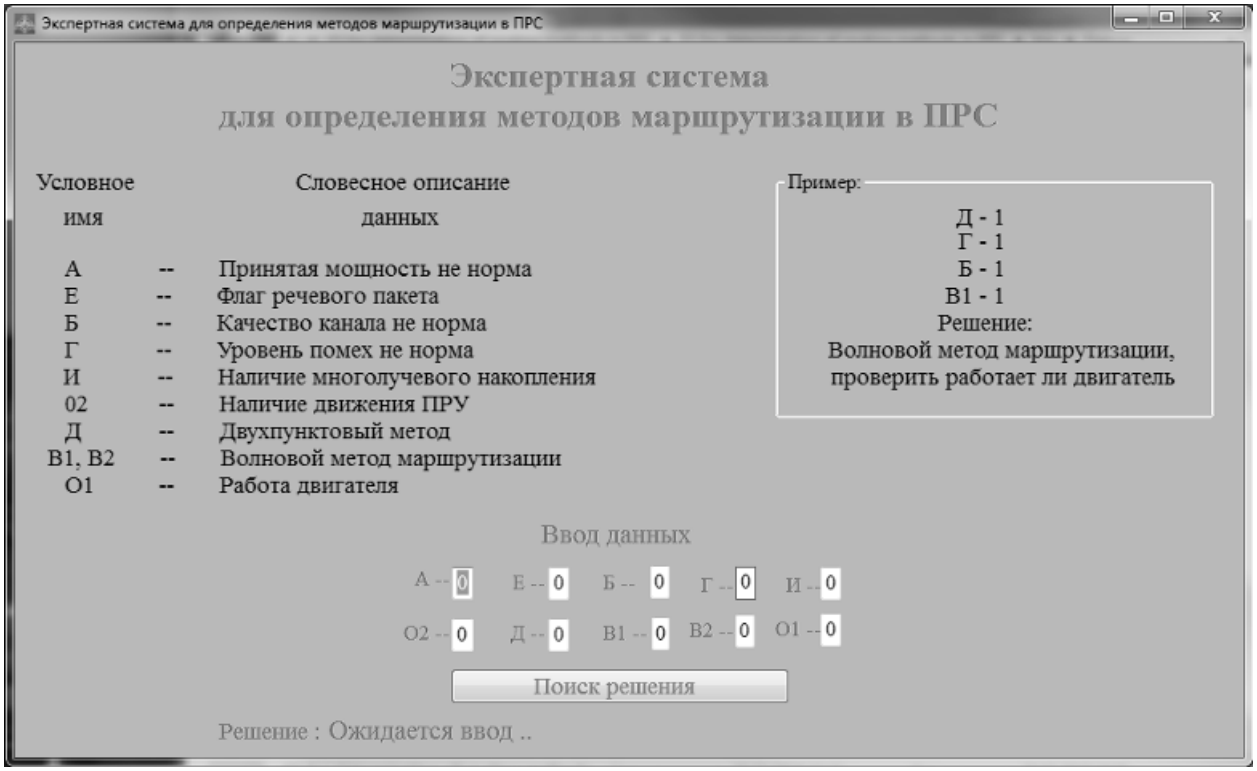


Рисунок 2 - Интерфейс программного средства

На рисунке 3 представлена реализация «ПРАВИЛО 02», использующая поступающие в ЭС данные, взятые из таблицы №1 и правила логического вывода из Таблицы 2.

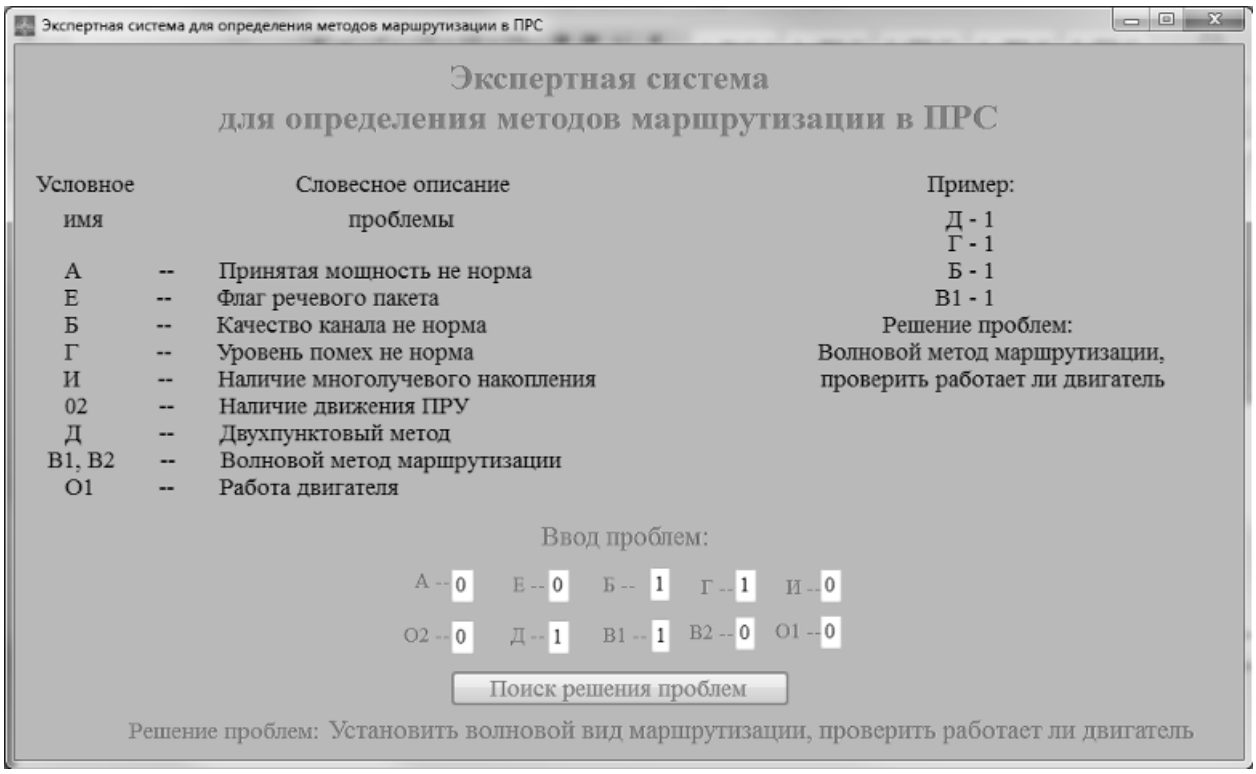


Рисунок 3 – Реализация «Правила 02»

В ходе эксплуатации ПРС база данных Экспертной системы будет пополняться, пример результата работы программы, в случае отсутствия в базе данных решений, по введённым данным представлен на рисунке 4.

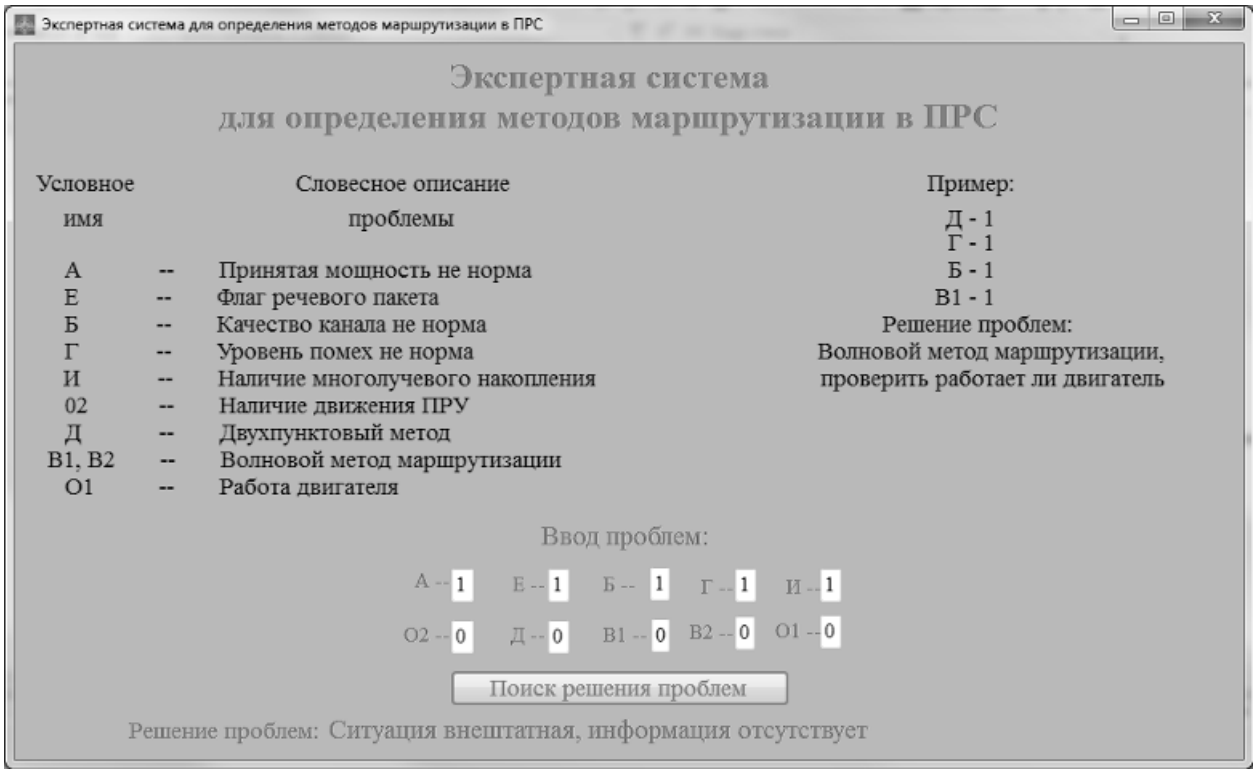


Рисунок 4 - Пример результата работы программы, в случае отсутствия в базе данных решений, по введённым данным.

Имитация механизма логического вывода на основе выше перечисленного формального описания подтвердила корректность предложенного подхода. Оболочка позволяет снимать временные характеристики реакции ЭС, необходимые для моделирования фрагмента ПРС [6] .

На этапе эксплуатации использование экспертной системы в маршрутизации позволяет предупреждать перегрузки в линиях передачи информации, тем самым повышая производительность ПРС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Джубин ДЖ., Торной ДЖ.Ж.* Протоколы пакетной радиосети DAPA/ТИИЭР. 1987. Е.75. №1.
2. *Комашинский В.И., Максимов А.В.* Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации. Основы моделирования. – М. Горячая линия – Телеком, 2007.-173с.: ил.
3. *Зверев А.П., Рыбалко И.П., Болдырихин Н.В.* Выбор пути и распределение сил, средств и систем связи при совершении марша для устранения чрезвычайной ситуации. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. - Ростов-на-Дону.: СКФ МТУСИ, 2015.
4. Информационный ресурс *URL:http://www.//studopedia.net*
5. *Джарратано, Джозеф, Райли, Гари.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007.-1152с.: ил.
6. *И.П. Рыбалко, *Н.В. Болдырихин, *А.П. Зверев, **А.Ю. Цветков.* Управление маршрутизацией в подвижных радиосетях спасательных формирований МЧС на основе экспертной системы. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2016. ISSN 2221-7975.

***А.П. Зверев, И.П. Рыбалко**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА ДЛЯ МЧС РОССИИ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия
* Академия Гражданской Защиты МЧС России, г. Химки, Россия

Ключевые слова: Беспилотное воздушное судно, наземный пункт управления, чрезвычайная ситуация, опоры линий электропередач, центр управления кризисными ситуациями, анализ канала связи, затухание в канале связи.

Аннотация статьи: В статье поднят вопрос об организации связи в момент возникновения ЧС, на основе анализа приводятся данные о том, на какую высоту необходимо поднимать беспилотные летательные аппараты (БПЛА), с целью не только организации связи, но и передачи информации в масштабе реального времени наземному пункту управления. Для увеличения продолжительности полета БПЛА рассмотрен процесс использования опор ЛЭП для подзарядки аккумуляторов беспилотников.

***A.P. Zverev, I.P. Rybalko**

THE USE OF UAVS FOR EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA

Key words: Unmanned aircraft, ground control station, an emergency power transmission towers, the center of crisis management, analysis of communication channel attenuation of the channel.

Article summary: the article raised the question of the organization of communication in time of emergency, on the basis of the analysis provides data about what kind of height necessary to lift an unmanned aerial vehicle (UAV), with the aim not only of communication but also the transmission of information in real time to a ground control station. To increase the duration of the flight BVS reviewed the process of using transmission towers for recharging the batteries of drones.

Погодные катаклизмы и природные явления оказывают большое влияние на развитие и состояния чрезвычайной ситуации (ЧС), что на данный момент является большой проблемой.

Проведем анализ природных явлений за сентябрь 2017 года. Так в Боливии молнией были смертельно поражены пять человек. Подтоплены дома в Приморье, из – за сильных дождей, режим ЧС введен в 13 районах. Более 70–ти тысяч человек в КНР пострадало от тайфуна «Лайонрок», в этом же государстве также в результате действия тайфуна «Меранти» - 28 человек погибли, 15 пропали без вести. Список катастроф можно продолжать и далее. Это все еще раз подчеркивает о необходимости контроля состояния развития событий в первые минуты ЧС, тогда можно избежать гибели большого количества людей [1,2]. Одним из методов решения указанной выше проблемы, является использование беспилотных летательных аппаратов. Таким образом, БПЛА - один из способов организации связи в момент возникновения ЧС.

Авиационное обеспечение деятельности МЧС осуществляется воздушными судами основными из которых являются Ил-76, Ми-26, Ми-8, Ка-32, Бе-200, Ан-74, Як-42. Эти воздушные суда предназначены для решения широкого спектра задач по выполнению авиационно – спасательных и специальных работ. Эксплуатация этой техники – обходится дорого для бюджета государства и они не всегда эффективно выполняют поставленные задачи [2,3].

Наиболее действенным способом контроля состояния ЧС могут стать БПЛА, которые способны в режиме реального времени не только производить съемку территории, но также передавать ее в центр управления кризисными ситуациями (ЦУКС),

для принятия решения о необходимом привлечении сил и средств для ликвидации последствий ЧС.

Рассмотрим некоторые технические характеристики беспилотных воздушных судов. Наиболее используемые в МЧС воздушные суда вертолетного типа. При этом они, как правило, имеют телевизионную камеру, а также средства для ретрансляции радиосигналов. Чаще всего у данных БПЛА используются – электрические двигатели. Масса данных устройств сравнительно мала, достигает менее 50–ти килограммов. Максимальное время использования данных агрегатов не превосходит нескольких часов.

Следовательно, возникает задача, каким образом обеспечить в период возникновения ЧС не только обзор территории охваченной ЧС, но и организацию связи на первом этапе, до прибытия спасательных формирований.

Проанализируем данный процесс более детально: для передачи информации на расстояние кроме воздушного судна необходимо иметь и наземный пункт управления, который должен включать в своем составе аппаратуру и оборудование для приема, ретрансляции и обработки информации.

Основная проблема на данный момент состоит в том, что для обеспечения связи необходимо обеспечить положение БПЛА на определенной высоте. Так для установления бесперебойной связи на расстояние до ста пятидесяти километров достаточно поднять БПЛА на высоту около 1500 метров, при этом высота антенны, наземного пункта управления будет всего лишь около 2-х метров. Данные из [4,5] сведём таблицу 1 – зависимость приема сигнала от расстояния между БПЛА и НПУ.

Таблица 1 - Расстояние радиовидимости между БПЛА и НПУ

Высота полета БПЛА, м	Дальность видимости (расстояние до радиогоризонта), км., при высоте подъема антенны НПУ, м			
	1	10	20	30
100	39	47	52	55
250	60	68	72	76
500	83	91	96	99
750	101	109	114	117
1000	117	124	129	132
1500	142	150	154	158
2000	163	171	176	179
3000	199	207	212	215
4000	229	237	242	245
5000	256	264	268	272

Данная таблица составлена без учета рефракции в атмосфере, а также при отсутствии препятствий на пути распространения радиоволн. Как видно из таблицы для обеспечения дальности связи необходимо либо поднимать антенну с одной стороны, либо обеспечить поднятие БПЛА с другой.

Наиболее сложным на данный момент являются сведения о том, какая максимальная площадь возможна будет у ЧС природного характера, а именно подтопление, пожары. Рассмотренные ранее ЧС позволяют сделать заключение о том, что как правило в начальный момент данные ситуации не достигают площади более 100 километров. Следовательно, как следует из таблицы в зависимости от высоты антенны наземного пункта управления беспилотное воздушное судно достаточно поднимать для обеспечения связи и оценки обстановки в масштабе реального времени на высоту от 500 до 700 метров.

Проанализируем табличные данные, как зависит дальность связи от НПУ и БПЛА [4,5].

Рассмотрев данные графики, нетрудно убедится в том, что на малых высотах, а именно до 50 км от НПУ до БПЛА затухание на частоте 433 Мгц не будет превосходить 85 дБ. С увеличением частоты приема и передачи информации беспилотником затухание будет расти, ввиду того, что длина волны приемной и передающих антенн значительно уменьшится.

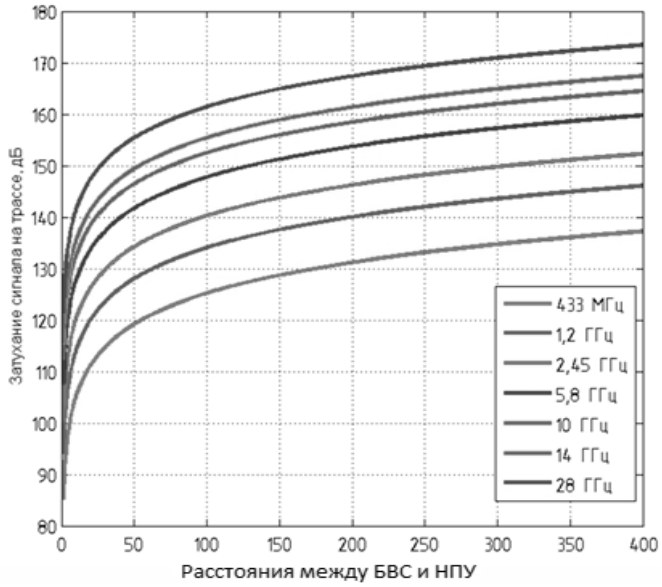


Рисунок 1 - Зависимость затухания сигнала на трассе от расстояния между НПУ и БПЛА.

Необходимо отметить, что для передачи информации в режиме реального времени и с высокой скоростью передачи необходимо использовать частоту более 1 ГГц. В данном случае затухание сигнала на данной частоте будет более 100 дБ.

Таким образом, для получения качественного изображения и организации связи необходимо решать задачу уменьшения затухания сигналов на трассе передачи и приема.

Одним из вариантов решения данной задачи возможно использование направленных антенн в НПУ. Использование направленных антенн позволит добиться уменьшения затухания сигнала на трассе. Из ранее сказанного можно заключить, что оптимальный диаметр антенны в данном случае должен составлять 1,5 – 2 метра.

Проверим данное утверждение согласно приведенным графикам [4,5].

Из графиков, представленных на рисунке 2, видно, что увеличение от 1 метра до 4 метров в диаметре параболической антенны наземного пункта управления позволит увеличить коэффициент усиления антенны почти в два раза, в то время как дальнейшее увеличение диаметра антенны не приведет к улучшению её характеристик. Таким образом, для частоты 2,4ГГц, наиболее оптимальный диаметр антенны составляет от 0,75 до 4 метров.

Рассмотрев расстояние от БПЛА, до наземного пункта управления, а также затухание сигнала на трассе проведем анализ канала связи между ранее приведенными объектами.

В качестве исходного рассмотрим канал связи для диапазона частот 2,4 ГГц, при расстоянии между БПЛА и НПУ 150 км и полосе частот 20 МГц.[4,5]

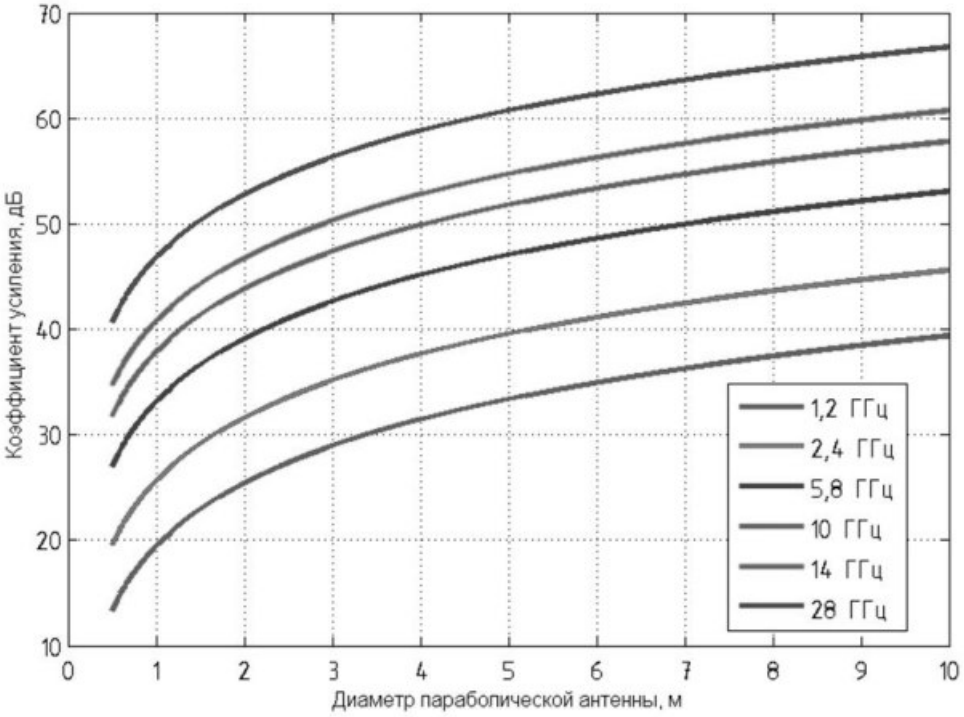


Рисунок 2 – Диаметр направленных антенн

Позиция	Усиление / ослабление, дБ (дБм)	Итого, дБм
Выходная мощность передатчика	+30	+30
Потери в фидере и разъемах БПЛА	-1,5	+28,5
Усиление антенны БПЛА	+10	+38,5
Потери на распространение (2,4 ГГц, 150 км)	-145	-106,5
Усиление антенны НПУ	+30	-76,5
Потери в фидере и разъемах НПУ	-1,5	-78
Уровень шума на входе приемника (полоса 20 МГц)	-100	
Отношение сигнал/шум	+22 дБ	

Как видно из таблицы 2, характеристик канала связи от БПЛА к НПУ, для уменьшения затухания сигнала на трассе целесообразно использовать направленные антенны как на борту БПЛА так и в НПУ.

Для обеспечения связи в момент возникновения ЧС необходимо также рассмотреть решение задачи увеличения длительности полета БПЛА. С этой целью целесообразно предусмотреть размещение каких либо пунктов подзарядки аккумуляторных батарей вблизи возникшего природного катаклизма.

Одним из вариантов решения данной задачи может быть установка пунктов подзаряда с использованием высоковольтных линий электропередач (ЛЭП).

Рассмотрим возможную реализацию выше предложенного. Как правило, при переходах через автодороги располагаются опоры ЛЭП не имеющие острых окончаний. Сами опоры ЛЭП выполнены из уголка 100 мм, внизу и не менее 50 мм вверху, это позволит осуществить посадку данных летательных аппаратов на эти опоры, так как соединенный определенным образом уголок 50 мм позволит выдерживать нагрузку более 50 кг. Вместе с этим, появляется возможность производить подзарядку аккумуляторов данных БПЛА, за счет установки и подключения на опорах ЛЭП преобразователей. Данные устройства будут позволять понизить напряжение от уровня киловольт, до необходимого для зарядки аккумуляторов.

Таким образом, при наличии двух БПЛА возможно добиться не только передачи в ЦУКС текущего состояния ЧС, с целью привлечения необходимых сил и средств для ликвидации ЧС, но и решить задачу проведения мониторинга ситуации для предупреждения и эвакуации людей и исключения их гибели из наиболее вероятных пунктов распространения ЧС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ катастроф в сентябре 2016 года.Сайт www.kmechte.ru/sobytia 2016.
2. *Зверев А.П.* Некоторые концептуальные положения по использованию беспилотных России. Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014 № 3.С.10-13.
3. Основные задачи и проблемы применения беспилотных систем в МЧС России. Перспективы развития. Сайт www. UVS.ru
4. *Боев Н.М., Шаршавин П.В. Нигруца И.В.* Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния. ООО НПП Автономные аэрокосмические системы – ГеоСервис Институт Инженерной физики и радиоэлектроники ФГАУ ВПО Сибирский федеральный университет, г. Красноярск. Сайт:www. uav - siberia. com
5. *Боев Н.М. Анализ* командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами// Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф.Решетнева. Выпуск 2 (42) / гл. ред. д.т.н. Ковалев И.В. – Красноярск: Сиб .ГАУ, 2012. – С.86–91.
6. *Зверев А.П., Рыбалко И.П., Болдырихин Н.В.* Выбор пути и распределение сил, средств и систем связи при совершении марша для устранения чрезвычайной ситуации. Труды

Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. - Ростов-на-Дону.: СКФ МТУСИ, 2015.
7. *И.П. Рыбалко, *Н.В. Болдырихин, *А.П. Зверев, **А.Ю. Цветков.* Управление маршрутизацией в подвижных радиосетях спасательных формирований МЧС на основе экспертной системы. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2016. ISSN 2221-7975.

С.В. Зеленский, К.А. Батенков

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕОПРИЛОЖЕНИЙ

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,
Орел, Россия

Ключевые слова: время воспроизведения буфера, вероятностно-временные характеристики, математическое ожидание, дисперсия.

В статье рассмотрена зависимость времени воспроизведения буфера, а именно его математического ожидание и дисперсии, от различных характеристик сети.

S.V. Zelensky, K.A. Batenkov

THE STUDY OF PROBABILISTIC-TEMPORAL CHARACTERISTICS OF VIDEO APPLICATIONS

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation,
Oril, Russia

Key words: buffer play time, probability-time characteristics, mathematical expectation, variance.

The article considers the dependence of the buffer playback time, namely its mathematical expectation and variance, on various network characteristics.

Рассматривая процесс видеотрансляции разделим его на две стадии, а именно стадия заполнения и стадия воспроизведения.

Стадия заполнения начинается, когда буфер воспроизведения становится пустым. В этом случае, буфер заполняется с постоянной скоростью и сохраняет замороженным видео до тех пор пока пакеты не загрузятся. Количество пакетов, необходимое буферу для воспроизведения, называется порогом воспроизведения b. Стадия воспроизведения

начинается, когда достигается порог воспроизведения и пакеты уходят из буфера для воспроизведения. Стадия воспроизведения может задерживаться, когда буфер воспроизведения становиться пустым. Случайно изменяющаяся величина T называется задержкой воспроизведения. Стадии заполнения и воспроизведения повторяются до тех пор, пока видео полностью не загрузится.

Качество видео оценивается по двум показателям: время задержки перед воспроизведением видео и гладкость воспроизведения. Мы исследуем первый показатель, т.е. время перед воспроизведением буфером видео, и рассмотрим как зависят его математическое ожидание и дисперсия от различных параметров сети.

На рисунке 1 показана зависимость математического ожидания задержки воспроизведения от порога воспроизведения буфера. Изменяя порог воспроизведения b от 100 до 500 пакетов при постоянных значениях интенсивности поступления пакетов ($\lambda = 30$ пакетов/сек.) из сети и интенсивности обработки пакетов для воспроизведения ($\mu = 30$ пакетов/сек.) наблюдаем линейную зависимость, т.к. при увеличении порога воспроизведения также увеличивается математическое ожидание времени задержки воспроизведения. На рисунке 2 мы видим, что дисперсия задержки воспроизведения также растет с увеличением порога воспроизведения. Это обусловлено тем, что чем больше порог воспроизведения, тем и длительность задержки воспроизведения будет больше, но если при этом увеличивать интенсивность поступления и обработку пакетов, длительность задержки уменьшается.

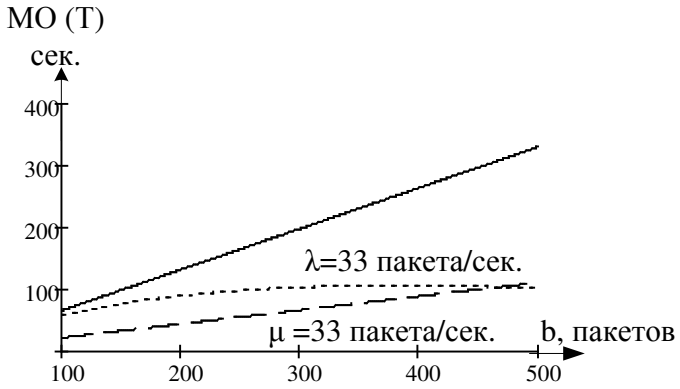


Рисунок 1

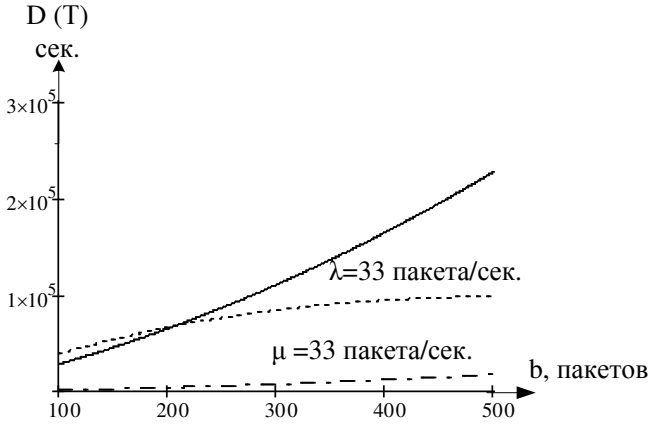


Рисунок 2

При постоянном пороге воспроизведения (b=100 пакетов), изменяя при этом интенсивность поступления пакетов в буфер или интенсивность обработки пакетов для воспроизведения (рис. 3, 4, 5, 6), видим, что математическое ожидание и дисперсия задержки воспроизведения буфера имеют экспоненциальную зависимость. При увеличении интенсивности до определенного значения математическое ожидание и дисперсия времени задержки увеличиваются и при равенстве интенсивности поступления и обработки пакетов их значения будут максимальными, а затем также по экспоненте будут убывать. Это вызвано тем, что буфер заполняется быстрее, чем происходить обработка пакетов или наоборот медленное заполнение буфера вызывает более длительную задержку буфера.

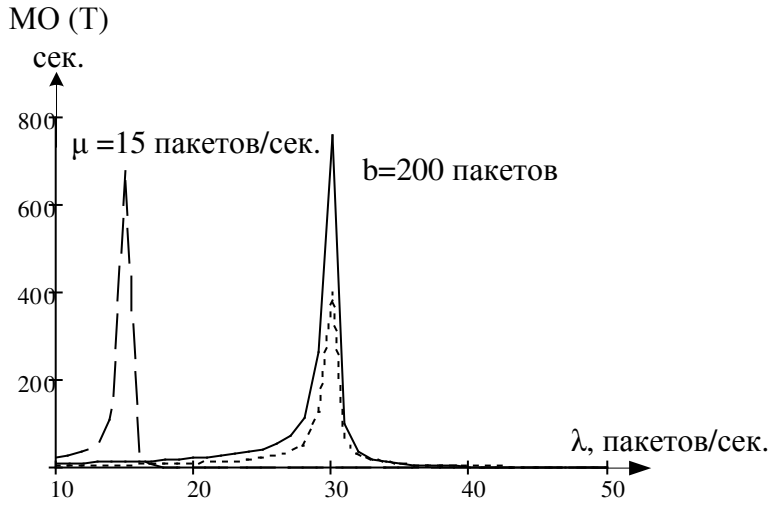


Рисунок 3

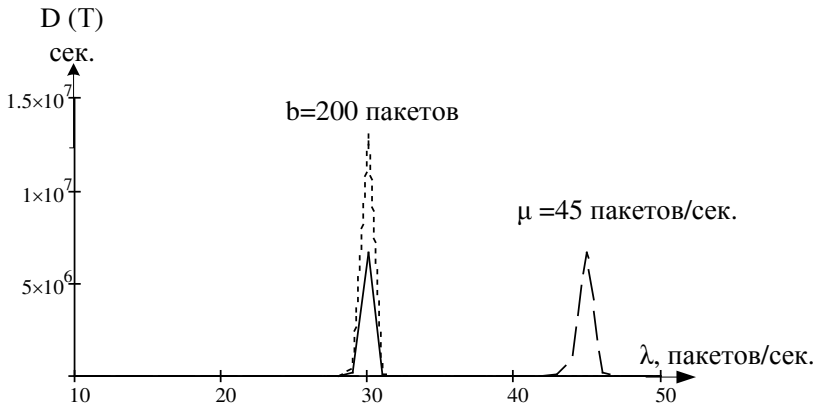


Рисунок 4

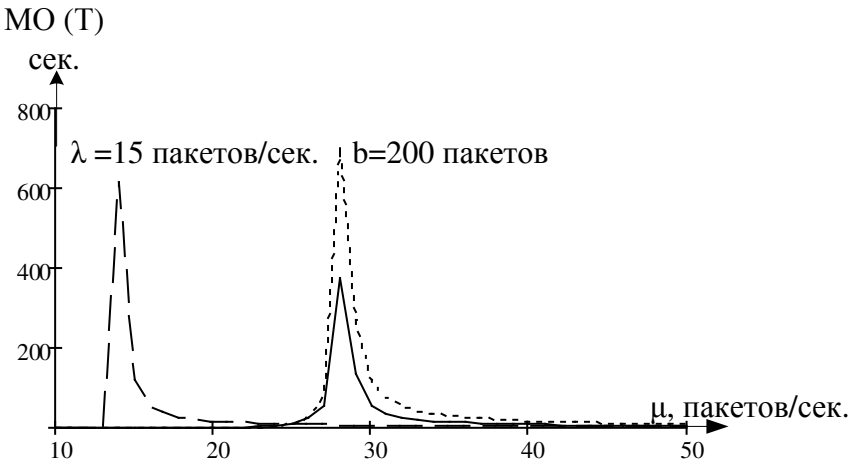


Рисунок 5

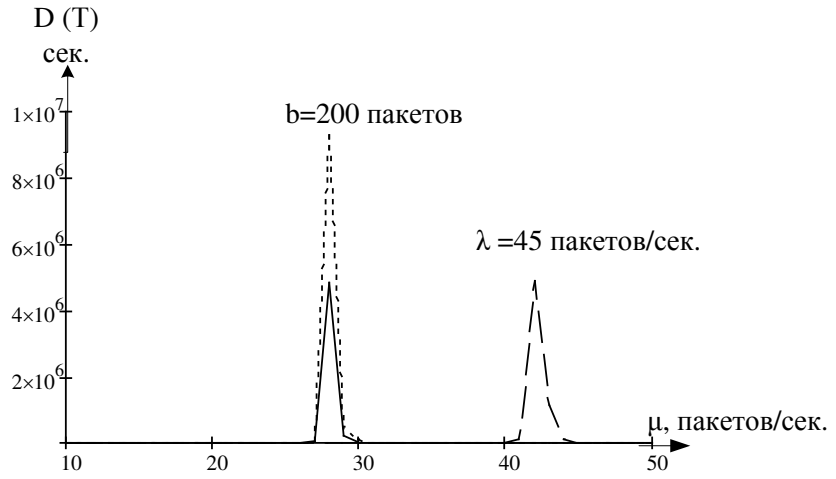


Рисунок 6

Проанализировав зависимости математического ожидания и дисперсии задержки воспроизведения буфера от порога воспроизведения, интенсивности поступления и обработки пакетов, можно сказать, что для уменьшения задержки необходимо, что бы буфер имел такой порог, при котором буфер не будет переполнен потому что пакеты медленно обрабатываются или пустым, потому что буфер медленно заполняется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Luan, Tom H., Cai, Lin X. and Shen, Xuemin (Sherman)* 2010, Impact of network dynamics on user's video quality: analytical framework and QoS provision, IEEE Transactions on multimedia, vol. 12, no. 1, Article number 5332308.

Н.И. Ильиных, И.А. Малкова, Е.А. Волгарев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ Al-N ПРИ НАГРЕВАНИИ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге

Ключевые слова: полупроводниковые материалы, алюминий, азот, термодинамическое моделирование, расплав, свойства.

В настоящей работе с использованием методики термодинамического моделирования и программного комплекса TERRA проведено исследование температурных зависимостей парциальных давлений компонентов газовой фазы, образующейся над расплавами системы Al-N. Построены температурные зависимости логарифмов парциальных давлений компонентов газовой фазы.

Показано, что с ростом температуры парциальные давления всех компонентов газовой фазы над расплавами Al-N увеличиваются и могут быть описаны линейными зависимостями.

N.I. Ilinykh, I.A. Malkova, E.A. Volgarev

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF THE Al-N SYSTEM IN HEATING IN A WIDE TEMPERATURE INTERVAL

Federal State Budget Institution of Higher Professional Education «Siberian State University of Telecommunications and Informatics» Ural Technical Institute of Communications and Informatics (Branch), Yekaterinburg

Keywords: semiconductor materials, aluminum, nitrogen, thermodynamic modeling, melt, properties.

At the presented paper the investigation of temperature dependences of the partial pressures of the gas phase components above the melts of Al-N system was carried out using the thermodynamic modeling method and TERRA software. The temperature dependences of logarithms of the partial pressures of the gas phase components were constructed.

It was shown that partial pressures of all components increase with temperature increasing and temperatute dependences of partial pressures can be described by linear equations.

В настоящее время нитриды металлов третьей группы (AlN, GaN, InN) представляют большой научный и практический интерес в связи с тем, что являются перспективными материалами для полупроводниковой электроники, в частности, для использования в полупроводниковых источниках излучения в коротковолновой области видимого диапазона и ближнем ультрафиолете [1].

Многие из них обладают высокой огнеупорностью, диэлектрическими и полупроводниковыми свойствами, способностью переходить к сверхпроводимости при относительно высоких температурах, высокой химической устойчивостью в различных агрессивных средах, износостойкостью, низкими температурами плавления, низкими значениями твердости, смазочными свойствами [2-4].

Несмотря на то, что экспериментальному изучению этих материалов уделяется достаточно большое внимание [5], многие их свойства и характеристики исследованы недостаточно полно. Поэтому теоретическое исследование нитридов металлов III группы является актуальной задачей [6].

Наряду с задачей получения материалов для микроэлектроники и изучения их характеристик актуальной является также задача исследования поведения этих материалов в экстремальных условиях, в частности, в агрессивных средах, при высоких или, наоборот, криогенных температурах, повышенных давлениях и т.д.

Целью настоящей работы является исследование температурных и концентрационных зависимостей парциальных давлений компонентов газовой фазы над расплавами Al-N в широком интервале температур и составов.

Исследование выполнено с использованием методов термодинамического моделирования, программного комплекса TERRA, модели идеальных растворов и модели идеальных растворов продуктов взаимодействия в исходной среде аргона при общем давлении 10^5 Па. Исследовалась область температур и составов, соответствующая жидкому состоянию: T = 2500 – 2800 K. [7-9]

Построены графики температурных зависимостей парциальных давлений компонентов газовой фазы, образующейся над расплавами системы Al-N (рис.1).

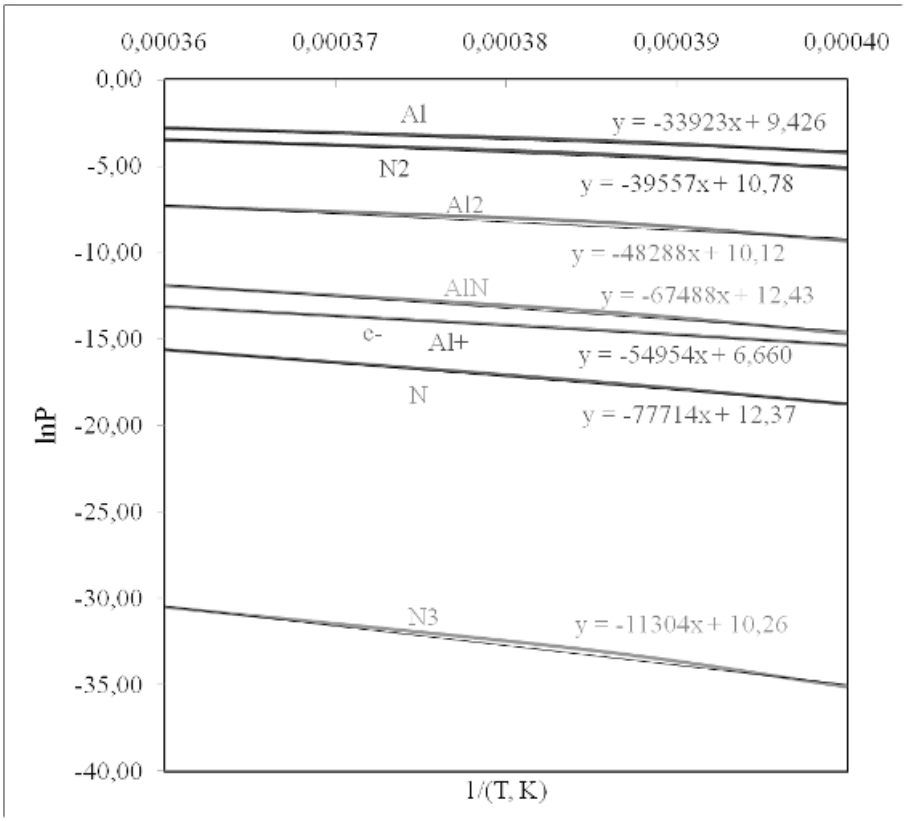


Рис.1. Температурные зависимости парциальных давлений компонентов газовой фазы над расплавами системы Al-N

Из рисунка видно, что с ростом температуры парциальные давления всех компонентов увеличиваются, а зависимости lnP = f(1/T) являются линейными. Уравнения, описывающие эти зависимости, представлены на рис.1.

Следовательно, можно сделать следующие **выводы по результатам работы.**

Рассчитаны температурные зависимости содержания компонентов расплавов AlN при различных температурах.

Установлено, что давление всех компонентов можно описать линейными зависимостями: lnP = A+B/T, где A и B – постоянные коэффициенты, T – температура, K.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *В.А. Иванцов, В.А. Суховеев, В.И. Николаев, И.П. Никитина, В.А. Дмитриев.* Исследование физических свойств объемных монокристаллов нитрида галлия. Физика твердого тела, 1997, том 39, №5 с. 858-860
2. *Самсонов Г.В.* Нитриды. Киев: Наукова думка, 1969, 380 с.
3. *Л.Г. Дьячков, Л.А. Жиляков, А.В. Костановский.* Плавление нитрида алюминия при атмосферном давлении азота. Журнал технической физики, 2000, том 70, вып. 7, с.115-117.
4. *С.Ю. Давыдов.* Оценки параметров нитридов элементов третьей группы: BN, AlN, GaN и InN. Физика и техника полупроводников, 2002, том 36, вып. 1, с. 45-47.
5. Proc. 7th Int. Conf. Silicon Carbide, III-Nitrides and Related Materials (Stockholm, 1997), ed. By G. Pensl, H. Morkoc, B. Monemar and E. Janzen (Trans. Tech,. Switzerland, 1998).
6. *С.Ю. Давыдов.* Оценки параметров нитридов элементов третьей группы: BN, AlN, GaN и InN. Физика и техника полупроводников, 2002, том 36, вып. 1, с.45-47.
7. *Синярев Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К.* Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. - М.: Наука, 1983. - 263 с.
8. *Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г.* Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. - М.: Металлургия, 1994. - 353 с.
9. *Трусов Б.Г.* Программная система моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2012. С.240-249.

М.О. Киреев, *Е.В. Глушак

ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА ADSL

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), г. Самара, Россия
*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), г. Самара, Россия

Ключевые слова: влияние параметров абонентской кабельной пары, влияние со стороны пары модем-DSLAM, базовые параметры, специализированные параметры, наличие в кабеле неоднородностей.

В статье представлены факторы, влияющие на параметры качества ADSL. На основании теоретических сведений о технологии ADSL в статье выявлены факторы, характеризующие параметры качества ADSL.

M.O. Kireev*, E.V. Glushak

STUDY OF FACTORS INFLUENCING THE QUALITY PARAMETERS OF BROADBAND ACCESS TECHNOLOGIES ADSL

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI), Samara, Russia
*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI), Samara, Russia

Keywords: influence of parameters of the subscriber cable pair, the influence of a pair of modem-DSLAM, basic parameters, custom settings, cable inhomogeneity's.

The article presents the factors influencing the quality parameters of the ADSL. On the basis of theoretical information about the ADSL technology in the article the factors characterizing the quality parameters of the ADSL.

Рассматривая технологию ADSL можно выделить две группы факторов, влияющих на параметры качества:

- влияние параметров абонентской кабельной пары,
- влияние со стороны пары модем-DSLAM.

Наиболее интересным для эксплуатации фактором, непосредственно влияющим на параметры качества ADSL, являются параметры абонентской кабельной пары. Поскольку абонентский кабель и его параметры не привносится технологией ADSL извне, а уже имеется у оператора.

Базовые параметры абонентской пары полностью описаны в нормативных документах и хорошо известны. К основным базовым параметрам можно отнести:

- наличие постоянного/переменного напряжения на линии;
- сопротивление абонентского шлейфа;

- сопротивление изоляции абонентского шлейфа;
- емкость и индуктивность абонентского шлейфа;
- комплексное сопротивление линии на определенной частоте (импеданс линии);
- симметрию пары в смысле омического сопротивления.

Значения перечисленных параметров определяют качество абонентской пары, и уже на этом основании можно говорить, что они важны для паспортизации кабелей под ADSL.

Кроме базовых параметров существуют специализированные параметры кабеля. Процедурно специализированные параметры отличаются от базовых тем, что любые измерения этих параметров всегда опираются на методики частотного тестирования линии. Согласно данным методикам для диагностики абонентского кабеля следует подать тестовый специализированный сигнал (воздействие) и анализировать качество прохождения такого сигнала по линии (отклик).

К специализированным параметрам относятся:
- затухание в кабеле;
- шум в широкой полосе частот и отношение сигнал/шум;
- амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);
- переходное затухание на ближнем конце;
- переходное затухание на дальнем конце;
- импульсные помехи;
- возвратные потери;
- симметрия пары в смысле неравномерности характеристик передачи.

Следующий фактор, непосредственно влияющий на параметры качества ADSL на уровне абонентского кабеля, - наличие в кабеле неоднородностей.

Любые неоднородности в абонентском кабеле негативно сказываются на параметрах передачи.

В качестве иллюстрации процессов, происходящих в системе передачи, на рис.1 показана параллельная отпайка, представляющая собой довольно частое явление на отечественной сети.

В случае передачи широкополосного сигнала через параллельную отпайку передаваемый сигнал сначала разветвляется, а затем отражается от несогласованного конца отпайки.

В результате на стороне приемника два сигнала - прямой и отраженный - накладываются друг на друга, причем отраженный сигнал может рассматриваться как шумовой. Поскольку шумовой сигнал в случае, изображенном на рис.1, имеет ту же структуру, что и обычный сигнал, его влияние оказывается максимальным на параметры качества передачи.

Рис. 1 - Параллельная отпайка и ее влияние на параметры передачи ADSL

Уровень деструктивного влияния отраженного сигнала будет напрямую зависеть от уровня отражения на отпайке. Из теории сигналов уровень отражения будет тем выше, чем больше частота передаваемого сигнала.

В результате любые системы широкополосной передачи оказываются очень чувствительными к любым неоднородностям в кабеле. В случае ADSL чувствительность к неоднородностям немного компенсируется адаптивной подстройкой пары модем-DSLAM, так что наличие отпаек не отменяет возможность передачи.

Но в случае отпайки скорость передачи ADSL резко падает, что позволяет производителям оборудования и системщикам выдвигать требования о недопустимости никаких неоднородностей в кабеле для ADSL. Так же нужно отметить, что на общие параметры качества доступа ADSL влияет эффективность работы пары модем-DSLAM. Здесь сказывается несколько факторов:

1. Технология ADSL предусматривает технологическую независимость параметров DSLAM и модема, эти устройства могут быть разного производства. Любые варианты нестыковки в паре модем-DSLAM должны сказываться на качестве доступа ADSL.
2. Фактор нестыковки на уровне «рукопожатия» может проявиться в том, что модем и DSLAM могут установить не самый эффективный режим работы и обмена данными.
3. На уровне диагностики соединения фактор нестыковки может привести к неправильной настройке эквалайзеров и эхокомпенсаторов, что скажется на параметрах скорости передачи. Здесь же может присутствовать фактор нарушения в работе только одного устройства. Например, сама процедура настройки эхокомпенсатора в модеме может оказаться некорректной и могут возникнуть нарушения. Аналогичные нарушения могут быть вызваны некорректной работой процедур выравнивания уровня сигнала в DSLAM и т.д.
4. Аналогичные проблемы могут быть обусловлены нестыковкой на уровне диагностики канала. Здесь нарушения в процессе согласования схем кодирования и любые сбои в работе алгоритмов диагностики SNR могут привести к ухудшению качества подключения ADSL.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М.* Технологии широкополосного доступа xDSL, Инженерно-технический справочник / Под общей редакцией В.А. Балашова. — М.: Эко-Трендз, 2009.
2. *Денисьева О.М.* Современные технологии и средства абонентского доступа // Технологии и средства связи. - 1998.- №6.- С.38.
3. *Денисьева О.М. Мирошников Д.Г.* Средства связи для последней мили. - М.: ЭКО - ТРЕНДЗ - НТЦ НАТЕКС, 1999.- с.137.

***Н.Е. Кириленко, *С.О. Красников, К.Д. Бадыштова, *И.В. Щербань**

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОСЦИЛЛЯТОРНЫХ ПАТТЕРНОВ В СОСТАВЕ ЗАШУМЛЕННЫХ СИГНАЛОВ

Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи
и информатики, г.Ростов-на-Дону, Россия
*Южный федеральный университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: паттерн, осцилляторная система, вейвлет-преобразование, энтропия

Решена задача поиска осцилляторных паттернов в составе зашумленных сигналов. Решение получено на основе разложения сигнала в частотно-временной системе координат посредствомего непрерывного вейвлет-преобразования. Вычисление распределения вейвлет-энергии сигнала осуществляется в локальном диапазоне масштабов (частот). Далее анализируется вейвлет-энтропия Шеннона.

***N.E. Kirilenko, * S.O. Krasnikov, K.D. Badyshtova, * I.V. Shcherban**

THE SOLUTION OF THE PROBLEM FOR SEARCHING AN OSCILLATORY PATTERNS IN THE NOISED SIGNALS

The North Caucasian Branch of the Moscow Technical University
of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia
*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Key words: pattern, dynamic system, oscillation system, Wavelet transform, entropy

The solution for the problem of searching an oscillatory patterns in the noised signals has been realized. Developed algorithm based on the signal's "time-frequency" decomposition by

continuous wavelet transform. The wavelet-energy distribution was carried out in a local scales (frequency) band. Then the Shannon wavelet-entropy was solved.

На современном этапе развития науки и техники широко распространены задачи анализа, идентификации и классификации различного рода сигналов, продуцируемых динамическими системами. Подобного рода задачи возникают в электроэнергетике [1], в биомедицинских приложениях и в других областях науки и техники. При этом наибольший интерес представляют динамические осцилляторные системы, в которых различного рода активности имеют непосредственно отражение в регистрируемом сигнале в виде паттернов с априорно неизвестной структурой и параметрами. Сигналы, продуцируемые такими динамическими осцилляторными системами,обладают высокой зашумленностью инестационарностью во времени. В составе этих сигналов с разной интенсивностью и случайным образом появляются заведомо неизвестные временные осцилляции.Для того, чтобы выяснить основные принципы синхронизации осцилляторной системы, провести качественно операции классификации и идентификации, необходимо локализовать во времени названные частотные осцилляции – так называемые паттерны.

Предварительный анализ сигналов, имеющих в своем составе паттерны с неизвестными характеристиками, заключается в вычислении вейвлет-энтропии исследуемого сигнала и относительной энтропии [1-4]. Выходной сигнал системы при этом представляется конечным одномерным рядом $\{x_k\}_{k=1}^{N}$ объемом n чисел за счет процедуры измерений с шагом по времени $\Delta t = 1$, где $t_k = t_0 + (k-1)\Delta t$: $x_k = f(t_k)$, $k = 1,2,\ldots,n$, t_0 – начальный момент времени наблюдения. Для локализации результатов во времени и последующего частотного анализа, генеральная совокупность измерений $\{x_k\}_{k=1}^{n}$ разбивается на $L>1$ непересекающихся временных интервалов (окон) объемом $n' < n$ чисел:

$$x_i = x_{(k-(l-1)n')}, \quad l = [k/n'], \quad i = 1,2,\ldots,n', \; n' = \langle n/L \rangle,$$

где $l = 1,2,\ldots,L$ – номер текущего временного окна.

Традиционные подходы базируются на дискретном вейвлет-преобразовании (ДВП). Разработан метод энтропийного анализа, основанный на непрерывном вейвлет-преобразовании (НВП) сигнала. Преимущество НВП заключается его избыточности, что позволяет достаточно полно представить содержащуюся в сигнале информацию, более качественно осуществлять поиск паттернов, возникающих в составе сигналов, продуцируемых осцилляторными системами.

Вместо традиционной вейвлет-энтропии, рассчитываемой при ДВП по уровням разложения, вычисляем энтропию посредством НВП и разложения сигнала по масштабирующим параметрам следующим образом:

$$H\ (l) = -\sum_{i_a=i_a^{min}}^{i_a=i_a^{max}} p_{i_a}(l)\log_2\left(p_{i_a}(l)\right); \sum_{i_a=i_a^{min}}^{i_a=i_a^{max}} p_{i_a}(l) = 1,$$

где $p_{i_a}(l) = \hat{\hat{E}}\left(a_{i_a}, l\right) \Big/ \hat{\mathrm{E}}\ (l)$ –вероятности распределения вейвлет-энергии сигнала по масштабам a_{i_a} в локальном диапазоне $i_a = i_a^{max}, i_a = i_a^{min}$; $\hat{\mathrm{E}}\ (l) = \sum_{i_a = i_a^{min}}^{i_a = i_a^{max}} \hat{\hat{E}}\left(a_{i_a}, l\right)$– дискретная оценка полной вейвлет-энергии спектра в том же локальном диапазоне масштабов; $\hat{\hat{E}}\left(a_{i_a}, l\right)$– локальная дискретная оценка распределения вейвлет-энергии по выбранным масштабам в рамках каждого временного интервала *l*.

Разработанный метод позволяет выявлять даже слабые вариации высокочастотных структур в составе зашумленных сигналов с интенсивностью, близкой к интенсивности шума, определять временную локализацию искомых паттернов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мисриханов А.М.* Применение методов вейвлет-преобразования в электроэнергетике // АиТ. 2006. №5. С. 5-23.
2. *Blanco S., Figliola A., Quiroga R. Q., Rosso O. A., Serrano E.* Time-frequency analysis of electroencephalogram series. III. Wavelet packets and information cost function // Phys. Rev. E 57. 1998. P. 932-940.
3. *Rosso O. A., Blanco S., Yordanova J., Kolev V., Schurmann M., Figliola A., Basar E.* Wavelet entropy: a new tool for analysis of short duration brain electrical signals // Journ. of Neuroscience Methods. 2001. V. 105. P. 65-75.
4. *Yordanova J., Kolev V., Rosso O. A., Schurmann M., Sakowitz O.W., Ozgoren M., Basar E.* Wavelet entropy analysis of event-related potentials indicates modality-independent theta dominance // Journ. of Neuroscience Methods. 2002. V. 117. P. 99–109.
5. *Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166, No. 11. С. 1145-1170.

М.А. Клевакин, Д.В. Кусайкин

О НОВЫХ СПОСОБАХ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА С НЕНУЛЕВЫМ ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ В ВОСП

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ),
г. Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: пропускная способность, орбитальный угловой момент, волокна для передачи электромагнитных волн с ненулевым ОУМ, многокольцевое волокно.

В данной работе представлен краткий обзор результатов исследований в области применения орбитального углового момента для передачи информации в волоконно-оптических сетях связи на примере специализированных маломодовых волокон (vortex fiber) и многокольцевых волокон (multi-ring fiber). Предложены новые способы генерации электромагнитных волн с ненулевым орбитальным угловым моментом.

M.A. Klevakin, D.V. Kusaykin

THE NEW WAYS TO GENERATE VORTEX BEAMS IN FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS

Ural Technical Institute of Communications and Computer Science (branch) of the federal state budgetary educational establishment of high education «Siberian State University of Telecommunications and Computer Science», Yekaterinburg, Russia

Keywords: bandwidth, orbital angular momentum, vortex fiber, multi-ring fiber.

In this work, the recent research results of application the OAM beams for transmitting information in optical networks based on vortex fiber and multi-ring fiber, were briefly overviewed. The new ways of vortex beams generation were proposed.

Введение

С каждым годом наблюдается значительное увеличение телекоммуникационного трафика, что требует постоянного наращивания пропускной способности транспортных сетей. Эта тенденция приводит к тому, что используемые технологии достигают предела своих возможностей. В период последних трех десятилетий информационная ёмкость волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) увеличивалась за счёт применения технологий уплотнения каналов с разделением по длине волны и по поляризации, а также за счет применения новых многоуровневых форматов модуляции. В современных ВОЛС при поляризационном уплотнении используют только два состояния поляризации, поэтому этот подход не позволяет организовывать всё большее число каналов и, соответственно, дальше наращивать пропускную способность. С другой стороны, технология мультиплексирования с разделением по длине волны xWDM уже достигает своего предела – дальнейшее увеличение числа оптических каналов за счет уменьшения расстояния между ними увеличивает требования к характеристикам оборудования или приводит к увеличению межканальных влияний и, соответственно, росту искажений.

На сегодняшний день разработано несколько подходов для решения данной проблемы, среди которых можно отметить метод пространственного уплотнения каналов (применение многосердцевинных волокон) и метод модового уплотнения каналов. Например, в работе [3] исследуется вопрос передачи 6 потоков со скоростью 40 Гбит/с каждый по многомодовому оптическому волокну (ОВ) на расстояние 96 км.

Недостатком многосердцевинных волокон является сложный технологический процесс их изготовления в сравнении с традиционными многомодовыми волокнами. Однако у традиционных многомодовых волокон имеется проблема наложения мод, обусловленная помехами или вследствие незавершенности преобразования модового

состава излучения [1]. Для решения этой проблемы используются сложные в вычислительном плане методы цифровой обработки сигналов, основанные на использовании адаптивной оптической системы с обратной связи [2], а также применяется технология MIMO (Multiple Input Multiple Output) [3,4]. Подобные решения становятся все более сложными в реализации с увеличением порядка обрабатываемых мод.

Сегодня исследуется ещё один метод уплотнения оптических каналов – мультиплексирование с разделением по орбитальному угловому моменту (ОУМ). Этот метод считается достаточно перспективным, за последние годы появилось немало публикаций по данной тематике [1,4,5,7,8 и др.], изучается возможность применения ОУМ-мультиплексирования в радиосвязи, в атмосферных оптических линиях связи и ВОЛС. Также изучение ОУМ положило начало разработкам во многих других отраслях, в том числе в томографии, астрономии, квантовой обработке информации и др. При теоретически неограниченном числе значений топологической постоянной l имеется возможность генерирования сигналов с множеством различных состояний ОУМ. Поэтому применение ОУМ-мультиплексирования может значительно увеличить пропускную способность систем связи.

В данной работе представлен краткий обзор результатов исследований в области применения орбитального углового момента для передачи информации в волоконно-оптических сетях связи на примере специализированных маломодовых волокон (vortex fiber) и многокольцевых волокон (multi-ring fiber). Предложены новые способы генерации электромагнитных волн с ненулевым ОУМ.

1 Перспективы применения ОУМ-мультиплексирования в ВОЛС

Орбитальный угловой момент (англ. Orbital Angular Momentum, OAM) является одной из фундаментальных физических величин в классической и квантовой электродинамике. На сегодняшний день ОУМ рассматривается как естественная характеристика различных электромагнитных волн. Само состояние ОУМ описывается при помощи двух параметров: топологической постоянной l, принимающей целочисленные значения $l = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$, и азимутального угла φ.

Уже проведены эксперименты по передаче сигналов в свободном пространстве с применением мультиплексирования потоков по ОУМ, что позволило значительно увеличить пропускную способность беспроводных систем связи [5,6]. Однако при передаче потоков с мультиплексированием по ОУМ в традиционных оптических волокнах возникают серьезные проблемы. Возбуждаемые моды с ненулевым ОУМ накладываются друг на друга, что не позволяет передать сигналы на расстояние более метра [7]. В связи с этим потребовались исследования, касающиеся возможности передачи волн оптического диапазона с ненулевым ОУМ в нетрадиционных волокнах.

В исследовании [1] было предложено использование модового уплотнения каналов (MDM) в сочетании с ОУМ (OAM-MDM) для передачи информации по специально разработанному волокну – vortex fiber (маломодовое волокно для передачи электромагнитных волн с ненулевым ОУМ). Упрощённая схема системы передачи показана на рисунке 1.

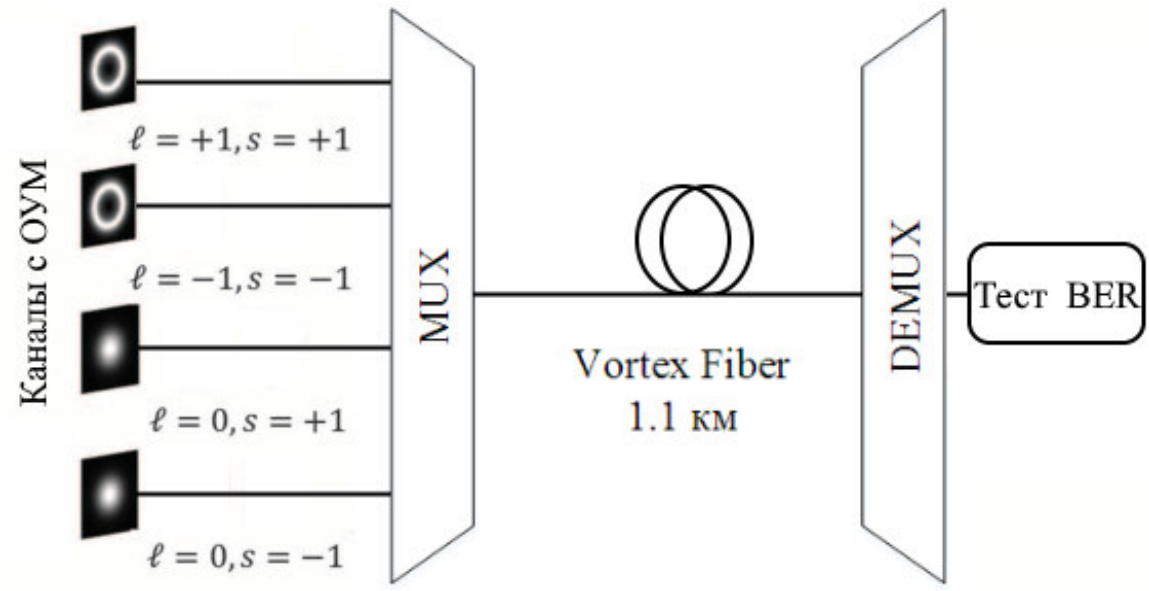


Рисунок 1 – Упрощённая схема OAM-MDM системы передачи [1]

Эксперимент заключался в передаче по одному волокну четырех мод на одной длине волны: две волны имели значение ОУМ $l = \pm 1$ (моды типа $OAM^{\pm}$), две другие – разные спиновые угловые моменты (СУМ) $s = \pm 1$ (моды типа $LP_{01}^{\pm}$). Для мультиплексирования потоков были использованы традиционные оптические излучатели в сочетании с пространственными модуляторами света (spatial light modulators, SLM). Схемы получения мод с ОУМ и СУМ представлены соответственно на рисунках 2а и 2б, где SPP (Spiral Phase Plate) – спиральная фазовая пластинка; QWP @45° (Quarter-Wave plate) – четвертьволновая пластинка с углом поворота фазы 45°.

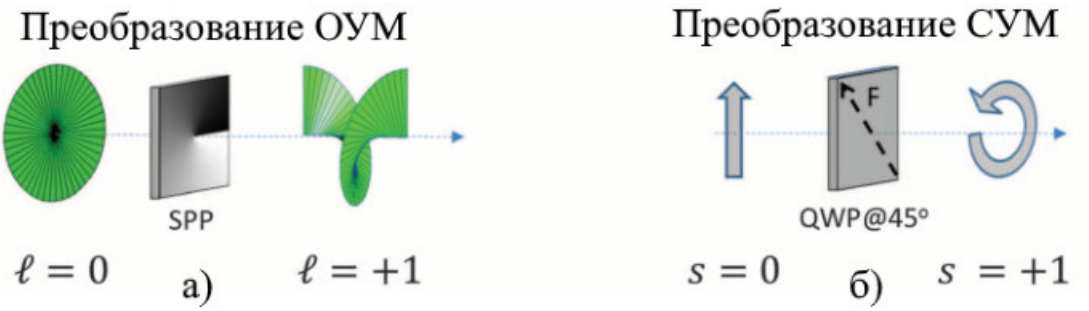


Рисунок 2 – Схемы формирования ОУМ (а) и СУМ (б) [1]

В эксперименте использовалось специализированное маломодовое ОВ, которое позволило передавать ассиметричные моды первого порядка: TM_{01} $\mathrm{TM_{01}}$ – с поперечной магнитной составляющей, моды $\mathrm{OAM^{\pm}}$ и моды с поперечной электрической составляющей TE_{01}, а также две моды $LP_{01}^{\pm}$. В отличие от обычных маломодовых ОВ (few-mode fiber), в данном волокне не происходит взаимного наложения основных $LP_{01}^{\pm}$, $\mathrm{OAM^{\pm}}$ и паразитных мод TM_{01}, TE_{01}. Более подробное описание параметров волокна vortex fiber можно найти в [8].

Исследователям удалось произвести передачу 4 мод на одной длине волны с OAM-MDM мультиплексированием и модуляцией QPSK, в результате общая пропускная способностью системы составила 400 Гбит/с. Также они организовали передачу данных со скоростью 1.6 Тбит/с, используя 10 длин волн (в диапазоне 1546.64 – 1553.88 нм), две моды $OAM^{\pm}$ и модуляцию 16-QAM.

Стоит отметить, что в используемой системе мультиплексирования величина взаимных межмодовых влияний составила менее -21 дБ. На выходе волокна длиной 1.1 км величина взаимных межмодовых влияний не превысила -10 дБ. Модовые картины, регистрируемые на выходе ОВ, приведены на рисунке 3.

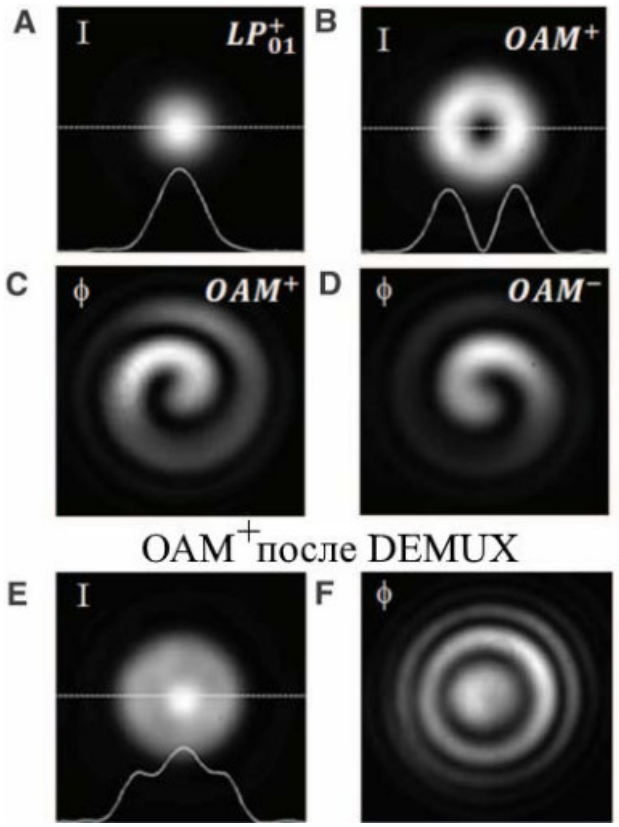


Рисунок 3 – Модовые картины [1]

Таким образом, данными экспериментами была подтверждена возможность передачи по ОВ волн с ненулевым ОУМ.

Другим примером возможности передачи волн с ненулевым ОУМ по ОВ является исследование [9], в котором для передачи множества ОУМ мод использовалось многокольцевое волокно (multi-ring fiber).

Достоинством однокольцевого волокна с высоким показателем преломления по сравнению с многомодовым ОВ со ступенчатым профилем является тот факт, что первое поддерживает более эффективную передачу основной моды без наложения на неё паразитных. Таким образом, с увеличением радиуса сердцевины ОВ и, соответственно, наращиванием числа таких колец, можно организовать передачу в режиме OAM-SDM (Space Division Multiplexing).

Схема такого мультиплексирования приведена на рисунке 4, где j - порядок возбуждаемой OAM_{0j} моды, k - номер кольца, передающего OAM_{0j} моду, r_1, r_2, r_3 - радиусы внутреннего, внешнего кольца и оболочки волокна, соответственно.

Согласно [9], удалось добиться высокой дальности распространения ОАМ мод (смещение моды составило порядка 10 пс на 600 км при нарушении эклиптики волокна на 1% для OAM_{04} при скорости 10 Гбит/с). Подробнее ознакомиться с технологией производства и экспериментальными данными можно в [9].

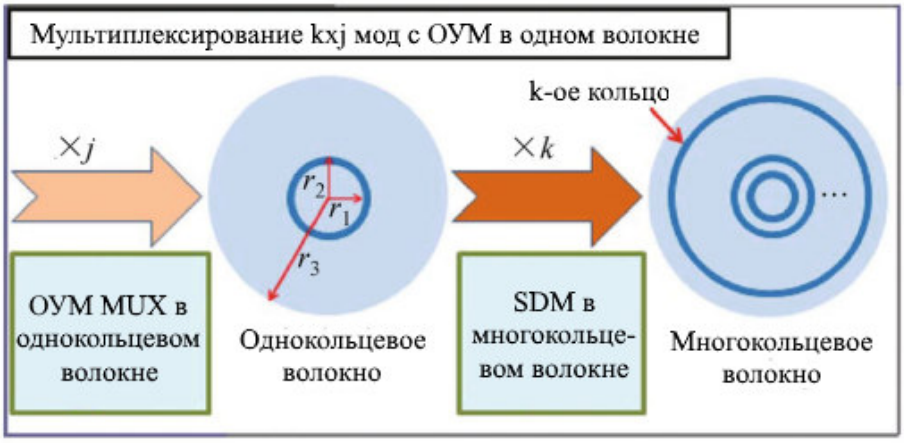


Рисунок 4 – Схема мультиплексирования в мнококольцевом волокне [9]

Приведённые результаты исследований применения ОУМ для передачи информации по ВОЛС показывают эффективность этой технологии для решения проблемы пропускной способности. Однако процесс генерации электромагнитных волн с ненулевым ОУМ с различными значениями топологической постоянной l и/или азимутального угла φ пока имеют строгую привязку к физическому носителю (будь то сферическая фазовая пластинка, голографический шаблон или жидкокристаллический полимер на полупроводниковой подложке). В связи с этим для повышения степени варьируемости системы требуется разработка более гибких вариантов генерации мод с ОУМ.

2 Способы повышения эффективности генерации электромагнитных волн с ненулевым ОУМ

С нашей точки зрения возможны следующие пути развития способов генерации мод с различными значениями ОУМ:

1. использование «светоосязаемой» голографии;
2. применение динамически перестраивающиеся структуры (концепция наноассемблера).

Первый подход заключается в следующем. Предположим, имеется некоторая поверхность с размещенной на ней голограммой. При прохождении через неё оптического пучка в местах, имеющих большую плотность, будет наблюдаться перепад плотности проходящих фотонов таким образом, что на участке между большей и меньшей плотностью «голографического» вещества будет образовываться градиентный переход. Таким образом, задавая некоторый профиль в компьютерной программе (например, как

это делается в существующих голографических решётках), его можно будет получить на отображаемой плоскости и, соответственно, генерировать необходимое состояние ОУМ в режиме реального времени. Стоит отметить, что в этом случае потребуется соблюдение высокого класса чистоты поверхности, на которой будет разворачиваться такой «светоосязаемый» голографический профиль.

Второй вариант – динамически перестраивающиеся структуры, основан на концепции наноассемблера, согласно которой можно будет создать таких роботов, которые смогут собирать структуры по атомам согласно определённой программе [10]. Эта концепция менее вероятна к реализации в ближайшее время, чем первый вариант, однако она позволит создавать не только голографические «светоосязаемые» профили, но и другие инструменты для генерации ОУМ мод в режиме реального времени, без необходимости поддержания постоянных условий и с минимизацией требуемых материалов для создания множества вариантов состояний ОУМ в будущем.

Заключение

Применение метода уплотнения оптических каналов с разделением по орбитальному угловому моменту может позволить в значительной степени наращивать пропускную способность ВОЛС. Однако данный метод требует использования специализированных волокон, что осложняет его внедрение в существующие волоконно-оптические сети. Вопросом использования волн с ненулевым ОУМ в ВОСП интересуется множество исследователей, о чём свидетельствует появление за последние несколько лет большого количества публикаций по данной тематике. Поэтому, возможно, в ближайшее время найдется решение данной проблемы.

В дальнейшем предполагается работа по математическому моделированию предложенных способов генерации электромагнитных волн с ненулевым ОУМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nenad Bozinovic, Yang Yue, Yongxiong Ren, Moshe Tur, Poul Kristensen, Hao Huang, Alan E. Willner, Siddharth Ramachandran*. Terabit-Scale Orbital Angular Momentum Mode Division Multiplexing in Fibers. // Science – 2013, 340, 1545.
2. *J. Carpenter, B. C. Thomsen, T. D. Wilkinson*, Degenerate mode-group division multiplexing, // J. Lightwave Technology – 2012, 30, 3946.
3. *Roland Ryf, Sebastian Randel, Alan H. Gnauck, Cristian Bolle, Alberto Sierra, Sami Mumtaz, Mina Esmaeelpour, Ellsworth C. Burrows, René-Jean Essiambre, Peter J. Winzer, David W. Peckham, Alan H. McCurdy, and Robert Lingle3. J. Sakaguchi* et al. Mode-Division Multiplexing Over 96 km of Few-Mode Fiber Using Coherent 6×6 MIMO Processing. // J. Lightwave Technology – 2012, 30, 658.
4. *Sercan Ö. Arık, Joseph M. Kahn, and Keang-Po ho.* MIMO Signal Processing for Mode-Division Multiplexing / IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE – 2014.
5. *Jian Wang, Jeng-Yuan Yang, Irfan M. Fazal, Nisar Ahmed, Yan Yan, Hao Huang, Yongxiong Ren, Yang Yue, Samuel Dolinar, Moshe Tur & Alan E. Willner5. R. Ryf* et al., Terabit free-space data transmission employing orbital angular momentum multiplexing, // J. Lightwave Technol., - 2012, 30, 521.

6. *Fabrizio Tamburini, Elettra Mari, Bo Thide´, Cesare Barbieri, and Filippo Romanato*. Experimental verification of photon angular momentum and vorticity with radio techniques. // Appl. Phys. Lett. – 2011, 99, 204102.
7. *René-Jean Essiambre, Gerhard Kramer, Peter J. Winzer, Gerard J. Foschini, and Bernhard Goebel. Capacity Limits of Optical Fiber Networks*. // J. Lightwave Technol. – 2010, 28, 662-701.
8. *Nenad Bozinovic, Yang Yue, Yongxiong Ren, Moshe Tur, Poul Kristensen, Hao Huang, Alan E. Willner, Siddharth Ramachandran*. Supplementary Material for Terabit-Scale Orbital Angular Momentum Mode Division Multiplexing in Fibers. // Science – 2013, 340, 1545.
9. *Yue Y, Yan Y, Ahmed N, Yang J Y, Zhang L, Ren Y X, Huang H, Birnbaum K M, Erkmen B I, Dolinar S, Tur M, Willner A E.* Mode properties and propagation effects of optical orbital angular momentum (OAM) modes in a ring fiber. // Photonics Journal, IEEE – 2012, 4(2), 535–543.
10. Ассемблер (наноассемблер) | Нанотехнологии Nanonewsnet [Электрон. ресурс] –Режим доступа: http://www.nanonewsnet.ru/node/2435.

[*]В.М. Кносаль, [*]Ф.А. Алтунин, [*]Р.В. Давыдов, [**]Н.В. Болдырихин

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СЕТЕЙ СВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА

[*]Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
[**]Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: мониторинг, сеть, математическая модель, задержка, временные ряды.

Данная статья посвящена обзору и анализу существующих математических моделей сетей связи, которые используются в задачах мониторинга: Марковская модель, модель фрактального броуновского движения, модель временных рядов, модель непрерывного Марковского процесса со случайным временем появления и исчезновения**,** а также показаны некоторые преимущества и недостатки.

[*]V.M. Knosal, [*]F.A. Altunin, [*]R.V. Davydov, [**]N.V. Boldyrikhin

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF COMMUNICATION NETWORKS USED IN MONITORING PROBLEMS

[*]Don state technical university, Rostov-on-don, Russia
[**]North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: monitoring, network, mathematical model, delay, time series.

This article is devoted to the review and analysis of existing mathematical models of communication networks that are used in monitoring tasks: markov model, model of fractional Brownian motions, model of time series, a model of a continuous Markov process with a random time of appearance and disappearance, some of their advantages and disadvantages are also shown.

Введение

Термин «мониторинг сети» можно интерпретировать как непрерывный контроль процессов и объектов информационной сети с целью оценивания и прогнозирования её состояния, и принятия, при необходимости, соответствующих мер защиты или восстановления [1-3].

1. Марковская модель системы

Для построения модели рассматриваются некоторые события, в качестве исходной информации, к примеру, действия пользователя, которые связанны с безопасностью [5].

Система описывается случайным и дискретным во времени процессом с множеством значений: $\tau_1, \tau_1, \dots \tau_n, \dots, \tau_g$, где τ является определенным событием, которое фиксирует операционная система [3]. Интервалы между действиями пользователя могут быть неодинаковыми.

Состояние системы через k шагов характеризует случайная величина $G_k = G(t_k)$, а $G_0 = G(t_0)$ – это случайное начальное состояние системы.

Полное описание рассматриваемой системы задается совместными конечномерными вероятностями $\rho(G_0, G_1, \dots, G_k)$ при всех k. Система описывается выражением:

$$\rho(G_0, G_1, \dots, G_k) = \rho_0(G_0) \prod_{m=1}^{k} \vartheta_m(G_m|G_{m-1}). \quad (1)$$

Далее, для упрощения расчетов, делается допущение, что вероятности одношаговых переходов $\vartheta_m(G_m|G_{m-1})$ не зависят от t. Такое предположение о стационарности облегчает вычислительный алгоритм. Использование данной модели целесообразно на начальных этапах исследования системы.

2. Модель фрактального броуновского движения

Данная модель может применяться, когда использование классического марковского процесса недостаточно точно учитывает свойства моделируемого объекта.

Фрактальным броуновским движением с параметром $H, 1 < H < 0$, называют гауссовский процесс $X(t)$, если $X(0) = 0$, функция $X(t)$ почти всегда непрерывна. Кроме того, приращение такого процесса $\Delta X(t) = X(t_2) - X(t_1)$ имеет гауссовское распределение с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\sigma^2(t_2 - t_1)^{2H}$, где $t_2 > t_1$, σ- положительная константа. Данный процесс обладает некоторой «памятью», в отличие от классического броуновского движения. К числу процессов, часто аппроксимируемых данной моделью, относят RTT-задержку (время между моментом отправки пакета и его возвращением, называемое так же «лагом») [3,4].

Для стационарного процесса t_i:

$$t_i = t_{1_i} + t_{2_i} + t_{\text{пр}}, \tag{2}$$

где $i = 1, 2, 3, \ldots$ – номер задержки; t_{1_i}, t_{2_i} – время, за которое пакет пройдет полный путь от источника к приемнику и обратно; $t_{\text{пр}}$ – время, которое информация обрабатывается в приемнике. Если маршрут известен, то t_i равна

$$t_i = t_0 + \Delta t_i, \tag{3}$$

где t_0 – const при отсутствии очередей; Δt_i – случайная величина.

Модель фрактального броуновского процесса для момента t_f имеет вид:

$$P_F(t_f) = \sum_{i=1}^{n} [t_i - (t_0 + \Delta t_{\text{ср}})]. \tag{4}$$

где $\Delta t_{\text{ср}}$ – среднее значение приращения t_i.

3. Моделирование временных рядов

В рамках данной математической модели, как правило, выделяют три составляющие[3]: тренд, периодические колебания с некоторой регулярностью, а также, случайные компоненты [4]. Такая модель используется, например, при описании загрузки каналов сети:

$$G(t) = F(t) + \varphi(t) + \alpha(t), \tag{5}$$

где $F(t)$ – функция, медленно меняющаяся во времени (тренд), описывающая изменения загрузок, в течении длительного интервала; $\varphi(t)$ – периодическая составляющая, которую можно описать конечным рядом Фурье, построенным по экспериментальным данным; $\alpha(t)$ – случайный процесс с нулевым математическим ожиданием.

Статистические модели являются более достоверными и информативными для прогноза состояния сети по сравнению с рассмотренными выше моделями фрактального броуновского движения и Марковской моделью, т.к. основывается на большом количестве экспериментальных данных.

4. Модель непрерывного Марковского процесса со случайным временем появления и исчезновения

Иногда в качестве модели информационного процесса может быть использовано стохастическое дифференциальное уравнение вида [5]

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = \mathrm{A}(\lambda(t), t) + \mathrm{B}(\lambda(t), t)\omega(t),\ \lambda(\theta) = \lambda_н,\ t \in [\theta, \vartheta], \tag{6}$$

где $\lambda(t) \in R^n$ - вектор состояния; $\lambda_н$ - случайный вектор, θ - случайный момент времени появления информационного процесса; ϑ - случайный момент времени окончания процесса; $\mathrm{B}(\lambda(t),t) \in R^{n\times r}$; $\mathrm{A}(\lambda(t),t) \in R^n$; A,B - нелинейные матричные функции, измеримые по совокупности аргументов, удовлетворяющие условию Липшица: $\left|\mathrm{A}(\lambda,t))\right|^2 + \left|\mathrm{B}(\lambda,t)\right|^2 \le M(1+\left|\lambda\right|^2)$, $M = const \ge 0$, $\left|\mathrm{A}(\lambda_1,t) - \mathrm{A}(\lambda_2,t)\right| + \left|\mathrm{B}(\lambda_1,t) - \mathrm{B}(\lambda_2,t)\right| \le M\left|\lambda_1 - \lambda_2\right|$, для любых $\lambda_1,\lambda_2 \in R^n$; $\omega(t) \in R^r$ - белый шум, для которого $M[\omega(t)] = 0$; $M[\omega(t)\omega^T(t-\varsigma)] = Q_\omega\delta(\varsigma)$, $Q_\omega \in R^{r\times r}$. Такая модель полезна при решении задач планирования наблюдений в системах мониторинга, поскольку учитывает случайный характер времени появления и исчезновения информационного процесса. В качестве такого процесса может выступать, например, поток данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бычков Е. Д.* Математические модели управления состояниями цифровой телекоммуникационной сети с использованием теории нечетких множеств: монография / Е. Д. Бычков. – Омск : Издательство ОмГТУ, 2010. – 236 с.
2. *Легков, К.Е.* Модели и методы мониторинга параметров, характеризующих состояние инфокоммуникационной системы специального назначения // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №1. – С. 11-18.
3. *Скуратов А. К.* Статистический анализ телекоммуникационных сетей на основе исследования информационных потоков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2006. – №1. – С. 259-264.
4. *Громов Ю.Ю.* Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях : учеб. пособие / Ю.Ю. Громов и др. – 2-е изд. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2007. – 108 с.
5. *Болдырихин Н.В., Рыбалко И.П.* Особенности использования стохастического уравнения при синтезе алгоритмов управления наблюдениями за потоками данных // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. - 2011. - № 1. - С. 208-211.

В.Г. Кобак*, Д.А. Жуковский*, Н.И. Кривошей

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ УИТЛИ С РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛИТНЫХ ОСОБЕЙ

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: Генетические алгоритмы, теория расписаний, модифицированная модель Уитли, алгоритм критического пути, алгоритм по направлению, алгоритм Крона.

В статье представлен сравнительный анализ решений модифицированной модели Уитли при различных способах формирования элитных особей. Для формирования элитных особей используются различные списочные алгоритмы: CPM и модификации, алгоритм по направлению, алгоритм Крона. Проведённый вычислительный эксперимент показал их влияние на точность решения однородной минимаксной задачи.

V.G. Kobak*, D.A. Zhukovskiy*, N.I. Krivoshey*

A STUDY OF A MODIFIED MODEL OF WHEATLEY WITH DIFFERENT METHODS OF FORMATION OF ELITE INDIVIDUALS

*Don state technical University, Rostov-on-don, Russia

Key words: Genetic algorithms, scheduling theory, a modified model of a Whitley, the algorithm critical path algorithm in algorithm Chart.

The article presents a comparative analysis of the solutions of the modified model Whitley at various ways of formation of elite individuals. For the formation of elite individuals use different scheduling algorithms: CPM and modifications of the algorithm in the algorithm Chart. The made computing experiment has shown their influence on the accuracy of the minimax solution of the homogeneous problem.

Введение. Одними из наиболее часто решаемых задач теории расписаний являются NP-полные задачи, для них практически невозможно подобрать решение за полиноминально быстрое время. К таким задачам относится также и однородная минимаксная задача. Разработка различных методов, позволяющих получить близкое к оптимальному приближенное решение, является актуальной проблемой. Такие решения находятся в том числе и с использованием генетических алгоритмов.

Основным механизмом эволюции является сочетание генетического механизма передачи наследственности, механизма мутаций, обеспечивающих разнообразие видов, и естественного отбора, который обеспечивает с течением времени формирование наиболее приспособленной для данной среды популяции особей. Более приспособленные особи имеют большую вероятность передать свою наследственную информацию. Наследственная информация в виде хромосомы полностью определяет развитие особи в ее жизненном цикле, и с помощью обмена генами хромосом происходит передача наследственной информации потомкам. Случайные изменения в генофонд вносятся во время мутаций, если новые признаки увеличивают приспособленность особи, то такие признаки, скорее всего, закрепятся и перейдут к потомкам.

Родоначальником современной теории генетических алгоритмов (ГА) считается Холланд (J. Holland), чья работа «Adaptation in Natural and Artificial Systems» (1975), стала классикой в этой области. В ней Холланд впервые ввел термин «генетический алгоритм». Сейчас описанный там алгоритм называют «классический ГА» (иногда «канонический ГА», canonical GA), а понятие «генетические алгоритмы» стало очень широким, и зачастую к ним относятся алгоритмы, сильно отличающиеся от классического ГА, например, представленные в [6,7].

1. Постановка задачи. В вычислительную систему (ВС) из N несвязанных идентичных устройств: $P = \{p_1, p_2,\ldots, p_n\}$ поступает набор из M независимых параллельных заданий: $T = \{t_1, t_2,\ldots, t_m\}$. Известно время решения $\tau(t_i)$ задания t_i. При этом каждое задание может выполняться на любом из устройств, в каждый момент времени отдельный процессор обслуживает не более одного задания и выполнение задания не прерывается для передачи на другой процессор. Требуется найти такое распределение заданий по процессорам, при котором суммарное время выполнения заданий на каждом из процессоров было бы минимальным.

Для решения этой задачи хорошо подходят генетические алгоритмы [1,2]. В данной работе рассматривается решение задачи с помощью модифицированной модели Уитли с использованием элитизма. Формирование элит осуществляется несколькими списочными методами . Задача решается для различных значений параметров *M, N* и постоянного диапазона времени выполнения задач.

2. Краткое описание алгоритмов.

Рассматриваемый в данной статье алгоритм был создан Уитли (D. Whitley). Он отличается от классического ГА следующими тремя свойствами:

- На каждом шаге только одна пара случайных родителей создает только одного ребенка.
- Этот ребенок заменяет не родителя, а одну из худших особей популяции (в первоначальном Genitor — самую худшую).
- Отбор особи для замены производится по ее ранку (рейтингу), а не по приспособленности.

Таким образом, алгоритм включает следующие шаги:

1. Формирование начального поколения;
2. Пропорциональный отбор, применение генетических операторов (в данном случае одноточечный кроссовер и одноточечная мутация с заданной вероятностью);
3. Проверка условия останова (если неуспешна, переход на шаг 2);
4. Лучшая особь – решение.

В данной модификации алгоритм заканчивает работу, если в течение определённого числа поколений не происходит улучшений.

В данной модифицированной модели Уитли применяется стратегия элитизма. Элита – лучшая особь текущего поколения, переходящая в следующее поколение без всяких изменений.

Формирование элиты осуществляется алгоритмом критического пути, двумя его модификациями, алгоритмом по направлению и алгоритмом Крона.

Принцип действия СРМ заключается в том, что очередное задание, из списка заданий, упорядоченных по убыванию, назначается на процессор с минимальной суммарной загрузкой. Его модификации заключаются в различных способах упорядочения множества заданий [4].

Принцип действия алгоритма по направлению [4]: исходное множество заданий упорядочивается по убыванию, выбирается первое устройство k = 1 и первое задание из множества T назначается на процессор, организуя проход справа налево. Задания назначаются по порядку номеров j = 1,2 ... m на процессоры по их порядку номеров i = 1,2

... n. При i = N порядок значений j остается прежним, а порядок изменения i меняется на обратный: организуется проход слева направо. При изменении направления движения по i проверяются условия: суммарное время загрузки процессора n меньше, чем процессора 1, если проход осуществляется слева направо. Если справа налево, то суммарное время загрузки процессора n больше, чем процессора 1. В случае невыполнения какого-то из условий для текущего направления движение по i не меняется до тех пор, пока не выполнится условие, при котором нужно изменить направление движения.

Принцип действия алгоритма Крона заключается в случайном распределении множества заданий на множество приборов, вычислении времени загрузки каждого прибора {Ti}(i=1..n) и обмене заданиями между приборами с максимальным Tmax и минимальным Tmin значениями из набора {Ti} при выполнении условия |qkmax - qjmin| < D, где D = Tmax - Tmin, k, j = 1,2..m. После каждой операции обмена значения {Tk} пересчитываются, выбираются новые два прибора с Tmax и Tmin и процесс проверки указанного выше условия повторяется. Если условие ни разу не выполнится, алгоритм завершается [4].

3. Вычислительный эксперимент. Аналитически определить, как способ формирования элитных особей влияет на результат работы генетического алгоритма, не представляется возможным, поэтому был проведен вычислительный эксперимент с помощью программного средства, реализованного для этой цели на языке Visual C++.

Массив заданий случайным образом генерируется из заданного диапазона значений (20-30). Вероятности кроссовера и мутации равны 100%. Условие остановки (количество поколений с неизменным Tmax) – 10. Эксперимент был проведён для наиболее часто встречающегося количества процессоров (N) – 2-4 и количества задач (M) - 19, 119, 519. Результаты приведены в таблице 1. Tmax здесь – среднее значение из 100 повторений алгоритма.

Таблица 1- Результаты эксперимента – средние значения Tmax по каждому алгоритму.

M	**N**	**СРМ**		**По направлению**		**Крона**		**Случайный выбор**		**По возрастанию**	
		Tmax	**t, c**	**Tmax**	**t, c**	**Tmax**	**t, c**	**Tmax**	**t, c**	**Tmax**	**t, c**
19	**2**	240,15	0,007	246,06	0,006	240,27	0,009	243,04	0,006	244,77	0,006
	3	161,88	0,006	162,07	0,007	162,19	0,011	166,32	0,006	167,15	0,006
	4	122,19	0,008	124,04	0,009	121,07	0,014	124,85	0,006	128,22	0,006
119	**2**	1511,64	0,029	1514,42	0,039	1510,66	0,058	1514,91	0,045	1517,05	0,08
	3	1012,28	0,072	1012,86	0,038	1010,05	0,089	1012,73	0,038	1017,15	0,071
	4	762,09	0,055	765,91	0,069	760,97	0,093	767,18	0,033	771,02	0,041
519	**2**	5504,22	0,182	6605,18	0,175	6603,19	0,188	6610,06	0,1	6609,18	0,159
	3	4409,19	0,173	4411,23	0,197	4409,81	0,195	4413,23	0,121	4412,96	0,138
	4	3315,75	0,181	3316,48	0,395	3312,32	0,329	3318,17	0,199	3318,71	0,229

Выводы. Лучшим оказался алгоритм, где формирование элиты происходило алгоритмом Крона, также хорошие результаты даёт модель с использованием алгоритма критического пути. Чем больше количество задач и процессоров, тем больше различие Tmax по каждому способу формирования элиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Титов Д.В., Кобак В.Г.* Анализ подходов к улучшению результатов работы генетического алгоритма при решении однородной минимаксной задачи. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей Всерос. научно-техн. конф.– Пенза: ПДЗ, 2008. – С. 76-78.
2. Дискретная математика: Алгоритмы / Факультет информационных технологий и программирования. – Режим доступа: http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/unsorted/genetic-2005 (дата обращения 16.03.2016г.).
3. Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях. Сборник трудов / Издательство "Научная книга". – Режим доступа: http://www.sbook.ru/spi/contents/spi20112.pdf (дата обращения 16.03.2016г.).
4. Методическое указание по теме «Теория расписаний», для дисциплин «Алгоритмические языки и программирование»: учеб. Пособие / д.т.н. проф. Кобак В.Г., ст. преп. Титов Д.В., ст. преп. Золотых О.А. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012.
5. *Коффман Э.Г.* (ред.) Теория расписаний и вычислительные машины. – М.: Наука, 1984.
6. *Кобак В.Г., Жуковский А.Г., Щербинина Н.И.* Исследование влияния различных видов миграций при решении минимаксной задачи островной моделью. Научно-образовательный и прикладной журнал «Известия высших учебных заведений. Северо-кавказский регион». Технические науки. Выпуск №2, 2016.
7. *Щербинина Н.И., Кобак В.Г., Жуковский А.Г.* Исследование поколенческой стратегии при решении однородной и неоднородной минимаксной задачи различными модификациями генетического алгоритма. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2016. № 4 (192). С. 3-10.

В.Г. Кобак*, А.Г. Жуковский, А.А. Манин, А.А. Пешкевич*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЁРА НЕБОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: задача коммивояжёра, генетический алгоритм, ген, модель Голдберга, модель СНС, путевое представление, кроссовер, упорядоченный кроссовер, жадная мутация.

В статье рассмотрено решение задачи коммивояжёра с гибридной генетической моделью с использованием путевого подхода. Для путевого представления используется упорядоченный кроссовер и «жадная» мутация. Для решения задачи коммивояжёра указанным способом реализовано программное средство, с помощью которого получены

результаты и сделан вывод о том, что использование гибрида моделей Голдберга и CHC при решении позволяет получить оптимальное или субоптимальное решение для графа с небольшим количеством вершин.

V.G. Kobak*, A.G. Zhukovskiy, A.A. Manin, A.A. Peshkevich*

USING HYBRID ALGORITHMS FOR SOLVING TRAVELING SALESMAN PROBLEM OF LOW DIMENSION

*Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia

Key words: traveling salesman problem, genetic algorithm, gene, Goldberg's model, the CHC model, track performance, crossover, ordered crossover, a greedy mutation.

The article describes the solution to the travelling salesman problem with hybrid genetic model using the limit approach. For path representation uses an ordered crossover and greedy mutation. For solving travelling salesman problem by the specified method is implemented by a software tool by which the results and concluded that the use of hybrid models of Goldberg and CHC in the solution allows to obtain optimal or suboptimal solution for a graph with a small number of vertices.

Введение

Задача коммивояжера является классической задачей комбинаторной оптимизации. Первое упоминание о ней появляется в 1759 году. Смысл задачи состоит в отыскании самого выгодного маршрута, который проходит через требуемые города единожды и затем возвращается в исходный город, т.е. в нахождении кратчайшего гамильтонова цикла в графе[1].

Оптимизационная постановка задачи относится к классу NP-полных задач[2]. NP-полной является такая задача, для решения которой не разработано алгоритмов с полиномиальным временем работы. Однако нет доказательств отсутствия существования такого алгоритма. NP-полные задачи могут быть проверены в течение полиномиального времени.

В качестве меры выгодности маршрута может служить суммарное время в пути, суммарная стоимость дороги, или, в простейшем случае, длина маршрута.

Эта задача может быть решена перебором всех вариантов объезда и выбором оптимального. Но проблема в том, что количество возможных маршрутов очень быстро возрастает с ростом n – количества городов (оно равно $n!$ — количеству способов упорядочения пунктов). К примеру, для 100 пунктов количество вариантов будет представляться 158-значным числом. Мощная ЭВМ, способная перебирать миллион вариантов в секунду, будет решать эту задачу на протяжении примерно $3*10^{144}$ лет. Увеличение производительности ЭВМ в 1000 раз даст хоть и меньшее в 1000 раз, но по-прежнему большое время перебора вариантов. Несмотря на то, что для каждого варианта маршрута имеется $2*n$ равноценных, отличающихся выбором начального пункта (n вариантов) и направлением обхода (2 варианта), перебор с учётом этого наблюдения

сокращается незначительно — до $\frac{n!}{2*n} = \frac{(n-1)!}{2}$ $\frac{\text{n!}}{\text{2*n}} = \frac{\text{(n-1)!}}{\text{2}}$вариантов. Таким образом, задача коммивояжера относится к числу трансвычислительных, так как при количестве городов более 66 её невозможно решить методом перебора вариантов, то есть она находится за пределом Бремерманна.

Постановка задачи

Дан граф $G = (X, U)$, где $|\text{X}| = \text{n}$ – множество вершин (города), $|U| = m$ – множество рёбер (возможные пути между городами). Дана симметрическая матрица чисел $R(i, j)$, $i, j \in 1,2,...,n$ $\text{i,j} \in 1,2,\ldots,\text{n}$, представляющих собой веса рёбер (расстояний между вершинами x_iиx_j и x_j).

Требуется найти перестановку φ из элементов множества *X*, такую, что значение целевой функции равно[7]:

$$Fitness(\varphi)R(\varphi(1),\varphi(n)) + \sum_i \{R(\varphi(i),\varphi(i+1))\} \to \min$$

Подходы решения.

В работе используется гибрид модели Голдберга и модели CHC[3-5]. Используется модификация алгоритма, заключающаяся в дополнительных запусках после получения решения. Для этого рассматривается последнее поколение. Генотип поколения сохраняется. Копия поколения кроме лучшей особи подвергается сильной мутации, цель которой внести разнообразие в генотип. При сильной мутации изменяется генотип более 50% поколения. Затем мутировавшее поколение устанавливается начальным для основного варианта генетического алгоритма, который далее работает в прежнем режиме. Полученное решение сравнивается с лучшим в сохранённом поколении. Если новое решение лучше, то оно сохраняется как лучшее на текущий момент. Затем идёт повтор операций с мутацией и запуском основного ГА с мутировавшим поколением. В случае если новое решение оказалось не лучше, то решается вопрос о возможности новой попытки запуска. Входным условием является допустимое количество запусков без улучшения решения. Если текущее количество таких запусков не превысило условное количество, то проводится сильная мутация сохранённого лучшего поколения и ГА запускается снова.

В работе используется путевое представления маршрута в виде хромосомы[3].

Вычислительный эксперимент

В рамках сравнения эффективности гибридного алгоритма и модифицированной модели Голдберга поставлены вычислительные эксперименты, позволяющие получить статистику решений и оценить эффективность работы алгоритма при разном количестве повторных запусков и одном значении параметров. Такими параметрами являются: *n* – количество городов, *m* – количество особей, *vk* – вероятность кроссовера, *vm* – вероятность мутации, *first* – номер начального пункта, *s* – количество запусков, *term* – условие останова, [*a,b*] – диапазон генерации расстояний для случайной матрицы расстояний. Для решения поставленной задачи реализована вариация ГА с путевым представлением с упорядоченным кроссовером и жадной мутацией.

Для реализации алгоритма использовалась среда разработки Microsoft Visual Studio 2015 и язык программирования C#. Эксперименты проводились на ЭВМ с операционной системой Microsoft Windows 8.1, процессором Intel i7 4790 3.6 ГГц и оперативной памятью DDR3 16 Гб.

Эксперименты проводились на тестовых графах из пакета TSP_LIB[6] Гейдельбергского университета, Гейдельберг, Германия. Тестовый граф представляет 29 городов. Расстояния между городами представлены в виде матрицы расстояний, где $a_{i,j} = a_{j,i}$ $a_{i,j} = a_{j,i}$ – расстояние между городами i и j. Также указан кратчайший маршрут с началом в первом городе длиной 2020, который удалось определить разработчикам пакета.

Значения входных параметров алгоритма: n – 29, m – 500, vk – 0.99, vm – 0.99, $first$ – 1, s – 100, $term$ – 500. Проведено три эксперимента, в каждом из которых количество повторных запусков было различно. Остальные параметры не менялись. Первый эксперимент с одним повторным запуском, второй – с двумя, третий – с тремя.

На рисунке 1 приведено сравнение решений, полученных в результате первого эксперимента. Гибридный алгоритм с одним повторным запуском позволил улучшить решение. При использовании модифицированной модели Голдберга лучшее решение 2020 было получено 1 раз, при этом среднее решение составило 2095. При использовании гибридной модели лучшее решение 2020 было получено 4 раза, при этом среднее решение составило 2044, что лучше на 2.4%.

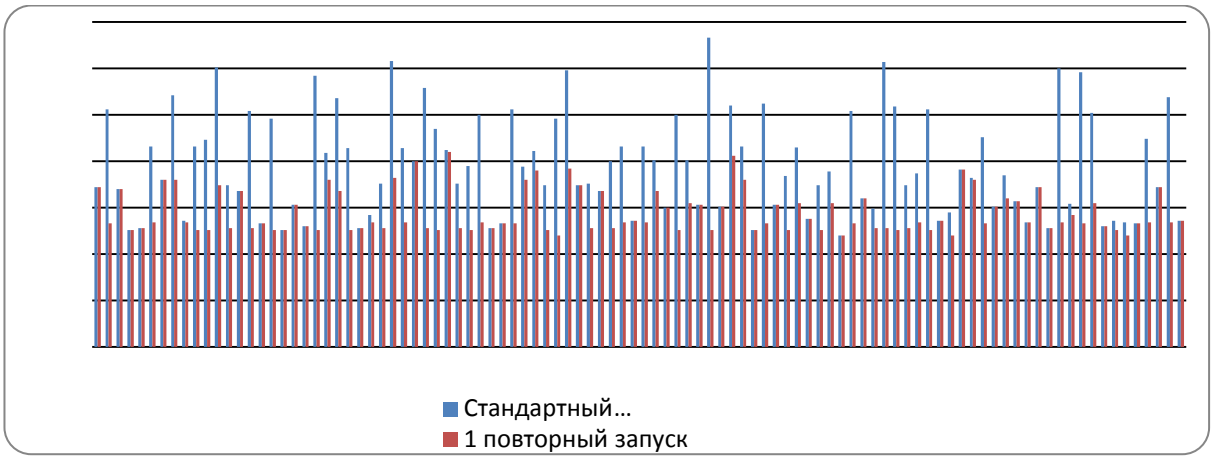


Рисунок 1 – Результаты первого эксперимента

Сравнение решений, полученных в результате второго эксперимента представлено на рисунке 2. При использовании модифицированной модели Голдберга лучшее решение 2020 было получено 2 раза, при этом среднее решение составило 2089. При использовании гибридной модели лучшее решение 2020 было получено 3 раза, при этом среднее решение составило 2042, что лучше на 2.2%.

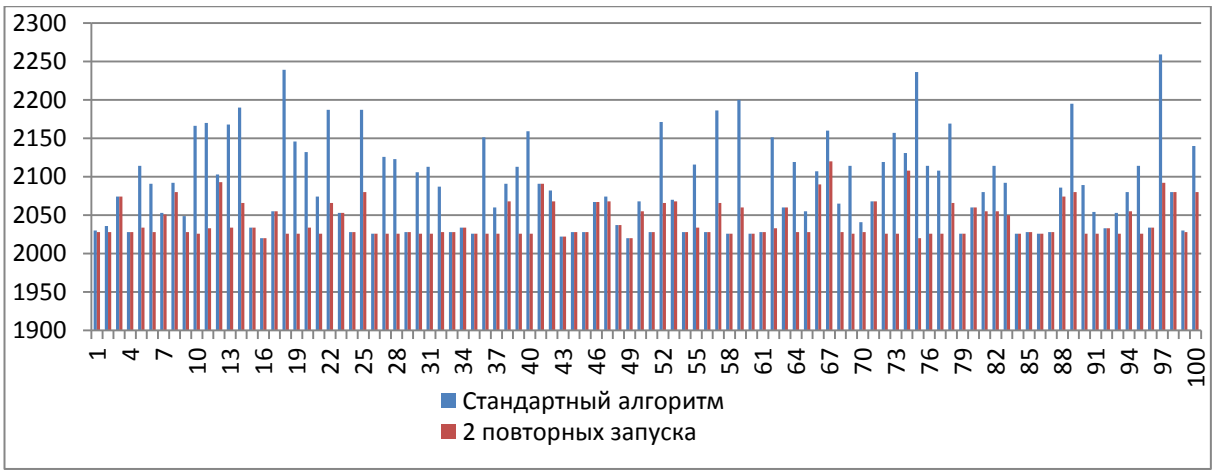


Рисунок 2 – Результаты второго эксперимента

На рисунке 2 приведено сравнение решений, полученных в результате третьего эксперимента. При использовании модифицированной модели Голдберга лучшее решение 2020 было получено 2 раза, при этом среднее решение составило 2093. При использовании гибридной модели лучшее решение 2020 было получено 5 раз, при этом среднее решение составило 2044, что лучше на 2.3%.

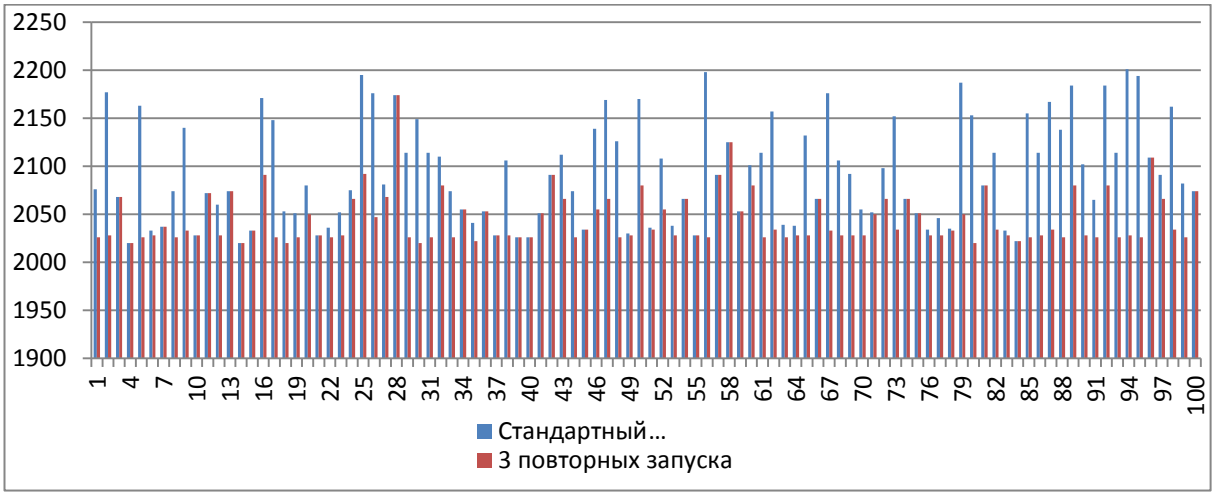


Рисунок 3 – Результаты третьего эксперимента

Выводы

Результаты вычислительного эксперимента демонстрируют эффективность использования гибридной модели для решения задачи коммивояжёра. Данный подход позволяет получить оптимальное и субоптимальное решение для тестового графа с небольшим количеством вершин. В ходе исследования было определено, что введение повторных запусков наряду с применением сильной мутации позволяет улучшить решение, полученное с помощью модифицированной модели Голдберга. Модификация алгоритма с дополнительными запусками показала свою эффективность по отношению к базовой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладков, Л.А.* Генетические алгоритмы: учебное пособие / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик; под ред. В.М. Курейчика. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004. – 400 с;
2. *Кормен, Т.* Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн; под ред. Л.Н. Красножан. – М., Вильямс, 2013. – 1328 с;
3. *Каширина, И.Л.* Введение в эволюционное моделирование: учебное пособие / И.Л. Каширина; под ред. Е.С. Котляровой. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. – 40 с;
4. *Кобак В.Г., Жуковский А.Г., Троцюк Н.И.* Сравнение различных подходов при формировании поколения в модели Голдберга. Труды Северо-Кавказского филиала московского технического университета связи и информатики. Ч.1: сб. науч. работ по результатам междунар. науч-практ. конф. СКФ МТУСИ «Инфоком-2015», СКФ МТУСИ.- Ростов н/Д, 2015.
5. *Кобак В.Г., Жуковский А.Г., Рудова И.Ш.* Сравнительный анализ модифицированной модели Голдберга и муравьиного алгоритма при решении задачи коммивояжера. Труды Северо-Кавказского филиала московского технического университета связи и информатики. Ч.1: сб. науч. работ по результатам междунар. науч-практ. конф. СКФ МТУСИ «Инфоком-2015», СКФ МТУСИ.- Ростов н/Д, 2015.
6. TSP_LIB // URL http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/ (дата обращения 11.10.2016);
7. *Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Теория и практика эволюционного моделирования. – Москва.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432с. – ISBN 5-9221-0337-7.

В.Г. Кобак*, А.Г. Жуковский, В.М. Поркшеян*

РЕШЕНИЕ ОДНОРОДНОЙ МИНИМАКСНОЙ ЗАДАЧИ ИСЛАНДСКОЙ МОДЕЛЬЮ, ГДЕ В КАЧЕСТВЕ ОСТРОВОВ ВЫСТУПАЕТ МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ГОЛДБЕРГА

*Донской Государственный Технический Университет

Ключевые слова: однородная минимаксная задача, островная модель алгоритма, кроссовер, модель Голдберга, начальное поколение, миграция, минимаксный критерий, текущее поколение.

В данной статье рассмотрено решение однородной минимаксной задачи с использованием исландской модели. В качестве островов была выбрана модифицированная модель Голдберга, где использовался двухточечный кроссовер. Для решения однородной минимаксной задачи было реализовано программное средство, с помощью которого получены результаты и сделан вывод о том, что средняя точность

решения однородной минимаксной задачи прямо пропорционально зависит от количества островов. Чем больше количество островов, тем более точно среднее решение.

V.G. Kobak*, A.G. Zhukovskiy, V.M. Porksheyan*

THE HOMOGENEOUS SOLUTION OF THE MINIMAX PROBLEM THE ICELANDIC MODEL, WHERE THE ISLANDS SPEAKS A MODIFIED GOLDBERG`S MODEL

*Don State Technical University

Key words: uniform min-max objective, an island model algorithm, crossover, Goldberg's model, the initial generation, migration, minimax criterion, the current generation.

In this article, the minimax solution of the homogeneous problem using the Icelandic model. As the Islands were chosen a modified Goldberg`s model, where he used two-point crossover. To a homogeneous solution of the minimax task was implemented in a software tool through which the results and concluded that the average accuracy of the minimax solution of the homogeneous problem depends on a number of Islands. The greater the number of Islands, the more accurately the average solution.

Введение

Генетический алгоритм (ГА) (англ. genetic algorithm) — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Является разновидностью эволюционных вычислений. Отличительной особенностью ГА является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе .[2] Если говорить обобщенно, ГА объединяет в себе принцип выживания наиболее перспективных особей — решений и структурированный обмен информацией, в котором присутствует элемент случайности, моделирующий природные процессы наследования и мутации.

1. Краткая история ГА

В 1944 году Эйвери, Маклеод и Маккарти опубликовали результаты своих исследований, доказывавших, что за наследственные процессы ответственна "кислота дезоксирибозного типа". Однако о том, как работает ДНК, весь мир узнал ещё позднее - 27 апреля 1953 года в номере журнала "Nature" вышла статья Уотсона и Крика, впервые предложивших модель двухцепочной спирали ДНК. Таким образом стали известны все необходимые компоненты для реализации модели эволюции на компьютере. Первая публикация, которую можно хоть как-то отнести к генетическим алгоритмам появилась в 1957г, автором был Баричелли Н.А. (Barricelli N.A.), и называлась она "Symbiogenetic evolution processes realised by artificial methods". В 1962 году появилась ещё одна его работа "Numerical testing of evolution theories". Примерно в то же время ещё один исследователь Фрейзер А.С. (Fraser A.S.) также опубликовал две статьи: "Simulation of

genetic systems by automatic digital computers: S-linkage, dominance, and epistasis" (1960) и "Simulation of genetic systems" (1962). Несмотря на то, что работы обоих авторов были направлены, прежде всего, на понимание природного феномена наследственности, работа Фрейзера имеет много общего с сегодняшним видением генетических алгоритмов. Он моделировал эволюцию 15-битных строк и подсчитывал процентное содержание особей с удачным фенотипом в успешных поколениях.

Его работы напоминают оптимизацию функций, однако в работах Фрейзера нет ни одного упоминания о возможности использовать ГА для искусственных задач. Во многих источниках именно Холланда называют родителем современной теории ГА. Однако Холланд занимался ими не с самого начала. Его интересовала, прежде всего, способность природных систем к адаптации, а его мечтой было создание такой системы, которая могла бы приспособиться к любым условиям окружающей среды. Заслуга Холланда состоит в том, что он осознал значение эволюционных принципов в адаптации и развил свои предположения. Вместе со своими студентами, слушавшими курсы по адаптивным системам в Университете штата Мичиган, он разрабатывает то, что впоследствии назовет "генетическим планом", а нам это известно как "генетический алгоритм". Простой генетический алгоритм был впервые описан учеником Холланда **- Гольдбергом** именно на основе его работ. Применение различных разновидностей модели Голдберга было рассмотрено в целом ряде научных работ и в том числе в [3-5].

2. Математическая постановка задачи

Имеется вычислительная система (ВС), состоящая из n устройств (приборов, процессоров и т.п.) $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$.

На обслуживание в ВС поступает набор из m независимых параллельных заданий (работ) $T = \{t_1, t_2, \ldots, t_m\}$, известно время решения $\tau(t_i)$ задания t_i на любом из устройств. При этом каждое задание может выполняться на любом из устройств (процессоре), в каждый момент времени отдельный процессор обслуживает не более одного задания и выполнение задания не прерывается для передачи на другой процессор.[1] Требуется найти такое распределение заданий по процессорам, при котором суммарное время выполнения заданий на каждом из процессоров было бы минимальным. Под расписанием следует понимать отображение $A_R: T \rightarrow P$, такое что, если $A_R(t_i) = p_j$, то говорят что задание t_i *принадлежит* T в расписании R, назначенного на процессор p_j. При сделанных выше допущениях, расписание можно представить разбиением множества заданий T на n непересекающихся подмножеств T_j , где $j = 1,\ldots,n$.

Критерий, используемый для минимизации времени завершения обслуживания заданий, является минимальным критерием и определяется в следующем виде: $f_r = \mathbf{max}\ \mathbf{f_j} \rightarrow \mathbf{min}$, где $f_j = \sum\tau(t_i)$ - время завершения работы процессора p_j.

Схема работы островной модели для двух островов представлена на рисунке 1.

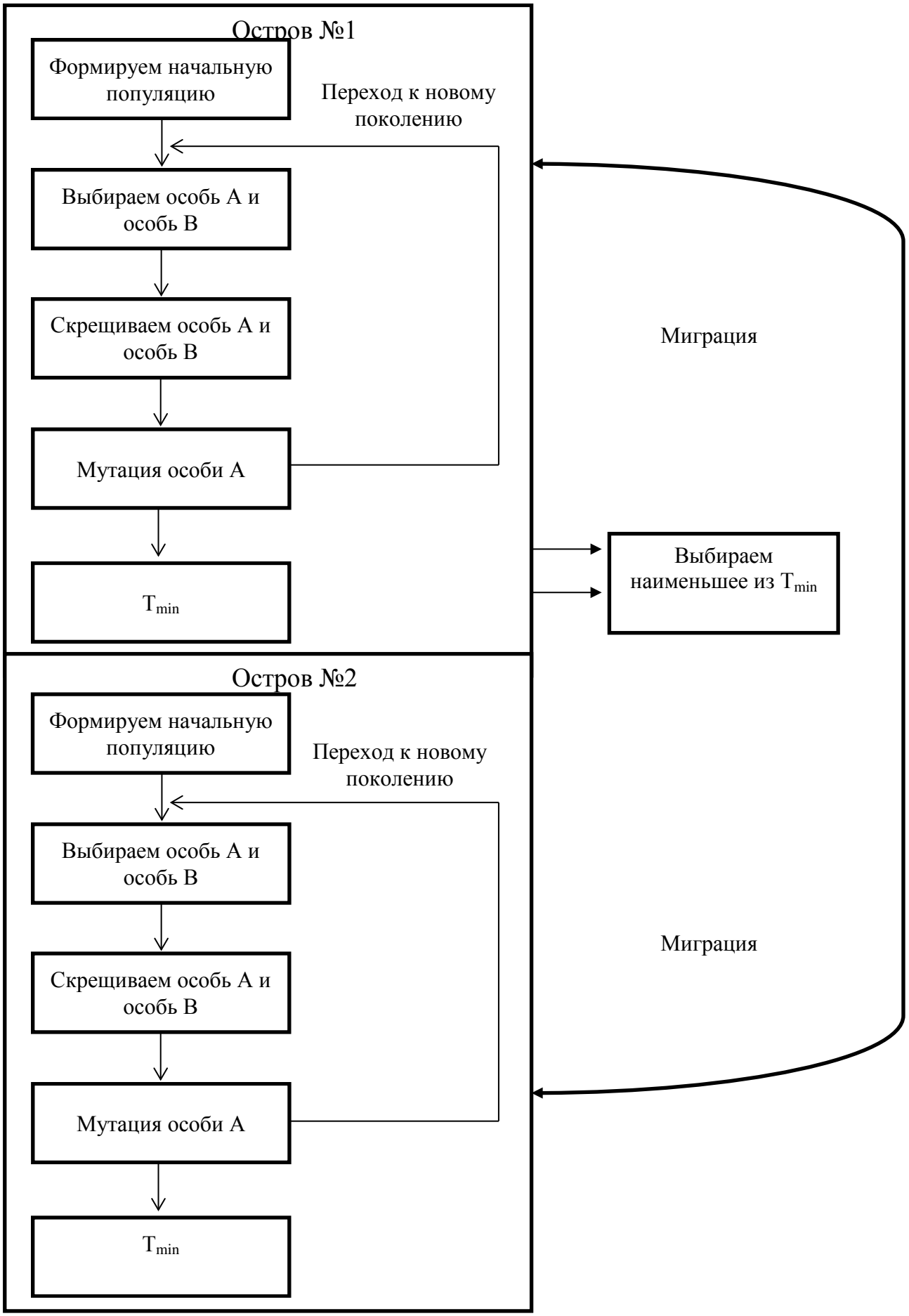


Рисунок 1 - Схема работы островной модели для двух островов

3. Вычислительный эксперимент

Для исследования как влияет количество островов на точность решения однородной минимаксной задачи был поставлен вычислительный эксперимент.

Для разработки программного обеспечения как наиболее подходящий был выбран язык программирования C#. На это есть ряд причин таких как:

– нормальная поддержка исключений

– обширная стандартная кодобаза

– атрибуты и отражение

– декларативные механизмы обеспечения безопасности выполнения кода

– межъязыковое взаимодействие, свойства

– индексы

– свобода размещения описаний

– развитые системы трансляции

– структурированность

– поддерживает объектно-ориентированное программирование

– достаточно полная и непротиворечивая система типов

– сведение к минимуму неявных преобразований типов и перегрузок унарных операторов.

Исследование проводилось на 100 сгенерированных матрицах размерности 13 на 3. Веса – в диапазоне от 20 до 27. Вероятность кроссовера и мутации 0.95. Миграции 0.12. Количество островов изменялось от 2 до 7. Размер популяции равен 20. Количество повторов для каждого из островов равнялось 25. Результаты приведены на рисунке 2.

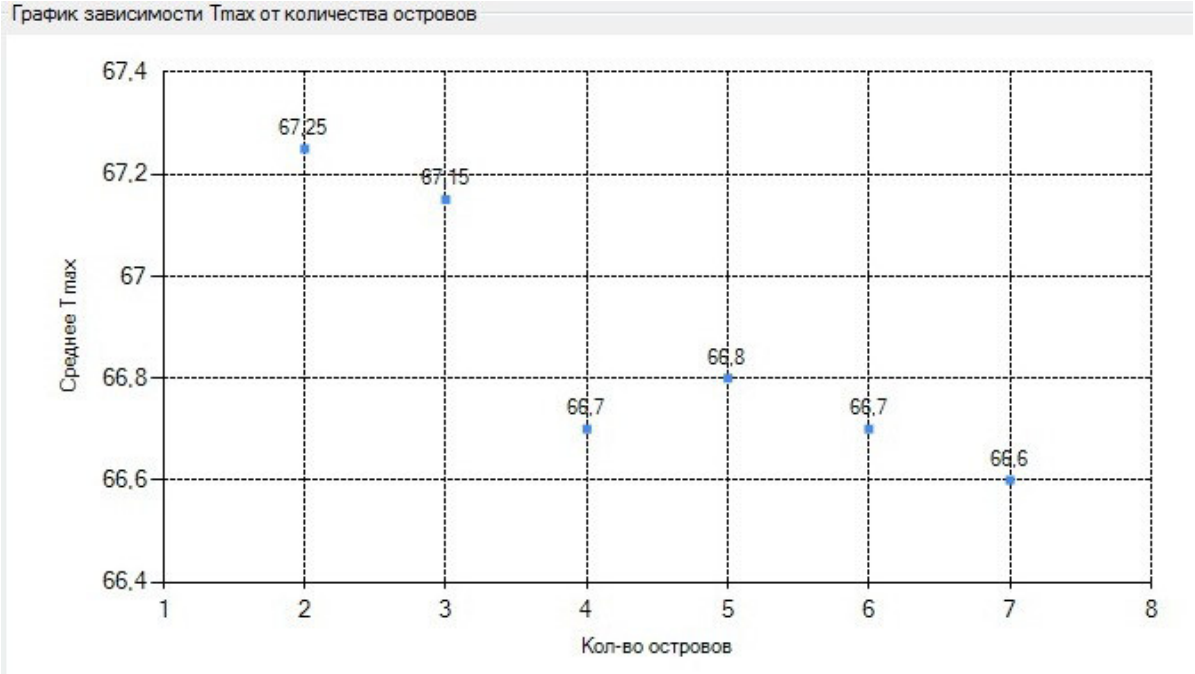


Рисунок 2 - Средняя точность решения от количества островов

Выводы

Как видно из вычислительного эксперимента, средняя точность решения однородной минимаксной задачи прямо пропорционально зависит от количества островов. Чем больше количество островов, тем более точно среднее решение.

Литература

1. *Карп Р.М.* Сводимость комбинаторных проблем М.: Мир. 1975.
2. *Емельянов В.В, Курейчик В.М., Курейчик В.В.* Теория и практика эволюционного моделирования. ФИЗМАТЛИТ. 2003.
3. *Кобак В.Г., Жуковский А.Г., Троцюк Н.И.* Сравнение различных подходов при формировании поколения в модели Голдберга. Труды Северо-Кавказского филиала московского технического университета связи и информатики. Ч.1: сб. науч. работ по результатам междунар. науч-практ. конф. СКФ МТУСИ «Инфоком-2015», СКФ МТУСИ.- Ростов н/Д, 2015.
4. *Кобак В.Г., Жуковский А.Г., Рудова И.Ш.* Сравнительный анализ модифицированной модели Голдберга и муравьиного алгоритма при решении задачи коммивояжера. Труды Северо-Кавказского филиала московского технического университета связи и информатики. Ч.1: сб. науч. работ по результатам междунар. науч-практ. конф. СКФ МТУСИ «Инфоком-2015», СКФ МТУСИ.- Ростов н/Д, 2015.
5. *Кобак В.Г, Жуковский А.Г., Пешкевич А.А.* сравнение путевого и порядкового подходов при решении задачи коммивояжёра модифицированной моделью Голдберга. «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион». Серия: технические науки. Издательство: Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону), №1, 2017. – С.3-7.

В.Г. Кобак*, А.Г. Жуковский, В.М. Поркшеян*

СРАВНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ НЕОДНОРОДНОЙ МИНИМАКСНОЙ ЗАДАЧИ

*Донской Государственный Технический Университет

Ключевые слова: неоднородная минимаксная задача, списочный алгоритм, минимаксный критерий, множество заданий, алгоритм с упорядочением, алгоритм без упорядочения, загрузка приборов.

В статье рассмотрено решение неоднородной минимаксной задачи с использованием простого списочного алгоритма, предложенного Плотниковым-Зверевым. При решении задачи используется несколько вариантов упорядочения исходной матрицы загрузки. Для решения неоднородной минимаксной задачи указанным способом реализовано программное средство. Используя данное средство были получены результаты и сделан вывод о том, что использование матрицы, где для каждого задания вычисляется суммарное время выполнения на всех приборах и полученные суммы сортируются в порядке убывания, дает лучший результат.

V.G. Kobak*, A.G. Zhukovskiy, V.M. Porksheyan*

COMPARISON OF HEURISTIC ALGORITHMS FOR THE MINIMAX SOLUTION OF THE INHOMOGENEOUS PROBLEM

*Don State Technical University

Key words: heterogeneous minimax task, scheduling algorithm, minimax criterion, a set of tasks, the algorithm with the regularization, the algorithm without regularization, the download devices.

The article considers a minimax solution of the inhomogeneous problem by using a simple scheduling algorithm proposed by Plotnikov-Zverev. When solving a problem using multiple arrangements of the original matrix download. For the inhomogeneous solution of the minimax task by the specified method is implemented by a software tool. Using this tool was the results and concluded that the use of a matrix, where for each job is computed, the total run time on all devices and the amount received are sorted in descending order gives the best result.

Введение

NP-полнота задачи является веским доводом при обосновании необходимости построения приближенных или эвристических алгоритмов ее решения, применения схем направленного перебора вариантов (таких, как метод последовательного конструирования, анализа и отсеивания вариантов (обобщение метода ветвей и границ)), а также при обосновании необходимости исследования частных случаев задачи [1].

Различными авторами предложен следующий путь решения **NP**-полных задач:

- исследуется труднорешаемая задача, и находятся теоретические свойства, которым удовлетворяет ее оптимальное решение;

- на основе этих свойств разрабатывается полиномиальный алгоритм решения, при этом вводится понятие полиномиальной разрешимости задач из класса NP, под которым понимается существование полиномиального алгоритма, удовлетворяющего следующим условиям:

– Если при решении произвольной индивидуальной задачи выполняются определенные аналитические условия, то эта индивидуальная задача решается строго (т.е. получено строго оптимальное решение);

– В результате работы полиномиального алгоритма всегда известно решена или нет данная индивидуальная задача точно;

– Полиномиальный алгоритм является эффективным и статически значимым, т.е. при моделировании произвольных индивидуальных задач в большинстве случаев полученные решения являются точными.

1. Краткий обзор приближенных алгоритмов решения неоднородной минимаксной задачи

Неудовлетворительное состояние развития точных методов решения задач теории расписаний обусловило разработку приближенных методов, позволяющих получать приемлемые решения при сравнительно небольших затратах времени и средств. Условно приближенные методы делятся на эвристические и вероятностные.

Эвристические алгоритмы основаны на приеме, который называется приемом снижения требований. Он заключается в отказе от поиска оптимального решения за приемлемое время. Эвристические алгоритмы используют различные разумные соображения без строгих обоснований, например, как показано в [4].

Широко применяется так называемый метод локального поиска. При этом заранее выбранное множество перестановок используется для последовательного улучшения начального решения до тех пор, пока такое улучшение возможно, в противном случае оказывается достигнутым локальный оптимум.

Еще одно из направлений эвристических методов решения задач ТР состоит в формировании правил или функций предпочтения (приоритетов). Для каждой *i*-й работы из множества ожидающих выполнения работ, вычисляется значение функции f_i предпочтения и выбирается та работа, для которой f_i достигает максимума или минимума.

Примеры правил предпочтения:

• *Правило SPT (shirtest processing time).* Предпочтение отдается той работе (операции) из множества готовых к обработке на освободившейся машине, у которой время выполнения на этой машине минимально.

• *Правило LRT (longest remaining time).* Требует выбора напряженной работы, т.е. той, у которой сумма времен выполнения оставшихся операций наибольшее.

• *Правило LPT (longest processing time).* Предпочтение отдается той работе (операции) ,из множества готовых к обработке на освободившейся машине, у которой время выполнения на этой машине максимально.

Достоинством эвристических методов является удобство реализации их на ЭВМ даже при решении громоздких задач.

Недостатки эвристических методов заключаются в сложности оценки близости полученных расписаний к оптимальной. Кроме того, для каждой функции предпочтения существуют задачи, для которых применение данной функции приводит к плохим результатам. Один из путей совершенствования метода функций предпочтения состоит в их привязке к классам задач.

Вероятностные методы связаны с *k*-кратным моделированием расписаний. Выбор работ из множества ожидающих выполнения осуществляется случайным образом. После *k*-кратного проигрывания выбирается наилучшее расписание, которое принимается за решение задачи. При этом различают:

а) ненаправленный случайный поиск;

б) направленный случайный поиск без самообучения;

в) направленный случайный поиск с самообучением.

2. Постановка задачи

Имеется вычислительная система (ВС), состоящая из n устройств (приборов, процессоров и т.п., в общем случае различных) $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$.

На обслуживание в ВС поступает набор из m независимых параллельных заданий (работ) $T = \{t_1, t_2, \ldots, t_m\}$, известно время решения $\tau(t_i)$ задания t_i на любом из устройств. При этом каждое задание может выполняться на любом из устройств (процессоре), в каждый момент времени отдельный процессор обслуживает не более одного задания и выполнение задания не прерывается для передачи на другой процессор [2] . Требуется найти такое распределение заданий по процессорам, при котором суммарное время выполнения заданий на каждом из процессоров было бы минимальным. Под расписанием следует понимать отображение A_R: $T \rightarrow P$, такое что, если $A_R(t_i) = p_j$, то говорят что задание t_i *принадлежит* T в расписании R, назначенного на процессор p_j. При сделанных выше допущениях, расписание можно представить разбиением множества заданий T на n непересекающихся подмножеств T_j , где $j = 1,\ldots,n$.

Критерий, используемый для минимизации времени завершения обслуживания заданий, является минимальным критерием и определяется в следующем виде: $f_r = \mathbf{max}\ f_j \rightarrow \mathbf{min}$, где $f_j = \sum\tau(t_i)$ - время завершения работы процессора p_j.

3. Алгоритм без упорядочения.

Начальная загрузка всех устройств равна нулю, выбирается первое задание из множества заданий T , $k = 1$.

Ш.1 Распределяем задание t_{i_k} на все устройства и выбираем устройство, на котором будет обрабатываться текущее задание, (процессор) p_j с наименьшим f_j среди всех процессоров (т.е. процессоров с минимальным временем загрузки на текущий момент).

Ш.2 Назначить t_{i_k} следующим заданием на процессор p_j . $A_R(t_{i_k}) = p_j$, пересчитать $f_j = f_j + \tau(t_{j_k})$.

Ш.3 Если $k \neq m,$ то увеличить $k = k + 1$ и перейти на Ш.1 Иначе алгоритм заканчивается с построенным расписанием $R,$ общая длина которого равняется $\max(f_j)$.

4. Алгоритм с упорядочением.

Алгоритм отличается от предыдущего тем, что задания сортируются в порядке убывания их сумм для всех приборов.

Для каждого задания вычисляется суммарное время выполнения на всех приборах. Далее полученные суммы сортируются в порядке убывания. Затем выполняется алгоритм без упорядочения.

5. Вычислительный эксперимент

Проведем несколько экспериментов с различными значениями количества компьютеров, количества заданий, диапазонами значений времени выполнения, количества повторений.

1. Сравниваем алгоритм без упорядочения и с упорядочением.
Выбираем следующие значения:
количество компьютеров = 2;
количество заданий =19;
диапазон значений: начало = 25;
конец = 30;
количество повторений =100.

Результат:

Алгоритм без упорядочения	Алгоритм с упорядочением
270,49	269,9

Вывод: алгоритм с упорядочением дает лучший результат.

2. Выбираем следующие значения:
количество компьютеров = 3;
количество заданий =19;
диапазон значений: начало = 25;
конец = 30;
количество повторений =100.

Результат:

Алгоритм без упорядочения	Алгоритм с упорядочением
160,95	158,9

Вывод: алгоритм с упорядочением дает лучший результат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карп Р.М.* Сводимость комбинаторных проблем М.: Мир. 1975.
2. *Алексеев В.Ю.* Комплексное применение методов дискретной оптимизации / В.Ю. Алексеев .- М.: Наука, 1987 г.
3. *Плотников В.Н., Зверев В.Ю.* М.: Техническая кибернетика №3, 1974 г.
4. *Кобак В.Г., Жуковский А.Г., Золотых О.А., Ростов А.Н.* Различные подходы к решению однородной минимаксной задачи теории расписаний эвристическими алгоритмами. Научно-образовательный и прикладной журнал. «Известия высших учебных заведений. Северо-кавказский регион». Технические науки. Выпуск №1, март 2016.

А.В. Колосков, А.С. Шпилько, Н.В. Болдырихин

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ CWDM

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сеть связи, спектральное уплотнение каналов, передача данных, оптические мультиплексоры.

Рассмотрены особенности технологии CWDM, ее положительные стороны, недостатки, особенности уплотнения каналов.

A.V. Koloskov, A.S. Shpilko, N.V. Boldyrikhin

CWDM TECHNOLOGY ANALYSIS

North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Key words: communication network, spectral multiplexing of channels, data transmission, optical multiplexers.

The features of CWDM technology, its positive aspects, disadvantages, features of channel compaction are considered.

Технология спектрального уплотнения каналов – CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), позволяет создать до 18 дуплексных каналов передачи данных, используя два оптических волокна или до 9 дуплексных каналов на одном волокне [1-3]. Оптические сигналы передаются в диапазоне от 1270 до 1610 нм, а скорость передачи данных каждого канала от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с.

Эта технология уплотнения каналов передачи данных появилась в начале 80-х годов, однако широкое применение получила в конце 90-х, хотя и была очень дорогой. За последние 5 лет CWDM технология стала значительно доступней за счет снижения цены и появления сменных оптических модулей, с поддержкой требуемых частот. Получила широкое применение CWDM система в городах, так как проложить дополнительный оптический кабель в городах достаточно дорого, а объем передаваемого трафика постоянно увеличивается. Повышенные требования к допускам при производстве приёмопередатчиков, в технологии CWDM, влекут за собой удорожание модулей, но позволяют в «диапазон прозрачности» современного оптического волокна (1270 – 1610 нанометров) поместить 18 несущих сигнал лазерных лучей, т.е. 9 дуплексных каналов. Стандартом Международного Института Электросвязи (ITU) G.694.2 для технологии

CWDM установлены центральные длины волн: 1270, 1290, 1310, 1330, 1350, 1370, 1390, 1410, 1430, 1450, 1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590 и 1610 нанометров.

Повышение ёмкости сети в 9 раз без прокладки дополнительных физических линий требует, кроме специальных модулей, дополнительное оборудование – мультиплексоры. Т.е. модули, установленные в коммутатор, подключаются не напрямую к трассе, а через мультиплексор.

За счет использования данного решения, провайдеры экономят на прокладке волоконно-оптических кабелях. Оборудование работает на расстояние до 140 км. Также стоит отметить, что установка ADM мультиплексора ввода/вывода возможна в различных местах оптической магистрали, включая кабельные муфты, что позволяет организовать дуплексный канал в любой ее точке. Еще один плюс данной системы состоит в том, что внедренное оборудование не потребует подачи на него напряжения питания. Питание необходимо только для активного оборудования.

Пассивный_CWDM_мультиплексор/демультиплексор_предназначен_для_организа ции четырех дуплексных оптических каналов по одному одномодовому оптическому волокну. Устройство мультиплексирования используется для совместной работы с источниками CWDM-сигналов с несущими длинами волн, образуя 4 канала передачи данных на 8-и длинах волн.

Оптические мультиплексоры организуют физическую среду передачи данных и не зависят от типа передаваемых данных и протоколов.

Оптические мультиплексоры предназначены для мультиплексирования/демультиплексирования оптических сигналов в системах спектрального уплотнения CWDM или DWDM [1-3]. Мультиплексоры позволяют передать до 40 сигналов по одному оптическому волокну.

В серию устройств «Оптические мультиплексоры» входят следующие типы:

- оптические мультиплексоры CWDM на основе тонкопленочных фильтров (CWDM TTF Mux/Demux);
- оптические мультиплексоры DWDM на основе тонкопленочных фильтров (DWDM TTF Mux/Demux);
- оптические мультиплексоры ввода/вывода CWDM на основе тонкопленочных фильтров (CWDM TTF Optical Add Drop Multiplexor);
- оптические мультиплексоры ввода/вывода CWDM на основе тонкопленочных фильтров (DWDM TTF Optical Add Drop Multiplexor).

Основными достоинствами мультиплексоров на тонкопленочных фильтрах является простота и экономичность данного оборудования. Мультиплексоры на основе тонкопленочных фильтров (TTF-Thin-Film Filter) построены из группы последовательно соединенных фильтров. Тонкопленочные фильтры пропускают свет вблизи одной длины и отражают свет на всех других длинах волн в рабочем диапазоне. Для ввода или вывода нескольких длин волн необходимо установить несколько последовательно соединенных фильтров.

Оптические мультиплексоры могут быть двух типов — одноволоконные и двухволоконные. Одноволоконные оптические мультиплексоры позволяют организовать в одном одномодовом волокне 9 дуплексных или 18 симплексных оптических каналов. Двухволоконные оптические мультиплексоры образуют в двух волокнах до 18 дуплексных каналов и до 36 симплексных. Данные ограничения связаны с сеткой длин

волн CWDM: 18 несущих в диапазоне 1270-1610 нм с шагом в 20 нм. Стандартно оптические мультиплексоры имеют конфигурации с 2, 4 и 8 дуплексными каналами + 1 порт, называемый Port-Expresse. Данный порт в оптических мультиплексорах используется для наращивания пропускной способности с применением неиспользуемых длин волн CWDM или создания гибридных схем CWDM+DWDM.

Отдельно можно отметить оптические мультиплексоры CWDM, которые позволяют передавать аналоговый TV-сигнал совместно с цифровыми потоками по одному оптическому волокну.

Оптические мультиплексоры организуют физическую среду передачи данных, поэтому они не зависят от типа передаваемых данных и протоколов.

Рекомендация ITU-T G.694.2 определяет сетку длин волн инфракрасного излучения для технологии разреженного спектрального мультиплексирования -CWDM (Coarse Wave Divivsion Multiplexing) в диапазоне от 1271 до 1611 нм с интервалом 20 нм между соседними длинами волн. Это позволяет передать по одному оптическому волокну до 18 независимых оптических каналов, которые используют произвольные протоколы передачи данных в диапазоне скоростей от 10 Мб/сек до 10 Гб/сек. Наиболее удобны для передачи данных каналы CWDM с длинами волн 1471-1611 нм, которые обычно имеют наименьшее затухание в оптическом волокне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ю.А. Зингеренко.* Оптические цифровые телекоммуникационные системы и сети синхронной цифровой иерархии. // Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 393 с.
2. *Дегтярев А.И., Тезин А.В.* Волоконно-оптические системы передачи // Курс лекции. - Орел: АФАПСИ, 2000. – 120 с.
3. *Гитин В.Я., Кочановский Л.Н.* Волоконно-оптические системы передачи.// Радио и связь, 2003.

С.И. Конева, Ю.Е. Михайленко

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА УЧАСТКЕ РОСТОВ-НА-ДОНУ – КУЙБЫШЕВО

Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: локальная вычислительная сеть, волоконно-оптические линии связи, волоконно-оптические системы передачи, цифровые системы передачи, волоконно-оптические кабели, частотное разделение каналов, оптические усилители.

Обеспечить доставку растущего объема передаваемой информации на уровне сетевых магистралей можно только привлекая оптическое волокно (ОВ). И поставщики

средств связи при построении современных информационных систем (ИС) все чаще используют волоконно-оптические кабельные системы. ОВ в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Волоконная оптика обеспечила себе гарантированное развитие в настоящем и будущем и находит применение практически во всех задачах, связанных с передачей информации.

S.I. Koneva, Yu.E. Mikhaylenko

MODERNIZATION OF FIBER OPTIC LINE ON THE SITE ROSTOV-NA-DONU – KUIBYSHEV

North-Caucasian branch of Moscow technical University of communication and Informatics, Rostov-on-don, Russia

Keywords: local area network, fiber optic link, fiber-optic transmission systems, digital transmission systems, fiber optic cables, frequency division multiplexing, optical amplifiers.

To ensure the delivery of an increasing volume of information transmitted at the level of network trunks possible only by optical fiber (OF). And suppliers of means of communication when building modern information systems (IS) increasingly use fiber-optic cable system. OF is currently considered the most perfect physical environment for information transfer, as well as the promising medium for the transmission of large information flows over long distances. Fiber optics have secured a guaranteed development in the present and the future and finds application in almost all tasks associated with the transmission of information.

Многоканальные волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) широко используются на магистральных и зоновых сетях связи страны, а также для устройства соединительных линий между городскими АТС. Объясняется это большой информационной способностью оптических кабелей (ОК) и их высокой помехозащищенностью.

Цифровые системы передачи (ЦСП) информации характеризуются специфическими, отличными от аналоговых систем, свойствами. Основные преимущества этих систем заключаются в следующем:

- более высокая помехоустойчивость, что позволяет значительно облегчить требования к условиям распространения сигнала линии передачи;
- возможность интеграции систем передачи сообщений и их коммутации;
- незначительное влияние параметров линии передачи на характеристики каналов;
- возможность использования современной технологии в аппаратуре ЦСП;
- отсутствие явления накопления помех и искажений вдоль линии передачи;
- более простая оконечная аппаратура по сравнению с аппаратурой систем передачи с частотным разделением каналов (ЧРК);
- легкость засекречивания передаваемой информации.

Самым существенным достоинством ЦСП предоставляется возможность передачи цифровых данных между ЭВМ и вычислительными комплексами без каких-либо

дополнительных устройств преобразования или специальных аппаратных средств. Действительно, параметры стандартного аналогового канала оптимизируются по критериям заданного качества передачи речевого сообщения. Поэтому некоторым характеристикам (таким, как групповое время запаздывания) уделяется меньшее внимание, чем искажениям, оказывающим более ощутимое влияние на качество передачи.

Использование аналоговой сети для передачи данных требует специальных мер, приводящих к существенным затратам, для компенсации неравномерности характеристики группового времени запаздывания, что обычно и делается в модемах передачи данных и всевозможных устройствах преобразования сигналов.

В противоположность этому в ЦСП основным параметром, которым характеризуется качество передачи, является коэффициент ошибок.

Каналы с малым коэффициентом ошибок в тракте передачи реализуются достаточно просто. При необходимости влияние ошибок, возникающих в тракте, можно практически полностью исключить, воспользовавшись теми или иными способами защиты от ошибок.

В ВОСП цифровые системы передачи нашли самое широкое распространение как наиболее приемлемые по своим физическим принципам для передачи. При этом основной недостаток ЦСП – широкая полоса частот, как отмечалось выше, отходит на второй план, поскольку ВОСП при прочих равных условиях имеют практически неограниченную полосу пропускания по сравнению с электропроводным (металлическим) кабелем.

На основе ОК создаются ЛВС различной топологии (кольцевые, звездные и др.). Такие сети позволяют объединять вычислительные центры в единую информационную систему с большой пропускной способностью, повышенным качеством и защищенностью от несанкционированного допуска (НСД). Развитие сетей связи без надежных транспортных информационных магистралей невозможно. Основу таких магистралей и составляют волоконно-оптические и радиорелейные системы передачи с технологическими решениями SDH, WDM, ATM.

В ВОСП последних поколений усиление и преобразование сигналов в регенераторах происходит на оптических частотах с применением элементов и схем интегральной оптики. Это упростит схемы регенерационных усилителей, улучшит их экономичность и надежность, снизит стоимость.

В новом поколении ВОСП предполагается использовать преобразование речевых сигналов в оптические непосредственно с помощью акустических преобразователей. Уже разработан оптический телефон и проводятся работы по созданию принципиально новых АТС, коммутирующих световые, а не электрические сигналы. Имеются примеры создания многопозиционных быстродействующих оптических переключателей, которые могут использоваться для оптической коммутации.

Целью данного исследования является модернизация транспортной ВОСП на участке Ростов-на-Дону – Куйбышево. Необходимо выбрать аппаратуру SDH, составить комплектацию оборудования, разработать схему организации связи с возможностью ввода/вывода цифровых потоков в узлах сети для предоставления различного вида услуг связи.

Для решения поставленной задачи были проанализированы характеристики волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Рассмотрены разновидности ОВ, отличающиеся зависимостью коэффициента преломления от радиуса ОВ, основные

параметры и характеристики приемо-передающего оборудования. Рассмотрены этапы развития ВОЛС.

Проанализированы преимущества и недостатки ВОЛС и типы ОВ. Рассмотрено распространение света в многомодовом ОВ, в ОВ со ступенчатым распределением профиля показателя преломления и одномодовом ОВ.

Пояснено назначение и необходимость эксплуатационных измерений и системы автомониторинга ВОЛС. Рассмотрена структурная схема системы дистанционного мониторинга ВОЛС.

На основе проведенного анализа было обоснована необходимость реконструкции ВОЛС на участке Ростов-на-Дону – Куйбышево. Был проведен выбор системы передачи и типа оптического кабеля:

- рассчитаны число каналов ВОЛС на участке Ростов-н/Д – Куйбышево;
- разработана структурная схема организации связи (см. рис. 1).

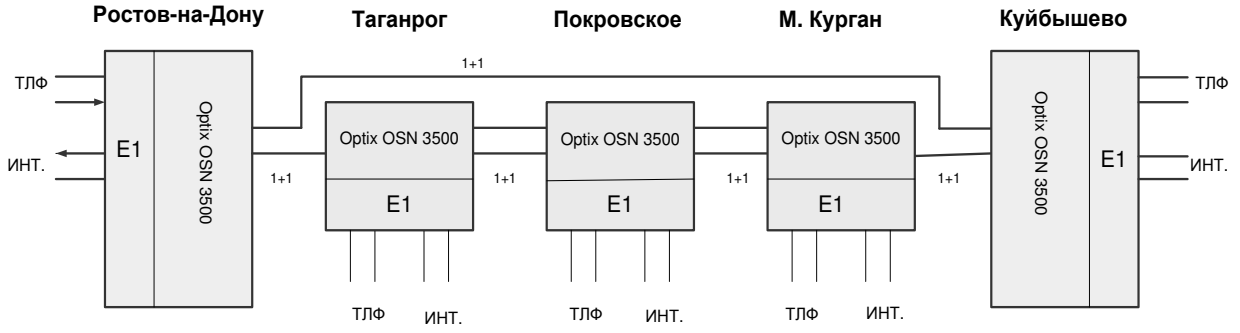


Рис. 1 - структурная схема организации связи на участке Ростов-на-Дону - Куйбышево

Выбрано оборудование ВОЛС с учетом характеристик кабеля и технических характеристик мультиплексоров.

Предложена комплектация оборудования ВОЛС и проведен расчет параметров надежности ВОЛС.

Исходя из расчета необходимого числа каналов, была выбрана система передачи OptiX OSN 3500 фирмы «Huawei Technologies».

Разработана схема организации связи, на которой указаны оконечные и промежуточные пункты, мультиплексоры, установленные в этих пунктах.

Выбрано оборудование ВОЛС с учетом характеристик кабеля и технических характеристик мультиплексоров.

Выполнен расчет параметров кабеля ВОЛС Ростов-на-Дону – Куйбышево путем расчета оптических и передаточных параметров ОК (затухания и дисперсии).

Проведен расчет длины регенерационного участка ВОЛС, расчет количества и помехоустойчивости регенераторов и коэффициента ошибок внутризонового участка ВОЛС. В результате расчетов выявлено, что при данной длине участка (220 км) в регенерации нет необходимости. Был и выбран оптический кабель марки ОМЗКГМ-10-01-0,22 производимый ЗАО «Москабель - Фуджикура», характеристики которого удовлетворяют полученным расчетным путем значениям дисперсии и затухания.

Рассмотрены электропитание аппаратуры, порядок и схема управления транспортной сетью ВОЛС.

По показателям абсолютной экономической эффективности срок окупаемости проекта модернизация волоконно-оптической линии связи на участке Ростов-на-Дону – Куйбышево составит 1,11 года, по оценке экономической эффективности инвестирования при норме дисконта 15% чистую прибыль получим на втором году работы, а чистый дисконтированный доход за 5 лет составит 21110,58 тыс. руб. При этом годовой доход от продажи услуг связи и Интернет составит 25512 тыс. руб, а прибыль - 19312,834 тыс.руб

Выбранная аппаратура OptiX OSN 3500 компании «Huawei Technologies» с технической и экономической точки зрения отвечает всем требуемым параметрам. Таким образом, реконструкция оптической транспортной сети на участке Ростов-на-Дону – Куйбышево экономически выгодна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бутусов М.М., С.М. Верник, С.Л. Галкин.* Волоконно-оптические системы передачи. Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 2008. – 320с.
2. *Воронцов А.С., Гурин О.И., Мифтяхетдинов С.Х., Никольский К.К.* Оптические кабели связи российского производства. Справочник. – М.: Эко-Трендз, 2009. – 284.
3. *Горлов Н.И., Микиденко А.В., Минина Е.А.* Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОСП. Учебное пособие. – Новосибирск: СибГУТИ, 2009. – 230с.
4. *Гроднев И.И.* Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2009. – 260с.
5. *Гроднев И.И., Ларин Ю.Т., Теумин И.И.* Оптические кабели. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 263с.

С.И. Конева, В.Г. Кабакова

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛВС КРОПОТСКИНСКОГО ПОЧТАМТА УФПС КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ - ФИЛИАЛА ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: локальная вычислительная сеть, структурированная кабельная сеть, персональный компьютер, система связи и передачи данных, сетевая архитектура и топология лвс, программное обеспечение лвс, отделение почтовой связи.

Ежегодно почтовые работники России принимают, обрабатывают и доставляют более 1,5 млрд. писем, 48 млн. посылок и 113 млн. ед. денежных переводов. Всего Почта предлагает своим клиентам свыше 80 почтовых, финансовых, инфокоммуникационных и прочих услуг. Через почтовые отделения осуществляется доставка пенсий и пособий, а также подписных печатных изданий. В отделениях почтовой связи можно оплатить коммунальные услуги, получить и погасить банковский кредит, обналичить денежные

средства с пластиковых карт, оформить страховку, приобрести лотерейные, железнодорожные, авиа- и театральные билеты, а также товары народного потребления. Кроме того, в Пунктах коллективного доступа желающие могут выйти в Интернет, отправить и получить электронную почту, распечатать документ и т.д. Решение всех вышеперечисленных задач невозможно без использования современных информационных технологий, персональных компьютеров (ПК) и вычислительных сетей.

S.I. Koneva, V.G. Kabakova

MODERNIZATION OF THE LAN KROPOTKINSKAJA POST OFFICE UFPS KRASNODAR REGION - FILIAL FGUP «RUSSIAN POST»

North-Caucasian branch of Moscow technical University of communication and Informatics,
Rostov-on-don, Russia

Keywords: local area network, structured cabling network, personal computer, communication system and data transmission, network architecture and topology, LAN, software LAN, the post office.

Annually the postal workers of Russia accept, process and deliver more than 1.5 billion letters, 48 million parcels and 113 million units of remittances. Just Mail offers to its clients over 80 postal, financial, information and communication and other services. Through post offices delivery of pensions and benefits, as well as subscription publications. In post offices you can pay utility bills, receive and repay Bank loans, cash out money from plastic cards, get insurance, buy lottery, railway, air and theatre tickets, as well as consumer goods. In addition, Points of public access, anyone can access the Internet, send and receive emails, print documents etc all of the above is impossible without using modern information technologies, personal computers (PCs) and computer networks.

Сегодня существует большое количество способов объединения ПК в локальную сеть. Разного размера проводные и беспроводные локальные сети сотнями появляются каждый день. При этом если большие корпоративные сети требуют соответствующих знаний и уровня подготовки для их создания, то небольшие офисные и тем более домашние сети могут создавать простые пользователи.

В предлагаемом исследовании рассматриваются вопросы модернизации локальной вычислительной сети (ЛВС) Кропоткинского почтамта УФПС Краснодарского края - филиала ФГУП «Почта России».

Модернизация данной ЛВС обеспечит существенное повышение уровня автоматизации работы почтамта, позволит повысить точность и оперативность работы с документацией и клиентами, автоматизировать формирование различных отчетных документов, что значительно уменьшит временные, а соответственно - и материальные затраты при реализации всех основных функций почтамта.

Данная сеть модернизируется с целью более эффективного использования общесетевых ресурсов, таких как локальные диски, сетевая периферия, информационная система, база данных, Интернет.

Для достижения поставленных целей и задач необходимо было выполнить следующие этапы работы:

- ознакомление с деятельностью организации;
- ознакомление с организационно-штатной и управленческой структурой почтамта;
- изучение базовых технологий построения сетей;
- выбор основных компонентов ЛВС (выбор топологии, кабельной системы связи, управляющего сервера);
- рассмотрение программных и технических характеристик предприятия;
- монтаж сетевого оборудования (пассивного и активного);
- отладка и тестирование локальной сети.
- проектирование схемы прокладки кабеля;
- планирование информационной безопасности сети;
- разработка вопросов по экологии и безопасности жизнедеятельности;
- выполнение расчета экономического эффекта от модернизации ЛВС.

После модернизации ЛВС существенно ускорится получение необходимой информации в сети Интернет, более эффективная работа электронной почты позволит ускорить производственный процесс, а, следовательно, увеличить обороты предприятия за счет роста объемов продаж услуг, предоставляемым Кропоткинским почтамтом как частным клиентам, так и юридическим лицам.

Экономическая эффективность обуславливается сокращением трудозатрат на организацию работы по ведению бухгалтерского учета, поиску необходимой информации, сокращением времени приема, передачи и обработки различной служебной информации, а также снижением цен и времени на обслуживание клиентов за счет использования современных сетевых информационных технологий.

Немаловажным является решение проблемы повышения надежности и эффективности доступа к корпоративной информации, хранящейся на сервере БД, а также защиты этой информации от несанкционированного доступа к ней.

Из всего выше перечисленного можно сделать вывод о целесообразности и даже необходимости модернизации ЛВС Кропоткинского почтамта.

В ходе предпроектного обследования Кропоткинского почтамта была изучена организационная структура предприятия, произведен анализ целей, документооборот информационной системы, изучена функциональная модель предприятия, технические и программные средства, функционирующие в нем.

Выявлено, что организационная структура предприятия является линейной, документооборот полностью автоматизирован, информационная система позволяет решить функциональные задачи предприятия в полном объеме.

Анализ проблемных ситуаций показал, что основной наиболее важной проблемой предприятия является необходимость снижения трудозатрат сотрудников при выполнении своего функционала. Выявленная проблемная ситуация затрудняет эффективную работу предприятия.

Для устранения данной проблемной ситуации необходимо провести модернизацию ЛВС почтамта путем увеличения числа рабочих станций до шестидесяти двух. Кроме того требуется обеспечить 25%-ый запас для подключения новых ПК в будущем без проведения каких-либо работ (т.е. простым подключением ПК к ЛВС в заранее созданных 18-ти местах подключения). Это позволит при необходимости без

труда довести количество рабочих станций до 80-ти и значительно снизить трудозатраты сотрудников почтамта. Все это приведет к существенному росту эффективности функционирования Кропоткинского почтамта. Сформированы основные критерии и требования для а модернизации Кропоткинского почтамта.

Проведен подробный анализ технологии построения и функционирования ЛВС, рассмотрена модель взаимодействия открытых систем OSI, основные технологии построения ЛВС, топологии ЛВС.

Выполнен обзор среды передачи данных в ЛВС и сетевого оборудования. Рассмотрены структура и особенности протокола TCP и сетевого программного обеспечения.

На основании проведенного анализа принято решение при модернизации ЛВС Кропоткинского почтамта сохранить существующую топологию – «иерархическую звезду», витую пару в качестве среды передачи и ОС Windows 7 в качестве основной ОС ПК ЛВС почтамта (см. рис.1).

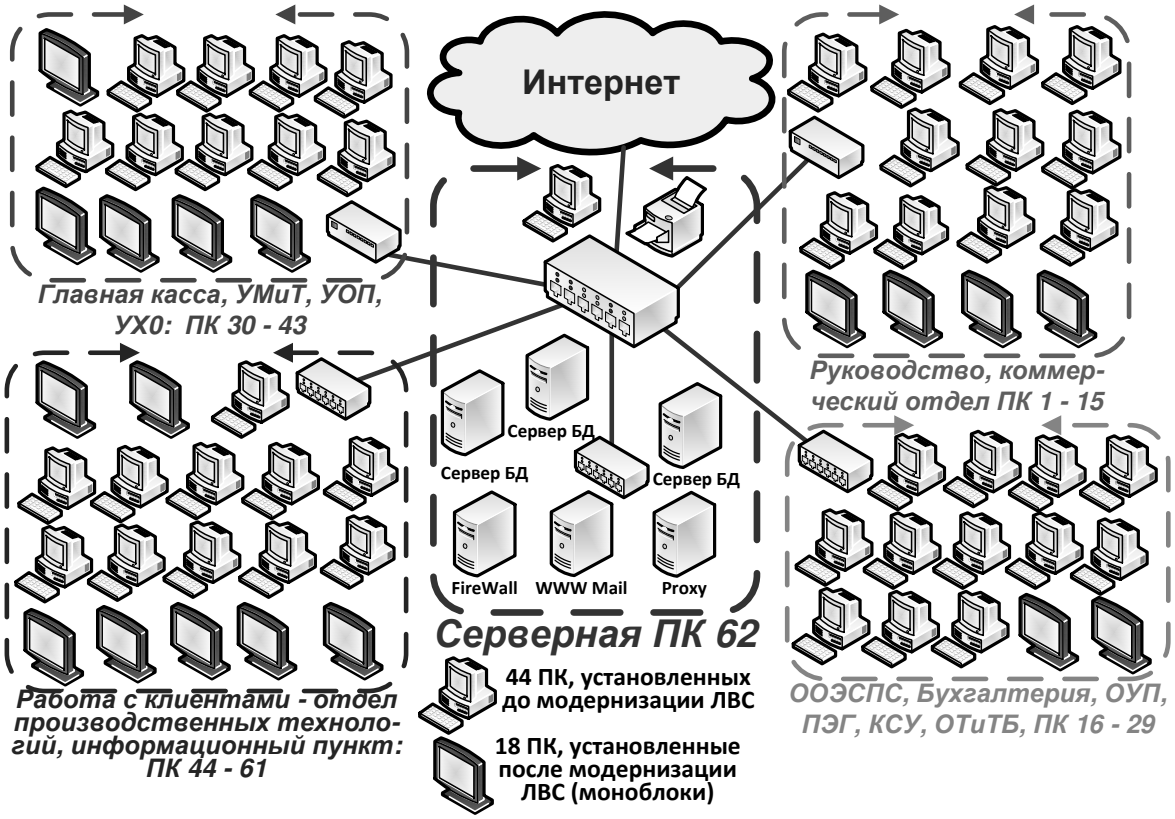


Рис.1– Обобщенная структура ЛВС Кропоткинского почтамта после модернизации

Приведены рекомендации по порядку монтажа сети с использованием кабеля «витая пара», ее отладке и тестированию.

Произведен выбор активного и пассивного сетевого оборудования, моноблоков в качестве РС, сетевой ОС, управляющего сервера и рассмотрен вопрос об администрировании модернизированной локальной сети Кропоткинского почтамта.

Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности решений модернизации ЛВС. Были вычислены полные затраты на модернизацию локальной

вычислительной сети – они составляют 880406 руб. Эти затраты окупаются за срок около 1 года. Внутренняя норма доходности составит 46,46 %.

Разработка сохранит эффективность не менее пяти лет. За пять лет эксплуатации она принесет чистый дисконтированный доход в размере 1159151 руб. Расчеты показывают, что разработка является экономически выгодной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блэк Ю.* «Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы». М.: Мир, 2010 г. – 358 с.
2. *Ватаманюк А.И.* Создание, обслуживание и администрирование сетей на 100%. Издательство: Питер: 2010. - 338 с.
3. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы.- СПб., 2012. – 198 с.
4. *Смирнов И.Г.* Структурированные кабельные системы. – М., 2011. - 244 с.
5. *Филимонов А.Ю.* Построение сетей Ethernet. Издательство: БХВ-Петер-бург, 2009 г. – 198 с.

С.И. Конева, А.С. Кузьменко

РАЗРАБОТКА WIMAX-СЕТИ В ВЕСЕЛОВСКОМ ЛТЦ АЗОВСКОГО МЦТЭТ РОСТОВСКОГО ФИЛИАЛА МРФ «ЮГ» ПАО «РОСТЕЛЕКОМ»

Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: адаптивная антенная система, абонентская и базовая станции, широкополосный беспроводной доступ, технология сверхширокополосной передачи, беспроводные сети, беспроводная WiMAX-сеть, локальная вычислительная сеть.

Выполнение задач, сформулированных в «Стратегии развития информационного общества в России», требует резкого сокращения «цифрового неравенства» в регионах. В этой связи активное развитие беспроводной связи на базе технологии WiMAX на территории России приобретает высокое социально-политическое значение и актуальность. Технологии WiMAX хотя и не являются единственными технологиями беспроводной связи, впитали в себя все лучшее, что есть в пограничных технологиях 3G, 4G, IEEE 802.11, DVB, DAB и других. Поэтому, именно эта технология являются наилучшим решением для обеспечения абонентов широкополосный доступом (ШПД) как в развивающихся, так и в развитых странах. Технологии WiMAX позволяют быстро прогрессировать как мобильным, так и фиксированный операторам, в том числе - новым операторам, только начинающим свою деятельность.

S.I. Koneva, A.S. Kuzmenko

DEVELOPMENT OF A WIMAX NETWORK IN VESELOVSKA NO MTSTAT AZOV OF THE ROSTOV BRANCH OF THE «SOUTH» JSC «ROSTELECOM»

North-Caucasian branch of Moscow technical University of communication and Informatics, Rostov-on-don, Russia

Keywords: adaptive antenna system, subscriber and base stations, broadband wireless access, ultra-wideband transmission technology, wireless networks, wireless WiMAX-network, a local area network.

The tasks formulated in the "Strategy of information society development in Russia", requires a dramatic reduction of "digital inequality" in the regions. In this context, the development of wireless communication based on WiMAX technology in Russia acquires a high socio-political value and relevance. WiMAX technology, although not the only wireless communication technologies have absorbed all that is best in frontier technologies 3G, 4G, IEEE 802.11, DVB, DAB and others. Therefore, this technology is the best solution to provide broadband access (SHPD) in both developing and developed countries. WiMAX technology allows you to quickly progress both mobile and fixed operators, including new operators who are just starting their activities.

Более миллиарда человек проживают в зоне действия операторов WiMAX или на территории, где действуют лицензии WiMAX. Международная некоммерческая ассоциация WiMAX-форум объединяет более 400 крупных компаний-разработчиков элементной базы, оборудования, а также операторов связи всех видов.

В сетях связи последующих поколений ШПД займет исключительно важное место. К нему приковано особое внимание операторов связи и разработчиков нового оборудования. Деятельность по предоставлению услуг ШПД с большой долей вероятности станет новой крупной нишей телекоммуникационного рынка и уже одно это вызывает повышенный интерес как со стороны различного рода инвесторов, так и государственных деятелей и политиков.

По данным маркетинговых исследований, широкополосные беспроводные сети на базе технологий сотовой связи четвертого поколения, а также технологий Wi-Fi и WiMAX обладают сегодня исключительными преимуществами по оперативности развертывания, охвату территории, мобильности, предоставляя во многих случаях не только наиболее эффективное, но иногда и единственно возможное экономически оправданное решение.

Миграция телекоммуникационных технологий происходит в двух основных направлениях:

- от речевых услуг конечному пользователю к передаче скоростных потоков данных, которые в свою очередь уже делятся на целый комплекс различных сервисов, включающих и речь, и данные, и видео;
- от неподвижных пользователей к кочующим и мобильным, что может обеспечить только беспроводная связь.

Технология WiMAX аккумулировала в себя достижения не только более простых технологий беспроводного доступа (Wi-Fi), но и технологии сотовых сетей 3-го и 4-го поколений.

Из Wi-Fi в WiMAX перешла технология, позволяющая получить высокие скорости передачи в радиоканале без заметной межсимвольной интерференции. Как и в стандартах сотовой связи, таких как UMTS, CDMA-2000, в WiMAX используют самые современные методы избыточного кодирования и повторную передачу непринятых пакетов. Вместе с тем, в отличие от сотовых сетей, спецификации WiMAX не описывают структуру сети, что усложняет организацию роуминга и возможности получения услуг в сетях WiMAX других операторов.

Стандарт 802.16d обеспечивает фиксированный беспроводной доступ как в зоне прямой видимости между антеннами базовой и абонентской станций, так и вне ее. В пределах прямой видимости оборудование может работать в диапазонах частот 10–66 ГГц, вне прямой видимости требуются частоты ниже 11 ГГц. В спецификациях WiMAX Forum, описывающих сертификационные профили для испытаний на совместимость оборудования разных производителей, указаны частотные диапазоны 3,5 и 5,8 ГГц.

Первое сертифицированное оборудование WiMAX появилось в конце 2005 года. Сейчас производители активно разрабатывают абонентские устройства в комнатном и уличном исполнении, а также PCMCIA-карты для портативных компьютеров.

Стандарт 802.16e, являющийся, по сути, модернизацией предыдущей версии, нацелен на мобильных пользователей. Он поддерживает функции хэндовера и роуминга и рассчитан на применение в диапазонах частот ниже 6 ГГц, а одно из его главных достоинств – отсутствие требования прямой видимости для связи.

Между операторами сетей WiMAX и операторами сетей 3G и 4G идет довольно острая конкурентная борьба, где рынок услуг достаточно насыщен средствами связи, однако в государствах, где инфраструктура кабельной сети и развертывание сотовых сетей 3G и 4G требует неоправданно больше затрат, развертывание сетей WiMAX может создать экономически выгодный высокоскоростной радиодоступ.

В этой связи представляется весьма актуальным развертывание сетей WiMAX в средних и малых населенных пунктах, таких как п. Веселый, находящийся в сфере обслуживания Веселовского ЛТЦ Азовского МЦТЭТ Ростовского филиала МРФ «Юг» ПАО «Ростелеком».

Таким образом, целью данного исследования является разработка информационной сети по технологии WiMAX для предоставления услуг беспроводного ШПД к глобальным и региональным сетям на территории поселка Веселый и Веселовского района Ростовской области.

Использование информационных технологий WiMAX позволяет получить относительно дешевое покрытие беспроводным широкополосным доступом к Интернет и другим услугам связи.

Как показали расчеты, использование данной технологии будет особенно эффективным для сравнительно небольших населенных пунктов, таких как п. Веселый и села и хутора Веселовского района.

В процессе разработки обосновано использование WiMAX-сети с требуемыми функциями и рабочими характеристиками. Для достижения более высокого

энергетического потенциала линий связи, уменьшения затухания сигналов и лучшего покрытия зоны обслуживания использованы различные технологии разнесения частот.

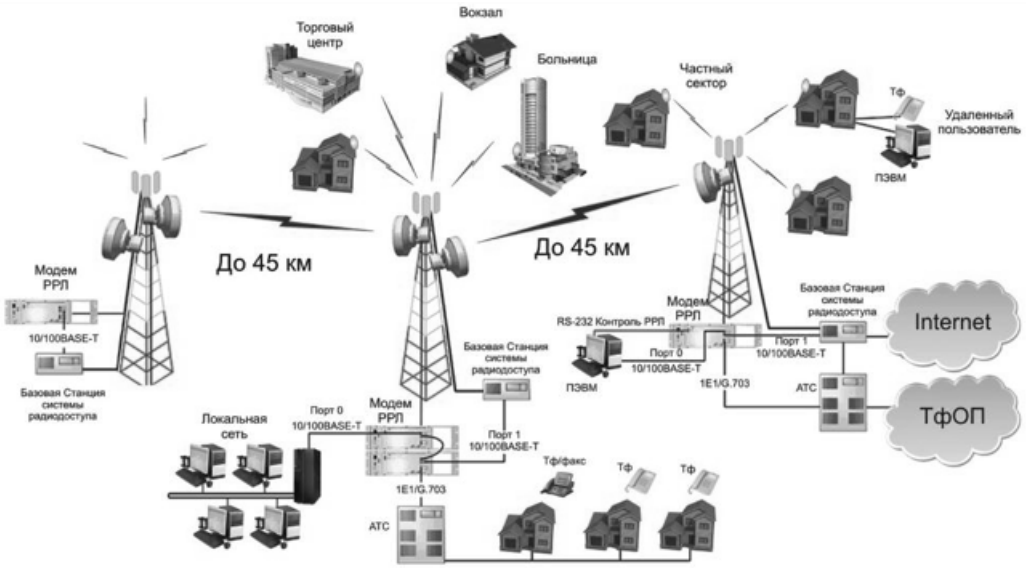


Рис. 1 - Схема организации WiMAX-сети

В ходе разработки WiMAX-сети, было проведено исследование Веселовского района, в котором требовалось развернуть систему ШБД. В соответствии с требованиями руководства Ростовского филиала ПАО «Ростелеком», выбрано оборудование SkyMAN производителя Infinet (Россия), которое отвечает установленным стандартам приемопередающего радиооборудования, надежности и эффективности использования сети. Разработана структурная схема организации связи, что позволит определить сетевые компоненты системы ШБД и их взаимосвязь, как с оборудованием предприятия, так и с абонентскими системами беспроводного доступа (см. рис. 1).

Спроектированная WiMAX-сеть имеет развитую инфраструктуру. Большим преимуществом является легкость и быстрота развертывания системы (в отличие от проводных сетей). Комплексы программного обеспечения управления и мониторинга повышают надежность и эффективность сети в целом. Тестовые испытания показали стабильные параметры приемопередающего оборудования. Технология NLOS позволяет использовать систему в плотной застройке, показывая при этом устойчивую связь между БС и АС.

Разработанная WiMAX-сеть предоставляет абонентам широкополосный беспроводной доступ к глобальным и региональным сетям. Эффективность технологии и организации связи позволяют использовать всего одну базовую станцию для покрытия всей территории Веселовского района. При использовании беспроводного доступа оператор может сэкономить при развертывании базовых станций, т.к. требуется только монтаж и установка блоков и антенн аппаратуры InfiNet SkyMAN R5000, что существенно уменьшит затраты на внедрение WiMAX-сети и позволит в итоге снизить себестоимость предоставляемых услуг. В ходе проектирования был проведен обоснованный выбор оборудования базовых и абонентских станций.

Предлагаемая структурная схема организации связи и размещения оборудования позволяет оператору подключить базовые станции к уже существующим оптово-

локонным магистралям, что исключит затраты на прокладку проводных сетей и устройство установочных площадок.

В основу расчета себестоимости услуги был положен принцип распределения капитальных затрат при развертывании сетей на квадратный километр покрываемой сетью местности.

Большим преимуществом разработанной WiMAX-сети является возможность масштабирования системы за счет увеличения числа базовых станций. В будущем рост и развитие системы ШБД позволит подключить большее число абонентов, что отразится на прибыли предприятия и его конкурентоспособности на существующем рынке беспроводных технологий связи.

Срок окупаемости проекта составит около 6 месяцев. Годовой эффект от внедрения системы составит 2400000,00 руб., а чистая прибыль за первый год эксплуатации - 1550000 руб. Чистый дисконтированный доход за пять лет – около 4 млн. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *В. Вишневский, С. Портной, И. Шахнович.* Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. Техносфера, 2009. 322 с.
2. *А. Весоловский, Н. Кшиштоф.* Системы подвижной радиосвязи. Горячая линия - Телеком, 2011. 288 с.
3. *Галкин В.А.* Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. 366 с.
4. *В.С. Сюваткин, В.И. Есипенко* WiMAX - технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение. Санкт-Петербург. 2011. 208 с.

И.С. Коновалов, В.А. Фатхи, В.Г. Кобак

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ГОЛДБЕРГА ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА НА ТОЧНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОКРЫТИЯ МНОЖЕСТВ

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: Генетический алгоритм, параметризация, задача покрытия множеств, модель Голдберга, эвристический алгоритм, приближенный алгоритм

Рассматривается задача покрытия множеств как одна из важнейших задач комбинаторики, информатики и оптимизации. Одним из способов решения задачи нахождения минимального покрытия множеств является использование генетического алгоритма. Авторы описывают применимость генетического алгоритма для решения

данной задачи. Для улучшения показателей точности и временных затрат можно использовать тонкую настройку параметров, таких как число особей в поколении, условия останова, вероятность операторов скрещивания и мутации. Целью данной статьи является подбор наиболее оптимальных параметров.

I.S. Konovalov, V.A. Fathi, V.G. Kobak

RESEARCH OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE MODIFIED MODEL, GOLDBERG'S GENETIC ALGORITHM ON THE ACCURACY OF SOLVING THE PROBLEM OF COVERING SETS

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: Genetic algorithm, parameter setting, set covering problem, Goldberg's model, heuristic algorithm, approximate algorithm

The set covering problem as one of the most important tasks of combination theory, informatics and optimization is considered. One of methods of the solution of a task of finding of the minimum covering of sets is use of a genetic algorithm. Authors describe applicability of a genetic algorithm for the solution of this task. For improvement of indicators of accuracy and time expenditure it is possible to use thin setup of parameters, such as number of individuals in generation, stop conditions, probability of operators of crossing and a mutation. The purpose of this article is matching of the most optimum parameters.

1. Введение

Авторов заинтересовала идея использования законов природы в целях решения оптимизационных задач. Наглядное практическое применение данного союза природы и программирования достигается использованием генетических алгоритмов [1,2]. Если какой-то объект представить в виде особи, «закодировать» его, создать модель эволюции с помощью естественного отбора особей в поколении, их скрещивании и мутации, то можно добиться развития данного объекта, нахождения его "лучшего" состояния. С помощью генетического алгоритма можно решить многие оптимизационные задачи, одной из которых является задача покрытия множеств.

2. Постановка задачи.

Дано множество U из n элементов, и набор подмножеств U, $S = \{S_1,\ldots, S_k\}$. Каждому подмножеству S_i сопоставлена некоторая неотрицательная стоимость c: $S \to Q^+$. $S' \subseteq S$ является покрытием, если любой элемент из U принадлежит хотя бы одному элементу из S'

Задача о покрытии множествами заключается в нахождении набора подмножеств, покрывающего все множество U и имеющего минимальный возможный вес.

Можно представить задачу в матричном виде [3]. Пусть A= (a_{ij}) — произвольная матрица размера mxn с элементами $a_{ij} \in \{0,1\}$ без нулевых строк и столбцов. Будем говорить, что в A строка i покрывается столбцом j , если a_{ij}=1. Подмножество столбцов называется покрытием, если в совокупности они покрывают все строки матрицы A. Пусть

каждому столбцу поставлено в соответствие положительное число c_j, называемое весом столбца. Требуется найти покрытие минимального суммарного веса. Вводя переменны еx_j, равные 1, если столбец j входит в искомое покрытие, и равные 0 в противном случае, приходим к следующей формулировке задачи о покрытии: минимизировать сумму

$$\sum_{j=1}^{n} c_j x_j \to min$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq 1, i = 1, \dots m, x_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n$$

3. Генетический алгоритм

В 1975 году Джон Холланд предложил использовать генетические алгоритмы для решения задач оптимизации. Они основаны на принципах естественного отбора и наследования и относятся к вероятностным методам. Эволюционный процесс, задаваемый генетическим алгоритмом, можно разделить на следующие шаги:

1) формирование начального поколения, состоящего из заданного числа особей;

2) отбор особей и применение операторов кроссовера и мутации ГА с заданной вероятностью, формирование нового поколения;

3) проверка условия останова, которая обычно заключается в неизменности лучшего решения в течение заданного числа поколений, если проверка прошла успешно, то лучшая особь выбирается как найденное решение, иначе происходит переход на второй шаг.

Такая схема является общим алгоритмом для решения многих задач, и при применении её к конкретной задаче необходимо выбрать механизм кодирования параметров в гены особи. В данном случае, для решения задачи поиска минимального покрытия множеств, оптимизационной функцией будет являться минимизация веса покрытия, а условием останова будет неизменность лучшего решения в течение заданного числа поколений. Авторы используют модифицированную модель Голдберга, с подробным описанием применимости которой к решению задачи покрытия можно ознакомиться в статьях [4-6].

4. Исследование влияния параметров модифицированной модели Голдберга генетического алгоритма на точность решения задачи покрытия множеств

Поведение генетического алгоритма трудно предсказать из-за множества случайных событий, именно поэтому оценивать его работу нужно опытным путем. Для этих целей создано программное средство на языке программирования C# с помощью среды разработки Microsoft Visual Studio Ultimate 2013. Запуск ПО производился на ПК со следующими характеристиками: ОС Microsoft Windows 8 Professional x64, процессор Intel Core i5-2500K, оперативная память 6 Гб.

ГА имеет несколько настроек, от которых зависит эффективность его работы. Можно задавать число особей в поколении, условие останова и вероятности операторов мутации и скрещивания.

Было проведено по 100 экспериментов с различными матрицами размером n x m, где n- количество подмножеств множества U, m-мощность (количество элементов) множества U. Матрицы заполняются случайным образом "0" и "1".

- Коэффициент заполненности матрицы подмножеств единицами p=0.5.
- Интервал распределения весов подмножеств 1..200 (целые числа), формируются случайным образом.
- Количество подмножеств и количество элементов множества U 100x100
- Комбинация “генная мутация + равномерное скрещивание” как одна из самых эффективных из исследованных. Результаты данных исследований войдут в отдельную публикацию.

Генная мутация заключается в инвертировании случайного гена. Опишем механизм равномерного скрещивания. Случайным образом создается маска - двоичная особь, с помощью которой часть генов потомка приобретается от одного родителя, а часть - от другого. В потомок 1 переходит ген от родителя 1, если на том же месте в маске стоит “1”, а от родителя 2 – если в маске стоит “0”. Потомок 2 формируется обратным образом: переходит ген от родителя 1, если на том же месте в маске стоит “0”, а от родителя 2 – если в маске стоит “1”.

4.1 Анализ влияния вероятности операторов мутации и скрещивания на эффективность работы генетического алгоритма.

Чтобы подобрать сочетание вероятностей генетических операторов, при котором достигается наивысшая эффективность ГА, использовалось программное средство, описанное выше, Размерность задачи 100x100, ГА 50 особей. Результаты приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнение эффективности вероятностей оператора скрещивания и мутации по весам покрытий

Мутация / **Скрещивание**	**0,2**	**0,4**	**0,6**	**0,8**	**1**
0,2	60,31	59,45	59,37	54,65	44,35
0,4	58,2	58,09	57,51	54,71	45,01
0,6	57,98	57,58	54,67	52,67	44,75
0,8	54,03	55,18	55,07	51,11	44,68
1	52,17	50,95	50,28	48,89	44,33

Таблица 2 – Сравнение эффективности вероятностей оператора скрещивания и мутации по временным затратам.

Мутация / Скрещивание	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,2	992	1038	1121	1293	2047
0,4	1038	1101	1196	1418	2115
0,6	1111	1205	1325	1504	2273
0,8	1237	1314	1420	1656	2338
1	1338	1448	1602	1858	2594

Самое эффективное сочетание: вероятность мутации 100 % и вероятность скрещивания 100%.

4.2 Зависимость эффективности генетического алгоритма от размерности поколения. Как влияет размерность поколения, используемого в ГА, на точность решения и затраты времени? В таблице 3 и 4 приведены результаты с 50, 100, 200, 500, 1000 особями и размерностью задачи 100x100 .

Таблица 3 – Зависимость весов покрытий, получаемых генетическим алгоритмом, от размерности поколения.

Особи	**Результат**
50	43,76
100	42,88
200	42,7
500	42,67
1000	42,61

Таблица 4 – Зависимость временных затрат на решения, получаемых генетическим алгоритмом, от размерности поколения.

Особи	**Результат**
50	2229
100	4175
200	8185
500	19109
1000	37588

Время работы генетического алгоритма прямо пропорционально размеру поколения. Также при увеличении числа особей повышается точность решения задачи.

4.3 Анализ влияния условия останова генетического алгоритма на эффективность решения задачи покрытия множеств.

При применении ГА для решения задачи покрытия было использовано условие останова в виде количества поколений неизменности лучшего решения. В таблицах 5 и 6 приведены результаты сравнительного анализа ГА с условием останова 100, 250, 500, 750, 1000 при размерности задачи 100x100 и 150x150.

Таблица 5– Зависимость весов покрытий, получаемых генетическим алгоритмом, от условия останова.

Условие останова	**100**	**250**	**500**	**750**	**1000**
100x100 100 особ	4	3,97	3,97	3,97	3,96
150x150 100 особ	4,6	4,09	4	4	4,01

Таблица 6 – Зависимость временных затрат на решения, получаемых генетическим алгоритмом, от условия останова.

Условие останова	**100**	**250**	**500**	**750**	**1000**
100x100 100 особ	4158	8481	15180	22480	29206
150x150 100 особ	8542	20119	35424	48805	59551

5. Заключение

С помощью оптимальной настройки параметров генетического алгоритма можно добиться повышения эффективности его работы. Можно сделать следующие выводы:

1) При увеличении условия останова растет время работы алгоритма и повышается точность.
2) При повышении количества особей растет точность результата и время его получения. Рекомендуется использовать 500 особей в задачах небольшой размерности для получения с небольшой погрешностью точного результата.
3) Эффективно использовать вероятности оператора мутации и скрещивания 100% и 100% соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Holland J.H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems. – The University of Michigan Press, 1975 P. 245

2. *Goldberg D. E.* Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989 P. 432
3. *Еремеев, А.В.* Генетический алгоритм для задачи о покрытии, Дискретн. анализ и исслед. опер., 2000, том 7, номер 1, 47–60
4. *Коновалов, И.С.* Стратегия элитизма модифицированной модели Голдберга генетического алгоритма при решении задачи покрытия множеств/ И.С. Коновалов, В.А. Фатхи, В.Г. Кобак// Вестник компьютерных и информационных технологий – 2016.-№4-с.50 – 56
5. *Коновалов, И.С.* Применение генетического алгоритма для решения задачи покрытия множеств/ И.С. Коновалов, В.А. Фатхи., В.Г. Кобак// Вестник Донского государственного технического университета – 2016.- №3-с.125-132
6. *Кобак В.Г, Жуковский А.Г., Пешкевич А.А.* Сравнение путевого и порядкового подходов при решении задачи коммивояжёра модифицированной моделью Голдберга. «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион». Серия: технические науки. Издательство: Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону), №1, 2017. – С.3-7.

Я.Б. Константинова, Н.О. Светличная

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ. ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сегнетоэлектрики, диэлектрическая проницаемость, фазовый переход, размытие фазовых переходов, аппроксимация.

В работе обсуждается аппроксимация экспериментальной зависимости диэлектрической проницаемости от температуры ε(T) в сегнетоэлектриках со слабо размытым фазовым переходом. Делается вывод, что если при выборе теоретической формулы учитывать данные, полученные из экспериментальной кривой, аппроксимацию методом наименьших квадратов можно провести подбором одного параметра. Этот параметр, меняясь от 1.6 до 2, характеризует степень размытия фазового перехода, которая связана с эксплуатационными свойствами сегнетоэлектрика.

Y.B. Konstantinova, N.O. Svetlichnaya

INFORMATION METHODS FOR PREDICTING PROPERTIES OF FERROELECTRICS. PHASE TRANSITIONS IN FERROELECTRICS.

North-Caucasus branch of the Moscow technical university of communications and informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: ferroelectrics, phase transition, blurring of the phase transition, dielectric permittivity.

The work discusses the approximation of the experimental dependence of the dielectric permittivity on the ε(T) temperature for ferroelectrics with a weak blurring of the phase transition. There is a conclusion that in case of choosing a theoretical formula it is reasonable to take into account data obtained from the experimental curve, the approximation with the method of least squares can be made by selecting one parameter. This parameter, varying from 1.6 to 2, characterizes the degree of the blurring the phase transition, which is related to the operational properties of ferroelectrics.

Currently, materials based on ferroelectrics are being increasingly applied in science and technology. They are the main element of transducers used in medicine for ultrasound examinations [1] and the study of the oceans depths. Nowadays we see development of the advanced designs of the computer RAM memory based on ferroelectrics [2]. Ferroelectrics are also used in the devices converting information – optical transporants [3].

Ferroelectrics represent a class of crystalline solids which can have a spontaneous polarization. This appears at a certain temperature range, depends on the crystalline structure of a substance, and can be destroyed when an external electric field is applied.

The Tc temperature above which the spontaneous polarization does not exist, is called the Curie temperature. At this temperature range ferroelectric acts like ordinary dielectrics and becomes paraelectric. When the temperature is below Tc, the spontaneous polarization cannot be destroyed and the dielectric may become a ferroelectric.

The temperature at which the spontaneous polarization disappears (that is the dipole moment) and rearrangement of the crystalline structure occurs is called the Curie temperature or the Curie point. The transition through the Curie point means a phase transition, and the corresponding phases are referred to as polar (ferroelectric) and non-polar (paraelectric) phases.

In practice, to find the dielectric permittivity for ferroelectrics the Curie-Weiss law can be written in the following form:

$$\varepsilon = \frac{C}{T - T_c},$$

where C is the Curie-Weiss constant; Tc is the Curie-Weiss temperature.

One of the most important parameters of a ferroelectric is the Curie-Weiss constant C, which characterizes both the type, and the features of the phase transition.

According to the formula, the Curie-Weiss constant is given by:

$$C = \frac{T - T_c}{1/\varepsilon}.$$

The Curie-Weiss constant can also be determined using the dependence curve

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon}(T)$$

Since at T> Tc the dependence is linear (Figure 1). C = ctgα, where α is the slope angle of the graph.

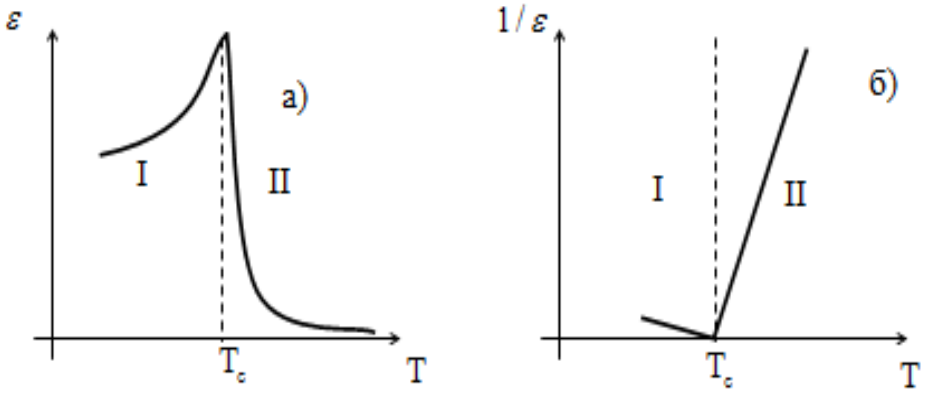


Figure 1

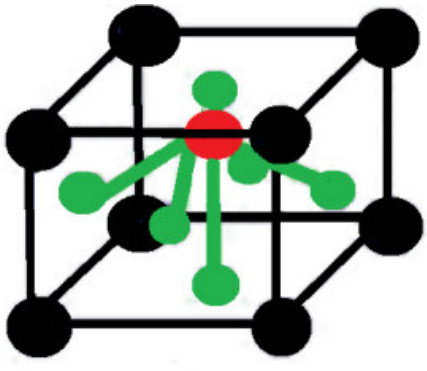
I – ferroelectric phase ($T < T_c$);

П – paraelectric phase ($T > T_c$).

Ferroelectric ceramics

Ferroelectric ceramics, like ceramics in general, are polycrystals obtained by sintering powder of small crystals at high temperatures. The most common ferroelectric ceramics are the ones based on zirconate-lead titanate Pb (ZrxTi1-x) O3.

Figure 2 shows the Pb (ZrxTi1-x)O3 crystal cell. Due to the move of Zr or Ti from the center, the cell gets an internal electric field, and the crystal and ceramics get ferroelectric properties.



Black points– Pb,
green points - O,
red point – Zr or Ti, a little displaced from the center to upwards.

Figure 2. Blurring of the ferroelectric phase transition

The blurring of the ferroelectric phase transition is associated with the disordered arrangement of various ions (for example, Zr and Ti) in a crystal structure of a ferroelectric. The blurring of the phase transition is often related to a number of operational properties of ceramics. By varying the degree of blurring the peak of the ε (T) dependence, it is possible to predict in

advance a change in the ferroelectric properties. Consequently, it becomes necessary to control the degree of blurring.

Analysis of the phase transitions blurring

We considered the blurring parameter for phase transitions, based on the best description of the dielectric permittivity behavior in the field of the maximum Tm of the ε (T) dependence. The dependence ε(T) is described as follows. Graphs of the ε(T) and 1/ε(T) dependences were made according to the measurement results. The linear part of the 1/ε (T) curve was used to determine the value of the constant Curie C and the Curie-Weiss temperature Tc. Using these parameters, a hyperbola corresponding to the Curie-Weiss law was constructed.

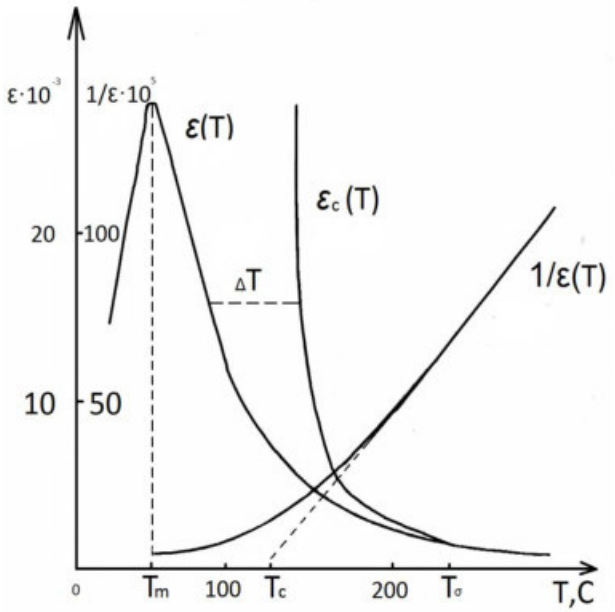


Figure 3.

Figure 3 shows an example of such construction for one of studied compounds. As one can see, in the area of $T_m<T<T_\sigma$ the test curve ε(T) differs significantly from the constructed hyperbola.

The values of the deviation ΔT of the experimental graph from the theoretical one are calculated, and the graph of the ΔT = f (Te) dependence is constructed and shown in Fig. 4. $T_э$ - experimental values of the temperature. The figure proves the graph resembles a power function. This function is considered to have the following form:

$$\boldsymbol{\Delta}T(T_э) = \left(\frac{T_\sigma - T_э}{T_\sigma - T_{\boldsymbol{m}}}\right)^{\boldsymbol{L}} \cdot \Delta T_{\boldsymbol{m}} \qquad (1)$$

The only parameter chosen for approximation was L. All other numbers were obtained directly from the experimental graph.

When introducing the expression ($T_э$ + $_\Delta$T), instead of T into the Curie-Weiss law we receive:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{C}{T_э - T_C + \boldsymbol{\Delta}T}$$

After replacing $_{\Delta}T$ with the expression (1) the final form of the theoretical dependence ε(T) can be obtained by applying the formula:

$$\boldsymbol{\varepsilon}(\mathrm{T}) = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{T_Э} - \mathrm{T_C} + \left(\frac{\mathrm{T_б} - \mathrm{T_Э}}{\mathrm{T_б} - \mathrm{T}_m}\right)^{L} \cdot \Delta \mathrm{T}_m}$$

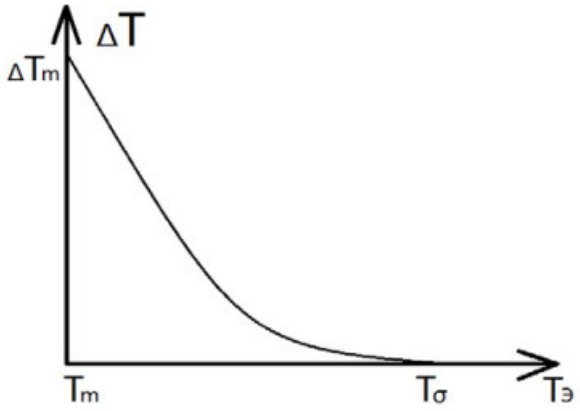


Figure 4.

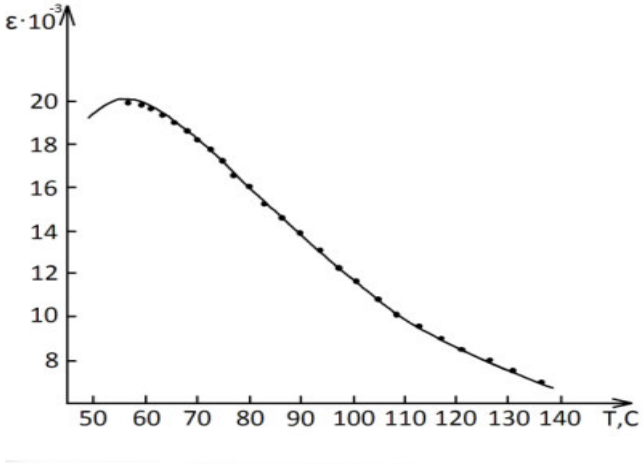


Figure 5.

The ε(T) curves calculated by this formula describe well the experimentally observed curves (Fig. 5). For materials with an ε(T) wide peak (based on lead magnoniobate), the L values approached 2, in cases when this peak became narrower as the composition of the compound was changed, the value of L decreased from 2 to 1.6.

Conclusion

While studying the dependence of the dielectric permittivity for ferroelectrics on the temperature, it was proved that:

- The choice of a theoretical formula must take into account the features of the experimental curve and contain the data obtained from it (T_m, T_σ, C, $_{\Delta}T_m$, T_c).
- Approximation of the experimental results by the least squares method brings good results.

RESOURCES:

1. *Konstantinov G.M., Rybyanets A.N., Konstantinova Y.B.,Shvetsova N.A., Svetlichnaya N.O* Diffusion of Ferroelectric Phase Transition and Glass-Dipole State in the PZT-Based Solid Solutions/ (Chapter 16)/ Monograph «Advanced Materials. Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications». Ivan A. Parinov Shan-Hsyung Chang Vitaly yu. Topolov Editors. ISBN 978-3-319-26322-9 ISSN 0930-8989 Springer Cham Heidelbergtional Publishing Switzerland, 2016, chapter 16, p.229-245.
2. *Konstantinova Ya.B., Nemchinskiy E.A., Svetlichnaya N.O.* Ferroelectric memory. Международная молодежная научно-практическая конференция СКФ МТУСИ «Инфоком-2015», 20-25 апреля 2015 г.
3. *Konstantinova Ya.B., Laukhin A.V., Svetlichnaya N.O.* Spatial light modulators and prospects of their use in future. Труды СКФ МТУСИ, Ростов-на-Дону, 2013 г.

Н.А. Коньшина, Н.В. Руденко, В.В. Ершов*, М.А. Елфимов, Т.Э. Тимирбулатова*, Е.М. Мищук

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ДИРИЖАБЛЯХ

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
*Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: инфокоммуникационные системы, услуг связи в труднодоступных районах, низкоорбитальные дирижабли, стационарная орбита, солнечные батареи.

Рассмотрены преимущества использования низкоорбитальных дирижаблей для предоставления инфокоммуникационных услуг. Показано, что использование стратостатных дирижаблей как носителей телекоммуникационной аппаратуры вместо геостационарных спутников экономически более целесообразно и позволяет существенно расширить функциональные возможности при эксплуатации этой аппаратуры. Рассмотрены варианты энергоснабжения аппаратуры на основе использования солнечной энергии и водородных топливных элементов.

N.A. Konshina, N.V. Rudenko, V.V. Ershov *, M.A. Elfimov, T.E. Tamirbulatova*, E.M. Mischuk

ABOUT THE PERFORMANCE OF ACCOMMODATION OF INFOCOMMUNICATION SYSTEMS ON LOW-ORBITAL DIRECTIONS

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
* North-Caucasian branch of the Order of the Red Banner of Labor
State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Technical University of Communication and Informatics", Rostov-on-Don, Russia

Keywords: infocommunication systems, communication services in hard-to-reach areas, low-orbital airships, stationary orbit, solar batteries.

The advantages of using low-orbit airships for providing infocommunication services are considered. It is shown that the use of stratospheric dirigibles as carriers of telecommunication equipment instead of geostationary satellites is economically more expedient and allows to significantly expand the functionality in the operation of this equipment. The options for power supply of equipment based on the use of solar energy and hydrogen fuel cells are considered.

Актуальность вопроса. В условиях невозможности покрытия сетями инфокоммуникаций многих территорий и острого недостатка мощностей необходимо искать альтернативу низкоорбитальным спутникам связи. Одним из оптимальных решений признаны низкоорбитальные (стратосферные) платформы на дирижабельной основе [1].

Покрытие территории нашей страны сотовыми сетями составляет всего около 10%. По данным Минкомсвязи, покрыты почти все населенные пункты, но 1343 городских поселения с численностью жителей от 10 тыс. до 500 тыс. человек все же остаются без доступа к Интернету и мобильной связи. Еще 38%, или 6725 населенных пунктов, составляют города и села, где есть голосовая сотовая связь, но отсутствует как проводной, так и беспроводной доступ в Интернет [2]. Поэтому сейчас для получения услуг связи за пределами зон покрытия сотовых сетей, особенно в труднодоступных районах, как правило, используется спутниковая связь.

Но у спутников есть ряд недостатков: запуск одного такого спутника на орбиту обходится достаточно дорого от $50 до $400 млн. А для создания глобальной беспроводной сети надо запустить одновременно дюжины низкоорбитальных спутников. Высокоорбитальные геостационарные спутники так далеко находятся от Земли, что мощности для доставки широкополосного сигнала не хватает [3]. Кроме этого, после завершения срока службы спутник остается на орбите, превращаясь в космический мусор вместе со всем оборудованием, которое безвозвратно теряется.

А самое главное – проекты космической связи выполняются достаточно долго: от этапа разработки до внедрения проходит пять–восемь лет. За это время пользователи требуют новых скоростей передачи информации, а оборудование устаревает.

Поэтому создание сети дирижаблей, висящих на высоте 20–25 км, спускающихся на Землю для замены оборудования, представляет собой альтернативный вариант группировке спутников.

Цель и задачи исследования. В настоящее время отсутствует технико-экономическое обоснование размещения телекоммуникационного оборудования на низкоорбитальных дирижаблях и создания инфокоммуникационных систем на этой основе. Целью исследования является технико-экономическое обоснование размещения инфокоммуникационных систем на низкоорбитальных дирижаблях, а также рассмотрение основных принципов их функционирования.

Результаты исследования. Возможности технической реализации. В России работы по созданию такого дирижабля ведутся с конца 1970-х годов на базе нынешнего Долгопрудненского конструкторского бюро автоматики. Основные исследования ведутся в области новых, прежде всего композиционных, конструкционных материалов, обеспечивающих необходимую прочность и жесткость аппарата достаточно больших размеров. В настоящее время уже созданы такие материалы, а также легкие материалы с малой газопроницаемостью для оболочек [3].

Стратостатные дирижабли фактически могут стать геостационарными спутниками в том смысле, что могут обеспечивать круглосуточное покрытие требуемой области. При этом ширина пропускания сигнала в 1000 раз больше. Дирижабль может доставлять высококачественный широкополосный сигнал на антенну-тарелку любому потребителю, находящемуся в зоне радиусом в 50 миль прямо под ним [4]. Этого достаточно для доставки сигналов на территории большинства крупных городов и их пригородов, при этом сигналу не помешают ни деревья, ни холмы. Контроллеры, находящиеся на земле, могут автоматически вести мониторинг воздушного аппарата круглые сутки.

Состав и принцип работы стратосферного дирижабля. Грузоподъемность будущего низкоорбитального дирижабля составит 600 кг. Двухлопастной винт диаметром до 20 метров будет работать на энергии солнечных батарей мощностью 400 кВт, расположенных на поверхности оболочки дирижабля [1]. Система будет использовать генерируемое теплом солнца электричество для расщепления воды на водород и кислород, сохраняемые в канистрах. Ночью топливные элементы рекомбинируют кислород и водород, что создает достаточное количество электричества для вращения пропеллеров аппарата. Система также производит тепло, которое предохраняет воду от замерзания на высоте. В ночное время эти составляющие будут сгорать в двигателе, пополняя запасы воды на борту.

Дирижабль будет посылать на землю прямо под собой электромагнитные волны, по которым будут передаваться различные инфокоммуникационные услуги (рисунок 1). Пользователю понадобится только спутниковая тарелка на крыше дома, и можно будет получать весь пакет беспроводных услуг [1-5].

Рисунок 1 - Схема работы стратосферного дирижабля

Система управления будет контролировать параметры полета, а входящий в ее состав модуль управления энергетикой - отвечать за распределение энергии между потребителями по энергосберегающим алгоритмам. Таким образом, если потребуется дополнительная энергия, чтобы удержать дирижабль на месте, автоматически отключатся устройства, работа которых менее важна в данный момент времени.

Дирижабль займет стационарную орбиту у границы стратосферы на высоте 20 км и сможет оставаться там на протяжении 5 лет. Управление им будет осуществляться с земли при помощи многоканальной системы радиосвязи. Так же будет возможно спускать дирижабль на землю для проведения технического обслуживания. ремонтных работ по замене и восстановлению оборудования.

Результаты сравнения характеристик геостационарных спутников и низкоорбитальных дирижаблей представлены в таблице 1 [1-6].

Таблица 1 – Характеристики спутников связи и низкоорбитальных дирижаблей

Характеристики	**Спутники**	**Дирижабли**
Срок службы	10 лет	10 лет
Стоймость единицы массы полезного груза (за 1 кг оборудования)	160 тыс. долларов	800 долларов
Грузоподъемность	2500 кг	1000 кг
Возможность технического обслуживания	-	+
Возможность замены и ремонта оборудования	-	+
Возможность утилизации по окончанию срока службы	-	+

продолжение таблицы 1

Возможность предоставления одновременно нескольких различных инфокоммуникационных услуг	-	+

Дирижабль оборудован таким образом, что может посылать электромагнитные волны, по которым будут передаваться широкополосная Интернет-связь, мобильная телефонная связь в стандарте третьего поколения, телевизионные сигналы высокого разрешения единовременно, в отличие от спутника, который не имеет таких возможностей.

При выходе из эксплуатации спутника, все оборудование, вне зависимости от его состояния, превращается в космический мусор. Дирижабль можно спускать для проведения технического обслуживания, ремонта, замены морально устаревшего оборудования, что несомненно увеличивает срок службы телекоммуникационной аппаратуры и самого дирижабля.

Выводы.

1. Стоимость единицы массы полезного груза в 200 раз меньше при размещении инфокоммуникационных систем на низкоорбитальных дирижаблях по сравнению со спутниками связи. Следовательно, использование стратостатных дирижаблей как носителей телекоммуникационной аппаратуры вместо геостационарных спутников экономически более целесообразно.

2. Использование стратостатных дирижаблей как носителей телекоммуникационной аппаратуры позволяет существенно расширить функциональные возможности при эксплуатации этой аппаратуры. Эти возможности следующие:

- возможность технического обслуживания, замены и ремонта оборудования, что позволяет продлить его ресурс и повысить эффективность использования;
- возможность предоставления одновременно нескольких различных инфокоммуникационных услуг: сотовой связи, Интернета, цифрового телевидения, передачи данных и др.

3. Технология использования солнечной энергии и других возобновляемых источников без вредных выбросов в атмосферу делает платформу на базе стратосферного дирижабля экологически чистой. По завершении эксплуатации воздухоплавательные комплексы утилизируются, как обычная авиационная техника, практически без отходов [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Низкоорбитальные дирижабли придут на замену спутникам связи: [Электронный ресурс]: URL: // http://www.cnews.ru/articles/nizkoorbitalnye_dirizhabli_pridut_na (дата обращения 16.03.2017).
2. *Алексеев В.Н.* Связь недоступна: [Электронный ресурс]: — URL: https://www.dp.ru/a/2017/01/30/Svjaz_nedostupna (дата обращения 16.03.2017).

3. *Голубятников В.К.* Дирижабли набирают высоту: [Электронный ресурс]: URL: //http://www.nkj.ru/archive/articles/11024/ (дата обращения 17.03.2017).
4. Вышки для сотовой связи могут висеть в воздухе: [Электронный ресурс]: URL: // http://old.ci.ru/inform02_03/p_10-11.htm (дата обращения 17.03.2017).
5. Стратосферные дирижабли: Конкурент спутникам связи: [Электронный ресурс]: URL: http:// http://www.popmech.ru/science/8534-stratosfernye-dirizhabli-konkurent-sputnikam-svyazi/ (дата обращения 18.03.2017).
6. Виртуальный компьютерный музей. От спутника к дирижаблю: [Электронный ресурс]: URL: http://www.computer-museum.ru/connect/aerosta2.htm (дата обращения 18.03.2017).

В.Т. Куанышев, А.Б. Папаев, И.А. Зубарев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
г. Екатеринбург, Россия
Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России
г. Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: моделирование, лесные пожары, самоорганизованная критичность, степенной закон.

В работе описывается использование концепции самоорганизованной критичности для моделирования лесных пожаров для поиска унифицированных закономерностей, которые позволяют описать стихийное явление

V.T. Kuanyshev, A.B. Papaev, I.A. Zubarev

THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN THE MODELING OF NATURAL PHENOMENA

Federal Communications Agency Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia
(UISFS of EMERCOM of Russia), Yekaterinburg, Russia

Keywords: Keywords: modeling, forest fires, - organized criticality, power law.

The paper describes the use of the concept of self-organized criticality for modeling forest fires to search for unified laws, which allow us to describe a natural phenomenon

Введение

В последнее время в России, как и на всей планете, растет количество лесных пожаров. За последние 10 лет на борьбу с огнем в США ежегодно тратится более $1 млрд [1], при этом число лесных пожаров не становится меньше. В России наибольшее число пожаров пришлось на 2010 год, выдавшийся особенно аномально жарким. Как предсказывать подобное стихийное бедствие, которое наносит огромный урон народному хозяйству страны? Можно ли предсказать, в каком месте произойдет очередная катастрофа, где надо ожидать появление нового очага? Применение таких методов информационных технологий, как компьютерное моделирование, позволяет, основываясь на работах исследователей из разных стран [1,2], утверждать, что можно. Компьютерное моделирование пожаров позволяет предположить место его возникновения за неделю, месяц, а порой и за год до возгорания. Таким образом, есть возможность заранее определить тактикуборьбы с огнем. В какой-то мере ответить наэти вопросы поможет компьютернаямодель поведения огня.

Для решения полной задачи, учитывающей все основные параметры явления неконтролируемого распространения огня в виде лесного пожара –достаточно сложная задача [2], поскольку необходимо учитывать массу внешних факторов, в зависимости от которых пожарные команды могут приступить к тушению, используя самолеты или бульдозеры для создания защитных просек. Сегодня им помогают в этом современные компьютерные модели распространения огня, которые способны подсказать лесникам и пожарным, как свестик минимуму ущерб и сберечь жизни людей.

Явления, подобные лесному пожару, достаточно непредсказуемы, могут охватывать различные временные и пространственные масштабы. Тем не менее, при анализе явлений такого рода (снежные лавины, обвалы в горах, землетрясения, цунами, лесные пожары)обнаружилось, что все они обладают некоторой общностью. Размер или интенсивность события, его продолжительность и время ожидания характеризуются некоторыми достаточно унифицированными законами, когда отсутствуют характерные пространственные или временные масштабы. Так возникло понятие о самоорганизованной критичности, которое впервые было предложено П. Баком [3].

Согласно определению, данному П. Баком, самоорганизованная критичность (SOC - английская аббревиатура от self-organized criticality), обычно проявляется в системах, в которых амплитуда флуктуаций какого-либо параметра достигает границы стабильности системы. В состоянии SOC, даже при постоянном характере внешних возбуждений отклик системы на эти возбуждения характеризуется лавиной непредсказуемых событий, или «обвалов».

Концепция SOC позволяет понять природу разнообразных явлений, таких как снежные лавины в горах, сдвиги грунтов, землетрясения, возгорание лесных массивов,возникновение облаков и ливней, распространение эпидемий, возникновении «пробок» в транспортных потоках [4,5].

Концепция SOC при моделировании явлений

Одним из наиболее часто обсуждаемых и востребованных явлений являются модели распространения лесных пожаров, использующие самоорганизованную критичность модели лесного пожара (английская аббревиатура SOC FFM – self-organized criticality forest fire model). В литературе приводится большое количество различных модификаций этой модели [4,5,6].

В данной работе будет рассмотрена наиболее известная из них, подробно рассмотренная в [4]. Согласно основному положению, FFM представляет собой стохастический клеточный автомат, который определен на 2D-решетке, состоящей из ячеек. Каждая ячейка занята деревом, горящим деревом или является пустой. Во время одного временного шага система ячеек одновременно обновляется по следующим правилам [5]:

1. Горящее дерево → пустое место.
2. Дерево → горящее дерево с вероятностью *1-g*, если хотя бы горит один ближайший сосед.
3. Дерево → горящее дерево с вероятностью f_{tb}, если нет ближайшего горящего дерева (самовозгорание).
4. Пустая ячейка → дерево с вероятностью f_{et} (рост дерева).

Для моделирования задачи необходимо формализовать все этапы в соответствии с вышеприведенными правилами. Рассмотрим квадратную решетку размером $L \times L$, каждая из ячеек которой, может быть либо пустой (e), либо занятой зеленым (t) или горящим (b) деревом [5]. На каждом временном шаге узел с горящим деревом превращается в пустой ($b \rightarrow e$), существует вероятность f_{et} роста дерева в пустой ячейке ($e \rightarrow t$) и конечная вероятность f_{tb} самовозгорания зеленого дерева ($t \rightarrow b$). Затем предполагается, что вероятность возгорания зеленого дерева ($t \rightarrow b$) при наличии горящих соседей равна $1-g$, где g - величина, характеризующая стойкость дерева к возгоранию, стимулированному ближайшими соседями. При $g = 0$ зеленое дерево всегда возгорается при наличии хотя бы одного ближайшего горящего соседа.

Поведение системы для модели FFM определяется значениями ее параметров f_{et}, ди f_{tb}. Если $f_{tb} = 0$, $g = 0$, т.е. когда нет самовозгорания, а также отсутствует иммунитет, то огонь распространяется только за счет стимулированной передачи огня между ближайшими соседями.

Проявление свойств самоорганизованной критичности SOC для модели лесных пожаров FFM становится ярко выраженным только при ненулевой вероятности самовозгорания, т.е. $f_{tb} \neq 0$. Исследования авторов [5] показали, что при $L >> 1$ после определенного переходного периода данная система приходит в стационарное состояние SOC, которое практически не зависит от начальных и граничных условий, при этом среднее число горящих деревьев N_b равно среднему числу растущих деревьев $f_{et}N_e$, т. е. $N_b = f_{et}N_e$ (см. [5]).

Явление пожара, характеризующегося достаточно быстрым временем протекания, характеризуется периодом возбуждения, что гораздо меньше статического периода, означающего длительный период роста деревьев без пожаров. При этом явление SOC можно контролировать частотой возникновения пожаров $w_b = f_{et}/f_{tb} >> 1$. Эта величина пропорциональна среднему количеству деревьев S, уничтожаемых при одном самовозгорании в стационарном состоянии $S = w_b(N_e/N_t)$ [5].

В работе [4] предложена упрощенная модель, позволяющая исследовать поведение самоорганизованной критичности при лесных пожарах.

Для рассмотренной квадратной решетки с конечным числом ячеек рассматривается исходная конфигурация, состоящая из пустых и занятых деревьями ячеек. В статический период случайным образом выбирается произвольная ячейка с координатами (*x,y*) и, если она пустая, $h(x,y) = 0$, то в нее высаживается дерево, что приводит к инкременту числа деревьев - $h(x,y) = h(x,y) + 1$. Далее процедура повторяется $(w_b - 1) >> 1$ раз подряд. На следующем этапе w_b раз снова выбирается произвольная ячейка, и если она уже заполнена деревом (т.е. $h(x,y) = 1$), то данное дерево самовозгорается. В противном случае ничего не происходит. При наличии самовозгорания происходит идентификация кластера, к которому принадлежит это дерево, далее в этом кластере выжигаются все деревья. Таким образом, самовозгорание в определенной ячейке (*x,y*) может инициировать выжигание деревьев в соседних ячейках и т.д. (рис. 1) [7], т.е. возгорание может распространяться по системе, затрагивая *S* ячеек, в этом случае *S* является суммарной площадью пожара.

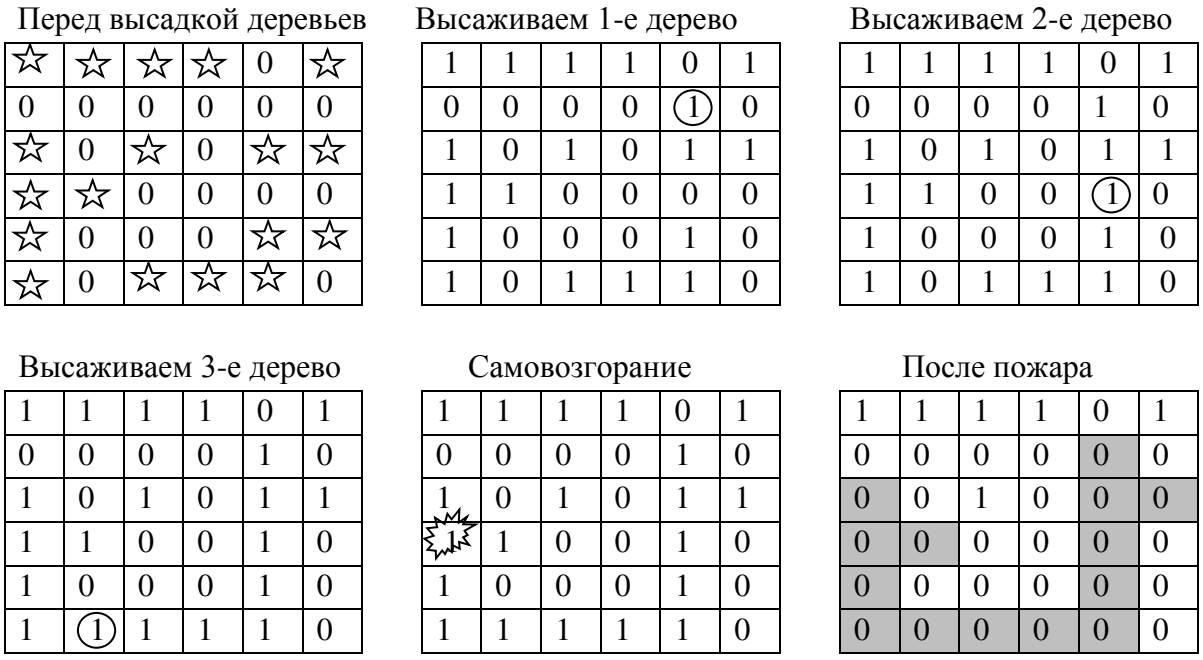


Рисунок 1 - Модель SOC лесного пожара. Площадь пожара $S = 14$ (ячеек)

На рис. 1 проиллюстрированы этапы моделирования: 1) в случайно выбранные ячейки высаживается три дерева; 2) выбирается произвольный узел, если он заполнен деревом, то дерево зажигается (если узел пустой, то самовозгорание не выполняется и высаживаются следующие деревья); 3) затем выжигаются все деревья, входящие в лесной связный массив. Для этого примера площадь пожара $S = 14$

Для SOC системы количество событий *N* в большинстве случаев [5] зависит степенным образом от его «размера» (масштаба) или интенсивности. Для ряда природных явлений выполняется следующее соотношение между *N* и площадью *S*

$$N \sim S^{-a}, \qquad (1)$$

где степенной показатель *a* зависит от характера явления, например, для возгорания лесных массивов, $a = 1{,}05 \div 1{,}3$ [5].

Аналогичные степенные соотношения выполняются между N и продолжительностью события Δt, а также между N и временем ожидания очередного события T [3,5].

Для проверки зависимости (1) была составлена программа на языке С, работающая по следующему алгоритму:

1) идентификатор счетчика времени увеличивается на единицу. Выбираем случайную ячейку с координатами (x,y). Если она пустая ($h(x,y) = 0$), то высаживаем в нее дерево ($h(x,y) = h(x,y) + 1$). Этот пункт повторяется ($w_b - 1$) раз.
2) выбираем случайным образом ячейку (x,y). В случае если она пустая ($h(x,y) = 0$), переходим к пункту 1. Если она заполнена ($h(x,y) = 1$), идентифицируем кластер, к которому принадлежит данное дерево, выжигаем этот кластер, полагая $h(x,y) = 0$.
3) накапливаем информацию об общей площади S пожара.

Затем переходим к пункту 1.

На рис. 2 представлена зависимость частоты возникновения пожаров N от их площади, полученная с помощью разработанной программы для $w_b = 10^3$ на решетке размером L = 1024.

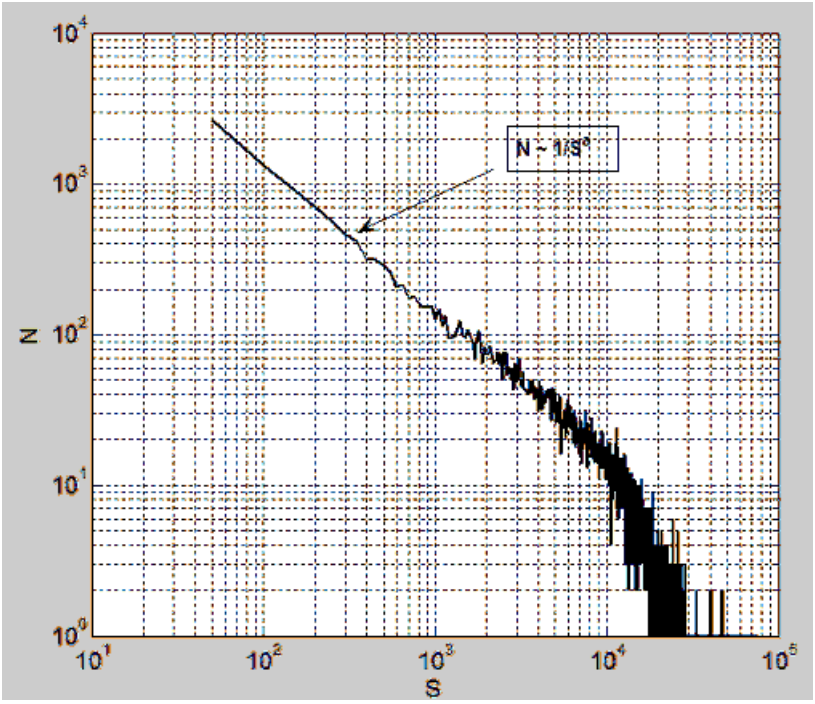


Рисунок 2 - Зависимость (в логарифмическом масштабе) количества пожаров N от их площади S при размере решетки 1024, $w_b = 10^3$. Время наблюдения $t = 10^5$

Из рис. 2 видно, что полученная зависимость достаточно хорошо описывается степенным законом вида $N \sim S^{-a}$ при значениях $a \approx 1{,}15$.

Выводы

В результате моделирования пожаров, основанного на концепции самоорганизованной критичности (SOC), возникающих в лесных массивах, полученная зависимость (рис. 2), за исключением начального участка, достаточно хорошо аппроксимируется степенным законом $N \sim S^{-a}$, где $a \approx 1{,}15$, что в целом согласуется согласуется с литературными данными (см., например, [5]), которые дают значения $a \approx 1{,}15 \pm 0{,}01$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эндрюс П., Финни М.* Новый взгляд на лесные пожары // В мире науки. – 2007, № 10. – с.77-82.
2. *Гришин А.М.* Математические модели лесных пожаров. - Томск: Изд-во Томск, ун-та, 1981. - 280 с.
3. *Бак П.* Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности. Пер. с англ. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 276 с.
4. *Turcotte D. L.* Self-organized criticality // Rep. Prog. Phys. – 1999, V. 62, No. 10, p.1377-1429
5. *Clar S., Drossel B. and Schwabl F.* Forest fires and other examples of self-organized criticality // J. Phys.: Condens. Matter. – 1996, V. 8, No. 37,p. 6803-6824.
6. *GrassbergP.* On a self-organized critical forest-fire model // J. Phys. AMath. Gen. – V. 26, 1993, p. 2081-2089.
7. *Булавин Л.А., Выгорницкий Н.В., Лебовка Н.И.* Компьютерное моделирование физических систем: Учебное пособие / Л.А. Булавин, Н.В. Выгорницкий, Н.И. Лебовка. - Долгопрудный: Изд.дом «Интеллект», 2011. - 352 с.

Д.В. Кусайкин, С.В. Коновалов, М.А. Клевакин

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМАТОВ МОДУЛЯЦИИ RZ-DQPSK, RZ-BPSK И 16QAM В СОВРЕМЕННЫХ ВОСП

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (УрТИСИ СибГУТИ), Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: когерентные ВОСП, модуляция RZ-DQPSK, модуляция RZ-BPSK, модуляция 16QAM, системы DWDM.

В работе приведен анализ эффективности применения многоуровневых форматов модуляции в современных высокоскоростных волоконно-оптических сетях с плотным спектральным мультиплексированием. Кратко рассмотрены перспективные форматы модуляции, способные в дальнейшем увеличить пропускную способность волоконно-оптических сетей связи.

D.V. Kusaykin, S.V. Konovalov, M.A. Klevakin

ABOUT APPLICATIONS OF RZ-DQPSK, RZ-BPSK AND 16QAM MODULATION FORMATS IN MODERN OPTICAL NETWORKS

Ural Technical Institute of Communications and Computer Science (branch) of the federal state budgetary educational establishment of higher education «Siberian State University of Telecommunications and Computer Science», Yekaterinburg, Russia

Keywords: coherent Optical Fiber Communications, RZ-DQPSK modulation, RZ-BPSK modulation, 16QAM modulation, DWDM systems.

The paper presents the analysis of the efficiency of multilevel modulation formats in high-speed optical fiber networks using dense wavelength division multiplexing. Briefly considered an advanced modulation formats, which are able to further increase the capacity of a communication optical channel.

Введение

За последние 30 лет скорость передачи в одном оптическом канале увеличилась в 160 раз – с 2,5 Гбит/с до 400 Гбит/с. Это стало возможным за счет использования прямой коррекции ошибок, многоуровневых форматов модуляции, когерентного приема с использованием методов цифровой обработки сигналов, поляризационного уплотнения и других средств. Будущие сетевые приложения, такие как виртуализированные центры обработки данных (cloud data center interconnect), передача HD-видеопотоков, сервисы мобильных сетей связи пятого поколения 5G приведут к еще большему росту трафика. Требования к сетям передачи данных ужесточатся не только в плане пропускной способности – необходимо будет обеспечивать низкую задержку, высокую надежность сети, быстрое предоставление услуг и другие. Например, такие сервисы, как автоматическое управление автомобилем, «тактильный Интернет» являются весьма чувствительными к задержкам, а сервисы промышленной автоматизации и автоматизации финансового планирования чувствительны к надежности сети. Только волоконно-оптические системы передачи смогут решить данные проблемы. Никакие другие современные виды связи не способны обеспечить требуемые постоянно растущие скорости передачи на сверхдальние расстояния.

В данной работе проведен анализ особенностей применения многоуровневых форматов модуляции в современных высокоскоростных волоконно-оптические системах передачи (ВОСП).

Особенности применения многоуровневых форматов модуляции в высокоскоростных ВОСП

Значительное увеличение пропускной способности ВОЛС за последние десять лет стало возможно, в том числе благодаря применению разновидностей фазовой модуляции PSK. Такие форматы как RZ-BPSK, дифференцированные форматы модуляции RZ-DBPSK, а также форматы более высокого уровня QPSK, DQPSK активно используются на практике в современных ВОСП. Кроме того, продолжаются исследования в рамках

устойчивости их к различным нелинейным эффектам с целью использования данных форматов в оптических сетях с плотным спектральным мультиплексированием DWDM [1,2].

Хотя модуляция RZ-DQPSK является весьма перспективной – имеет высокую спектральную эффективность, в то же время в сравнении с RZ-DPSK она является более сложной и, соответственно, требует больше затрат.

С другой стороны, модуляция RZ-DPSK благодаря своей простоте и низкой стоимости может оказаться весьма перспективной для многоволновых волоконно-оптических систем связи. Результаты исследований показывают, что DPSK модуляция по многим критериям оказывается лучше, чем форматы DQPSK и 8-DPSK, по причине высокой устойчивости к хроматической дисперсии (до определенного предела) и нелинейным эффектам, а также позволяет достичь более высокую скорость и дальность передачи [1]. Кроме того, RZ-DPSK модуляция имеет много преимуществ по сравнению с NRZ – имеет более высокую помехоустойчивость и устойчивость к нелинейным эффектам [3]. Формат модуляции с возвращением к нулю и подавление несущей частоты (CSRZ-DPSK) также хорошо подходит для скоростных дальних волоконно-оптических линий связи. CSRZ-DPSK является более устойчивым к фильтрации и хроматической дисперсии, т.к. имеет относительно узкий спектр [4]. Однако, последние работы показывают, что RZ-DPSK формат является более выгодным во многих других отношениях [5]. RZ-DPSK показывает высокую эффективность в случае устойчивости к хроматической дисперсии при увеличении свободной спектральной области (Free Spectral Range, FSR) интерферометра и при узкополосной фильтрации [6].

Для систем DWDM необходимо проводить анализ эффективности вида модуляции при воздействии как линейных, так и нелинейных эффектов. В работе [7] был проведен анализ показателей RZ-DPSK по сравнению с RZ-OOK в дисперсионно-управляемой (Dispersion-Managed, DM) системе DWDM при канальной скорости 10 Гбит/с. Согласно полученным результатам, более высокую эффективность в данном случае показывает модуляция RZ-DPSK.

В работе [8] представлены результаты экспериментального сравнения форматов OOK, DPSK и DQPSK при RZ и NRZ кодах в системе DWDM. Оптимальным выбором среди данных форматов при канальной скорости 40 Гбит/с оказалась также модуляция RZ-DPSK. Однако стоит отметить, что авторы рассмотрели только два DWDM-канала с шагом 50 ГГц, и они акцентировали внимание именно на фильтрации.

В [9] была оценена устойчивость к нелинейным эффектам модуляций ASK и DPSK в одноканальной и 4-х канальной DWDM системе с использованием различных типов волокон. Также исследовалась спектральная эффективность и устойчивость к нелинейным эффектам формата DBPSK в 5-ти канальной 160 Гб/с WDM системе с использованием Рамановских усилителей. Спектральная эффективность RZ-DPSK сравнивалась в системе OTDM-WDM (optical time domain multiplexing) с RZ-OOK, в результате был сделан вывод, что RZ-DPSK превосходит RZ-OOK по Q-фактору на 4 дБ для всех скоростей передачи [10].

В большинстве из рассмотренных работ авторы проводят исследования для нескольких WDM каналов, что не является достаточным для получения достоверной оценки воздействия нелинейных эффектов. Поскольку известно, что нелинейные

эффекты, в первую очередь, фазовая кросс-модуляция (ФКМ) и четырехволновое смешение (ЧВС) резко возрастают с увеличением числа каналов.

В настоящее время при исследовании параметров ВОСП стали активно применяться методы имитационного моделирования. Наибольшее распространение получила программная среда OptiSystem [11], позволяющая производить моделирование оптических трактов с различными видами модуляции, типами оптических волокон и усилителей (рис. 1).

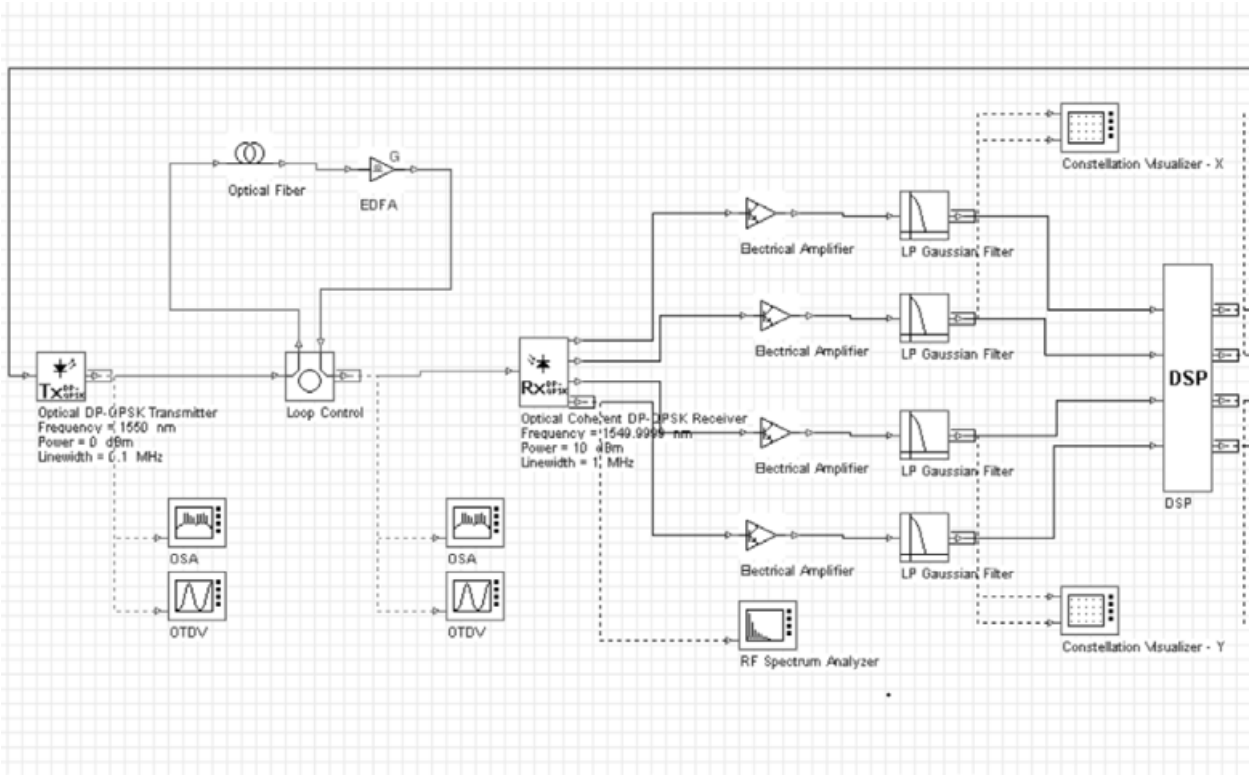


Рисунок 1 – Моделирование одноканальной волоконно-оптической системы 100 Гбит/с с модуляцией DP-QPSK

В работе [2] представлены результаты моделирования в среде OptiSystem 33 канальной (40 Гбит/с) дисперсионно-управляемой DWDM системы. Авторы исследовали устойчивость данной системы с модуляцией RZ-DPSK к нелинейным эффектам. Исследование показало, что, хотя RZ-DPSK алгоритм превосходит обычные OOK форматы модуляции, его производительность значительно ухудшается с ростом нелинейных эффектов, таких как ФКМ и ЧВС.

Моделирование волоконно-оптических систем связи также можно проводить в более известной среде MATLAB Simulink (рис. 2). Однако здесь построение моделей осложняется тем, что в составе Simulink нет готовых блоков для имитации работы ВОЛС. В составе официального расширения Communications System Toolbox содержатся в основном элементы для построения радиолиний связи.

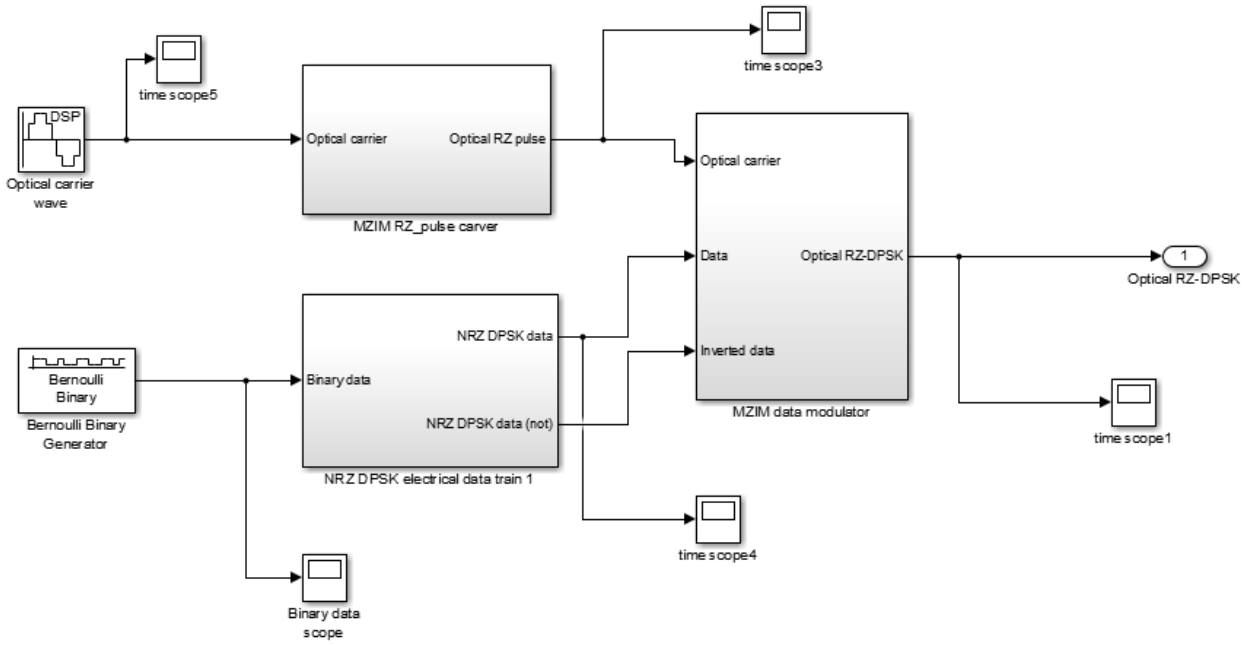


Рисунок 2 – Моделирование одноканальной волоконно-оптической системы с модуляцией RZ-DPSK в среде MATLAB Simulink

С другой стороны, система MATLAB Simulink является более гибкой. Она поддерживает самостоятельное создание новых блоков, что дает возможность построения нетиповых моделей.

Моделирование волоконно-оптических систем связи с форматами модуляции RZ-DBPSK и RZ-DQPSK показывает их хорошую устойчивость к хроматической дисперсии и нелинейным эффектам. Поэтому их целесообразно использовать для наращивания пропускной способности в современных DWDM системах. При канальной скорости 40 Гбит/с и организации 40 DWDM каналов, возможно использование рамановских усилителей и ROADM, что, в свою очередь, позволит организовать общую пропускную способность линии 1,6 Тбит/с протяженностью до 1000 км.

Увеличение пропускной способности в одном оптическом канале до 400 Гбит/с возможно лишь с помощью модуляции 16-QAM и поляризационного уплотнения. В настоящее время уже разработаны транспондеры, поддерживающие данный вид модуляции. С помощью мультиплексирования по длине волны 50 таких потоков, была организована линия связи с общей пропускной 20 Тбит/с.

Стоит отметить, что в настоящее время уже ведутся исследования в области организации волоконно-оптической связи с модуляцией 64QAM-OFDM с различными поднесущими. В [12] авторы исследовали различные варианты организации в одном канале пропускной способности 40 Гбит/с в когерентной ВОЛС. В частности, представлены результаты моделирования системы передачи с модуляцией 64QAM-OFDM, в которой модулированный сигнал передается в одномодовом волокне длиной более 100 км (SMF) на 16, 32, 64, 128, 256 и 512 поднесущих. Результаты моделирования показали, что с увеличением числа поднесущих увеличивается значение PAPR (отношение пиковой мощности к средней). Однако в то же время увеличивается величина BER, т.е. качество передачи ухудшается. Кроме того, с увеличением числа поднесущих возрастает вычислительная сложность по причине использования методов цифровой обработки

сигналов (ЦОС). Поэтому для достижения эффективной передачи необходимо определить оптимальное число поднесущих.

Заключение

В настоящее время с помощью программных сред моделирования активно исследуются волоконно-оптические сети связи с плотным спектральным мультиплексированием DWDM с модуляциями RZ-DPSK, RZ-QPSK и RZ-DQPSK и поляризационным уплотнением. В таком сочетании с использованием когерентного приема и методов цифровой обработки сигналов имеется возможность достижения общей пропускной способности линии примерно до 1.6 Тбит/с при канальной скорости 40 Гбит/с и до 8 Тбит/с при канальной скорости 100 Гбит/с. С целью дальнейшего повышения пропускной способности ВОСП необходимо исследовать возможность применения более сложных многоуровневых форматов модуляции 16QAM, 64QAM и др. В этом случае становится актуальным проведение исследований по вопросам устойчивости данных форматов модуляции к воздействию как линейных, так и нелинейных эффектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Faisal M., Rahman M. H*. Performance comparison of various PSK modulation schemes for ultra-high speed long-haul fiber-optic communication system. // Proc. IEEE Int. Conf. on Advanced Networks and Telecommunications, Bangalore, India – Dec. 16-19, 2012, p. 96-98.
2. *Arafat Rahman Khan M., Faruque T., M. Faisal*. Performance Limitations of 40-Gb/s RZ-DPSK DWDM Systems Due to Nonlinear Effects and Their Mitigation. // International Journal of Computer and Communication Engineering – September 2014, Vol. 3, №.5, p. 343-348.
3. *J. X. Cai, C. R. Davidson, D. G. Foursa, L. Liu, Y. Cai, B. Bakhshi, G. Mohs, W. W. Patterson, P. C. Corbett, A. J. Lucero, W. Anderson, H. Li, M. Nissov, A. N. Pilipetskii, and N. S. Bergano*. Experimental comparison of the RZ-DPSK and NRZ-DPSK modulation formats. // in Proc. OFC/NFOEC – March 5-9, 2005, vol. 4, Anaheim, CA, ,
4. *Z. Xu, K. Rottwitt, and P. Jeppesen*. Analysis of spectral efficiency and nonlinear tolerance of DPSK formats in 160-Gb/s Raman amplified systems. // IEEE Photon. Technol. Lett. - July 2005, №7, vol. 17, pp. 1552-1554.
5. *G. Lu, K. Xu, J. Wu, and J. Lin*. Performance evaluation of modulation formats in 40×40-Gb/s WDM repeaterless transmission systems. // Chinese Opt. Lett. – April 2006, vol. 4, №4, pp. 199-201.
6. *Y. K. Lize, X. Wu, M. Nazarathy, Y. Atzmon, L. Christen, S. Nuccio, M. Faucher, N. Godbout, and A. E. Willner*. Chromatic dispersion tolerance in optimized NRZ-, RZ- and CSRZ-DPSK demodulation. // Opt. Express – March 2008, vol. 16, №6, pp. 4228-4236.
7. *C. Xu, X. Liu, L. F. Mollenauer, and X. Wei*. Comparison of return to-zero differential phase-shift keying and on-off keying in long-haul dispersion managed transmission. // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2003, vol.15, no. 4, pp. 617-619.
8. *M. Daikoku, N. Yoshikane, and I. Morita*. Performance comparison of modulation formats for 40 Gbits/s DWDM transmission systems. // in Proc. OFC/NFOEC – March 6-11, 2005, Anaheim, CA.

9. *A. Klekamp, R. Dischler, and W. Idler*. DWDM and single channel fibre nonlinear thresholds for 43 Gb/s ASK and DPSK formats over various fiber types. // in Proc. OFC/NFOEC – March 5-10, 2006, Anaheim, CA, USA.
10. *F. M. Abbou, H. T. Chuah, C. C. Hiew, and A. Abid*. Comparisons of RZ-OOK and RZ-DPSK in dense OTDM-WDM systems using Q factor models. // J. Russian Laser Research – 2008, vol. 29, no. 2, pp. 133-141.
11. *OptiSystem*. User's Reference Optical Communication System Design Software. Vers. 12. K2E 7X1. // Optiwave, Ottawa, Ontario, Canada. 245 p. – Режим доступа: www.optiwave.com.
12. *Changxiang Li, Yufeng Shao, Zhifeng Wang, Junyi Zhou, Yue Zhou, Wenzhe Ma*. Optical 64QAM-OFDM Transmission Systems with Different Sub-Carriers. // Optics and Photonics Journal – 2016, 6, p. 196-200.

Д.В. Кусайкин, Р.И. Хурматов

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С УМЕНЬШЕННЫМИ ПОТЕРЯМИ НА МАКРОИЗГИБАХ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (УрТИСИ СибГУТИ), Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: потери на макроизгибе волокна, сети доступа, волокна нечувствительные к изгибу, оптическое волокно с фотонной запрещенной зоной, наноструктурированное оптическое волокно.

Проблема, связанная с увеличением потерь в линии вследствие возникновения макроизгибов оптических волокон известна уже давно. Важно отметить, что данная проблема помимо сетей доступа затрагивает и транспортные оптические сети. В связи с этим становится актуальным применение волокон класса G.657A на транспортных сетях. Для решения данной проблемы на рынке появилось множество типов нечувствительных к изгибу волокон. В данной статье рассмотрены различные подходы реализации оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах, изучены особенности и характеристики этих волокон, а также произведена их классификация.

D.V. Kusaykin, R.I. Khurmatov

CLASSIFICATION OF BEND-INSENSITIVE OPTICAL FIBERS

Ural Technical Institute of Communications and Computer Science of the federal state budgetary educational establishment of high education «Siberian State University of Telecommunications and Computer Science», Yekaterinburg, Russia

Keywords: fiber optic macro-bend loss, access network, bend-optimized fiber, photonic band-gap fiber, photonic crystal fiber.

The problem of increasing losses due to the emergence of macrocybe optical fibers have long been known. It is important to note that this problem is in addition to the access network affects transport optical network. Becomes relevant the use of fiber G.657A on transport networks. To solve this problem there are many types insensitive to fiber bending. This article describes various embodiments of optical fibers with reduced for macrobending losses were. Describes the features and characteristics of these fibers and gives their classification.

Введение

Требование уменьшения потерь на макроизгибах оптических волокон (ОВ) становится все более актуальным в связи с возрастающим объемом использования световодов на сетях «последней мили». Сегодня является широко распространённым метод построения оптических сетей доступа по архитектуре FTTH («волокно до квартиры») по технологии пассивных сетей PON с передачей в аналоговой форме критичных к искажениям сигналов кабельного телевидения на длине волны 1550 нм. Прокладка оптического волокна до частного дома (коттеджа) или квартиры абонента, а также размещение ОВ в муфтах, телекоммуникационных шкафах, кроссовом оборудовании и т.п. связано с увеличенным риском того, что ОВ в определенных местах может иметь значительный изгиб. Использование в данном случае стандартных одномодовых волокон серии G.652 нерационально по причине возникновения в них больших потерь на макроизгибах. Например, в сетях PON передаваемый на длине волны 1550 нм сигнал кабельного телевидения на одном изгибе волокна радиусом 10 мм может терять до 60% (примерно 4 дБ) своей мощности [1].

Для решения данной проблемы были разработаны волокна с уменьшенными потерями на изгибах с малыми радиусами. Международный союз электросвязи ITU-T в конце 2006 года разработал рекомендацию G.657, для стандартизации и определения такого класса ОВ. Данные ОВ получили название «волокна нечувствительные к изгибу» (от англ. Bend Insensitive Fibre, BIF). ОВ G.657 позволяют увеличить плотность размещения компонентов в кроссовом оборудовании, а также в случае использования усовершенствованной системы укладки волокон снизить массу и размер устанавливаемых распределительных шкафов примерно на 40 и 75% соответственно [3].

Важно отметить, что проблема возникновения значительных потерь на макроизгибах ОВ помимо сетей доступа затрагивает и транспортные оптические сети. По причине непрофессионального монтажа муфт или использования некачественного оптического кабеля нередко возникают перебои в работе линии связи в результате

возникновения дополнительных потерь в местах возникновения в муфтах макроизгибов ОВ (например, из-за колебаний температуры). В связи с этим становится актуальным применение ОВ класса G.657A на транспортных сетях.

Целью данной работы является рассмотрение различных подходов реализации оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах, изучение особенностей и характеристик этих волокон, а также проведение их классификации.

Оптические волокна с уменьшенными потерями на макроизгибах

Волокна категории G.657A идентичны по характеристикам ОВ класса G.652D, за исключением пониженных потерь на макроизгибе. Эти волокна подходят для использования в O-, E-, S-, C- и L- диапазонах (т.е., во всем рабочем диапазоне длин волн стандартных одномодовых волокон – от 1260 нм до 1625 нм). То есть ОВ категории G.657A могут использоваться для всех сетей, где определено применение волокна ITU-T G.652.D.

Из этого следует полная совместимость ОВ G.657A со стандартным одномодовым волокном с низким уровнем поглощения на длине волны 1383 нм, соответствующего классу ITU-T G.652.D.

Согласно рекомендации ITU-T волокна класса G.657B предназначены для сетей небольшой протяженности (менее 1 000 м), т.е. для сетей доступа. Эти волокна подходят для работы в O-, E-, S-, C- и L- диапазонах (т.е., во всем диапазоне длин волн от 1260 нм до 1625 нм). На волокна категории B не накладывается требование полного соответствия стандартными одномодовыми волокнами ITU-T G.652.D в плане значений коэффициента хроматической дисперсии и поляризационной модовой дисперсии. Волокна класса G.657B имеют примерно от 15 до 30 раз меньшие потери на макроизгибе по сравнению с традиционными волокнами стандарта G.652 [3].

В настоящее время существует множество типов оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах:

- оптическое волокно с уменьшенным диаметром сердцевины;
- оптическое волокно с уменьшенным показателем преломления оболочки (по отношению к значению показателя преломления стандартного одномодового ОВ);
- оптическое волокно с двухслойной оболочкой;
- оптическое волокно с воздушными полостями в оболочке;
- оптическое волокно с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки;
- наноструктурированное оптическое волокно;
- фотонно-кристаллическое оптическое волокно;
- оптическое волокно с фотонной запрещенной зоной.

Рассмотрим далее особенности каждого из представленных типов ОВ.

Оптическое волокно с уменьшенным диаметром сердцевины.

Значение диаметра сердцевины ОВ данного класса составляет от 6 до 8,5 мкм. По своим параметрам данное волокно соответствует классу B2 стандарта G.657. Практическая совместимость этих волокон со стандартными одномодовыми волокнами класса G.652 сильно затруднена вследствие высоких потерь на сварном соединении из-за значительной разницы диаметров сердцевин [1].

Существует также исполнение оптических волокон с диаметром сердцевины 8,6 мкм. По своим параметрам, оно соответствует классу A1 стандарта G.657. Эти волокна хорошо совместимы со стандартными одномодовыми волокнами [1].

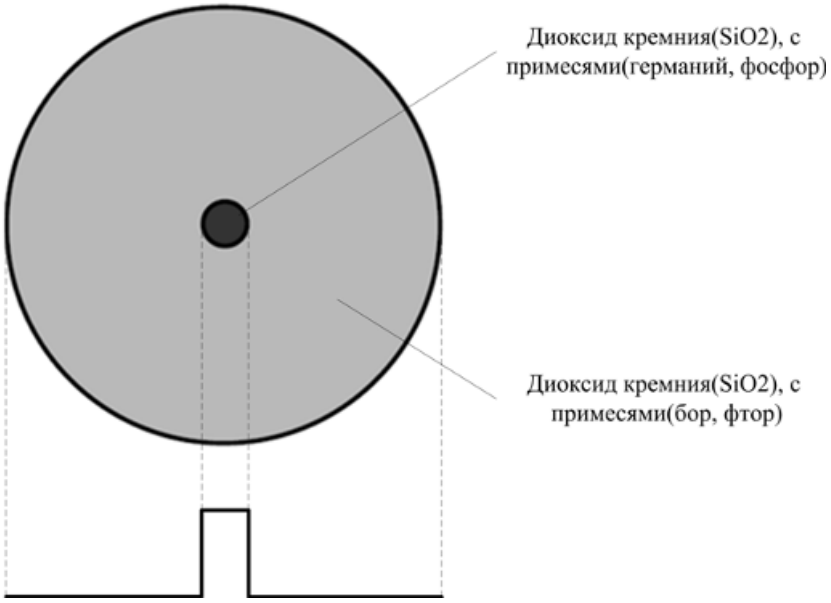


Рисунок 1 – Оптическое волокно с уменьшенным диаметром сердцевины

Оптическое волокно с уменьшенным показателем преломления оболочки.

Для изготовления такого класса волокон оболочка легируется фтором с целью получения в сравнении со стандартным ОВ более низкого показателя преломления. Конструкция оптического волокна позволяет использовать их в оптической системе в сочетании со стандартными одномодовыми волокнами. Недостаток данного типа волокон заключается в том, что уже при радиусе изгиба 15 мм наблюдаются значительные потери [4].

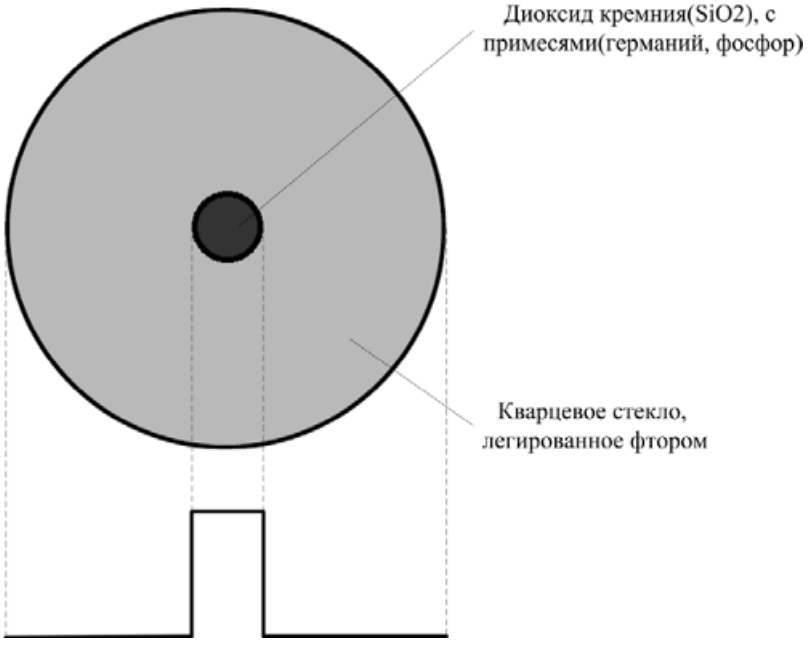


Рисунок 2 – Оптическое волокно с уменьшенным показателем преломления оболочки

Оптическое волокно с двухслойной оболочкой.

Также как у ранее рассмотренного типа ОВ уменьшение потерь на макроизгибе достигается путем уменьшения показателя преломления оболочки. Однако в данном случае легируется фтором только внутренняя часть оболочки вблизи сердцевины. В результате получается оптическое волокно с двухслойной оболочкой. Этот тип волокна также называют волокном W-профиля (поскольку график профиля показателя преломления напоминает букву W). Достоинством данного ОВ является то, что на двух длинах волн оно имеет нулевую дисперсию. Кроме того дисперсия имеет малое значение в достаточно широком диапазоне длин волн. Имея такие замечательные свойства, данные волокна могут использоваться для компенсации дисперсии в ВОЛС.

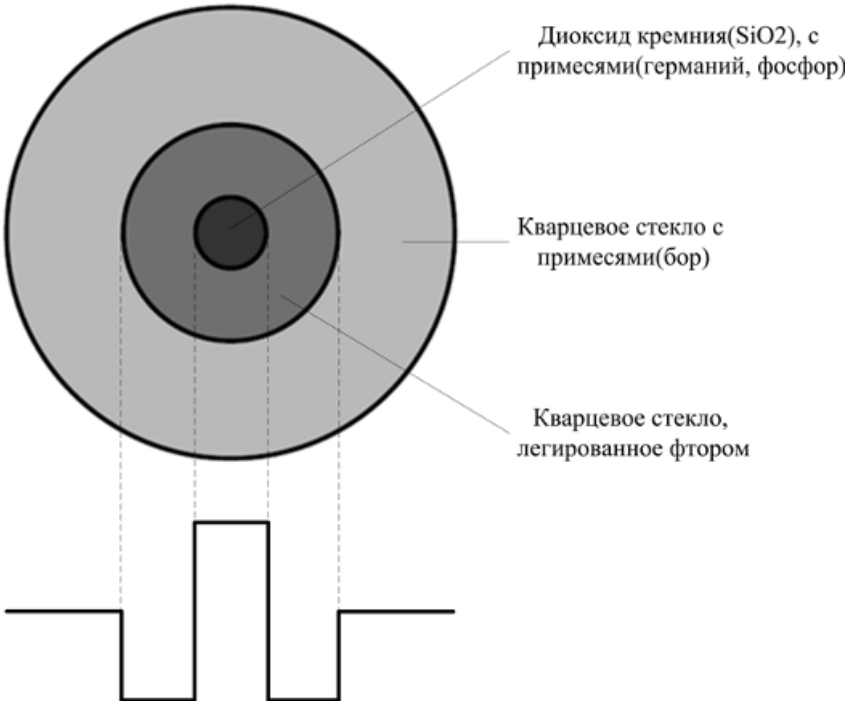


Рисунок 2 – Оптическое волокно с двухслойной оболочкой

Оптическое волокно с воздушными полостями в оболочке.

При изготовлении данных волокон вокруг сердцевины располагают воздушные полости в форме кольца. Граница раздела стекло/воздух обеспечивает в местах макроизгиба ОВ более благоприятный режим для эффекта полного внутреннего отражения, соответственно потерь энергии сигнала становится меньше. Наряду с оптическими волокнами с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки, волокна с воздушными полостями являются полностью совместимыми с волокнами стандарта G.652D [2].

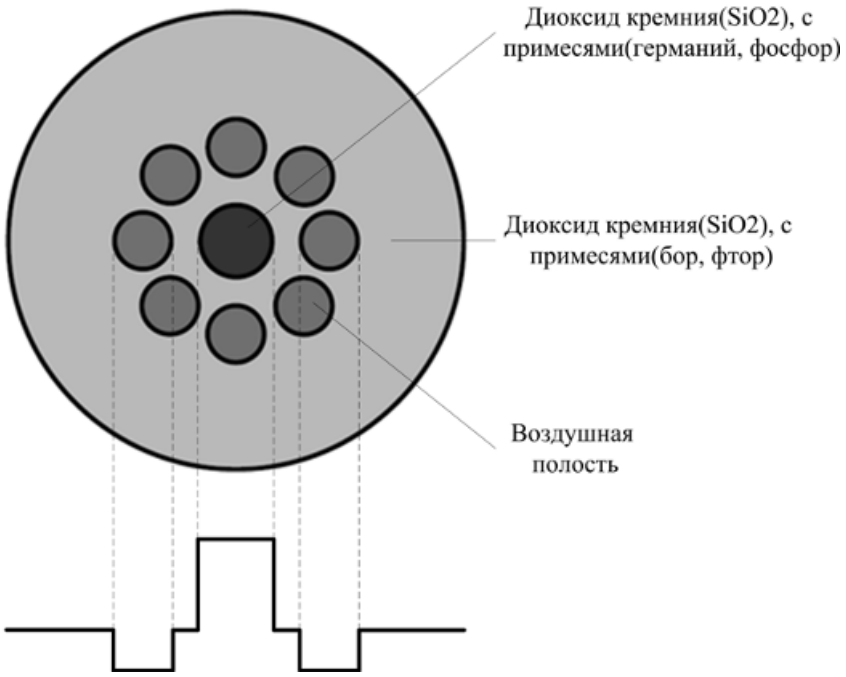


Рисунок 4 – Оптическое волокно с воздушными полостями в оболочке

Недостаток данных волокон заключается в том, что воздушные полости могут осложнить монтаж коннекторов: попадание пыли и грязи в полости приведет к ухудшению оптических характеристик разъемных соединений [2].

Оптическое волокно с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки.

Данный тип волокна соответствует классу B2 стандарта G.657 и является совместимостимым с волокнами стандарта G.652. Как видно из рисунка 5, при изготовлении данных ОВ кольцевая область оболочки дополнительно легируется присадками, понижающими показатель преломления [3].

Исследования показали, что с увеличением ширины кольца происходит уменьшение потерь на изгибе. Однако при значительном увеличении ширины кольца или количества колец увеличивается критическая длина волны. Данное обстоятельство может привести к несовместимости таких волокон со стандартными серии G.652 [3].

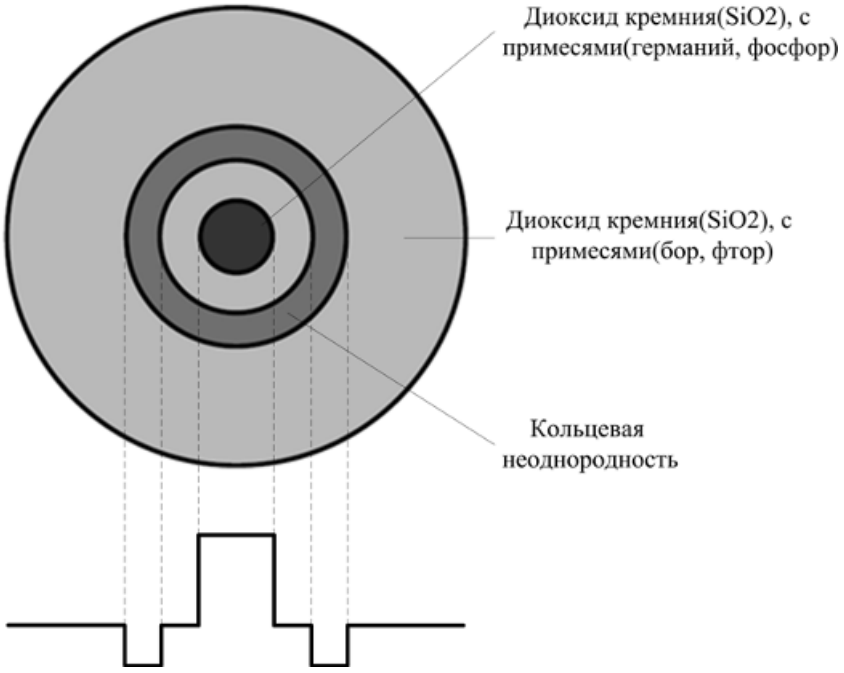


Рисунок 5 – Оптическое волокно с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки

Наноструктурированные волокна.

В структуру данного волокна входит сердцевина, легированная германием, и оболочка, содержащая наноструктурированноую область в форме кольца. В отличие от рассмотренных выше волокон с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки, имеющих кольцевую область шириной 1 мкм воздушных полостей, наноструктурированные волокна имеют воздушные полости диаметром менее 200 нм, которые при этом расположены хаотически [2].

Данные ОВ имеют ряд преимуществ по сравнению с другими рассмотренными видами волокон. Показатель преломления наноструктурированной стеклянной оболочки значительно отличается от кварцевого стекла с традиционными примесями стандартных ОВ. Для данных волокон зависимость значения показателя преломления наноструктурированной оболочки от длины волны имеет более ярко выраженный характер, в сравнении с ОВ с оболочкой легированной фтором. Таким образом, в волокнах наблюдается следующая закономерность: при увеличении длины волны оптического излучения значительно увеличивается отношение коэффициента преломления сердцевины к коэффициенту преломления оболочки. В результате на длине волны 1550 нм потери энергии сигнала в местах макроизгибов становятся минимальными в сравнении с другими типами ОВ.

Наноструктуры позволяют получать очень высокое значение отношения коэффициента преломления сердцевины к коэффициенту преломления оболочки. Такой же результат очень трудно получить с помощью обычной технологии легирования оболочки фтором.

Степень рассеяние света при прохождении наноструктурированной области также имеет сильную зависимость от длины волны. В коротковолновой области потери энергии сигнала вследствие рассеяния более высокие, чем в длинноволновой. Представленные

возможности могут быть использованы для разработки BIF-волокон нового поколения с лучшими параметрами.

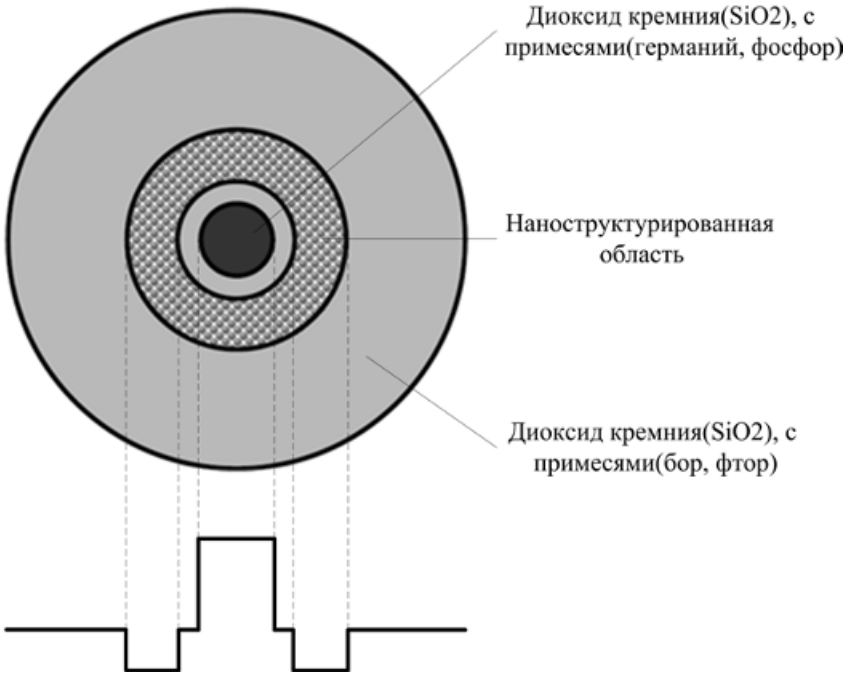


Рисунок 6 – Оптическое волокно с наноструктурированным кольцом

На рисунке 7 представлен график зависимости потерь на макроизгибе от радиуса изгиба для различных типов волокон. Измерение потерь проводилось при длине волны 1550 нм.

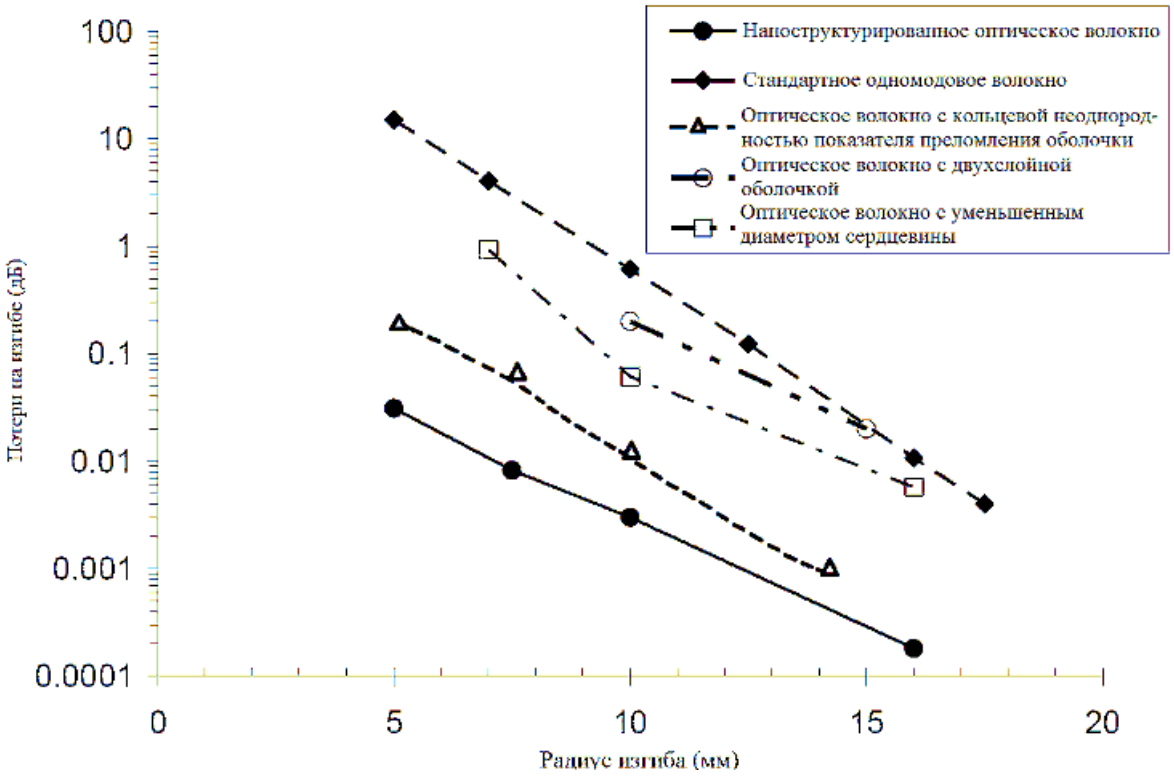


Рисунок 7 – График зависимости потерь на макроизгибе от радиуса изгиба для различных типов волокон [6]

Из рисунка видно, что наноструктурированное волокно имеет в 500 раз меньшие потери на микроизгибе, чем стандартное одномодовое волокно, в 100 раз меньшие потери, чем волокно с двойной оболочкой, и приблизительно в 10 раз меньшие потери, чем оптическое волокно с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки [6].

Фотонно-кристаллическое волокно (Photonic crystal fiber, PCF).

Как видно из рисунка 8, в фотонно-кристаллическом волокне нет традиционной сердцевины с более высоким показателем преломления; оптическая направляющая система образуется за счет наличия в структуре волокна нескольких десятков отверстий. Фотонно-кристаллическое волокно способно передавать оптическое излучение в одномодовом режиме в очень широком диапазоне длин волн – от видимой части спектра до инфракрасной области спектра. Изменяя размер и расположения воздушных отверстий, можно добиваться различных дисперсионных характеристик волокна [5].

Еще одной особенностью данного волокна является то, что оно может быть сформировано с использованием только одного материала – кварцевого стекла. Несмотря на отсутствие сердцевины, значение коэффициента затухания фотонно-кристаллических волокон находится на уровне значений стандартных одномодовых волокон SMF [5].

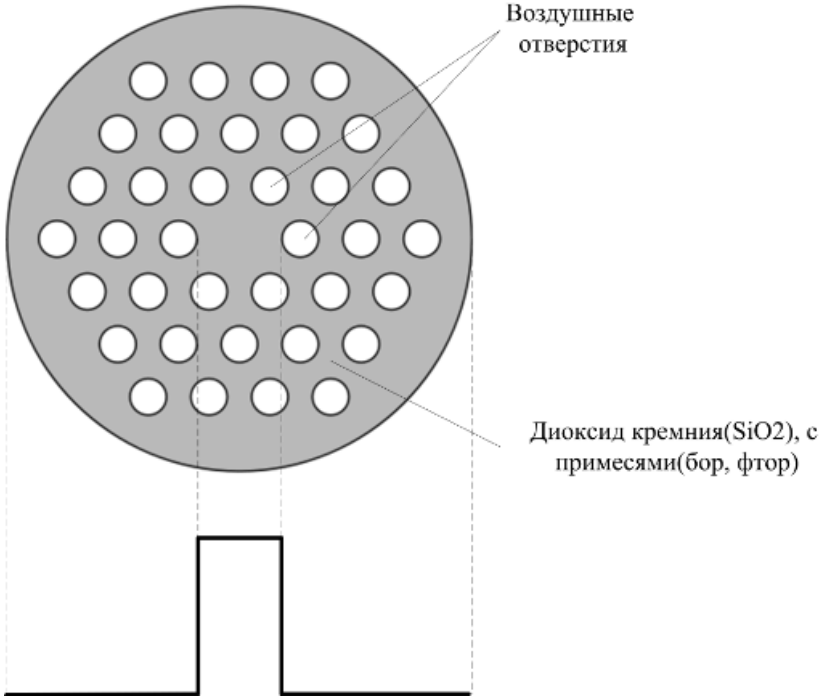


Рисунок 8 – Фотонно-кристаллические волокна

Оптическое волокно с фотонной запрещенной зоной (Photonic band-gap fiber, PBGF).

Оптическое волокно с фотонной запрещенной зоной по своему физическому принципу работы принципиально отличается от стандартных одномодовых волокон. Способность передавать свет в заданном направлении в данных волокнах основана не на эффекте полного внутреннего отражения, а на эффекте брэгговского отражения. Данные волокна практически нечувствительны к изгибу – даже при очень малом радиусе изгиба

возникающие потери незначительны. Например, при радиусе изгиба 5 мм стандартное ОВ имеет потери более 10 дБ, в то время как PBGF волокно – менее 0.01 дБ [7].

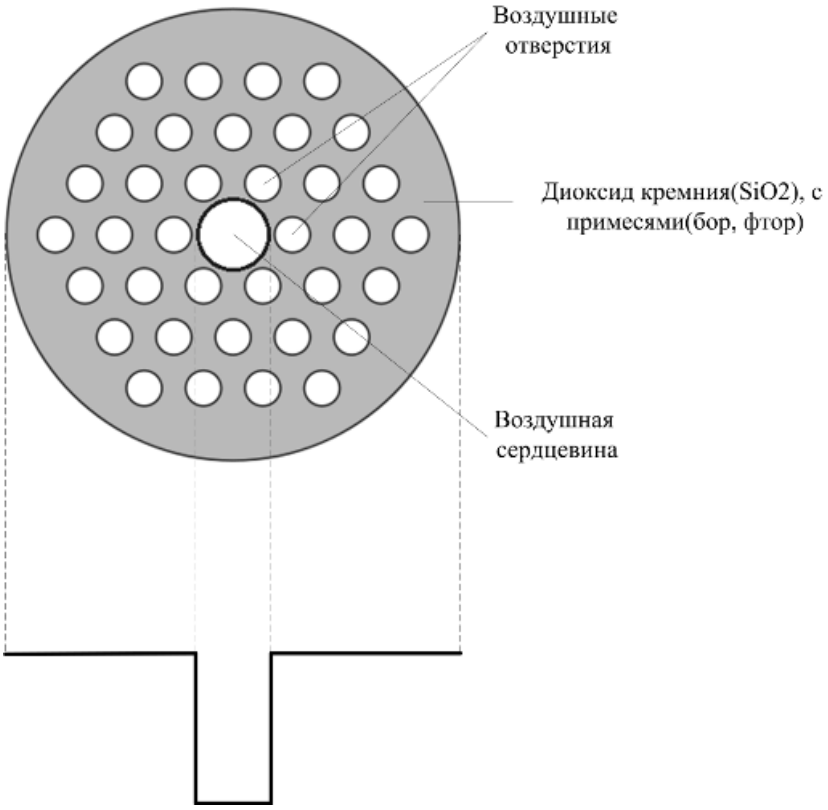


Рисунок 9 – Фотонное волокно с запретной зоной

На рис. 10 представлена классификация рассмотренных выше типов оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах.

Рисунок 10 – Классификация оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибе

Как видно из рисунка, большинство подходов реализации волокна с уменьшенными потерями на макроизгибах основано на изменении структуры оболочки. Важным критерием возможности использования данного класса волокон в современных оптических сетях является совместимость со стандартными ОВ серии G.652.

Заключение

Большинство подходов реализации волокна с уменьшенными потерями на макроизгибах основано на изменении структуры оболочки. Если расположить рассмотренные типы ОВ в порядке уменьшения возникающих потерь на макроизгибах, то получим следующий список: оптическое волокно с двухслойной оболочкой; оптическое волокно с уменьшенным показателем преломления оболочки; оптическое волокно с уменьшенным диаметром сердцевины; оптическое волокно с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки; оптическое волокно с воздушными полостями в оболочке; наноструктурированное оптическое волокно; фотонно-кристаллическое оптическое волокно; оптическое волокно с фотонной запрещенной зоной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Olaf Storaasli, Laurent Gasca.* Comparing bend-insensitive singlemode fibers // LIGHTWAVE. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.lightwaveonline.com/articles/print/volume-25/issue-7/technology/comparing-bend-insensitive-singlemode-fibers-54888007.html.
2. Corning bend insensitivy fiber – corning clearcurve single mode and multimode fibers – wow! // FOSCO. Fiber optics for sale co. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fiberoptics4sale.com/Home/Archived/Corning Bend Insensitive Fiber – Corning ClearCurve Single Mode and Multimode Fibers – Wow.
3. Usability of Low Bend Singlemode Fibers (İngilizce) // Fiber Optik Malzemeler-Isıtma-Korozyon-Raspberry Pi ‖ SAMM. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.samm.com/page/57/usability-of-low-bend-singlemode-fibers-ingilizce.html.
4. *Александр Петренко, Юрий Никитченко, Богдан Василенко, Александр Беда.* Волокно на карандаще или оптика стремится к дому // СЕТИ И БИЗНЕС. Телкоммуникации и сети, технологии и рынок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sib.com.ua/arhiv_2008/2008-5/opt/5_10_2008.htm.
5. Photonic crystal fibers // Photonics the power of light. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nktphotonics.com/technology/photonic-crystal-fibers/
6. *Ming-Jun Li.* Bend-insensitive optical fibers simplify fiber-to-the-home installations // SPIE. Connecting minds advancing light. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://spie.org/newsroom/0966-bend-insensitive-optical-fibers-simplify-fiber-to-the-home-installations#B4.
7. Optical Access Network Technology (Optical Media Technology) Toward Expansion of FTTH // NTT Technical Review. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr200805sf1.html.

М.А. Лукиенко, П.В. Лобзенко

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: автоматизированные системы управления и контроля, микропроцессорные и микроконтроллерные системы, удаленные доступ, удаленное управление.

Разработана микропроцессорная система контроля и управления техническими и технологическими устройствами офисных, специальных, складских и жилых помещений. Система отличается простой компоновкой, возможностью удаленного администрирования и управления, а также относится к минимальному ценовому диапазону затрат на изготовление и сопровождение.

M.A. Lukienko, P.V. Lobzenko

AN INTERACTIVE TUTORIAL ON THE SUBJECT "TECHNOLOGY OF PROGRAMMING"

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Key words: automated systems of management and control, microprocessor and microcontroller system, remote access, remote control.

Developed a microprocessor system for control and management of technical and technological devices of office, warehouse and residential premises. The system features a simple layout, the possibility of remote administration and management, and also refers to the minimum price range the cost of manufacture and maintenance.

В настоящее время довольно актуальной является тема дистанционного (удаленного) управления приборами различного назначения. Это реализуется в целом ряде известных и активно разрабатываемых в настоящее время проектов таких, как «Умный дом», различные системы охранной сигнализации и пожаротушения, а также универсальные системы управления бытовыми приборами и различного рода производственно-технологическим оборудованием. Особенно актуальными становятся такие разработки для оборудования, находящегося в трудно доступных местах, например, в подземных или территориально отдаленных помещениях. Традиционно, в такого рода проектах используются возможности удаленного контроля и управления различными устройствами через всемирную сеть Интернет.

Однако, есть ряд ограничений уже существующих разработок. Основные из них это, пожалуй, использование в качестве центрального органа управления стационарных компьютеров или ноутбуков, а также системно разрозненных независимых устройств контроля таких, как IP камеры, различные удаленно управляемые контрольно-исполнительные устройства типа IP электро-вентилей, сервоприводов и т.п..

В первом случае используется универсальная многофункциональная и дорогостоящая компьютерная техника в роли узкоспециализированных контроллеров, что неизбежно ведет к удорожанию проекта.

Во втором случае, когда контроль и управление осуществляется используя простой набор независимых устройств, которые не подчинены единому управляющему центру, приходится столкнуться с трудностями систематизации поступающей информации, а также с отсутствием удобств единого интерфейса пользователя, что значительно снижает потребительскую привлекательность таких разработок.

Разработанная система управления относится к микропроцессорным системам контроля состояния периферийных устройств различного назначения. В настоящее время имеется множество вариантов классификации таких систем [1]. Системы, основанные на микроконтроллерном управлении с возможностью удаленного доступа, относятся к централизованным системам. В этом случае имеется один микроконтроллер, который

осуществляет контроль и управление всем периферийным оборудованием, называемым еще «нагрузкой». В зависимости от способа соединения контроллера с нагрузкой различают проводные и беспроводные системы. Разрабатываемая система является проводной, т.к. нагрузка присоединяется к контроллеру посредством витой пары. Спроектированная система микроконтроллерного управления нагрузкой относится к автоматизированным системам управления зданий (АСУЗ) [2]. Тематика дистанционного контроля и управления системами жизнеобеспечения зданий и сооружений, как упоминалось выше, является актуальной по многим причинам. Основные из них связаны с предупреждением различного рода аварий, а также с возможностью управления оборудованием помещений с затрудненным доступом или территориально находящихся на значительном удалении.

В разрабатываемую систему входят блок и устройства предназначенные для сопряжения микроконтроллера с нагрузкой, а также для обеспечения к нему удаленного доступа через сеть Интернет. На рисунке 1 представлена структурная схема системы.

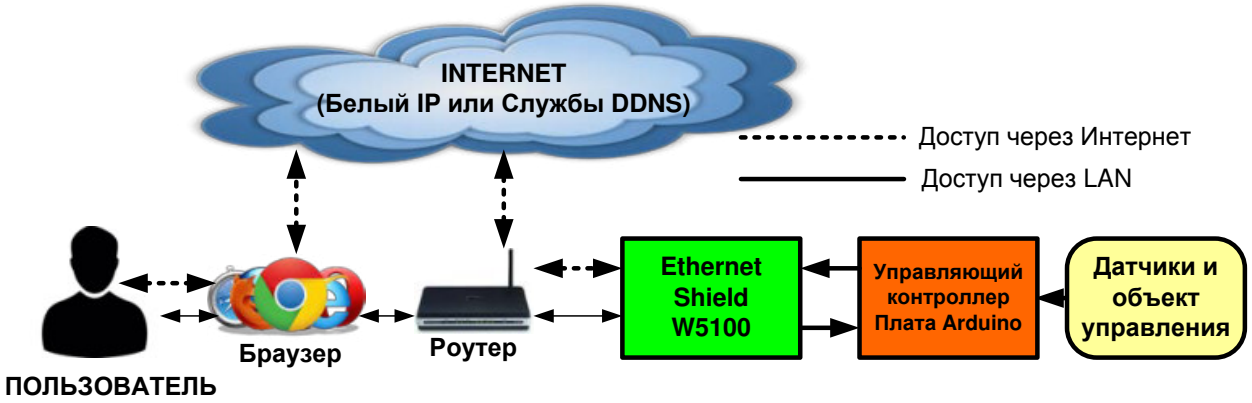


Рисунок 1 - Структурная схема разрабатываемой системы

Согласно схеме устройство контроля и управления принимает команды от пользователя, обрабатывает их и отправляет данные, которые поступают с датчиков, напрямую взаимодействует с объектом управления.

В качестве устройства контроля и управления используется микроконтроллерная платформа Arduino – Mega [3]. В настоящее время это одна из наиболее часто используемых платформ, позволяющая создавать микроконтроллерные системы различного назначения. Основными ее преимуществами являются:

- использование мощных современных процессоров фирмы Atmel;
- простая и хорошо сбалансированная плата с обвязкой, включающей линейный стабилизатор напряжения, кварцевый резонатор и аналогово-цифровой преобразователь;
- современная, свободно распространяемая кроссплатформенная среда программирования (IDE) на базе объектно-ориентированных языков Java и C++;
- доступность огромного количества (сотни различных вариантов) дополнительных плат расширения для оптимизации и увеличения функциональности разрабатываемых систем и устройств.

Модуль сопряжения устройства с сетью служит для связи разрабатываемого устройства с сетью Ethernet, а также для управления и получения команд от пользователя

с последующей передачей устройству управления. В спроектированной системе модуль сопряжения реализован на сетевой плате Shield W5100.

Модем, снабженный соответствующим интерфейсом, обеспечивает сопряжение устройства с сетью Интернет.

Разработанная система использует различные датчики. В настоящее время реализованы датчики температуры и влажности.

В системе предусмотрен блок подключения высокомощной нагрузки через модуль исполнительных реле, а также различных вариантов Web- камер.

Состав системы контроля и управления представлен на рисунке 2.

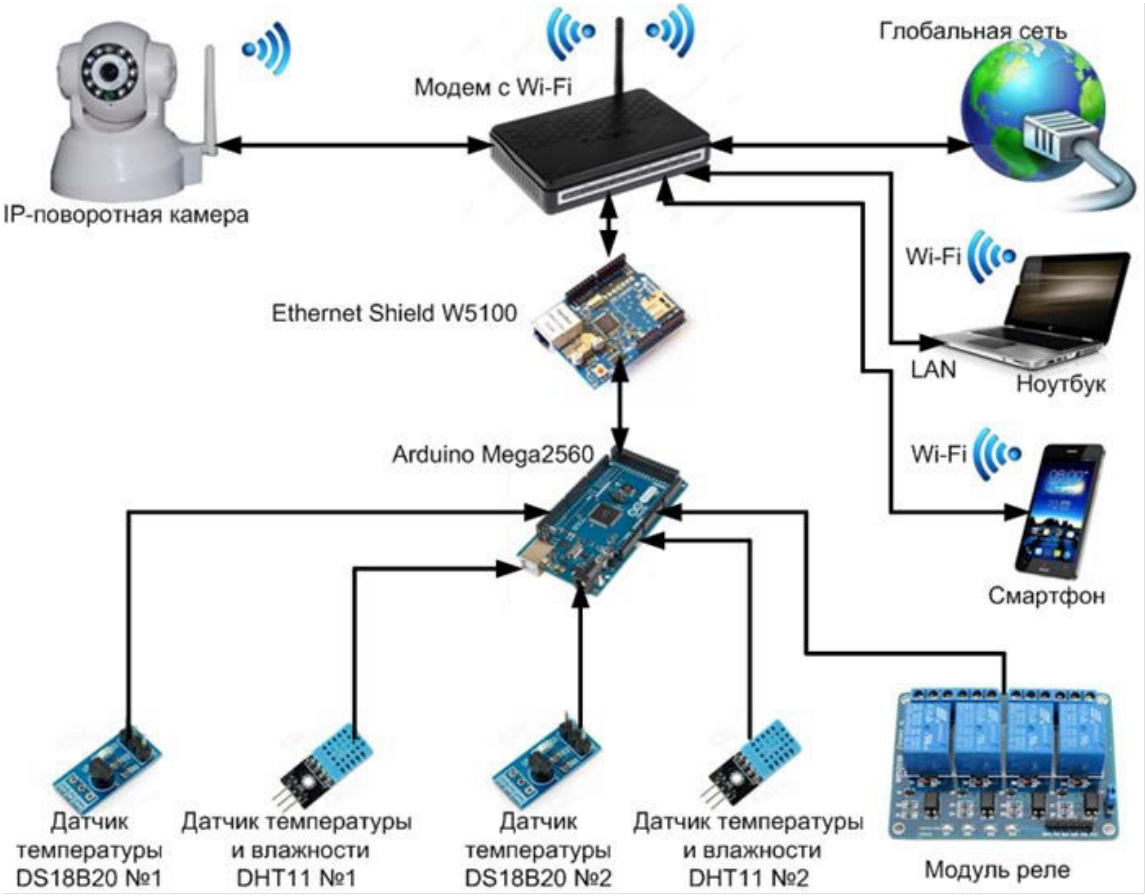


Рисунок 2 – Состав оборудования микроконтроллерной системы контроля и управления нагрузкой

Внешний вид опытного образца системы представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Общий вид опытного образца микроконтроллерной системы

Как видно, система реализована в виде компактного отдельного устройства к которому присоединяются различные датчики внешней информации и исполнительные элементы – сервоприводы различных устройств.

Удаленное управление показанным устройством может осуществляться с помощью ПК или различных мобильных устройств.

Главное меню приложения клиентской части для смартфона ли планшета показано на рисунке 4.

Рисунок 4 – Вид главного меню приложения и вкладок контроля параметров

Здесь представлены главная страничка приложения и различные вкладки позволяющие получать данные о текущем состоянии сооружений и технических систем, а также осуществлять управление ими, задавая диапазон контролируемых параметров или отправляя команды на соответствующие реле, соединенные с сервоприводами исполнительных устройств.

Основными достоинствами разработки являются:

– Система контроля и управления оборудованием является микроконтроллерной системой, что значительно снижает ее себестоимость (не превышает нескольких тысяч рублей).

– Система обеспечивает широкий выбор устройств для установки клиентской части (ПК, ноутбук, планшет, смартфон, телевизор).
– Система снабжена удобным пользовательским интерфейсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карвинен Теро, Карвинен Киммо, Валтокаре Вилле* Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino Rasperry Pi: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2015.-432с.
2. *Шахраманьян М.А., Качанов С.А.* Автоматизированные системы мониторинга и управления безопасностью и жизнеобеспечением зданий и сооружений. Эл. // Каталог "Пожарная безопасность"-2004, с.306-310.
3. *Омельченко Е.Я., Танич В.О., Маклаков А.С., Карякика Е.А.* Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino. Эл. // Электротехнические системы и комплексы. №21. 2013, с.28-32.

В.Л. Львов, Е.В. Игначкова, К.В. Львов

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ ЖИВУЧЕСТИ СЕТИ СВЯЗИ ПО УЗЛОВЫМ СЕЧЕНИЯМ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: граф сети, показатель живучести, узловое сечение, ранг узлового сечения, матрица сечений.

В статье предложена методика оценки структурной живучести больших сетей связи, с помощью алгоритма перечисления элементарных узловых сечений. При разработке алгоритма используется модель сети связи в виде связного графа.

V.L. Lvov, E.V. Ignachkova, K.V. Lvov

AMPLITUDE SUPPRESSION OF FREQUENCY-MODULATED NOISE IN THE HF-RANGE

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: network graph, survivability index, nodal section, nodal section rank, matrix of sections.

The paper proposes the method of evaluation the structural survivability of large communication networks, using the algorithm of enumeration of elementary nodal sections. The algorithm is developed using a communication network model in the form of a connected graph.

Понятие живучести сложной системы условно подразделяют на структурную и функциональную составляющие [1]. Исследование структурной составляющей живучести в основном сводится к выявлению уязвимых мест в топологии сети и определению степени их влияния на целостность системы и способность ее функционирования. При исследовании моделируемых графами сетей связи одна из основных задач – определение количественных значений показателей живучести (ПЖ) сети. При структурном анализе и синтезе сетей ПЖ выделяются в отдельную группу показателей. Вызвано это тем, что, в отличие от многих других показателей, они могут быть использованы при определении качества функционирования систем с сетевой структурой [2].

В [3] показана возможность исследования сети с использованием такого ПЖ, как минимальные узловые сечения (УС). Однако решение задачи перечисления УС в крупномасштабных сетях сопряжено с рядом трудностей, обусловленных в основном известной проблемой перебора.

В данной статье предлагается алгоритм перечисления элементарных УС, используемый при структурном синтезе для оценки ПЖ крупномасштабных сетей связи.

Понятие элементарного УС введено по аналогии с понятием элементарного реберного сечения [4]. В этой связи будем понимать под УС совокупность узлов сети, удаление которых делает оставшуюся сеть несвязной; под элементарным УС – УС, собственное подмножество узлов которого не является сечением.

В качестве модели структуры сети используем граф $\Gamma (A, B)$, множество вершин $A = a_1, a_2, \ldots, a_n$ которого сопоставляются с узлами сети, а множество ребер $B = b_1, b_2, \ldots, b_m$ – с линиями связи[5]. Для обоснования алгоритма введем необходимые определения и утверждения.

Операция стягивания вершин графа – исключение ребра между заданными вершинами графа a_i и a_j и превращение этих вершин в одну объединенную вершину $a_{i,j}$ (ОВ). В общем случае число стягиваемых вершин может быть больше двух.

Ранг (*l*) *объединенной вершины* – количество стянутых в ней вершин.

Исходное УС (ИУС) *графовой модели сети* – набор вершин, непосредственно связанных с отдельной или объединенной вершиной.

Ранг (k) УС – количество вершин, входящих в это сечение.

Для определения множества всех УС необходимо перечислить все исходные сечения при объединенных вершинах l-го ранга ($l = 1, 2, \ldots, l_{max}$). Набор элементарных УС может быть получен путем изъятия повторных и избыточных сечений из набора всех исходных УС. Число l_{max} может быть определено из условия

$$l \le n - (k+l). \quad (1)$$

Из неравенства (1) получим $l_{max} = (n- k)/2$. Из (1) можно также записать условие отсечки повторов сечений

$$k \le n-2l. \quad (2)$$

Для перечисления всех ИС в качестве начальных могут быть использованы УС, отделяющие каждый из n или n-1 узлов сети. Во втором случае n-е УС может быть получено объединением $l_1 = n - (n_и + 1)$ вершин. Здесь $n_и$ – количество инцидентных n-й вершине узлов. При этом условие (2) применимо, если $l_1 \le l_{max}$, т.е. когда $n_{и\,max} \ge (n-1)/2$.

Набор вершин, связанных цепью, будем называть *объединенной подгруппой вершин.*

Усеченной объединенной вершиной (УОВ) будем называть вершину, с которой может быть стянут элемент (несколько элементов) из исходного УС. В результате ранг ИУС понижается на число стянутых с объединенной вершиной элементов. Ранг УОВ обозначим через $l_у$. Исходное УС при УОВ – избыточно. Узловое сечение, принадлежащее избыточному сечению, будем называть исключающим (ИУС).

Увеличение $l_у$ приводит к получению ИУС. Справедливость этого утверждения обусловлена наличием особых элементов в исходном УС. Расширение УОВ за счет ее стягивания с неособыми элементами сечения ведет к образованию новых избыточных исходных УС, поскольку в состав сечений войдут особые элементы. Расширение же в этом случае приведет к получению ИУС. При этом, если особый элемент один, то ИУС может быть получено при увеличении ранга УОВ на единицу.

Для записи алгоритма перечисления элементарных УС будем использовать следующие понятия и обозначения.

Матрица смежности C_1, полученная в результате объединения отдельных вершин в общие вершины ранга l, является l-й *рабочей матрицей* (РМ). РМ C_1 будем называть исходной (ИРМ). Под *матрицей сечений* (МС) будем понимать совокупность всех РМ.

Используем вспомогательные коэффициенты D, F для сокращения числа шагов алгоритма путем обращения к одному и тому же фрагменту алгоритма на разных стадиях решения задачи. Алгоритм перечисления элементарных УС на сети связи представлен на рисунке 1 в виде блок-схемы.

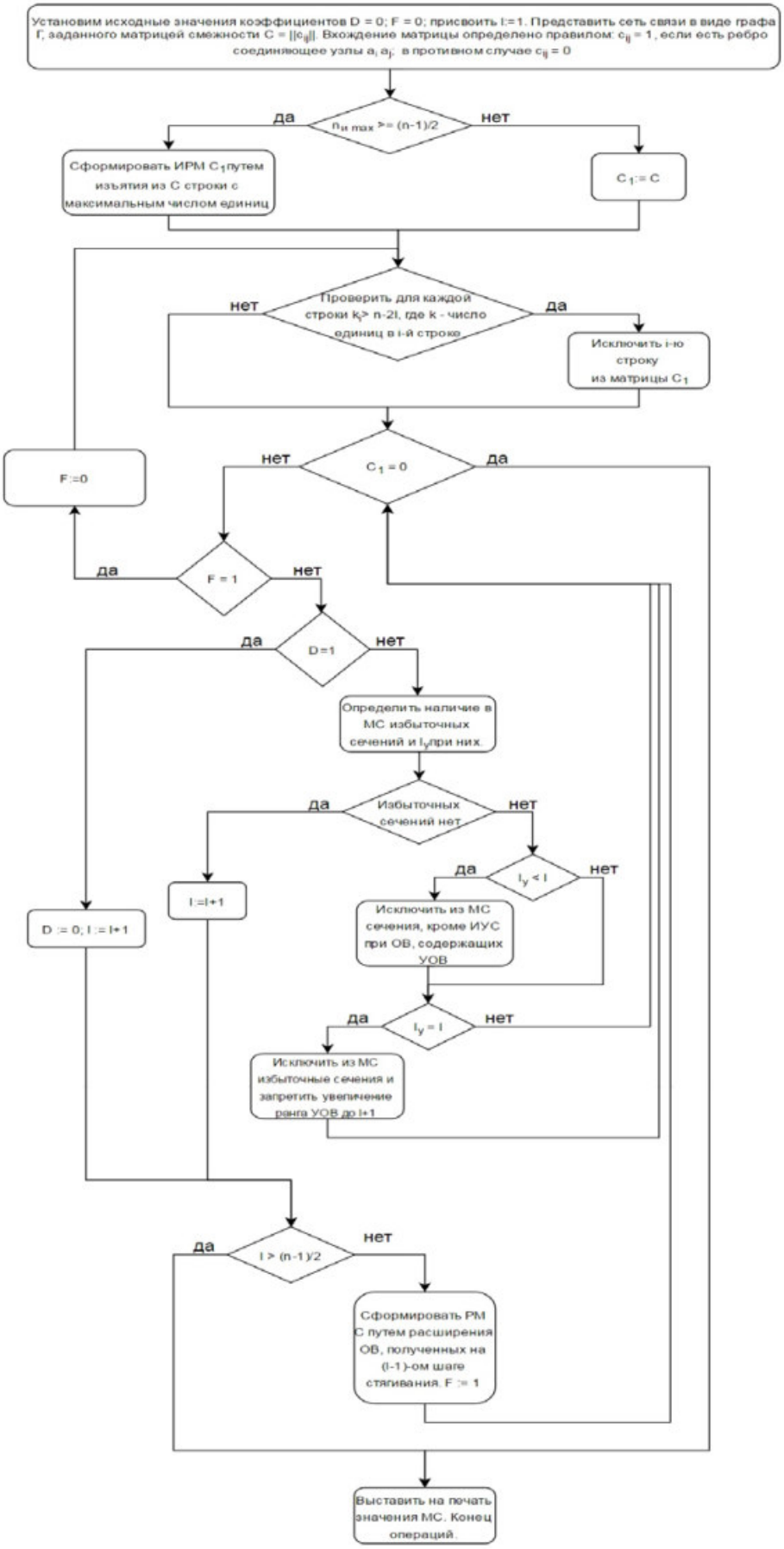


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма

Анализируя результаты расчетов узловых сечений сети, появляется возможность выбирать оптимальную структуру сети, тем самым повышая их структурную живучесть.

Таким образом, представленный алгоритм для оценки меры живучести сетей большой размерности обеспечивают экономию машинного времени и являются неотъемлемой частью алгоритмов оптимизации коммуникационных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стекольников Ю.И.* Живучесть систем. – СПб.: Политехника, 2002. – 155 с.
2. *Фрэнк Г., Фриш И.* Сети, связь и потоки: Пер. с англ. Под ред. Поспелова Д.А. – М.: Связь, 1978. – 448 с.
3. *Райншке К., Ушаков И.А.* Оценка надежности системы с использованием графов. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
4. *Апраксин Ю.К.* О перечислении элементарных сечений в сети связи ЭВМ //Автоматика и вычислительная техника. – 1981.- №1 с.98-106.
5. *Карпачев В.Е., Львов В.Л.* Алгоритм перечисления элементарных узлов сечений для оценки структурной живучести сети связи// Электросвязь. - 1991. - №12 с. 43-44.

А.А. Манин, Н.В. Болдырихин, *С.В. Коробенко, И.А. Сосновский

МИНИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ СОТРУДНИКОВ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
*Ростовский-на-Дону колледж радиоэлектроники, информационных и промышленных технологий

В статье рассматривается подход к управлению содержанием подготовки специалистов связи, позволяющий повысить качество функционирования комплекса оборудования связи за счет снижения технологического риска, связанного с уровнем подготовленности эксплуатирующего персонала.

Ключевые слова: сложный технический комплекс связи, технологический риск, подготовленность сотрудника, план управления тренировкой, управление параметрами потока информации.

A.A. Manin, N.V. Boldyrikhin, * S.V. Korobenko, I.A. Sosnovsky

MINIMIZATION OF TECHNOLOGICAL RISK IN OPERATION OF COMMUNICATION COMPLEXES BASED ON DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM OF CONTROL AND MANAGEMENT OF PREPARATION OF EMPLOYEES

North-Caucasian Branch of the Order of the Red Banner of Labor of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
"Moscow Technical University of Communications and Informatics"
* Rostov-on-Don College of Radioelectronics, Information and Industrial Technologies

The article deals with the approach to managing the content of the training of communication specialists, which makes it possible to improve the quality of the functioning of the communication equipment complex by reducing the technological risk associated with the level of preparedness of operating personnel.

Key words: complex technical communication complex, technological risk, employee preparedness, training management plan, management of information flow parameters.

Введение

В современной обстановке как компании, ведущие деятельность в области предоставления услуг связи, так и кампании, обладающие достаточно масштабными корпоративными сетями, могут эффективно работать и развиваться только при наличии в их составе сотрудников, обладающих достаточным уровнем подготовки. Любая такая компания представляет собой совокупность оборудования и линий связи, образующих сложный технический комплекс связи (СТКС), управление которым производится сотрудниками компании. Недостаточный уровень подготовленности сотрудников, управляющих СТКС, является одной из наиболее вероятных причин возникновения как аварий и происшествий на оборудовании, так и снижения доходов компании от нерациональных действий по настройке и эксплуатации оборудования.

Таким образом, эксплуатация СТКС, как правило, сопряжена с определённой долей технологического риска (ТР), возникающего в случае нарушения сотрудниками компании установленной технологии проведения работ. При таком подходе минимизировать риск – значит постоянно поддерживать персонал в достаточной степени готовности к исполнению функциональных обязанностей.

Разработка выражения для оценки технологического риска

Обычно, для вычисления значения риска применяют вероятностные показатели или суммарное значение ущерба за определённый период времени. Однако такой подход к оценке риска основан на вычислении частоты ошибочных действий сотрудников СТКС при обработке статистического материала, полученного за группу операторов, что не позволяет оценить значение риска в текущий момент времени, связанного с работой конкретного сотрудника компании.

Также следует отменить, что такой подход к определению величины риска не позволяет показать причины возникновения ошибочных действий. В связи с чем представляется актуальной разработка выражения для оценки ТР, учитывающего текущий

уровень подготовленности сотрудника, а также синтеза алгоритмического обеспечения создания информационной системы управления подготовки на основе выведенного показателя.

В общем случае деятельность сотрудников СТКС может быть описана совокупностью задач функциональной деятельности (ЗФД), состоящей из N задач. Процесс изменения подготовленности сотрудника к выполнению каждой v-ой $v=\overline{1,N}$ ЗФД необходимо рассматривать с учётом интервалов времени приобретения (восстановления) умений и навыков и их утраты (рисунок 1) [2,3].

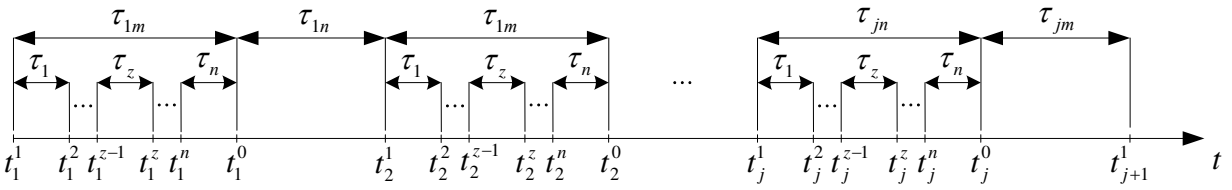


Рисунок 1 – Временные интервалы приобретения и утраты навыков

Здесь: $t_1^1, t_2^1, .., t_j^1$, $t_1^2, t_2^2, .., t_j^2$, $t_1^{z-1}, t_2^{z-1}, .., t_j^{z-1}$, $t_1^z, t_2^z, .., t_j^z$ $t_1^n, t_2^n, .., t_j^n$ – моменты времени начала проведения подготовки по 1, 2, …, z-1, z, …, n – ой задаче, соответственно, на различных циклах проведения подготовки $j=\overline{1,n_j}$,

где n_j – количество рассматриваемых циклов подготовки;

$t_1^0, t_2^0, .., t_j^0$ – моменты времени окончания подготовки;

$\tau_{1m}, \tau_{2m}, ..., \tau_{jm}$ и $\tau_{1n}, ..., \tau_{jn}$ – продолжительности проведения подготовки и перерыва между ними, соответственно.

Содержание каждой подготовки сотрудника однозначно определяется П планом управления, составленным для её проведения:

$$\Pi = \{u_v(t)\},$$

где: $u_v(t)$ – управляющая функция, удовлетворяющая следующим ограничениям:

$$u_v(t) \in \Gamma = \{0,1\} \ \forall \ t \in \tau_{jm} \ , \tag{1}$$

$$u_v(t) = 0 \ \forall \ t \notin \tau_{jm} \ , \tag{2}$$

$$\int_{t_j^1}^{t_j^0} u_v(t)dt \Big|_{u_v=1} = \tau_{jm} \ , \tag{3}$$

$$\sum_{v=1}^{N} u_v(t) = 1 \ \forall \ t \in \tau_{jm} \ , \tag{4}$$

$$\sum_{v=1}^{N} \int_{t_j^1}^{t_j^0} u_v(t)dt = \tau_{jm} \ , \tag{5}$$

$$n\Big|_{u_v=1} < N \ . \tag{6}$$

Пример плана управления тренировкой для случая $N = 4$ и $n = 3$ представлен на рисунке 2.

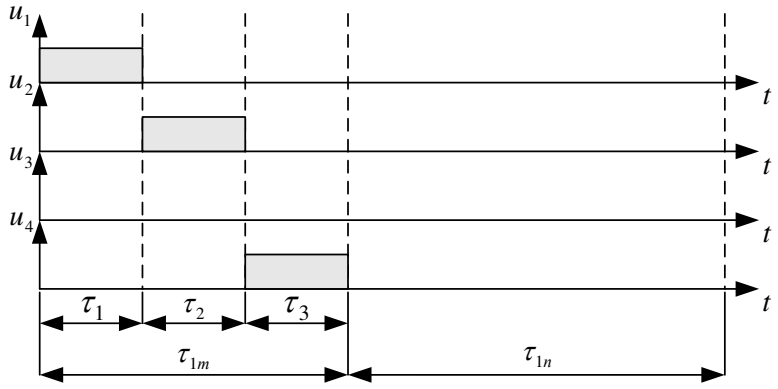


Рисунок 2 – Пример плана управления тренировкой

Таким образом, если $u_v(t) = 1$, задача рассматривается при проведении подготовки, если $u_v(t) = 0$, то нет (в рамках приведённого примера $u_1(t) = 1,\ u_2(t) = 1,\ u_3(t) = 0,\ u_4(t) = 1$).

Применительно к одной ЗФД предлагаемый показатель оценки ТР имеет вид:

$$R_v\left[t, J_v\left(t, u_v(t)\right)\right] = C_v^* \cdot J^* - \frac{C_v^*}{t - t_0} \int_{t_0}^{t} J_v\left(t, u_v(t)\right)\, dt, \qquad (7)$$

где: J^* – максимальное значение оценки подготовленности оператора;

$J_v\left(t, u_v(t)\right)$ – текущее значение оценки подготовленности сотрудника к выполнению v-ой ЗФД как функция от времени и реализуемого в системе подготовки управления $u_v(t)$;

t_0, t – начальный и текущий моменты времени;

C_v^* – максимальная оценка предполагаемого ущерба, возможного в результате неправильного выполнения оператором v-ой ЗФД.

В отличие от размерности показателя риска в обобщенном виде $(у.е. \cdot год)$ размерность предложенного показателя выражается в условных единицах стоимости (*у.е.*), аналогичная структура показателя была рассмотрена в [1]. Предлагаемый показатель позволяет получить прогнозируемое значение риска в произвольный момент времени с учётом уровня подготовленности сотрудника, а также минимизировать риск за счёт выбора оптимального плана управления подготовкой.

Общее значение ТР представляет собой сумму рисков по всем задачам:

$$R_\Sigma(J_v(t, u_v(t)), t) = \sum_{v=1}^{N} R_v\left[t, J_v\left(t, u_v(t)\right)\right]. \qquad (8)$$

Постановка задачи

С учётом ограничений (1-6) и (8) сформулируем задачу.

Полагая известными множество ЗФД, выполняемых оператором – $v = (\overline{1, N})$, продолжительность перерыва в тренировках τ_{jn} и их продолжительность τ_{jm}, а также

максимальные стоимостные значения ущербов C_v^*, возможных при неправильном выполнении *v*–й ЗФД, необходимо синтезировать алгоритмическое обеспечение создания информационной системы управления подготовки, позволяющее минимизировать значение суммарного технологического риска R_Σ эксплуатации комплекса связи за рассматриваемый период *T* при ограничениях (1-6).

Таким образом, критерий качества имеет вид:

$$R_\Sigma(J_v(t,u_v(t)),t) \xrightarrow[\Pi]{} \min . \quad (9)$$

Модель динамики подготовленности специалиста

Рассмотрим более подробно функцию $J_v(t,u_v(t))$.

В [2,3] модели изменение оценки умений и навыков выполнения *v*-ой ЗФД *b*-м сотрудником при проведении подготовки представляется выражением:

$$J_v^b(t) = J^* - \left[J^* - J_v^b(t_v^{"})\right]\exp\left(-\alpha_v^b \cdot t\right), \quad (10)$$

где: $J_v^b(t_v^{"})$ – значение оценки умений и навыков *b*-го сотрудника на момент времени $t_v^{"}$ начала подготовки по выполнению *v*-ой ЗФД;

α_v^b – параметр модели приобретения навыков *b*-го оператора по *v*-ой ЗФД, представляющей собой случайную величину с равномерным законом распределения.

При отсутствии тренировки

$$J_v(t) = J_v^b(t_v^{'}) + \left[J^* - J_v^b(t_v^{'})\right]\exp\left(-\beta_v^b \cdot t\right), \quad (11)$$

где: $J_v^b(t_v^{'})$ – значение оценки умений и навыков *b*-го оператора на момент времени $t_v^{'}$ окончания последней тренировки по выполнению *v*-ой ЗФД;

β_v^b – параметр модели утраты навыков *b*-го оператора по *v*-ой ЗФД, представляющей собой случайную величину с равномерным законом распределения.

Такое описание изменения подготовленности оператора способно описать изменение оценки при проведении одного дня подготовки или при перерыве и не позволяет определить её значение в произвольный момент времени. Кроме того, модели (10) и (11) учитывают лишь зависимость подготовленности сотрудника от времени тренировки и перерыва и не позволяют управлять содержанием тренировки с целью обеспечения минимума функционала (9).

Поэтому представляется актуальной разработка новой модели динамики подготовленности оператора к выполнению *v*-ой ЗФД, свободной от указанных недостатков. Наиболее конструктивные результаты, с точки зрения рассматриваемой задачи, позволяет получить дискретная модель следующего вида:

$$J_v^b(t_s,u_v(t_s)) = J^* - \left[J^* - J_v^b(t_s - t_v')\cdot\exp\left\{-\beta_v^b \cdot t_s \cdot (1-u_v(t_{s-1}))\right\}\right]\cdot\exp-\alpha_v^b \cdot t_s \cdot u_v(t_{s-1}), \quad (12)$$

где t_s – дискретные значения текущего времени.

$$s = \overline{0,\mu}, \text{ где } \mu = \frac{t_s}{\Delta t} + 1,$$

где $\Delta t = t_s - t_{s-1}$ – шаг дискретизации.

Ограничения (3,5) с учетом введённой дискретизации примут вид.

$$\sum_{t_j^1=1}^{t_j^0} u_v(t_s)\cdot\Delta t\Big|_{u_v=1} = \tau_{jm}\,, \tag{13}$$

$$\sum_{v=1}^{N}\sum_{t_j^1=1}^{t_j^0} u_v(t_s)\cdot\Delta t = \tau_{jm}\,. \tag{14}$$

Предложенный показатель оценки ТР и разработанная математическая модель динамики подготовленности сотрудника к выполнению ЗФД позволяют синтезировать алгоритм адаптивного управления содержанием тренировки, обеспечивающий минимальное значение ТР.

Алгоритм формирования оптимального плана управления

Предлагаемый алгоритм формирования оптимального плана управления тренировкой основывается на методе полного перебора и в общем виде содержит следующую последовательность операций:

- экспериментально определяются параметры законов распределения величин индивидуальных параметров α_v^b, β_v^b;

- для известных параметров проведения тренировки *N,* а также *n* производится генерация вариантов планов управления тренировкой, которые отличаются друг от друга $\Pi_j^i,\ i=\overline{1,q}$, где q – максимальное количество планов управления тренировкой;

- по выражению (12) производится расчёт изменения подготовленности оператора $J_v(t_j^0)$ на момент времени окончания рассматриваемой j-ой тренировки для каждого из сформированных Π_j^i планов. При этом вместо параметров α_v^b, β_v^b используется их математическое ожидание;

- по выражению (7) для полученных значений $J_v(t_j^0)$ рассчитывается прогнозируемое значение ТР $R_v(t_j^0)$ на момент времени окончания тренировки для каждого из сформированных Π_j^i планов;

- по выражению (8) для каждого плана Π_j^i рассчитывается прогнозируемое суммарное значение ТР $R_\Sigma(J_v(t_j^0,u_v(t_j^0)),t_j^0)$;

- определяется план тренировки, по которому обеспечивается минимальное значение прогнозируемого суммарного ТР после её проведения:

$$R_\Sigma(J_v(t_j^0,u_v(t_j^0)),t_j^0)\xrightarrow[\Pi_j^i]{}\min\,. \tag{15}$$

При проведении следующей тренировки алгоритм повторяется.

Заключение

Реализация в информационной системе контроля и управления подготовкой сотрудников компании связи рассмотренного подхода к формированию содержания подготовки позволяет снизить уровень технологического риска при эксплуатации систем связи и, как следствие, обеспечить снижение возможных ущербов, допускаемых по причине недостаточного уровня подготовленности. При этом такой подход позволяет

заранее спрогнозировать возможное влияние каждого конкретного сотрудника на уровень безопасности выполняемых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гутников В.Н., Коробенко С.В., Сосновский И.А.* Антропоцентрический подход к автоматизации подготовки операторов технических комплексов. // Автоматика и вычислительная техника. № 2. 2005.
2. *Ломов Б.Ф.* Основы инженерной психологии: Учебник для технических вузов. М: Высшая школа. 1986.
3. *Михалин А.Н., Коробков С.П., Решенкин А.С., Сосновский И.А.* Методика построения учебно-тренировочных средств с автоматической адаптацией параметров подготовки. Материалы XXXI академических чтений по космонавтике. М. 2007. С. 296-297.

И.А. Молоковский, М.Г. Каличак

АЛГОРИТМ МАРШРУТИЗАЦИИ AD-HOC СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

Ключевые слова: неоднородная среда, ad-hoc сеть, передатчик, приёмник, сигнал, информация, время прохождения, маршрутизация.

В статье рассмотрена проблема выбора оптимального пути передачи информации в ad-hoc сети в условиях неоднородной среды, а также предложен вариант её решения.

I.A. Molokovskiy, M.G. Kalichak

AD-HOC NETWORKS' ROUTING ALGORITHM WITHIN HETEROGENEOUS ENVIRONMENT CONDITIONS

State professional high degree education establishment «Donetsk national technical university», Donetsk

Keywords: an inhomogeneous environment, ad-hoc network, transmitter, receiver, signal, information, passage of time, routing.

Optimal route of information transmitting at ad-hoc network within heterogeneous environment conditions choice problem was considered and solution idea was given in the article.

Во время рабочего процесса в производственных помещениях возможны нагрев, задымление, запыление воздуха, повышение давления и влажности, то есть в воздухе

образуются различные зоны с преобладанием каких-либо вышеперечисленных факторов, другими словами, с различной плотностью. Таким образом, среда в помещении становится неоднородной. Это напрямую влияет на [1]:

- скорость передачи информации;
- мощность передаваемого сигнала;
- надёжность данных (появляются дополнительные помехи);
- траекторию распространения сигнала (вследствие преломления).

Также образуются плохо проводимые участки, волны высших порядков за счёт высокой степени отражения радиосигналов. Все вышеперечисленные причины увеличивают время приёма/передачи информационного сигнала. На рисунке 1 наглядно изображена рассматриваемая ситуация.

На рисунке 1 приёмник находится в зоне прямой видимости передатчика, однако время передачи сигнала без транзитных узлов будет больше времени передачи той же информации через узлы A и B, либо через узел C. Это связано с различной плотностью среды, по которой распространяется сигнал.

На данный момент для организации ad-hoc сетей на производствах используют технологию MESH, которая даёт возможность различным сетевым узлам с одинаковым статусом обеспечивать двухстороннюю связь с остальными узлами, а также автоматически находить оптимальные пути для передачи пакетов. Тема адаптивной маршрутизации в беспроводных сетях открыта и актуальна в наше время.

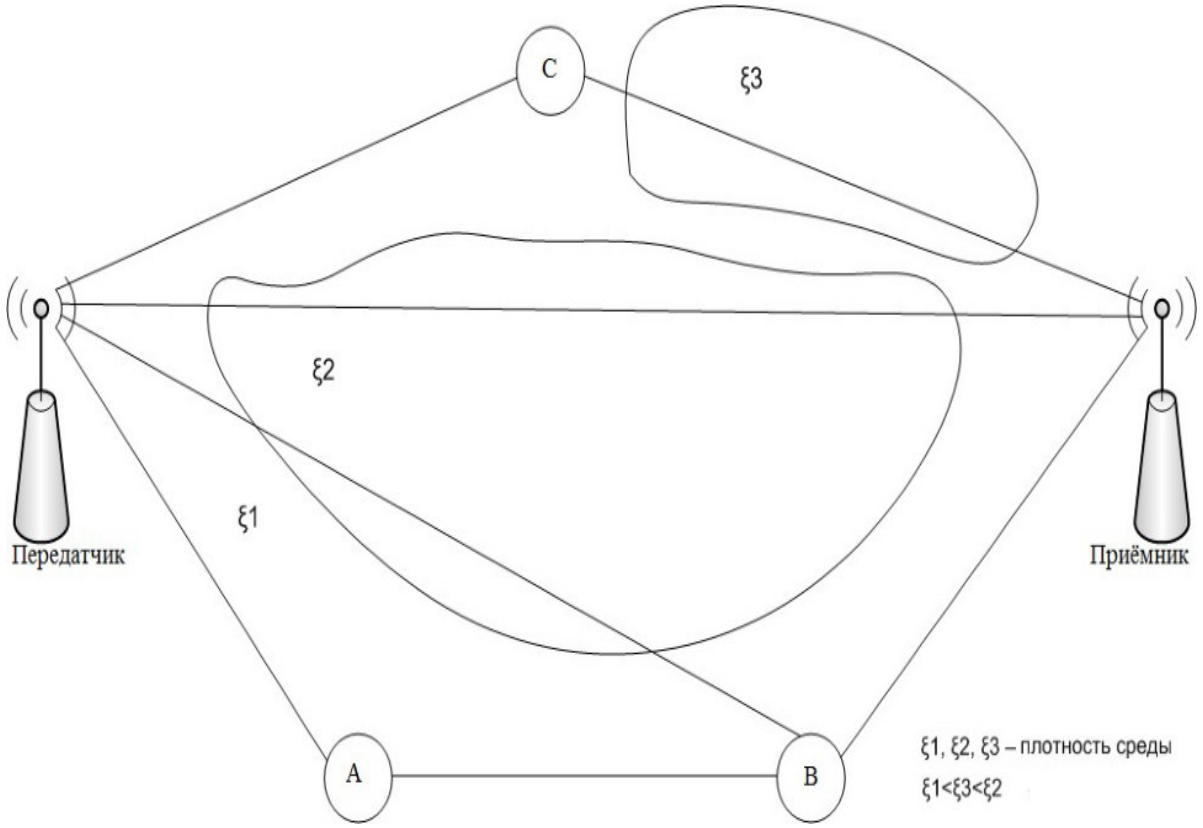


Рисунок 1 – Пример выбора маршрута в условиях неоднородной среды

В беспроводных сенсорных сетях протоколы маршрутизации обязаны гарантировать распределённую координацию трафика и комбинированные подходы

оптимизации. Учитывая это, а также динамическую структуру сети создано уже более семидесяти протоколов, которые можно разделить на три типа [4]:

- табличные (table-driven, proactive): OLSR, STAR, DSDV, TBRPF, WRP, CGSR, PWRP;
- реактивные (demand-driven, reactive): SSR, TORA, DYMO, AODV, DSR;
- гибридные (Hybrid) – ZRP, CBRP, CEDAR.

Протоколы первого типа поддерживают маршруты ко всем сетевым узлам и отвечают на любое изменение в структуре сети. Сетевые устройства непрерывно занимаются сбором и обновлением маршрутной информации, производя обмен ею с соседями. Так же с определённым периодом происходит обмен управляющими сообщениями для поддержки целость и подлинность данных о топологии сети. Табличные протоколы подразумевают, что все узлы содержат одну или несколько таблиц маршрутизации, в которой прописаны пути, позволяющие достичь каждого абонента сети.

В реактивных протоколах только в случае необходимости узел осуществляет поиск пункта назначения. Передача информации может происходить либо по уже сформированным маршрутам, либо по маршрутам, которые находятся на этапе установления. Этот процесс возможен благодаря выполнению двух операций: нахождение пути и его поддержка. Узел, инициирующий установление связи, начинает определять маршрут, и при этом получает сведения о незанятых каналах посредством посыла запросов. С целью поддержания сведений о маршрутах сетевым узлам необходимо отвечать на изменения в структуре сети. Узел, имеющий информацию о каком-либо канале, в случае его отказа обязан стремиться донести это до остальных

Гибридные объединяют в себе методы вышеописанных протоколов, но на разных уровнях иерархии, кроме этого определяя способ нахождения оптимального пути и тип разделения сети на иерархические домены. Протоколы этого типа сложнее в воплощении, однако, в следствие предоставления более гибкой схемы маршрутизации, зависящей от топологии сети, демонстрируют лучшие результаты [5].

Метрика реактивных, активных и гибридных протоколов основывается в общем случае на стоимости пути, количестве переходов (hope), что в свою очередь не может дать требуемого результата по времени передачи в условиях неоднородной среды.

Таким образом, выдвинуто предложение о создании нового алгоритма маршрутизации, который в качестве метрики использовал бы информацию о времени прохождения сигнала между соседними узлами.

Итак, для определения времени передачи необходимо, чтобы при обмене между соседними узлами маршрутной информацией в ней было прописано время отправки пакета. И далее, зная время приёма, узел рассчитывает время прохождения радиосигнала от соседа. Данный процесс вычисления описывается формулой (1):

$$\Delta t_{ij} = t_{\text{пр}.j} - t_{\text{пер}.i}. \quad (1)$$

Далее, на основе временных меток строиться матрица для последующего определения кратчайшего пути (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица временных меток

	1 (Передатчик)	2 (A)	3 (B)	4 (C)	5 (Приемник)
1 (Передатчик)	0	Δt_{12}	Δt_{13}	Δt_{14}	Δt_{15}
2 (A)	Δt_{21}	0	Δt_{23}		
3 (B)	Δt_{31}	Δt_{32}	0		Δt_{35}
4 (C)	Δt_{41}			0	Δt_{45}
5 (Приемник)	Δt_{51}		Δt_{53}	Δt_{54}	0

С помощью матрицы времени рассчитывается матрица маршрутов. На первом шаге она имеет вид (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица расстояний

	1 (Передатчик)	2 (A)	3 (B)	4 (C)	5 (Приемник)
1 (Передатчик)	1	2	3	4	5
2 (A)	1	2	3	4	5
3 (B)	1	2	3	4	5
4 (C)	1	2	3	4	5
5 (Приемник)	1	2	3	4	5

Далее с помощью таблицы 1 итерационным методом рассчитываются кратчайшие пути между двумя узлам сети.

Изначально за минимальное время передачи сигнала между двумя узлами i и j принимается время прохождения сигнала напрямую между этими узлами. Потом последовательно проверяются все возможные транзитные узлы, которые расположены между i и j. Если время, за которое информация передаётся через некоторый транзитный узел, меньше потокового значения Δt_{ij}, то оценке Δt_{ij} присваивается новое значение. Эта процедура повторяется для всех возможных пар узлов, пока не будут получены все значения Δt^*_{ij} .

Для формального описания итеративной процедуры поиска, обозначим Δt^j_{ik}, как оценку минимального времени из узла i к узлу k, полученную на j-й итерации. Эта оценка выбирается как наименьшее значение из оценки этой цепи на предыдущей (j-1)-й итерации и длины цепи через транзитный узел j:

$$\Delta t^j_{ik} = \min [\Delta t^{j-1}_{ik}; \Delta t^{j-1}_{ij} + \Delta t^{j-1}_{kj}], \; i \neq j \neq k \qquad (2)$$

Если операцию (2) выполнить с данной парой узлов i и k со всеми возможными транзитными узлами j ($i \neq j \neq k$), увеличивая номера j от 1 до n, то значение Δt^n_{ik}, полученное на последней итерации, будет равно кратчайшему пути от узла i к узлу k. На каждом шаге при необходимости вносятся изменения в обе матрицы. Количество итераций зависит от количества узлов сети и равно n-1.

Таким образом, в итоге получаем матрицу кратчайших путей между двумя любыми узлами на основе времени прохождения радиосигнала между ними. Данная методика позволяет гибко и точно определять оптимальные маршруты в условиях неравномерной среды распространения радиосигнала, когда важна скорость передачи информации. Однако в случае такой маршрутизации крайне важна точная синхронизация по времени всех узлов сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Турупалов В.В.* Исследование процесса распространения радиоволн в телекоммуникационных сетях специального назначения / В.В. Турупалов, И.А. Молоковский, Р.Ш. Абрамов // Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета, серия: Вычислительная техника и автоматизация – Донецк, 2013. – Выпуск 2(25). – С. 144-151.
2. *Clausen T., Jacquet P.* Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). – IETF RFC 3626, October 2003.
3. *Qayyum, Laouiti A., Viennot L.* Multipoint relaying technique for flooding broad-cast messages in mobile wireless networks. – HICSS: Hawai Int. Conference on System Sciences, January 2002.
4. *Борисенко А.С.* ПРОТОКОЛЫ СЕТЕЙ MESH В ZIGBEE [Электронный ресурс] / А.С. Борисенко, П.В. Галкин, Л.В. Головкина // Актуальные проблемы современных наук – 2010, серия: Технические науки – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/15_APSN_2010/Tecnic/67561.doc.htm – Дата доступа 12.01.2017. – Загл. с экрана.
5. *Метелёв А.П.* Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях / А.П. Метелёв, А.В. Чистяков, А.Н. Жолобов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского – Кирова, 2013. – Выпуск 3(1). – с. 75-78.
6. *Молоковський І.О.* Дослідження можливості передачі інформації за допомогою бездротових технологій у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський // Сборник научных трудов Донецкого национального технического универ-ситета, серия: «Вычислительная техника и автоматизация». Донецк: ДонНТУ, 2010 р. – Выпуск 19 (171). – С. 77-82.
7. *Каличак М.Г.* Режимы работы самоорганизующихся сетей в условиях промышленности / М.Г. Каличак, И.А. Молоковский // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов XVI научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 25-26 мая 2016 г. - Донецк, ДонНТУ, 2016. – 341 с. – С. 17-18.
8. *Лозинская В.Н.* Особенности радиочастотного планирования WI-FI сети для условий большого скопления абонентов / В.Н. Лозинская, В.В. Семашко // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов XV научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 20-22 мая 2015 г. - Донецк, ДонНТУ, 2015. – 267 с. – С. 45-49

Д.А. Овчинников, С.А. Баранов

ИНТРОСКОПИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: интроскопия, антенна для квадрокоптера, спиральные антенны, электромагнитные волны, электромагнитная совместимость.

В статье рассмотрена возможность применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для интроскопии земной поверхности. Подняты вопросы, возникающие при проектировании и размещении антенн на квадрокоптерах. Сделан выбор оптимального типа антенн для методов интроскопии на БПЛА.

D.A. Ovchinnikov, S.A. Baranov

INTROSCOPY OF THE EARTH'S SURFACE BY ELECTROMAGNETIC WAVES WITH THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Key words: introscopy, antenna for dron, helical (helix) antenna, electromagnetic waves, electromagnetic compatibility.

The possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for introscopy of the Earth's surface is considered in the article. The questions arising at designing and placing of antennas on drones are considered. The choice of the optimal type of antennas for the methods of introscopy on the UAVswas made.

Введение

Интроскопия – это визуальное неразрушающее наблюдение внутренней структуры объектов или наблюдение поверхности объектов вусловиях плохой видимости. Что практически может означать георазведку и построение топографических карт земной поверхности в таких условиях, когда другие методы исследования оказываются неприемлемыми с точки зрения материальных затрат или неоправданными с точки зрения безопасности исследователей.

Суть метода заключается в облучении земной поверхности электромагнитными волнами и приеме отраженных волн. Если отражательная возможность различных объектов неодинакова, то по фазовым характеристикам принятого излучения можно

достаточно точно определить облучаемую поверхность, а по времени задержки сигнала – расстояние до нее. Более того, часть волн будет проходить вглубь облучаемой структуры и отражаться уже от ее внутренних неоднородностей (например, камни внутри почвы), что позволит производить изучение не только поверхностных, но и внутренних слоев. Точность будет зависеть от используемой длины волны – с уменьшением ее длины разрешающая способность будет расти, с другой стороны, с ростом частоты будет уменьшаться глубина проникновения электромагнитных волн вглубь исследуемой поверхности. Таким образом возникает возможность распознавать объекты, скрытые от человеческого глаза при использовании иных методов наблюдения, таких как фото и видеосъемка. Иллюстрацию данного метода можно рассмотреть на рисунке 1.

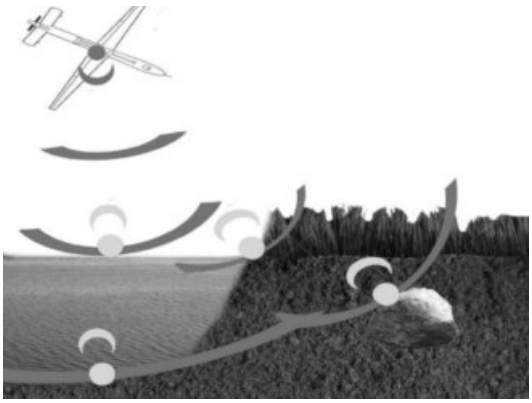


Рисунок 1 – модель распространения электромагнитных волн.

На рисунке слева направо изображены озеро, земля и камень, лежащий внутри почвы. Излучатель, установленный на беспилотном летательном аппарате, облучает электромагнитными волнами земную поверхность под ним. Часть волн отразится от поверхностных слоев и устремится в обратном направлении, другая часть пройдет вглубь структуры и отразится уже на следующей неоднородности, в данном случае это дно и камень. За счет разного коэффициента отражения и поглощения электромагнитных волн, а также по мощности принятого излучения можно судить об исследуемой среде.

Глубину проникновения можно рассчитать по следующей формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{2\pi f \delta \mu}},$$

где f- частота;

μ - магнитная проницаемость, для не металлов примем равную μ_0;

δ - удельная электрическая проводимость.

Приняв удельную проводимость для почвы равную 0.01см/м (среднее значение между черноземом и смесью глины с песком) и для воды равную 0.025см/м (прудовая вода) [1] произведем расчет глубины проникновения ЭМВ в зависимости от частоты и сведем полученные значения в таблицу 1.

Таблица 1 – Глубина проникновения ЭМВ в зависимости от частоты

Частота, МГц	200	500	800	1100	1400	1700	2000	2300	2600
Глубина проникновения для почвы, см	35,7	22,6	17,8	15,2	13,5	12,2	11,3	10,5	9,9
Глубина проникновения для воды, см	22,6	14,3	11,3	9,6	8,5	7,7	7,1	6,7	6,3

Из таблицы видно, что с ростом частоты глубина проникновения резко падает. Для увеличения глубины исследования грунта необходимо использовать как можно более низкие частоты, в свою очередь, для увеличения точности возникает необходимость в применении коротковолновых волн. То есть возникает необходимость в использовании линейно частотной модуляции сигнала. Для этого антенна должна обладать исключительной широкополосностью и геометрическими размерами, которые возможно уместить на беспилотном летательном аппарате.

Таким образом, заранее зная свойства различных материалов отражать и поглощать энергию электромагнитных волн можно с достаточной точностью строить картину о глубинных структурах земной поверхности. С практической точки зрения это позволит искать пустоты, разломы, скальные породы внутри почв, коммуникации или, например, выявлять минные поля в условиях боевых действий.

Анализ выбора антенны

Наиболее предпочтительным выбором из большого числа беспилотных летательных аппаратов будут являться квадрокоптеры, так как они имеют ряд существенных преимуществ:

– широкая распространенность;
– невысокая стоимость;
– способность зависать в воздухе;
– неплохая курсовая устойчивость;
– большое количество дополнительных аксессуаров;
– питание от аккумуляторных батарей.

Самым главным преимуществом, конечно же, будет возможность квадрокоптеров зависать неподвижно в воздухе, что позволит производить более подробные исследования. Наличие таких аксессуаров как видеокамера позволит повысить точность предсказания за счет изображения местности, а питание от аккумуляторных батарей избавит от необходимости в установке дополнительных питающих устройств для передатчика и приемника.

Так как в качестве базы для установки облучателя и приемника выбран квадрокоптер, то в дальнейшем под беспилотным летательным аппаратом следует понимать именно его.

Наиболее крупные модели квадрокоптеров имеют размеры, доходящие до полуметра в длину и ширину, а иногда и значительно превышающие их[2].От этого следует отталкиваться при выборе типа антенн, их размеров и частоты излучения.

Так как управление квадрокоптером в основном осуществляется по радиоканалу с

частотой 2.4 ГГц, то частота работы антенн для интроскопии не должна с ней совпадать. Развязку антенн, то есть обеспечение электромагнитной совместимости, можно осуществлять по поляризации, частоте или разносу антенн на расстояние друг от друга с целью отсутствия перекрытия их диаграмм направленности. В случае связи со станцией и интроскопии поверхности земли волны так или иначе будут распространяться в одну сторону, а размеры квадрокоптера малы, значит осуществить пространственный разнос не представляется возможным. Развязка по поляризации позволит снизить влияние антенн для интроскопии и связи со станцией друг на друга, но также будет являться неприемлемой. В состав устройства для интроскопии должны входить две антенны: приемник и передатчик электромагнитных волн, для повышения точности исследования их влияние друга на друга также следует минимизировать. Следовательно, остается единственно возможный вариант - это разнос антенн по частоте. Так как антенна для интроскопии должна быть широкополосной, то частота ее работы должна начинаться от 2.4 ГГц (для проверки ее работы на частоте излучения) и опускаться до сотен мегагерц.

Развязку приемной и передающей антенн для целей исследования удобнее всего будет осуществить по поляризации, так как частотная развязка неприменима в данном случае. Как известно, наиболее глубокой развязки антенн по поляризации можно добиться при использовании волн круговой поляризации. Связано это с тем, что антенны, имеющие поляризацию правого вращения, не способны принимать излучение левого вращения и наоборот. С другой стороны, электромагнитная волна круговой поляризации при отражении скачкообразно изменяет направление своего вращения на противоположное, что требует применения на прием антенны противоположного вращения намотки. Таким образом, опираясь на полученный ранее опыт в области исследования методов получения волн круговой поляризации, следует выбрать тип спиральных антенн.

Для целей интроскопии требуется широкая полоса частот, значит предпочтение следует отдать классу конических спиральных антенн. Такая спираль состоит из набора витков разного диаметра. Каждый излучает только длину волны близкую к его собственной длине, единовременно в излучении участвует не более одного- двух витков, таким образом достигается перекрытие в широком диапазоне частот, но с широкой диаграммой направленности, а значит и с невысоким коэффициентом усиления.

Следует учесть, что при полете и уж тем более зависании над одной точкой квадрокоптер не сможет строго удерживать свое положение в пространстве. Под порывами ветра его так или иначе будет раскачивать. Отсюда возникает ряд требований, накладываемых на антенны:

- достаточное сопротивление ветровым нагрузкам;
- малая парусность;
- невысокий вес;
- центр масс ближе к корпусу беспилотника.

Для решения данных задач проводник, из которого наматывается спираль, должен иметь цилиндрическую форму и большое значение поперечного сечения, так как иные формы провода повысят парусность. С увеличением толщины провода будет изменяться входное сопротивление антенны, что приведено в таблице 1[3]. В качестве проводника возможно использование полых трубок в следствие скин-эффекта и небольших токов, протекающих по проводу

Таблица 1 – Влияние толщины провода спирали на входное сопротивление антенны

d в λ	0,5%	1%	2%	3%	4%	5%	7%
Ra, Ом	240	190	140	115	87	75	50

Расчеты выполнены в программном пакете MMANA (расчеты с толщиной проводника более 3% имеют высокую погрешность).Диаметр проводника приведен в длинах волн. Таким образом, выбрав проводник достаточной толщины, можно запитывать антенну без сложных согласующих устройств.

С ростом количества витков спирали повышается ее эффективность, то есть возрастает коэффициент усиления (КУ) и уменьшается коэффициент эллиптичности. Зависимость коэффициента усиления антенны от количества витков приведена на рисунке 2(расчеты MMANA)[3].

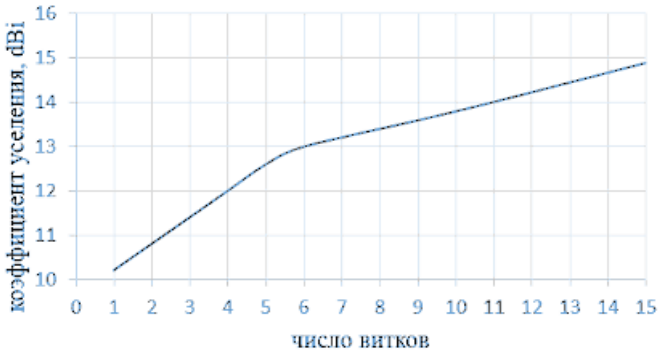


Рисунок 2 – зависимость усиления спиральной антенны от количества витков спирали

Как можно заметить, наблюдается нелинейный рост усиления. Тем не менее даже при одном витке КУ находится около 10 dBi.Отсюда можно вычислить требуемые геометрические размеры антенн, с учетом частотного диапазона и размеров несущего ее беспилотника.

При грубом приближении максимальный поперечный размер антенны будет равен диаметру самого большого витка спирали. Так как длина витка равна длине центральной частоты, то при частоте 200 МГц размеры антенны составят почти 50 см. Диаметр самого маленького витка для частот 2,4 ГГц будет равен 4 см. Если принять, что один виток способен излучать длину волны от 0,7λ до 1,3λ[4], то общее количество витков составит порядка 5-6 штук. Разместить спираль следует большим витком к основанию квадрокоптера, так как диаграмма направленности осевого излучения наблюдается только в этом случае. Питание спирали допустимо осуществлять как в носик, так и в основание[4].

В связи со значительными геометрическими размерами антенн, приемную и передающую антенны следует наматывать вдоль единой оси.

Для повышения направленных свойств и снижения обратного излучения за антенной целесообразно разместить рефлектор. В данном случае в качестве экрана возможно использование конструкции квадрокоптера с дополнительно натянутой сеткой с ячейками меньше минимальной длины волны.

Таким образом, в статье рассмотрена возможность применения квадрокоптеров в качестве подвижных мобильных малогабаритных систем для интроскопии сред. По ряду причин наиболее оптимальным типом антенн будет являться коническая двузаходная

спиральная антенна противоположной намотки. Данная антенна при допустимых массогабаритных параметрах позволит перекрыть весь необходимый частотный диапазон и обеспечить поляризацию с невысоким коэффициентом эллиптичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электротехнический форум (Электро АС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elektroas.ru/forum/showthread.php?t=807&pagenumber=]
2. Классы квадрокоптеров – какие бывают и для чего используются (Geektimes) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://geektimes.ru/company/dronk/blog/269722
3. *Гончаренко И.* Спиральные направленные антенны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dl2kq.de/ant/kniga/1345.htm
4. *Артемова Т.К., Фомичев Н.И.* Антенны. Учебное пособие. Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20070702.pdf
5. *Айзенберг Г.З.* Антенны ультракоротких волн. "Связьиздат" (переизданное), М. 2007.700 с.

Э.Л. Портнов, Т.Д. Фатхулин

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ DWDM-СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики», Москва, Россия
aquiline17@yandex.ru

Ключевые слова: оптическое волокно, скорость передачи, шум, нелинейные эффекты, метод.

Целью данной статьи является анализ методов подавления шумовых явлений в современных DWDM-системах связи. Рассмотрены основные искажения сигнала, требующие компенсации. Показаны варианты компенсации в волоконно-оптических системах передачи с прямым и когерентным детектированием. Также сделан сравнительный анализ методов. В заключении сделаны выводы.

E.L. Portnov, T.D. Fatkhulin

ANALYSIS OF NOISE REDUCTION METHODS IN MODERN DWDM COMMUNICATION SYSTEMS

Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Moscow, Russia
aquiline17@yandex.ru

Key words: optical fiber, transmission rate, noise, nonlinear effects, method.

The purpose of this article is to analyze the methods of noise reduction in modern DWDM communication systems. The main distortion of the signal, requiring compensation, are considered. The variants of compensation in optical fiber transmission systems with direct and coherent detection are shown. In addition, a comparative analysis of these methods is made. Finally, the main conclusions are drawn.

Введение

Увеличение скорости передачи информации в современных волоконно-оптических системах передачи (ВОСП) ограничивается случайным характером взаимодействия импульсов оптического сигнала, а также шумами усиленного спонтанного излучения ASE - Amplified Spontaneous Emissions. Случайное изменение фазы и положения импульса сигнала могут привести к ошибкам в процессе декодирования. Также сильные фазовые флуктуации не дают возможность применять фазовые форматы модуляции высокого порядка, что снижает скорость передачи логарифмически. В ВОСП конца прошлого века применялось прямое детектирование и простейшие форматы модуляции (NRZ, RZ). В настоящее время на большинстве волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) применяется когерентное детектирование сигнала, что позволяет внедрять фазовые форматы модуляции, например, QPSK [1].

Целью настоящей работы является анализ методов подавления шумовых явлений в современных DWDM-системах связи.

Для солитонных ВОЛС с прямым детектированием для уменьшения искажений от шумов возможно использование компенсаторов дисперсии, которые позволяют снизить значение временных флуктуаций почти в 2 раза. Использование методик подавления эффекта Гордона-Хауса дает возможность передавать солитонный сигнал со скоростью 40Гбит/с, а дальность передачи составляет порядка 10000 км. Кроме этого эффективными методами уменьшения искажений являются методы оптического фазового сопряжения и спектральной инверсии. Первый позволяет снизить до трех раз фазовые флуктуации солитона при применении на половину длины распространения сигнала.

Применение оптических фильтров параболической формы позволяет также уменьшить влияние шумовых эффектов для ВОСП с прямым или когерентным детектированием. Использование специальных «скользящих» фильтров, сдвигающих несущую частоту в область, в которой уже предварительно отфильтрован шум, позволяет значительно улучшить качество сигнала. К негативным последствиям фильтрации можно отнести потерю мощности сигнала из-за удаления части частотного спектра сигнала. Это

требует использования дополнительных усилителей, являющихся источниками шума, что приводит к деградации сигнала. Однако применение современных технологий позволяет эффективно передавать сигнал с использованием спектрального уплотнения (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing) [2,3 и 4] и фильтрации.

В настоящей работе будут рассмотрены два метода подавления шумовых искажений для когерентных DWDM-систем связи:

1) цифровой обработки сигнала, а именно метод обратного распространения сигнала;
2) оптической фильтрации.

Методологическую основу статьи составляют методы теоретического анализа, сравнительный и описательный методы, а также метод обобщения.

При использовании метода обратного распространения сигнала (Рисунок 1) потери мощности оптического сигнала, распространяющегося по оптическому волокну (ОВ) длиной L, компенсируются Рамановским оптическим усилителем с обратной накачкой BRP (Backward Raman Pump).

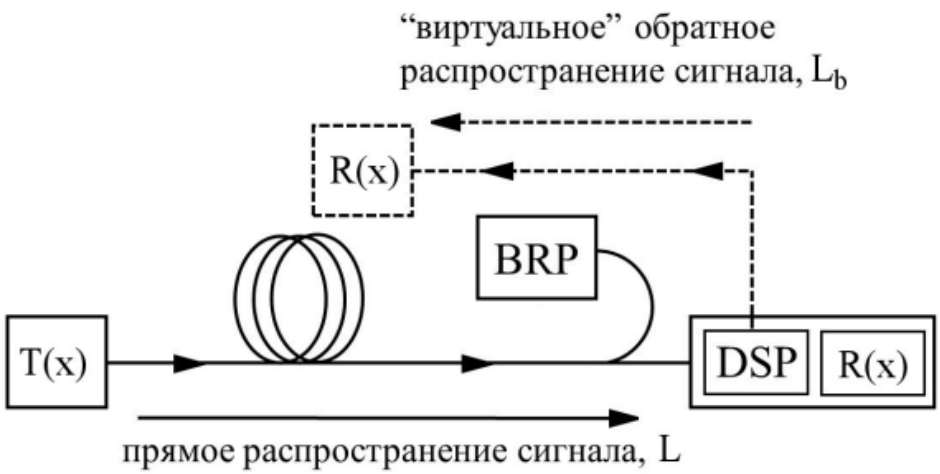


Рисунок 1. Схема применения метода обратного распространения сигнала: T(x) – модулятор сигнала, R(x) – детектор сигнала, DSP – блок цифровой обработки сигнала, BRP- Рамановский оптический усилитель

При приеме сигнала, прошедшего линию связи, производится процедура обратного распространения сигнала на «виртуальное» расстояние L_b. Так как кроме межсолитонного взаимодействия следует учитывать случайные и шумовые искажения, которые невозможно компенсировать этим методом, то для общего случая $L_b \neq L$. Для несолитонных линий связи процедура обратного распространения сигнала необходима для подавления и компенсации дисперсионных и нелинейных искажений. Она выполняется на всю длину распространения. В солитонных ВОСП нелинейные и дисперсионные искажения компенсируют друг друга. Следовательно, эта процедура необходима для компенсации детерминистских эффектов, а длина «виртуального» распространения будет равна половине физического. Так как качество сигнала зависит от взаимодействия сигнала и шума, то невозможна полная компенсация искажений.

Процедура обратного распространения сигнала для рассматриваемых солитонных ВОСП дает уменьшение временных и фазовых колебаний почти на половину. Однако, при увеличении дальности передачи эффективность метода уменьшается, что объясняется накоплением шумов, которые не могут быть скомпенсированы.

Другим методом компенсации искажений является использованием оптической фильтрации. Метод основан на том, что случайные колебания положения максимума спектра подавляются применением фильтра параболической формы, так называемого эталонного фильтра. Положение максимума под действием фильтрации будет возвращаться в исходное положение. Снижение колебаний максимума спектра сигнала ведет к тому, что уменьшаются колебания временного положения импульсов. Дополнительно такая фильтрация снижает колебания амплитуды. Если солитонный импульс имеет мощность больше номинальной, следовательно, его спектр шире. Фильтрация увеличивает потери такого импульса. Если же наоборот, солитонный импульс имеет мощность меньше номинальной, то фильтрация внесет меньше потерь. Применение такого фильтра позволяет снизить амплитудные колебания.

Если же в ВОСП используются несолитонные импульсы, то применение таких фильтров невозможно, так как спектр таких импульсов будет расширяться из-за фазовой самомодуляции, следовательно, будет теряться мощность импульсов при фильтрации. Дополнительные усилители приведут к возрастанию мощности шума экспоненциально, что ведет к деградации сигнала. Солитонный импульс благодаря возможности восстановления частотных компонент позволяет использовать вышеописанную фильтрацию. Рассмотрим схему ВОСП с применением метода оптической фильтрации (Рисунок 2). В каждом из N последовательных сегментов имеется ОВ, оптический фильтр F и оптический усилитель A. Для компенсации потерь используется Рамановский усилитель.

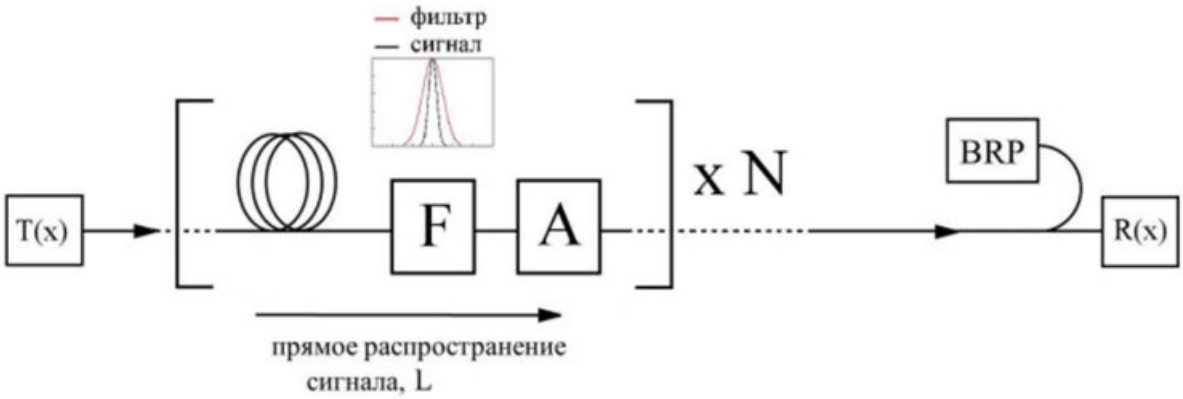


Рисунок 2. Схема применения метода оптической фильтрации: T(x) – модулятор сигнала, R(x) – детектор сигнала, F – оптический фильтр, A – оптический усилитель, BRP- Рамановский оптический усилитель

Важно определить необходимое количество участков фильтрации. Если использовать фильтрацию часто, то происходит потеря мощности и формы сигнала, так как спектр не успевает полностью восстановиться. Если же наоборот, редко применять

фильтрацию, то увеличиваются колебания параметров солитона, так как неэффективно фильтруется шум, снижается эффективность ВОСП. Также следует правильно выбирать ширину фильтра. Слишком узкая полоса пропускания вырезает значительную часть полезных составляющих сигнала, а слишком широкая полоса неэффективно подавляет шумы и увеличивает колебания параметров солитона.

Вышеописанный метод фильтрации дает возможность отказаться от дополнительной обработки сигнала (обратного распространения сигнала и др.). На небольших расстояниях (до 5 000 км) оба метода одинаково эффективны. При увеличении дальности передачи эффективность применения фильтрации оказывается выше, чем метод обратного распространения сигнала. Это объясняется тем, что процедура обратного распространения сигнала не способна в полной мере компенсировать взаимодействия солитонов с шумом и межсолитонные взаимодействия. Увеличение мощности шума в ВОСП ведет к невозможности компенсации негативных искажений сигнала. Фильтрация дает возможность уменьшить общий уровень шума, следовательно, на больших расстояниях снижает временные и фазовые колебания намного эффективней.

Выводы

Таким образом в настоящей работе был проведен анализ основных способов снижения временных и фазовых флуктуаций в современных солитонных DWDM-системах связи. Рассмотрены методы обратного распространения сигнала и оптической фильтрации, а также их влияния на передаваемый сигнал. Показано, что использование метода обратного распространения сигнала эффективно только на небольших расстояниях, что объясняется накоплением шумов. Применение метода оптической фильтрации с целью компенсации временных и фазовых колебаний более эффективно на расстояниях более 5 000 км, так как фильтрация позволяет снизить общий уровень шума в ВОСП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Портнов Э.Л., Фатхулин Т.Д.* Технологии достижения высоких скоростей передачи в современных когерентных DWDM-системах связи. // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. - №8. – С. 34-37.
2. *Портнов Э.Л., Фатхулин Т.Д.* Технологии увеличения скорости передачи информации в современных DWDM системах связи. Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. – Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015. С. 298-301.
3. *Портнов Э.Л., Фатхулин Т.Д.* Анализ разрабатываемых технологий для достижения максимальных скоростей передачи информации в современных DWDM системах. REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2015. Т. 5. № 2. С. 177-179.
4. *Фатхулин Т.Д., Гордиенко В.Н.* Анализ путей развития технологии спектрального уплотнения каналов в ВОСП//Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2013. Т. 13. № -4. С. 130-134.

Г.А. Птицын, Д.Н. Безумнов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕЖУЗЛОВОГО ПОТОКА МЕЖДУ ДВУМЯ ТРАНСПОРТНЫМИ УЗЛАМИ

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва, Россия

Ключевые слова: транспортный поток, интенсивность, межузловой поток, матрица, гравитационная модель, вероятностная модель, рассогласование, математическая модель.

В статье рассмотрены подходы к построению математической модели интенсивности межузлового потока (МУП) в транспортной сети. Выявлены недостатки в существующих моделях. Предложен метод устранения рассогласования значений интенсивностей МУП при восстановлении матрицы интенсивностей.

G.A. Ptitsyn, D.N. Bezumnov

MATHEMATICAL MODEL OF INTERNODAL TRANSPORT FLOW INTENSITY BETWEEN TWO TRANSPORT NODES

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Keywords: transport flow, intensity, internodal flow, matrix, gravity model, probabilistic model, misalignment, mathematical model.

History of solving and statement of problem of mathematical model in multipolar transportation networks are given. Way of probabilistic model accuracy improving are descripted.

Гравитационная модель интенсивности межузлового потока

Одна из задач, возникающих при проектировании сетей, заключается в выборе модели интенсивности межузловых потоков (МУП), возникающих между транспортными узлами.

Первые попытки определения интенсивности МУП относятся к середине XIX века. С тех пор столетий в научной литературе ежегодно появляется множество публикаций на данную тему; она остаётся актуальной и по сей день.

Первые модели интенсивности потоков между взаимодействующими зонами сводились к тому, что взаимодействие между человеческими коллективами, приводящее к формированию обмена между ними, аналогично закону гравитации Ньютона [1, с. 192]:

$$c_{ij} = \alpha_1 \frac{A_i B_j}{d_{ij}^2}, \quad (1)$$

где c_{ij} – поток между зонами i и j;

A_i, B_j – ёмкость соответствующих зон;

d_{ij} – расстояние между зонами;

α_1 – эмпирический коэффициент».

В основе гравитационных моделей лежит утверждение, что между двумя крупными населёнными пунктами существует транспортное «тяготение», прямо пропорциональное произведению численности населения этих пунктов и обратно пропорциональное квадрату расстояния между ними [2, с. 12].

Недостатком гравитационной модели является плохая работоспособность: коррекция идёт в направлении уменьшения степени $1 < \beta < 2$ при d в виде дополнительных коэффициентов.

Позже (1) была расширена до

$$c_{ij} = \alpha_{ij} \frac{A_i B_j}{d_{ij}^{\beta}}, \quad (2)$$

где c_{ij} – поток из пункта i в пункт j;

A_i, B_j – численность населения соответственно в пунктах i, j;

d_{ij} – расстояние между населёнными пунктами;

α_{ij} – коэффициент пропорциональности;

$1 < \beta < 2$ – постоянная величина.

Веллингтон предложил формулу потенциального (5) вида:

$$c_{ij} = \frac{f(H)}{d_{ij}}, \quad (3)$$

где $f(H)$ – некоторая функция населения, являющегося источником потока.

Недостатком моделей (1-3) является то, что авторы вводят зависимость интенсивности от дальности расстояния, а практика показывает, что дальность мало влияет на величину интенсивности.

Переход от гравитационной к вероятностной модели

В изменённом виде модель (2) получила наименование формулы Шацкого:

$$c_{ij} = A_i \frac{B_j \cdot f(d_{ij})}{\sum_1^n B_j \cdot f(d_{ij})}, \quad (4)$$

где c_{ij} – поток между зонами i и j;

A_i, B_j – ёмкость соответствующих зон;

d_{ij} – расстояние между зонами;

$f(d_{ij})$ – некоторая функция от дальности (расстояние, время, затрачиваемое на передвижение, стоимость проезда или комбинация этих показателей).

В различных вариациях формула Шацкого была использована при планировке Алма-Аты и Киева [3, с. 192, 194].

За рубежом (4) известна как формула Вурхиза в следующем виде:

$$c_{ij} = \frac{A_i B_j}{\sum_i A_i} = \frac{A_i B_j}{\sum_j B_j}. \quad (5)$$

Известна также модель

$$c_{ij} = k_\beta \frac{(\omega_i A_i)^{\chi_1} (\gamma_j B_j)^{\chi_2}}{d_{ij}^{\rho}}, \quad (6)$$

где $k_\beta, \omega, \gamma, \rho, \chi$ – эмпирические коэффициенты.

Рассмотрим модель (5). Одним из её недостатков является рассогласование матрицы корреспонденции при восстановлении значений интенсивности межузловых потоков.

Изобразим матрицу корреспонденции для транспортной сети из трёх узлов (табл. 1). Интенсивность каждого межузлового потока $c_{ij} = \lambda_{ij} = a, i \neq j$. Исключаем внутриузловые потоки: $\lambda_{ij} = 0, i = j$.

Таблица 1 – Матрица корреспонденции

i j	1	2	3	A_i
1	0	a	a	2a
2	a	0	a	2a
3	a	a	0	2a
B_j	2a	2a	2a	6a

Результат восстановления матрицы из табл. 1 по формуле (5) при условии отсутствия внутриузловых потоков представлен в табл. 2. Очевидно, что произошло рассогласование значений интенсивности межузловых потоков на 33 %.

Таблица 2 – Восстановленная матрица корреспонденции

i j	1	2	3	A_i
1	0	0,66a	0,66a	1,33a
2	0,66a	0	0,66a	1,33a
3	0,66a	0,66a	0	1,33a
B_j	1,33a	1,33a	1,33a	4a

Вычислим величину рассогласования в обще виде.

Сумма входящих или исходящих потоков каждого узла:

$$A_i = B_j = a(n-1). \tag{7}$$

Сумма всех потоков в сети:

$$\sum_i A_i = \sum_j B_j = an(n-1) \tag{8}$$

Интенсивность межузлового потока:

$$c_{ij}{}' = \frac{A_i B_j}{\sum_i A_i} = \frac{A_i B_j}{\sum_j B_j} = \frac{a^2(n-1)^2}{an(n-1)} = \frac{a(n-1)}{n}. \tag{9}$$

Величина рассогласования между исходным и восстановленным элементом матрицы может быть вычислена как

$$\Delta c_{ij} = c_{ij} - c'_{ij} = a - \frac{a(n-1)}{n} = \frac{a}{n}. \tag{10}$$

Величина рассогласования элементов матрицы возрастает при увеличении интенсивности межузлового потока и уменьшается с увеличением размерности матрицы корреспонденции, т.е. количества узлов в транспортной сети (рис. 1).

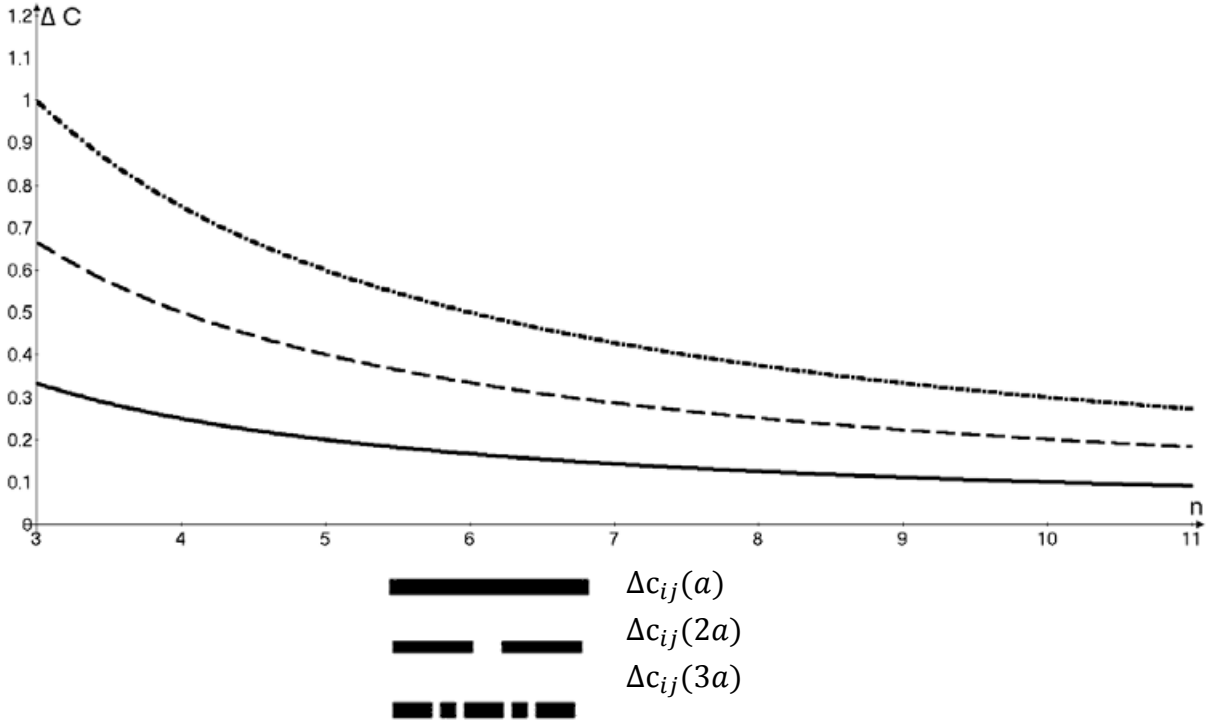


Рисунок 1 – График зависимости величины рассогласования восстановленного элемента матрицы корреспонденции от количества узлов транспортной сети при различной интенсивности межузловых потоков

Однако, (5) не учитывает то, что при вычислении интенсивности межузлового потока в общей сумме потоков узла (в знаменателе) нельзя учитывать входящие потоки самого узла, для которого производится расчёт. С учётом данной модификации [4] формула (5) примет вид:

$$c_{ij} = \frac{A_i B_j}{\sum_j B_j - B_i}. \quad (11)$$

Интенсивность межузлового потока в данном случае составит:

$$c_{ij}'' = \frac{A_i B_j}{\sum_j B_j - B_i} = \frac{a^2(n-1)^2}{a(n-1)^2} = a. \quad (12)$$

Величина рассогласования между исходным и восстановленным элементом матрицы с учётом приведённой выше модификации составит:

$$\Delta c_{ij} = c_{ij} - c_{ij}'' = a - a = 0. \quad (13)$$

Итак, проблема определения величины интенсивности межузловых потоков решается на протяжении полутора столетий, и до сих пор не было найдена модель, достаточно точно определяющая интенсивность МУП при различных условиях эксплуатации.

Предложенная модель позволяет свести величину рассогласования между значениями элементов исходной и восстановленной матрицы интенсивностей межузловых потоков к нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гольц Г.А.* Транспорт и расселение. – М.: Наука, 1981. – 248 с.

2. *Правдин Н.В., Негрей* В.Я. Прогнозирование пассажирских потоков (методика, расчёты, примеры). – М.: Транспорт, 1980. – 223 с.
3. *Гольц Г.А.* Математические модели расселения для транспортных расчетов в градостроительстве // Семинар по вопросам городского движения и транспорта: Материалы. – М., 1964.
4. *Горлов В.Н.* Разработка и исследование методов оценки эксплуатационных показателей перевозки почты. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / МТУСИ. – М., 1993.
5. *Птицын Г.А., Горлов В.Н.* Модели распределения потоков на магистральной сети в условиях неопределённости направления и дальности следования грузов // Системы и сети передачи информации: Сб. науч. трудов ин-тов связи / ЛЭИС. – Л., 1988. – С. 94-104.
6. *Птицын Г.А., Горлов В.Н.* Программа расчёта показателей перевозки по кольцевому двунаправленному маршруту в условиях неопределённости направления и дальности следования грузов. № 50880001504, 49 с. // Инф. бюлл. ВНТИЦ «Алгоритмы и программы». – 1989. – № 9. – С. 10-11.

А.С. Пузанов, К.А. Батенков, М.В. Стремоухов

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ СВЯЗИ С ОТКАЗАМИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ RIVERBED

Федеральное государственное казённое военное образовательное
учреждение высшего образования
«Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»,
Орел, Россия
E-mail: lescha.puzanov@yandex.ru

Ключевые слова: имитационное моделирование, протоколы маршрутизации, время конвергенции сети связи, вероятностные характеристики трафика протоколов маршрутизации, программный продукт Riverbed.

В статье рассмотрено имитационное моделирование протоколов маршрутизации сетей связи на базе стека протоколов TCP/IP, в ходе которого в программе Riverbed был реализован фрагмент сети связи с пакетной коммутацией, произведены измерения вероятностных характеристик трафика протоколов маршрутизации, после анализа которых сделаны выводы при проектировании сетей связи.

Целью работы является исследование вероятностных характеристик трафика протоколов маршрутизации на основе имитационного моделирования.

Задачами работы являются построение имитационной модели сети связи, использующей протоколы маршрутизации на базе стека протоколов TCP/IP, определение наиболее значимых характеристик трафика протоколов маршрутизации на основе имитационного моделирования, исследование статистических зависимостей трафика в условиях отказа линий связи, сравнительный анализ полученных результатов исследований трафика протоколов маршрутизации на базе стека протоколов TCP/IP.

A.S. Puzanov, K.A. Batenkov, M.V. Stremoukhov

IMITATIVE MODELING OF THE COMMUNICATION NETWORK WITH REJECTIONS WITH THE RIVERBED PROGRAM

The Academy of Federal Guard Service
of the Russian Federation, Oryol, Russia
E-mail: lescha.puzanov@yandex.ru

Keywords: simulation modeling, routing protocols, communication network convergence time, probabilistic characteristics of traffic of routing protocols, software Riverbed.

The article discusses the modeling of routing protocols based on the TCP / IP protocol stack, during which a fragment of the packet communication network was implemented in the Riverbed program, the probabilistic characteristics of routing protocol traffic were measured, and after analyzing them, conclusions were drawn in the design of communication networks.

The aim of the paper is to investigate the probabilistic characteristics of routing protocol traffic based on simulation modeling.

The tasks of the work are the construction of a simulation model of a communication network using routing protocols based on the TCP / IP protocol stack, determining the most significant traffic characteristics of routing protocols based on simulation modeling, investigating the statistical dependencies of traffic in the conditions of link failure, a comparative analysis of the obtained results of traffic analysis of routing protocols Based on the TCP / IP protocol stack.

В настоящее время бурно развиваются сети связи, поэтому остро стоит вопрос разработки нового оборудования, программного обеспечения, различных стандартов и спецификации, подготовки специалистов в области коммуникаций. Имитационное моделирование решает задачи по обеспечению качества услуг, предоставляемым пользователям, дает возможность построить фрагмент сети связи, произвести измерения различных параметров, а также является более дешевым решением при проектировании сетей связи, чем их физическая реализация на практике.

Имитационное моделирование – метод исследования, основанный на том, что изучаемая модель заменяется имитирующей. Над имитирующей моделью проводят эксперименты (не используя экспериментов на реальном объекте) и в результате получают данные об изучаемой системе. Метод позволяет имитировать работу сетей связи

так, как она происходила бы в режиме реального времени, с учетом топологии сети, протоколов маршрутизации, отказов в сети из-за различных дестабилизирующих факторов, наличия материальных ресурсов. В итоге, можно оценить работу спроектированной модели [1].

В качестве программного продукта для имитационного моделирования сети связи будем использовать программу Riverbed. Она опирается в своей работе на информацию о расположении сети, количестве линий и узлов связи, настройке элементов сети, скоростях передачи данных, используемых протоколах и типе оборудования [2].

Создадим простую сеть, на основе стека протоколов TCP/IP, включающую в себя два компьютера, восемь маршрутизаторов, линии связи между этими элементами с учетом резервирования для надежной работы в условиях влияния дестабилизирующих факторов на них. После завершения настройки данной модели смоделирую отказы в сети, возникающие в случайные моменты времени, при этом можно будет проанализировать такие характеристики, как задержки в сети, время сходимости сети при использовании различных протоколов маршрутизации.

Создание нового проекта [3].

Запустить Riverbed Modeler Academic Edition. Нажать на кнопку "I have read this…". Выбрать пункт меню File → New. Выбрать в выпадающем списке Project и нажать OK. Ввести в поля Project name – Routing_RIP, Scenario name – TCP и нажать OK (рисунок 1).

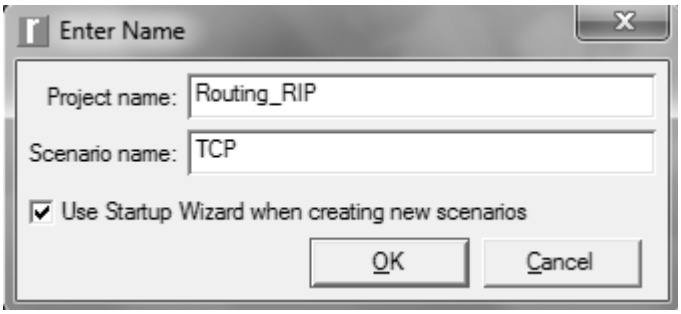


Рис.1 Название моделируемой сети

В диалоговом окне Startup Wizard: Initial Topology пометить поле Create Empty Scenario и нажмите Next. Пометить поле Office и нажать Next. Заполнить поля: X span – 100, Y span – 100, Units – Meters и дважды нажать Next. Посмотреть внимательно выбранные параметры и нажать Finish (рисунок 2).

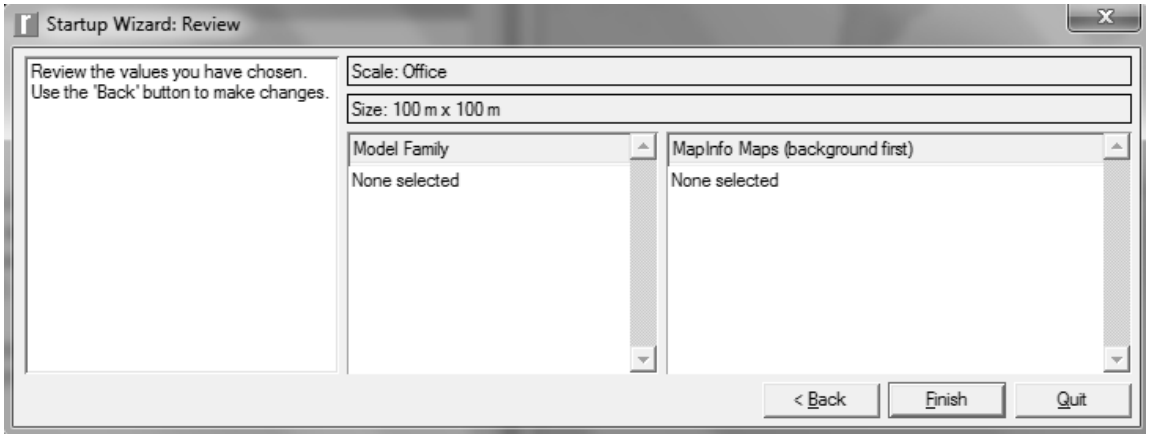


Рис. 2 Просмотр выбранных параметров

Создание фрагмента сети связи.

Диалоговое окно Object Palette tree должно находится поверх всех остальных окон. Если это не так, то нажать на пиктограмму Open Object Palette. Убедиться, что выбран раздел internet_toolbox в окне Object Palette tree.

Создаем топологию сети, используя узлы и линии, указанные в таблице 1 (рисунок 3).

Таблица 1– Спецификация узлов, линий и потоков

Номер объекта	Название объекта	Модель объекта
1	Source	ethernet_wkstn_adv
2	Destination	ethernet_wkstn_adv
3	Router1	ethernet4_slip8_gtwy
4	Router2	ethernet4_slip8_gtwy
5	Router3	ethernet4_slip8_gtwy
6	Router4	ethernet4_slip8_gtwy
7	Router5	ethernet4_slip8_gtwy
8	Router6	ethernet4_slip8_gtwy
9	Router7	ethernet4_slip8_gtwy
10	Router8	ethernet4_slip8_gtwy
11	Task	Task Config
12	Application	Application Config
13	Profile	Profile Config
14	Fail	Failure Recovery
15	Router ↔ Router	ppp_adv
16	Source ↔ Router1	100BaseT
17	Destination ↔ Router8	100BaseT

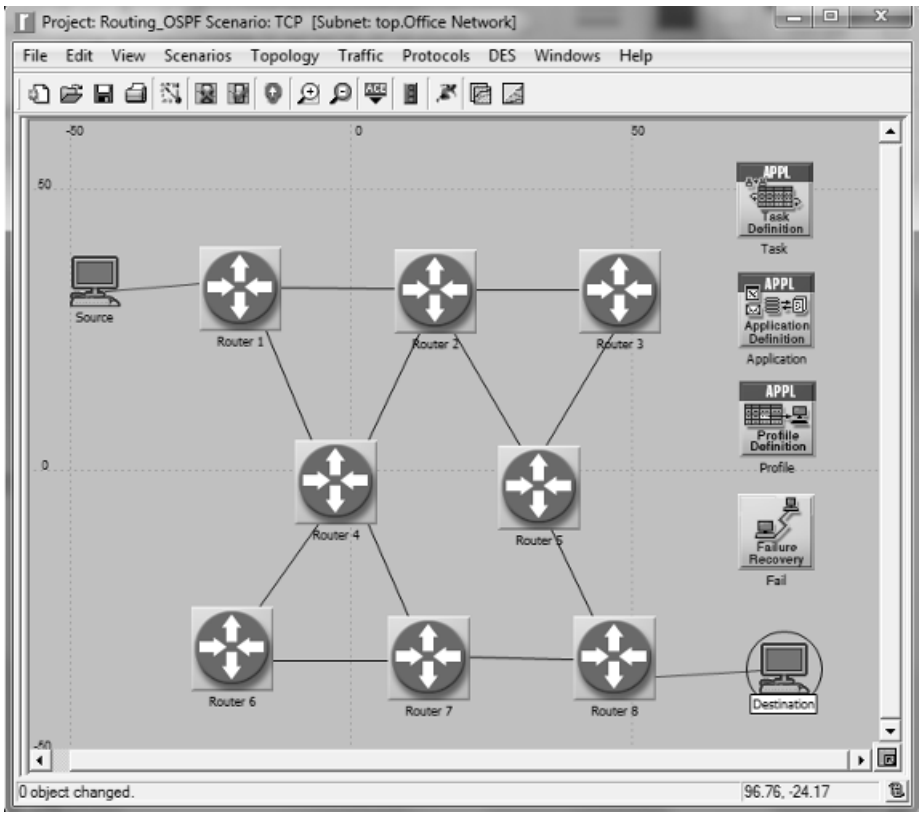


Рис. 3 Топология сети

Проверим связность сети. Выбираем пункт меню Topology → Verify Links. В открывшемся окне выбираем опцию Verify links и нажимаем OK. Если все линии соединены корректно, то появится сообщение "All links and paths are connected properly" в нижней части окна Project Editor. Если связность сети нарушена, то необходимо выполнить соответствующие корректировки.

Чтобы переименовать объекты сети связи согласно рисунку 3 необходимо зайти в свойства объекта, нажав на нем правой кнопкой мыши Edit Attributes. Для всех объектов в поле name выбираем соответствующее имя, а для терминалов Source и Destination дополнительно и в поле Client Address. Нажимаем OK.

Конфигурация задания.

Для входа в свойства объекта Task (Task Config) нажимаем на нем правой кнопкой мыши Edit Attributes. Раскрываем выпадающий список Task Specification. В поле Number of Rows цифру *0* заменяем на *1*.

Раскрываем выпадающий список Enter Task Name. В поле Task Name вводим *task1*. Нажимаем на правый столбец поля Manual Configuration.

Устанавливаем параметры потока (Source → Destination) в первой строке. В окне Manual Configuration выставляем в поле Rows цифру *1* и вводим в первой строке в поле Source название источника *Source*, в поле Destination – *Destination*. Нажимаем на поле Source –> Dest traffic и в открывшемся окне выставляем параметры. Нажимаем OK. В поле Dest traffic –> Source выставляем *No Response* (рисунок 4).

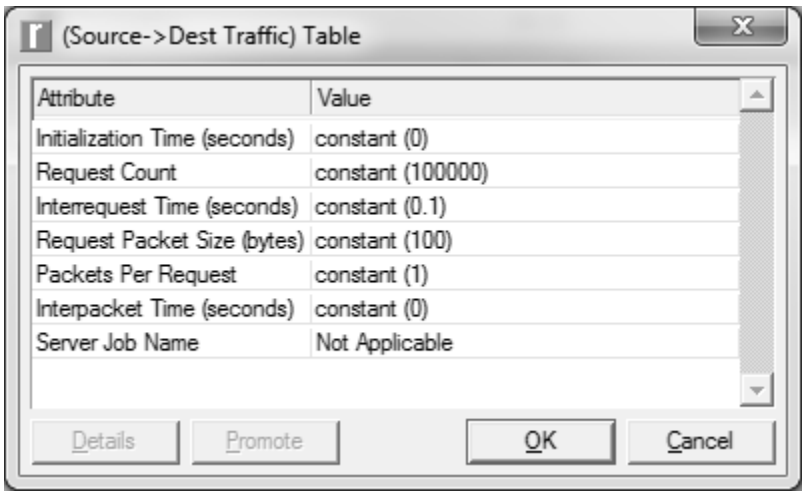


Рис. 4 Окно параметров потока.

Конфигурация приложения.

Для входа в свойства объекта Application (Application Config) нажимаем на нем правой кнопкой мыши Edit Attributes. Раскрываем выпадающий список Application Definitions. В поле Number of Rows цифру *0* замените на *1*.

Раскрываем выпадающие списки Enter Application Name и Description. В поле Name вводим *app1*. Два раза нажмите на правый столбец поля Custom.

В открывшемся окне Custom выставляем в поле Transport Protocol позицию *TCP*. Два раза нажмите на правый столбец поля Task Description.

В открывшемся окне Task Description выставьте в поле Rows цифру *1*. В поле Task Name выбераем *task1*. Нажимаем OK три раза.

Конфигурация профиля.

Для входа в свойства объекта Profile (Profile Config) нажимаем на нем правой кнопкой мыши Edit Attributes. Раскрываем выпадающий список Profile Configuration. В поле Number of Rows цифру *0* заменяем на *1*.

Раскрываем выпадающие списки Enter Profile Name и Applications. В поле Profile Name вводим *prof1*. В поле Number of Rows выпадающего списка Applications цифру *0* заменяем на *1*. Нажимаем на правый столбец поля Start Time (seconds). В открывшемся окне выставляем: Distribution name – *constant*, Mean outcome – *0*. Нажмите OK.

Раскрываем выпадающий список Enter Application Name. В поле Name выбераем *app1*. Два раза нажимаем на правый столбец поля Start Time Offset (seconds). В открывшемся окне выставляем: Distribution name – *constant*, Mean outcome – *0*. Нажимаем OK два раза.

Конфигурация терминалов.

Настройка поддерживаемых приложений. Для входа в свойства объекта Destination (ethernet_wkstn_adv) нажимаем на нем правой кнопкой мыши Edit Attributes. Раскрываем выпадающие списки Applications и Application: Supported Profiles. В поле Number of Rows цифру *0* заменяем на *1*. Раскрываем выпадающий список None. В поле Profile Name выбираем *prof1*. Нажимаем OK.

Настройка направления потока. Для входа в свойства объекта Source (ethernet_wkstn_adv) нажимаем на нем правой кнопкой мыши Edit Attributes. Раскрываем выпадающий список Application: Destination Preferences. В поле Number of Rows цифру *0*

заменяем на *1*. Раскрываем выпадающие списки All Applications и Actual Name. В поле Number of Rows выпадающего списка Actual Name цифру *0* заменяем на *1*. Раскрываем выпадающий список None. В поле Name выбираем *Destination*. В поле Symbolic Name выбираем *Destination*. Раскрываем выпадающий список Application: Source Preferences. В поле Number of Rows цифру *0* заменяем на *1*. Раскрываем выпадающий список None. В поле Symbolic Name выбираем *Source*. Нажимаем OK.

Конфигурация линий между маршрутизаторами.

Для входа в свойства объектов Router ↔ Router (ppp_adv) нажимаем на них правой кнопкой мыши Edit Attributes.

В полях data rate вводим скорости линий связи. Обращаем внимание, что скорости в полях data rate имеют размерность бит/с.

Идентификация номеров портов линий связи между маршрутизаторами. Для входа в свойства линий связи (ppp_adv) нажимаем на одной из них правой кнопкой мыши и выбираем пункт меню Edit Ports. В открывшемся окне Select Port Assignment смотрим, к какому порту и какого узла подключена идентифицируемая линия связи. Обычно портами подключения являются порты IF10, IF11, IF4. Нажимаем Cancel.

Выбор протокола маршрутизации.

Выбираем пункт меню Protocols → IP → Routing → Configure Routing Protocols…

В открывшемся окне Routing Protocol Configuration помечаем галочкой опцию RIP и нажимаем OK.

Автоматическая настройка IP адресов.

Выбираем пункт меню Protocols → IP → Addressing → Auto Assign IP Addresses… В открывшемся окне в области IPv4 выбираем опции Auto-assign IPv4 addresses и Start with network address.

В поле Start with network address вводим начальный IP адрес в сети. В выпадающем списке справа выбираем значение *Auto*.

Проверяем, отмечена ли опция All interfaces в области Apply above selection to. Если нет, то отмечаем ее. Нажимаем OK.

Настройка параметров протокола RIP и OSPF.

Для выделения всех маршрутизаторов нажмите правой кнопкой мыши на любом из них и в появившемся меню выберите пункт Select Similar Nodes. Для входа в свойства объектов Router1 – Router6 (*ethernet4_slip8_gtwy*) нажимаем на любом из маршрутизаторов правой кнопкой мыши и выбираем пункт меню Edit Attributes.

В окне Attributes отмечаем галочкой поле Apply to Selected Objects для групповой конфигурации маршрутизаторов.

Раскрываем выпадающие списки IP Routing Parameters, RIP Parameters, Interface Information (12 Rows) и выпадающие списки тех портов, к которым подключены линии связи между маршрутизаторами, например IF10.

Устанавливаем в поле Advertisement Mode значение из выпадающего списка *Disabled*, что предполагает использование простейшего метода рассылки уведомлений, при котором маршрутизаторы обмениваются маршрутной информацией периодически, а не только при инициализации сети и в случае каких-либо изменений.

Устанавливаем в поле Triggered Extension значение из выпадающего списка *Disabled*, что предполагает использование простейшего метода рассылки уведомлений,

при котором маршрутизаторы обмениваются маршрутной информацией периодически, а не только при инициализации сети и в случае каких-либо изменений.

Раскрываем выпадающие списки Reports, RIP Routing Table. Устанавливаем в поле Status значение из выпадающего списка *Enabled* для включения режима отображения таблиц маршрутизации. Нажимаем OK.

Настройка параметров обработки действий протокола RIP.

Нажимаем на пиктограмму Configure/Run Discrete Event Simulation (DES). В окне Configure/Run DES во вкладке Global Attributes раскрываем выпадающий список Simulation Efficiency. В полях RIP Sim Efficiency и OSPF Sim Efficiency выбираем значение из выпадающего списка *Enabled*.

В окне Configure/Run DES во вкладке Global Attributes раскрываем выпадающий список IP. В поле IP Interface Addressing Mode выбирае значение из выпадающего списка *Auto Addressed/Export*. Нажимаем Apply.

Выбор статистики.

Нажимаем правой кнопкой мыши на любом месте рабочей области окна Project. Выбираем пункт Choose Individual Statistics.

Раскрываем выпадающие списки Global Statistics и RIP. Отмечаем пункты Traffic Sent (bits/sec), Traffic Received (bits/sec) и Network Convergence Duration (sec).

Убеждаемся, что выделен один из пунктов и в области Collection Mode нажимаем кнопку Modify… В открывшемся окне Network Convergence Duration (sec) в поле Capture mode выбираем значение из выпадающего списка *all values*. Убеждаемся, что в области Statistic information установлена опция Draw style discrete. Если это не так, то вносим изменения, используя кнопку Modify… области Statistic information.

Раскройте выпадающие списки Global Statistics и Custom Application. Отметьте пункты Packet Network Delay (seconds), Traffic Sent (bytes/sec) и Traffic Received (bytes/sec), Traffic Sent (packets/sec) и Traffic Received (packets/sec)

Раскрываем выпадающие списки Link Statistics и point-to-point. Отмечаем пункты throughput (bits/sec) –>, throughput (bits/sec) <–.

После настройки фрагмента сети связи смоделируем отказы в сети, появляющиеся в случайные моменты времени. Для этого необходимо к элементу Failure Recovery подключить файл с расширением .gdf, в котором отображаются элементы сети, вышедшие из строя в случайные моменты времени. Сначала экспортируем файл с расширением .gdf. Открываем этот файл, копируем его содержимое и вставляем в лист Excel. В Excel с помощью формул задаем случайным образом время отказа и восстановления элементов сети как показано на рисунке 5. Данные из листа Excel копируем и вставляем в экспортирумый нами файл с расширением .gdf, сохраняем его.

C3 =СЛУЧМЕЖДУ(0;2000*F1)/1000

	A	B	C
1	# Node Name	Event Type	Event Time
2	# =========	==========	==========
3	Office Network.Router 1	Failure	3,105
4	Office Network.Router 1	Recover	6,461
5	Office Network.Router 2	Failure	0,345
6	Office Network.Router 2	Recover	5,241
7	Office Network.Router 3	Failure	2,169
8	Office Network.Router 3	Recover	8,086
9	Office Network.Router 4	Failure	2,541
10	Office Network.Router 4	Recover	3,658
11	Office Network.Router 5	Failure	0,054
12	Office Network.Router 5	Recover	4,808
13	Office Network.Router 6	Failure	0,973
14	Office Network.Router 6	Recover	3,809

Рис. 5 Задание времени отказов и восстановлении элементов сети

Для подключения этого файла нажимаем правой кнопкой мыши на элементе Fail, выбираем Edit Attributes. В появившемся окне Attributes нажимаем на правый столбец поля Link Failure/ Recovery Specification File, в окне Link Failure/ Recovery Import File в поле Choose file to import выбираем созданный нами файл с расширением .gdf как показано на рисунке 6. Нажимаем ОК.

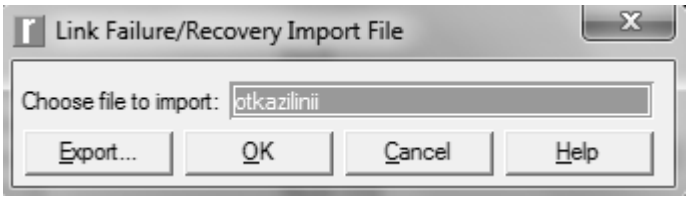


Рис. 6 Загрузка файла с отказами и восстановлениями

Эксперимент.

Нажимаем на пиктограмму Configure/Run Discrete Event Simulation (DES). В окне Configure/Run DES выбираем в поле Duration *240 minute(s)*., в поле Values per statistic – *100000*. Нажимаем Run.

Закрываем появившееся окно Simulation Execution нажатием Close.

Нажимаем на пиктограмму View Results. В окне Results Browser выбираем интересующие статистики. Статистики следует смотреть в режиме мгновенных значений, для чего необходимо из выпадающего списка окна Results Browser выбрать позицию *As Is*, либо средних – позиция *average*, либо же усредненных на временном окне – позиция *time_window_average*. Для последнего варианта в области 'time_window_average' parametres в полях min_time и max_time выставляется минимальное и максимальное значения временного окна соответственно, выраженное в секундах.

После снятия статистических данных характеристик трафика протоколов маршрутизации приступаем к их анализу.

При исследовании протокола RIP изменялось среднее время между отказами линии связи τ (100, 300, 1000, 3000, 10000 секунд) и среднее время восстановления линии связи θ (3, 30, 300 секунд). При этом использовались протоколы транспортного уровня TCP и UDP. После анализа полученных данных построены на графиках зависимости задержки

пакетов, коэффициента потерь по байтам, времени конвергенции сети, объема переданного трафика протоколом RIP от среднего времени между отказами и среднего времени восстановления линии связи.

На рисунке 7 изображена зависимость задержки пакетов t от среднего времени между отказами линии связи τ при использовании протокола RIP, при среднем времени восстановления линии связи θ = 3 с и θ = 300 с, при использовании транспортных протоколов TCP и UDP.

Из графика на рисунке 7 видно, что при использовании протокола UDP значения задержки пакетов в сети меньше, чем при протоколе TCP, связано это с тем, что процедура передачи пакетов при UDP не требует подтверждения о приеме пакетов адресатом.

В случае применения протокола TCP и вариации среднего времени восстановления сети $\theta_{.}$ = 3 с и θ = 300 с видно, что при $\theta_{.}$ = 3 с значения задержки пакетов в сети больше, чем при θ = 300 с. Данное явление объясняется тем, что повреждения линий связи вызывают перебои в передачи пакетов от источника к получателю и транспортный протокол вынужден уменьшать значение временного окна для обеспечения гарантированной доставки данных.

На рисунке 8 изображены зависимости коэффициента потерь пакетов p от среднего времени между отказами линии связи τ при изменении среднего времени восстановления сети $\theta_{.}$ = 3 с на θ = 300 с и протокола UDP на TCP. Из рисунка 8 видно, что коэффициент потери пакетов p для протокола UDP при среднем времени восстановления сети $\theta_{.}$ = 3 с и θ = 300 с больше, чем при использовании протокола TCP. Это объясняется тем, что транспортный протокол UDP не контролирует доставку переданных пакетов до получателя.

На рисунке 9 отмечены зависимости времени сходимости сети от среднего времени между отказами линии связи τ. Согласно этому рисунку ясно, что при увеличении среднего времени между отказами линии связи τ время сходимости сети уменьшается. Данное явление объясняется тем, что маршрутизаторы быстрее успевают обновить свои маршрутные таблицы до того момента, когда возникают все реже появляющиеся отказы линий связи. При значении $\theta_{.}$ = 3 с и τ = 100 с время сходимости сети большое как для протокола TCP, так и протокола UDP. Отсутствие некоторых значений на рисунке 9, например, значений времени сходимости сети при θ = 300 с говорит о том, что сеть не сходится, маршрутизаторы не успевают обновлять маршрутные таблицы, как уже снова появляются отказы линий связи.

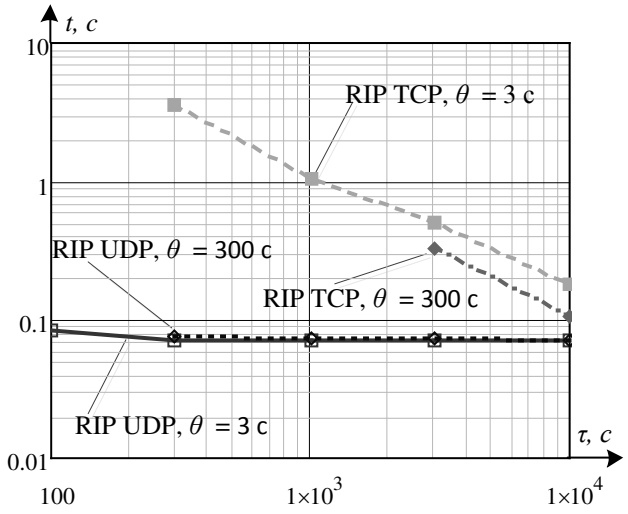


Рис. 7 Зависимость задержки пакетов *t* от среднего времени между отказами линии связи τ

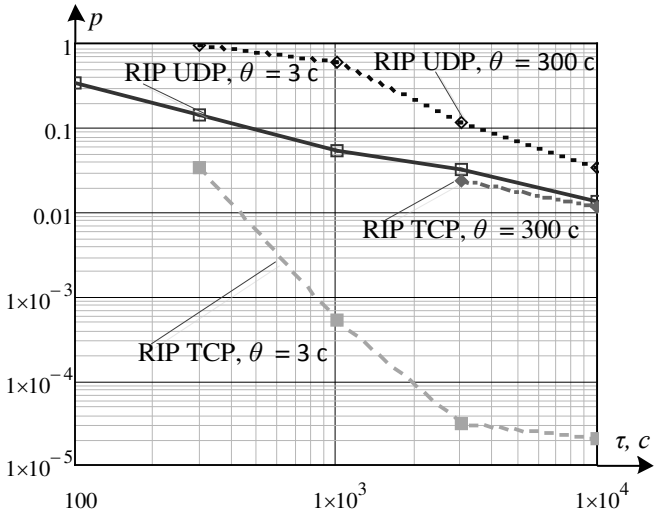


Рис. 8 Зависимость коэффициента потерь пакетов *p* от среднего времени между отказами линии связи τ

На рисунке 10 отображены зависимости объема переданного трафика *V* от среднего времени между отказами линии связи τ. Из рисунка видно, что объем переданного трафика *V* протокола маршрутизации RIP уменьшается при увеличении среднего времени между отказами линий связи τ. Это объясняется тем, что при увеличении времени между отказами линий связи τ маршрутизаторам приходится реже обновлять свои маршрутные таблицы.

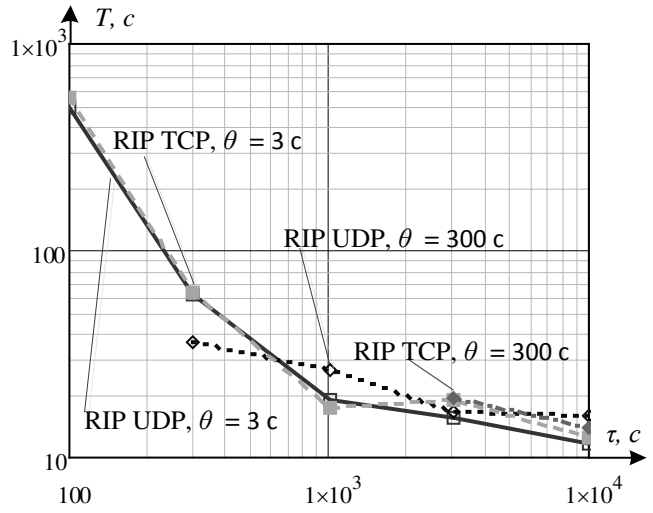


Рис. 9 Зависимость времени сходимости сети T от среднего времени между отказами линии связи τ

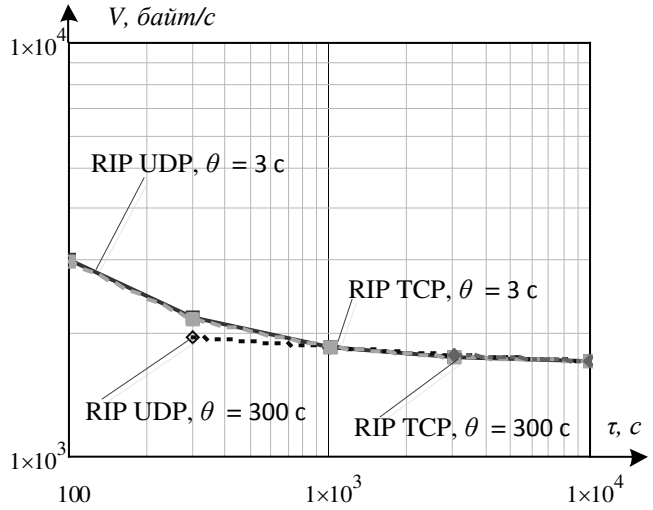


Рис. 10 Зависимость объема переданного трафика V от среднего времени между отказами линии связи τ

Таким образом, осуществили имитационное моделирование сети связи с отказами с помощью программы Riverbed. На фрагменте сети были получены статистические данные характеристик трафика протоколов маршрутизации, проанализировано влияние среднего времени между отказами и среднего времени восстановления линии связи на такие характеристики как: задержка пакетов, коэффициент потерь по байтам, время конвергенции сети, объем переданного трафика протоколом RIP.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рыжиков Ю.И.* Имитационное моделирование. СП., Изд-во. КОРОНА принт, М., Изд-во. Альтекс-А., 2004. – 380 с.

2. *Adarshpal S. Sethi, Vasil Y. Hnatyshin* The Practical OPNET User Guide for Computer Network Simulation. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013. – 480 c.
3. *Чечик В.В., Батенков К.А.* Имитационное моделирование трафика HTTP с помощью программной среды Riverbed (тезис). Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2016. – Т. 1. – № 9. – с. 273–277.

А.В. Рахимьянов, П.В. Лобзенко

ANDROID ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЗАПОМИНАНИЯ ИЗУЧАЕМОГО МАТЕРИАЛА

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сервер, приложение на языке C++ и Java, среда разработки Android Studio, Qt, улучшение запоминания.

Разработано Android приложение для эффективного запоминания изучаемого материала. Приложение отличается удобной компоновкой и состоит их клиентской и серверной частей с размещением контента на интернет- ресурсах, что значительно минимизирует объем клиентской части. В дополнение к этому, приложение реализует интервальный метод запоминания информации, обеспечивая удобный и оперативный доступ к необходимому контенту.

A.V. Rahimjanov, P.V. Lobzenko

AN ANDROID APPLICATION FOR EFFICIENT MEMORIZATION OF THE STUDIED MATERIAL

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: server application in C++ and Java development environment Android Studio, Qt, to improve retention.

Developed an Android application for efficient memorization of the studied material. The application has a comfortable layout and consists of client and server parts with the placement of content on the Internet, which greatly minimizes the amount of client side. In addition to this, the application implements interval method of storing information, providing convenient and prompt access to the necessary content.

Объем профессиональных и общих знаний возрос за последнее столетие во много раз. Наблюдается большее его увеличение и дополнение большим количеством новой информации. Развитие памяти, методик запоминания, сохранения и воспроизведения информации – это одна из актуальных проблем человека в настоящее время. Улучшению запоминания и сохранения в памяти нужной информации способствует развитие и использование определенных приемов и методов запоминания.

В основном, применение этих приемов способствует усвоению и запоминанию материала общеобразовательной и специальной направленности для студентов и школьников, так как это является основой их деятельности. Сам процесс обучения будет потерян, если он будет проходить без усвоения, понимания и удержания в памяти изучаемого материала.

Необходимо, также отметить важность эффективного процесса запоминания информации различного рода, практически, на всех этапах технологического процесса современного ведения бизнеса вцелом не зависимо от рода деятельности. В настоящее время в любом направлении деятельности человека количество уникальной информации, требующейся для осуществления этой деятельности, постоянно растет. Поэтому, тема эффективного запоминания будет актуальна во все времена.

Однако, совсем немного разработок находятся в открытом доступе на сегодняшний день, обеспечивающих процесс запоминания новой информации. Наиболее популярные из них это приложения «Anki» [1], «Mnemosyne» [2] и онлайн сервис «Зотка» [3].

Все они построены по принципу простых опросников:

- Вопрос/ответы могут быть в виде звукового файла или картинки;

-Автоматическое создание перевернутых пар карточек, или множества пересекающихся карточек из набора данных (удобно при изучении иероглифов).

- Вывод дополнительной информации разного характера (например, статистики).

Основным недостатком этих сервисов является их контролирующая направленность, т.е. они, собственно говоря, предназначены для процесса контроля знания материала, а не для процесса его запоминания.

Представленная программа реализует метод интервального повторения для запоминания новых данных [4]. Он заключается в повторении запоминаемого учебного материала по определенным, постоянно увеличивающимся интервалам. Основной принцип такой- повторение материала выполняется раньше, чем наступит его забывание:

$$Y=2X+1, \qquad (1)$$

где: Y – день, в который информация начнет забываться (забывание идет постепенно и равно Y дням);

X – день последнего повторения после заучивания.

К примеру, если заучивание было вчера, то есть ноль дней назад, то повторение необходимо сегодня, и желательно в начале дня. А если позавчера, то есть один день назад, следовательно, одно повторение, то повторение необходимо на третий день. После повторения - на третий день, следующее необходимо в седьмой и так далее.

Таким образом, разработанная программа реализует систему оповещений клиента о наступлении события необходимого повторения изучаемого материала. При этом, на его

гаджет выводятся ссылки на те части контента, которые необходимо повторить в текущее время.

Приложение реализовано в виде серверной и клиентской частей.

Серверная часть программы написана на объектно-ориентированном языке программирования C++ [5], используя среду разработки Qt [6].

Эта часть программы представляет собой основной модуль, управляющий работой всего приложения (рис. 1).

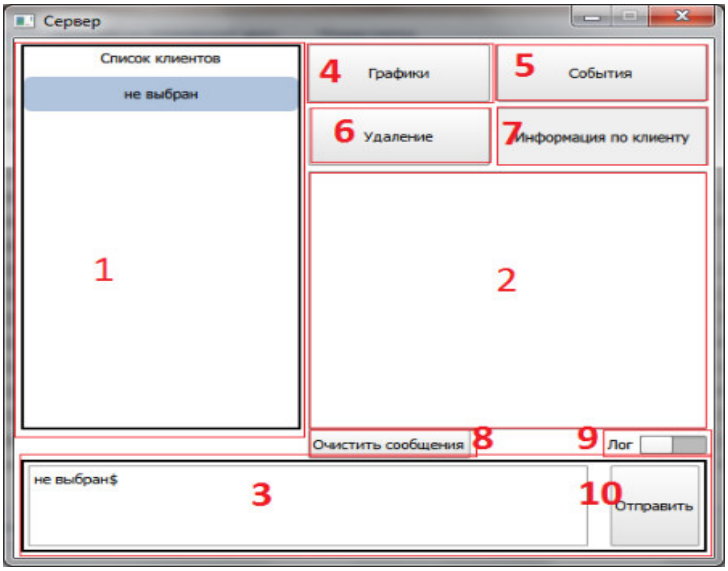


Рисунок 1 – Главное окно приложения

На этом рисунке обозначено:

1. Список клиентов.
2. Область отправленных и принятых сообщений.
3. Поле ввода сообщения
4. Кнопка перехода к окну графиков.
5. Кнопка перехода к окну событий.
6. Кнопка перехода к окну удаления клиентов и их графиков.
7. Кнопка перехода к окну информации по клиентам.
8. Кнопка очистки сообщений.
9. Переключатель для просмотра журнала событий.
10. Кнопка отправки сообщения.

Видно, что в этом окне можно задавать списки клиентов (с помощью приложения можно обучать группы и курсы), отправлять сообщения выбранным из них, очищать окно сообщений, смотреть журнал событий, составлять и согласовывать графики повторения изучаемого материла.

Одной из основных функций этой части приложения является формирование графика событий, реализующих интервальный метод запоминания информации (рис. 2).

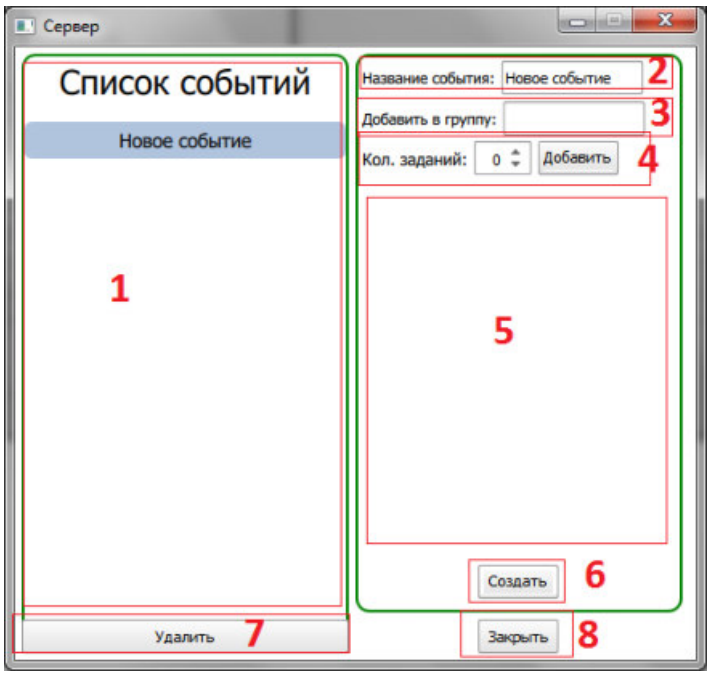


Рисунок 2 – Окно «События»

Здесь обозначено:

1. Список созданных событий.
2. Поле ввода имени события.
3. Поле ввода группы событий.
4. Добавление N-го количества заданий данного события.
5. Область списка заданий.
6. Кнопка создания события.
7. Удаления выбранного события.
8. Закрытие окна.

Средой разработки для написания клиентской части приложения для платформы Android была выбрана IDE Android Studio [7]. Эта часть приложения имеет основные разделы, обеспечивающие отслеживание графика повторений, отображения событий и выполнение действий, если они наступили (рис. 3).

Рисунок 3 – Главное окно клиентской части приложения, размещаемой на мобильном устройстве

На рисунке обозначено:

1. Кнопка перехода на окно соединения с сервером.
2. Кнопка перехода на окно с чатом.
3. Кнопка перехода на окно с графиком.
4. Кнопка перехода на окно с событиями.

Отметим, что программа составлена в объектно-ориентированной среде и состоит из отдельных модулей. Общая функциональная схема приложения показана на рисунке 4.

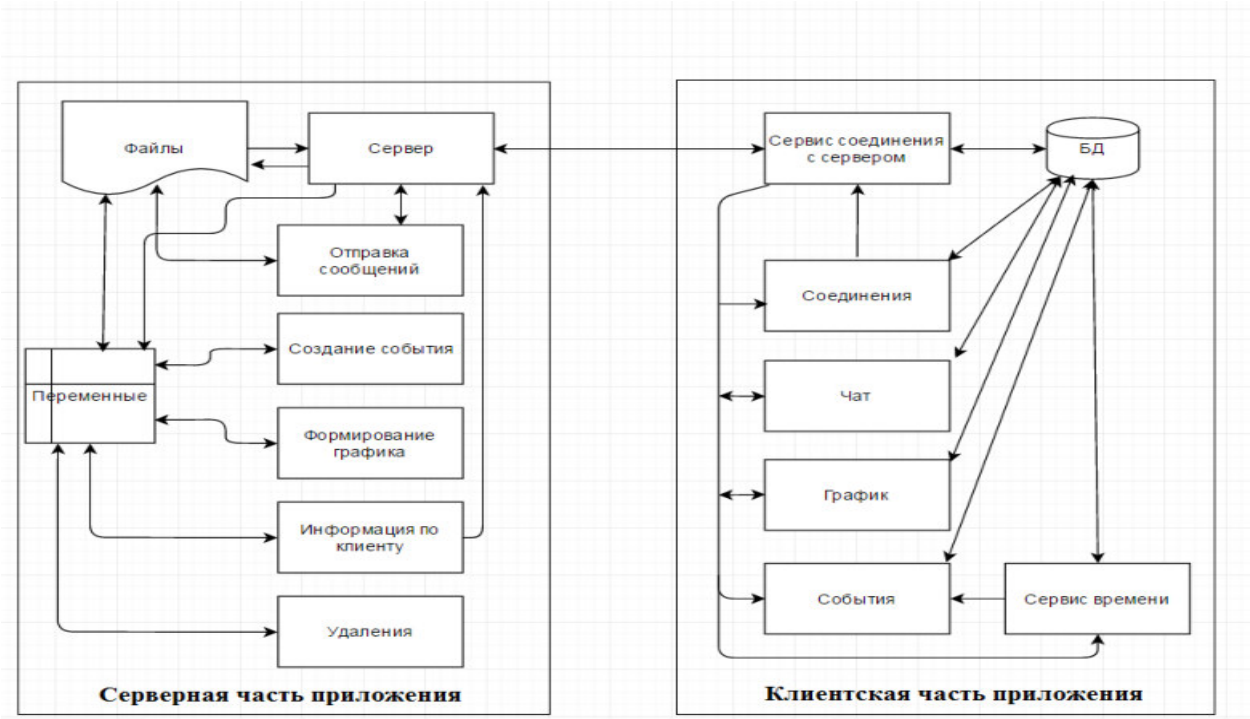


Рисунок 4- Функциональная схема всего приложения

Таким образом, приложение настроено так, что события (повторение необходимых частей изучаемого материала) появляются и отображаются через клиентскую часть приложения на мобильных устройствах обучаемых в виде перечня ссылок на различные виды повторяемого контента и сопровождаются визуальным и звуковым сигналами (рис. 5).

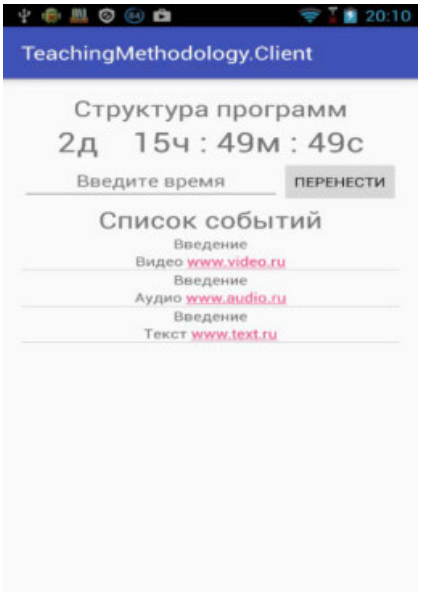


Рисунок 5 – Отображение событий на гаджете клиента

Разработанное приложение обладает следующими преимуществами:

1. Реализует эффективный способ изучения и запоминания информации.

2. Обладает простым, понятным и удобным пользовательским интерфейсом.
3. Реализует гибкий график повторения материала (в допустимых временных рамках события можно переносить на более позднее время).
4. Полностью реализует для клиента научно обоснованный график необходимых повторений изучаемого материала и отслеживает его выполнение.
5. Предоставляет исчерпывающую информацию при наступлении события (можно выбирать в каком виде: аудио-, видео- или текстовом повторять материал).
6. Обеспечивает работу с обучаемыми в составе групп и курсов.
7. Для работы с приложением достаточно первичных навыков пользователя ПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anki* официальный сайт. Описание. // [Электронный ресурс] *URL: https://apps.ankiweb.net/.*
2. *Mnemosyne* официальный сайт. Описание. // [Электронный ресурс] *URL: http://mnemosyne-proj.org/.*
3. Зотка официальный сайт Зотка. Описание. // [Электронный ресурс] *URL: http://zotka.ru/.*
4. Mace Cecil Alec. The psychology of study. — London: Methuen & Co. Ltd., 1932.
5. Бьерн Страуструп. Дизайн и Эволюция C++, Питер, 2006 – 448с.
6. Шлее М. Qt 4.8. Профессиональное программирование на C++, БХВ-Петербург, 2012 - 894с.
7. Описание Android Studio // [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Android_Studio.

И.Г. Ремез

АКТУАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ СТРАТЕГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: стратегия, направления развития, информационное общество, факторы роста, инфокоммуникационные технологии, связь.

В статье рассматриваются тенденции формирования экономики информационного общества, основные задачи, определяемые Стратегией социально-экономического развития Свердловской области до 2030 года в сфере инфокоммуникаций, их влияние на развитие региона. Рассмотрены тренды развития инфокоммуникаций у ведущих операторов Свердловской области.

I.G. Remez

ACTUALIZATION OF THE BASIC STRATEGIC DIRECTIONS OF INFOCOMMUNICATIONS DEVELOPMENT IN SVERDLOVSK REGION

Federal Communications Agency Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Key words: strategy, directions of development, information society, growth factors, infocommunication technologies, communication.

The article examines the trends in the formation of the economy of the information society, the main tasks determined by the Strategy of social and economic development of the Sverdlovsk region until 2030 in the field of infocommunications, their influence on the development of the region. Trends in the development of infocommunications for the leading operators of the Sverdlovsk region are considered.

Необходимым элементом конкурентной борьбы и стратегического развития во всех сферах услуг и промышленности в настоящее время стали информационно - коммуникационные технологии (ИКТ). Современными тенденциями инфокоммуникаций являются :перенос акцента в борьбе конкурентов на дополнительные услуги, активизация внедрения самых передовых инфокоммуникационных технологий в социально-экономическую жизнь страны и регионов ,их непосредственное влияние на развитие рынка в целом как в России, так и в регионах. Дополнительными рисками для инвестирования в развитие сферы инфокоммуникаций в стране могут стать различия в уровне развития информационного пространства различных регионов, малое количество фирм, производящих телекоммуникационное оборудование и др. Инфокоммуникационная система – это не только сфера бизнеса или отрасль хозяйствования, но и неотъемлемая составляющая информационного общества.

Тенденцию формирования экономики информационного общества четко характеризует также широко распространенный термин «экономика знаний» Производство знаний становится важнейшей функцией общества, обеспечивающей его выживание и дальнейший прогресс Можно констатировать всеобъемлющее значение данного факта, так как знания, зафиксированные в новейших технологиях и компьютерных системах, неизбежно становятся объективным средством развития. Этот процесс становится в настоящий момент все значительнее и масштабнее, приобретая новое качество. Так формируется информационная цивилизация. Основой ее существования становятся знания. Причем они весьма сложны и специальны. Чтобы их использовать как раз и необходимы особые средства, которыми становятся информационные и коммуникационные технологии.

Все вышеизложенное должно учитываться органами государственной власти при разработке стратегии развития отрасли информационных технологий и связи в стране и любом ее регионе.

Региональные органы власти Свердловской области при планировании развития отрасли для дальнейшей интеграции в телекоммуникационное российское пространство, а также в целях долгосрочного прогнозирования особое внимание уделяют стратегическому анализу основных тенденций, внешних и внутренних условий и факторов, определяющих развитие отрасли в последние годы, диагностике ее вклада в социально-экономическое развитие области на момент актуализации Стратегического плана. Для осуществления оценки перспективного состояния инфокоммуникаций в ходе актуализации Стратегии социально-экономического развития Свердловской области до 2030 года следовало определить их основные конкурентные преимущества , положительные тенденции в развитии, вклад в формирование благоприятного хозяйственного климата и улучшение качества жизни населения, а также выявить отрицательные тенденции, сдерживающие развитие.

Как указывалось ранее, в настоящее время социально-экономическое развитие сопровождается процессами, характерными для становления открытого общества, которое унифицируясь, в свою очередь, преобразуется в информационное и глобально-рыночное. Человеческий капитал и знания, заключенные в нем, при особых условиях становятся основой экономики знаний . Как фактор устойчивого роста особое значение приобретает качество жизни. Все это предполагает разработку и использование новых технологий 21-го века и ведет к значительной экономии материальных и трудовых ресурсов .Кроме данных факторов можно отметить усиление роли регионов в развитии российского общества как общую тенденцию развития страны. При осуществлении государственного регулирования и экономической интеграции регионов, для устойчивого территориального развития и требуется наличие таких средств связи и способов обработки информации, которые позволяют не только контролировать и регулировать экономические процессы, но и прогнозировать их.

Утвержденные показатели и реально достигнутый уровень развития инфраструктуры инфокоммуникаций Свердловской области и города Екатеринбурга за прошедший период показывают успешное выполнение стратегических проектов, определенных «Стратегией 2020» и позволяют перейти к новому этапу в развитии инфокоммуникационной инфраструктуры. Свердловская область в числе первых в стране не только приняла стратегию социально-экономического развития до 2030 года, но и сформировала план по ее реализации. Последовательный рост показателей основных отраслей экономики региона, в том числе отрасли связи и инфокоммуникаций, является приоритетом реализации стратегического плана.

Актаулизированная версия стратегии социально-экономического развития Свердловской области на период до 2030 года исходит из того, что основными направлениями реализации стратегии развития информационного пространства в целом и по отдельным направлениям можно считать: обеспечение высокого уровня доступности формируемой современной информационной и телекоммуникационной инфраструктуры и предоставление на ее основе качественных услуг, ликвидация цифрового неравенства между отдельными территориями региона, обеспечение устойчивого функционирования подвижной радиотелефонной связи на территории проживания населения Свердловской области, а также вдоль железной дороги и магистральных автомобильных дорог федерального и регионального значения, сохранение региональной сети цифрового телерадиовещания, распространение региональных телеканалов посредством кабельного и

спутникового вещания; организация перехода на цифровое телевидение в соответствии с российской Концепцией отключения аналогового телевизионного вещания и перехода на эфирное цифровое телевизионное вещание, развитие инфраструктуры широкополосного доступа к сети Интернет на всей территории области, в том числе в отдаленных районах; создание на базе национального оператора почтовой связи универсального логистического и информационного оператора.

Особое значение придается повышению качества образования, в том числе дистанционного; содействию развития культуры и средств массовой информации ; совершенствованию медицинского обслуживания и социальной защиты населения; повышению эффективности государственного управления и местного самоуправления, модернизации и развитию технологической платформы «электронного правительства»; обеспечению эффективного межведомственного и межрегионального информационного обмена ;повышению открытости информации о деятельности органов государственной власти на основе инфокоммуникационных технологий и связи; увеличению объема и качества получения гражданами государственных и муниципальных услуг в электронном виде посредством Единого портала государственных и муниципальных услуг, выделение субсидий местным бюджетам на подключение к единой сети передачи данных; обеспечению конкурентоспособности и технологического развития информационной и телекоммуникационной инфраструктуры.

Индикаторами развития на 2021-2030 годы становятся объемы услуг по виду экономической деятельности «Связь» в размере95 720 млн.руб.; доля домашних хозяйств, имеющих широкополосный доступ к сети Интернет, на уровне 92%. Доля граждан, использующих механизм получения государственных и муниципальных услуг в электронной форме в этот период должна достигнуть не менее 70 %. Вырастет и доля транспортных средств , оснащенных аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS и включенных в навигационно-информационную систему мониторинга и управления транспортной системой -с 55% в 2016-20 гг. до 60% в 2021-30гг. В целом объем отгруженной продукции по крупным и средним организациям Свердловской области с основным видом экономической деятельности, связанной с использованием вычислительной техники и информационных технологий вырастет с 9185 млн. руб в 2016-20 гг. до 33803 млн.руб. в 2021-30 гг., что составит 3,86 раза. — В актулизированных среднесрочных и стратегических направлениях развития инфокоммуникаций в Свердловской области нашли отражение сложившиеся ключевые тренды, касающиеся отрасли инфокоммуникаций. Основная ее задача – своевременное и, по возможности, предвосхищающая адаптация к происходящим рыночным событиям и изменениям. Так, например, развитию IPTV с интерактивными сервисами, продолжающейся цифровизации абонентской базы аналогового кабельного ТВ способствует то, что все популярнее становится мультиэкранность и нелинейная модель телепросмотров. Кроме того, развитию положительных тенденций способствуют широкое распространение современных телевизоров и постоянный рост числа каналов в цифровом формате, включая HD. Основными перспективными направлениями развития у телекоммуникационных операторов Екатеринбурга и Свердловской области в 2017 году можно назвать партнерство в области совместного использования инфраструктуры и сервисных функций; использование для развития и удержания абонентской базы технологий Big Data, развитие OTT-сервисов, а также комплексные проекты системной

интеграции и обслуживания корпоративных клиентов. . По ШПД продолжается актуализация скоростных характеристик тарифов. При практически предельном насыщении услуг ШПД в Екатеринбурге абонентская база в сегменте b2c растет, а, значит ,можно предполагать и увеличение выручки. В сегменте b2b прогнозируется развитие облачной АТС ,услуг Wi-Fi хот-спота, видеонаблюдения.

Учитывая, что потеря конкуренции в инфокоммуникационной отрасли может быть связана с недостаточным вниманием к возможным конвергентным предложениям, операторы планируют акцентировать внимание на тренде пакетирования мобильных и фиксированных услуг, MVNO. Представленные в Свердловской области федеральные операторы строят прогнозы развития с учетом роста инвестиций в программы лояльности, техническое обеспечение call-центров ,big data. В целом на рынке инфокоммуникаций можно прогнозировать переход к конкуренции на уровне продукта.

Таким образом, актуализируя основные стратегические направления развития инфокоммуникаций в Свердловской области ,региональные власти должны учитывать возможность компенсации падения выручки от одних услуг (например, традиционной телефонии и др.) доходом от наиболее перспективных ,востребованных и экономически выгодных услуг,таких как хранение и обработка данных, облачные сервисы, видеонаблюдение или « умный дом». Кроме этого, перспективными могут явиться не только налаживание инфраструктурного партнерства, но и разработка различных инструментов саморегулирования. Уделяется внимание и лоббированию интересов инфокоммуникационной отрасли в регионе. Так, например, в Екатеринбурге существует Уральская ассоциация операторов связи.

Ведущий интернет-провайдер страны ПАО «Ростелеком» в рамках реализации федерального проекта устранения цифрового неравенства (УЦН) в 2016 году приступил к монтажу точек доступа Wi-Fi в 16 муниципалитетах Свердловской области. Доступ к сети Интернет в 2017 году будет возможен еще в 29 малых населенных пунктах и новыми пользователями Интернета будут более 13 тысяч жителей уральских сел и местные организации. В общероссийский проект оказания универсальных услуг связи в Свердловской области включены 222 малых населенных пункта.

Итоги социально-экономического развития Среднего Урала за 2016 год согласуются с вектором реализации Стратегии-2030.

Промышленный комплекс региона продемонстрировал позитивную динамику, выросла средняя заработная плата.

Согласно данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области, за первую половину 2016 года индекс промышленного производства составил 104,9 процента. Дальнейшему развитию инфокоммуникаций Свердловской области помогают и важные конгрессно-выставочные мероприятия. Так, в рамках главной промышленной выставки России ИННОПРОМ-2016, где активно участвовали и представители инфокоммуникационной системы, было подписано соглашений о сотрудничестве на общую сумму в 4,5 миллиарда рублей. Основным стратегическим направлением развития инфокоммуникаций до 2030 года можно считать формирование единого информационного пространства, что является основой перехода к новому этапу развития как Свердловской области, так и страны в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кирьянова Н.И.*. Развитие инфокоммуникаций в России в условиях перехода к информационному обществу // Автореф. канд. экон. наук .- Волгоград : Волгогр. гос. ун-т.- 23 с.
2. *Субботин Е.А., Минина Е.А., Евдакова Л.Н.* Инновационное развитие инфотелекоммуникационного комплекса Свердловской области в рамках «Стратегии 2020 // Управление социально-экономическими системами в условиях модернизации: коллективная монография – Саратов: издательство ЦПМ «Академия Бизнеса», 2010. С. 353-393.
3. Стратегия социально-экономического развития Свердловской области на период до 2030 года-Екатеринбург: Министерство экономики Свердловской области.-175с. [Электронный ресурс]. Режим доступа http://econom.midural.ru
4. Топ-менеджеры телеком-компаний о ключевых трендах 2016 года и стратегиях на среднесрочную перспективу//Журнал Эксперт-Урал.- 27 февраля-5 марта 2017,№8-9(718),с.8-9.

И.П. Рыбалко, В.Г Караченцев, Е.А. Цибульский

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИИ IEEE 802.3bz 2.5 GBASE-T И 5 BASE-T

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова**:** кодирование, витая пара, NBASE-T, Ethernet, передача данных, скремблирование.

Рассмотрены особенности технологий стандарта Ethernet IEEE 802.3 bz, проведено сравнение с технологией IEEE 802.3 an.

I.P. Rybalko, V.G. Karachentsev, E.A. Tsibulsky

TECHNOLOGY CHARACTERISTIC IEEE 802.3 bz 2.5 GBASE-T & 5 GBASE-T

North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords**:** coding **,** twisted pair, NBASE-T, Ethernet , Data transfer, scrambling.

Features of Ethernet IEEE 802.3 bz technologies are considered, compared to IEEE 802.3 an technology.

В настоящее время сети связи на основе технологии Ethernet получили широкое распространение [1-4]. Поэтому стандарт IEEE 802.3 продолжает пополняться новыми технологиями [1-3]. Двадцать седьмого сентября 2016 года объединение Ethernet Alliance заявил об принятии спецификации IEEE 802.3 bz, которая предполагает использование стандартов 2.5 GBase-T и 5 GBase-T. Новый метод позволяет осуществлять передачу данных по сети Ethernet со скоростями 2,5 Гбит/с и 5 Гбит/с, соответственно. На данный момент существует и более быстрые технологии, например, 10 GBase-T (10 Гбит/с), которая была выпущена еще в 2006 году, но она не получила широкого распространения, так как для её реализация нужна была прокладка кабелей 6а категории. Стандарты 2.5 GBase-T и 5 GBase-T базируются на кабелях 5е и 6 категории. В течение пятнадцати лет по всему миру установили 1,7 миллиарда розеток Ethernet, из них большая часть -для обычных медных кабелей Cat5e и Cat6. По оценкам экспертов, в мире проложили семьдесят миллиардов метров витой пары. Таким образом, для внедрения новых технологий не нужна будет замена старого кабеля, что является существенной экономией средств.

Технологии 2.5 GBase-T и 5 GBase-T имеют много общего с 10 GBase-T. Обратимся к Таблице 1.

Стандарт	**Скорость передачи**	**Кол-во каналов**	**Кол-во бит на 1 Гц**	**Полоса пропускания**	**Кате-гория кабел**
2.5GBASE-T	2500 Mbit/s	4	6.25	100 MHz	Cat 5e
5GBASE-T	5000 Mbit/s	4	6.25	200 MHz	Cat 6
10GBASE-T	10000 Mbit/s	4	6.25	400 MHz	Cat 6A

Таблица 1 – Параметры технологий GBASE-T

Как видно из таблицы 1, все три стандарта должны обеспечить передачу 6.25 бит на 1 Герц полосы пропускания кабеля. Это достигается несколькими способами. Во-первых, для пересылки данных в обоих направлениях используется каждая из четырех витых пар. Во- вторых, для улучшения спектральных характеристик и избавления от длинных последовательностей «0» или «1» применяют логическое кодирование. В-третьих, на современном оборудовании используется многоуровневое кодирование, в частности, в технологиях 2.5 GBase-T и 5 GBase-T используют 16 уровней напряжения. В-четвертых, для достоверного исправления ошибок, на приемной стороне используется LDPC-код. Все эти особенности позволяют заметно увеличить скорость передачи данных для кабелей категории 5е и 6.

Логическое кодирование имеет в виду замену бит текущей информационной последовательности новой последовательностью бит, которая несет ту же информацию, но имеет дополнительные свойства, например возможность для приемной стороны находить ошибки в принятых данных или надежно поддерживать синхронизацию с поступающим сигналом. Замена последовательности бит осуществляется с помощью таблицы перекодировки. В соответствии с этой таблицей,

биты, содержащие длительные последовательности «0» или «1» заменяют на новые, а так же к ним добавляются несколько дополнительных бит. Это позволяет избавиться от повторяющихся «0» или «1» во время передачи данных, а так же зарезервировать некоторые битовые комбинации как служебные. Таким образом, если на приемной стороне получена запрещенная комбинация, это свидетельствует об искаженном бите.

Одним из примеров логического кодирования является избыточный код 4b/5b, но на данный момент он почти нигде не используется, так как обладает 20% избыточностью. В современном мире широкое распространение получили избыточные коды третьего поколения 64b/65b, 64b/66b и 128b/130b. Например, в технологии 10 GBase-T применяется кодирование 64b/65b, имеющее всего 1,5625% избыточной информации [4]. Еще одной важной особенностью логического кодирования является скремблирование.

Скремблирование – один из видов кодирования информации, повышающий спектральные и статистические характеристики. После скремблирования появление «1» и «0» в выходной последовательности равновероятны. Этот способ увеличивает надежность синхронизации устройств, которые подключены к линии связи и уменьшают уровень помех, фонируемых на соседние линии кабеля. Методы скремблирования - это побитовое вычисление итогового кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит итогового кода. Скремблер реализовывает следующее соотношение:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$$

где Bi, — двоичная цифра итогового кода. Она получается на i-м такте работы скремблера, Ai — двоичная цифра исходного кода, которая поступает на вход скремблера, $Bi\text{-}3$ и $Bi\text{-}5$— двоичные цифры итогового кода. Они образуются на предыдущих тактах работы скремблера.

Различные алгоритмы скремблирования имеют отличие в количестве слагаемых, которые дают цифру игогового кода, и сдвигом между слагаемыми.

Еще одним важным аспектом, позволяющим повысить скорость передачи данных является многоуровневое кодирование. В технологиях 2.5 GBase-T и 5 GBase-T широкое распространение получало кодирование TC-PAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation). Данный метод кодировки заключается в прибавлении числа уровней до 16 и использовании особенного механизма исправления ошибок. Таким образом, одним уровнем предается три бита полезной информации, а так же один бит служебной информации, отвечающий за помехоустойчивость. Так же данная модуляция позволяет повысить синхронизацию передачи данных. Один из 16 уровней является служебным. Для синхронизации приема и передатчика, через определенный промежуток времени сигнал должен перейти в этот специальный служебный уровень.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что технологии 2.5 GBase-T и 5 GBase-T заметно повышают скорость передачи данных, при этом, не требуя замены старых кабелей на новые. Это существенно упрощает внедрение новых стандартов, а так же понижает их себестоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ализар А.* Новый стандарт Ethernet 802.3 bz : до 5Гбит/с на неэкранированной витой паре // Geektimes. – (28.09.2016). [Электронный ресурс].– Режим доступа: http:// geektimes.ru/post/280918/ (дата обращения: 23.11.2016).
2. *Таненбаум Э. Уезеролл Д.* Компьютерные сети. – Питер, 2012. – 5-ое издание. –С.323, 324.
3. *Hajduczenia M.* 64b/66b line code // ieee802.org. – [Электронный ресурс]. –Режим доступа: http://www.ieee802.org/3/bn/public/mar13/hajduczenia_3bn_04_0313.pdf (дата обращения: 24.11.2016).
4. Специальное программное обеспечение для моделирования процессов коммутации в сетях EthernetСосновский И.А., Манин А.А., Болдырихин Н.В.Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2016. Т. 1. № 9. С. 227-231

А.И. Сафронов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩЕГО ФИЛЬТРА НА КОПЛАНАРНОЙ ЛИНИИ, ВОЗБУЖДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫЕ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: СВЧ, фильтрация сигналов, ферритовый фильтр, перестраиваемый фильтр, полосно-пропускающий фильтр, копланарная линия, поверхностные магнитостатические волны.

В настоящей статье исследована зависимость сопротивления излучения копланарной линии, возбуждающей поверхностные магнитостатические волны (ПМСВ) от ширины центрального проводника и от зазора между этим проводником и экраном. Показано, что при малых зазорах сопротивление излучения имеет дисперсию из-за интерференции ПМСВ. Обнаружено, что при больших щелях сопротивление излучения резко уменьшается в высокочастотной области полосы возбуждения. Выявлены особенности высокочастотного ската амплитудно-частотной характеристики устройств обработки сигналов на ПМСВ.

A.I. Safronov

INVESTIGATION OF A BAND-PASS FILTER, BASED ON A MAGNETOSTATIC SURFACE WAVES EXCITATING COPLANAR LINE

North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: microwaves, signal filtering, ferrite filter, tunable filter, band-pass filter, coplanar line, magnetostatic surface waves.

The dependence of the radiation impedance of a coplanar exciter of magnetostatic surface waves (MSSWs) on the width of the central strip and on the gap between this strip and the screen is investigated in this article. It is shown that, at small gaps, the radiation resistance varies with the change in frequency due to the interference of MSSWs. It is found that, at large gaps, the radiation resistance sharply decreases in the high-frequency region of the excitation band. Features of the high-frequency slope of the amplitude-frequency characteristic of signal-processing MSSW devices are revealed.

Характеристики устройств обработки сигналов СВЧ на поверхностных магнитостатических волнах (ПМСВ) в значительной мере определяются типом преобразователей электромагнитной волны (ЭМВ) в ПМСВ и обратно [1]. Одними из перспективных являются преобразователи на основе отрезков симметричной (СКЛ) [2, 3] и односторонней (ОКЛ) [2, 4−6] копланарных линий. Реализация и расчет характеристик таких преобразователей (особенно на ОКЛ) актуальная, но трудоемкая задача, о чем свидетельствуют отсутствие ссылок на преобразователи на ОКЛ в известных обзорах и учебниках [1, 7, 8] и малое число публикаций. Ферритовые фильтры с преобразователями на ОКЛ, расположенными непосредственно на ферритовой пленке (ФП), исследовались экспериментально в [4−6], а методы их расчета изложены в [2, 4, 9]. Более широкие возможности имеют фильтры с преобразователями на ОКЛ, размещенными над ФП и отделенными от нее регулируемым диэлектрическим зазором, поскольку, как хорошо известно [1, 8], изменение величины зазора позволяет управлять дисперсией ПМСВ. По исследованию таких фильтров известна всего одна экспериментальная работа [10].

Целью настоящей работы является:

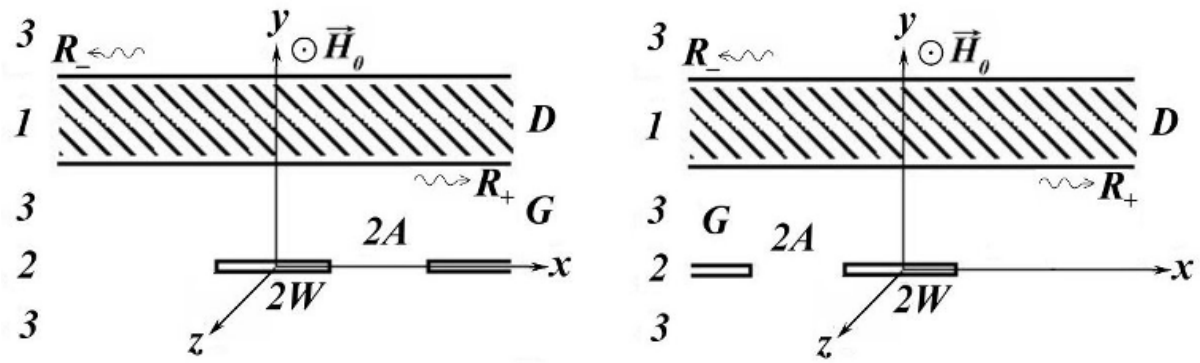
- расчет погонных параметров ОКЛ, расположенной под ФП и отделенной от нее регулируемым диэлектрическим зазором, а также изучение влияния особенностей возбуждения ПМСВ ОКЛ на формирование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) фильтров;
- приближенный расчет размеров ОКЛ для перестраиваемого полосно- пропускающего фильтра (ППФ):
- экспериментальное исследование АЧХ макета фильтра с расчетными размерами ОКЛ и сравнение с теоретическими частотными зависимостями сопротивления излучения.

Односторонняя копланарная линия

Поперечное сечение ОКЛ с правым и левым боковыми экранами изображено на

рис.1 (а) и рис.1 (б), соответственно. Проводники предполагаются бесконечно тонкими и идеально проводящими, ширина полоскового проводника равна $2W$, между этим проводником и полубесконечным вторым проводником имеется щель шириной $2A$. На расстоянии G от плоскости проводников расположена ферритная плёнка (ФП) толщиной D, намагниченная до насыщения вдоль центрального проводника ОКЛ. В расчетах используются зависимость от времени в виде $exp(i\omega t)$ и нормированные величины: $d=DW^{-1}$, $l=GW^{-1}$, $a=AW^{-1}$, $k=qW$, где q – волновое число ПМСВ. Временной множитель, входящий во все формулы, опускается. Расчет характеристик ОКЛ проведен только для частотного диапазона существования ПМСВ в ФП (в ситуации, реализуемой в обычных взаимных ферритовых фильтрах).

Начало декартовой системы координат выбрано в середине полоскового проводника, ОКЛ предполагается неограниченно протяженной в направлении оси z, ось y перпендикулярна плоскости линии, ось x лежит в этой плоскости и направлена в сторону полубесконечного проводника (рис.1, (а)). Подмагничивающее поле H_0 ориентировано в положительном направлении оси z.



а) б)

Рис.1. Поперечное сечение односторонней копланарной линии с правым (а) и левым (б) боковым экраном. *1* – ферритовый слой, *2* – односторонняя копланарная линия, *3* – диэлектрик.

Для удобства ОКЛ с правым экраном далее будем называть односторонней копланарной линии или просто ОКЛ. Структура находится во внешнем постоянном магнитном поле постоянной напряженности, так что внутреннее поле пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ) равно H_0, феррит описывается тензором магнитной проницаемости, компоненты которого зависят от величины приложенного постоянного магнитного поля и намагниченности феррита $4\pi M_0$.

Когда по центральному проводнику ОКЛ течет СВЧ переменный ток в намагниченном феррите в определенном диапазоне частот, определяемом H_0 и $4\pi M_0$, возбуждаются две поверхностные магнитостатические волны, распространяющиеся в $+x$ и $-x$ - направлениях и локализованных вблизи противоположных поверхностей феррита, соответственно, $y = L$ и $y = L+D$. Эти ПМСВ уносят энергию, в результате чего электромагнитная волна в диапазоне частот эффективного возбуждения ПМСВ, проходящая через отрезок ОКЛ, ослабляется. В модели, изображенной на рис.1, предполагается, что обе возбужденные ПМСВ уходят на $\pm\infty$. Эффективность возбуждения ПМСВ, как будет показано далее, определяется сопротивлением излучения.

В нашем случае суммарным сопротивлением излучения R, равным сумме сопротивления излучения R_+ ПМСВ, бегущей вдоль +x, и сопротивления излучения R_- ПМСВ, бегущей вдоль -x, т.е. $R = R_+ + R_-$.

Расчет импеданса односторонней копланарной линии, возбуждающей поверхностные магнитостатические волны

На основании метода работы, представленного в [15], в [16] была разработана программа расчета импеданса излучения односторонней копланарной линии с правым боковым экраном, возбуждающей ПМСВ, в среде MATLAB. С ее помощью получены все описанные ниже результаты.

Анализ результатов расчета сопротивления излучения и индуктивности односторонней копланарной линии.

Поскольку АЧХ устройства на ПМСВ в основном определяется частотной зависимостью сопротивления излучения рабочей ПМСВ, то целесообразно рассмотреть сначала влияние на эту характеристику ширины полоска $2W$ и ширины щели $2A$ ОКЛ при остальных фиксированных параметрах. Во всех расчетах взяты толщина ФП $D = 7$ мкм, намагниченность насыщения $M_0 = 0{,}176$ Тл ($4\pi M_0 = 1760$ Гс) и поле $H_0 = 182{,}7$ кА/м (2300 Э).

На рис.2, приведены дисперсионные кривые ПМСВ, распространяющихся в ОКЛ с правым и левым экраном при расстояниях от ФП до экрана G, равных 25, 50, 75, 100 и 150 мкм (кривые 1−5).

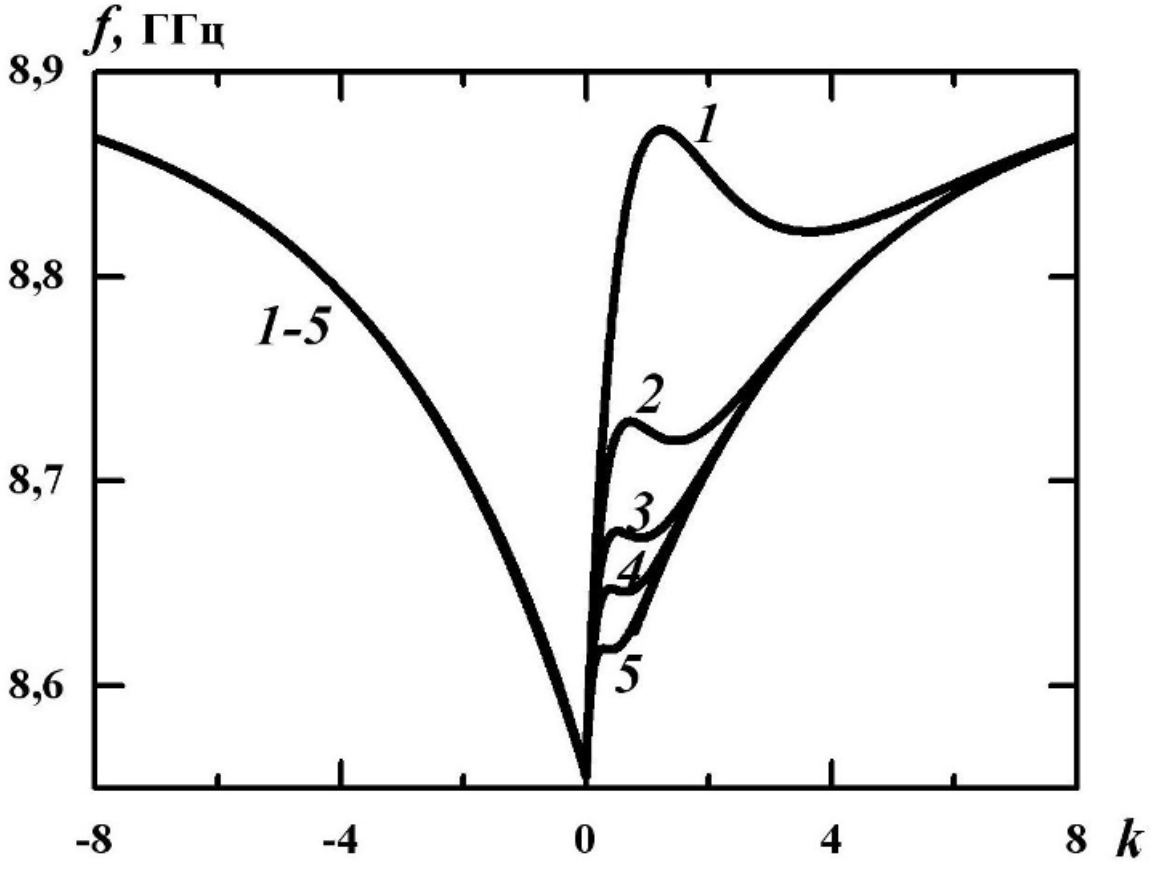
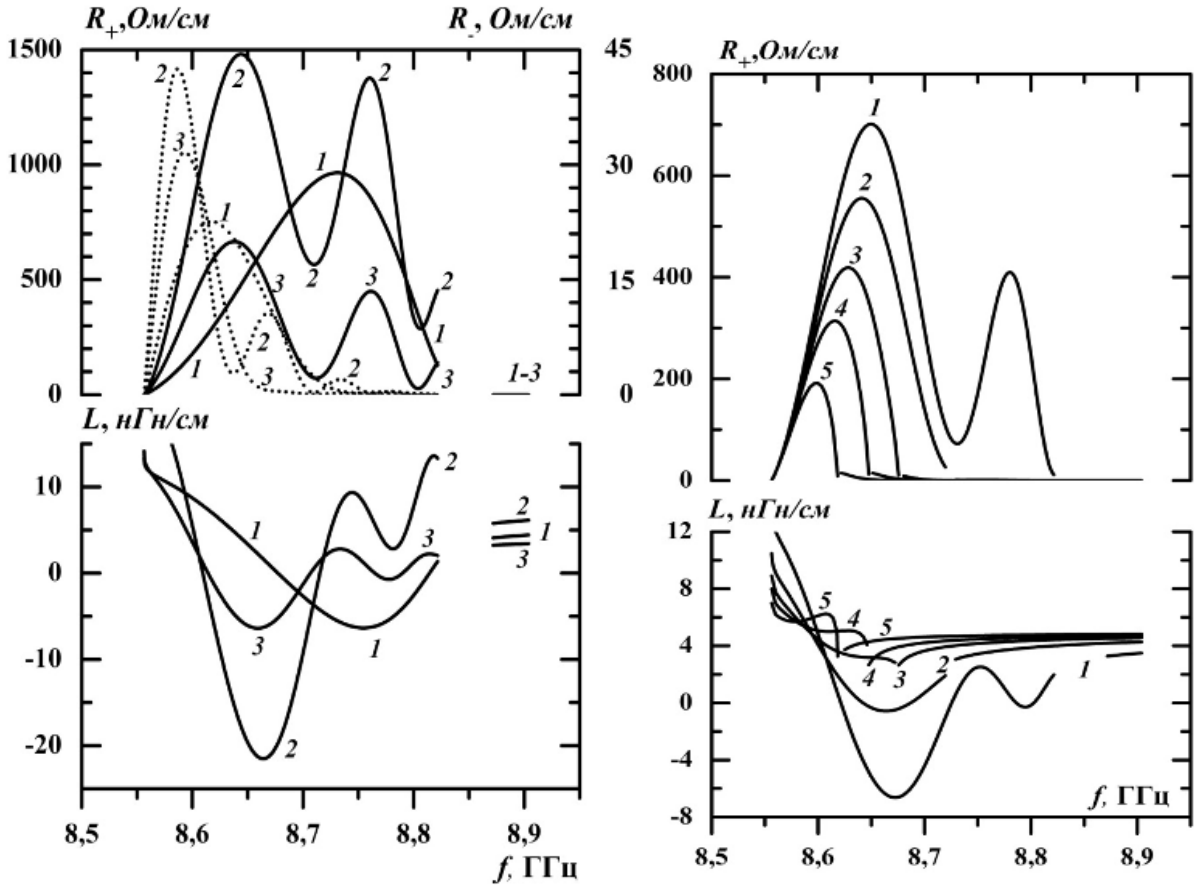


Рис.2. Дисперсионные характеристики ПМСВ при расстоянии от ферритового слоя до экрана G = 25 мкм (1), 50 мкм (2), 75 мкм (3), 100 мкм (4) и 150 мкм (5).

Положительные k на рис.2 соответствуют рабочей ПМСВ, распространяющейся в структуре феррит–диэлектрик–металл в положительном направлении оси x, а отрицательные – ПМСВ, распространяющейся по другой стороне ФП в направлении отрицательной полуоси x. Дисперсионные кривые при $k>0$ и $k<0$ соответствуют ПМСВ, распространяющимся в ФП.

Рассмотрим ОКЛ, расположенную на расстоянии G = 25 мкм от ФП. Рабочая ПМСВ распространяется между поверхностью ФП и боковым экраном ОКЛ. Нижняя частота, соответствующая перегибу дисперсионной характеристики 1 на рис.2, составляет 8,8217 ГГц; за ней следует полоса частот, в которой существуют две прямые и одна обратная ПМСВ. С учетом нерабочей волны в указанной полосе в рассматриваемой структуре распространяются четыре ПМСВ. На рис.3 (а,б) для этой полосы частот данные не приведены, на графиках ей соответствует разрыв кривых.



а) б)

Рис.3. Частотные зависимости (а) сопротивления излучения R_+ (сплошные кривые), R_- (пунктирные кривые) и индуктивности L ОКЛ с $2W$ = 30 мкм и $2A$ = 30 мкм (1), с $2W$ = 30 мкм и $2A$ = 120 мкм (2) и с $2W$ = 120 мкм и $2A$ = 30 мкм (3) при расстоянии от ферритового слоя до экрана G = 25 мкм и (б) сопротивления излучения R_+ и индуктивности L ОКЛ с $2W$ = 100 мкм и $2A$ = 30 мкм при G = 25 мкм (1), 50 мкм (2), 75 мкм (3), 100 мкм (4) и 150 мкм (5) (б).

Изучим влияние ширины щели $2A$ на частотную зависимость сопротивления излучения. R_+ и R_- имеют размерность Ом/см. На рис.3 (а) представлены зависимости

сопротивлений излучения R_+ (сплошные кривые) и R_- (пунктирные кривые) от частоты f при узком центральном проводнике $2W$ = 30 мкм и щелях с шириной $2A$ = 30 и 120 мкм (кривые 1, 2).

Из графиков видно, что рабочей волной устройства должна быть распространяющаяся вдоль экрана волна с сопротивлением излучения R_+. При узкой щели $2A$, как следует из сплошной кривой 1, имеем один лепесток R_+ на частотной зависимости в большей части полосы возбуждения ПМСВ. При большой ширине $2A$ (120 мкм, сплошная кривая 2) частотная зависимость R_+ представляет собой последовательность чередующих максимумов и минимумов. Положение максимумов приближенно подчиняется выражению

$$p = (2n+1)\lambda/2, \tag{1}$$

где n = 1, 2, 3, …,
а положение минимумов – выражению

$$p = m\lambda, \tag{2}$$

где m = 1,2,3…, а

$$p = 2W + 2A, \tag{3}$$

λ – длина ПМСВ в ФП (экран слабо влияет на λ, поскольку далеко удален от поверхности ФП, по которой распространяется волна). Это означает, что ОКЛ с правым боковым экраном рабочую ПМСВ возбуждает практически как два линейных проводника при $x = -W$ и $x = W + 2A$ с противоположно текущими токами, удаленных друг от друга на расстояние p. Частотная зависимость R_- также представляет собой последовательность чередующихся максимумов и минимумов (см. пунктирные кривые 1, 2). Первый минимум при этом соответствует первому максимуму R_+, а второй минимум – первому минимуму R_+. То есть, у нерабочей волны положение минимумов приближенно определяется выражением (2), где однако m = 0,5; 1; 1,5…, и, следовательно, имеются дополнительные минимумы.

На рис.3 (а), кроме зависимости сопротивлений излучения R_+ и R_- от частоты, представлена также частотная зависимость погонной индуктивности L ОКЛ, из сравнения которых видно, что дополнительным минимумам R_- соответствует наибольшая скорость уменьшения L, а основным – наибольшая скорость увеличения L. Получается, что резонансы, вызывающие быстрейшее уменьшение L, обусловлены лишь нерабочей волной, а резонансы, вызывающие быстрейшее увеличение L, обусловлены как рабочей, так и нерабочей ПМСВ.

Теперь рассмотрим влияние ширины проводника $2W$ на формирование частотной зависимости сопротивления излучения. На рис.3 представлены зависимости сопротивлений излучения R_+ и R_- от частоты f при узкой ширине щели $2A$ = 30 мкм и ширине центрального проводника $2W$, равной 30 и 120 мкм (кривые 1 и 3, соответственно).

Видно, что частотная зависимость R_+ представляет собой последовательность чередующих максимумов и минимумов. Положение максимумов по-прежнему приближенно подчиняется выражению (1), а минимумов – выражению (2). По сравнению с пунктирными кривыми 2, дополнительные минимумы R_- у пунктирных кривых 3

теперь менее выражены. Для сравнения приведены частотные зависимости R_+ рабочей волны для двух ОКЛ с одинаковым размером p = 150 мкм при зазоре G = 25 мкм (сплошные кривые 2 и 3). Видно, что у ОКЛ с широким проводником $2W$ = 120 мкм и узкой щелью $2A$ = 30 мкм (кривая 3) минимумы выражены более четко, чем у ОКЛ с узким проводником $2W$ = 30 мкм и широкой щелью $2A$ = 120 мкм (кривая 2). Положение максимумов и минимумов R_+ у этих ОКЛ практически совпадают, частотные зависимости погонной индуктивности L также близки по виду.

Как видно из рис.3 при определенной ширине проводника $2W$ можно получить требуемую ширину полосы первого основного лепестка (от десятков до сотен МГц). Чтобы подавить все боковые лепестки, необходимо удалить ОКЛ от поверхности ФП (увеличить зазор G). На рис.3 (б) показано, как можно выделить основной лепесток АЧХ шириной 100–200 МГц, подавив боковые лепестки R_+ рабочей ПМСВ с помощью зазора G = 75–150 мкм. Частотные зависимости R_- нерабочей ПМСВ, не участвующие в формировании АЧХ, на рисунке опущены.

Описанные выше особенности возбуждения можно использовать для формирования АЧХ устройств на ПМСВ. В частности, использование ОКЛ с зазором позволяет сформировать крутой высокочастотный скат рабочей полосы пропускания устройств на ПМСВ. Далее методом, описанным в [15], в области частот, где ОКЛ эффективно возбуждает ПМСВ, рассчитываются сопротивления излучения обеих ПМСВ и реактивное сопротивление X с целью определения размеров линии и зазора для разработки перестраиваемого ППФ.

Результаты приближенного расчета размеров ОКЛ и сопротивления излучения возбуждаемых ПМСВ.

При проектировании перестраиваемого ППФ на ПМСВ, предполагается, что он конструктивно выполняется из следующих основных элементов:

- малогабаритной магнитной системы, с помощью которой измерением тока в обмотках, меняется внешнее магнитное поле и следовательно осуществляется перестройка фильтра по частоте;
- изготовленной на поликоровой подложке, толщиной 0,5 мм методом фотолитографии топологии двух короткозамкнутых на общий боковой экран отрезка копланарной линии, к которой крепятся два коаксиально-полосковых перехода с волновым сопротивлением 50 Ом;
- пластины из пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ), выращенной методом жидкофазной эпитаксии на подложке галий-гадолиниевого граната (ГГГ), стандартной толщины 0,5 мм.

Пластина из пленки ЖИГ, с различной толщиной самой пленки, помещается стороной пленки на топологию входного и выходного преобразователей либо непосредственно, либо через диэлектрическую прокладку.

При исследовании макета ППФ малогабаритная магнитная система не использовалась, а применялись лабораторные постоянные магниты с разным расстоянием между полюсными наконечниками, обеспечивающие внешнее однородное постоянное магнитное поле.

Чтобы разрабатываемый ППФ в полосе пропускания имел малые вносимые

потери, необходимо широкополосное согласование 50-омных КПП с короткозамкнутыми входным и выходным преобразователями на односторонней копланарной линии с наложенной на них через диэлектрическую прокладку из слюды пластиной с пленкой ЖИГ.

Поперечное сечение ОКЛ содержало слоистую структуру поликор-ОКЛ-слюда-пленка ЖИГ-ГГГ и входное сопротивление короткозамкнутого отрезка ОКЛ могло быть точно определено только электродинамическими методами, в частности с помощью программы моделирования ANSYS HFSS 15.

При заданной толщине поликоровой подложки 0,5 мм с диэлектрической проницаемостью 9,8 рассчитывались ширина центрального проводника W и ширина зазора между ним и боковым экраном a, которые обеспечивали волновое сопротивление ОКЛ в отсутствии внешнего магнитного поля при наличии пластины с пленкой ЖИГ толщиной 7 мкм и прокладки 45 мкм при частоте 9 ГГц близкое к 58,4 Ом.

Далее при расчете характеристик ППФ использовались расчетные значения $W = 156$ мкм и ширина щели $a = 76$ мкм для приближенного расчета в магнитостатическом приближении погонного сопротивления излучения рабочей волны R_+ (R_- мало) и реактивного сопротивления X .

Поскольку АЧХ ППФ на ПМСВ с односторонней копланарной линией в основном определяется частотной зависимостью сопротивления излучения рабочей волны R_+, то целесообразно рассмотреть влияние на эту характеристику величины зазора L при остальных фиксированных параметрах линии. (Рис.4)

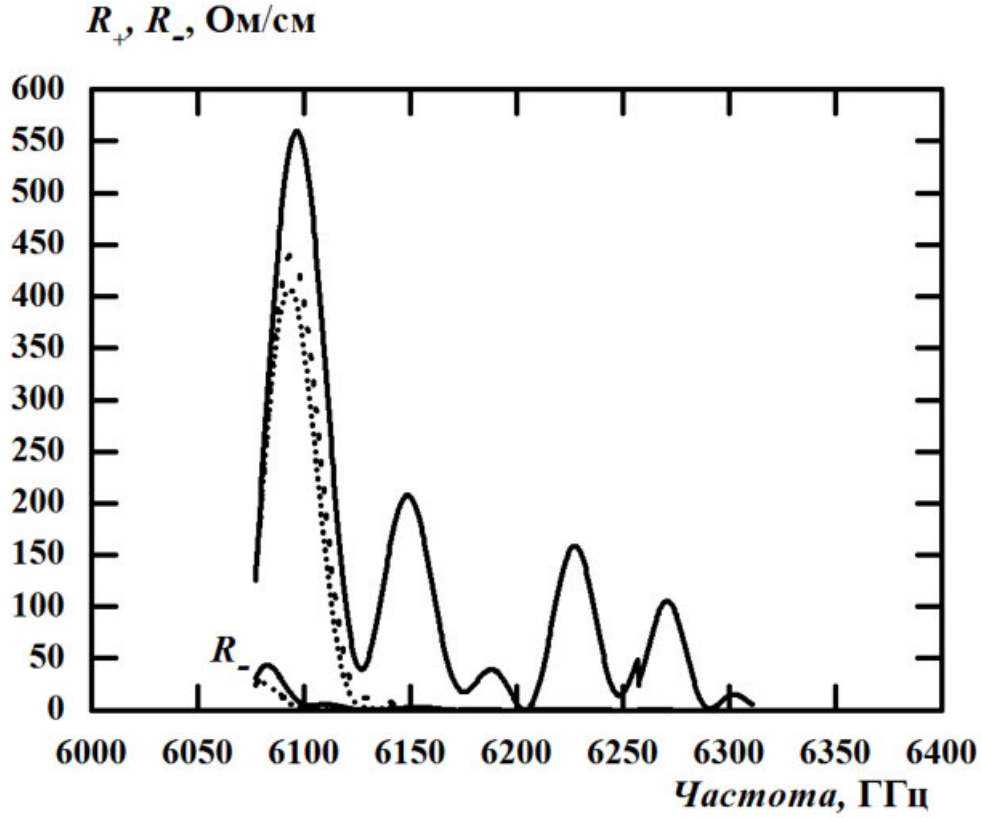


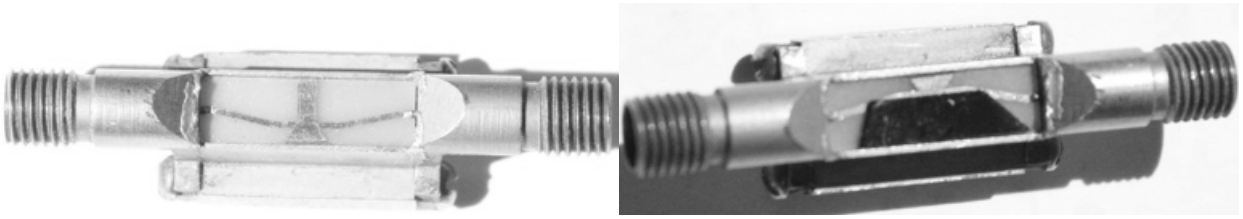
Рис.4 Частотные зависимости R_+ и R_- для пленки ЖИГ толщины D = 2,03 мкм при удалении ОКЛ от феррита L = 10 мкм (сплошная), L = 45 мкм (пунктир) и L = 55 мкм (густой пунктир) в низкочастотной полосе существования двух ПМСВ.

Расчеты проведены для ОКЛ с найденными размерами: W = 156 мкм, а =76 мкм. Пленка железо-иттриевого граната (ЖИГ) взята также типичной: толщина D = 7 мкм, намагниченность насыщения $4\pi M_0 = 1760$ Гс.

Из рис.4 видно, что частотная зависимость сопротивления излучения R_+ при зазорах L = 45 и 55 мкм, повторяющая АЧХ пропускающего фильтра, имеет явно выраженный максимум, обусловленный положительной ПМСВ.

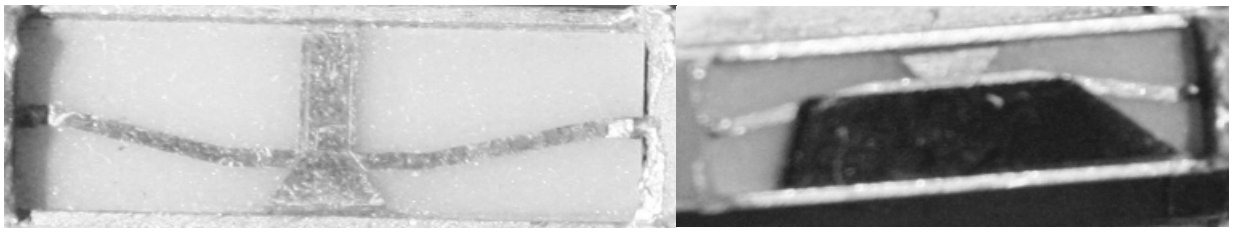
Результаты экспериментального исследования ППФ на ОКЛ.

Для макета ППФ (рис.5 и рис.6) были приближенно рассчитаны погонные сопротивление излучения и реактивное сопротивление ОКЛ.



а) б)

Рис.5 Фотография макета ППФ, содержащего два короткозамкнутых преобразователя на ОКЛ в отсутствии пленки ЖИГ (а) и с наложенной плёнкой ЖИГ (черная трапецеидальная пластина) (б).



а) б)

Рис.6 Топология ППФ. В центре экран ОКЛ, по обе стороны которого проводники ОКЛ, в отсутствие (а) и с наложенной плёнкой ЖИГ (б).

Частотная зависимость потерь макета полосно-пропускающего фильтра качественно должна повторять расчетную частотную зависимость сопротивления излучения R_+.

На рис.7 приведены результаты расчета погонных сопротивлений излучения R_+, R_- и реактивного сопротивления X , а также измерения вносимых потерь макета полосно-пропускающего фильтра с пленкой ЖИГ, толщиной 2,03 мкм при зазоре L = 10 мкм в постоянном магнитном поле H_0 =1430 Э. Видна повторяемость трех измерений с одной и той же пленкой ЖИГ, толщиной 2 мкм, и прокладкой 10 мкм. Сравнивая рис.7 (а) и (в) можно заметить, что первым трем пикам рис.7 (а) соответствует широкий пик в полосе 6050 - 6220 МГц на рис.7 (в). Трем следующим более низким пикам рис.7 (а) диапазона 6220 - 6325 МГц соответствует примыкающая к широкому пику ступенька на рис.7 (в).

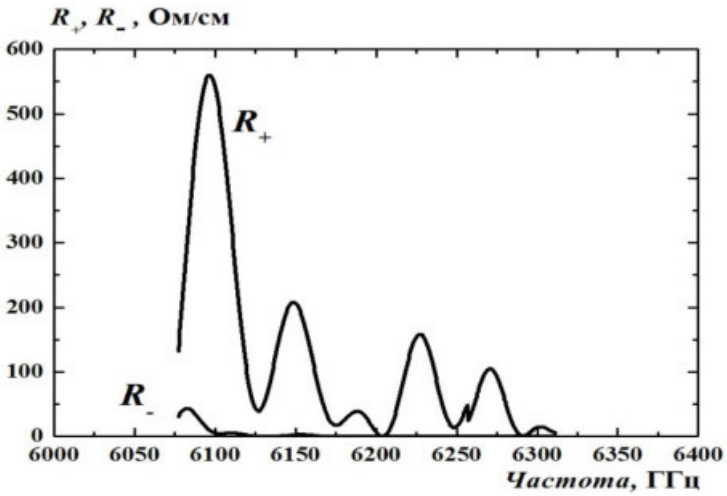
Возможно, такое сглаживание пиков происходит потому, что рис.7 (а) соответствует бегущей волне, а рис.7 (в) - двум корокозамкнутым преобразователям, в каждом из которых имеет место стоячая волна тока с максимумом в месте замыкания на боковую поверхность экрана ОКЛ.

Другое объяснение наблюдаемого эффекта - наличие переотражений от краев

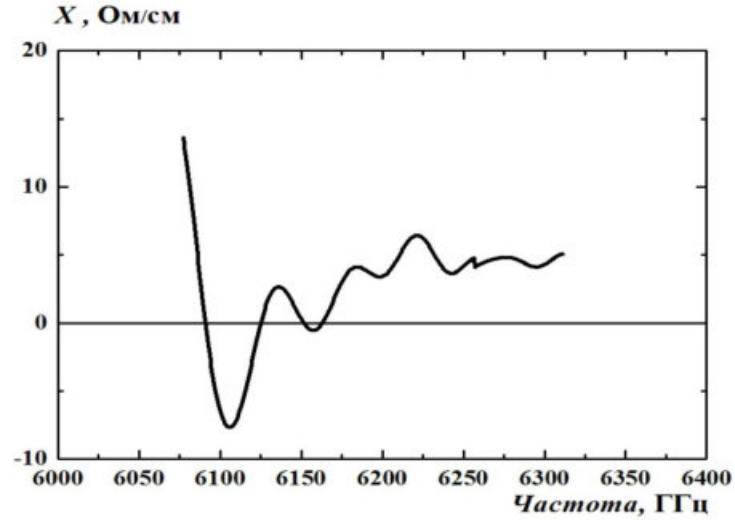
пленки ЖИГ в силу ее конечных размеров. Расчетный график рис.7 (а) предполагает, что рабочая и паразитная волны не отражаются от краев пленки. Переотражения можно нивелировать либо с помощью поглотителей на краях пленки, либо трапецеидальной формой пленки для этого необходимы дополнительные эксперименты.

На рис.8 приведены результаты расчета сопротивления излучения R_+ и измерения вносимых потерь макета полосно-пропускающего фильтра с пленкой ЖИГ, толщиной 2,03 мкм при зазорах L = 10, 20 и 30 мкм в постоянном магнитном поле H_0 .

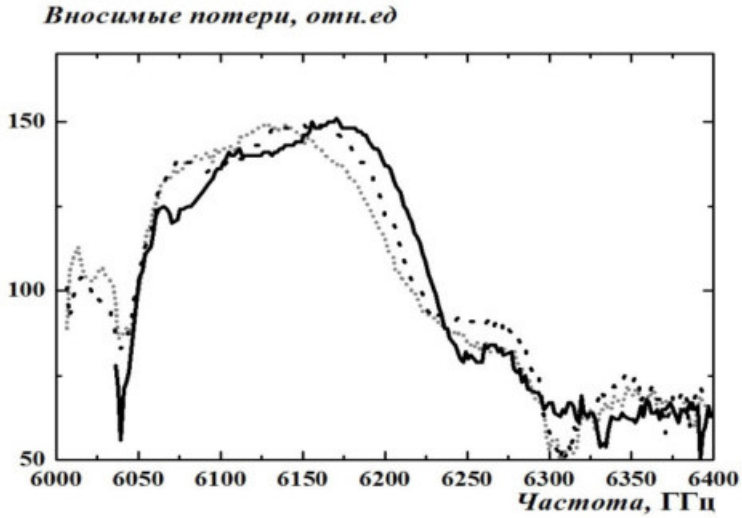
На рис.9 приведены результаты расчета сопротивления излучения R_+, R_- и измерения вносимых потерь макета полосно-пропускающего фильтра с пленкой ЖИГ, толщиной 7 мкм при зазорах L = 10, 20 и 30 мкм в постоянном магнитном поле H_0.



а)

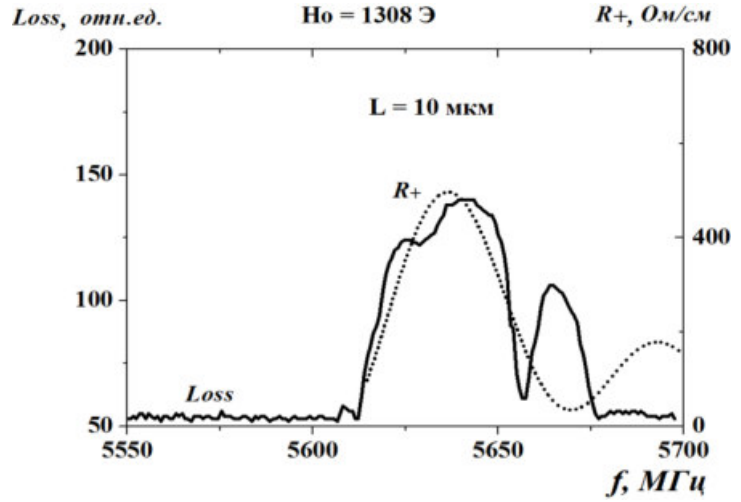


б)

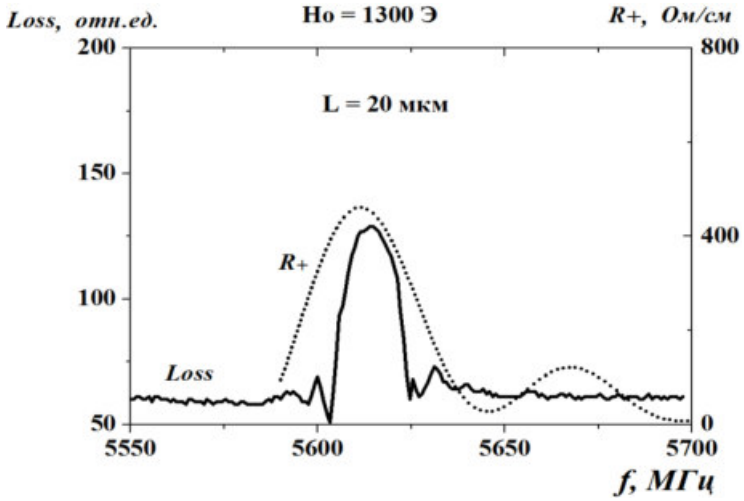


в)

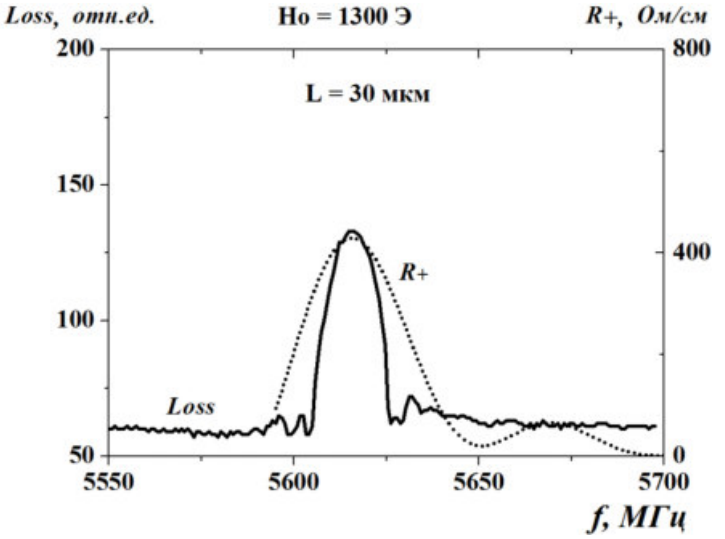
Рис.7 Результаты расчета погонных сопротивлений излучения R_+, R_- и реактивного сопротивления X , а также измерения вносимых потерь макета полосно-пропускающего фильтра с пленкой ЖИГ, толщиной 2,03 мкм при зазоре L = 10 мкм в постоянном магнитном поле H_0 =1430 Э.



а)

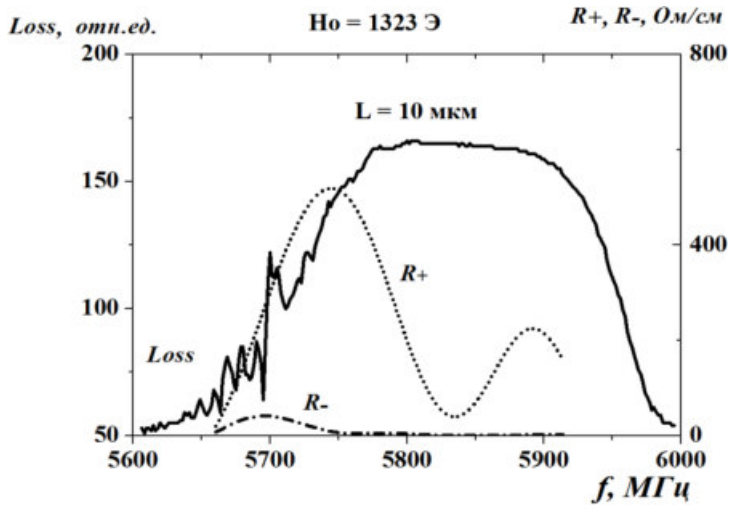


б)

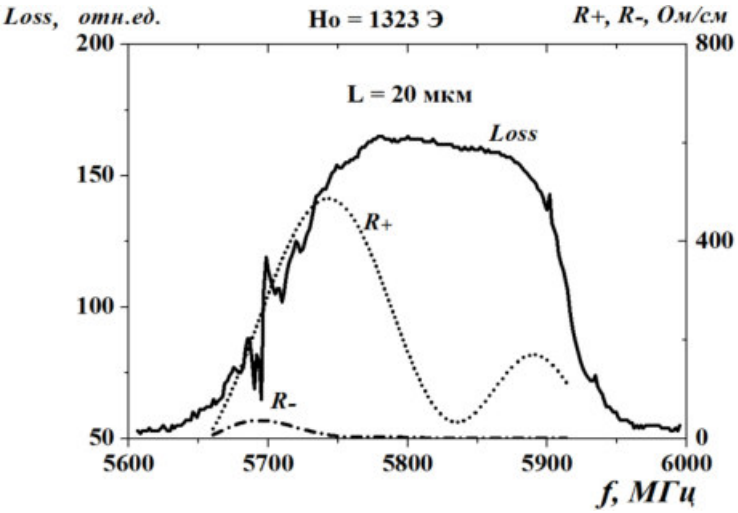


в)

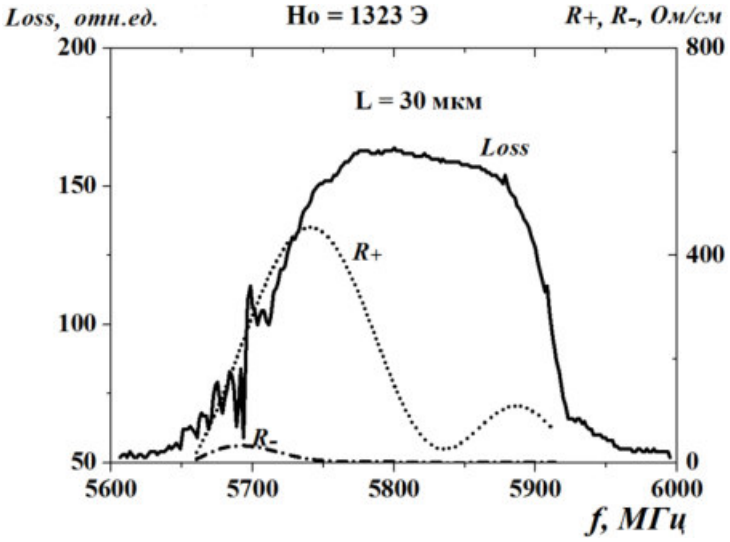
Рис.8. Результаты расчета погонных сопротивлений излучения R_+ и измерения вносимых потерь макета полосно-пропускающего фильтра с пленкой ЖИГ, толщиной 2,03 мкм при зазорах L = 10 мкм (а), 20 мкм (б) и 30 мкм (в) в постоянном магнитном поле H_0 .



а)



б)



в)

Рис.9 Результаты расчета погонных сопротивлений излучения R_+, R_- и измерения вносимых потерь макета полосно-пропускающего фильтра с пленкой ЖИГ, толщиной 7,0 мкм при зазорах L = 10 мкм (а), 20 мкм (б) и 30 мкм (в) в постоянном магнитном поле H_0

Выводы.

- Установлено, что у ОКЛ с правым боковым экраном при определенной ширине проводника $2W$ можно получить ширину полосы первого основного лепестка от десятков до сотен МГц. Чтобы подавить все боковые лепестки, необходимо удалить ОКЛ от поверхности ФП (увеличить зазор L). Показано, что можно выделить основной лепесток АЧХ шириной 100–200 МГц, подавив боковые лепестки рабочей ПМСВ с помощью зазора L= 75–150 мкм.
- Проведен приближенный расчет размеров полосно-пропускающего фильтра, содержащего короткозамкнутые преобразователи на ОКЛ. Расчет выполнен для преобразователей на ОКЛ с правым боковым экраном для пленки ЖИГ, толщиной D = 2,03 *мкм* и прокладками с L = 10, 20 и 30 *мкм*.
- Экспериментальное исследование макета фильтра с расчетными размерами ОКЛ с пленкой ЖИГ, толщиной 2,03 мкм и зазорах 10, 20 и 30 мкм показало качественное соответствие частотных зависимостей вносимых потерь ППФ частотным зависимостям сопротивления излучения R_+.
- Проведен приближенный расчет размеров полосно-пропускающего фильтра, содержащего короткозамкнутые преобразователи на ОКЛ. Расчет выполнен для преобразователей на ОКЛ с правым боковым экраном для пленки ЖИГ, толщиной D = 7 *мкм* и прокладками с L = 10, 20 и 30 *мкм*.
- Экспериментальное исследование макета фильтра с расчетными размерами ОКЛ с пленкой ЖИГ, толщиной 7 *мкм*, и зазорами 10, 20 и 30 *мкм* показало качественное соответствие частотных зависимостей вносимых потерь ППФ частотным зависимостям сопротивления излучения R_+.
- Предложенный метод расчета импеданса односторонней копланарной линии с правым боковым экраном, возбуждающей ПМСВ, может быть использован при проектировании линий задержки и фильтров на поверхностных магнитостатических волнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адам Дж.Д.*// ТИИЭР. 1988. Т. 76. № 2. С.73.
2. *Бабичев Р.К.* Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-м.н., 1997, Ростов н/Д.
3. *Иванов В.Н., Зубков В.И., Бабичев Р.К., Выстороπец Г.В., Дегтярев Д.С.* // РЭ. 2005. Т. 50. № 8. С. 985.
4. *Вугальтер Г.А., Гусев Б.Н., Гуревич А.Г., Чивилева О.А* // ЖТФ. 1986. Т. 56. № 1. С. 149.
5. *Гусев Б.Н., Гуревич А.Г., Вугальтер Г.А., Краснов Е.С.* // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. № 6. С. 537.
6. *Дмитриев В.Ф.* //РЭ. 1990. Т. 35. № 9. С. 1821.
7. *Sethares J.C., Weinberg I.J.* // Ciruits, Systems and Signal Processing. 1985. V. 4. № 1-2. P. 41.
8. *Вашковский А.В, Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П.* Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та. 1993.
9. *Бабичев Р.К., Бабичева Г.В., Зубков В.И., Иванов В.Н.*// РЭ. 1994. Т. 39. № 6. С. 987.
10. *Новиков Г.М., Петрунькин Е.З.*//Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. Вып.1 (196). 1983. С.28.

11. *Бабичев Р.К., Бабичева Г.В., Иванов В.Н.* //РЭ. 1995. Т. 40. № 11. С. 1720.
12. *Emtage P.R.*// J.Apll.Phys. 1978. V. 49. № 8. P. 4475.
13. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Физматгиз. 1962.
14. *Гельфанд И.М., Шилов Г.Е.* Обобщенные функции и действия над ними. М.: Физматгиз. 1958.
15. *Бабичева Е.Р., Бабичева Г.В., Бабичев Р. К.* Расчет импеданса односторонней копланарной линии, расположенной под ферритовой пленкой.// Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. Т. 19. № 9. С. 42- 45.
16. *Сафронов А.И.* Исследование полосно-пропускающего фильтра на односторонней копланарной линии, возбуждающей поверхностные магнитостатические волны.//Тезисы докладов 68-й студенческой научной конференции физического факультета ЮФУ 12-19 апреля 2016 г. С. 49.
17. *Сафронов А.И.* Возбуждение магнитостатических волн симметричной копланарной линией.//Выпускная квалификационная работа бакалавра. Физический факультет ЮФУ 22 июня 2016 г. С. 1-65.
18. *Сафронов А.И.* Исследование полосно-заграждающего фильтра на копланарной линии, возбуждающей поверхностные магнитостатические волны.// Материалы Международной научно-технической конференции INTERMATIC – 2016, 21 – 25 ноября 2016 г., часть 4, МОСКВА МИРЭА http://conf.mirea.ru/CD2016/pdf/p4/6.pdf

В.О. Семенец, М.П. Трухин

СПОСОБЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАДИОУПРАВЛЯЕМЫМ УСТРОЙСТВАМ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: радио борьба, циклическое кодирование, прицельные и сигналоподобные помехи, псевдослучайная перестройка рабочей частоты.

В статье рассмотрены основные способы противодействия радиоуправляемым устройствам. Рассмотрена сигналоподобная помеха и принцип ее формирования, а так же широкополосные и прицельные помехи.

V.O. Semenets, M.P. Trukhin

METHODS OF COUNTERACTION TO RADIO-CONTROLLED DEVICES

The Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the federal state institution of higher learning "Siberian State University of Telecommunications and Informatics", Yekaterinburg, Russia

Keywords: radio control, cyclic coding, sighting and signal-like interference, pseudo-random tuning of the operating frequency.

The main methods of counteraction to radio controlled devices are considered in the article. Signal-like interference and the principle of its formation, as well as broadband and impact interference, are considered.

Среди различных способов противодействия нежелательной деятельности радиоуправляемых устройств (РУУ) наиболее часто используемыми являются средства радиоэлектронного подавления. Такие средства должны обеспечивать корректную работу при многочисленных противоречивых условиях. Например, нужно охватить диапазон частот не менее 1 ГГц. Рабочая частота радио управляемого устройства, как правило, неизвестна, поэтому поставить точно прицельно-заградительные помехи не всегда возможно. Данную проблему решает разведка, но она занимает много времени и тоже недопустима в ряде случаев.

Применение широкополосных помех является наиболее простым, но весьма затратным по энергетическим характеристикам, способом подавления РУУ.

Так же помеха в широкополосном диапазоне может оказывать влияние на средства связи, которые находятся неподалеку. Для решения данной задачи принято вводить в аппаратуру, так называемые, “окна прозрачности”. Но данный метод приводит к усложнению и как следствию удорожанию устройств.

Часто зарубежные производители включают дополнительные режекторные фильтры для формирования таких окон. Но это приводит к образованию достаточно большого окна прозрачности, примерно три с половиной процента от частоты режекции. Но если использовать передатчик помех на базе прямого синтеза частоты, то можно довести окно прозрачности до 0,1 МГц. Так же можно с рабочими частотами, которые лежат вне диапазона аппаратуры подавления, синхронизировать связную аппаратуру.[1]

Применение прицельных помех

Помехоустойчивое кодирование обеспечивается в современных сетях связи надежную информационную безопасность. Организовать его можно, например, на основе кодеров и декодеров на двоичных регистрах сдвига на прореженных генераторных полиномах, близких по эффективности к случайному кодированию. Ниже приведены основные моменты связанные с помехоустойчивым кодированием:

– Кодеки с низкой плотностью и малым количеством проверок на четность кода являются лучшими для войсковых сетей;

– кодеки БЧХ, Хэмминга, Голея, Рида-Соломона имеют худшую помехоустойчивость в больших шумах;

– в кодеках Рида-Соломона могут производиться сложные расчеты в полях Галуа;

– Турбокодыки имеют большую длину кода и усложненный многоразрядный перемежитель.

Помеха в виде “белого шума” является универсальной для различных видов модуляции , инвариантная по отношению к любому типу кодированного сигнала. Данная помеха создается за счет генерации широкополосного шума во всей заданной полосе частот или посредством модуляции шумов сигнала, свипированного по частоте. Система генерирующая помехи с частотным свипированием и скоростью от 200 до 2000 МГц/мс имеют преимущества прицельных помех, а электронная перестройка частоты может компенсировать их недостатки в заданном диапазоне. В определенный момент времени помеха создается только на одной частоте. Что приводит к возникновению противоречия, между необходимостью быстро перестраивать частоты и обеспечивать нужное время воздействия на приемник, сигнал которого, нужно подавить. Если данное противоречие было разрешено, то свипирующая по частоте помеха вызывает случайный процесс на выходе приемника РУУ, который в свою очередь маскирует информацию принимаемого сигнала. Входной сигнал искажается и нарушается синхронизация, в результате чего блок приёма и обработки не распознает кодовую команду. [2,3]

Подавление РУУ с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ). Часто вместо более надежных средств информационной безопасности, которая обеспечивается упомянутыми выше схемами МППЧ-LDPC и абсолютно криптостойкими шифраторами (ГСЧ-АКШ) выбирают перестройку рабочей частоты по принципу псевдослучайности. Она же в свою очередь управляется псевдослучайными последовательностями с генераторными полиномами (линейными, неприводимыми). Но они являются непригодными, что ни раз доказывалось в литературе по криптографии. Отмечено, что ряд радиостанций определенных фирм с такими ПСП, противник легко вскроет радиоразведкой, что они не защищены от средств радиоборьбы и после приема 2n реализаций радиосигнала частотные позиции пакетов ППРЧ будут предсказуемыми, и радиостанции не смогут отличить фальшивые приказы от подлинных. [4,5]

Установка сигналоподобных помех. Одной из самых сложных задач по обеспечению радиобезопасности является борьба с сигналоподобными помехами, бороться с которыми стандартными методами практически нереально и зачастую единственным решением остается переход на другую частоту. Поэтому использование такой помехи для противодействия РУУ следует считать вполне целесообразным.

В основе синтеза алгоритма формирования сигналоподобной помехи (рис. 1) лежит схема классического винеровского фильтра. Главным отличием алгоритма создания помехи с сигналоподобным эффектом является то, что к полезному сигналу всегда принудительно примешивают “Белый шум”. Что в свою очередь, производит определенное количество пространство весовых коэффициентов. Отсюда адаптивный фильтр 1 настраивается так, чтобы его выходной сигнал соответствовал исходному процессу по критерию наилучшего среднеквадратического приближения.

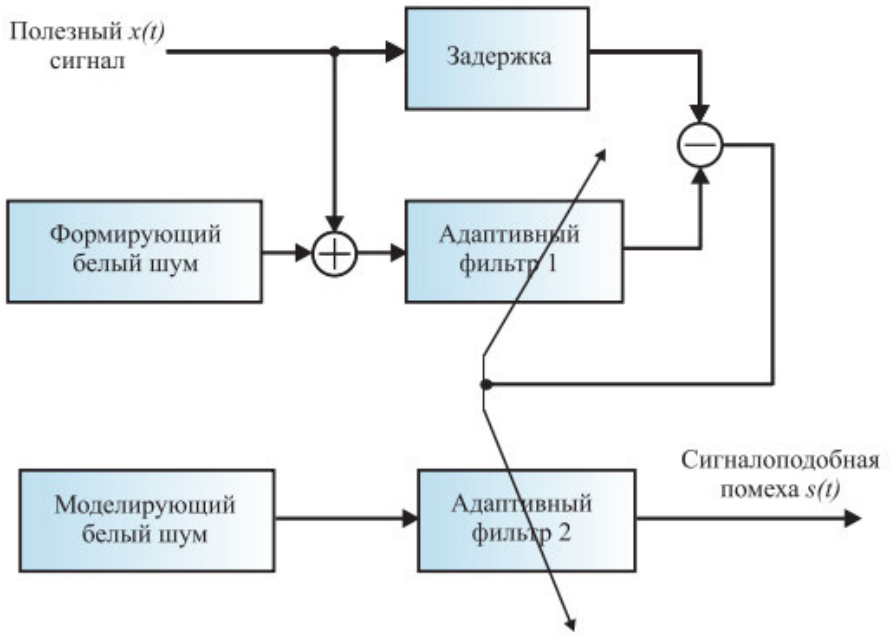


Рис. 1. – Структурная схема формирования сигналоподобной помехи

Определить передаточную функцию для адаптивного фильтра можно по следующей формуле:

$$|K(\omega)| = \frac{W_x(\omega)}{W_x(\omega) + W_v(\omega)},$$

где $W_x(\omega)$ – спектральная плотность мощности полезного сигнала, $W_v(\omega)$ – спектральная плотность мощности «формирующего белого шума». Для того чтобы сформировать сигналоподобную помеху необходимо переписать весовые коэффициенты в адаптивный фильтр 2, на входе которого действует «моделирующий белый шум», имеющий отличную от «формирующего белого шума» реализацию. Таким образом, на выходе такого адаптивного фильтра 2 генерируется сигналоподобная помеха, которая, по сути, является адаптивной моделью сигнала.[6]

Наилучшим способом, обеспечивающим эффективное подавление нежелательной деятельности РУУ, является применение сигналоподобных помех. Комплексирование этого способа с генераторами прицельных помех может оперативно и экономно решить задачу подавления РУУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брауде-Золотарев Ю.М.* Алгоритмы безопасности радиоканалов // Алгоритм безопасности. – 2013. – № 1.
2. Ошибки в новых войсковых радиостанциях // Беспроводные технологии. – 2013. – № 1.
3. *Беккиев А.Ю.* Радиостанции с SDR / Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. – М.: Информост, 2012.
4. *Беккиев А.Ю.* Автоматизированные системы управления войсками… // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. – М.: Инфор-мост, 2014.
5. *Брауде-Золотарев Ю.М.* О наилучших алгоритмах криптозащиты и помехозащиты // Электросвязь. – 2014. – № 2.

6. *Манохин А.Е.* Выпуск № 2 / 2011 Алгоритм формирования сигналоподобных помех с использованием адаптивных фильтров

***Н.Ю. Семиряд, **Н.В. Болдырихин**

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

*Донской Государственный Технический Университет, Ростов-на-Дону, Россия
**Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: параллелизм, параллелизм на процессорном уровне, параллелизм на уровне инструкций, процессор, конвейер, вектор, матрица.

Данная статья посвящена анализу параллелизма и методов его достижения в вычислительных системах.

***N.Y. Semiryad, **N.V. Boldyrikhin**

ANALYSIS OF THE PRINCIPLES OF PARALLEL COMPUTING ORGANIZATION

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
**North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Key words: parallelism, processor - level parallelism, instruction-level parallelism, processor, pipeline, vector, array.

The following article is dedicated for analysis of parallelism and methods of its achievement in computing systems.

Все мы являемся свидетелями быстрого развития компьютерных технологий. Сегодня один процессор по мощности может сравниться и даже превзойти компьютеры, которые мы считали эталоном производительности 10-15 лет назад. Однако возможности кристаллов, на которых создаются процессоры, ограничены. Невозможно до бесконечности наращивать производительность за счет увеличения числа транзисторов на кристалле. Увеличение тактовой частоты тоже стало неэффективным, поскольку это приводит к существенному нагреву процессора и большим энергозатратам. Поэтому в последнее время производители стали реализовывать архитектуры, позволяющие организовать параллельные вычисления (параллелизм) [1-4].

Рассмотрим два метода достижения параллелизма: параллелизм на уровне инструкций (ILP – Instruction Level Parallelism), который, благодаря параллельному выполнению инструкций, может повысить производительность приблизительно в 10 раз и параллелизм на уровне процессоров (PLP – Processor Level Parallelism), позволяющий повысить производительность в сотни, тысячи, миллионы раз [3].

В параллелизме на уровне инструкций можно выделить три основных способа его достижения:

- конвейер процессора (Pipelining);
- суперскалярный процессор (Superscalar processor);
- процессор с архитектурой сверхдлинного командного слова (VLIW - Very Long Instruction Word processor).

Рассмотрим конвейер процессора. Суть данного подхода заключается в разбиении сложной инструкции на более простые, которые называют стадиями, стадии, в свою очередь, образуют цепочку. На первом этапе идет считывание первой инструкции, на втором этапе, когда производится декодирование команды, начинается выполнение следующей инструкции. Конвейеризация процессора не сокращает время выполнения команды, но увеличивает пропускную способность процессора, а именно - количество команд, завершающихся за единицу времени. Производительность процессора будет возрастать благодаря тому, что на различных ступенях одновременно выполняются несколько инструкций [2].

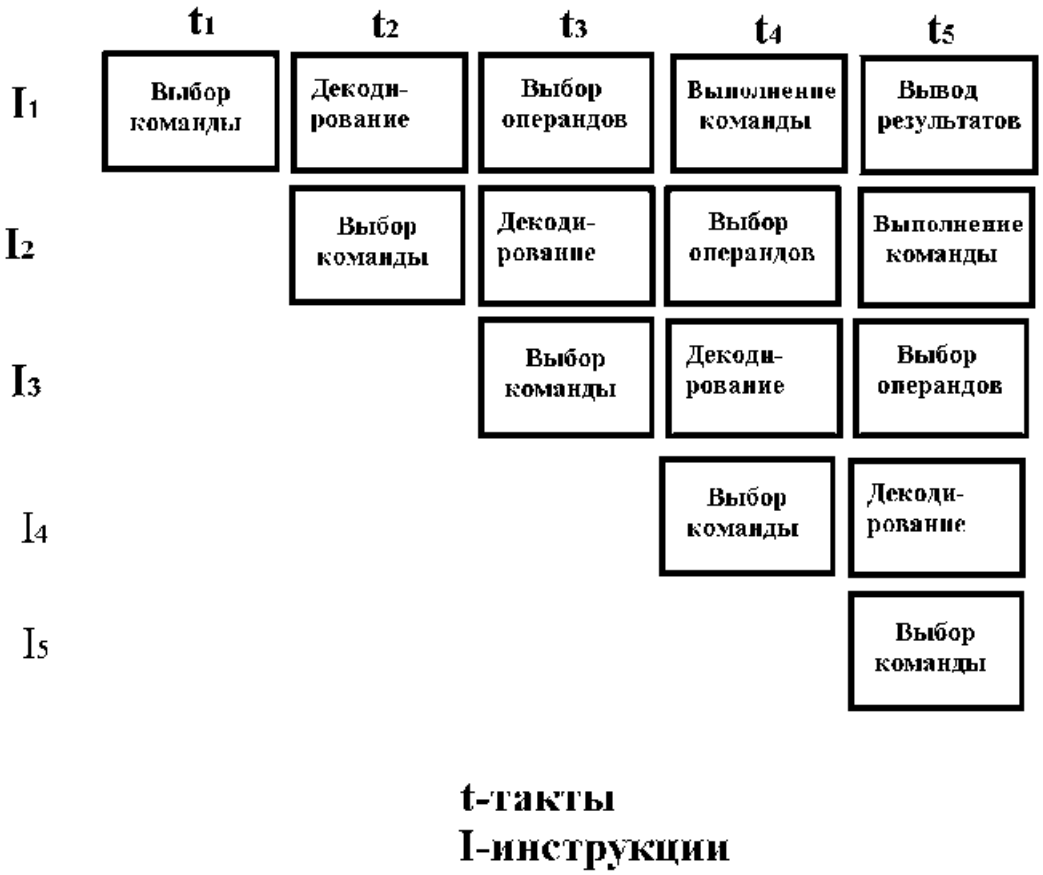


Рисунок 1 – Организация пятиступенчатого конвейера

Если процессор одновременно способен выполнять более одной скалярной команды, его называют суперскалярным. Этого можно добиться благодаря включению в состав процессора независимых функциональных блоков, отвечающих за свой класс операций. Скалярная команда – это одиночный операнд. В таком процессоре выполняется параллельная работа нескольких функциональных блоков, каждый из которых отвечает за определенные операции. Этого можно добиться лишь одновременным выполнением нескольких независимых скалярных команд. Примечательно, что достигнуть хороших результатов можно сочетая параллельную работу с конвейерной обработкой. Если инструкции, обрабатываемые конвейером, независимы, ядро может выполнить их параллельно. За планирование и исполнение потока команд отвечает вычислительное ядро.

В более современных суперскалярных системах за планирование выполнения инструкций отвечает компилятор. Он анализирует исходную команду, находит простые, независимые инструкции и объединяет их в одно очень длинное командное слово (VLIW – Very Long Instruction Word). Примечательно, что между такими инструкциями не должно возникать конфликтов.

Существует несколько правил при построении VLIW:

1) Количество простых независимых инструкций равно числу имеющихся в процессоре функциональных узлов.

2) В сверхдлинную команду будут входить только те простые инструкции, которые выполняют различные функциональные узлы. Тем самым обеспечивается одновременное выполнение всех инструкций, входящих в VLIW.

При организации параллелизма на процессорном уровне можно выделить следующие основные архитектуры: векторные и матричные процессоры, мультипроцессоры и мультикомпьютеры.

Векторные вычислительные системы (ВС) построены на принципе Single Instruction Multiple Data (SIMD), что в переводе означает: один поток команд несколько потоков данных. Данная архитектура позволяет вычислительным системам выполнять операцию сразу над большим количеством данных – векторами и матрицами. Для векторных вычислительных систем потоки данных – это последовательность элементов вектора, для матричных вычислительных систем – это строки матриц. Необходимым условием также является возможность проводить векторные операции: векторное и матричное сложение, умножение вектора на матрицу, умножение матрицы на константу, вычисление скалярного произведения и т.д. Для SIMD - архитектуры характерно наличие одного блока управления, контролирующего множество процессорных элементов. Все эти элементы получают одинаковую команду от блока управления и выполняют ее над своими данными.

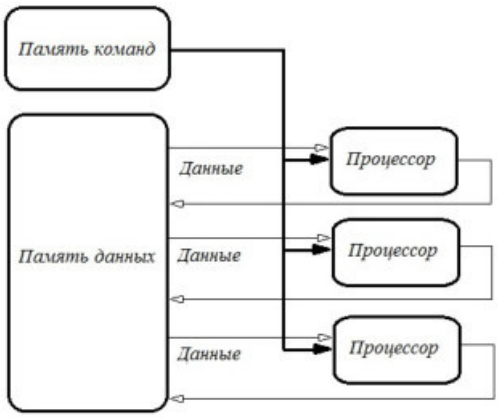


Рисунок 2 – Организация вычислений характерная для SIMD – архитектуры

Основные матричные операции сводятся к однотипным действиям над парами элементов, входящих в матрицу. Эти действия, зачастую, можно производить параллельно. В универсальных вычислительных системах, приспособленных под скалярные операции, матричные вычисления производятся поэлементно и последовательно. Однако, при больших размерностях матриц производительность, очевидно, будет падать. Для обработки больших массивов данных необходимы такие средства, которые с помощью одной команды одновременно проводили бы операции над всеми элементами.

Векторными называются процессоры, в которых операндами команд являются векторы. Вектор, априори, - это одномерный массив данных. Реализация векторного процессора имеет два варианта. В первом он представляет собой основу для самостоятельной ВС. Во втором – дополнительный функциональный блок к ВС. Векторные процессоры также могут различаться по своей архитектуре. Выделяют векторно-параллельные и векторно-конвейерные процессоры. В первом варианте несколько функциональных блоков, каждый из которых отвечает за пару элементов, проводят одновременные операции над элементами вектора. Во втором – обработка элементов вектора лежит на функциональном блоке, работающем по принципу конвейера. Возможно, также, совмещение двух этих подходов: применение нескольких функциональных блоков для обработки векторов.

Матричным является процессор, состоящий из массива процессорных элементов. Принцип действия таких систем состоит в следующем: существует один функциональный блок, отдающий команды множеству процессорных элементов, работающих параллельно. Каждый элемент обрабатывает отдельный поток данных.

Мультипроцессоры – компьютеры, в которых общая физическая память используется всеми процессорами. Свойством данных систем является то, что один процессорный элемент может записать некоторую величину в память, после – считать ее обратно и получить совсем другую величину (это связано с тем, что другой процессорный элемент мог изменить данную величину), т.е. межпроцессорный обмен реализуется через общую память. Такой способ обмена характерен для систем с небольшим количеством процессоров.

Для более сложных многопроцессорных систем используют архитектуры с локальной памятью, когда каждому процессорному элементу выделяется своя память. Эти системы принято называть мультикомпьютерами. Из-за отсутствия в мультикомпьютерах

общей памяти, процессоры объединяются в сеть, через которую обмениваются данными посредством сообщений.

Оба метода применяются в современных компьютерах, однако каждый из них имеет и недостатки. Мультипроцессоры построить намного сложнее, чем мультикомпьютеры, но последние, в свою очередь, трудно программировать. Исходя из этого, предпринимаются попытки создания гибридных систем, которые включали бы все положительные стороны обоих методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воеводин В.В., Воеводин Вл.В*. Параллельные вычисления.- СПб: БХВ-Петербург, 2002.
2. *Орлов С.А., Цилькер Б.Я.* Организация ЭВМ и систем / Учебник для вузов. 2-е изд. — СПб: Питер, 2011.
3. *Andrew S.Tanenbaum*. Structured Computer Organization // Fifth edition. - Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2006.
4. *Stallings W.* Computer Organization and Architecture. Designing and performance// Fifth edition. - UpperSaddle River, NJ : Prentice Hall, 2002.

И.С. Синева, Д.С. Зайченко

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ЗАДАЧАХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

Федеральное агентство связи Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Технический Университет Связи и Информатики»,
Москва, Россия
e-mail: iss@mtuci.ru, dmitryzaichenko@yandex.ru

Ключевые слова: генетические алгоритмы, помехоустойчивое кодирование, оптимизация

В статье описывается обобщение генетического алгоритма-прототипа, позволяющее учитывать распределение ошибок в различных символах двоичного кода. Учет этого обстоятельства на этапе кодирования позволяет сократить последствия появления побитовых искажений с точки зрения минимизации расстояний между отправленным символом и декодированном в метрике пространства источника. Применением описываемого алгоритма могут быть задачи стеганографии

I.S. Sineva, D.S. Zaichenko

GENETIC ALGORITHTMS IN THE NOISE PROOF CODING

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Keywords: genetic algorithms, noise proof coding, optimization

The article describes the generalization of the genetic algorithm-prototype, allowing to take into account the distribution of errors in various symbols of the binary code. Taking into account this circumstance at the coding stage allows reducing the consequences of the appearance of bitwise distortions in terms of minimizing the distances between the sent symbol and decoded in the source space metric. The application of the described algorithm can be steganography problems.

Введение

Классический алгоритм помехоустойчивого кодирования основан на добавлении избыточности. Но внесение дополнительной избыточности в передаваемое сообщение может оказаться неприемлемой ценой. Поэтому возникает задача уменьшения последствий возможных искажений символов при передаче без внесения дополнительной избыточности в сообщение. Для повышения помехоустойчивости без введения дополнительной избыточности были разработаны специальные генетические алгоритмы кодирования [1, 2]. Их исследованию посвящены работы [3 – 13].

Генетические алгоритмы - адаптивные методы поиска, которые используются для решения задач функциональной оптимизации. Они основаны на механизмах и моделях эволюции и генетических процессов биологических алгоритмов.

Этот класс алгоритмов позволяет минимизировать вред от ошибок за счет того, что точки кодируются таким образом, что близкие точки в пространстве источника также будут близкими в пространстве кодовых сообщений, то есть на единичном расстоянии, которое является минимальным расстоянием между различными кодовыми комбинациями. Тем самым, при ошибке в одном символе кодовой комбинации получаем комбинацию, которая находится близко к исходной в пространстве источника. Особенность обсуждаемого класса алгоритмов в том, что указанное свойство выполнено не локально, а глобально, на всем пространстве источника сообщений.

Таким образом, можно смело утверждать, что генетические алгоритмы — это современный метод решения оптимизационных задач, а исследования способов кодирования являются актуальной научной задачей, решение которой может значительно повысить эффективность работы генетического алгоритма.

В данной статье в отличие от классического генетического алгоритма представлен алгоритм, который позволяет учитывать различие вероятности возникновения ошибки в различных символах двоичного кода. Учет этого обстоятельства на этапе кодирования позволяет сократить последствия появления побитовых искажений с точки зрения минимизации расстояний между отправленным символом и декодированном в метрике пространства источника.

Объектом исследования являлся новый способ кодирования решений в генетических алгоритмах.

Целью исследований было проанализировать преимущества и недостатки предложенного метода кодирования, и предоставить рекомендации по его использованию в тех или иных случаях.

Представление пространства источника

В данной статье будет рассматриваться алгоритм генетического кодирования источника сообщений, где источник сообщений представляет собой случайное поле точек размера $N = 2^n$. Предполагается, что исходные сообщения могут быть проинтерпретированы как точки плоскости A_i с координатами (x_i, y_i), $1 \le i \le N$. Тогда для безизбыточного равномерного двоичного кодирования необходим код длиной n. Для симуляции пространств использовались генераторы случайных чисел с применением нормального и равномерного распределений. Выбор моделей определяется тем, что гауссовские массивы имеют ярко выраженную локализацию, а равномерные не имеют ее вообще.

В качестве меры, определяющей расстояние между парой точек A_i и A_j рассматривается евклидово расстояние

$$d_{i,j} = \sqrt{\sum_{l=1}^{m} (x_l(i) - x_l(j))^2}, d_{i,j} = d_{j,i}, d_{i,i} = 0, d_{i,j} > 0 \text{ при } i \neq j$$

Описание генетического алгоритма кодирования

Алгоритм-прототип, взятый за основу, был ранее описан в [1, 2].

На первом шаге работы алгоритма производится поиск начальной точки нулевой категории. Для выбора начальной точки нулевой категории можно предложить два подхода.

1 подход:

Для каждой точки A_i вычисляем сумму её евклидовых расстояний $D_i = \sum_{j=1}^{N} d_{i,j}$ до остальных точек массива и выбираем в качестве начальной точки центр тяжести. Тогда начальной точкой A_{i_0} будет та, у которой это значение минимально:

$$i_0 = \arg\min\{D_i \mid 1 \le i \le N\}$$

Она кодируется *n*-битной комбинацией $(0\,0\,0\,...\,0)$, состоящей из одних нулей.

2 подход:

В качестве начальной берется точка сгущения ансамбля A_i, $1 \le i \le N$. В этом случае для каждой из точек A_i ищутся n ближайших и суммируются расстояния до них. Та из точек, у которой эта сумма будет наименьшей (т.е. наиболее плотно окруженная точками из ансамбля), и берется за начальную точку алгоритма и кодируется комбинацией из одних нулей. Формальное описание этой процедуры состоит в том, что для каждой точки A_i, $1 \le i \le N$, мы ищем n ее ближайших соседей:

$$i_1 = \arg\min\{d_{i,j};\ 1 \le j \le N,\ j \ne i\},$$
$$i_2 = \arg\min\{d_{i,j};\ 1 \le j \le N,\ j \ne i,\ j \ne i_1\},$$
$$i_3 = \arg\min\{d_{i,j};\ 1 \le j \le N,\ j \ne i,\ j \ne i_1,\ j \ne i_2\},$$
…
$$i_n = \arg\min\{d_{i,j};\ 1 \le j \le N,\ j \ne i,\ j \ne i_1,\ j \ne i_2,\ \dots,\ j \ne i_{n_0-1}\}.$$
$$\tilde{D}_i = \sum_{k=1}^{n} d_{i,i_k},$$
$$i_0 = \arg\min\{\tilde{D}_i;\ 1 \le i \le N\}.$$

Во многих случаях процедуры оба подхода дают одну и ту же начальную точку алгоритма. В то же время для массивов без выраженной локализации (далее они моделируются равномерным распределением) точка сгущения может оказаться смещенной на периферию массива, что приведет к появлению неоправданно больших расстояний на последних шагах работы алгоритма.

На втором шаге производим поиск точек первой категории – это группа из n (то же, что и C_n^1) точек. Для поиска наименее удаленной точки необходимо учитывать возможное искажение в каждом символе, вероятность искажения символа i обозначим P_i. Если в кодовом слове длины N искажен символ i, то вероятность этого события

$$P_i = (1-p_1)(1-p_2)...(1-p_{i-2})(1-p_{i-1})p_i(1-p_{i+1})...(1-p_n) = \left[\prod_{j=1}^{n}(1-p_j)\right]\frac{p_i}{1-p_i}$$

где p_i - вероятность того, что будет искажен символ в позиции i, будем предполагать, что позиции перестановочно упорядочены таким образом, что $p_1 \le p_2 \le ... \le p_n$.

Введем множество вероятностей $\mathrm{P} = \{p \mid 1 \le p \le n\}$.

Для точек первой категории находим:

$$i_{1,1} = \arg\min\{d_{i_0,j}P_n \mid 1 \le j \le N;\ j \ne i_0\}$$
$$i_{1,2} = \arg\min\{d_{i_0,j}P_{n-1} \mid 1 \le j \le N;\ j \ne i_0;\ j \ne i_{1,1}\}$$
$$i_{1,3} = \arg\min\{d_{i_0,j}P_{n-2} \mid 1 \le j \le N;\ j \ne i_0;\ j \ne i_{1,1};\ j \ne i_{1,2}\}$$
...
$$i_{1,n} = \arg\min\{d_{i_0,j}P_1 \mid 1 \le j \le N;\ j \ne i_0;\ j \ne i_{1,1},...,\ j \ne i_{1,n-1}\}$$

Тогда точки $A_{i_{1,1}}, A_{i_{1,2}},..., A_{i_{1,n}}$ - это точки первой категории с множеством индексов

$$\theta_1 = \{i_{1,1}, i_{1,2},..., i_{1,n}\}$$

Кодовая комбинация, которую получит точка первой категории, состоит из $n-1$ нулей и одной единицы $(100...0),(010...0),...,(000...1)$, причем у точки $A_{i_{1,j}}$ единица находится в j-ой позиции. Для представления кодовой комбинации точки введем оператор C.
К примеру, $C(A_{i_{1,2}}) = (000...010)$.

На третьем шаге находим точки, которые в совокупности наименее удалены от точек первой категории – это точки второй категории, кодовые комбинации которых будут отличаться одной дополнительной единицей от кодовых комбинаций точек первой категории. Для этого рассматриваем все пары точек первой категории, число таких пар равно $n_2 = C_n^2$. Для удобства введем множество индексов точек, свободных для рассмотрения на этом шаге, то есть тех, которые не являются ни начальной точкой, ни точкой первой категории:

$$\psi_1 = \{ j \,|\, 1 \le j \le N; j \ne i_0; j \notin \theta_1 \}$$

Здесь уже нужно учитывать возможные искажения пары символов. В таком случае, искомая точка второй категории будет:

$$i_{2,1}(\alpha_{2,1}^{(1)}, \alpha_{2,1}^{(2)}) = \arg\min\{ d_{s_1,j} P_{\alpha_{2,1}^{(1)}} + d_{s_2,j} P_{\alpha_{2,1}^{(2)}} \,|\, \{S\} \in \theta_1; \{\alpha_{2,1}\} \in P; j \in \psi_1; s_1 \ne s_2 \}$$

$$i_{2,2}(\alpha_{2,2}^{(1)}, \alpha_{2,2}^{(2)}) = \arg\min\{ d_{s_1,j} P_{\alpha_{2,2}^{(1)}} + d_{s_2,j} P_{\alpha_{2,2}^{(2)}} \,|\, \{S\} \in \theta_1; \{\alpha_{2,2}\} \in P; j \in \psi_1; s_1 \ne s_2; \{S\} \ne i_{2,1} \}$$

$$i_{2,3}(\alpha_{2,3}^{(1)}, \alpha_{2,3}^{(2)}) = \arg\min\{ d_{s_1,j} P_{\alpha_{2,3}^{(1)}} + d_{s_2,j} P_{\alpha_{2,3}^{(2)}} \,|\, \{S\} \in \theta_1; \{\alpha_{2,3}\} \in P; j \in \psi_1; s_1 \ne s_2; \{S\} \ne i_{2,1}; \{S\} \ne i_{2,2} \}$$

...

$$i_{2,n_2}(\alpha_{2,n_2}^{(1)}, \alpha_{2,n_2}^{(2)}) = \arg\min\{ d_{s_1,j} P_{\alpha_{2,n_2}^{(1)}} + d_{s_2,j} P_{\alpha_{2,n_2}^{(2)}} \,|\, \{S\} \in \theta_1; \{\alpha_{2,n_2}\} \in P; j \in \psi_1; s_1 \ne s_2; \{S\} \ne i_{2,1} ... \{S\} \ne i_{2,n_2-1} \}$$

где $S = \{s_1; s_2\}$

Для того, чтобы определить искаженный символ $\alpha_{2,1}^{(1)}$ введем оператор L. Оператор возвращает массив аргументов $\arg\{S\}$ заданной точки S. А именно:

$$L(s_i) = \arg(s_i)$$

Если оператор применен к точке первой категории $A_{i_{1,j}}$, то результатом будет индекс j.

$$\alpha_{2,n_2}^{(1)} = L(s_2); \alpha_{2,n_2}^{(2)} = L(s_1);$$

Для представления кодовой комбинации точки по заданному массиву позиций введем оператор c.

$$C(A_{i_{2,1}}) = c(\alpha_{2,1}^{(1)}) \oplus c(\alpha_{2,1}^{(2)})$$

Введем множество индексов точек второй категории

$$\theta_2 = \{ i_{2,1}, i_{2,2}, ..., i_{2,n_2} \}$$

Точками второй категории будут точки $A_{i_{2,k}}$, кодировки которых будут отличаться одной дополнительной единицей от кодовых комбинаций, приписанных соответствующим точкам первой категории. Например, если точке $A_{i_{1,u}}$ соответствует кодовая комбинация $(01000...0)$, а точке $A_{j_{1,v}}$ - кодовая комбинация $(00010...0)$, то соответствующей точке второй категории $A_{i_{2,k}}$ будет поставлена в соответствие кодовая комбинация $(01010...0)$, отличающаяся в метрике Хемминга от двух предыдущих на единицу.

Обозначим расстояние Хемминга между кодовыми комбинациями, приписанными точкам A_i и A_j, через $r(i, j)$.

Тогда для всех точек второй категории:

$$r(i_{2,q}, s_1) = r(i_{2,q}, s_2) = 1,\ s_1, s_2 \in \theta_1,\ s_1 \ne s_2,\ i_{2,q} \in \theta_2$$

Таким образом, нами получены n_2 точек второй категории $A_{i_{2,1}}, A_{i_{2,2}},..., A_{i_{2,n_2}}$, каждая из которых удалена от некоторой пары точек первой категории на минимальное положительное расстояние Хемминга с учетом вероятностей соответствующих побитовых искажений.

На четвертом шаге аналогичным образом рассматриваются тройки точек. Таких точек $n_3 = C_n^3$, чьи кодовые комбинации будут содержать уже три единицы. Как и на третьем шаге, введем множество $\psi_2 = \{j \,|\, 1 \le j \le N; j \ne i_0; j \notin \theta_1; j \notin \theta_2\}$ «свободных» точек, т.е. не являющихся ни начальной, ни точкой первой или второй категории. Из точек второй категории (s_1, s_2, s_3) образуем тройки, удовлетворяющие условию $r(s_1, s_2) = r(s_1, s_3) = r(s_2, s_3) = 2$. Номера точек третьей категории определяются соотношениями:

$$i_{3,1}(\alpha_{3,1}^{(1)}, \alpha_{3,1}^{(2)}, \alpha_{3,1}^{(3)}) = \arg\min\{d_{s_1,j}P_{\alpha_{3,1}^{(1)}} + d_{s_2,j}P_{\alpha_{3,1}^{(2)}} + d_{s_3,j}P_{\alpha_{3,1}^{(3)}} \,|\, \{S\} \in \theta_2; \{\alpha_{2,1}\} \in P; j \in \psi_2;$$

$$s_1 \ne s_2; s_1 \ne s_3; s_2 \ne s_3\}$$

$$i_{3,2}(\alpha_{3,2}^{(1)}, \alpha_{3,2}^{(2)}, \alpha_{3,2}^{(3)}) = \arg\min\{d_{s_1,j}P_{\alpha_{3,2}^{(1)}} + d_{s_2,j}P_{\alpha_{3,2}^{(2)}} + d_{s_3,j}P_{\alpha_{3,2}^{(3)}} \,|\, \{S\} \in \theta_2; \{\alpha_{2,1}\} \in P; j \in \psi_2;$$

$$s_1 \ne s_2; s_1 \ne s_3; s_2 \ne s_3; \{S\} \notin i_{3,1}\}$$

...

$$i_{3,n_3}(\alpha_{3,n_3}^{(1)}, \alpha_{3,n_3}^{(2)}, \alpha_{3,n_3}^{(3)}) = \arg\min\{d_{s_1,j}P_{\alpha_{3,n_3}^{(1)}} + d_{s_2,j}P_{\alpha_{3,n_3}^{(2)}} + d_{s_3,j}P_{\alpha_{3,n_3}^{(3)}} \,|\, \{S\} \in \theta_2; \{\alpha_{2,1}\} \in P; j \in \psi_2;$$

$$s_1 \ne s_2; s_1 \ne s_3; s_2 \ne s_3; \{S\} \notin \{i_{3,1}...i_{3,n_3-1}\}\}$$

$$C(A_{i_{2,n_3}}) = c(L(s_1)) \oplus c(L(s_2)) \oplus c(L(s_3))$$

$$\alpha_{3,n_3}^{(1)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{3,n_3} \oplus c(L(s_1))])$$

$$\alpha_{3,n_2}^{(2)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{3,n_3} \oplus c(L(s_2))])$$

$$\alpha_{3,n_2}^{(3)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{3,n_3} \oplus c(L(s_3))])$$

Точки $A_{i_{3,1}}, A_{i_{3,2}},..., A_{i_{3,n_3}}$ будут точками третьей категории, их кодовые комбинации будут содержать три единицы, причем для каждого из полученных наборов (s_1, s_2, s_3) имеет место равенство

$r(i_{3,q}, s_1) = r(i_{3,q}, s_2) = r(k_{3,q}, s_3) = 1$, где $s_1, s_2, s_3 \in \theta_2$, $s_2 \ne s_3, s_2 \ne s_3, s_1 \ne s_3$, $i_{3,q} \in \theta_3$

Например, если точке s_1 соответствует кодовая комбинация $(1100...0)$, точке s_2 соответствует кодовая комбинация $(1010...0)$, то в тройку точек второй категории войдет также некоторая точка s_3, которой была приписана кодовая комбинация $(0110...0)$, а соответствующая им точка третьей категории $A_{i_{3,q}}$ получит кодовую комбинацию $(1110...0)$

Для примера, максимально упростив задачу, представим себе, что по каналу связи передается матрица с данными, которые представляют цифры от 1 до 16. При передаче эти данные представляются в равномерном двоичном коде. Пусть цифра 13 кодируется двоичным кодом (0000).

Находим точки первой категории:

$$A_{i_{1,1}} = 12 \to C(L(12)) = c(1) = (0001)$$
$$A_{i_{1,2}} = 2 \to C(L(2)) = c(2) = (0010)$$
$$A_{i_{1,3}} = 1 \to C(L(1)) = c(3) = (0100)$$
$$A_{i_{1,4}} = 14 \to C(L(14)) = c(4) = (1000)$$

Точки второй категории:

$$A_{i_{2,1}} = 8 \to C(L(2)) + C(L(14)) = c(2) + c(4) = (1010)$$
$$A_{i_{2,2}} = 11 \to C(L(12)) + C(L(1)) = c(1) + c(3) = (0101)$$
$$A_{i_{2,3}} = 9 \to C(L(1)) + C(L(14)) = c(3) + c(4) = (1100)$$
$$A_{i_{2,4}} = 10 \to C(L(12)) + C(L(2)) = c(1) + c(2) = (0011)$$
$$A_{i_{2,5}} = 3 \to C(L(12)) + C(L(14)) = c(1) + c(4) = (1001)$$
$$A_{i_{2,6}} = 7 \to C(L(2)) + C(L(1)) = c(2) + c(3) = (0110)$$

Найдем точку третьей категории $A_{i_{3,1}}$

$$i_{3,1}(\alpha_{3,1}^{(1)}, \alpha_{3,1}^{(2)}, \alpha_{3,1}^{(3)}) = \arg\min\{d_{7,6}P_{\alpha_{3,1}^{(1)}} + d_{8,6}P_{\alpha_{3,1}^{(2)}} + d_{9,6}P_{\alpha_{3,1}^{(3)}} \mid \{7,8,9\} \in \theta_2; \{\alpha_{2,1}\} \in P; 6 \in \psi_2\}$$
$$C(A_{i_{3,1}}) = c(L(7)) \oplus c(L(8)) \oplus c(L(9)) = c(2,3) \oplus c(1,3) \oplus c(1,2) = (0110) \oplus c(1010) \oplus c(1100) = (1110)$$
$$\alpha_{3,1}^{(1)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{3,1} \oplus c(L(7))]) = n - \log_{10}(\text{int}[(1110) \oplus (0110)]) = n - \log_{10}(\text{int}[(1000)]) = 4 - 3 = 1$$
$$\alpha_{3,1}^{(2)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{3,1} \oplus c(L(8))]) = n - \log_{10}(\text{int}[(1110) \oplus (1010)]) = n - \log_{10}(\text{int}[(100)]) = 4 - 2 = 2$$
$$\alpha_{3,1}^{(3)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{3,1} \oplus c(L(9))]) = n - \log_{10}(\text{int}[(1110) \oplus (1100)]) = n - \log_{10}(\text{int}[(10)]) = 4 - 1 = 3$$

тогда

$$i_{3,1}(1,2,3) = \arg\min\{d_{7,6}P_1 + d_{8,6}P_2 + d_{9,6}P_3 \mid \{7,8,9\} \in \theta_2; \{1,2,3\} \in P; 6 \in \psi_2\}$$

По той же схеме происходит поиск и кодирование точек четвертой и последующих категорий. Приведенный пример имеет данные, расстояние между которыми евклидово.

Формула в общем виде выглядит следующим образом

$\forall m \in [2..n-1]$ имеем:

$$i_{m,1}(\alpha_{m,1}^{(1)}, ..., \alpha_{m,1}^{(m)}) = \arg\min\{d_{s_1,j}P_{\alpha_{m,1}^{(1)}} + d_{s_2,j}P_{\alpha_{m,1}^{(2)}} + ... + d_{s_m,j}P_{\alpha_{m,1}^{(m)}} \mid$$
$$\{S\} \in \theta_{m-1}; \{\alpha_{m,1}\} \in P; j \in \psi_{m-1}; s_1 \notin \{s_2, ..., s_m\}, ..., s_m \notin \{s_2, ..., s_{m-1}\}\}$$
$$i_{m,2}(\alpha_{m,2}^{(1)}, ..., \alpha_{m,2}^{(m)}) = \arg\min\{d_{s_1,j}P_{\alpha_{m,2}^{(1)}} + d_{s_2,j}P_{\alpha_{m,2}^{(2)}} + ... + d_{s_m,j}P_{\alpha_{m,2}^{(m)}} \mid$$
$$\{S\} \in \theta_{m-1}; \{\alpha_{m,2}\} \in P; j \in \psi_{m-1}; s_1 \notin \{s_2, ..., s_m\}, ..., s_m \notin \{s_2, ..., s_{m-1}\}\}; \{S\} \neq i_{m,1}\}$$
$$...$$
$$i_{m,n_m}(\alpha_{m,n_m}^{(1)}, ..., \alpha_{m,n_m}^{(m)}) = \arg\min\{d_{s_1,j}P_{\alpha_{m,n_m}^{(1)}} + d_{s_2,j}P_{\alpha_{m,n_m}^{(2)}} + ... + d_{s_m,j}P_{\alpha_{m,n_m}^{(m)}} \mid$$
$$\{S\} \in \theta_{m-1}; \{\alpha_{m,n_m}\} \in P; j \in \psi_{m-1}; s_1 \notin \{s_2, ..., s_m\}, ..., s_m \notin \{s_2, ..., s_{m-1}\}\}; \{S\} \notin \{i_{m,1} ... i_{m,n_m-1}\}\}$$

где

$1 \le k \le m;$

$n_m = C_n^m$

$\theta_m = \{i_{m,1}, i_{m,2}, ..., i_{m,n_m}\};$

$\psi_m = \{ j; 1 \le j \le N; j \ne i_0; j \notin \theta_1 ... j \notin \theta_m \}$

$C(A_{i_{m,l}}) = c(L(s_1)) \oplus c(L(s_2)) \oplus ... \oplus c(L(s_m))$

$\alpha_{m,l}^{(1)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{m,l} \oplus c(L(s_1))])$

...

$\alpha_{m,k}^{(3)} = n - \log_{10}(\text{int}[i_{m,l} \oplus c(L(s_m))])$

Примеры кодирования для различных типов ошибок

Одна из задач алгоритма – это уменьшение общего расстояния ребер графа фиксированной связности, накладываемого на заданную конфигурацию точек. Общее расстояние складывается из включаемых расстояний, которые представляют собой некоторое метрическое расстояние между двумя сообщениями.

Рассмотрим, как изменяются результаты работы алгоритма кодирования от различных типов ошибок, смоделированные как случайные поля с различными распределениями.

Поля источников сообщений с нормальным распределением

Поля данного типа представляют собой пример поля с сильной локализацией, что должно способствовать эффективной работе алгоритма генетического кодирования.

На рисунках 1-4 показан пример работы генетического и случайного алгоритма кодирования для поля, состоящего из 32 точек.

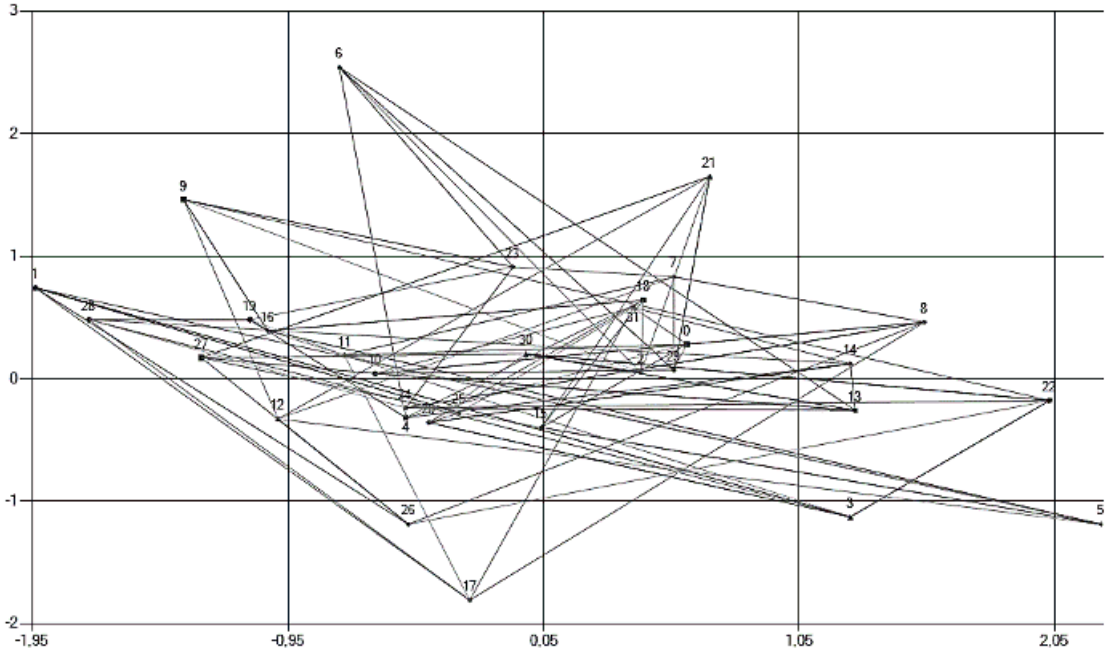


Рис 1. Граф соседства кодовых комбинаций, полученный **случайным алгоритмом** кодирования **без учета** различий вероятностей ошибок

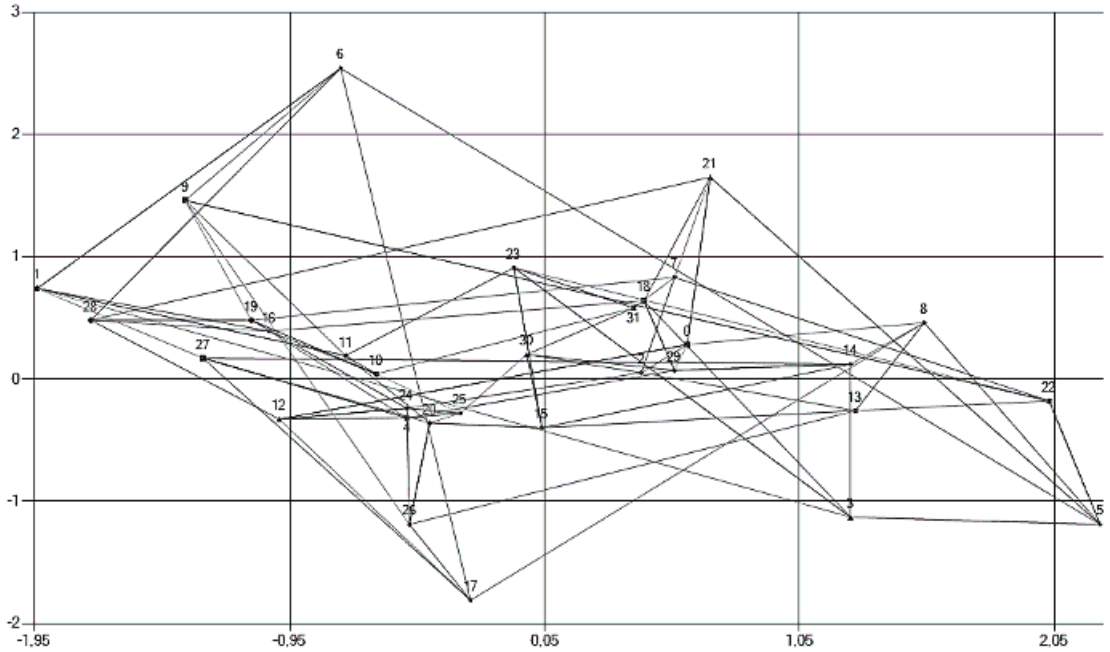


Рис 2. Граф соседства кодовых комбинаций, полученный генетическим алгоритмом-прототипом **без учета** различий вероятностей ошибок для **гауссовского поля**

На рис.3 ошибки линейно возрастают: $p_i = 10^{-4} i$.

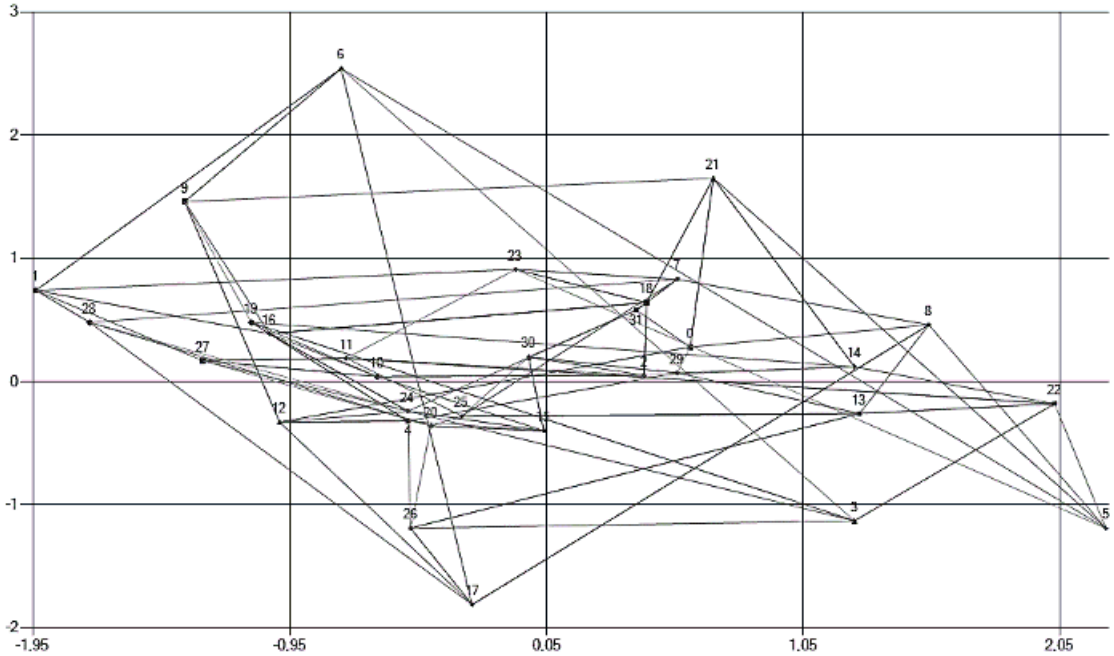


Рис 3. Граф соседства кодовых комбинаций, полученный модифицированным генетическим алгоритмом при **линейных** вероятностях битовых ошибок для **гауссовского поля**

На рис.4 представлен результат работы для ошибок, которые выражаются соотношением: $p_i = 0.5 * 10^{-4} e^{0.7i}$.

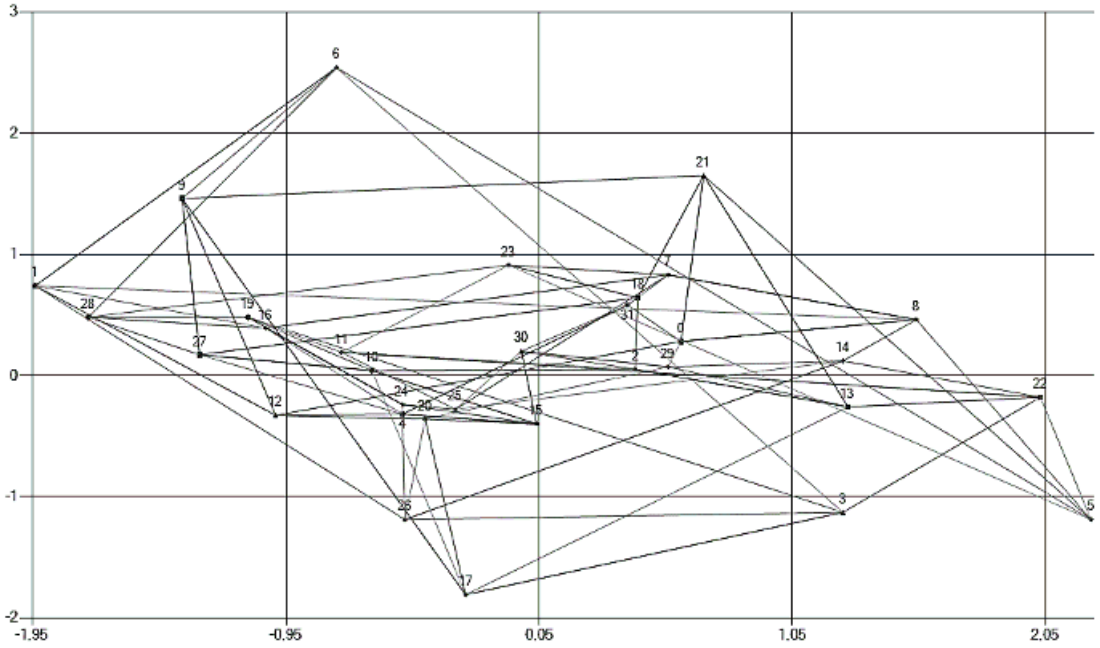


Рис 4. Граф соседства кодовых комбинаций, полученный модифицированным генетическим алгоритмом при **экспоненциальных** вероятностях битовых ошибок для **гауссовского поля**

На рисунках видно, что при случайном кодировании в кодовом пространстве соседними оказываются точки, которые в исходном пространстве часто располагаются достаточно далеко. В случае генетического алгоритма кодирования таких случаев меньше, т.е. близкие точки в кодовом пространстве также являются близкими в исходном пространстве источника сообщений.

На рис.5 представлена гистограмма распределения средних расстояний для 1000 реализаций случайного кодирования. Применение критерия Колмогорова-Смирнова позволяет сделать вывод о том, что полученные данные хорошо согласуются с нормальным распределением (mean = 135,658; standard deviation = 5,07239), уровень значимости 0,95.

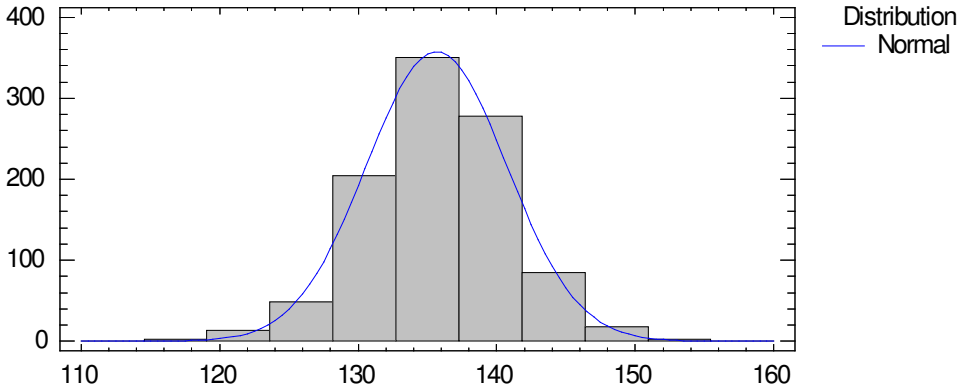


Рис 5. Гистограмма распределения средних расстояний для 1000 реализаций **случайного кодирования** для **гауссовского поля**

Значения на гистограмме расположены в пределах от 117,904 до 151,941. Среднее значение расстояния для случайного кодирования составляет 135,658. Результаты работы генетического алгоритма всегда лучше случайно найденного минимума, они сведены в табл. 1

Таблица 1

Оптимизационные характеристики работы модификаций ГА для гауссовского поля

Описание побитовых ошибок	Полученное осредненное расстояние	Отклонение от статистического среднего	Вероятность получить такое отклонение случайно
Равновероятное	101,05	- 6,82 σ	$4{,}6*10^{-12}$
Линейно возрастающие	104,09	- 6,22 σ	$2{,}5*10^{-10}$
Экспоненциально возрастающие	103,72	- 6,29 σ	$1{,}6*10^{-10}$

Полученные результаты работы генетического кодирования представлены в таб.1 и все они значительно меньше статистически зафиксированного минимума 117,904. Эффективность алгоритма для поля из 32 точек составляет порядка 6 сигма.

Поля источников сообщений с равномерным распределением

Представлен анализ алгоритмов генетического кодирования для пространства источника сообщения, которое описывается равномерным законом распределения с параметрами $[0,1]\times[0,1]$. Графики связности изображены на рис. 6-8

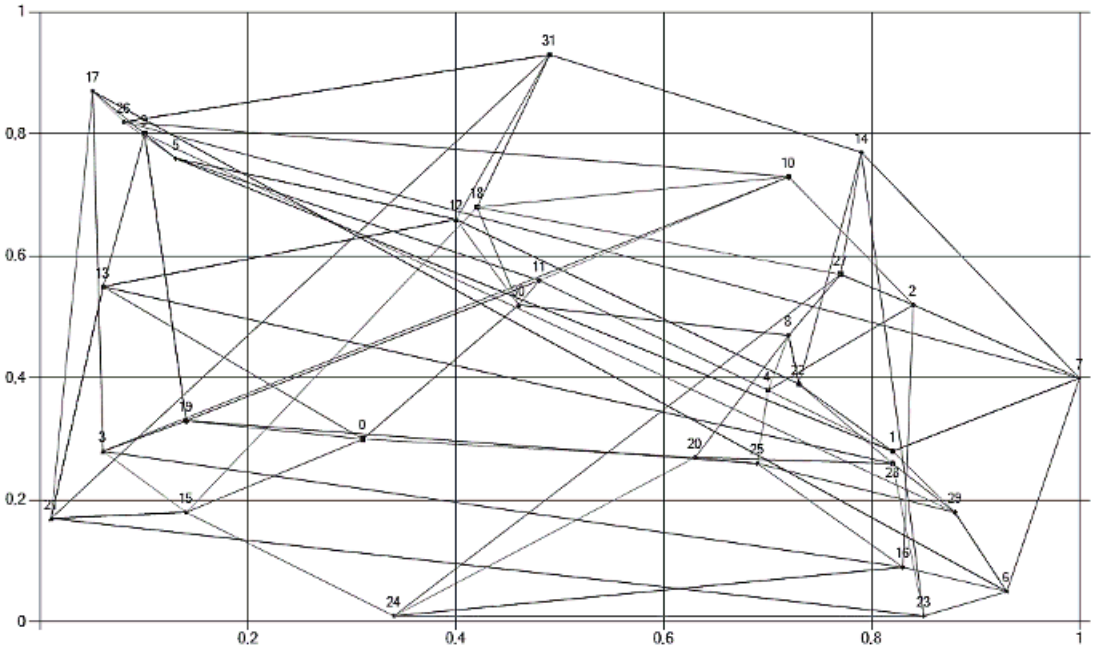


Рис 6. Граф соседства кодовых комбинаций, полученный генетическим алгоритмом-прототипом **без учета** различий вероятностей ошибок для **равномерного поля**

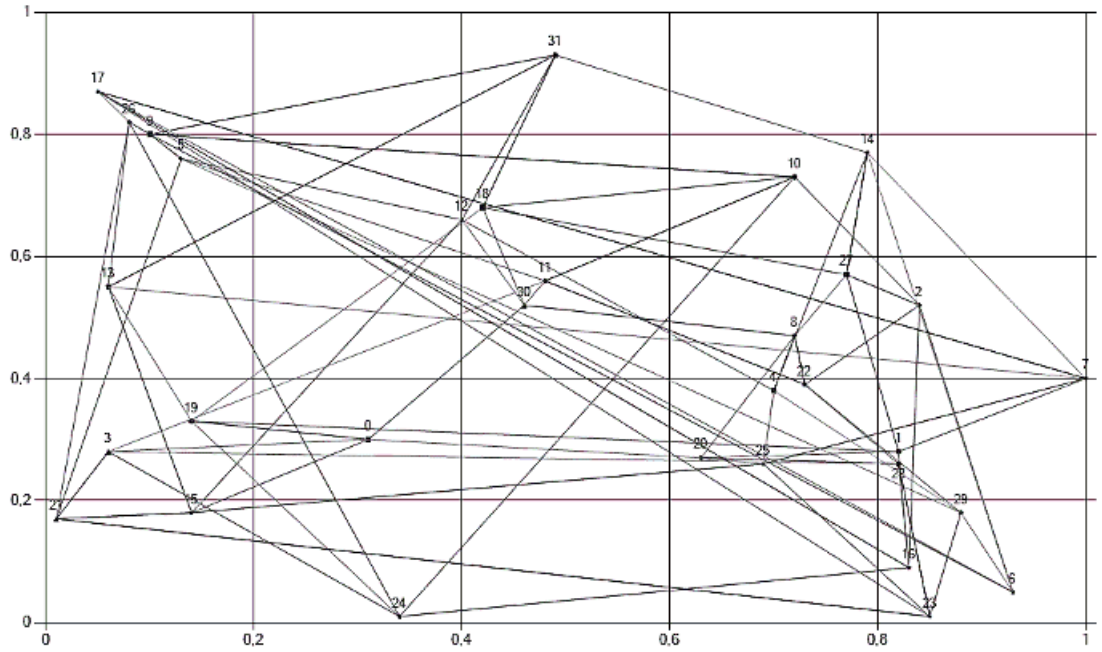


Рис 7. Граф соседства кодовых комбинаций, полученный модифицированным генетическим алгоритмом при **линейных** вероятностях битовых ошибок для **равномерного поля**

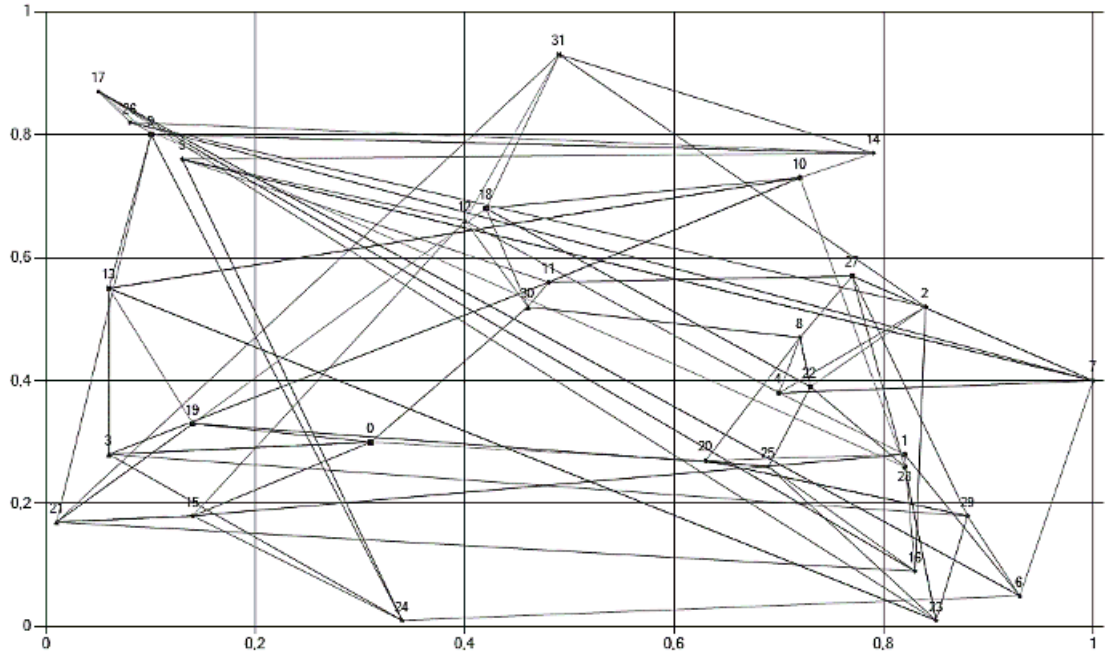


Рис 8. Граф соседства кодовых комбинаций, полученный модифицированным генетическим алгоритмом при **экспоненциальных** вероятностях битовых ошибок для **равномерного поля**

Проведем сравнение модифицированного генетического алгоритма кодирования и случайного кодирования. Получились следующие результаты: для случайного

кодирования среднее расстояние между исходным и искаженным сообщением составляет 43,06, а для генетического алгоритма кодирования для равномерного поля: 27,83.

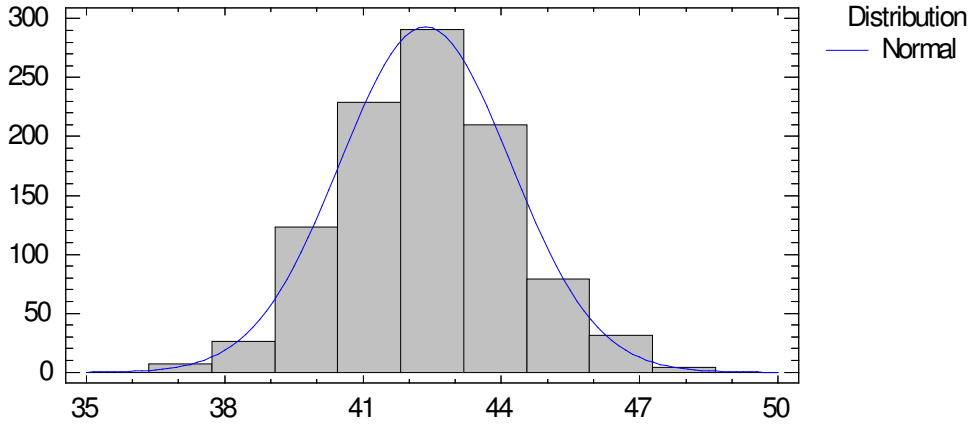


Рис 9. Гистограмма распределения средних расстояний для 1000 реализаций **случайного кодирования** для **равномерного поля**

Полученные данные хорошо согласуются с нормальным распределением (mean = 42,3496; standard deviation = 1,85582), уровень значимости 0,95.

Результаты работы генетического алгоритма для равномерного поля сведены в табл. 2

Таблица 2

Оптимизационные характеристики работы модификаций ГА для равномерного поля

Описание побитовых ошибок	Полученное осредненное расстояние	Отклонение от статистического среднего	Вероятность получить такое отклонение случайно
Равновероятное	27,83	- 7,82 σ	$2,7*10^{-15}$
Линейно возрастающие	31,06	- 6,08 σ	$6*10^{-10}$
Экспоненциально возрастающие	32,59	- 5,25 σ	$7,6*10^{-8}$

Заключение

Предложенная модификация алгоритма генетического кодирования позволяет учитывать неравномерную природу появления ошибок в канале. Было показано, что данный алгоритм кодирования дает весьма существенный выигрыш по сравнению со случайными алгоритмами кодирования. Как было показано ранее, алгоритмы генетического типа эффективно встраиваются в последовательности кодировок и их использование позволяет уменьшить последствия декодирования искаженных сообщений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аджемов А.С., Горбунов Н.В., Синева И.С.* Оценка эффективности генетического алгоритма кодирования сообщений при различных распределениях источников и их разнообразных метризациях. // Научная конференция профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава. – М.:МТУСИ, 2002. – С.106-107
2. *Синева И.С.* Улучшения качества передачи кодами, опирающимися на топологию источника сообщений. // Технологии информационного общества. Тезисы докладов московской отраслевой научно-технической конференции. – М.: Инсвязьиздат, 2007. – С. 169-170.
3. *Баталов А.Э., Синева И.С.* Алгоритмы генетического кодирования при различных конфигурациях пространства источника // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №7. – С. 53-59
4. *Баталов А.Э., Синева И.С.* Сравнительный анализ помехоустойчивых свойств генетических алгоритмов безизбыточного кодирования для кластеризующихся пространств источника // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №1. – С. 68-74.
5. *Фенчук М.М., Синева И.С., Ботт А.В.* Предварительное кодирование генетического типа для случайных и детерминированных пространств источника сообщений // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №10. – С. 60-65.
6. *Фенчук М.М., Синева И.С.* Анализ помехоустойчивости генетического кодирования с применением циклического избыточного кода // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Том 8. – №11. – С. 108-112.
7. *Баталов А.Э., Синева И.С.* Оптимизация алгоритма генетического кодирования источника сообщений // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Том 8. – №12. – С. 6-9.
8. *Яковлев Д.А., Синева И.С.* Применение параллельных вычислений в генетических алгоритмах поиска // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2014. – Т.14. – №5. – С. 214-219.
9. *Фенчук М.М., Баталов А.Э., Синева И.С.* Сравнительная помехоустойчивость кодов Грея и алгоритмов генетического типа // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2014. – Т.14. – №5. – С. 44-47.
10. *Баталов А.Э., Синева И.С.* Повышение устойчивости совершенного кода Хэмминга к воздействию импульсных помех с использованием генетического кодирования источника // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2013. – Т.13. – №4. – С. 150-154.
11. *Фенчук М.М., Баталов А.Э., Синева И.С.* Повышение помехоустойчивости кодов CRC при помощи предварительного генетического кодирования метризованного источника сообщений // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2013. – Т.13. – №4. – С. 65-70.
12. *Фенчук М.М., Синева И.С.* Оптимизация алгоритма генетического кодирования для пространств произвольных размерностей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №7. – С. 74-79.

13. *Баталов А.Э., Синева И.С.* Анализ системы последовательных алгоритмов без избыточного кодирования, дополненных алгоритмами предварительного генетического кодирования // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2015. – Т.15. – №5. – С. 232-235.

В.Н. Смоляков, Г.В. Детко

РАЗРАБОТКА СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LTE В КРЫЛОВСКОМ РАЙОНЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ СИЛАМИ КРЫЛОВСКОГО ЛТЦ ПАО «РОСТЕЛЕКОМ»

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: локальная вычислительная сеть, оптический кабель, базовая станция, персональный компьютер, беспроводной доступ, система передачи данных, коммутатор, точка доступа, защита информации, программное обеспечение.

Рассмотрены основные характеристики и особенности стандарта LTE (история развития и основные параметры стандарта LTE, сетевая архитектура и организация радиоинтерфейса LTE); выбраны сетевая архитектура и оборудование транспортной сети LTE; проведен расчет зон радиопокрытия Крыловского района и и рассмотрены вопросы защиты информации в беспроводных сетях (обзор параметров зон радиопокрытия, частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории Крыловского района, разработка схемы организации связи сети LTE, анализ угроз и обеспечения безопасности беспроводной сети).

V.N. Smolyakov, G.V. Detko

DEVELOPMENT OF WIRELESS ACCESS NETWORK ON LTE TECHNOLOGY IN KRYLOVSK DISTRICT OF KRASNODAR TERRITORY KRYLOVSKOGO LETS PJSC ROSTELECOM

North-Caucasian Branch of Moscow Technical University Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Key words: local computer network, optical cable, base station, personal computer, wireless access, data transmission system, switch, access point, information protection, software.

The main characteristics and features of the LTE standard (development history and basic parameters of the LTE standard, network architecture and organization of the air interface LTE) are considered; Network architecture and LTE transport network equipment; The calculation of the radio coverage areas of the Krylovsky District has been carried out, and the issues of

information security in wireless networks have been considered (an overview of the parameters of radio coverage areas, frequency-territorial division and situational location of eNB in the Krylovsky District territory, development of a LTE network connection scheme, threat analysis and wireless network security).

Беспроводные сети используются уже практически во всех сферах деятельности. Широкое применение беспроводных сетей обусловлено тем, что они могут использоваться не только в персональных компьютерах (ПК), но и телефонах, планшетах и ноутбуках с их удобством для пользователей и сравнительно невысокой стоимостью. Беспроводные сети должны удовлетворять ряду требований к качеству, скорости, радиусу приема и защищенности, при этом защищенность часто является одним из важнейших факторов.

Бурное развитие различных технологий связи, как фиксированной, так и мобильной, вызвано, в первую очередь, повышенным интересом людей к сети Интернет. Огромная роль сети Интернет в современном мире для обмена информацией неоспорима и не нуждается в подтверждении. С помощью глобальной сети люди имеют возможность работать, учиться, общаться, обмениваться данными, просматривать потоковые видеофайлы, прослушивать аудиозаписи, а также пользоваться в режиме онлайн всевозможными услугами коммерческих компаний и государственных учреждений.

В России распространение доступа к сети Интернет вызывает трудности, в первую очередь, по причине обширности территории. В городах нашей страны к глобальной сети может подключиться любой желающий, исходя из своих потребностей, выбрав удовлетворяющий его тариф. Причем у городского жителя есть выбор между проводным и беспроводным доступом. Но в сельской местности дело обстоит намного хуже. Операторы связи не стремятся телефонизировать села и обеспечивать услуги доступа в Интернет, а та связь, что предоставляется, зачастую вызывает нарекания. Обеспечение сельской местности высокоскоростным выходом в сеть Интернет является одним из аспектов Федеральной целевой программы «Социальное развитие села». Решение этой задачи приведет к еще более бурному развитию агропромышленного комплекса, повышению качества образования в сельской местности, а так же способствует притоку молодых специалистов всех сфер деятельности в село.

Для решения этой проблемы можно пойти разными путями. Можно использовать для доступа в сеть Интернет спутниковую связь, организовать доступ с помощью проводных линий связи или с помощью мобильной связи. Спутниковый доступ не удовлетворяет скоростью и слишком дорог. Доступ с помощью проводных линий возможен только при наличии на селе цифровых АТС, но по данным Федеральной службы государственной статистики за осень 2016 года цифровизация сельской местности страны составила не более 73% и продвигается недостаточно быстрыми темпами.

Доступ с помощью мобильной связи стал возможен с приходом стандартов EDGE/GSM и UMTS/HSPA, но скорость первого слишком мала для комфортной работы в сети Интернет, а действие второго зачастую не распространяется на сельскую местность по двум причинам: во-первых, мобильные операторы, в первую очередь, стараются охватить городскую местность и, во-вторых, дальность действия сигнала в диапазоне 1920-2100 МГц невысока, поэтому чтобы охватить большие территории придется строить большое количество базовых станций, что экономически не выгодно.

Одним из перспективных вариантов обеспечения сельской местности высокоскоростным доступом в сеть Интернет – это построение сетей сотовой подвижной радиосвязи четвертого поколения (4G). Самым подходящим стандартом 4G для решения этой задачи является технология беспроводного доступа LTE.

LTE (от англ. Long Term Evolution – эволюция в долгосрочной перспективе) – технология построения сетей беспроводной связи, созданная в рамках проекта сотрудничества в создании сетей третьего поколения 3GPP (3G Partnership Project). Основными целями разработки технологии LTE являются: снижение стоимости и увеличение скорости передачи данных, возможность предоставления большего спектра услуг по более низкой цене, повышение гибкости сети и использование уже существующих систем мобильной связи. Главное отличие стандарта LTE от других технологий мобильной связи заключается в полном построении сети на базе IP-технологий. Радиоинтерфейс LTE обеспечивает улучшенные технические характеристики, включая максимальную скорость передачи данных более 300 Мбит/с, время задержки пересылки пакетов менее 5 мс, а также значительно более высокую спектральную эффективность по сравнению с существующими стандартами беспроводного мобильного доступа третьего поколения (3G).

Территориальным объектом, в котором предполагается планировать сеть LTE, выбран Крыловский район Краснодарского края. Целью данного проекта является обеспечение большинства населенных пунктов Крыловского района устойчивым радиосигналом сети LTE и предоставление жителям высокоскоростного мобильного доступа в сеть Интернет. В проекте будут использованы два варианта планирования беспроводных сетей: формирование максимальной площади покрытия и обеспечение требуемой емкости. Кроме того будут выполнены анализ угроз и обеспечения безопасности беспроводной сети и рассмотрены технологии функционирования средств защиты информации (ЗИ) беспроводных сетей.

Актуальность обеспечения безопасности беспроводной сети обусловлена тем, что если в проводных сетях злоумышленник должен сначала получить физический доступ к кабельной системе или оконечным устройствам, то в беспроводных сетях для получения доступа достаточно обычного приемника, установленного в радиусе действия сети.

Несмотря на различия в реализации связи, подход к безопасности беспроводных сетей и их проводных аналогов идентичен. Но при реализации методов ЗИ в беспроводных сетях больше внимания уделяется не только требованиям к обеспечению конфиденциальности и целостности передаваемых данных, но и, в первую очередь, проверке подлинности беспроводных клиентов и точек доступа.

Крыловский ЛТЦ включает центральную позицию в станице Крыловская и одиннадцать удаленных объектов, расположенных в Крыловском районе на расстоянии от 5 до 30 км. Посредством скоростных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) Крыловский ЛТЦ связан с Павловским и Кущевским ЛТЦ. Схема удаленного доступа (УД) Крыловского ЛТЦ приведена на рисунке 1.

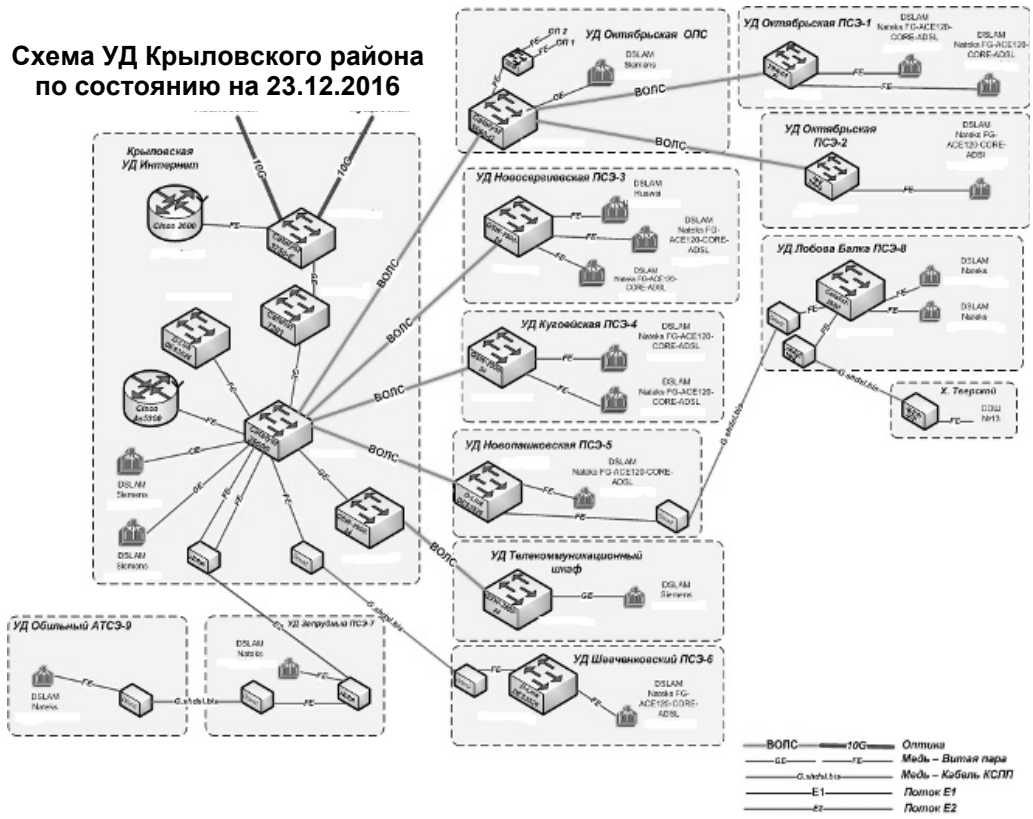


Рисунок 1.7 - Схема удаленного доступа Крыловского ЛТЦ

В станице Крыловская проложена абонентская сеть передачи данных (СПД) на основе коаксиального кабеля и витой пары, обеспечивающая широкополосным доступом к сети Интернет и другим услугам связи свыше 80 % абонентов, и это число постоянно растет. Однако в других сельских поселениях района таких СПД пока не развернуто. При этом проложены высокоскоростные ВОЛС, связывающие Крыловский ЛТЦ с наиболее крупными сельскими поселениями района: станицами Октябрьская, Новосергиевская, Кугоейская, Новопашковская. Эти ВОЛС позволяют обеспечить ШПД всех потенциальных абонентов, Однако отсутствие кабельной СПД в указанных населенных пунктах сдерживает это процесс.

В проекте были рассмотрены вопросы организации беспроводного доступа в Крыловском районе Краснодарского края с использованием технологии LTE. Обоснована важность развития инновационных технологий беспроводной связи и внедрение ШПД к сети Интернет в сельских районах.

Дана общая характеристика Крыловского района и находящегося здесь Крыловского ЛТЦ ПАО «Ростелеком». Приведено краткое технико-экономическое обоснование планирования сети LTE в Крыловском районе, в ходе которого выбран «универсальный» вариант строительства сети. Также проведен краткий анализ ситуации предоставления услуг связи жителям района по разным технологиям.

Основу транспортной сети проектируемой сети LTE составляет IP-протокол, который служит для транспортировки трафика сети.

Был проведен расчет пропускной способности сети. Главным исходным значением расчета явилась спектральная эффективность технологии LTE, которая заявлена в 3GPP Release 9. Пропускная способность планируемой сети составила 1,104 Гбит/с. Частотный диапазон для планируемой сети выбран 791 – 862 МГц, тип дуплекса – частотный FDD. Также проведен расчет количества абонентов, которое сможет обслужить планируемая

сеть. Также был проведен выбор оборудования транспортной сети, в ходе которого предпочтение отдано решению компании «Cisco Systems» для сетей LTE. Транспортная сеть проектируемой сети LTE реализована с помощью оптоволоконных линий передач по технологии Ethernet.

Сделан выбор оптического кабеля. Предпочтение отдано продукции ЗАО НФ «Электропровод». В дипломном проекте используются три вида оптических кабелей: для прокладки в грунте, подвесной и для прокладки в канализации.

Выбрано оборудование сети LTE. В качестве управляющего оборудования сети LTE выбрано решение компании «Cisco Systems», которое реализуется с помощью мультисервисной платформы «Cisco ASR 5000 PCS3». В качестве оборудования радиодоступа выбрана базовая станция «Flexi Multiradio» компании «Nokia Siemens Network», которая является наиболее универсальной из тех, что предлагают другие компании-производители базовых станций для сетей LTE. Также проведен выбор оборудования электропитания, в ходе которого произведены расчеты: потребляемой мощности БС, ИБП переменного тока, автоматических выключателей и группы учета, а также расчет контура заземления БС.

Для организации радиодоступа по технологии LTE в Крыловском районе в предлагаемой работе проведен расчет зон покрытия радиосвязью. Радиус соты составил примерно 9 км, а площадь покрытия трехсекторного сайта составила примерно 157 км^2. Проведено частотно-территориальное деление и показано ситуационное расположение базовых станций на территории Крыловского района.

Беспроводная передача данных заключает в себе возможность несанкционированного подключения к точкам доступа, нефиксированную связь, подслушивание, для этого необходимо предусмотреть качественные средства защиты, так как подключиться к сети можно из автомобиля, припаркованного на улице.

Обзор ПО показал, что для ЗИ беспроводных сетей используются специализированные программы такие как WEP и WPA. Наиболее целесообразно использовать программу WPA, так как в ней усилена безопасность данных и контроль доступа к беспроводным сетям, поддерживается шифрование в соответствии со стандартом AES (Advanced Encryption Standard, усовершенствованный стандарт шифрования), который имеет более стойкий криптоалгоритм.

Развитие беспроводных технологий связи за последние десять лет сделало огромный скачок вперед. Скорость предоставления беспроводного доступа возросла в десятки раз. Широкий спектр услуг, высокое качество обслуживания, достаточно высокая мобильность – вот чем отличаются современные беспроводные сети связи. Разработка технологии LTE - важный шаг на пути к полному отказу от фиксированной связи в сельской местности.

Разворачивание сети LTE в Крыловском районе позволит ПАО «Ростелеком» стать крупнейшим оператором, предоставляющим услуги беспроводного доступа в районе, а также сэкономить значительные денежные средства, так как в будущем отпадет необходимость в модернизации сети фиксированной связи.

Минимальное количество базовых станций eNB, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом густонаселенных районов на территории планирования составляет 7 штук (см. рис. 2). Таким образом, строится сеть, все eNB которой имеют следующие характеристики:

– мощность каждого предатчика – 40 Вт;
– высота подвеса антенны – 72 метра;
– число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
– системная полоса для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);
– линия «вниз» поддерживает технологию MIMO 4×2;
– пропускная способность: линия «вниз» - 102,9 Мбит/с, линия «вверх» - 54,87 Мбит/с.

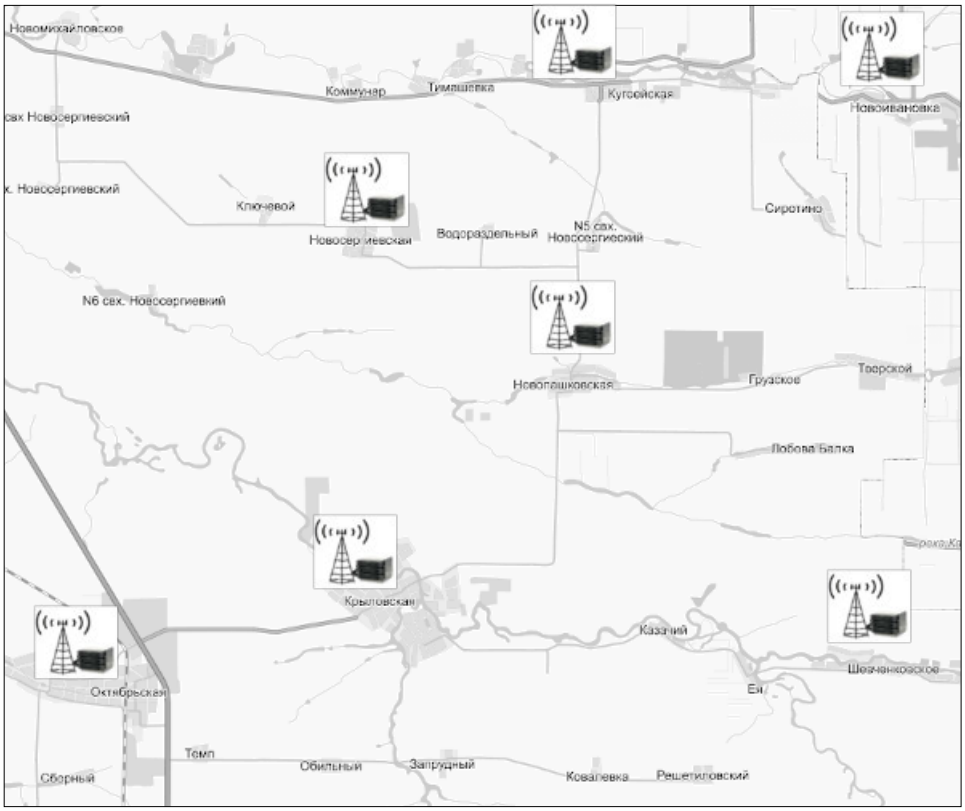


Рисунок 2 – Размещение БС eNB в Крыловском районе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А.* Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2012.
2. *Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В.* Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009.
3. *Гельгор А. Л.* Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
4. *Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б.* Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
5. *Боккер П.* Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы: Пер. с нем. М.: Радио и связь, 2010. – 212 с.

В.Н. Смоляков, Д.А. Ланко

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ООО «ВИЛМАРИ» ГОРОД МОСКВА

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: локальная вычислительная сеть, структурированная кабельная сеть, персональный компьютер, маршрутизатор, коммутатор, сервер, рабочая станция, сетевая операционная система.

Разработать проект модернизации локальной вычислительной сети (ЛВС) ООО «Вилмари» г. Москва. Для этого на основе проведенного анализа характеристик и параметров существующей ЛВС ООО «Вилмари» были выбраны сетевая архитектура и топология модернизированной ЛВС компании; разработаны рекомендации по модернизации ЛВС, разработан проект модернизации ЛВС ООО «Вилмари» (проведен выбор сетевого оборудования и сетевого программного обеспечения; разработаны организационная и техническая структуры ЛВС после модернизации).

V.N. Smolyakov, D.A. Lanko

MODERNIZATION OF LOCAL COMPUTER NETWORK LLC "VILMARI" CITY MOSCOW

North-Caucasian Branch of Moscow Technical University Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Key words: local computer network, structured cabling network, personal computer, router, switch, server, workstation, network operating system.

Develop a project for the modernization of the local area network (LAN) of OOO Vilmari, Moscow. For this purpose, based on the analysis of the characteristics and parameters of the existing LAN of Vilmari Ltd., the network architecture and topology of the modernized LAN of the company were selected; Recommendations for the modernization of LANs have been developed, a project for the modernization of the LAN "Vilmari" LLC has been developed (a selection of network equipment and network software has been carried out, and the organizational and technical structure of the LAN has been developed after modernization).

Большинство компьютеров (ПК) в мире объединены в сети, от малых локальных вычислительных сетей в офисах, до глобальных сетей типа Internet.

Тенденция к объединению ПК в сети обусловлена рядом причин. Если раньше подключение к сети гарантировало возможность передачи информационных сообщений

(факсов, E-Mail писем и участие в форумах), а также обмен информацией между ПК разных фирм-производителей, работающих под разным программным обеспечением (ПО), то теперь, высокоскоростное подключение не только дает возможность мгновенного получения любой информации из любой точки земного шара, но и позволяет проводить телеконференции, получать через компьютерную сеть TV- и радиотрансляцию, навигационную информацию, а также совместно использовать информационные ресурсы, рассредоточенные по всему миру.

Под ЛВС понимают совместное подключение нескольких отдельных компьютерных рабочих мест (рабочих станций - РС) к единому каналу передачи данных. Благодаря ЛВС мы получили возможность одновременного использования программ и баз данных (БД) многими пользователями одновременно.

Понятие ЛВС (англ. LAN – Local Area Network) относится к географически ограниченным (территориально или производственно) аппаратно-программным реализациям, в которых несколько компьютерных систем связанны друг с другом с помощью соответствующих средств коммуникаций. Благодаря такому соединению пользователь может взаимодействовать с другими РС, подключенными к этой ЛВС непосредственно и обращаться через сеть к другим информационным ресурсам через канал ЛВС.

Успешная работа любой организации в значительной степени определяется тем, насколько быстро и безотказно функционирует ее корпоративная сеть. Особенно важно грамотное принятие решений о развитии сети при расширении масштабов деятельности предприятия.

В настоящем докладе рассматриваются вопросы модернизации корпоративной ЛВС ООО «Вилмари».

Модернизация данной ЛВС улучшит автоматизацию работы ООО «Вилмари», позволит повысить точность и оперативность работы с документацией и клиентами, автоматизировать формирование различных отчетных документов, что значительно уменьшит временные, а соответственно и материальные затраты при реализации всех основных функций компании.

Использование сетевого программного обеспечения (ПО) в ЛВС повысит точность и оперативность учета важной информации, освободит от выполнения дополнительных функций, таких как многократное заполнение однотипных документов и выполнения расчетов для анализа данных, описание и хранение большого объема информации на бумаге. Обработка информации на ПК осуществляется гораздо легче и быстрее, чем вручную, что позволяет экономить время, которое тратит работник на выполнение данной операции.

Дополнительно установленное ПО позволит, не выходя из офиса, сдавать бухгалтерскую отчетность в налоговую инспекцию в электронном виде, чего требует законодательство Российской Федерации.

Получение необходимой информации в сети Интернет, а также с помощью электронной почты позволит ускорить производственный процесс, а, следовательно, увеличить обороты предприятия за счет роста объемов продаж услуг, предоставляемым ООО «Вилмари» как частным клиентам, так и юридическим лицам.

Информационная система (ИС) является обязательной частью любой ЛВС. Она позволяет автоматизировать работу предприятия, значительно уменьшив время на

передачу данных между сотрудниками, введение переговоров и отчетно-сти, хранение, обработку и выдачу информации. Использование ИС в составе ЛВС позволит сотрудникам на протяжении рабочего времени исполнять свои обязанности, не покидая рабочего места, и уменьшит зависимость работника от времени получения необходимой служебной информации.

Экономическая эффективность модернизации ЛВС обуславливается сокращением трудозатрат на организацию работы по ведению бухгалтерского учета, поиску необходимой информации, сокращением времени приема, передачи и обработки различной служебной информации, а также снижением цены и времени на обслуживание клиентов за счет использования современных сетевых информационных технологий (ИТ).

Помимо экономии времени, улучшение показателей качества работы связано со своевременным получением информации, хранящейся в базе данных (БД) «1С: Предприятие», повышением контроля правильности ввода информации, использования более информативных и наглядных документов, сокращение рутинных вычислений при получении выходных документов.

Немаловажным является решение проблемы повышения надежности и эффективности доступа к корпоративной информации, хранящейся на сервере БД, а также защиты этой информации от несанкционированного доступа (НСД) к ней. Как правило, модернизация корпоративных сетей проводится в среднем каждые 3 - 5 лет, поэтому данная тема является актуальной практически для любого современного предприятия.

Из всего выше перечисленного можно сделать вывод о целесообразности, и скорее даже необходимости разработки проекта модернизации ЛВС ООО «Вилмари».

Функциональной схеме соединений ЛВС ООО «Вилмари» до модернизации приводится на рис. 1.

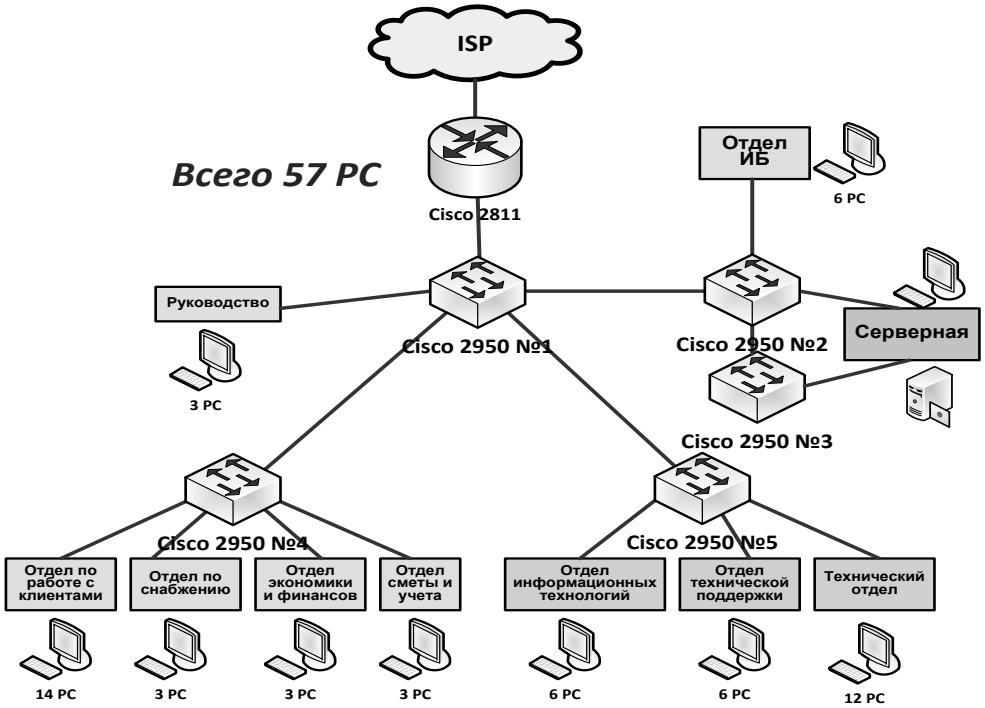


Рисунок 1.7 – Функциональная схема соединений ЛВС ООО «Вилмари»

Использующаяся на предприятии ЛВС на настоящий момент уже не в полной мере отвечает предъявляемым требованиям. Работа различных групп пользователей в одном

сетевом кластере (коммутаторы №4 и №5) затрудняет обслуживание сети, а также создаёт дополнительные уязвимости, приводящие к снижению уровня аутентификации.

Кроме того у коммутаторов №4 и №5 практически не осталось свободных портов (на коммутаторе №4 задействованы 23 порта, а в коммутаторе №5 – все 24 порта).

Для устранения вышеперечисленных недостатков выполнено следующее:

1. Описано ПО модернизируемой сети. На основе проведенного обзора недостатков и преимуществ различных сетевых ОС, был произведен выбор ОС для серверов сети и пользовательских ОС для РС.
2. Выбрана логическая организация сети и модель домена. Распределены основные функции между серверами.
3. Проанализированы основные направления обеспечения ИБ сети на программном уровне, средствами ОС, через политику учетных записей. Были определены категории пользователей сети.
4. Разработана Функциональная схема соединений модернизированной ЛВС ООО «Вилмари».

Таким образом, в результате модернизации ЛВС ООО «Вилмари» предлагаются следующие изменения и дополнения:

1. Заменить сетевую ОС Windows Server 2008 на более современную и «мощную» ОС Windows Server 2012.
2. В качестве файл-сервера и сервера БД установить Desk Node Corei7 / XeonE5.
3. В качестве web-сервера установить сервер DepoStorm 1350.
4. В качестве обычного сервера установить сервер фирмы HP NetServer E 800.
5. Установить мини-АТС Panasonic KX-TDA30.
6. Добавить два коммутатора Cisco 2950 (коммутаторы №6 и №7 на схеме).
7. Добавить 15 РС, используя в качестве ПК Моноблок ASUS Vivo V200IBUK, 90PT01J1-M00360.
8. Установить в Серверной патч-панель и дополнительный телекоммуникаци-онный шкаф.

Функциональная схема соединений модернизированной ЛВС ООО «Вилмари» показана на рис. 2.

Рис. 2 – Функциональная схема соединений модернизированной ЛВС ООО «Вилмари»

За счет введения двух дополнительных коммутаторов произведены следующие переключения:

1. Отдел по работе с клиентами – 17 PC - подключен к коммутатору №6, семь портов свободно, что составляет 31%.
2. Отдел экономики и финансов, Отдел сметы и учета и Отдел по снабжению, всего 12 PC, подключены к коммутатору №4, двенадцать портов свободно, что составляет 50%.
3. Технический отдел – 17 PC - подключен к коммутатору №5, семь портов свободно, что составляет 31%.
4. Отдел информационных технологий и Отдел технической поддержки, всего 16 PC, подключены к коммутатору №7, восемь портов свободно, что составляет 34%.

В коммутаторах №1 - №3 занято не более трети портов, следовательно запас свободных портов активного оборудования модернизированной ЛВС ООО «Вилмари» существенно больше заданного показателя в 30%.

Таким образом, была решена задача модернизации ЛВС ООО «Вилмари». В процессе решения данной задачи был проведен анализ исходной ситуации и рассмотрены организационная и техническая структуры ЛВС компании, особенности его сети, а также существующие методы построения и проектирования ЛВС. В результате анализа был выявлен ряд проблем. Большая часть проблемных ситуаций связана с недостатками имеющейся в компании локальной сети. Так, производительности имеющегося сервера явно недостаточно для обеспечения решения поставленных задач, работа различных групп пользователей в одном сетевом кластере затрудняет обслуживание сети и создаёт дополнительные уязвимости, приводящие к снижению уровня аутентификации. Для решения этих проблем необходимо обеспечить подключение дополнительно не менее 15 сетевых рабочих станций, и установки дополнительных серверов.

Для решения этих проблем была предложена структура модернизированной ЛВС. В процессе исследования были проанализированы основные факторы, определяющие тип, сложность и иерархичность сети. Оптимальным видом топологии для данного проекта модернизации является «Иерархическая звездная» стандарта 100Base-TX с методом доступа CSMA/CD. В качестве основного способа борьбы с перегрузками сети выбрана кластеризация. В качестве основы построения кластеров сети выбраны сервер HP NetServer E 800, файл-сервер и сервер БД Desk Node Corei7 / XeonE5 и web-сервер DepoStorm 1350.

В качестве устройства связи и коммутации компьютерной сети в сеть к пяти имеющимся добавлены два коммутатора Cisco 2950.

Было описано ПО разрабатываемой сети. На основе проведенного обзора недостатков и преимуществ различных ОС, был произведен выбор ОС Windows Server 2012 для серверов сети и пользовательских ОС Windows 10 для PC. Была выбрана логическая организация сети и модель домена. Распределены основные функции между серверами. Охарактеризованы основные направления обеспечения безопасности сети на программном уровне, средствами ОС, а также через политику учетных записей. Были определены категории пользователей сети.

Реализация предложенного проекта позволит существенно повысить производительность труда, сократить бумажный документооборот внутри фирмы, сократить время на получение и обработку информации.

Модернизированная сеть передачи данных позволит ускорить и упростить доступ пользователей к БД, передавать и получать срочную и важную информацию без задержек. Это в целом, должно привести к повышению эффективности работы в отделах и подразделениях ООО «Вилмари».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гук, М.* Аппаратные средства IBM PC/ С.-Пб.«Питер Пресс». 2012 г. – 329 с.
2. *Новиков Ю.А., Кондратенко С.В.* Локальные сети: архитектура, проекти-рование. – М.: изд-во ЭКОМ, 2012. – 312 с.
3. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2012. – 672 с.: ил.
4. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Сетевые операционные системы. – СПб.: Питер, 2012. – 544 с.: ил.
5. *Семенов, А.Б., Стрижаков, С.К., Самарский, П.А.* Структурированная Кабельная Система АйТи-СКС. – М., 2013. - 321 с.

В.Н. Смоляков, В.В. Чернышев

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ТИПОГРАФИИ «LUCKY PACK» ГОРОД РОСТОВ-НА-ДОНУ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: локальная вычислительная сеть, структурированная кабельная сеть, персональный компьютер, система связи и передачи данных, сетевая архитектура и топология ЛВС, программное обеспечение ЛВС.

Разработать проект модернизации локальной вычислительной сети типографии «Lucky Pack» город Ростов-на-Дону. Для этого на основе проведенного описания деятельности типографии «Lucky Pack» и анализа путей модернизации ее ЛВС (рассмотрены организационно-штатная структура типографии и структура ее ЛВС), анализа принципов построения ЛВС типографии (выполнены обзоры технологий построения и функционирования ЛВС, кабельной системы передачи данных в ЛВС и современного сетевого ПО для ПК), разработан проект модернизации ЛВС типографии «Lucky Pack» (рассмотрены структура и особенности проекта модернизации ЛВС, порядок монтажа кабельной системы на основе «витай пары», серверное оборудование и способы функционирования ЛВС).

V.N. Smolyakov, V.V. Chernyshev

MODERNIZATION OF THE LOCAL COMPUTER NETWORK OF THE PRINTING HOUSE "LUCKY PACK" CITY OF ROSTOV-ON-DON

North-Caucasian Branch of Moscow Technical University Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: local computer network, structured cabling network, personal computer, communication and data transmission system, network architecture and topology of LVS, LAN software.

To develop the project of modernization of the local computer network of the printing house "Lucky Pack" in the city of Rostov-on-Don. To do this, on the basis of the conducted description of the Lucky Pack printing house and the analysis of ways to modernize its LAN (the organizational structure of the Lucky Pack printing house and the structure of its LAN), an analysis of the principles of building a LAN printing house (reviews of construction technologies and LAN functioning, cable data transmission system in the LAN and modern network software for PCs), a project for LAN modernization of the Lucky Pack printing house has been developed (the structure and features of the LAN upgrade project, the installation of the cable system for basic Ove "vitae pair", server equipment and methods of LAN operation).

В настоящее время эффективное управление любой фирмой невозможно без непрерывного отслеживания состояний коммерческого и финансового рынков, без оперативной координации деятельности всех сотрудников и филиалов.

Реализация названных задач требует совместного участия большого числа различных специалистов, часто территориально удаленных друг от друга. В такой ситуации для организации эффективного взаимодействия этих специалистов слу-жат системы распределенной обработки данных.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) предприятия – это нечто большее, чем просто сумма объединяемых ею компонентов. На подключенных к сети компьютерах (ПК) можно совместно использовать общее подключение к Интернет, общий принтер и другое оборудование, а также общие файлы. Соединение ПК в сеть значительно увеличивает их возможности и позволяет сэкономить деньги. Соединив ПК в сеть, можно получить следующие возможности:

1. Общий доступ к Интернет.
2. Общий доступ к принтеру, сканеру и другому оборудованию.
3. Общий доступ к файлам и папкам.
4. Экономия дискового пространства, т.к. не обязательно хранить одина-ковые программы на каждой машине.
5. Корпоративная электронная почта.

Основная цель ЛВС - обеспечить пользователям потенциальную возможность совместного использования информационных ресурсов сети.

На сегодняшний день широкое распространение получили информационные технологии компьютерной обработки данных. В частности, применение ПК является

неотъемлемым условием для нормального функционирования практически любой организации. Развитие информационных технологий открывает качественно новые возможности, которые интенсивно осваиваются бизнес-сферой. Это в свою очередь порождает новый класс задач, для решения которых необходимо поддерживать в актуальном состоянии корпоративную сеть, а значит предпринимать меры по ее модернизации.

К поводам для модернизации можно отнести расширение организации и, как следствие, увеличение нагрузки на сеть, желание отойти от использования морально устаревших технологий и оборудования.

Несмотря на то, что процесс модернизации подразумевает частичное переоснащение, не редкими являются ситуации, в которых приходится рассматривать вариант полной заменены существующей сети. Причиной этому служит неправильный подход при ее первоначальном создании.

Этот путь «латания дыр» и случайных шагов часто ведет к множеству серьезных ошибок. В результате сеть получается трудно масштабируемой, возникают проблемы с производительностью и надежностью, удобством администрирования и использования, а также безопасностью.

В настоящем докладе рассматриваются вопросы модернизации ЛВС типографии «Lucky Pack». Модернизация данной ЛВС обеспечит существенное повышение уровня автоматизации работы типографии, позволит повысить точность и оперативность работы с документацией и клиентами, автоматизировать формирование различных отчетных документов, что значительно уменьшит временные, а соответственно - и материальные затраты при реализации всех основных функций почтамта.

Актуальность проекта состоит в том, что данная ЛВС является средством для организации эффективного функционирования. Данная сеть модернизируется с целью более эффективного использования общесетевых ресурсов, таких как локальные диски, сетевая периферия, информационная система, база данных, Интернет.

Для достижения поставленных целей и задач необходимо было выполнить следующие этапы работы:

- ознакомление с деятельностью организации;
- ознакомление с организационно-штатной и управленческой структурой почтамта;
- изучение базовых технологий построения сетей;
- выбор основных компонентов ЛВС (выбор топологии, кабельной системы связи, управляющего сервера);
- рассмотрение программных и технических характеристик предприятия;
- монтаж сетевого оборудования (пассивного и активного);
- проектирование схемы прокладки кабеля;
- планирование информационной безопасности сети;

Теоретическая значимость состоит в анализе существующих технологий и применении одной из них для реализации на практике.

Практическая значимость состоит в реализации на практике проекта по модернизации ЛВС типографии «Lucky Pack», а также мер по настройке доступа к общим ресурсам данной ЛВС.

После модернизации ЛВС существенно ускорится получение необходимой информации в сети Интернет, более эффективная работа электронной почты позволит

ускорить производственный процесс, а, следовательно, увеличить обороты предприятия за счет роста объемов продаж услуг, предоставляемым типографии «Lucky Pack» как частным клиентам, так и юридическим лицам.

Немаловажным является решение проблемы повышения надежности и эффективности доступа к корпоративной информации, хранящейся на сервере БД, а также защиты этой информации от несанкционированного доступа к ней.

Из всего выше перечисленного можно сделать вывод о целесообразности и даже необходимости разработки проекта модернизации ЛВС типографии «Lucky Pack».

Локальная сеть типографии « Lucky Pack» сейчас включает 24 ПК, сетевые принтеры и четыре сервера, которые объединены в ЛВС с помощью двух коммутаторов Cisco 2950 на основе технологии Ethernet (см. рис. 1).

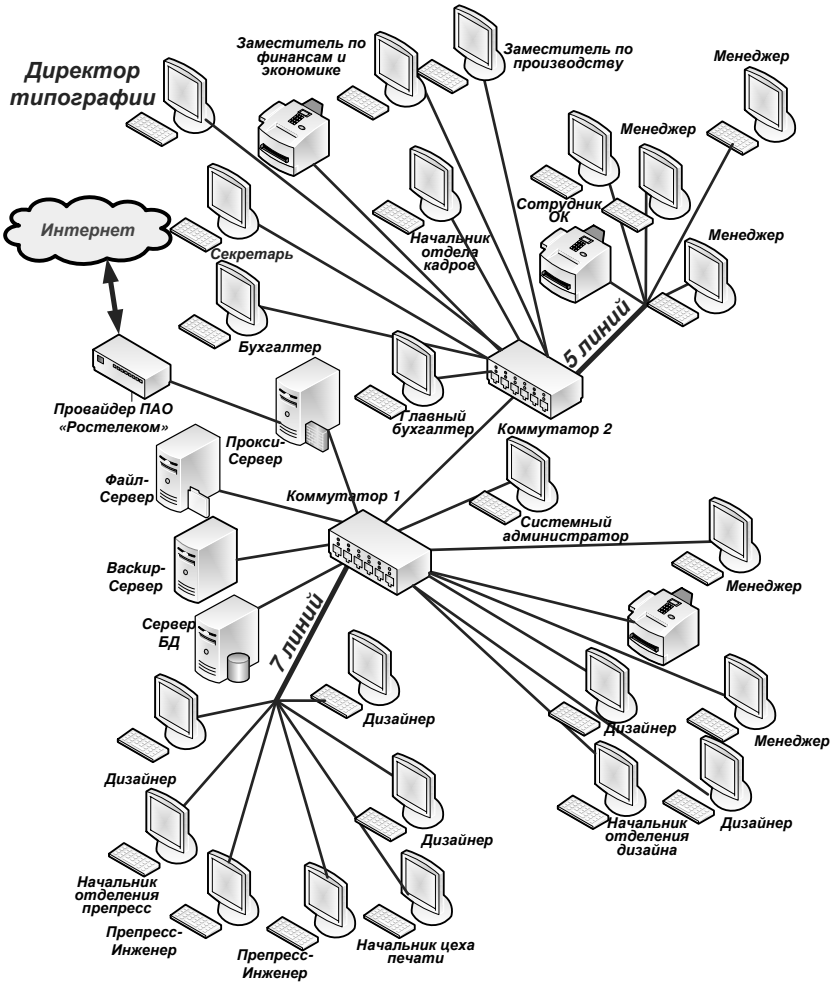


Рисунок 1– Структура ЛВС типографии « Lucky Pack» до модернизации

В ходе разработки проекта модернизации ЛВС типографии «Lucky Pack» изучена организационная структура предприятия, произведен анализ целей, документооборот информационной системы, изучена функциональная модель предприятия, технические и программные средства, функционирующие в нем.

Выявлено, что организационная структура предприятия является линейной, документооборот полностью автоматизирован, информационная система позволяет решить функциональные задачи предприятия в полном объеме.

Анализ проблемных ситуаций выявил, что основной наиболее важной проблемой предприятия является необходимость снижения трудозатрат сотрудников при выполнении

своего функционала. Выявленная проблемная ситуация затрудняет эффективную работу типографии.

Для устранения данной проблемной ситуации необходимо провести модернизацию ЛВС типографии путем увеличения числа рабочих станций до сорока. Кроме того требуется обеспечить 25%-ый запас для подключения новых ПК в будущем без проведения каких-либо работ (т.е. простым подключением ПК к ЛВС в заранее созданных 10-ти местах подключения). Это позволит при необходимости без труда довести количество рабочих станций до 50-ти и значительно снизить трудозатраты сотрудников. Все это приведет к существенному росту эффективности функционирования типографии «Lucky Pack».

Сформированы основные критерии и требования для реализации проекта модернизации ЛВС типографии «Lucky Pack».

Проведен подробный анализ технологии построения и функционирования ЛВС, рассмотрена модель взаимодействия открытых систем OSI, основные технологии построения ЛВС и их топологии.

Выполнен обзор среды передачи данных в ЛВС и сетевого оборудования. Рассмотрены структура и особенности протокола TCP и сетевого ПО.

Рассмотрен вопрос администрирования спроектированной локальной сети.

На основании проведенного анализа принято решение при модернизации ЛВС типографии «Lucky Pack» сохранить существующую топологию – «иерархическую звезду», витую пару в качестве среды передачи и ОС Windows 10 в качестве основной ОС ЛВС типографии «Lucky Pack».

Приведены рекомендации по порядку монтажа сети с использованием кабеля «витая пара», ее отладке и тестированию.

Разработана структурная схема модернизированной ЛВС типографии «Lucky Pack» (вновь установленные PC выделены более темным цветом) - см. рис. 2.

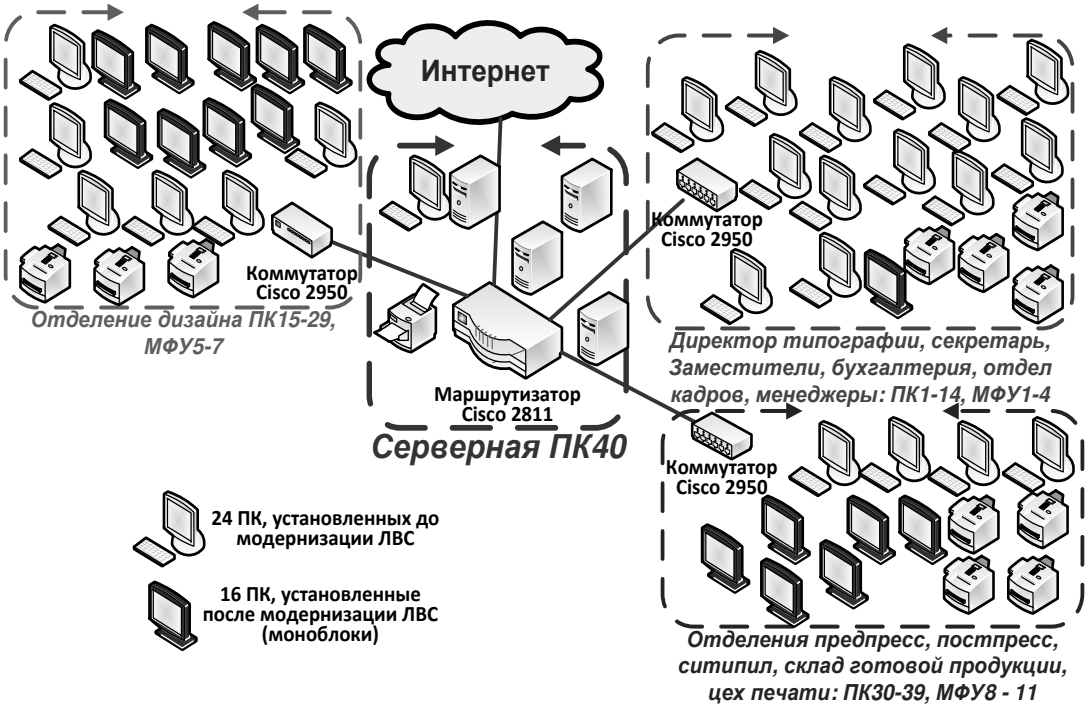


Рисунок 2 - Структура ЛВС типографии «Lucky Pack» после модернизации

Таким образом, структура ЛВС типографии после модернизации примет вид:

К маршрутизатору Cisco 2811 подключены три коммутатора Cisco Catalyst 2950-24, образующие следующие кластеры ЛВС:

1. Руководство типографии «Lucky Pack», бухгалтерия, отдел кадров, менеджеры – 14 PC и 4 МФУ , 18 портов занято, шесть свободно (25 %).
2. Отделение дизайна – пятнадцать PC и три МФУ, 18 портов занято, шесть свободно (25 %).
3. Отделения предпресс, постпресс, ситипил, склад готовой продукции и цех печати – десять PC и четыре МФУ, 14 портов занято, десять свободно (42 %).

Таким образом по всем трем кластерам обеспечен 25%-ный запас свободных портов для дальнейшего развития ЛВС типографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акропов П.Ц.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 2012. - 332с.
2. *Боккер П.* Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы: Пер. с нем. М.: Радио и связь, 2012. – 212 с.
3. *Блэк Ю.* Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы.-М: Мир, 2009. - 122 с.
4. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы.-СПб., 2012. – 198 с.
5. *Филимонов А.Ю.* Построение сетей Ethernet. Издательство: БХВ-Петер-бург, 2009 г. – 198 с.

С.В. Соколов, М.В. Полякова, О.И. Соколова

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ТОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: коррекция ошибок, адаптивный фильтр Калмана, точные наблюдения

В статье рассмотрен способ адаптации калмановского алгоритма оценивания по непериодическим точным наблюдениям.

S.V. Sokolov, M.V. Polyakova, O.I. Sokolova

SOLUTION PROBLEM OF ADAPTIVE FILTRATION BY THE ACYCLIC CORRECT OBSERVATIONS

North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia
Rostov state transport University, Rostov-on-Don, Russia

Keywords: error correction, adaptive Kalman's filter, correct observations.

In article the method of adaptation of Kalman's algorithm of estimation by the acyclic correct observations is considered.

Введение. Расходимость фильтра Калмана во многих практических приложениях приводит к необходимости коррекции (адаптации) его параметров непосредственно в процессе оценивания. Наиболее эффективным на сегодняшний день является способ, использующий адаптивный коэффициент в алгоритме вычисления ковариационной матрицы [1,2,3]. Недостатком существующего подхода является отсутствие регулярных методов выбора данного коэффициента. В то же время во многих задачах – спутниковой навигации, телекоммуникационной и информационной сферах и пр., оказываются возможными точные наблюдения – в общем случае весьма нерегулярные.

Их наличие обуславливает возможность адаптации алгоритма оценивания путем соответствующего выбора коэффициента адаптации по полученным точным наблюдениямс использованием непосредственной замены текущих оценок навигационных параметров соответствующими их точными наблюдениями, что позволяет на временных интервалах между ними существенно повысить точность оценивания.

Постановка задачи. Т.к. точные наблюдения производятся в дискретные моменты времени, то для решения поставленной задачи рассмотрим далее дискретный вариант наиболее часто используемого при решении вышеперечисленных задач навигации алгоритма оценивания – фильтра Калмана, в котором оценка вектора состояния системы X_{k+1} в ($k+1$)-й момент времени определяется по формуле [1,2]:

$$\hat{X}_{k+1} = \Phi_k \cdot \hat{X}_k + K_k \cdot (Z_k - H_k \cdot \hat{X}_k), \quad (1)$$

где $\hat{X}_k$ - оценка вектора состояния системы в k-й момент времени;

Φ_k - переходная матрица состояния системы;

Z_k - вектор измерений:

$$Z_k = H_k \cdot X_k + V_k$$

H_k - матрица измерений, отображающая пространство векторов состояния системы в пространство векторов измерений;

V_k - случайная центрированная гауссовская последовательность с дисперсионной матрицей R_k,

K_k - коэффициент усиления фильтра.

Ввиду того, что формулируемая задача является задачей адаптации алгоритма оценки, используем далее адаптивный вариант фильтра Калмана, в котором коэффициент усиления определяется как:

$$K_k = P_{k/k-1} \cdot H_k^T \cdot (H_k \cdot P_{k/k-1} \cdot H_k^T + R_k)^{-1}, \quad (2)$$

$$P_{k/k-1} = \mu_k \cdot \Phi_k \cdot P_{k-1} \cdot \Phi_k^T + Q_k, \quad (3)$$

где $P_{k/k-1}$ - экстраполированная ковариационная матрица;

μ_k - диагональная матрица адаптивных коэффициентов фильтра;

Q_k - дисперсионная матрица шума системы.

Исходя из представленной формы коэффициента усиления фильтра, задачу его адаптации по точным наблюдениям сформулируем как задачу нахождения матрицы μ_k из условия совпадения в соответствующий момент времени вектора оценок $\hat{X}_{k+1}$ (1) с точным вектором состояния системы X_{k+1} (точными наблюдениями).

Решение задачи. Для решения поставленной задачи будем использовать далее полное выражение Калмановского коэффициента усиления, полученное подстановкой (3) в (2):

$$K_k = (\mu_k \cdot \Phi_k \cdot P_{k-1} \cdot \Phi_k^T + Q_k) \cdot H_k^T \times$$
$$\times \left[H_k \cdot (\mu_k \cdot \Phi_k \cdot P_{k-1} \cdot \Phi_k^T + Q_k) \cdot H_k^T + R_k \right]^{-1},$$

где для удобства последующего решения введем обозначение $(\mu_k \cdot \Phi_k \cdot P_{k-1} \cdot \Phi_k^T + Q_k) \cdot H_k^T = \gamma$ и запишем выражение коэффициента K_k следующим образом:

$$K_k = \gamma \cdot \left(H_k \cdot \gamma + R_k \right)^{-1}. \quad (4)$$

В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$\hat{X}_{k+1} - \Phi_k \cdot \hat{X}_k = \gamma \cdot \left(H_k \cdot \gamma + R_k \right)^{-1} \cdot (Z_k - H_k \cdot \hat{X}_k) \quad (5)$$

и относительно матрицы μ_k, входящей в матрицу γ, представляет собой нелинейное векторное уравнение. Для возможности его аналитического решения проведем следующие построения.

Т.к. по условиям задачи $\hat{X}_{\kappa+1} = X_{k+1}$, то, вводя обозначения $X_{k+1} - \Phi_k \cdot \hat{X}_k = X_*$, $Z_k - H_k \cdot \hat{X}_k = Z_*$, представим уравнение (5) как:

$$X_* = \gamma \cdot \left(H_k \cdot \gamma + R_k \right)^{-1} \cdot Z_* . \quad (6)$$

Умножая обе части уравнения (6) на обратную матрицу $\left[\gamma (H_k \gamma + R_k)\right]^{-1}$, имеем:

$$\left(H_k \cdot \gamma + R_k \right) \cdot \gamma^{-1} \cdot X_* = Z_* , \text{ или}$$

$$R_k \cdot \gamma^{-1} \cdot X_* = Z_* - H_k \cdot X_* . \quad (7)$$

Продолжая далее умножение обеих частей уравнения (7) на матрицу $\gamma \cdot R_k^{-1}$, приведем его к виду, *линейному* относительно γ, а, следовательно, и относительно μ_k:

$$X_* = \gamma \cdot R_k^{-1} \cdot (Z_* - H_k \cdot X_*) . \quad (8)$$

Для окончательного решения данного уравнения относительно μ_k раскроем выражение $\gamma = (\mu_k \cdot \Phi_k \cdot P_{k-1} \cdot \Phi_k^T + Q_k) \cdot H_k^T$ и получим:

$$X_* = (\mu_k \cdot \Phi_k \cdot P_{k-1} \cdot \Phi_k^T \cdot H_k^T \cdot R_k^{-1} + Q_k \cdot H_k^T \cdot R_k^{-1}) \cdot (Z_* - H_k \cdot X_*) \quad (9)$$

Вводя для упрощения последующего вывода обозначения $\Phi_k \cdot P_{k-1} \cdot \Phi_k^T \cdot H_k^T \cdot R_k^{-1} = \Delta_{k,k-1}$ и $Q_k \cdot H_k^T \cdot R_k^{-1} = U_k$, представим уравнение (9) в виде:

$$X_* = \mu_k \cdot \Delta_{k,k-1} \cdot (Z_* - H_k \cdot X_*) + U_k \cdot (Z_* - H_k \cdot X_*) . \quad (10)$$

Обозначая векторы $\Delta_{k,k-1} \cdot (Z_* - H_k \cdot X_*) = \Delta_*$, $U_k \cdot (Z_* - H_k \cdot X_*) = \mathrm{U}_*$, приведем уравнение (10) к следующей форме:

$$X_* - \mathrm{U}_* = \mu_k \cdot \Delta_* . \quad (11)$$

Уравнение (11) легко допускает аналитическое решение относительно всех элементов диагональной матрицы μ_k, если учесть возможность представления произведения $\mu_k \cdot \Delta_*$ в виде $\Delta_{*diag} \mu_{к\ vect}$, где

$$\Delta_{*diag} = \begin{vmatrix} \Delta_{*1} & 0 & 0 & ....0 \\ 0 & \Delta_{*2} & 0 & ....0 \\ & & ..... & \\ 0 & 0 & 0 & .....\Delta_{*n} \end{vmatrix}, \quad \mu_{к\ vect} = \begin{vmatrix} \mu_{к1} \\ \mu_{к2} \\ \vdots \\ \mu_{кn} \end{vmatrix},$$

где $\Delta_{*\mathrm{i}}, \mu_{к\mathrm{i}}, \mathrm{i} = 1,...,n$ – элементы, соответственно, вектора Δ_* и матрицы $\mu_к$.

В этом случае имеем искомое выражение вектора элементов коэффициента адаптации в виде:

$$\Delta^{-1}{}_{*diag}(X_* - \mathrm{U}_*) = \mu_{к\ vect}\,, \qquad (12)$$

где $\Delta^{-1}{}_{*diag}$ - обратная матрица, легко вычисляемая в силу ее диагональности:

$$\Delta^{-1}{}_{*diag} = \begin{vmatrix} \frac{1}{\Delta_{*1}} & 0 & 0 & .... & 0 \\ 0 & \frac{1}{\Delta_{*2}} & 0 & .... & 0 \\ & & ..... & & \\ 0 & 0 & 0 & ..... & \frac{1}{\Delta_{*n}} \end{vmatrix}.$$

Таким образом, найденное решение нелинейного векторного уравнения (5) в виде (12) позволяет аналитически решить поставленную задачу адаптации калмановского алгоритма оценки по точным наблюдениям.

После определения текущего значения матрицы μ_k возникает возможность альтернативного использования полученного результата: или сохранить ее значение в выражении (3) неизменным до получения следующего вектора точных наблюдений, или, учитывая, что значение матрицы P_k уже скорректировано, оставить матрицу μ_k единичной также до получения нового вектора точных наблюдений. Очевидно, что для каждого конкретного объекта этот вопрос должен решаться с учетом его особенностей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-07-00112.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Великанова, Е.П.* Адаптивная фильтрация координат маневрирующего объекта при изменениях условий передачи в радиолокационном канале / Е.П. Великанова, Е.П. Ворошилин // Доклады ТУСУРа. – 2012. - № 2 (26), часть 1. – С. 29-35.
2. TDoA based UGV Localization using Adaptive Kalman Filter Algorithm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sersc.org/journals/UCA/vol2_no1/Lpdf, свободный (дата обращения: 10.06.2016).
3. Adaptive Kalman filter for navigation sensor fusion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ebookbrowse.com/gdoc.php?id=326155547&url=0761dcbcc180093566925b023b9f88e7, свободный (дата обращения: 15.06.2016).

О.В. Сумарокова

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ OFDM В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ МОДУЛЯЦИИ ПОДНЕСУЩИХ

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), г. Самара, Россия

Ключевые слова: OFDM, многолучевость, поднесущая, многочастотная модуляция (MFSK), относительная модуляция (DPSK)

В данной работе были рассмотрены характеристики помехоусточивости системы OFDM в режиме многочастотной модуляции (MFSK) и относительной модуляции (DPSK). В статье представлены результаты сравнения характеристик помехоусточивости двух видов модуляции.

O.V. Sumarokova

COMPARISON OF THE FEATURES OF THE OFDM INTERFERENCE SYSTEM IN VARIOUS MODES OF MODULATION OF SUBSTATING

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI), Samara, Russia

Keywords: : OFDM, multipath, subcarrier, MFSK, DPSK

In this work , the characteristics of the OFDM system noise immunity in the mode of multifrequency modulation (MFSK) and relative modulation (DPSK) were considered. The article presents the results of a comparison of the characteristics of the jamming of the two types of modulation

В современном мире телекоммуникаций активно развиваются беспроводные виды связи. Замирания являются наиболее серьезной проблемой высокоскоростных цифровых систем связи. Одним из решений данной проблемы явилось использование многочастотных систем, среди которых эффективными считаются OFDM системы. Главная особенность многочастотных систем заключается в трансформации высокоскоростного последовательного потока данных в большое число низкоскоростных параллельных потоков, передаваемых одновременно на отдельных ортогональных поднесущих. Такая схема успешно противостоит многолучевости, если временная протяженность символов на всех поднесущих превышает наибольшую задержку сигнала.

Благодаря ортогональному расположению поднесущих, возможно полное восстановление сигнала, передаваемого в условиях замираний, на приемной стороне без использования сложной аппаратуры и коррекции характеристик канала.

Беспроводная связь со скоростными направлениями, где существуют быстро исчезающие каналы - типична. Получить надежную оценку канала в такой среде очень трудно.

Схема модуляции MFSK - известный метод для устойчивой передачи. Комбинация между модуляцией MFSK и OFDM позволяет осуществить группировку поднесущих M в

группу применяя схему MFSK к каждой из этих групп. Эта схема модуляции осуществляет некогерентное обнаружение, которое особенно интересно для сред с быстрыми замираниями потому что не требуется оценка канала, что потребовало бы больших усилий в таких условиях.

Некогерентно обнаруженная частотная модуляция может использоваться в быстрых исчезающих средах, где трудно отследите канал. OFDM-MFSK - комбинация ортогонального частотного разделения мультиплексирование (OFDM) и некогерентный сдвиг частоты Мэри манипулирование (MFSK), который был разработан как устойчивая передача метод для быстрых каналов изменения времени.

Основная идея OFDM-MFSK состоит в разделении N - OFDM поднесущих на M групп, причем для передачи используется только одна поднесущая в каждой группе. Таким образом, OFDM-MFSK позволяет передавать несколько MFSK символов параллельно, сохраняя по сравнению с другими методами высокую спектральную эффективность. OFDM-MFSK позволяет передавать несколько MFSK символов параллельно, сохраняя по сравнению с другими методами высокую спектральную эффективность. Низкая спектральная эффективность высокопозиционных систем OFDM-MFSK является главным ее недостатком. Для эффективного использования данной модуляции необходимо найти оптимальное число позиционности M.

В случае 4FSK ширина полосы когерентности даже меньше, чем ширина полосы набора поднесущих MFSK. Эта Надежность OFDM-4FSK, конечно, также справедлива для битов 4FSK в гибридной схеме передачи. Однако бит DPSK более чувствительны к избирательности по частоте.

Достоинством схемы некогерентного приемника на основе квадратурного детектора является нечувствительность к изменениям начальной фазы, простота реализации. Недостаток – в некотором ухудшении помехоустойчивости по сравнению со схемой когерентной демодуляции, обусловленной воздействием полной энергией сигнала.

В условиях высокоскоростной передачи сигнал испытывает значительные искажения и на него накладывается помеха. Преимуществом некогерентных систем по сравнению с когерентными является простота, а недостатком из-за использования сумматора квадратных корней – вдвое большее (на 3 Дб) отношение сигнал-помеха (SNR).

Так же широкое распространение получил метод с относительной модуляцией OFDM-DPSK.

Относительная или фазоразностная модуляция появилась вследствие невозможности установления однозначного соответствия между передаваемыми символами. Проблема неопределенности фазы сигнала решается при DPSK вычислением разности фаз соседних посылок. Сущность относительной фазовой модуляции (DPSK) состоит в том, что информация кодируется не значением фазы передаваемого сигнала, а относительным изменением значения фаз двух соседних сигналов, из-за чего для передачи первого символа необходима одна дополнительная посылка сигнала, передаваемая непосредственно перед началом передачи информации и являющаяся отсчетной.

Сравнив структурные схемы для однократной OFDM-DPSK и OFDM-4FSK, выяснили, что аппаратно они реализуются почти одинаково.

Таким образом, сравнив вероятности ошибок видно, что однократная DPSK модуляция выигрывает по отношению к 4FSK модуляции как в случае релеевских замираний, так и при замираниях Райса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Matthias Wetz, Ivan Perisa, Werner G. Teich and Jurgen Lindner,* Robust Transmission over Fast Fading Channels on the Basis of OFDM-MFSK, Institute of Information Technology, University of Ulm Albert-Einstein-Allee 43, D-89081 Ulm, Germany,2008.-13p
2. *Matthias Wetz, Daniel Huber, Werner G. Teich, Jurgen Lindner,* Robust Transmission over Frequency Selective Fast Fading Channels with Noncoherent Turbo Detection, Institute of Information Technology, University of Ulm Albert-Einstein-Allee 43, D-89081 Ulm, Germany,****-5p

А.П. Сухоев, Н.И. Ильиных

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ SiO_2

Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: показатель преломления, длина волны, температура, зависимость, плавленый кварц, результат, оптические системы.

В настоящей работе проведен анализ экспериментальных и теоретических результатов исследования температурных зависимостей показателя преломления плавленого кварца при различных длинах волн. С использованием известных экспериментальных данных выведены линейная и квадратичная зависимости показателя преломления от температуры при длине волны $\lambda = 0{,}5876$ мкм. Показано, что полученные результаты согласуются с данными других авторов.

A.P. Sukhoev, N.I. Ilinykh

INVESTIGATION OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE REFRACTIVE INDEX OF SiO_2

Federal Communications Agency Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: refractive index, wavelength, temperature, dependence, fused silica, result, optical system.

In present investigation the analysis of experimental and theoretical results of investigations of temperature dependences of refractive index of fused silica at the different wavelengths was carried out. With the using of known experimental data the linear and quadratic dependences of refractive index vs temperature at λ = 0,5876 μm were obtained. It was shown, that good agreement between obtained and literature results takes place.

При прохождении света через материал его движение замедляется по сравнению со скоростью в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с в $1/n$ раз, где n – показатель преломления. Это связано с тем, что электромагнитная волна взаимодействует со связанными электронами в материале. Поскольку колебания связанных электронов происходят на характерных для данного материала резонансных частотах, взаимодействие электромагнитной волны с электронами зависит от частоты. Это приводит к частотной зависимости показателя преломления [1].

Отношение скорости света c в вакууме к скорости света v в среде называется показателем преломления n (более точно, фазовым показателем преломления) соответствующей среды [2].

Известно, что показатель преломления меняется с изменением длины волны. Однако существует зависимость показателя преломления от температуры, которая будет рассмотрена в данной статье.

Зависимость показателя преломления n от температуры T имеет большое значение в оптических системах, которые должны работать при непостоянных либо экстремальных температурах [3].

При изменении температуры изменяются средние расстояния между атомами и амплитуда их колебаний, что приводит к изменению поляризуемости, а также макроскопической диэлектрической восприимчивости и диэлектрической проницаемости вещества [4].

Определение температурных зависимостей $n(T)$ проводят различными методами, например [4]:

а) путем измерения углов минимального отклонения света при нагревании преломляющей призмы с малым углом при вершине (5-8°) [5-9];
б) с помощью интерференционных осцилляций интенсивности света, отраженного нагреваемой прозрачной плоскопараллельной пластинкой или проходящего сквозь нее [10-16];
в) по измеренным параметрам эллипса поляризации света, отраженного от нагреваемой поверхности исследуемого материала [17, 18];
г) по коэффициенту отражения света от нагреваемой поверхности (например, для слабо поглощающих материалов показатель преломления при фиксированной температуре можно определять путем измерения угла Брюстера) [19].

В работе [20] были исследованы три образца плавленого кварца разных производителей (компании Corning Glass Works, Dynasil Corporation of America и General Electric Company) с целью выяснения зависимости показателя преломления от длины волны. Исследования выполнены при контролируемой температуре 20ºС. Показатель

преломления был измерен для 60 длин волн в спектральном диапазоне 0,2139-3,7067 мкм. Результаты проведенных исследований показали, что значения показателей преломления для всех трех образов оказались практически одинаковыми [20]. В табл.1 представлены среднеарифметические значения результатов расчетов показателей преломления для различных длин волн.

Таблица 1.

Среднеарифметические значения показателей преломления плавленого кварца при 20ºС [20].

Длина волны, мкм	Показатель преломления	Длина волны, мкм	Показатель преломления
0,213856	1,534307	0,643847	1,456704
0,214438	1,533722	0,656272	1,456367
0,226747	1,522750	0,667815	1,456067
0,230209	1,520081	0,706519	1,455145
0,237833	1,514729	0,852111	1,452465
0,239938	1,513367	0,894350	1,451835
0,248272	1,508398	1,01398	1,450242
0,265204	1,500029	1,08297	1,449405
0,269885	1,498047	1,12866	1,448869
0,275278	1,495913	1,3622	1,446212
0,280347	1,494039	1,39506	1,445836
0,289360	1,490990	1,4695	1,444975
0,296728	1,488734	1,52952	1,444268
0,302150	1,487194	1,6606	1,442670
0,330259	1,480539	1,681	1,442414
0,334148	1,479763	1,6932	1,442260
0,340365	1,478584	1,70913	1,442057
0,346620	1,477468	1,81307	1,440699
0,361051	1,475129	1,97009	1,438519
0,365015	1,474539	2,0581	1,437224
0,404656	1,469618	2,1526	1,435769
0,435835	1,466693	2,32542	1,432928
0,467816	1,464292	2,4374	1,430954
0,486133	1,463126	3,2439	1,413118
0,508582	1,461863	3,2668	1,412505
0,546074	1,460078	3,3026	1,411535
0,576959	1,458846	3,422	1,408180
0,579065	1,458769	3,5070	1,405676
0,587561	1,458464	3,5564	1,404174
0,589262	1,458404	3,7067	1,399389

В диапазоне длин волн 2,4-3,2 мкм значения показателя преломления не были определены из-за водяного пика и большого поглощения в этой области [20].

В работе [3] была изучена зависимость изменения показателя преломления от температуры $\Delta n = f(T)$ в интервале температур от -200 до +650ºС на длине волны λ= 0,5876 мкм (табл. 2).

Таблица 2.

Зависимость изменения показателя преломления от температуры [3].

Температура, ºС	Изменение показателя преломления (Δn), $\times 10^{-4}$	Температура, ºС	Изменение показателя преломления (Δn), $\times 10^{-4}$	Температура, ºС	Изменение показателя преломления (Δn), $\times 10^{-4}$
-200	-11,8	90	8,2	380	43,0
-190	-11,6	100	9,2	390	44,4
-180	-11,3	110	10,2	400	45,7
-170	-11,0	120	11,2	410	47,1
-160	-10,7	130	12,3	420	48,5
-150	-10,3	140	13,3	430	49,9
-140	-9,8	150	14,4	440	51,3
-130	-9,3	160	15,5	450	52,7
-120	-8,8	170	16,6	460	54,2
-110	-8,2	180	17,8	470	55,6
-100	-7,6	190	18,9	480	57,0
-90	-6,9	200	20,1	490	58,4
-80	-6,2	210	21,2	500	59,9
-70	-5,5	220	22,4	510	61,3
-60	-4,8	230	23,6	520	62,8
-50	-4,0	240	24,8	530	64,2
-40	-3,2	250	26,1	540	65,7
-30	-2,4	260	27,3	550	67,1
-20	-1,6	270	28,5	560	68,6
-10	-0,8	280	29,8	570	70,0
0	0,0	290	31,1	580	71,5
10	0,9	300	32,4	590	72,9
20	1,7	310	33,7	600	74,4
30	2,5	320	35,0	610	75,9
40	3,4	330	36,3	620	77,3
50	4,3	340	37,3	630	78,8
60	5,3	350	38,9	640	80,2
70	6,2	360	40,3	650	81,7
80	7,2	370	41,6		

В работе [3] получено, что при 25ºС:

$$\frac{dn}{dT} = 0{,}87 \times 10^{-5}$$

Этот результат хорошо согласуется с данными работ [21, 22] однако существенно отличается от данных приведенных в работах [20, 23-25].

Проинтегрировав это уравнение по температуре, получаем уравнение для Δn:

$$\Delta n = 0{,}8 \times 10^{-5} T$$

Поскольку $\Delta n = n - n_0$, то:

$$n = n_0 + 0{,}8 \times 10^{-5} T$$

где: $n_0 = 1{,}45846$ [3].

В настоящей работе зависимость $\Delta n(T)$, представленная в табл.1, была обработана с помощью программного пакета «CurveExpert» (рис.2).

Зависимость, представленную на рисунке 2, можно описать линейным либо квадратичным уравнениями:

$$\Delta n = 1{,}318 \times 10^{-4} + 1{,}142 \times 10^{-5} T$$

$$\Delta n = 6{,}059 \times 10^{-5} + 8{,}511 \times 10^{-6} T + 6{,}480 \times 10^{-9} T^2 \qquad (5)$$

Для линейной зависимости (4) коэффициент корреляции $r = 0{,}992$, для квадратичной зависимости (5) $r = 0{,}9997$.

Выразим для уравнений (4) и (5) коэффициент преломления:

$$n = n_0 + 1{,}318 \times 10^{-4} + 1{,}142 \times 10^{-5} T$$

$$n = n_0 + 6{,}059 \times 10^{-5} + 8{,}511 \times 10^{-6} T + 6{,}480 \times 10^{-9} T^2 \qquad (7)$$

Подставив в уравнения (6) и (7) значение $n_0 = 1{,}45846$ [3], получим:

$$n = 1{,}45846 + 1{,}318 \times 10^{-4} + 1{,}142 \times 10^{-5} T$$

$$n = 1{,}45852059 + 8{,}511 \times 10^{-6} T + 6{,}480 \times 10^{-9} T^2 \qquad (9)$$

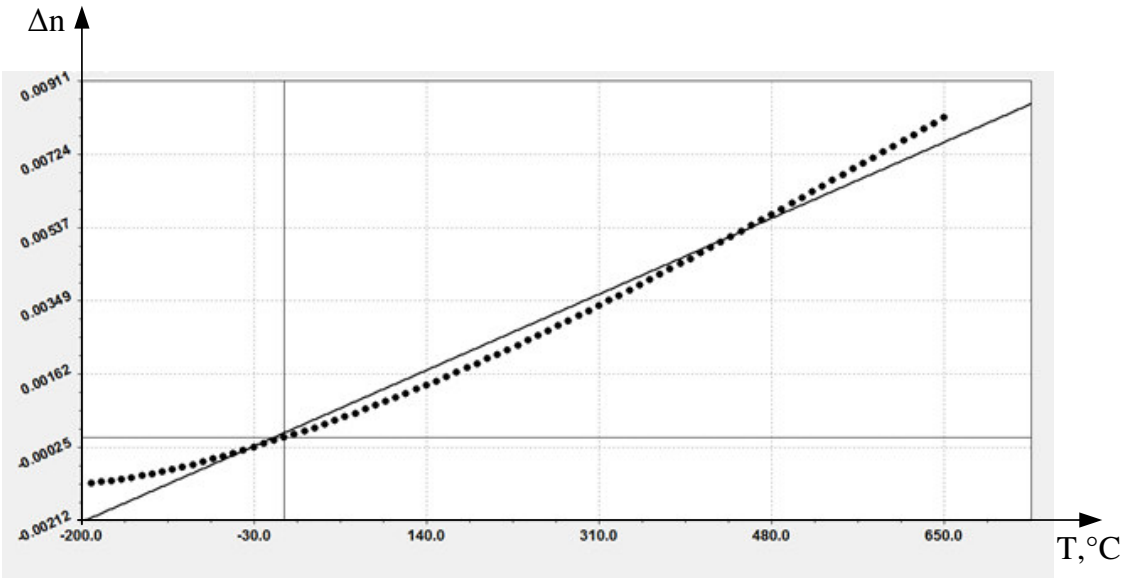


Рис.2. Зависимость изменения показателя преломления (Δn) от температуры на длине волны λ = 0,5876 мкм:

• - данные [3], сплошная линия - линейная аппроксимация данных [3].

В работе [26] проводилось теоретическое исследование зависимости показателя преломления от температуры на длине волны λ = 0,365 мкм. Показано, что показатель преломления SiO_2 линейно зависит от температуры. Эта зависимость описывается уравнением [26]:

$$n \approx 1{,}47269 + 7{,}09780 \times 10^{-6}T$$

В работе [27] зависимость показателя преломления от температуры была исследована экспериментально. Показано, что эта зависимость для длины волны λ = 0,365 мкм описывается уравнением [27]:

$$n \approx 1{,}47219 \pm 2{,}2 \times 10^{-4} + (7{,}83 \pm 0{,}99) \times 10^{-6}T$$

В работе [4] представлена зависимость показателя преломления (12) от температуры при длине волны λ = 0,633 мкм:

$$n(T) = n_0(1 + aT + bT^2)$$

где: n_0=1,46; $a = 6{,}2 \times 10^{-6}$; $b = 5 \times 10^{-9}$.

С использованием формул (8-12) нами были рассчитаны значения показателей преломления плавленого кварца для различных температур. Результаты расчетов представлены на рис.3.

Сравнение полученных результатов показывает, что показатель преломления во всех случаях с ростом температуры увеличивается. Линейная и квадратичная зависимости 1 и 2, рассчитанные по уравнениям (8) и (9), соответственно, описывают одни и те же

экспериментальные данные, следовательно, для дальнейшей работы можно использовать любую из этих зависимостей. Теоретическая и экспериментальная зависимости 3 и 4, представленные в работах [26, 27], практически совпадают. Отметим, что значения показателя преломления, полученные в работах [26, 27] выше, чем данные других авторов. Это объясняется тем, что исследования температурных зависимостей показателей преломления проводились на различных длинах волн: в [26, 27] на длине волны 0,365 мкм, в [4] – на длине волны 0,633 мкм, в работе [3] и в настоящей работе – на длине волны 0,5876 мкм. Как видно из табл.1, показатель преломления плавленого кварца с ростом длины волны уменьшается.

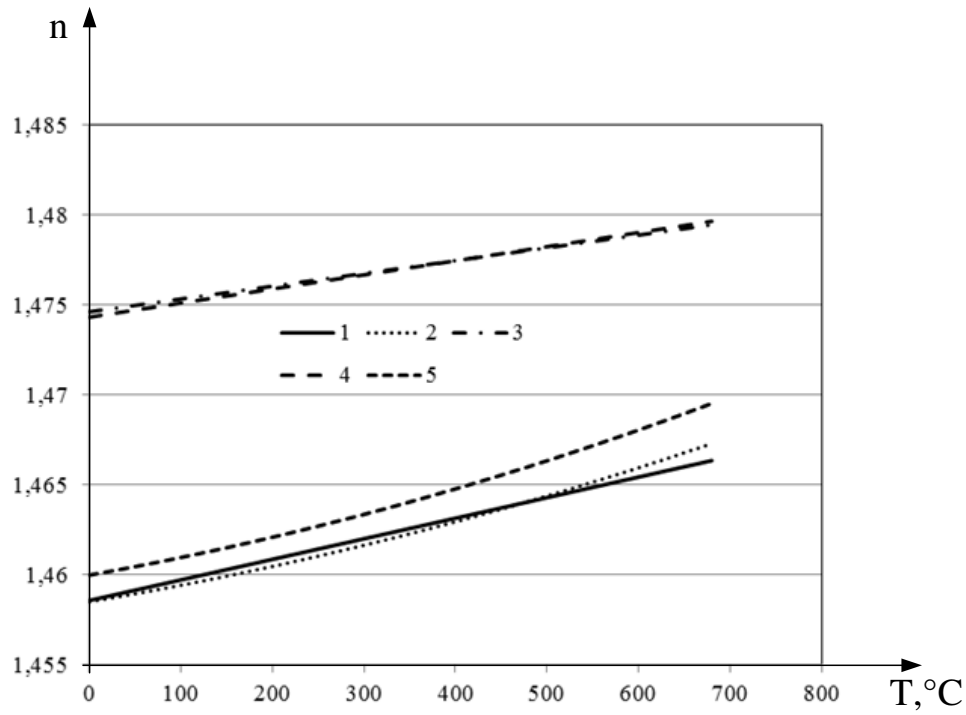


Рис.3. Зависимость показателя преломления от температуры:
1 – линейная зависимость (уравнение(8)); 2 – квадратичная зависимость (уравнение (9)); 3 – теоретическая зависимость (10) [26]; 4 – экспериментальная зависимость (11) [27]; 5 – экспериментальная зависимость (12) [4].

Таким образом, в настоящей работе проведен анализ экспериментальных и теоретических результатов исследования температурных зависимостей показателя преломления плавленого кварца при различных длинах волн. В связи с этим можно сделать вывод, что вопрос изучения температурной зависимости показателя преломления остается актуальным и требует дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Морзе Т.Ф.* Мир Связи. // Справочник по специализированным оптическим волокнам. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2012, с. 63.

2. *Лоскутников С.Б.* Оптические линии связи и пассивные компоненты волоконно-оптических систем передачи. // Учебное пособие. – Томск: Томский техникум железнодорожного транспорта, 2005, с. 25.
3. *Roy M. Waxler, G. W. Cleek* The Effect of Temperature and Pressure on the Refractive Index of Some Oxide Glasses. // JOURNAL OF RESEARCH of the National Bureau of Standards. – 1973, v. 77A, № 6, p. 757-761.
4. *Магунов А. Н.* Лазерная термометрия твердых тел. // Научное издание. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001, с. 74-79.
5. *Назарова Н.А., Романова Г. И., Яськов А. Д.* // Опт.-мех. пром-сть. – 1988. № 4. с. 25.
6. *Bertolotti M., Bogdanov K, Ferrari A. et al.* // J. Opt. Soc. Am. B. – 1990. v. 7, № 6. p. 918.
7. *Matsuoka J., Kitamura N., Fujinaga S. et al.* // J. Non-Crystal. Sol. – 1991. v. 135. p. 86.
8. *Zhou T., Zhang J.-F., Hu B.-Q., Yang H.-G.* // Appl. Opt. – 1994. v. 33, № 13. p. 2620.
9. *Пелипенко О. В., Романова Р.И., Яськов А. Д.* // Оптический журнал. – 2001. т. 68, № 1. с. 79.
10. *Ваак Т.* // J. Opt. Soc. Am. – 1969. v. 59, № 7. p. 851.
11. *Lipson H. G., Tsai Y. F., Bendow B., Ligor P. A.* // Appl. Opt. – 1976. v. 15, № 10. p. 2352.
12. *Mangin J., Strimer P., Schillinger M. et al.* // Proc. SPIE. – 1996. v. 2775. p. 115.
13. *Магунов А.Н.* // Опт. и спектр. – 1992. т. 73, № 2. с. 352.
14. *Magunov A.N.* // Proc. SPIE. – 1995. v. 2208. p. 108.
15. *McCaulley J.A., Donnelly V. M., Vernon M., Taha I.* // Phys. Rev. B. – 1994. v. 49, № 11. p. 7408.
16. *Cocorullo G., Corte Delia F. G., Rendina I.* // Appl. Phys. Lett. – 1999. v. 74, № 22. p. 3338.
17. *Jellison G.E., Jr., Burke H.H.* // J. Appl. Phys. – 1986. v. 60, № 2. p. 841.
18. *Бакланов М. Р., Свиташев К. К., Семененко Л. В., Соколов В. К.* // Опт. и спектр. – 1975. т. 39, № 2. с. 362.
19. *Мосс Т.* // Оптические свойства полупроводников. – М.: ИИ Л, 1961.
20. *Malitson I. H.* Interspecimen Comparison of the Refractive Index of Fused Silica. // Journal of the optical society of America. – 1965, v. 55, № 10, p. 1205-1207.
21. *Baak, T.* Optics Athermalization, Report No. 8744, Systems Engineering Group, Research and Technology Division, Air Force Systems Command, USAF Wright-Patterson Air Force Base, – Ohio: 1907.
22. *Austin, J B. and Pierce R. H. H.* // H., Jr., Physics – 1935. v. 6, № 43.
23. *Tilton, L. W. and Tool, A. Q.* // J. Res. Nat. Bur. Stand. (U.S.), – l929. v. 3, № 619.
24. *Rodney, W. S. and Spindler, R. J.* // J. Res. Nat. Bur. Stand. (U.S.), – 1954v. 53, № 3, p. 185.
25. *Prod'homme, L.* // Phys. and Chem. of Glasses, – 1960 v.1, No.4, p. 119.
26. Wang Zhi-Yong, Qiu Qi, Shi Shuang-Jin. Temperature dependence of the refractive index of optical fibers // Chin. Phys. B, – 2014, v. 23, № 3, p. 4.
27. *Jan Jasny et a.* Wavelength- and temperature-dependent measurement of refractive indices // J. Opt. Soc. Am. B, – 2004, v. 21, № 4, p. 733.

И.Н. Таов, А.А. Манин

СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТОВ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: системы видеонаблюдения, стандарты видеонаблюдения, аналоговое видеонаблюдение, цифровое видеонаблюдение, IP видеонаблюдение.

В данной статье анализируются современные стандарты видеонаблюдения, рассматриваются их достоинства и недостатки, возможности применения.

I.N. Taov, A.A. Manin

COMPARISON OF VIDEO SURVEILLANCE STANDARDS

North-Caucasian Branch of the Order of the Red Banner of Labor of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Moscow Technical University of Communication and Informatics", Rostov-on-Don, Russia

Key words: video surveillance systems, video surveillance standards, analogue video surveillance, digital video surveillance, IP video surveillance.

This article analyzes modern standards of video surveillance. Their advantages and disadvantages, possibilities of application are considered.

Рассмотрим основные типы видеонаблюдения.

Аналоговое видеонаблюдение (CCTV) – на данный момент наиболее распространенный, но устаревший тип видеонаблюдения, актуален только при монтаже на объекты с невысокими требованиями или ограниченным бюджетом [1].

Для передачи сигнала от камер к видеорегистратору используется коаксиальный кабель, поток видео идет несжатый. Подключение кабеля к камерам и видеорегистратору осуществляется с помощью НЧ разъемов типа BNC. Питание подается по отдельному кабелю. Максимальная дальность передачи видеосигнала 100-150 м (зависит от качества кабеля), но расстояние легко увеличить до 300-400 м, используя приемопередатчик или усилитель сигнала. Качество изображения значительно уступает IP, HD SDI и AHD. Например, самые распространенные камеры CCTV выдают изображение «800 ТВл» – это 800 линий по вертикали на 600 по горизонтали, то есть 800x600, получается 480 000 пикселей, для сравнения, IP камеры имеют разрешение «1080p» - это 1920 линий по вертикали на 1080 по горизонтали, то есть 1920x1080 (получается 2 073 600 пикселей).

Таким образом, по разрешению разница примерно в 4 раза. Конечно, итоговое качество картинки зависит не только от разрешения, но и от многих других характеристик (размер матрицы, качество объектива, наличие ИК подсветки и т.д.), но, при примерно

одинаковых других характеристиках, качество видеоизображения будет практически в четыре раза лучше.

Есть аналоговые камеры с разрешением матрицы 1000ТВл и даже 1200ТВл, но стоит понимать, что даже самая современная реализация аналогового стандарта "960H" способна передавать изображение с разрешением только 960x570p, этого достаточно для камеры с матрицей на 800ТВл.

Для работы с аналоговыми видеокамерами используются DVR - Digital Video Recorder, что переводится как цифровой видеорегистратор. При приеме видеосигнала с камер, происходит оцифровка и сжатие (компрессия), а уже после запись.

Таким образом, достоинствами данного стандарта являются [1]:

– низкие цены;
– широкий ассортимент;
– низкая задержка видеосигнала.

Недостатки:

– качество видеосигнала ограничено разрешением 800ТВл;
– отсутствие возможности сжатия информации.

Цифровое видеонаблюдение HD SDI. Данный тип видеонаблюдения основан на стандарте SDI, который используется в профессиональном телевидении (Broadcast TV). Основным фактором продвижения этого стандарта является схожесть с CCTV и его внедрение не связано с заменой кабельной инфраструктуры. Для передачи сигнала от видеокамер к видеорегистратору используется коаксиальный кабель, питание подается по отдельному кабелю. Видеосигнал передается несжатый. Подключение кабеля к оборудованию осуществляется с помощью ВЧ разъемов типа BNC.

Преимущества стандарта HD SDI:

1) Монтажным организациям не нужно обучать сотрудников работе с принципиально новым оборудованием, как в случае с IP камерами.
2) Если нужно модернизировать уже имеющуюся систему аналогового видеонаблюдения, то нет необходимости прокладывать новый кабель, нужно только заменить камеры и видеорегистратор. Стоит учесть, что расстояние между камерой и регистратором у формата HD SDI ограничено сильнее, нежели у CCTV, и при дистанциях между оборудованием более 100 метров стоимость усилителей сигнала может превысить стоимость прокладки кабеля под IP видеонаблюдение.
3) Низкая задержка видеосигнала. Данное преимущество актуально только для специфических задач, например, – контроля клиентов в казино.
4) Более высокое качество «живого» видео. При просмотре архива записей или живого видео через Интернет нет разницы между HD SDI и IP камерами.

Недостатки данного формата:

1) Чем крупнее проект, тем менее выгоден данный стандарт в сравнении с IP. К каждой камере для варианта HD SDI должен подходить отдельный кабель, а от нескольких IP камер к видеорегистратору может подходить один кабель. Видеорегистраторы HD SDI значительно дороже IP видеорегистраторов.
2) Отсутствие возможности смотреть видео с камеры без специализированных устройств.

Аналоговое видеонаблюдение AHD (Analog High Definition) - технология, разработанная известной в данной сфере компанией NEXTCHIP.

Основным фактором продвижения этого стандарта является открытость технологии для всех производителей, что положительно сказывается на стоимости оборудования, и это, в свою очередь, хорошо влияет на скорость распространения данного стандарта.

Для передачи сигнала от видеокамер к видеорегистратору используется коаксиальный кабель, питание подается по отдельному кабелю. Видеосигнал передается несжатый. Подключение кабеля к оборудованию осуществляется с помощью НЧ разъемов типа BNC.

Преимущества стандарта AHD:

1) Камеры AHD заметно дешевле IP и HD SDI камер.
2) Данный стандарт поддерживает передачу видеосигнала на расстояние до 500 м без применения дополнительного оборудования.
3) Не нужно обучать сотрудников работе с принципиально новым оборудованием.
4) Если нужно модернизировать уже имеющуюся систему аналогового видеонаблюдения, то нет необходимости прокладывать новый кабель, нужно только заменить камеры и видеорегистратор.
5) Низкая задержка видеосигнала.
6) Более высокое качество «живого» видео.

Недостатки формата AHD аналогичны недостаткам стандарта HD SDI.

Цифровое IP видеонаблюдение – современный тип видеонаблюдения, основанный на использовании сетевых технологий для передачи видеосигнала [2].

Каждая камера содержит микропроцессор, сжимающий видеосигнал, поступающий с матрицы. Имеется программный интерфейс, через который настраивается видеокамера. По сути, каждая камера – это мини компьютер. После подключения камеры к локальной сети, доступ к ней можно получить с любого компьютера. Если локальная сеть подключена к сети Интернет, то доступ к камере можно получить с компьютера, находящегося даже на другом континенте. Все современные IP видеокамеры имеют защиту от несанкционированного доступа.

Преимущества IP видеонаблюдения:

1) Витая пара дешевле коаксиального кабеля. Разъемы RJ-45 тоже дешевле аналоговых ВЧ разъемов BNC.
2) Питание камер может идти по витой паре совместно с видеосигналом.
3) При необходимости записи звука не нужен дополнительный кабель для микрофона.
4) По одному кабелю можно передавать сигнал с 16 камер с разрешением 2MPix.
5) Возможность использования существующей локальной сети для подключения камер, при условии наличия резервов полосы пропускания.
6) При проектировании объекта дешевле объединить IP систему видеонаблюдения и локальную сеть для рабочих компьютеров, нежели монтировать локальную сеть и HD SDI систему видеонаблюдения раздельно.
7) Если ведение архива не является приоритетной задачей, можно использовать видеокамеры без видеорегистратора, а видео писать в «облако» или на любой локальный компьютер.
8) Возможность подключения к облачным аналитическим системам.

Недостатки стандарта IP:

1) Заметная задержка видеосигнала. Еще несколько лет назад задержка составляла 2-3 секунды, сейчас даже на недорогом оборудовании она снизилась до 1 секунды.
2) Недостаток квалифицированных инсталляторов.
3) Стоимость оборудования. IP камеры немного дороже AHD камер.
4) Стоимость обслуживания. Более высокие требования к квалификации монтажников сказывается и на стоимости обслуживания оборудования.

Таким образом, наиболее гибкий и перспективный выбор - это IP система видеонаблюдения. Однако, при ограниченном бюджете, оптимальным по соотношению цена/качество будет стандарт AHD. В случае совсем ограниченного бюджета, или когда требования к системе не высоки (например, важен сам факт наличия системы, а не ее реальная эффективность), то можно использовать аналоговое видеонаблюдение CCTV.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герман К.* Профессиональное видеонаблюдение. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV. - М.: Security Focus, 2010.
2. *Лыткин А.* IP-видеонаблюдение: наглядное пособие. - М.: Security Focus, 2011.

Е.С. Тарасов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА СЖАТИЯ КОДОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СФОРМИРВАННОЙ ТЕКСТОВЫМ СООБЩЕНИЕМ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ) Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Ключевые слава: сжатие, кодовая последовательность, эффективность сжатия, степень сжатия, код ASCII, мультиплексирование.

Разработан новый алгоритм, позволяющий сжимать кодовую последовательность, сформированную текстовым сообщением, который не требует для сжатия статистических данных, предварительного анализа всего текстового сообщения или установки дополнительного программного обеспечения.

E.S. Tarasov

RESEARCH EFFICIENCY COMPRESSION ALGORITHM CODE SEQUENCE FORMED TEXT MESSAGES

Federal public budgetary educational institution of higher education the "Siberian state university of telecommunications and informatics" (SibGUTI) the Ural technical institute of connection and informatics (branch) in g. Ekaterinburg (UrTISI SibGUTI)

Keywords: compression, code sequence, the compression efficiency, the degree of compression, ASCII code, multiplexing.

Designed new algorithm to compress the code sequence generated by text message, which does not require compression statistics, a preliminary analysis of all text message, or installing additional software.

1. Введение

При построении современных сетей связи, одна из проблем, которая должна быть решена – это повышения скорости передачи информации. Существует много методов решения этой проблемы. Одним из них является сжатие передаваемых данных.

Анализируя все основные современные алгоритмы сжатия [1, 2, 3], видно, что все они основаны либо на сборе статистических данных, либо на анализе характера построения исходного сообщения.

В настоящей статье предлагается алгоритм сжатия, который не требует предварительного сбора статистических данных или предварительного анализа сообщения. Сжатию подлежит сформированная кодовая последовательность. Принцип сжатия основан на замене повторяющихся кодовых комбинаций более короткими. Таким образом, сжатие происходит в реальном масштабе времени, при прохождении кодовой последовательности через компрессор, с минимальными затратами времени на процесс сжатия, не используя каких-либо других данных для сжатия кодовой последовательности. Целью данной статьи является исследование эффективности разработанного алгоритма.

2. Описание алгоритма сжатия

Рассмотрим принцип сжатия кодовой последовательности, которая сформирована текстовым сообщением, закодированным первичным кодом ASCII.

Все комбинации кода ASCII можно разбить на 16 групп, по 8 групп из каждой части. Каждая группа содержит кодовые комбинации с одинаковыми старшими четырьмя разрядами. В таблице 1 показано распределение символов алфавита кода ASCII по группам, а также соответствие группам комбинаций старших четырех разрядов.

Таблица 1 – Разбиение символов кода ASCII по группам.

№ Группы	Номера символов	Код старших четырех разрядов	№ Группы	Номера символов	Код старших четырех разрядов
Часть 1			Часть 2		
0	0 – 15	0000	8	128 – 143	1000
1	16 – 31	0001	9	144 – 159	1001
2	32 – 47	0010	10	160 – 175	1010
3	48 – 63	0011	11	176 – 191	1011
4	64 – 79	0100	12	192 – 207	1100
5	80 – 95	0101	13	208 – 223	1101
6	96 – 111	0110	14	224 – 239	1110
7	112 – 127	0111	15	240 – 255	1111

Сжатие кодовой последовательности основано на предварительном поразрядном мультиплексировании двух кодовых комбинаций, следующих друг за другом. В результате получится шестнадцатиразрядная кодовая комбинация, которая называется мультиплексированной (МКК). При мультиплексировании кодовых комбинаций одной группы старшие восемь разрядов МКК всегда одинаковы. По аналогии, если мультиплексируются кодовые комбинации разных групп.

В результате, МКК делится на две части. Первые восемь разрядов отражают номера групп, из которых мультиплексируются кодовые комбинации. Поэтому, они названы идентификаторами групп мультиплексирования (ИГМ). Вторые восемь разрядов изменяться в зависимости от мультиплексируемых кодовых комбинаций. Поэтому данная часть названа вариативной битовой группой (ВБГ).

После мультиплексирования двух кодовых комбинаций поле ИГМ заменяется на кодовую комбинацию меньшей длины. Определим, какой длины может быть кодовая комбинация, на которую заменяется поле ИГМ.

Рассмотрим основные принципы формирования текстового сообщения. Любой текст состоит из последовательности символов. Она может состоять из русских и латинских букв, цифр и знаков препинания, а так же различных специальных символов. Порядок следования символов может произвольное. Поэтому мультиплексироваться могут все символы кодовой таблицы ASCII по принципу «каждый с каждым».

Как говорилось ранее, в таблице кода ASCII организуется 16 групп символов. Кодовые комбинации символов каждой группы должны мультиплексироваться, как с кодовыми комбинациями своей группы, так и с кодовыми комбинациями всех остальных групп, причем, как в прямом, так и в обратном направлении. Это означает, что ИГМ зависит от порядка следования символов. Например, рассмотрим слово «Он». Буква «О» кодируется кодовой комбинацией 11001110, а буква «н» - 11101101. После мультиплексирования получим МКК: 1111010011111001. Тогда в поле ИГМ входят разряды 11110100. Теперь переставим буквы местами и получим слово «нО». Тогда, после мультиплексирования в поле ИГМ входят разряды 11111000. Из примера видно, что значение поля ИГМ зависит от порядка следования символов. Количество значений поля ИГМ равно:

$$К_{ИГМ} = g^2 \quad (1)$$

где g – количество групп в кодовой таблице.

Если мультиплексируются все кодовые комбинации всех шестнадцати групп, то пользуясь (1), получим:

$$К_{ИГМ} = 16^2 = 256$$

Следовательно, для кодирования 256 кодовых комбинаций необходимо восемь разрядов. Таким образом, сжатия кодовых комбинаций не происходит - значит, необходимо уменьшить количество значений поля ИГМ, за счет уменьшения количества групп, символы которых мультиплексируются. Для этого подробнее рассмотрим особенности отдельных групп символов кодовой таблицы ASCII и особенности построения текстовых сообщений. В группах 0 и 1 таблицы кода ASCII находятся управляющие сигналы, которые, как правило, передаются нечасто и по одному. Некоторые из них вообще не передаются. Поэтому, эти кодовые комбинации мультиплексируются с другими довольно редко или вообще не мультиплексируются. Тем не менее, есть две кодовые комбинации из группы 0, которые будут передаваться довольно часто. Это управляющие сигналы LF и CR, обозначающие, соответственно, перевод строки и возврат курсора в начало строки. Эти управляющие сигналы передаются всякий раз, как нажимается клавиша «Enter». При формировании текста, нажатие этой клавиши происходит довольно часто. Так как обе эти комбинации входят в состав группы 0, то ее кодовые комбинации необходимо мультиплексировать с кодовыми комбинациями остальных групп. Первая группа содержит редко передаваемые управляющие сигналы. Поэтому входящие в нее кодовые комбинации мультиплексироваться с кодовыми комбинациями других групп не будут.

Группы 2 – 7, 14 – 15 содержат буквы русского и латинского алфавитов, знаки препинания и цифры. В едином тексте эти символы встречаются в любых сочетаниях, т. к. именно эти символы образуют текст на латинском и русском языках.

Группы 8 – 11 содержат специальные символы, которые в традиционных текстах встречаются редко. Таким образом, кодовые комбинации этих четырех групп не будут мультиплексироваться с кодовыми комбинациями других групп.

Исходя из вышеизложенного, мультиплексированию подлежат кодовые комбинации одиннадцати групп, т. е. семь из первой части (1 – 7) и четыре из второй (12 – 15). Подставляя значение одиннадцать в (1), получим:

$$К_{ИГМ} = 11^2 = 121$$

Таким образом, для кодирования 121-ой комбинации необходимо использовать семь разрядов, и в мультиплексированной кодовой комбинации, восьмиразрядное поле ИГМ заменится семиразрядной кодовой комбинацией.

Семиразрядная кодовая комбинация, которая заменяет поле ИГМ в мультиплексированной кодовой комбинации, называется «Укороченный идентификатор групп (УИГ)».

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при сжатии кодовой последовательности, сформированной текстовым сообщением, появляются две категории кодовых комбинаций:

1. Мультиплексируемые (МК) – это кодовые комбинации, которые должны мультиплексироваться с другими кодовыми комбинациями. К ним относятся все кодовые комбинации групп 0, 2 – 7, 12 – 15.

2. Немультиплексируемые (НМК) – это кодовые комбинации, которые передаются без изменений. К ним относятся комбинации групп 1 и 8 – 11.

НМК могут образоваться из мультиплексируемых комбинаций. Рассмотрим ситуацию, когда передается текст: «Кабинет № 23». Все символы данного текста находятся в группах с МК, кроме одного. Символ «№» находится в группе 11, где находятся НМК, значит кодовая комбинация, соответствующая данному символу, не мультиплексируется с другими. Исходя из порядка следования символов текста, мультиплексируются кодовые комбинации следующих пар символов: «К+а», «б+и», «н+е», «т+пробел». Следующая пара кодовых комбинаций не мультиплексируются, т. к. символ «№» находится в группе с НМК. Следовательно, следующий за символом «№» «пробел» переходит из категории МК в категорию НМК. Таким образом, любая кодовая комбинация кода ASCII может стать НМК, в то время как НМК не может перейти в категорию МК.

3. Анализ эффективности алгоритма сжатия

Рассмотрим текст.

«Пистолет-пулемет STEN (оригинальное название в английской номенклатуре того времени - 9mm STEN machinecarbine) получил свое название от первых букв фамилий разработчиков (R. V. Shepardand H.J. Turpin) и от названия предприятия (Enfieldarsenal).

Пистолет-пулемет STENMk. V. Попытка сделать пистолет-пулемет STEN более "приятным для глаза", так как в войсках их не любили. Фактически является вариантом Mk.II с деревянными прикладом и рукояткой».

Для передачи данного текста необходимо 444 восьмиразрядные кодовые комбинации. Рассчитаем количество передаваемых разрядов до сжатия (2):

$$N_{\text{д.с.}} = n \cdot k \tag{2}$$

где k – количество передаваемых кодовых комбинаций;

n – количество бит в одной кодовой комбинации.

Учитывая, что в коде ASCII, n=8, получим:

$$N_{\text{д.с.}} = 8 \cdot 444 = 3552 \text{ разряда}$$

Анализируя все символы текста из примера, можно убедиться, что все кодовые комбинации являются мультиплексируемыми. Об этом же говорит и тот факт, что количество передаваемых кодовых комбинаций является чётным. Так как исходные комбинации мультиплексируются попарно, то количество МКК определяется по (3):

$$M = \frac{m}{2}, \tag{3}$$

где m- количество МК.

$$M = \frac{444}{2} = 222$$

Так как каждая МКК уменьшается на один разряд, то количество МКК равно количеству разрядов, на которое сократиться кодовая последовательность. Следовательно, количество разрядов в сжатой кодовой последовательности равно (4):

$$\mathrm{N_{п.с}} = \mathrm{N_{д.с.}} - \mathrm{M}, \tag{4}$$

Откуда:

$$\mathbf{N_{п.с} = 3552 - 222 = 3330}\ \text{разрядов}$$

Эффективность алгоритма сжатия оценим с помощью трех параметров, коэффициент сжатия (S), фактор сжатия (F), степень сжатия (G_k) [2]. Рассчитаем показатели сжатия (5-7):

$$S = \frac{N_{\text{п.с.}}}{N_{\text{д.с.}}} = \frac{3330}{3552} = 0.9375 \tag{5}$$

$$F = \frac{N_{\text{д.с.}}}{N_{\text{п.с.}}} = \frac{3552}{3330} = 1.0667 \tag{6}$$

$$G_k = \frac{N_{\text{д.с.}} - N_{\text{п.с.}}}{N_{\text{д.с.}}} = \frac{3552-3330}{3552} = 0.0625 \tag{7}$$

Так как коэффициент сжатия меньше единицы, а степень сжатия величина положительная, то можно утверждать, что исследуемый алгоритм сжимает исходную кодовую последовательность на 6.25%.

Для сравнения, сожмем текст из примера с помощью популярных архиваторов WinRAR и WinZIP, использующих алгоритм сжатия Лемпэла-Зива (LZ) [2, 3]. В результате получили следующие значения параметров сжатия. Для архиватора WinRAR: S=96.61%, F=1.0351, G_k=3.39%. Для архиватора WinZIP: S=121.3%, F=0.8246, G_k=-21.3%. Из полученных исследований видно, что сжатие алгоритмами архиваторов WinZIP и WinRAR менее эффективно, чем алгоритмом с предварительным мультиплексированием кодовых комбинаций. Это связано с тем, что с архивом WinZIP и WinRAR передается большое количество служебной информации.

Рассмотрим сжатие при произвольном количестве кодовых комбинаций (k). Допустим, все кодовые комбинации восьмиразрядные, причем все кодовые комбинации являются мультиплексируемыми, т. е. k = m,

Подставляя в (2-5), с учетом n=8 и k=m, получим коэффициент сжатия:

$$S = \frac{N_{\text{п.с.}}}{N_{\text{д.с.}}} = \frac{8 \cdot k - \frac{k}{2}}{8 \cdot k} = \frac{k \cdot \left(8 - \frac{1}{2}\right)}{k \cdot 8} = \frac{\frac{15}{2}}{8} = \frac{15}{16} = 0.9375$$

Определим фактор сжатия:

$$F = S^{-1} = \frac{16}{15} = 1.066$$

Определим степень сжатия. Для этого из (4) выразим значение M и подставим в (7). Учитывая допущения, используемые для расчета коэффициента сжатия, получим:

$$G_k = \frac{M}{N_{\text{д.с.}}} = \frac{\frac{m}{2}}{N_{\text{д.с.}}} = \frac{m}{2 \cdot N_{\text{д.с.}}} = \frac{m}{2 \cdot n \cdot k} = \frac{m}{2 \cdot 8 \cdot k} = \frac{m}{16 \cdot k} = \frac{k}{16 \cdot k} = \frac{1}{16} = 0.0625$$

Исходя из приведенных выше рассуждений, можно сделать вывод, что если текстовое сообщение состоит из чётного числа символов и в нем нет НМК, то параметры сжатия не зависят от количества символов в тексте, т. е их значения постоянные: S=0,9375; F=1,066; G_k=0,0625.

Если в кодовой последовательности встретиться НМК, то, чтобы на приеме декодирование прошло правильно, необходимо, с каждой парой НМК передавать маркер длинной 6 разрядов. Количество передаваемых маркеров два. Один показывает, что следующие две восьмиразрядные кодовые комбинации немультиплексированы, другой, что следующая кодовая комбинация является последней, если всего передается нечетное количество кодовых комбинаций в последовательности. В этом случае, последняя кодовая комбинация не имеет пары для мультиплексирования и переходит в разряд НМК. Так как маркеры не несут полезной информации, они ухудшают значения параметров сжатия. Для расчета параметров сжатия определим общее количество разрядов в кодовой последовательности, обозначающие маркеры (8):

$$\mathrm{L} = 6 \cdot (\mathrm{c}_1 + \mathrm{c}_2) \qquad (8)$$

где c_1 – количество маркеров, при передаче пары НМК;

c_2 – количество маркеров конца кодовой последовательности.

C_2 может равняться нулю, если количество кодовых комбинаций в последовательности четное, или единице, если количество кодовых комбинаций в последовательности нечетное.

Таким образом, количество разрядов в сжатой последовательности, при наличии НМК, определяется по (9):

$$\mathrm{N}_{\text{п.с}} = \mathrm{N}_{\text{д.с.}} - \mathrm{M} + \mathrm{L} \qquad (9)$$

Из (9) следует, что сжатие исходной кодовой последовательности произойдет только в том случае, если M>L. При M=L длина кодовой последовательности до сжатия равна длине кодовой последовательности после сжатия. При M<L кодовая последовательность после сжатия станет длиннее, чем исходная, за счет передачи большого количества маркеров.

Анализируя любые тексты можно увидеть, что в основном они состоят из символов, которые входят в группы кода ASCII, кодовые комбинации которых мультиплексируются. В группы с НМК входят символы, которые в текстах встречаются достаточно редко. Поэтому, как правило, сжатию подлежат тексты с небольшим количеством НМК. Таким образом, исследуемый алгоритм сжимает любую кодовую последовательность, сформированную текстовым сообщением.

4. Расчет степени сжатия кодовой последовательности при произвольном текстовом сообщении

Все кодовые последовательности, сформированные текстовым сообщением, можно разделить на шесть типов:

1. С четным количеством кодовых комбинаций, при этом все кодовые комбинации являются мультиплексируемыми, т. е. k=m;
2. С четным количеством кодовых комбинаций, при этом все кодовые комбинации являются немультиплексируемыми, т. е. k=q;
3. С четным количеством кодовых комбинаций, при этом содержаться МК и НМК;
4. С нечетным количеством кодовых комбинаций, при этом все кодовые комбинации являются мультиплексируемыми, т. е. k=m;
5. С нечетным количеством кодовых комбинаций, при этом все кодовые комбинации являются немультиплексируемыми, т. е. k=q;
6. С нечетным количеством кодовых комбинаций, при этом содержаться МК и НМК.

Рассмотрим первый тип кодовой последовательности.

В этом случае, количество разрядов в сжатой кодовой последовательности определяется по (4). Подставляя в нее (2) и (3) получим (9):

$$N_{п.с.1} = n \cdot k - \frac{m}{2} \quad (9)$$

Учитывая, что n=8 и k=m, получим формулу, которая определяет количество разрядов в сжатой кодовой последовательности, при сжатии исходной кодовой последовательности первого типа:

$$N_{п.с.1} = 8 \cdot m - \frac{m}{2} = 7{,}5 \cdot m \quad (10)$$

Рассмотрим второй тип кодовой последовательности.

В этом случае, количество разрядов в сжатой кодовой последовательности определяется (9). Так как все кодовые комбинации НМК, то M=0. Так как в кодовой последовательности четное количество комбинаций, то c_2=0. По условию, все комбинации НМК, т. е. k=q. Подставив в (9) формулы (2) и (8), с учетом описанных условий получим:

$$N_{п.с.2} = n \cdot q + 6 \cdot c_1 \quad (11)$$

Так как с каждой парой НМК передается один маркер, то количество маркеров определяется (12):

$$c_1 = \frac{q}{2} \quad (12)$$

Подставим в (11) формулу (12) с учетом n=8 получим формулу для расчета количества разрядов в сжатой кодовой последовательности при сжатии исходной последовательности второго типа:

$$N_{п.с.2} = 8 \cdot q + 6 \cdot \frac{q}{2} = 11 \cdot q \quad (13)$$

Кодовые последовательности, сформированные произвольным текстовым сообщением, могут содержать, как МК, так и НМК. Такую смешанную последовательность можно представить, как сумму двух совокупностей МК и НМК. Поэтому для расчета количества разрядов в сжатой кодовой последовательности, при сжатии исходной последовательности третьего типа необходимо сложить (10) и (13). В результате, получим:

$$N_{п.с.3} = 7{,}5 \cdot m + 11 \cdot q \quad (14)$$

Рассмотрим четвертый тип кодовой последовательности. В этом типе все комбинации мультиплексируемые, но их количество нечетное. Это означает, что последняя кодовая комбинация переходит из разряда МК в разряд НМК. Следовательно, в (3) необходимо из m вычесть единицу. Кроме того, с этой НМК передается шестиразрядный маркер. Следовательно, к (10) необходимо прибавить шесть. Учитывая преобразования для (10), получим формулу, которая определяет количество разрядов в сжатой кодовой последовательности при исходной последовательности четвертого типа:

$$N_{п.с.4} = 8 \cdot m - \frac{m-1}{2} + 6 = 7{,}5 \cdot m + 6{,}5 \quad (15)$$

При рассмотрении кодовой последовательности пятого типа необходимо учесть, что с последней кодовой комбинацией передается еще один шестиразрядный маркер. Тогда, (13) примет вид:

$$N_{п.с.5} = 11 \cdot q+6 \quad (16)$$

Таким образом, (16) определяет количество разрядов в сжатой кодовой последовательности, при исходной последовательности пятого типа.

Для определения количества разрядов в сжатой кодовой последовательности, при исходной последовательности шестого типа, необходимо сложить (15) и (16). В результате получим:

$$N_{п.с.6} = 7{,}5 \cdot m + 6{,}5 + 11 \cdot q+6 = 7{,}5 \cdot m + 11 \cdot q+12{,}5 \quad (17)$$

Рассматривая любую произвольную кодовую последовательность, сформированную текстовым сообщением, можно сказать, что в ней может быть либо четное количество кодовых комбинаций, либо нечетное, при этом в ней могут быть, как МК, так и НМК. Так как в данном случае используется функция «ИЛИ», суммируя (15) и

(17) получим:

$$N_{п.с.} = (7{,}5 \cdot m + 11 \cdot q) + (7{,}5 \cdot m + 11 \cdot q + 12{,}5) \quad (18)$$

Для того, что бы в (18) оставалась только одна скобка, как слагаемое, которое определяет четное или нечетное количество кодовых комбинаций в исходной последовательности, в нее необходимо ввести два множителя (по одному для каждой скобки).

Для (15) множитель имеет вид:

$$a = \frac{1+(-1)^k}{2}, \quad (19)$$

для (17):

$$b = \frac{1+(-1)^{k+1}}{2} \quad (20)$$

Домножив каждую скобку в (18) на соответствующий множитель (19 – 20),. получим обобщенную формулу для определения количества разрядов в сжатой кодовой последовательности, при последовательности, сформированной текстовым сообщением:

$$N_{п.с.} = a \cdot (7{,}5 \cdot m + 11 \cdot q) + b \cdot (7{,}5 \cdot m + 11 \cdot q + 12{,}5) \quad (21)$$

На рисунках (1-5) показаны графики зависимости степени сжатия от количества кодовых комбинаций и соотношения МК и НМК в исходной кодовой последовательности. Расчет выполнялся по формулам (2), (7) и (21).

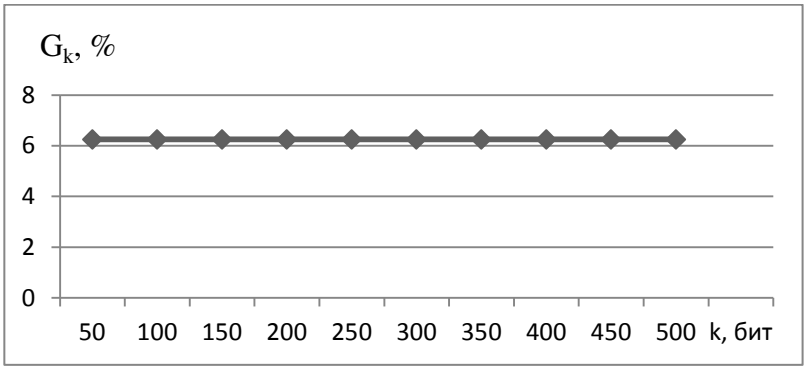


Рисунок 1 – График зависимости степени сжатия от количества кодовых комбинаций в последовательности, если k – четное и все кодовые комбинации МК

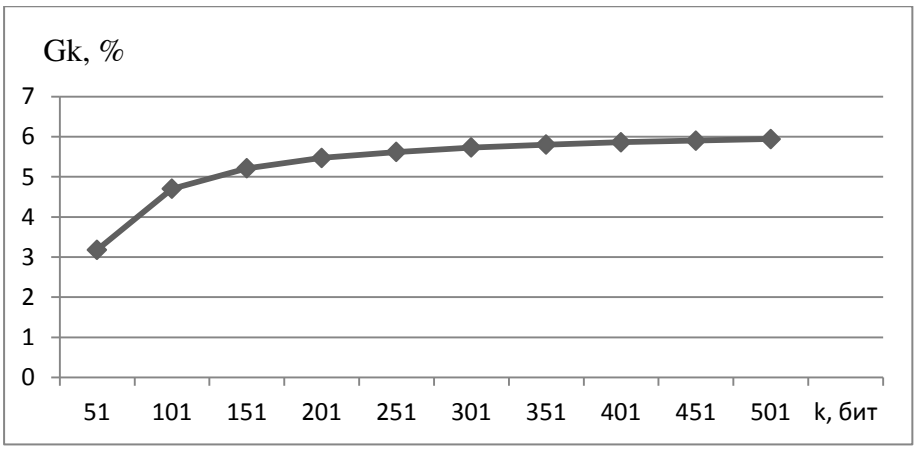


Рисунок 2– График зависимости степени сжатия от количества кодовых комбинаций в последовательности, если k – нечетное и все кодовые комбинации МК

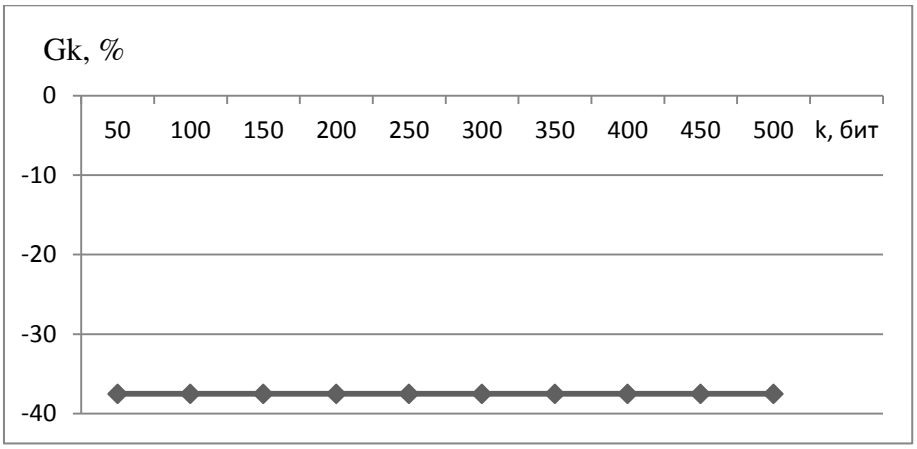


Рисунок 3 – График зависимости степени сжатия от количества кодовых комбинаций в последовательности, если k – четное и все кодовые комбинации НМК

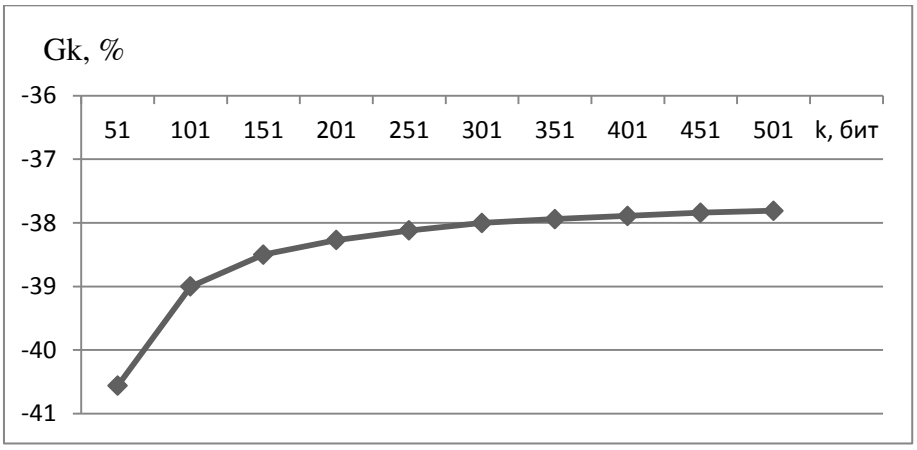


Рисунок 4 – График зависимости степени сжатия от количества кодовых комбинаций в последовательности, если k – нечетное и все кодовые комбинации НМК

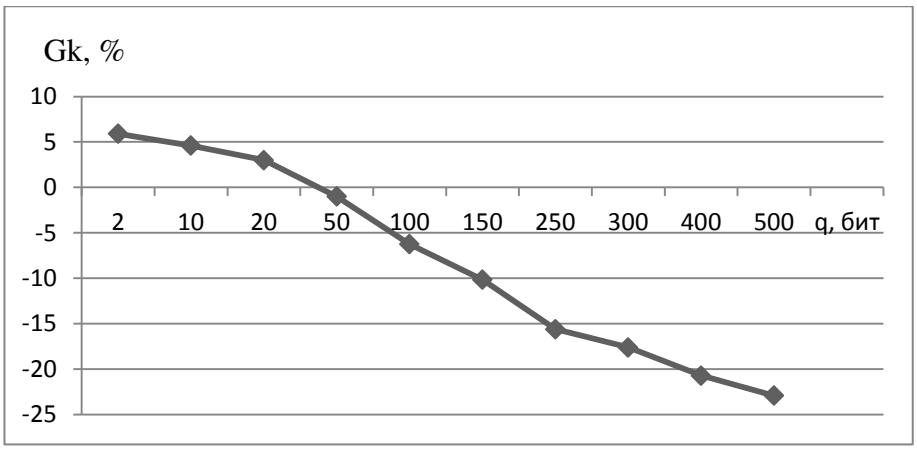


Рисунок 5 – График зависимости степени сжатия от соотношения МК и НМК в исходной последовательности.

5. Заключение

В настоящей статье исследовалась эффективность алгоритма сжатия с предварительным мультиплексированием кодовых комбинаций. Данный алгоритм исследовался на примере текстовых сообщений, которые кодируются первичным кодом ASCII.

Эффективность исследуемого алгоритма оценивалась по трем параметрам: коэффициент сжатия, фактор сжатия и степень сжатия. Исследования показали, что максимальная степень сжатия равна 6,25%. Это возможно, если исходная кодовая последовательность состоит только из МК. Если в ней появляются НМК, то степень сжатия уменьшается. Если кодовая последовательность состоит только из НМК, то степень сжатия равна -0,375%. Отрицательное значение степени сжатия говорит о том, что сигнал не сжимается, а увеличивается. Полученные результаты подтверждает выведенное выражение для расчета количества разрядов в сжатой кодовой последовательности, по известной исходной последовательности (21). Поэтому равенству построены графики зависимостей количества разрядов в сжатой кодовой последовательности от структуры исходной последовательности (рисунки 1-5).

Анализируя общие принципы построения текстовых сообщений, а также оптимальное разбиение символов кода ASCII на группы, можно утверждать, что тексты в основном состоят из символов с мультиплексируемыми кодовыми комбинациями, а НМК встречаются достаточно редко. Это говорит о том, что сжимая тексты алгоритмом с предварительным мультиплексированием кодовых комбинаций, степень сжатия всегда больше нуля.

Исследуемый алгоритм сжатия, сравнивался с алгоритмами популярных архиваторов WinRAR и WinZIP. Результаты показали, что при сжатии коротких текстов, исследуемый алгоритм эффективнее чем, алгоритмы архиваторов WinRAR и WinZIP. Это связано с тем, что при архивации текстов создается много служебной информации. При анализе длинного текстового сообщения исследуемый алгоритм не эффективен, архиватор WinRAR сжимает текст лучше. Кроме того, сравнивая эффективность данного алгоритма, с классическим кодом Хаффмена видно, что последний сжимает текстовые сообщения в среднем в четыре раза лучше.

Тем не менее, исследуемый алгоритм имеет ряд достоинств перед словарными и статистическими методами сжатия:

1. Для сжатия текстового сообщения не требуется предварительного сбора статистических данных.
2. Не требуется установка дополнительного программного обеспечения.
3. Сжатие происходит в реальном масштабе времени не заметно от пользователя.
4. Требуется существенно меньший объем памяти для хранения УИГ, чем для хранения словаря или статистических данных.

В силу выявленных недостатков, исследуемый код можно использовать только в тех средствах связи, в которых передаются текстовые сообщения. К таким средствам связи относятся: передача СМС сообщений в сотовой связи, пейджинговая связь, ICQ, передача текстовых сообщений в Skype, передача гипертекстовых сообщений в сети Интернет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В*. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. - 384 с.
2. *Сергиенко В.С., Баринов В.В*. Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах: Учебное пособие. –М.: ИП «РадиоСофт», 2012. – 360 с.: ил.
3. *Д.Сэломон*. Сжатие данных, изображений и звука - Москва: Техносфера, 2004. - 368с.
4. Пат. №151856 Российская Федерация, МПК H 03 M 5/00. Кодирующее устройство [Текст] / Тарасов Е. С.; заявитель и патентообладатель Тарасов Е. С. - №2013156092/08; заявл. 17.12.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11. – 2с.
5. Пат. №143865 Российская Федерация, МПК H 04 B 5/00. Декодирующее устройство текстовой информации сжатой кодовой последовательностью [Текст] / Тарасов Е. С.; заявитель и патентообладатель Тарасов Е. С. - №2014102155/08; заявл. 23.01.2014; опубл. 10.08.2014, Бюл. № 22. – 2с.

Э.Р. Тлекова

РАЗВИТИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ: ОТ GSM-R К LTE-R

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»,
Астрахань, Россия

Ключевые слова: LTE-R, GSM-R, высокоскоростные железные дороги, инфокоммуникационные технологии.

В статье рассмотрены вопросы развития инфокоммуникационных технологий на высокоскоростных железных дорогах России, представлены технологии, используемые на железных дорогах Европы. Также в статье проведен обзор стандарта LTE-R как

приемника стандарта GSM-R, определены его возможные системные параметры и услуги, и выявлена возможность совместной работы стандартов GSM-R и LTE-R.

E.R. Tlekova

THE DEVELOPMENT OF INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR HIGH-SPEED RAILWAYS: FROM GSM-R TO LTE-R

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia

Keywords: LTE-R, GSM-R, High-Speed Railways, infocommunication technologies.

The article considers problems of development of infocommunication technologies on the high-speed railways in Russia, presented the technologies that are used on the railways of Europe. Also, the article reviews the LTE-R standard as a GSM-R receiver, defined its possible system parameters and services, and the possibility of joint operation of the GSM-R and LTE-R standards is revealed.

Высокоскоростные железные дороги (High-Speed Railways – HSR) улучшают качество железнодорожных услуг, обеспечивают высокий уровень удовлетворения потребностей клиентов. Но, вместе с тем, появляются новые проблемы. Одной из этих проблем является предоставление услуг связи. Для обработки увеличенного трафика, обеспечения безопасности пассажиров и предоставления мультимедийной информации в реальном времени требуется новая система связи для высокоскоростных железных дорог.

В Европе с 1995 года для железнодорожных перевозок используется стандарт GSM-Railways (GSM-R). Однако, в России данный стандарт был введен в эксплуатацию лишь в 2014 году в связи с Олимпийскими играми в Сочи, и только на участке Туапсе - Сочи - Адлер – Альпика-Сервис – Веселое. Надо отметить, первая в России сеть технологической радиосвязи стандарта GSM-R была успешно развернута и эксплуатируется до сих пор.

Хотя GSM-R является неоспоримым достижением в плане европейской функциональной совместимости железных дорог, с телекоммуникационной точки зрения, это устаревшая технология.

С быстрым развитием HSR надежная широкополосная система связи имеет важное значение для различных компонентов HSR, таких как управление поездом и связь для обеспечения безопасности. С 2014 года проект Международного союза железных дорог или Международного союза железных дорог (МСЖД), известного как Будущая железнодорожная система подвижной связи (FRMCS), начал оценивать и формировать будущее мобильной связи HSR и определять подходящие Кандидатские технологии для использования после того, как используемый в настоящее время GSM-R устарел. Приложения HSR предъявляют строгие требования к мерам качества обслуживания (QoS), таким как скорость передачи данных, задержка передачи и коэффициент ошибок в битах (BER). Учитывая эти факторы, а также желание использовать зрелые и недорогие технологии, Коммуникации HSR обычно используют готовые технологии и добавляют приложения для удовлетворения конкретных услуг и требований. GSM-R является

успешным примером, основанным на стандарте GSM и используемым на более чем 70 000 км железнодорожных линий (включая более 22 000 км линий HSR) по всему миру [1].

Системы связи GSM выводятся из эксплуатации, поскольку рынок публичных коммуникаций развивается в направлении проекта LTE. Как следствие, GSM-R также имеет предсказуемое завершение своего срока службы. Таким образом, новая система должна удовлетворять эксплуатационным потребностям HSR с возможностью согласования с LTE, предлагая новые услуги, но все еще сосуществуя с GSM-R в течение длительного периода времени. Выбор подходящей системы беспроводной связи для HSR должен учитывать такие вопросы, как производительность, качество обслуживания, диапазон частот и промышленную поддержку. По сравнению с системами третьего поколения (3G), 4G LTE имеет простую архитектуру, высокую скорость передачи данных и низкий уровень задержки сигнала. Учитывая производительность и уровень работоспособности LTE, LTE-railway (LTE-R), вероятно, станет следующим поколением систем HSR-связи и развитие будущих беспроводных технологий для HSR будет тесно связано с развитием технологии LTE-R.

График стандартизации и создания LTE-R показан на рисунке 1. Ожидается, что МСЖД завершит работу и установит функциональные требования к 2017 году.

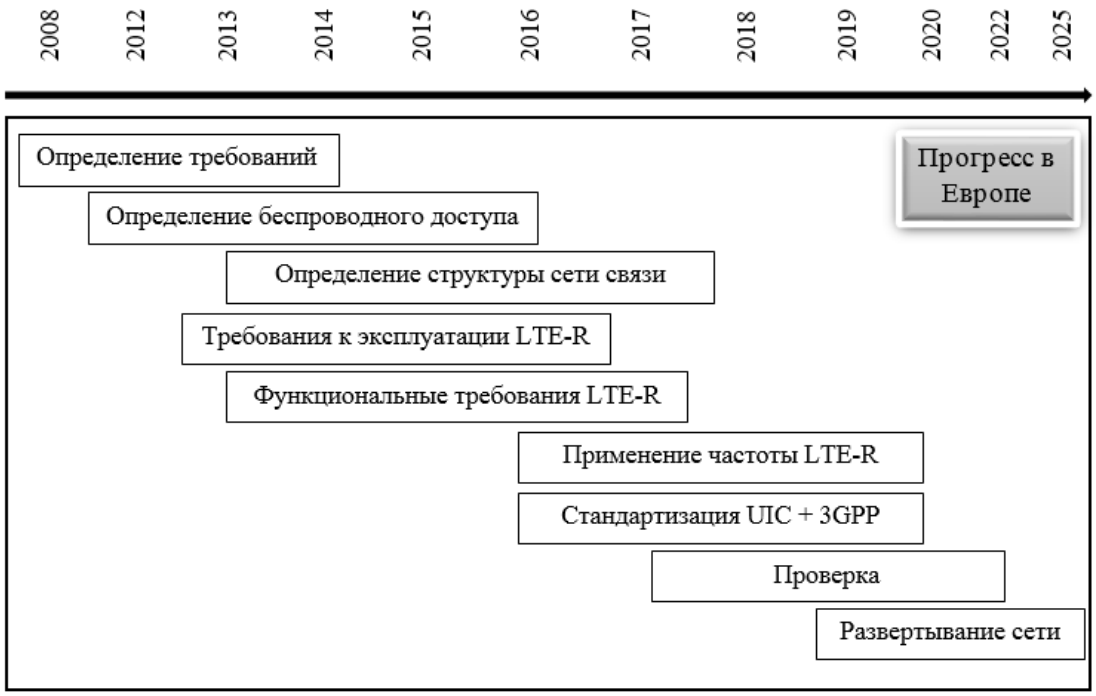


Рис.1. Временные рамки стандартизации и создания сети LTE-R в Европе.

GSM-R

Описание системы GSM-R

GSM-R - это, по сути, та же система, что и GSM, но с железнодорожными специфическими функциями. Он использует конкретную частотную полосу около 800/900 МГц, как показано на рисунке 2. Кроме того, полосы частот 873-876 МГц (восходящая линия) и 918-921 МГц (нисходящая линия связи) используются в качестве полос расширения для GSM-R на национальной основе под названием Extended GSM-R (E-GSM-R).

GSM-R обычно реализуется с использованием выделенных базовых станций (БС) вблизи железнодорожного пути. Расстояние между двумя соседними БС составляет 7-15 км. GSM-R должен выполнять жесткие требования к доступности и характеристикам радиослужб HSR. В таблице 1 приведены некоторые ключевые параметры систем GSM-R.

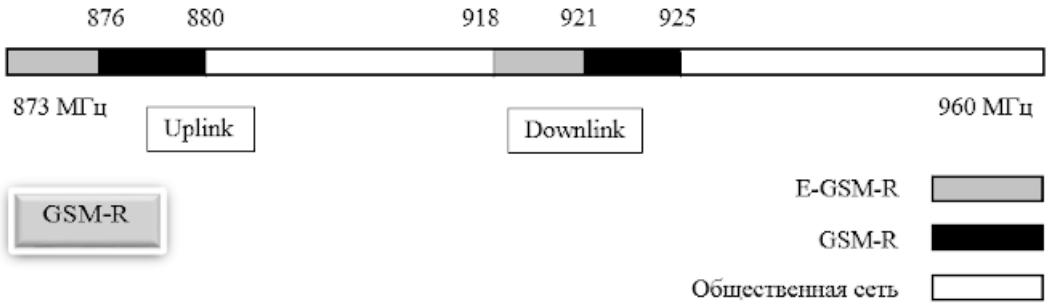


Рис.2. Распределение полосы частот в сети GSM-R.

Таблица 1. Системные параметры GSM-R, LTE и LTE-R.

Параметр	GSM-R	LTE	LTE-R
Частота	Восходящая линия: 876-880 МГц Нисходящая линия: 921-925 МГц	800 МГц, 1.8 ГГц, 2.6 ГГц	450 МГц, 800 МГц, 1.4 ГГц, 1.8 ГГц
Полоса пропускания	0.2 МГц	1.4 – 02 МГц	1.4 – 02 МГц
Модуляция	GMSK	QPSK/M-QAM/OFDM	QPSK/16-QA
Радиус соты	7 – 15 км	1-5 км	4-12 км
Конфигурация соты	Один сектор	Многосекторная	Один сектор
Пиковая скорость передачи данных, нисходящая/ восходящая линия	172/172 Кбит/с	100/50 Мбит/с	50/10 Мбит/с
Передача данных	Требуется подключение голосового вызова	Пакетная коммутация	Пакетная коммутация (данные UDP)
MIMO	нет	2 x 2, 4 x 4	2 x 2
Максимальная скорость передвижения абонента	500 км / ч	350 км / ч	500 км / ч
Успешность эстафетной передачи данных	≥ 99.5%	≥ 99.5%	≥ 99.9%

Услуги GSM-R

Сеть GSM-R служит в качестве переносчика информации для Европейской системы управления движением поездов (ETCS), которая является сигнальной системой, используемой для управления железной дорогой. ETCS имеет три уровня работы и использует радиосеть GSM-R для отправки и получения информации от поездов. На первом уровне, ETCS-1, GSM-R используется только для голосовой связи. На двух других

уровнях, ETCS-2 и ETCS-3, GSM-R система используется в основном для передачи данных. Сеть GSM-R особенно важна для ETCS-2 и ETCS-3 при скоростях движения поездов около 350 км/ч, и поэтому необходимо гарантировать постоянный контроль за положением и скоростью движения поезда. Когда вызов потерян, поезд должен автоматически снизить скорость до 300 км / ч (ETCS-1) или ниже. Наиболее типичными HSR-специфическими услугами, предлагаемыми GSM-R, являются следующие.

1) Услуга голосового группового вызова (VGCS): VGCS проводит групповые вызовы между поездами и БС или проводит групповые вызовы между работниками на дорогах, персоналом станции и аналогичными группами.
2) Услуга голосового вещания (VBS): БС передает сообщения определенным группам поездов или готовит широковещательные сообщения к БС и другим поездам в определенной области. По сравнению с VGCS, в VBS может говорить только инициатор вызова, а остальные, которые присоединяются к вызову, могут быть только слушателями. VBS в основном используется для трансляции записанных сообщений или для создания объявлений в работе HSR.
3) Усовершенствованный многоуровневый приоритет и приоритет (eMLPP): eMLPP определяет приоритет пользователя и используется для достижения высокой производительности при вызовах аварийных групп.
4) Режим шунтирования: режим шунтирования обеспечивает эффективное средство связи с группой персонала, участвующей в маневровой операции, которая регулирует и контролирует доступ пользователя к шунтирующим коммуникациям (сигнал обеспечения связи, используемый для подтверждения водителем поезда).
5) Функциональная адресация: поезд может быть адресован номером, идентифицирующим функцию, для которой он используется, а не постоянным номером абонента.
6) Адресно-зависимая адресация: вызовы от поезда до определенных функций могут быть адресованы на основе местоположения поезда, когда поезд перемещается через разные зоны базовых станций.

Ограничения GSM-R

Хотя популярность GSM-R все еще растет, увеличение помех от общедоступных сетей затрудняет использование GSM-R, в то время как используемые радиочастоты ограничивают его пропускную способность. Можно выделить следующие недостатки.

1) Помехи. Интерференция между GSM-R и другими сетями общего пользования увеличивается, потому что как железнодорожные, так и государственные операторы хотят иметь хорошее покрытие вдоль рельсовых путей. Вместо того, чтобы сотрудничать в сетевом планировании, железнодорожные и общественные операторы борются за покрытие. Вмешательство может привести к серьезному ухудшению голосовой связи и передачи данных, а также к потере связи на нескольких сотнях метров пути. Теоретически такой помехи можно избежать, если государственные операторы не будут использовать полосы частот, смежные с диапазонами частот GSM-R для районов, близких к рельсовым путям, однако на практике это плохо реализовано. В будущем помехи могут возрасти из-за роста развертывания сети GSM-R и потенциального роста сетей общего пользования.

2) Емкость. Полоса пропускания GSM-R, равная 4 МГц, может поддерживать 19 каналов шириной 200 кГц. Этого достаточно для голосовой связи, так как голосовые вызовы ограничены во времени и не занимают ресурсы постоянно. Однако нынешняя пропускная способность оказывается недостаточной для железнодорожной системы следующего поколения, где каждому поезду необходимо установить непрерывное соединение для передачи данных с радиоцентром (RBC), и каждое соединение RBC должно постоянно занимать один временной интервал. Емкость радиоканала может быть увеличена за счет использования большего количества ресурсов спектра.
3) Возможности. В качестве узкополосной системы GSM-R не может предоставлять дополнительные услуги и адаптироваться к новым требованиям. Максимальная скорость передачи GSM-R на соединение составляет 9,6 кбит/с, что достаточно только для приложений с низкими требованиями. Задержка сообщения составляет примерно 400 мс, что слишком велико для поддержки приложений реального времени и экстренной связи [5]. Будущие службы HSR, такие как мониторинг в режиме реального времени, требуют, чтобы широкополосная система имела большую скорость передачи данных и минимальную задержку сигнала.

Из-за вышеуказанных ограничений GSM-R должна в конечном счете эволюционировать для устранения выявленных недостатков. LTE-R, который может быть основан на стандарте LTE, является вероятным кандидатом для замены GSM-R в будущем по следующим причинам.

1) LTE имеет много преимуществ по сравнению с GSM с точки зрения емкости и возможностей.
2) Как сеть с полной коммутацией пакетов, LTE лучше подходит для передачи данных.
3) LTE предлагает более эффективную сетевую архитектуру и, следовательно, имеет уменьшенную задержку пакетов, что является одним из важнейших требований для предоставления сообщений ETCS.
4) LTE имеет высокую пропускную способность радиодоступа, так как он состоит из ряда улучшений, которые увеличивают спектральную эффективность, такие как усовершенствованное мультиплексирование и модуляция.
5) LTE также является хорошо зарекомендовавшей себя и готовой к использованию системой и обеспечивает стандартизированные механизмы взаимодействия с GSM.

LTE-R

Описание системы LTE-R

Чтобы обеспечить улучшенную и более эффективную передачу для HSR-связи, крайне важно учитывать частоту и использование спектра для LTE-R. HSR - важная стратегическая инфраструктура, и в некоторых странах этот аргумент используется для убеждения правительств в том, что для этого нужно специально выделить большой спектр. Некоторые отраслевые органы, включая Европейское железнодорожное агентство (ERA) и МСЖД, работают над обеспечением распределения спектра для использования HSR. В настоящее время большинство систем LTE работают в полосах выше 1 ГГц, таких как 1,8, 2,1, 2,3 и 2,6 ГГц, хотя полосы 700-900 МГц также используются в некоторых странах. Большая полоса пропускания доступна в верхних диапазонах, что дает более высокую скорость передачи данных, тогда как более низкие полосы частот обеспечивают более длительное покрытие. Поскольку полоса высоких частот имеет большие потери при

распространении и более сильное замирание, радиус ячейки LTE-R будет меньше 2 км (из-за строгих требований к величине отношения сигнал-шум в HSR). Высокие частоты приводят к частым эстафетным передачам и требованию существенных инвестиций для более высокой плотности строительства БС. Поэтому широко распространены низкочастотные диапазоны, такие как 450-470 МГц, 800 МГц и 1,4 ГГц. Полоса 450-470 МГц уже хорошо принята железнодорожной промышленностью. Кроме того, способность LTE к агрегации носителей позволит использовать различные полосы для преодоления проблем пропускной способности. Однако выбор полосы частот зависит от государственной политики и от страны.

Дочерней структуре ОАО «РЖД» (ТТК) в мае 2013 г. было отказано в выделении частот для развития технологии LTE-R. На заседании ГКРЧ глава Минкомсвязи Николай Никифоров предложил признать весь радиочастотный спектр ограниченным природным ресурсом. Однако, в декабре 2013 г. на совещании ГКРЧ заместитель руководителя Роскомнадзора предложил передать частоты в диапазоне 1797,5-1802,5 МГц РЖД.

Стандартный LTE включает в себя базовую сеть развитого пакетного ядра (EPC) и сеть радиодоступа Evolved Universal Testrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). EPC на основе протокола IP (IP) поддерживает бесшовные передачи обслуживания для голоса и данных на сотовые вышки, и каждая сота E-UTRAN будет поддерживать высокую скорость передачи данных и голоса посредством высокоскоростного пакетного доступа (HSPA). Будучи кандидатом на систему связи нового поколения HSR, LTE-R наследует все важные функции LTE и предоставляет дополнительную систему радиодоступа для обмена беспроводными сигналами с бортовыми устройствами (OBU) и соответствия потребностям HSR. Будущая архитектура LTE-R в соответствии с [2] представлена на рисунке 3 и показывает, что базовая сеть LTE-R обратно совместима с GSM-R. По сравнению с общедоступными сетями LTE, LTE-R имеет много различий, такие как архитектура, параметры системы, топология сети, услуги и QoS. Предпочтительные параметры LTE-R суммированы в таблице 1 на основе будущих требований QoS для HSR-коммуникаций. Обратите внимание, что LTE-R будет настроен на надежность больше, чем емкость. Сеть должна быть способна работать на скорости 500 км/ч в сложных железнодорожных условиях. Следовательно, квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) является предпочтительной, и номер пакета повторной передачи должен быть как можно меньше.

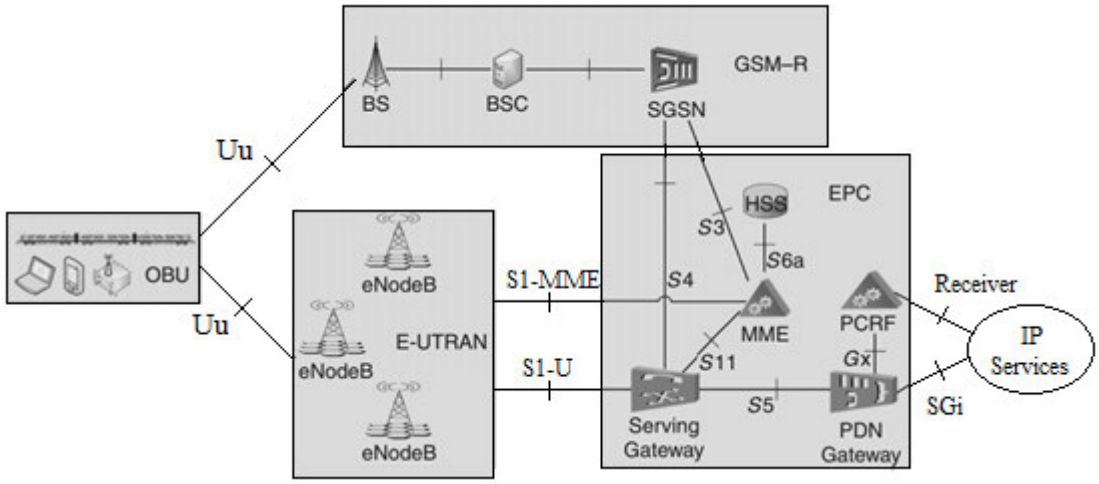


Рис.3. Архитектура сети LTE-R для высокоскоростных железных дорог

Услуги LTE-R

Для связи HSR предполагается использовать хорошо устоявшуюся, готовую систему, где некоторые специфические потребности должны определяться на уровне обслуживания. Согласно предложению проекта E-Train [3], LTE-R должен предоставить ряд услуг для повышения безопасности, QoS и эффективности. По сравнению с традиционными услугами GSM-R, описаны некоторые особенности LTE-R.

1) Передача информации системами управления: для обеспечения совместимости с ETCS-3 LTE-R обеспечивает передачу управляющей информации в режиме реального времени через беспроводную связь с задержкой <50 мс. В то время как информация о местоположении поезда обнаруживается по трековой цепи в ETCS-2, в ETCS-3 и LTE-R, информация о местоположении поезда обнаруживается RBC и бортовой радиоаппаратурой. Это повышает точность отслеживания поездов и эффективность отправки поездов. LTE-R также может использоваться для обеспечения передачи информации для будущих автоматических систем управления.
2) Мониторинг в режиме реального времени: LTE-R обеспечивает видеомониторинг состояния железнодорожных путей, кабины машиниста и вагонов поезда; информационный мониторинг в режиме реального времени состояния железнодорожных путей (например, температуры и дефектоскопии); видеомониторинг железнодорожных инфраструктур (например, мостов и тоннелей) для предотвращения стихийных бедствий; а также видеомониторинг поперечных следов для обнаружения замерзания при низких температурах. Видеоизображения высокой четкости должны хранится как локально, так и быть переданы в режиме реального времени от поездов в центры управления движением поездов с задержкой <300 мс. Хотя некоторые из вышеупомянутых систем видеонаблюдения могут проводиться с помощью проводной связи, беспроводная система LTE-R более экономически эффективна для развертывания и обслуживания.
3) Мультимедийная информация о поезде для диспетчера: LTE-R предоставляет диспетчеру полную информацию (включая текст, данные, голос, изображения, видео и т.д.) Поддержка широких функциональных возможностей, таких как передача голоса, динамическая группировка, временный групповой вызов, короткие сообщения и мультимедийные сообщения.
4) Железнодорожная аварийная связь: когда происходят стихийные бедствия, несчастные случаи или другие чрезвычайные ситуации, для немедленной связи между местом происшествия и спасательным центром требуется передача речи, видео, данных и изображений. Железнодорожные системы аварийной связи используют частную сеть железных дорог для обеспечения быстрого реагирования (с задержкой <100 мс) по сравнению с GSM-R.

В дополнение к перечисленным выше функциям отметим некоторые другие услуги LTE-R, такие как удаленное резервирование мест, мобильная электронная рассылка и беспроводное взаимодействие с пассажирами. Примечательно, что широкополосный беспроводной доступ для пассажиров внутри высокоскоростных поездов не обеспечивается LTE-R из-за его ограниченной пропускной способности. Возможны некоторые кандидаты на широкополосный беспроводной доступ для пассажиров поездов, таких как Wi-Fi, WiMAX, 3G / 4G / 5G, спутниковая связь [6].

Ограничения LTE-R

Существует несколько проблем, связанных с LTE-R.

1) Сценарии, специфичные для HSR. В стандарте LTE представлена модель канала для HSR, которая включает только два сценария, открытое пространство и туннель, и использует модель незатухающих каналов в обоих сценариях. Однако, как указано в [7], жесткие требования (высокая скорость рельсового пути и т. Д.) HSR приводят ко многим специфическим для HSR средам, таким как выбуренные породы и туннели. Характеристики распространения в этих сценариях отличаются от традиционных сотовых сообщений и могут существенно влиять на работу системы GSM-R и LTE-R. В прошлом некоторые измерения проводились для характеристики HSR-каналов для полосы GSM-R, а в [8] и [9] для GSM-R в 930 МГц была предложена модель с потерей траектории и потерей теней. Однако эта работа все еще продолжается, и многие научные проблемы еще предстоит решить в диапазоне LTE-R, например, потери при распространении, распределение геометрии многолучевых компонентов (MPC) и двумерное/ трехмерное угловое оценивание в HSR в конкретных условиях. Необходимо разработать серию канальных моделей для бюджета линии и проектирования сети LTE-R, и необходимы обширные измерения каналов.
2) Высокая мобильность. Высокоскоростные поезда обычно движутся со скоростью 350 км / ч, а LTE-R рассчитан на 500 км / ч. Высокая скорость приводит к ряду проблем. Во-первых, высокая скорость приводит к нестационарному каналу, поскольку в коротком временном сегменте поезд перемещается по большой области. Во-вторых, высокая скорость приводит к изменениям принимаемой частоты (эффект Доплера). Например, если частота составляет 2,6 ГГц, максимальный доплеровский сдвиг на 350 км / ч составляет 843 Гц, тогда как для скорости передвижения пешеходов 10 км / ч она составляет всего 24 Гц. Большой допплеровский сдвиг приводит к фазовому сдвигу сигнала и может ухудшить прием углово-модулированных сигналов. Однако, поскольку высокоскоростной поезд в основном движется вдоль запланированной линии с известной скоростью, можно отслеживать и компенсировать допплеровский сдвиг, используя информацию о скорости и положении в режиме реального времени.
3) Распределение задержки: дисперсия задержки приводит к потере ортогональности между поднесущими OFDM, и должен использоваться специальный тип защитного интервала, называемый циклическим префиксом (ЦП). Дисперсия задержки определяет требуемую длину ЦП. LTE поддерживает как короткие (4,76 мс), так и длинные (16,67 мс) схемы ЦП. Для короткой схемы ЦП соответствующая максимальная разность длины пути между двумя ПДК составляет 1,4 км. Поскольку железнодорожная связь направлена на обеспечение линейного покрытия, широко применяются направленные БС-антенны с основными лепестками вдоль рельсового пути, поэтому мощность передачи сосредоточена в узкополосных областях. Интуитивно ожидается, что короткая схема ЦП достаточна для LTE-R. Это особенно верно, потому что высокоскоростные поезда в основном путешествуют в сельской / пригородной среде, где мало значимых препятствий. Однако в некоторых специальных средах с богатыми множественными отражениями ожидается большой разброс задержек, и следует использовать длинную схему ЦП. Другой пример большого разброса задержек возникает в присутствии гор вдоль рельсового пути, особенно до и после того, как поезд входит и выходит из туннелей. Для измерения поведения распространения

задержки в средах HSR требуется больше измерений, и ЦП необходимо скорректировать в среде, как и в случае с обычным LTE.

4) Линейный охват: в HSR используется линейный охват направленными антеннами вдоль рельсового пути, где направленные антенны БС ориентируют свое главное лепесток вдоль рельсового пути так, чтобы он был эффективен по мощности. Линейный охват приносит некоторые преимущества, например, с известным расположением поезда, можно разработать алгоритмы формирования луча на основе расстояния / времени с хорошей производительностью. Однако следует отметить, что расчет линии связи и анализ производительности линейного покрытия отличаются от ячейки сотовых систем, например, для определения процента зоны покрытия. Хорошо известно, что из-за эффекта замирания тени некоторые местоположения в зоне обслуживания будут иметь принятый сигнал ниже определенного порогового значения. Вычисление того, как покрытие границы относится к общему проценту зоны покрытия, очень полезно для расчета линии связи и сетевого планирования. На рисунке 4 показано сравнение определения процента зоны покрытия для линейных и круглых ячеек с использованием модели расчета линии связи на основе модели Хата, где мы можем видеть, что линейный охват в HSR обычно имеет более высокий процент зоны покрытия. Это следует учитывать при проектировании сетей LTE-R, чтобы избежать перераспределения БС.
5) Редкие многолучевые распространения: редкие каналы с многолучевым распространением представляют собой разреженное распределение разрешаемых путей в доплеровском домене угловой задержки. Как и в некоторых открытых районах HSR, например, сельских районов, рассеивателей мало. Линейный охват HSR также уменьшает количество рассеивателей, которые могут быть видны передатчиками / приемниками. В этих средах возможно использование разреженного канала с многолучевым распространением. Однако поддержка передачи с несколькими входами и несколькими выходами (MIMO) станет неотъемлемой частью LTE-R. Производительность многоантенных решений, таких как пространственное разнесение и пространственное мультиплексирование, зависит от количества рассеяния в средах. Если в этих открытых областях канал HSR оказывается разреженным, то четкая линия визирования и небольшое количество рассеивателей приводят к сильной корреляции между сигналами двух антенн и уменьшают как разность, так и коэффициент усиления в области пространственного мультиплексирования. Есть указание, что в некоторых редких средах реконфигурируемая антенная решетка может улучшить пропускную способность системы.
6) Влияние вагона на поезд: Скоростной поезд обычно длиной более 200 м и выполнен из металла. Статический высокоскоростной поезд действует как рассеиватель с сильным отражением и увеличивает разброс задержек, тогда как динамический характер высокоскоростного поезда значительно увеличивает нестационарный аспект каналов. Большая металлическая крыша поезда также увеличивает отражения и рассеяния вблизи передатчиков / приемников и существенно влияет на картину антенны передатчиков / приемников на крыше. Кроме того, распространение во внутреннюю часть высокоскоростного поезда приводит к большим потерям на проникновение и снижает отношение сигнал/ шум. Охват внутри вагона может быть улучшен с помощью подвижных реле, аналогичных точкам доступа фемтосот.

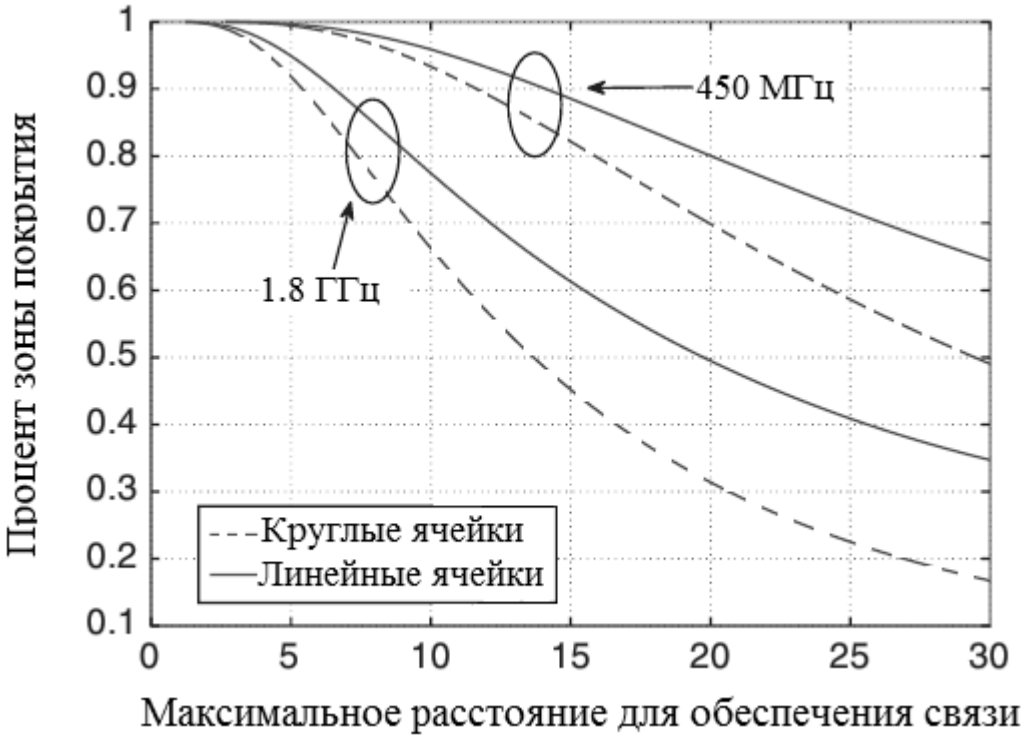


Рис.4. Прогноз покрытия высокоскоростной железной дороги для линейной и круговой ячеек.

Взаимодействие GSM-R и LTE-R

Поскольку поддержка со стороны поставщиков услуг GSM-R продолжается до 2028 года, а МСЖД работает с правопреемством GSM-R с 2009 года, ожидается, что совместная работа стандартов LTE-R и GSM-R будет длиться долгое время.

1) Бизнес-уровень: LTE-R должен поддерживать традиционные приложения GSM-R, такие как услуга группового вызова, широковещательная служба и функциональная адресация. Мультимедийная широковещательная служба LTE, которая предназначена для обеспечения эффективной доставки широковещательных и многоадресных услуг, могла бы стать возможным решением для предоставления услуг группового вызова и широковещательной передачи. Протокол инициализации сеанса (SIP) является протоколом для управления сеансами мультимедийной связи, и SIP-адресацию можно использовать для обеспечения функциональной адресации в LTE-R.
2) Терминальный уровень: будущий терминал HSR должен поддерживать как GSM-R, так и LTE-R. Возможным решением является многомодовый мобильный терминал с низкой сложностью. Его недостатки, такие как высокая потребляемая мощность и большие размеры, не являются проблемами для системы связи HSR.
3) Уровень сетевого доступа: прямое взаимодействие сети доступа между GSM-R и LTE-R будет затруднено, поскольку они используют разные технологии доступа. Возможно, две сети будут обмениваться сайтами на первом этапе и использовать программное радиооборудование в эволюции от GSM-R до LTE-R.
4) Уровень базовой сети: как указано в отчете МСЖД E-Train [3], технология IP является базовой технологией, используемой для конвергенции сетевых возможностей. Целью базовой сети HSR является достижение базовой IP-сети, где GSM-R, LTE-R, беспроводные локальные сети (WLAN) и Trans-European Trunked Radio (TETRA) Все

подключены к основной сети. Эта базовая IP-сеть поддерживает сквозное IP-соединение, распределенное управление и услуги, а также шлюзы к старым сетям, где беспроводные БС могут быть подключены к основной IP-сети по IP-протоколу. Центр мобильной коммутации, домашний регистр местонахождения и центр аутентификации GSM-R будут заменены сервером и базой данных LTE-R, а протокол сетей сигнализации будет заменен на IP. Вся сеть будет эволюционировать от вертикальной древовидной структуры до распределенной структуры маршрутизации.

Выводы

В этой статье представлен обзор систем связи, предназначенных для высокоскоростных железных дорог. Представлен стандарт GSM-R и обсуждаются его ограничения. Вводится понятие о стандарте LTE-R, который является вероятным кандидатом для связи на высокоскоростных железных дорогах нового поколения. LTE-R будет специальной конфигурацией LTE. LTE-R может выполнять железнодорожные требования, и он будет работать в качестве совместной сети для эксплуатации и обслуживания железных дорог. Описаны возможные системные параметры и услуги LTE-R, а также обсуждаются некоторые сложные проблемы. Наконец, рассматривается вопросы совместной работы между стандартами GSM-R и LTE-R. LTE-R обеспечивает высокую конкурентоспособность и обеспечивает хорошую основу для дальнейшего развития. Несмотря на преимущества, стандарт LTE-R должен быть точно оценен для подтверждения способности выполнений требований высокоскоростных железных дорог, например, характеристики распространения и покрытие соты в диапазоне LTE-R, поддержка высокой мобильности и пропускная способность системы. Следовательно, необходимы дополнительные исследования стандарта LTE-R.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инфокоммуникационные системы* транспортных магистралей: Монография / А.А. Сорокин, В.Н. Дмитриев, О.Н. Пищин / Под ред. профессора В.Н. Дмитриева. Астрахн. гос. техн. ун-т. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2014. - 211 с.
2. *3GPP TS 36.201*, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE physical layer; General description,” 3GPP, Sophia Antipolis, France, 3GPP Technical Specification, version 12.2.0, Release 12, 2015.
3. *G. Barbu*. Broadband communication with moving trains, technology state of the art. // UIC E-Train Technology Report, 2010.
4. *Сорокин А.А.* Разработка методики определения времени использования канального ресурса для моделирования инфокоммуникационных систем с динамической топологией сети, предназначенных для обслуживания водных путей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. -2013. № 1. -С. 133-143.
5. *P. Winter*. Compendium on ERTMS: European Rail Traffic Management System. // Hamburg, Germany: Eurail Press, 2009.
6. *Y. Zhou, Z. Pan, J. Hu, J. Shi, X. Mo*. Broadband wireless communications on high speed trains. // In Proc. 2011 20th Annual Wireless and Optical Communications Conf. (WOCC), Newark, NJ, pp. 1–6.

7. *B. Ai, X. Cheng, T. Kurner, Z.-D. Zhong, K. Guan, R.-S. He, L. Xiong, D. W. Matolak, D. G. Michelson, C. Briso-Rodriguez.* Challenges toward wireless communications for high-speed railway. // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. -2014, vol. 15, no. 5, pp. 2143–2158.
8. *R. He, Z. Zhong, B. Ai, K. Guan*. Reducing cost of the high-speed railway communications: From propagation channel view. // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. -2015, vol. 16, no. 4, pp. 2050–2060.
9. *R. He, Z. Zhong, B. Ai, C. Oestges*. Shadow fading correlation in high-speed railway environments. // IEEE Trans. Veh. Technol. -2015, vol. 64, no. 7, pp. 2762–2772.

В.В. Трофлянин, М.Н. Беленькая

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ПЕРЕДАЧИ ПОТОКОВОГО ВИДЕО ПО СЕТИ

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Москва

Ключевые слова: сети передачи данных, потоковое видео, виртуальный буфер, stb, vod, qos, ip.

С каждым годом доля видеотрафика в глобальной сети значительно растет. Однако, такой тип трафика имеет повышенные требования по качеству обслуживания (QoS) и создает значительную нагрузку на сеть. В данной статье рассматриваются основные проблем, возникающие при передаче видеотрафика, а также основные преимущества использования алгоритмов предварительной выборки по сравнению с буферизацией данных на коммутаторах.

V.V. Troflyanin, M.N. Belenkaya

RESEARCHING OF VIDEO STREAM TRANSMISSION INSTRUMENTS OVER THE NETWORK

Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Moscow

Keywords: communication networks, streaming video, virtual buffer, stb, vod, qos, ip.

Every year the share of video traffic in the global network is growing. However, this type of traffic has increased QoS requirements and creates a significant network load. This article discusses the main problems that arise in the transmission of video traffic, as well as the main advantages of using prefetching protocol in comparison with buffering data on switches.

Быстрое развитие Интернета, а также введение интегрированных услуг и RSVP [1], сделали возможным передачу трафика реального времени (например, аудио и видео), который имеет строгие требования по качеству обслуживания (QoS). Приложения, как видео по запросу (VoD), позволяют клиенту выбрать любой фильм, находящийся на видеосервере, и просмотреть его на экране, имея возможность выполнять любые операции с ним[2].

Приложения такого типа выглядят весьма привлекательно, но их использование может привести к очень низкому коэффициенту использования сети, если не использовать эффективные схемы передачи данных. Коэффициент использования сети определяется как сумма индивидуальных средних скоростей всех видео, транслируемых в данный отрезок времени, разделенная на скорость обслуживания (или пропускную способность канала). Видео обычно сжимают в Motion Picture Experts Group (MPEG). Выходной сигнал кодера MPEG получается сильно пульсирующим и соответствующие пики сильно превышают средние значения. Это свойство называется переменной битовой скоростью (VBR) видео. Оно практически исключает возможность использования детерминированных гарантий QoS. Это обусловлено тем, что необходимо выделить достаточную пропускную способность для размещения пиковой скорости, для того, чтобы гарантировать отсутствие потерь пакетов. Альтернатива заключается в предоставлении статистических гарантий QoS. В таком случае гарантируется, что уровень потерь не превышает предварительно определенную небольшую величину. Задача предоставления статистических QoS заключается в разработке алгоритма управления допуском, который будет точно оценивать требуемую полосу пропускания.

Большинство предложенных схем, описанных в литературе, использует буфер на приставке клиента (STB), чтобы сгладить видеотрафик и, соответственно, значительно снизить пиковую скорость и скорость изменения битового потока [3], [4]. Сглаживание видео может обеспечить как детерминированный, так и статистический QoS, причем последний является более желательным, поскольку эффективнее использует сетевые ресурсы.

В данной работе рассматриваются основные проблем, возникающие при передаче видеотрафика, а также основные преимущества использования алгоритмов предварительной выборки по сравнению с буферизацией данных на коммутаторах. В дальнейшем предполагается произвести расчет эффективной ширины полосы пропускания для ряда соединений, которая будет зависеть от отдельных параметров трафика: размер буфера STB, модель поведения пользователя, необходимые требования QoS.

Рассмотрим архитектуру сети, представленной на рисунке 1. Распределенные видеосерверы подключаются к сети. Эти серверы могут принадлежать к одному или разным поставщикам видеосервиса. Клиенты подключаются к сети через коммутатор, который может, например, быть заместителем Internet Service Provider маршрутизатора. Каждый клиент имеет STB для декодирования видео, которое также включает в себя буфер, используемый для предварительной загрузки. Когда клиент делает запрос для конкретного видео, модуль управления доступом (который расположен на местном коммутаторе) принимает решение о том, что запрос может быть принят без нарушения целевых параметров QoS существующих соединений.

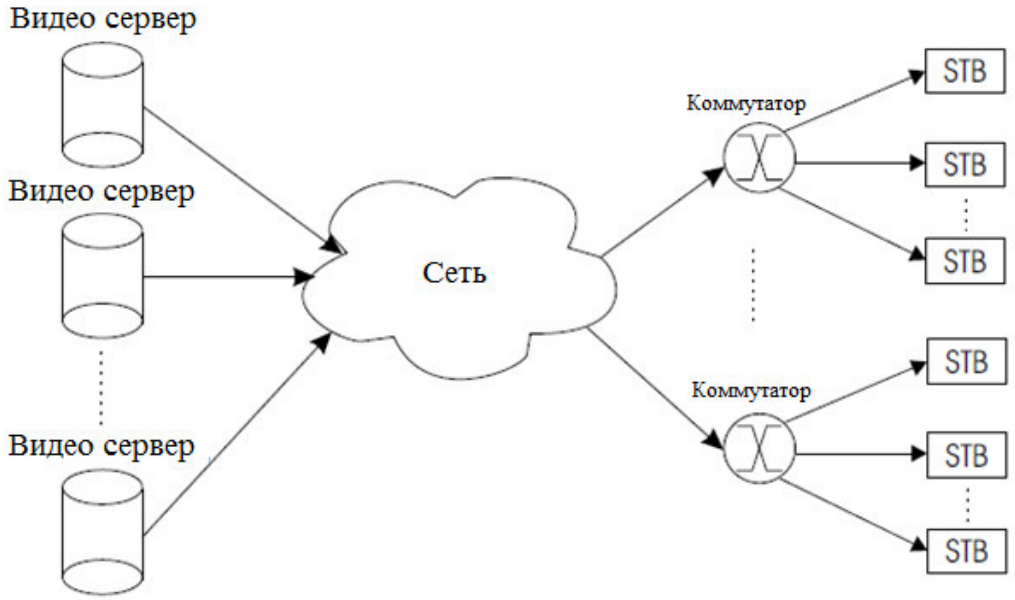


Рисунок 1 – Архитектура сети

Если запрос принимается, то соединение будет установлено между сервером и клиентом через базовую сеть. Предполагается, что резервирующий протокол (например, RSVP) реализуется внутри базовой сети для резервирования источников этого запроса. В этой работе не рассматривается проблема контроля доступа внутри базовой сети. Внимание сосредоточено на локальном коммутаторе, где пользователи имеют доступ к сети. Другими словами, в работе рассматривается Video-on-Demand приложение, в котором единственный тип трафика на выходе локального коммутатора будет хранимое видео. В этом случае решение о приеме (для локального коммутатора) будет производиться с помощью VoD сервис-провайдера. Внутри базовой сети различные соединения между видеосерверами, и клиентами будут следовать по разным маршрутам, и они будут мультиплексированы с другими типами трафика. Следовательно, алгоритм управления допуском будет более общим и зависеть от архитектуры базовой сети (поставщик услуг VoD не будет участвовать). Несколько клиентов будут иметь доступ к видеосерверам через несколько различных коммутаторов. В процессе предварительной выборки видео происходит максимизация количества обслуживаемых клиентов одним таким коммутатором, при условии, что все клиенты, соединенные с этим коммутатором, будут иметь возможность совместно использовать максимальную пропускную способность Cmax (например, 100 Мбит/с). Понятно, что при этом общее использование сети будет максимизировано. Предположим, что коммутаторы, изображенные на рисунке 1 не имеют буфера, то есть все пакеты, которые превышают емкость B, отбрасываются.

Цель протокола предварительной выборки состоит в том, чтобы отправлять дополнительные кадры различным клиентам, когда канал передачи недостаточно используется. Дополнительные кадры буферизуются в STB, и протокол предварительной выборки гарантирует, что все клиенты имеют одинаковое количество предварительно загруженных кадров. Это легко сделать, когда в сети есть только один видеосервер, так как видеопоследовательности уже сохранены, а точные размеры кадров каждой последовательности точно известны. Однако, когда имеется несколько распределенных серверов, эта схема не может быть реализована. Эта проблема может быть решена следующим образом: трафик на видеосерверах сначала сглаживается до входа в базовую

сеть. Затем центральный контроллер, расположенный на локальном коммутаторе, используется для координации предварительной выборки будущих кадров со всех видеосерверов. Так как трафик от каждого соединения будет постоянным в течение нескольких кадров, контроллер может использовать эту информацию для координации предварительной выборки. Координация выполняется с управляющими сообщениями, которые отправляются с контроллера на видеосерверы для каждого кадра. Рассматриваемый алгоритм управления допуском предполагает, что этот распределенный протокол предварительной выборки реализован в сети, архитектура которой представлена на рисунке 1. Следует отметить, что сглаживание не выполняется, чтобы уменьшить пиковую скорость видеопоследовательностей, как в типичных схемах сглаживания видео.

Чтобы продемонстрировать основополагающий принцип предварительной выборки видео, рассмотрим выходную скорость передачи (рис. 2) из числа видеосоединений, когда каждое соединение отправляет один кадр за период кадра (например, без предварительной выборки). Будут некоторые периоды, когда суммарная скорость передачи будет меньше пропускной способности канала Cmax и будут периоды, когда она превысит пропускную способность канала передачи. Если мы хотим сохранить небольшой уровень потерь, нам необходимо разместить буфер на локальном коммутаторе, чтобы удерживать пакеты, которые невозможно передать вовремя.

Однако, методы буферизации позволяют добиться 85% эффективности использования канала передачи. С другой стороны, предварительная выборка видео может обеспечить почти 100% использование канала передачи данных без необходимости буферизации на коммутаторах. Это достигается путем отправки дополнительных кадров клиентам, когда выходная скорость передачи меньше, чем пропускная способность канала (то есть предварительная выборка). Дополнительные кадры будут использоваться, чтобы избежать так называемого «голодания» воспроизведения, когда скорость передачи превышает пропускную способность канала передачи данных, и некоторые кадры не могут быть переданы вовремя. Другими словами, кадры, которые должны быть буферизированы на коммутаторе по схеме без предварительной выборки, заранее отправляются клиентам, чтобы совокупная скорость передачи данных на коммутаторе никогда не превышала выделенную полосу пропускания. Поэтому мы можем предположить, что на локальном коммутаторе имеется большой виртуальный буфер размера Cmax, физически распределенный между несколькими STB. Поскольку видео-трафик сглаживается на видеосерверах, мы должны предварительно загрузить буфер STB воспроизведения. Время, затраченное на загрузку в эти буфера, называется начальной задержкой. Средний размер виртуального буфера будет:

$$B = \sum_{i=1}^{N} (B_i - k \cdot s_i)$$

где N – число активных соединений, B_i – размер буфера STB для i-го соединения, s_i – средний размер кадра для i-го соединения, k – число кадров.

Алгоритм предварительной выборки пытается сохранить как можно более полный буфер STB или, другими словами, сохранить заполнение буфера как можно более низким. В этом основное различие между предварительной загрузкой видео и типичными схемами сглаживания видео. В схеме сглаживания видео STB-буфер используется только для сглаживания видеопотока (то есть уменьшения пиковой скорости и вариации скорости), а в некоторые периоды времени он может быть почти пустым.

на k кадров до начала

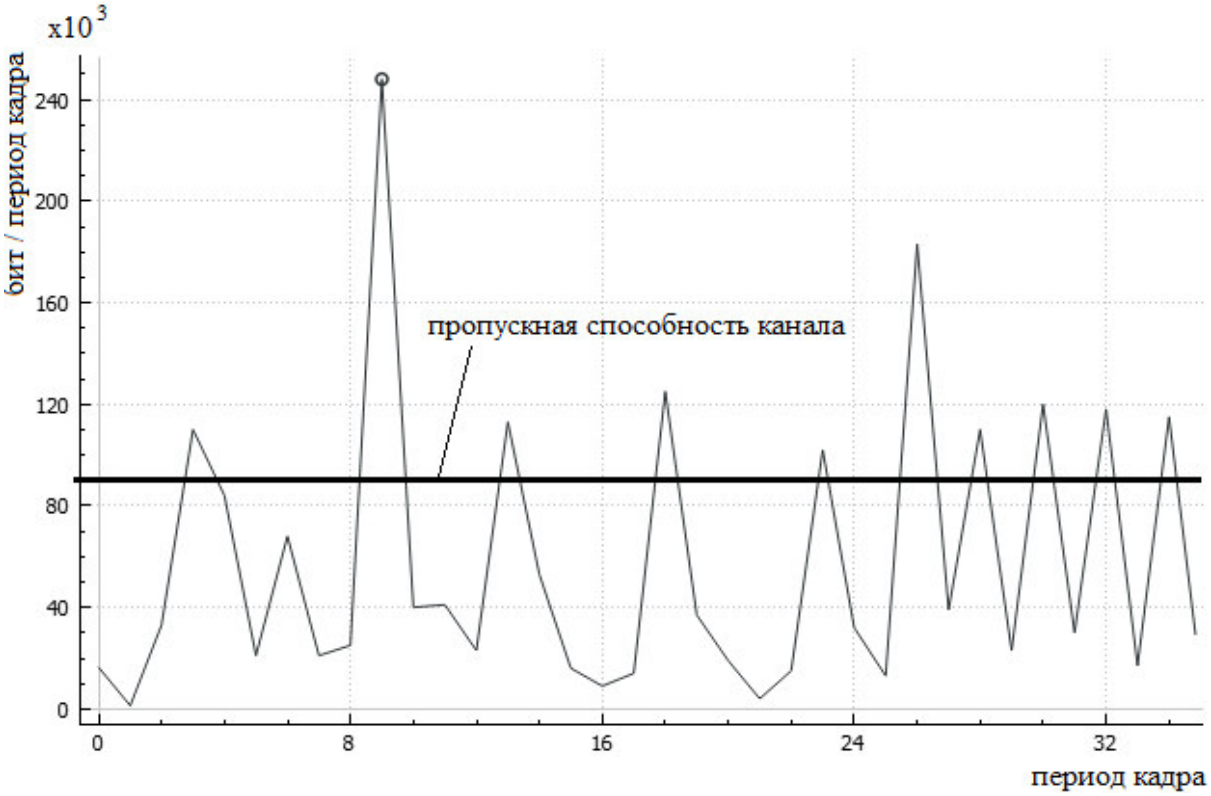


Рисунок 2 – Исходящий битрейт без предварительной выборки

В данной работе была рассмотрена схема передачи потокового видео. Продемонстрированы основные проблемы, возникающие при работе с таким видом трафика, а также рассмотрен метод предварительной выборки видео, который позволяет увеличить эффективность использования канала передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *X. Xiao and L. M. Ni*, “Internet QoS: a big picture”, IEEE Network, 2008;
2. *W. J. Liao*, “Distributed multimedia systems”, IEEE, 2009;
3. *J. M. McManus and K.W. Ross*, “Video-on-demand over ATM: constantrate transmission and transport”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999;
4. *J. D. Salehi, Z. L. Zhang, J. F. Kurose, and D. Towsley*, “Supporting stored video: Reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing”, in Proceedings ACM SIGMETRICS, 1999.

А.А. Уманов, Н.Г. Бикбулатова

ИССЛЕДОВАНИЕ DATAFLOW-АРХИТЕКТУРЫ

Уральский технический институт связи и информатики
(филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге, Россия

Ключевые слова: поток данных, одновременно, независимы, параллелизм, вычисления, распределенные.

В статье исследованы основные понятия и общий принцип, основные преимущества и недостатки, цели и перспективы развития Dataflowa-рхитектуры.

A.A. Umanov, N.G.Bikbulatova

DATAFLOW ARCHITECTURE RESEARCH

Ural Technical Institute of Communication and Informatics
Branch of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics,
Yekaterinburg, Russia

Keywords: Data flow, simultaneously, independent, concurrency, computation, distributed.

The article explores the basic concepts and general principle, the main advantages and disadvantages, the goals and prospects for the development of Dataflow architecture.

Введение

Архитектура потока данных (англ. dataflow) – это компьютерная архитектура, которая напрямую контрастирует с традиционной архитектурой фон Неймана или управляющей потоковой архитектурой. Архитектуры потоков данных не имеют программного счетчика или (по крайней мере концептуально) порядка исполнения и выполняемые инструкции определяются исключительно на основе наличия входных аргументов для инструкций, так что порядок исполнения команд непредсказуем: или иными словами поведение недетерминировано.

Поток данных или Dataflow – общий термин, связанный с архитектурами или алгоритмами параллельных вычислений, в которых исполнение всех операции выполняется при готовности каждого из её операндов, при этом последовательность исполнения команд не задаётся заранее. Графическую модель вычислений, управляемых потоком данных, впервые предложил в 1968 г. в своей докторской диссертации сотрудник Стэнфордского университета Дуайн Эдэмс (он же ввел термин dataflow).

Хотя коммерчески успешное компьютерное оборудование общего назначения не использовало архитектуру потока данных, оно было успешно реализовано в специализированных аппаратных средствах, таких как обработка цифровых сигналов,

маршрутизация сетей, обработка графики, телеметрия и, в последнее время, в хранилищах данных. Это также очень актуально во многих архитектурах программного обеспечения, включая проектирование баз данных и параллельные вычислительные среды.

1 Концепция Dataflow

Архитектура потока данных в отличие от обычной схемы разработки, которая используется в большинстве современных языков программирования, не оперирует понятием последовательность команд. При использовании потока данных, в идеальном случае, каждая следующая команда исполняется, как только будут получены все необходимые входные параметры. Таким образом, не происходит простоя вычислительных ресурсов системы, поскольку если есть необходимые данные для вычисления очередного шага или шагов, то это вычисление уже должно выполняться. При этом количество параллельных вычислений зависит только от того сколько данных доступно для вычисления. На Рисунке 1.1 изображен простой граф потока данных.

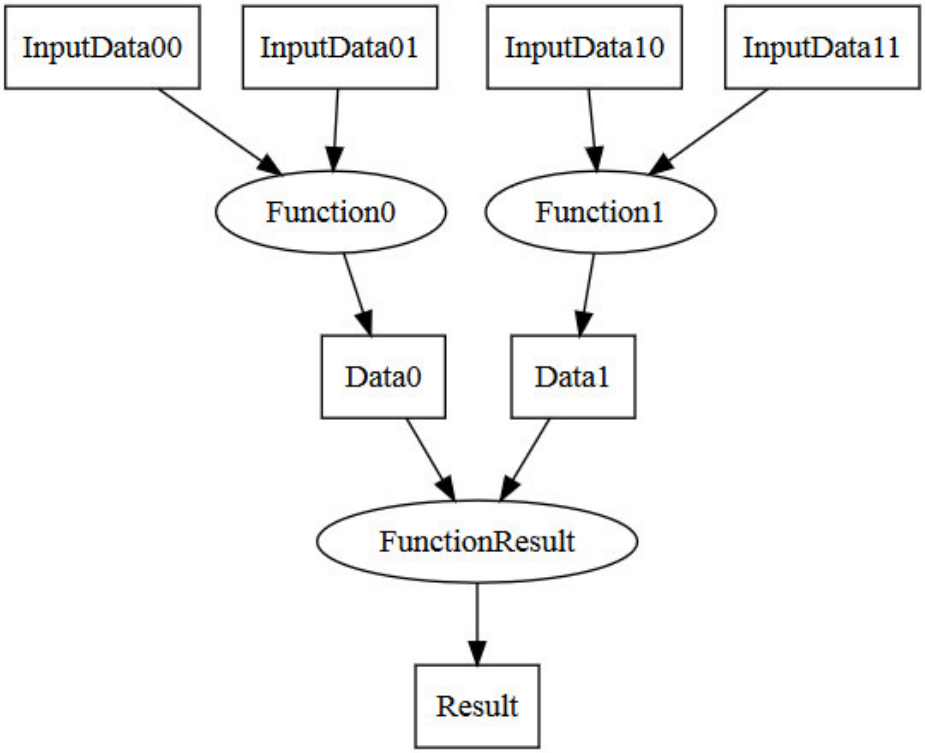


Рис 1.1. Простой граф потока данных

На представленном рисунке, в начале вычисления на вход поступает четыре входных параметра и в тот же момент уже могут быть исполнены две функции. Таким образом, вычислительная система не выполняет функции последовательно, а может приступить к вычислению сразу двух функций параллельно, при этом, не опасаясь возникновения каких-либо конфликтов, поскольку эти вычисления независимы. По окончанию вычисления первых двух функций будут получены все выходные данные для получения конечного результата.

При последовательной работе приведенное вычисление выполнялось бы последовательно, т.е. вначале выполняется первая функция, затем вторая, а уже потом третья, что потребовало бы больше времени.

Таким образом, основа концепции архитектуры потока данных составляет принцип, при котором процесс вычисления определяют данные, в отличие от обычного принципа, где последовательность команд определяет, какие данные будут получены в результате.

Из принципа главенства данных следует, что каждое следующее вычисление начинается тогда и только тогда, когда все необходимые данные будут получены, при этом система не простаивает при ожидании этих самых данных, а начинает вычисления в тот момент, когда данные будут получены как результат вычисления предыдущих функций. В ином случае выполняется другая функция, для которой данные уже были получены.

2 Вычислительная модель потока данных

С внедрением нового оборудования производительность компьютера увеличилась на семь порядков, но последовательная абстрактная модель вычислений, последовательные алгоритмы, языки, и архитектура остались прежними.

Машина архитектуры фон Неймана состоит из вычислительного блока и ячейки памяти фиксированного размера. Вычислительный блок имеет счетчик команд, указывающий на следующую команду, которая будет выполнена. Разделяемая память используется для передачи результатов, при этом контроль за исполнением команд передается от инструкции к инструкции.

Более высокие скорости вычислений в однопроцессорных системах достигаются путем использования параллельных механизмов управления, таких как память с чередованием, выборки команд и выполнение перекрытия, расширенный набор команд, ввода / вывода процессоров, а также несколько исполнительных блоков. Однако усовершенствованиями цепи, пренебрегающими параллельностью, будет проблематично достичь максимальной скорости вычислений.

2.1 Параллелизм в задачах

Параллелизм в задачах может быть обнаружен пользователями и составителями. В новых вычислительных моделях необходимо использовать параллелизм, выраженный различными алгоритмами, которые дают различные уровни параллелизма для задачи.

Новые языки должны обладать алгоритмами для вычислительных моделей, которые позволяют получить все возможные параллельности алгоритма для определения и выполнения параллельных задач. Параллельные вычислительные машины находятся в стадии разработки по всему миру, на основе векторной обработки, обработки массива, систолической обработки, сокращения и сохранения потока данных и вычислений, которые используют параллелизм на уровне инструкций.

Идеальный параллелизм в нескольких программах измеряется с использованием идеальной машины. Идеальный параллелизм алгоритма представляет собой количество параллельных операций, которые могут быть выполнены в одном временном шаге в идеальной машине. Идеальная машина состоит из неограниченного числа процессоров и способна выполнять неограниченное число одновременных операций в одном шаге по времени, и неограниченной памятью, связанной через бесконечно высокоскоростную сеть связи. Все операции имеют равное время исполнения, а операторы дуги выполняются, как только операнды доступны.

2.2 Множественный параллелизм

Dataflow вычислитель обеспечивает множественный параллелизм команд. Планирование основывается на наличии данных. Проблемы в многопроцессорности решаются физической структурой. Основными элементами потока данных вычислений являются исполнители, дуги, маркеры и операторы, такие как сложение и умножение. Дуги бывают нескольких типов, дуги данных, дуги управления, дуги потоков данных. Исполнители включаются, как только его требуемые операнды прибывают, и частичные результаты выполнения передаются непосредственно в качестве маркеров полученных данных.

Расчеты свободны от побочных эффектов, а также независимые вычисления выполняются параллельно. Нет понятия общего хранилища данных. Каждая инструкция обладает вычислительным элементом. Граф потоков данных представляет собой сеть из основных элементов, соединенных направленными дугами. Эти дуги представляют зависимости данных. Выполнение оператора потребляет входные маркеры и производит или замораживает результат на выходе дуги.

Структуры данных в хранилище, при вычислении потока данных, представлены как указатели. Это снижает параллельность вычислений, но обеспечивает безопасное выполнение. В статическом потоке данных, массивы обрабатываются либо как набор скалярных значений, которые будут обрабатываться одновременно независимыми инструкциями, либо потоком данных последовательности значений, содержащихся в массиве для выполнения последовательности операций. Множество операций являются направленным ациклическим графом. Они должны быть полностью выполнены перед получением результата. Команды: добавить, выбирать, создать и удалить используются для доступа к этим структурам. Структура допускает выбор элементов до окончания вычисления. Положение текущего вычисляемого элемента определяется с помощью маркера. Биты присутствия, отсутствия и ожидания указывают состояние элемента. Считывание незаполненной ячейки памяти откладывается контроллером, пока не прибудут данные на запись. Конвейеризация между чтением и записью дает лучшую производительность. Потоки последовательно выделяют дополнительные массивы памяти по необходимости.

2.3 Контролируемая вычислительная модель

Контролируемая вычислительная модель потока данных использует два основных механизма. Одна инструкция вызывает выполнение других, используя механизм управления. Инструкции одновременно и получают данные и создают уведомление об отправке с использованием механизма данных. Выполнение инструкции обусловлено наличием данных и маркеров управления. Маркеры данных несут частичные значения результатов, в то время как управляющие маркеры несут нулевые значения. Инструкции приводят в действие множества контрольных маркеров. Условные вычисления поддерживаются многими входами и двумя выходами работы коммутатора.

2.4 Активное вычисление

При активном вычислении, все возможные вычисления выполняются параллельно без оптимизации. Условные вычисления выполняются параллельно с ветвями. В ленивых вычислениях выбранные вычисления выполняются для оптимизации вычислений.

Выбранная ветвь выполняется после выполнения условного расчета. В ленивом механизме свои минусы, исполняющая или координирующая часть оценивается только тогда, когда его значение востребовано. В этой модели вычислительные механизмы и дуги избирательно и эффективно реализованы для обеспечения максимальной эффективности.

2.5 Модель вычисления с псевдорезультатами

Модель вычисления с псевдорезультатами состоит из двух типов узлов, первые представляют собой мнимые значения, а вторые представляют собой фактические результаты. Псевдорезультаты генерируются сразу после прихода аргумента, в результате выполнения функции. Этот псевдорезультат позволяет при вычислении ослабить условия отбора. Операции в функции выполняются одновременно с оценкой его преемника. Идентификаторы псевдорезультатов реализуются по адресам в хранилище результатов и, в конечном счете, заполняются фактическими результатами. Мнимыми являются псевдорезультаты, используемые в не числовых вычислениях, но частичный результат которых используется в числовых расчетах. Когда результат входной операции или функции является актуальным, полу, или псевдо, выход является актуальным или мнимым. Удаление пустого списка операции откладывается до тех пор, пока входы, на которые не пришли данные, остаются актуальными.

3 Анализ производительности

3.1 Статический и динамический анализ программы

Анализ программы, проведенный перед ее выполнением, называется статическим анализом, в то время как анализ программы, проведенный во время ее выполнения, называется динамическим анализом.

Таким образом, интерпретатор может выполнять статический анализ, основанный на анализе программы перед исполнением, а также динамический анализ, выполняющийся непосредственно во время исполнения программы. Компилятор, однако, может выполнять только статический анализ, поскольку для выполнения динамического анализа, компилятор должен вставлять дополнительный код в скомпилированной программе в рамках поддержки времени выполнения.

В принципе, выбор между статическим и динамическим анализом определяется наличием информации, от которых анализ зависит, количество требуемой точности и времени выполнения, допустимых накладных расходов.

Анализ, который зависит от исполняемых данных и времени динамичен по своей сути. Например, если аннотации типов могут быть опущены в языке и типы ассоциаций могут меняться во время выполнения, типы могут быть обнаружены только во время выполнения. Это требует динамического типа логического вывода. Если какое-то количество неточностей может быть терпимо (а именно, если точные типы не ожидаются, но ожидается только то, что набор возможных типов будет ограничен путем исключения некоторых типов перед выполнением), то возможно выполнить приблизительный статический анализ, иначе требуется последующий динамический анализ. В любом случае, это уменьшает количество динамического анализа и, следовательно, накладные расходы.

Если время выполнения, допустимое на накладные расходы являются критичным то, динамического анализа следует, либо избегать, либо заранее проводить

соответствующие (ориентировочные) статические анализы. Такое может случаться, и это не должно стать неожиданностью. На практике большинство анализов, выполняемых языковыми процессорами, действительно являются статичными. Кроме того, многие динамические анализы имеют статический аналог. Например, многие языки требуют чтобы границы массива были проверены во время выполнения: оптимизирующие компиляторы могут свести к минимуму эти проверки с помощью статического массива, связанного с оптимизированной проверкой.

3.2 Характеристики анализа потока данных

Статический анализ потока данных вычисляет информацию о потоке данных (например, использования и определения данных) для каждой точки программы. Эта информация необходима, чтобы избежать нежелательных событий во время выполнения программы в каждом из возможных точек программы и на всех возможных входных данных.

Анализ потока информации является частным случаем анализа программ и характеризуется следующим:

- Подходом анализа программ. Анализ потока данных использует системы разрешения ограничений, основанных на равенствах. Эти ограничения часто являются безусловными. Ограничения называются уравнениями потока данных.
- Время. Анализ потока данных в основном статический анализ. Компиляция во время выполнения и динамическая нарезка и т.п. включают динамический анализ потока данных.
- Объем. Анализ потока данных может быть выполнен почти на всех уровнях охвата в программе.

Традиционно следующие термины были связаны с анализом потока данных для различных областей в области императивных языков:

- по всей области видимости, но сводится к максимальной последовательности операторов, без передачи управления, кроме падения через (то есть, в пределах базового блока): локальный анализ потока данных.
- через базовые блоки, но прикрепленные к функции / процедуре: глобальный анализ потока данных.
- через функции / процедуры: межпроцедурный анализ потока данных. Также распространено использование термина локального потока данных для анализа одного оператора и глобального анализа потока данных для анализа по результатам функции / процедуры. По сути, основные блоки для таких анализов состоят из одного оператора.
- Контекст чувствительности. Межпроцедурный анализ потока данных может быть контекстно-зависимым, а также с контекстом, без учета регистра. В общем, полностью контекстный анализ является очень неэффективным и наиболее практичные алгоритмы используют ограниченное количество чувствительности контекста. Контекстный анализ потока данных также очень распространен.
- Представления программы. Возможные внутренние представления для представления и анализа потока данных: абстрактное синтаксическое дерево, направленный ациклический граф, граф потока управления, графики выполнения программы, вызов мультиграфа, сети Петри.

4 Преимущества

Главным преимуществом потока данных является допустимость максимально возможного распараллеливания вычислений, поскольку сам принцип подразумевает разбитие процесса вычисления на отдельные блоки, каждый из которых представляет собой самостоятельный элемент, который может быть выполнен независимо от остальных.

Архитектуры потоков данных, детерминированные по своей природе, позволяют программистам управлять сложными задачами, такими как балансировка загрузки процессора, синхронизация и доступ к общим ресурсам, координация процесса распределенных вычислений.

Программы, работающие на основе потока данных, могут быть относительно просто приспособлены для распределенных вычислений.

В последние годы наращивание мощностей идет в пользу количества вычислительных узлов и ядер, а не их мощности, поэтому распределение вычислений на множество потоков является необходимым условием для современного программного обеспечения.

5 Недостатки

Сложность реализации. При разработке программ в разрезе потока данных нужно думать совершенно иначе, поэтому разработка может занять значительное время. Отладка параллельных вычислений всегда была более трудной задачей по сравнению с отладкой последовательных программ, где все действия всегда выполняются в определенном порядке. Современные средства разработки не оптимизированы для работы в нескольких потоках, что так же усложняет процесс разработки. Несмотря на преимущества далеко не все алгоритмы получат значительный прирост скорости работы при переводе их на архитектуру потока данных, поскольку многие используемые сегодня алгоритмы разрабатывались с прицелом на последовательное исполнение команд, т.е. оптимизированы для них. Поэтому служебные расходы на управление потоком данных может не только не принести значительного прироста к скорости, но и замедлить.

До того как выполнить команду, её входные параметры требуется извлечь из хранилища данных и поместить в регистры процессора. После исполнения необходимо выполнить этот процесс в обратном порядке. Узким местом становится шина процессор-память: процессор вынужден ожидать некоторое время пока данные проделают путь туда и обратно. С переменным успехом эту проблемы пытаются решить используя упреждающие выборки в кэш-память на нескольких уровнях. Создание систем, работающих с множеством процессоров связанно с определенными трудностями. Есть два основных принципа на которых основываются такие системы: с распределенной памятью и общей памятью. При работе с распределенной памятью появляются проблемы согласованности данных и их синхронизации между хранилищами. При использовании общей памяти достаточно трудно организовать и обеспечить совместный доступ множества процессоров к одному запоминающему устройству. С увлечением количества процессоров в системе всё более значительная часть ресурсов выделяется под обеспечение синхронизации работы системы, в свою очередь всё меньше оставляя на сами вычисления.

Нет никакой гарантии, что в момент выполнения определенной инструкции её входные параметры будут находится по указанным адресам. Возможно, что инструкции которая должна была это сделать ещё не выполнилась. При работе с многопоточными вычислениями значительная часть ресурсов при разработке тратится на обеспечение синхронизации потоков.

Заключение

Для архитектуры потока данных система программного обеспечения представляет из себя последовательность преобразований следующих в определенном порядке друг за другом или множества входных данных, где данные и операции не зависят друг от друга. В этом случае данные поступают в систему, после чего движутся по модулям, в который выполняются преобразования, до тех пор пока не достигнут конечной точки, в которой и будут результаты всего вычисления.

Связи между узлами или модулями могут быть созданы в виде потоков ввода / вывода, с помощью буфера обмена, по конвейеру, или другими способами реализации. Данные могут быть представлены по средствам топологии графа с циклами, линейной структуры без циклов, либо в структуре типа дерева.

Главное направление такого подхода состоит в том, чтобы добиться модифицируемости и возможности повторного использования. Лучше всего такой подход применим для приложений, в которых однозначно определены независимые преобразования данных или вычислений и упорядочены как входные данные, так и выходные, например компиляторы или приложения для обработки деловых данных.

С учетом замедления темпов роста производительности вычислительных ядер процессоров, и увеличением их числа, архитектура потока данных представляет огромный интерес для исследования. Поскольку большинство алгоритмов работающих по линейному принципу достаточно плохо поддаются для распараллеливания их вычисления одновременно на несколько ядер. Архитектура потока данных является одним из возможных способов решения данной проблемы. У архитектуры потоков есть свои преимущества и недостатки, поэтому требуется более глубокое исследование потенциальных возможностей предоставляемых ей для распределения и распараллеливания вычислений.

Несмотря на эти недостатки архитектуры потока данных, идея того, что бы выполнять распараллеливание выполнения алгоритмов и вычислений в целом перевешивает их. Поскольку количественное наращивание вычислительных мощностей значительно дешевле и , теоретически, не имеет ограничений, в отличие от наращивания скорости вычисления отдельно взятого процессора.

Помимо вычислений на суперкомпьютерах с множеством процессоров, это так же открывает огромные перспективы для облачных вычислений, популярность которых растет с каждым днем. Поэтому у архитектуры потока данных есть огромный потенциал для дальнейшего развития в ближайшем будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Matt Carkci* Dataflow and Reactive Programming Systems. – 2014. – С. 153.
2. *Khedker U. P.* Data flow analysis Theory and practice. – CRC: Press, 2009. – С. 378.

Н.Б. Усманова

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕВЫХ СТРУКТУРАХ

Ташкентский Университет Информационных Технологий им.Аль Хорезми,
Ташкент, Узбекистан

Ключевые слова: распределенные сетевые структуры, многоагентные системы, взаимодействие агентов в многоагентной системе, функция полезности.

В работе рассмотрены вопросы представления и формализации процессов взаимодействия в распределенных сетевых структурах. Показано, что для инфокоммуникационных сетевых структур как совокупности компонентов, задействованных в распределенных сетевых вычислениях, задачу эффективного взаимодействия компонентов можно формулировать на основе понятий многоагентных систем и функций полезности, как отражения профиля стратегий агентов и целей взаимодействия.

N. Usmanova

REPRESENTING AND FORMALIZING THE PROCESSES OF INTERACTIONS IN DISTRIBUTED NETWORK STRUCTURES

Tashkent University of information technologies named after Al-Khorezmi,
Tashkent, Uzbekistan

Keywords: distributed network structures, multi-agent systems, interaction of agents in multi-agent system, utility function.

The issues of representation and formalization of interaction processes in distributed network structures are considered in the paper. It is shown that for the infocommunication network structures as a set of components involved in distributed network computing, the task of effective interaction of components can be formulated on the basis of the concepts of multi-agent systems and utility functions, as reflecting the profile of agent strategies and the objectives of interaction.

Введение

Развитие вычислительных сетей и систем связи, являющихся важнейшими компонентами информационной инфраструктуры общества, обусловило процессы конвергенции и предопределило создание глобального информационного общества, формирование которого является важной задачей для отдельно взятой страны. Глобальная информационная инфраструктура (ГИИ), как основа информационного общества, определяет неразрывную связь информационных и телекоммуникационных элементов информационного обмена, развивающихся в процессе конвергенции информатики и связи, и предусматривает использование технологий распределенных сетей, всеобъемлющих

сетей, распределенных и облачных вычислений, сетей объединения контента и т.п., где задачи анализа функционального взаимодействия компонентов инфокоммуникационных сетей (ИКС) требуют осуществления систематизации, классификации и стандартизации аспектов, связанных с процессами информационного обмена [1].

ГИИ представляет собой объединение многих типов технологий (коммуникаций, хранения, обработки информации), в связи с чем при анализе и проектировании конкретных сервисов рассматривают композиции взаимосвязанных функций, систем и технологий на основе так называемого сценария, который описывается соответствующим языком [2]. При этом понятие сценария вводится, прежде всего, как графическое представление конфигураций функциональных и сетевых элементов ГИИ, а также их взаимосвязей. Каждый сценарий описывается своей спецификацией, а элементы, формирующие тот или иной сценарий, обладают присущими ему свойствами, которые рассматриваются в качестве базовых требований при разработке стандартов ГИИ [3,4]. Другими словами, имеется возможность рассмотрения распределенных структур как основных представителей ИКС, при котором исследование и анализ тех или иных свойств логически опирается на принципы декомпозиции сложной архитектуры таких систем, а построенные сценарии позволяют в наглядной форме отражать сложные конфигурации элементов, интерфейсов и сервисов, а также многообразие информационных потоков между компонентами (объектами) ИКС. Архитектурное представление распределенных сетевых вычислений определяет разные стороны - поведенческую, структурную, логическую, физическую, реализации и т.п. - системы и удовлетворения требований, предъявляемых к системе, а набор структур или представлений имеет разный уровень абстракций и показывает разные аспекты архитектуры (структуру классов, развертывания, сценарии взаимодействия компонентов и пр.). Исходя из этого, вводится в рассмотрение *инфокоммуникационная сетевая структура* - любая совокупность архитектурных (сетевых) и/или системных компонентов, задействованных в распределенных сетевых вычислениях, в которых отдельный интерес представляет исследование задач эффективного взаимодействия компонентов.

Формализация процессов в инфокоммуникационных сетевых структурах

Инфокоммуникационные сетевые структуры формируются по принципам распределенных сетей и систем и характеризуются наличием разнообразных платформ и приложений, используемых и создаваемых для удовлетворения потребности пользователей в различных услугах: их обеспечение связано с предоставлением ресурсов и наличием множества информационных процессов различной сложности, природы и интенсивности при взаимосвязи системных и сетевых компонентов.

Согласно определению инфокоммуникационных сетевых структур и с учетом принципов объектно-ориентированного программирования, вычислительный процесс понимается как система, состоящая из модулей, взаимодействующих друг с другом и имеющих собственные способы обработки сообщений. Учитывая архитектурное представление распределенных сетевых вычислений (набор структур) и положения агентных технологий, такие модули имеют активность, отображаются агентами и имеют механизмы целеобразования [5,6]: с помощью понятий убеждений, намерений, желаний, решений и т.п. агент выступает как активный субъект (сущность), зависит от условий среды, в том числе целей и намерений других агентов.

Такое представление характеризуется наличием объединенных сетевыми структурами взаимодействующих сущностей, цель которых - выполнение общей задачи или осуществление какой-либо функции, сценария или алгоритма действий, а объединение дает основание рассматривать и исследовать *распределенную вычислительную среду* (среду распределенных вычислений). Очевидно, что в таком представлении особую роль приобретает последовательность выполнения действий (алгоритмическое обеспечение вычислительного процесса), направленных на эффективное взаимодействие компонентов распределенной среды. Гетерогенность распределенных систем и коммуникационных сред, в свою очередь, обуславливает целесообразность рассмотрения природы и структуры таких систем (распределенных операционных систем, сетей передачи данных, систем обработки транзакций и т.д.), т.е. определения основных принципов и методов с позиций многоагентных систем; многоагентная система состоит из агентов, которые взаимодействуют друг с другом посредством обмена сообщениями через сетевую инфраструктуру, а для осуществления успешного взаимодействия агенты должны обладать способностью кооперировать, координировать и общаться друг с другом.

Целью многоагентной системы является возможность выяснить, как независимые процессы могут согласованно (координированно) взаимодействовать. Сам по себе агент имеет способность адаптироваться к изменениям внешней среды, т.е. он может менять поведение, когда происходят изменения в окружающей среде.

Многоагентная система представляет собой совокупность вычислительных процессов, которые происходят в одно и то же время, различные агенты разделяют общие ресурсы, взаимодействуют и общаются друг с другом. В общей постановке, ставится задача определения условий адаптации: в каких случаях (при каком условии) агент будет изменять свое поведение и адаптироваться к изменениям окружающей среды и какое значение для этой адаптации имеет ассоциативная связь или взаимодействие [7,8]. С другой стороны, необходимо выяснить, как будет формализоваться ассоциативная связь (взаимодействие), какими признаками, метками, функциями будет выражаться при взаимодействии. В связи с этим, исследование агентов включает такие вопросы, как принятие решения (какой механизм принятия решений доступен агенту и как агент решает или оценивает ситуацию в зависимости от внешней информации и своего состояния); управление (включая иерархические взаимодействия между агентами); коммуникации (обмен сообщениями между агентами).

Рассматривается распределенная система, в которой процессы взаимодействия (рабочие процессы) компонентов происходят посредством связей в формируемых конфигурациях с целью организации и предоставления различных ресурсов для выполнения общей функции (реализации функциональности). При этом для агентов становится необходимым исследование общих принципов и внутренних механизмов деятельности и системное рассмотрение происходящих процессов.

Взаимодействие компонентов в распределенных структурах сопряжено с параметрическими и структурными изменениями, как в самих функциональных подсистемах, так и в межсистемных информационных связях; эти реконфигурации связей как на структурном, так и на информационном уровне могут осуществляться либо путем изменения характеристик отдельных подсистем, то есть путем параметрической адаптации, либо путем изменения структуры информационных связей между отдельными

подсистемами и образования новых системных структур, то есть путем самоорганизации [9]. Структурная модель такого взаимодействия отражает преобразование входных данных в выходные под управлением и при помощи некоторого механизма (рис.1). Взаимодействие между агентами в таком представлении рассматривается разделом теории игр – дизайном механизмов, целесообразность применения которого для исследуемой области обоснована в ряде работ, например, [10,11]. При этом агент пытается выбрать стратегию, максими-зирующую его собственную прибыль. Обобщение положений этого конструктивного подхода позволяет создать такой механизм взаимодействия, при котором эгоистические действия каждого из агентов приведут в сумме к решению, оптимальному с точки зрения общей целевой функции [12].

Вводится понятие сценария поведения: последовательности действий, связанных с состояниями и событиями. Механизм поведения или сценарий определяет стратегию действий агентов (агенты могут выполнять различные действия) в многоагентной системе, т.е. *поведение агента определяется его системой управления.* При этом каждый агент имеет свой энергетический ресурс; выполняя какое-либо действие, агент расходует ресурс.

Рассмотрим реализацию механизма действий. Имеется n агентов, каждый агент i имеет некоторую информацию типа t_i из совокупности T возможных типов информации, т.е. $t_i \in T$, и **t** есть вектор $(t_1, t_2, \dots t_n)$.

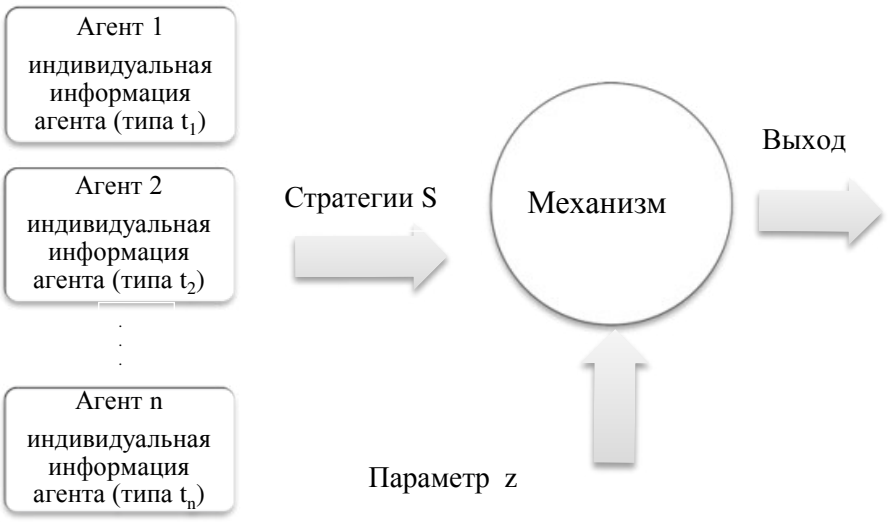


Рис. 1. Представление механизма в многоагентной системе

Функцией механизма в таком представлении является содействие принятию решения, которое является совокупным результатом действий всех остальных агентов. Пусть $D = \{1,2, \dots n\}$ - совокупность возможных решений, из которых механизм выбирает некоторое $d \in D$. Нужное решение зависит от индивидуальной информации агента, т.е. решение должно удовлетворять некоторой функции - *функции выбора,* в зависимости от типа агента.

Для осуществления такого решения механизм имеет пространство стратегий S (в общем случае $S=T$, по числу агентов), формируемое посылкой сообщений $s_i \in S$ от каждого агента i в виде вектора стратегий $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots s_n)$. На выходе модуля механизма формируется функция $d=D(\mathbf{s})$. Механизм также определяет параметры p_i -

энергетический ресурс агента i, который в данной постановке принимается в качестве стоимостной функции – вектора $\mathbf{p}=(p_1,p_2,\ldots p_n)$. Ставится задача разработки такого алгоритма действий (механизма), чтобы индивидуальное поведение агентов привело к реализации нужного профиля стратегии $\mathbf{s}(\mathbf{t})$, а выходная функция при такой стратегии соответствовала функции выбора.

Описанный механизм выбирает решение $d \in D$ и вектор $\mathbf{p}$ таким образом, чтобы это управляющее воздействие привело к эволюции популяции распределенных агентов наиболее приемлемым (эффективным или оптимальным) образом. Из совокупности возможных решений F должно быть выбрано такое решение $(d, \mathbf{p}) \in F \subseteq D \times R^n$, чтобы заданная функция выбора при $T^n \rightarrow F$ позволяла совпадение типа профиля $\mathbf{t}$ и желаемого решения $(d, \mathbf{p})$ (т.е. соответствие вектора типа информации и множества выходных функций). Выбранное агентом i решение d_i взаимосвязано с конечным решением и стоимостью p_i, что можно отразить через функцию полезности агента:

$$w_i = u_i(t_i,d) + p_i ,$$

где $u_i(t_i,d)$ – полезность решения d механизма.

Функция полезности - функция, с помощью которой можно представить предпочтения на некотором множестве альтернатив. Для индивидуального агента эта функция должна быть максимальной.

Такие соотношения можно составить для различных условий функционирования в многоагентной среде, когда агентами реализуются профили стратегий, работает механизм M_z, определенный параметром z, а для каждого типа информации $\mathbf{t}$ каждый агент i выбирает стратегию s_i. К примеру, для популяции агентов в распределенной среде с учетом функции полезности, решение (d, p) будет эффективным при условии, что это решение приведет к максимальному значению обобщенной функции полезности, т.е. максимизации суммы функций полезностей всех агентов популяции.

В целом, обеспечение функциональности инфокоммуникационных сетевых структур требует решения задач эффективного использования и управления информационных и вычислительных ресурсов в распределенной сетевой среде, для которых с точки зрения распределения функций целесообразно исследовать функциональную, физическую, логическую и информационную архитектуру, в которой некоторые классификационные группы сущностей определяют специфику исполнения основных функциональных элементов многовариантной архитектуры.

Заключение

Приведенные в работе положения являются частью методологического подхода к исследованию вопросов эффективного взаимодействия сетевых и системных компонентов распределенной среды, анализа их функциональных возможностей с целью более детального изучения принципов и механизмов взаимодействия служб и ресурсов распределенной сети, который, при должной проработке, позволит определять набор объектов (распределенных элементов) при реализации функций и процессов распределенной среды как для распределенной архитектуры самой сети, так и для взаимодействующих протоколов, сервисов и интерфейсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инфокоммуникационные сети: архитектура, технологии и стандартизация [Л. Л. Блахнов, В. Г. Игнатенков, В. Е. Кузнецов и др.]; под ред. А. А. Сахнина. М. : Радио и связь, 2004.
2. Рекомендация ITU-T Y.110 Принципы и архитектура глобальной информационной инфраструктуры.
3. Сухомлин В.С., Анализ информационных технологий, М.: Радио и связь, 2005
4. Варакин Л.Е. Инфокоммуникации будущего, Электросвязь №11, 2003.
5. Тарасов В.П. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
6. An Introduction to Multiagent Systems, Michael Wooldridge, John Wiley & Sons, 2002.
7. Distributed Algorithms for Interacting Autonomous Agents/Weiguo Xia, University of Groningen, the Netherlands, 2013.
8. Usmanova N.B. Associative medium concept and processing of information in distributed network environment/ International Conference on IT Promotion in Asia 2007, South Korea, 2007.
9. Усманова Н.Б., Об одном подходе к моделированию информационных процессов в распределенных сетях/ Двенадцатая международная научно-практическая «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности, Санкт-Петербург, 2011. -с.113-115.
10. Distributed algorithms for networked multi-agent systems: Optimization and Competition/ Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy by Jayash Koshal, University of Illinois, Urbana-Champaign, 2012.
11. Distributed Algorithmic Mechanism Design/Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy by Rahul Sami, Yale University, 2003.
12. С.Е.Гилев, С.В.Леонтьев, Д.А. Новиков. Распределенные системы принятия решений в управлении региональным развитием. М.: ИПУ РАН, 2002.

Д.С. Федоров, *В.И. Юхнов

АНТЕННА БАЗОВОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

*Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: кольцевая антенная решетка, характеристики направленности, синтез амплитудно-фазового распределения.

Рассматривается методика синтеза амплитудно-фазового распределения в кольцевой антенной решетке по заданной амплитудно-фазовой диаграмме направленности (ДН). Выбор амплитудно-фазовой ДН в качестве заданной связан с возможностью использования наиболее простого метода амплитудно-фазового синтеза ДН. Параметры заданной ДН выбираются на основе физически реализуемой амплитудно-фазовой ДН, которая может быть сформирована с использованием предлагаемой методики. Решение задачи сводится к формированию переопределенной системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных комплексных амплитуд токов возбуждения в кольцевой антенной решетке. Рассмотрен вопрос возможности сохранения заданных параметров ДН при различных геометриях кольцевой антенной решетке. Достигаемое среднее квадратическое отличие параметров ДН кольцевой антенн не превышает 0,001 от заданных значений параметров ДН.

D.S. Fedorov, *V.I. Yuhnov

RING ANTENNA ARRAY AS BASE STATION ANTENNA

*North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: ring antenna array, characteristic of directivity, amplitude-phase distribution synthesis.

The technique of synthesis of amplitude-phase distribution in ring antenna array for a given amplitude-phase radiation pattern. The decision of amplitude-phase pattern as a given directivity is associated with the possibility of using the simplest method of amplitude-phase synthesis. The parameters of the specified pattern are selected on the basis of physically realizable amplitude-phase pattern, which can be formed with proposed technique. The solution to the problem is to form an redefined system of linear algebraic equations for the unknown complex amplitudes of the excitation currents in ting antenna array. The possibility of forming given parameters of pattern in case of various geometries of antenna array is considered. Achieved mean square deviation received values of parameters from given values does not exceed 0.001.

Кольцевые антенные решетки (КАР) в настоящее время находят широкое применение в радиопеленгаторных системах и системах связи в составе базовых станций [1 - 6]. Одной из областей применения КАР являются системы сотовой связи, в составе которых КАР используются, как правило, в качестве антенн базовых станций. Кольцевая антенная решетка обеспечивает формирование системы ортогональных лучей, полностью перекрывающих круговой сектор, что позволяет обеспечить достаточно простую технологию связи между абонентами, находящимися в пределах одной соты. Однако для повышения качества связи необходимо не только обеспечить ортогональность лучей по пространству. но и добиться минимального уровня боковых лепестков для повышения помехоустойчивости связи. Вопросы синтеза амплитудно-фазового распределения (АФР),

обеспечивающего формирование диаграмм направленности (ДН) КАР с заданной шириной главного луча и минимально возможным уровнем боковых лепестков (УБЛ) рассмотрены не достаточно подробно [7, 8].

Целью доклада является исследование взаимосвязи параметров (диаметр и число излучателей) и характеристик направленности кольцевой антенной решетки.

Метод синтеза АФР в КАР по заданным параметрам ДН рассмотрен в работе [9]. Использование указанного метода позволяет при заданных параметрах КАР определить минимально возможный уровень УБЛ при заданной ширине главного луча ДН. Достигаемая точность реализации характеристик направленности ε определяется соотношением

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{2\pi} \left| F^{(1)}(\varphi) - F^{(0)}(\varphi) \right|^2 d\varphi}{\int_0^{2\pi} \left| F^{(0)}(\varphi) \right|^2 d\varphi}. \quad (1)$$

где $F^{(0)}(\varphi)$ - ДН с заданными параметрами; $F^{(1)}(\varphi)$ - ДН с реализуемыми параметрами; θ_1, θ_2 - границы сектора по углу места, в которых обеспечивается прием сигналов от абонентов.

Формируемая ДН может быть представлена следующим образом

$$F(\varphi) = \sum_{n=1}^{N} A_n \mu_n(\varphi) \exp[-ikR\cos(\varphi - \varphi_n)], \quad (2)$$

где A_n и $\mu_n(\varphi)$ - соответственно комплексные амплитуда возбуждения и ДН n-го излучателя в составе КАР; k - волновое число свободного пространства; N - число излучателей КАР; R - радиус КАР.

ДН с требуемыми параметрами определим с помощью соотношения

$$F^{(0)}(\varphi) = \Phi(\varphi) F(\varphi), \quad (3)$$

где $\Phi(\varphi)$ - функция, определяющая требуемый закон распределения УБЛ в формируемой ДН.

Предложенное представление вида (2) позволяет независимо варьировать ширину луча и закон изменения УБЛ. Это дает возможность представить ДН с требуемыми параметрами или как физически реализуемую или близкую к физически реализуемой ДН.

Алгоритм формирования АФР в КАР состоит в следующем:

1. По заданной ширине луча, например, по ширине по уровню половинной мощности $2\Delta\varphi_{0,5}$ при $\Phi(\varphi) = 1$ определяется значение параметра R, при котором формируется ДН $F(\varphi)$ с требуемой шириной луча.
2. Путем изменения (выбора параметров) $\Phi(\varphi)$ формируется заданная ДН $F^{(0)}(\varphi)$ с требуемым законом изменения УБЛ.
3. Из решения задачи синтеза находят АФР, обеспечивающее формирование ДН $F^{(1)}(\varphi)$, наименее уклоняющейся от заданной $F^{(0)}(\varphi)$.

Функция $\Phi(\varphi)$ может быть задана различными способами. В частности, при проведении исследований в статье функция $\Phi(\varphi)$ определяется в виде

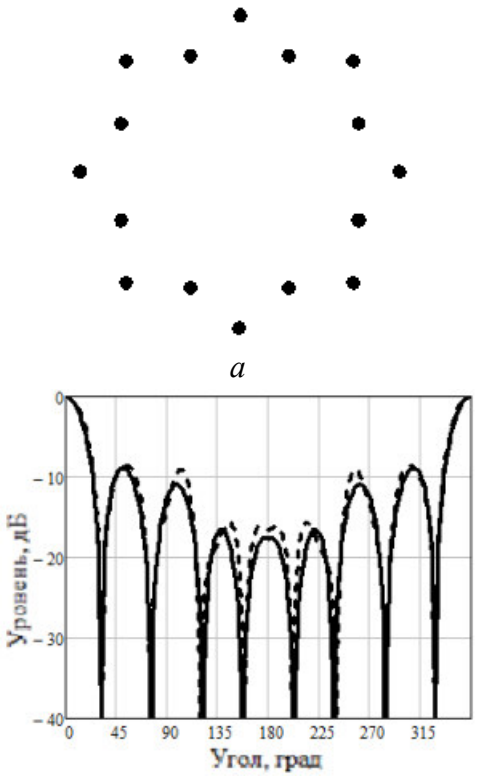
$$\Phi(\varphi)=\begin{cases}1, & \varphi\in\left[\varphi^{(0)}-\Delta\varphi_{0,5},\,\varphi^{(0)}+\Delta\varphi_{0,5}\right],\\ \Delta+(1-\Delta)\cos\left[\left(\varphi-\varphi^{(0)}\right)/2\right]^{p}\end{cases}, \qquad (4)$$

где $\varphi^{(0)}$ - угловое положение максимума заданной ДН; $0<\Delta<1$, $p>0$.

Решение задачи синтеза АФР по заданной ДН находится, как отмечено выше, по методу, предложенному в [9], из решения переопределенной системы уравнений, получаемой путем наложения условий $F(\varphi_l)=F_0(\varphi_l)$, $(l=1,...,L)$. При условии $L>>N$ решение такой системы уравнений обеспечивает минимальное в среднеквадратическом смысле уклонение формируемой ДН от заданной ДН.

При проведении исследований рассматривались приведенные ниже геометрии КАР, которые наиболее просто реализуемы для базовых станций. При этом анализ характеристик направленности проводился только в наиболее важной для практического применения перпендикулярной к оси КАР плоскости. Число направлений L во всех случаях выбиралось равным 360. Для оценки достигаемого эффекта применения предложенного метода определялась ДН КАР при использовании существующего метода эквивалентного раскрыва [10] (приведена на рис. 1-3штриховой линией).

Результаты исследований для 16-элементной КАР, излучатели с нечетными номерами которой располагаются на окружности радиуса R, а излучатели с четными номерами - на окружности радиуса $a\cdot R$, приведены на рисунках 1-3 для различных значений параметра a.



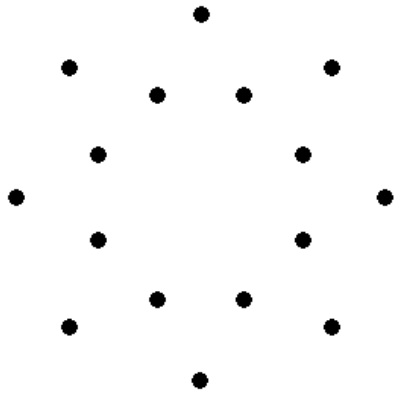
а

б

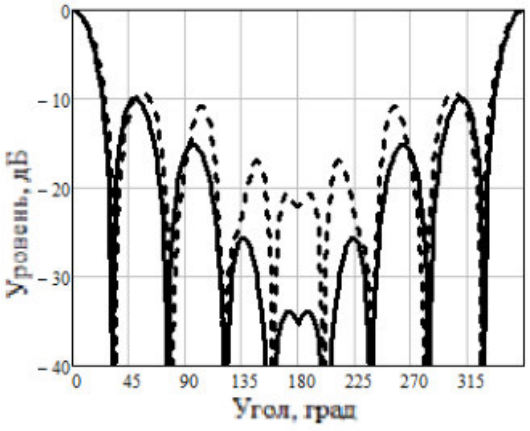
Рис. 1 Диаграммы направленности 16-элементной КАР при $a=0{,}8$, $\Delta=0{,}75$:
а – геометрия 16-элементной КАР; *б* – ДН, формируемая КАР

При проведении исследований значение R выбрано равным $1{,}5\lambda$, что обеспечивает наиболее часто используемое при практическом построении КАР расстояние между излучателями $0{,}6\lambda$. Полученные результаты показывают, что при отсутствии коррекции АФР ККАР не обеспечивает формирование ДН с заданными параметрами. В частности, для всех трех рассматриваемых геометрии ККАР наблюдается смещение главного максимума ДН, изменение характера огибающей боковых лепестков. При этом, если при $a = 0{,}8$ формируются два главных максимума ДН, один из которых ориентирован в требуемом направлении, то при $a = 0{,}6$ и $a = 0{,}4$, как следует из рис.2,б и рис.3,*б*, формируются только один максимум ДН в диаметрально противоположном направлении, а в требуемом направлении уровень ДН снижается на 8 и 10 дБ соответственно. В то же время выполнение коррекции АФР позволяет сохранить ДН практически без изменения. При этом величина ε не превышает значения 10^{-3}.

Приведенные на рис. 1 результаты показывают, что в случае КАР с $a = 0{,}8$ без коррекции АФР наблюдается значительное изменение ДН. В частности, уровень ДН в направлении фазирования понижается, а главный максимум формируется практически в ортогональном направлении. Кроме того, возникает лепесток ДН, соизмеримый с главным максимумом в направлении, близком к диаметрально противоположному по отношению к направлению фазирования КАР. В то же время проведение коррекции АФР с использованием предложенного алгоритма позволяет сохранить ДН практически без изменений.



а



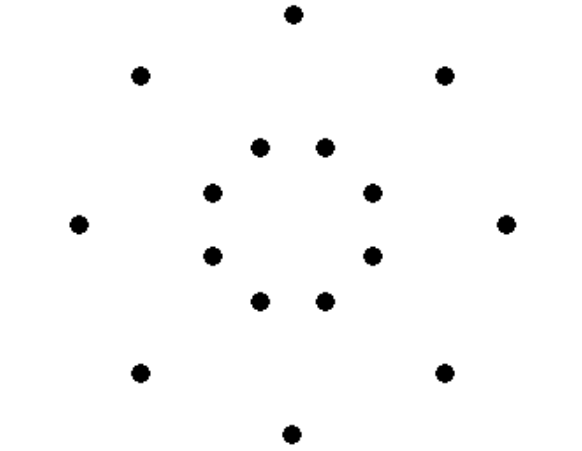
б

Рис. 2 Геометрия и ДН 16-элементной КАР для случая $a = 0{,}6$ $\Delta = 0{,}5$

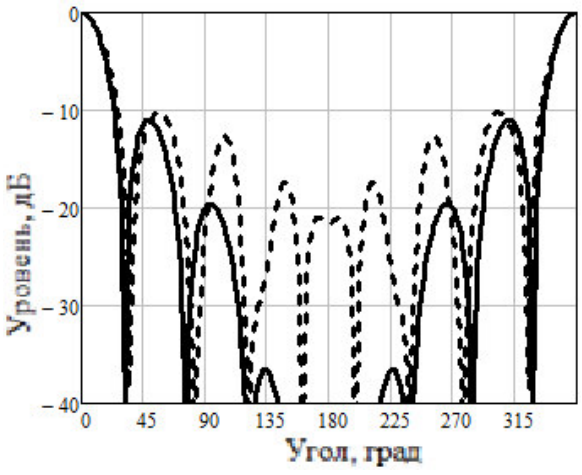
а – геометрия 16-элементной КАР; *б* – ДН, формируемая КАР

При смещении излучателей через один для $a = 0{,}6$ без проведения коррекции АФР происходит формирование главного максимума ДН в направлении диаметрально противоположном направлению фазирования КАР. Также в области, близкой к направлению фазирования КАР, наблюдается рост боковых лепестков. В случае коррекции АФР при смещении излучателей от исходного положения ДН сохраняется практически без изменений.

Результаты, приведенные на рис. 3 для случая смещения излучателей в составе ККАР при $a = 0{,}4$ также показывают возможность сохранения ДН, заданной для КАР. Необходимо отметить, что среднеквадратическое отклонение заданной и синтезируемой при коррекции АФР ДН, вычисленное в соответствии с (1), не превышает 10^{-3}.



а



б

Рис. 3 Геометрия и ДН 16-элементной ККАР для случая $a = 0{,}4$:
а – геометрия 16-элементной ККАР; *б* – ДН, формируемая ККАР

Результаты, получаемые при других значениях параметра a, определяющего геометрию КАР, незначительно отличаются от приведенных на рис. 1-3.

Рассмотренная в статье методика синтеза может быть использована не только для исследования характеристик направленности КАР, но и положена в основу исследования взаимосвязи характеристик направленности антенны, излучатели которой располагаются

на линии произвольной формы, в том числе и пространственной. Таким образом, как показывают представленные результаты, использование предлагаемого методики синтеза и коррекции АФР позволяет при изменении геометрии КАР и трансформации КАР в КАР формировать ДН с заданными параметрами.

Выводы

1 Предложенная методика синтеза АФР КАР позволяет при известной геометрии положения и ДН излучателей определять определить АФР, обеспечивающее минимальное в среднеквадратическом смысле отклонение параметров формируемой ДН КАР от заданных значений параметров характеристик направленности. Методика основана на решении переопределенной системы уравнений относительно неизвестных комплексных амплитуд возбуждения излучателей. При этом элементами матрицы системы уравнений являются ДН всех излучателей в заданных направлениях с учетом их положения в составе КАР, а элементами в правой части системы уравнений – значения заданной ДН в тех же направлениях. Относительное отклонение заданной ДН и формируемой КАР ДН при этом не превышает десятых долей процентов.

2 Результаты выполненных на основе 16-элементной антенны исследований показывают, что применение предложенной методики позволяет сформировать ДН, параметры которой практически полностью совпадают с заданными значениями. Среднее квадратичное отклонение ДН с заданными параметрами и формируемой ДН не превышает 10^{-3}. В то же время при использовании упрощенных алгоритмов синтеза амплитудно-фазового распределения приводит к полному разрушению ДН КАР, в частности, не только росту боковых и заднего лепестков, но и смещению главного максимума ДН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А.* Радиомониторинг - задачи, методы, средства / Под ред. Рембовского А.М.- М.: Горячая линия-Телеком. 2010. 624 с.

2. *Hajian M., Coman C., Lighthart L.P.* Comparison of circular, Uniform- and non Uniform Y-shaped Array Antenna for DOA Estimation using Music Algorithm // Proceeding of the 9th Conference on Wireless Technology. 2006. September. Manchester UK. 143-146.

3. *Митько В.Н., Эсси-Эзинг А.С.* Проектирование и моделирование антенны гидролокатора бокового обзора // Инженерный вестник Дона, 2016, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2016/3534/.

4. *Song Lizhong, Li CHongshen, Ma Ning, Wu Qun.* Simulation and Analysis of a Microstrip Circular Array Antenna at 15GHz // Project (HT (WH). B200513) 978-1-4244-2108-4/08/$25.00. 2008. IEEE. P.1-4.

5. *Tian Li, Fu-Shun Zhang, Fan Zhang, Ya-Li Yao, Li Jiang.* Wideband and High-Gain Uniform Circular Array With Calibration Element for Smart Antenna Application // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2016. pp. 230-233.

6. *Huaxi Sun, Yilong Lu.* DOA Estimation with A Vector Circular Array // IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation. 27-29 August, 2012. Singapore.

7. *Зелкин Е.Г., Соколов В.Г.* Методы синтеза антенн: фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрывом. – М.: Сов. радио, 1980. -341 с.

8. *Зелкин Е.Г., Соколов В.Г* Методы синтеза антенн: фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрывом. – М.: Сов. радио, 1980. -341 с.

9. *Габриэльян Д.Д., Левченков А.Н., Федоров Дан.С., Федоров Ден.С.* Инженерный вестник Дона, 2017, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4020/.

10. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: Учеб. пособие для вузов / *Д.И. Воскресенский, В.И. Степаненко, В.С. Филиппов* и др. Под ред. *Д.И. Воскресенского.* 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2003. – 632 с.

В.В. Федотов, Б.П. Борисов

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПЛОТНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ПРИ ГЕНЕРАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ СЕТЕЙ СВЯЗИ

ПАО «Ростелеком»,
Северо-Кавказский филиала Московский Технический Университет Связи и Информатики, Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: планирование сетей связи, оптический кабель

Проникновение услуг связи крупных операторов на рынок услуг связи B2B/B2C сегментов напрямую зависит от развития оптической телекоммуникационной инфраструктуры и трудозатрат на ее развёртывание. Данное направление невозможно представить без внедрения новых оптических линейно-кабельных технологий.

V.V. Fedotov, B.P. Borisov

THE USE OF ULTRA-DENSE TAPE OPTICAL CABLES GENERAL THE PLANNING AND CONSTRUCTION OF COMMUNICATION NETWORKS

PJSC "Rostelecom"
North-Caucasian branch of Moscow Technical University of Communication and Informatics, Rostov-on-don, Russia

Key words: planning of communication networks, optical cable

The penetration of Telecom services to major operators in the market of communication services B2B/B2C segments depends on the development of optical telecommunication infrastructure and labor costs for its deployment. This area is impossible to imagine without the introduction of new optical cable technologies.

Применение ленточных оптических технологий для строительства сетей с целю максимального охвата B2B/B2G/B2O клиентских сегментов и снижения капитальных и операционных затрат. Использование ленточных оптических технологий для строительства сетей под нужны B2B/B2G/B2O и снижения капитальных и операционных затрат

Суть

Компании телекоммуникационных услуг для удержания лидирующих позиций на рынке телекоммуникаций должна организовать «оптическую экспансию» во все помещения, дома и объекты коммерческой недвижимости с целью покрытия оптическими технологиями не менее 95% мест размещения B2B/B2G/B2O клиентов. Наиболее перспективная технология, позволяющая на многие десятилетия обеспечить положительную техническую возможность предоставления любых телекоммуникационных сервисов, является выделение клиенту прямого оптического волокна. Наиболее подходящая технология для обозначенного выше клиентского сегмента является Point to Point. Технология GPON в данном случае не применима, т.к. обладает рядом технических ограничений и больше применима для сегмента B2C. В виду чего, возникает необходимость пересмотра существующих линейно-кабельных принципов построения магистральных и клиентских сетей, переход на ленточные технологии отечественного и зарубежного производства.

Что предлагается предпринять

Перейти к комплексному планированию клиентских локаций на ленточных оптических магистральных ВОЛС

Это позволит:

- снизить стоимость монтажа в расчете на одно волокно;
- снизить стоимость инсталляции услуг в 3-4 раза
- уменьшить количество прокладываемых в существующей канализации линий связи. Телефонная канализация – стратегический и дорогой ресурс;
- оперативно реагировать на потребности клиентов в новых видах сервисов и пропускной способности каналов;
- облегчить и упросить техническое обслуживание и эксплуатацию;
- улучшить технический учет кроссового оборудования
- снизить общую стоимость стройки относительно технологий на модульных кабелях

Планируемый экономический эффект:

- Уменьшение капитальных затрат при строительстве и операционных затрат при эксплуатации и монтаже оптических линий связи в 4 раза относительно раздельного строительства магистралей
- Экономия самого дорогого ресурса – свободной емкости существующей телефонной канализации
- Оперативное подключение любых видов услуг - сохранение и увеличение доходов

Стоимость предлагаемого технического решения (ленточный оптический кабель)						Эффект в руб	Эффект в %	Стоимость устаревшего технического решения (модульный кабель кратности 96)					
№№	Емкость магистрали линейного проекта	Стоимокость 1 км ВОЛС, руб	Стоимость прокладки за 1 км, руб	Стоимость разварки волокон, руб	Сумма затрат, руб	Преобладаение новой технологии над старой		№№	Емкость магистрали линейного проекта	Стоимокость 1 км ВОЛС, руб	Стоимость прокладки за 1 км, руб	Стоимость разварки волокон, руб	Сумма затрат руб
1	96	89 600	96 000	16 128	201 728	0	0	1	96	89 600	96 000	16 128	201 728
2	128	233 900	96 000	3 200	333 100	70 356	17,44	2	128	179 200	192 000	32 256	403 456
3	256	442 100	96 000	6 400	544 500	60 684	10,03	3	256	268 800	288 000	48 384	605 184
4	512	844 900	96 000	12 800	953 700	256 668	21,21	4	512	537 600	576 000	96 768	1 210 368
5	1 024	1 615 000	96 000	25 600	1 736 600	482 408	21,74	5	1 024	985 600	1 056 000	177 408	2 219 008

№№	Емкость магистрали линейного проекта	Суммарный (условный) диаметр устаревших видов ВОЛС	Суммарный (условный) диаметр ленточной ВОЛС
1	96	13,2	
2	128	26,4	15,4
3	256	39,6	18,5
4	512	79,2	23,9
5	1 024	145,2	27,6

Экономическая эффективность применения ленточных кабелей

	одиночное волокно	12-волоконная лента
Время на разделку и сварку 2-х концов, минут	2	5
Количество сварок для 144-волоконного кабеля	144	12
Общее время сварки муфты, минут	288	60
Возможное количество муфт в день	**1,7**	**8**
Экономия времени на муфту, минут	**228**	
Количество монтажников, чел	2	
Среднемесячная зарплата монтажника, руб	30 000	
Рабочих дней в месяце	20	
Соотношение з/п к полной себестоимости	25%	
Экономия заработной платы монтажников на муфту, руб	**1425**	
Экономия средств на муфту, руб	**5700**	

В данной оценке производительности учитывалось только время сварки без учета времени разделки кабеля.

Особенности и преимущества ленточных кабелей

Особенности…

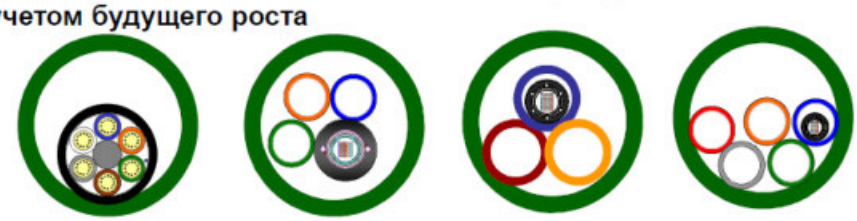
1. Возможность выполнения массовой сварки
2. Большая плотность волокон в кабеле

Преимущества…

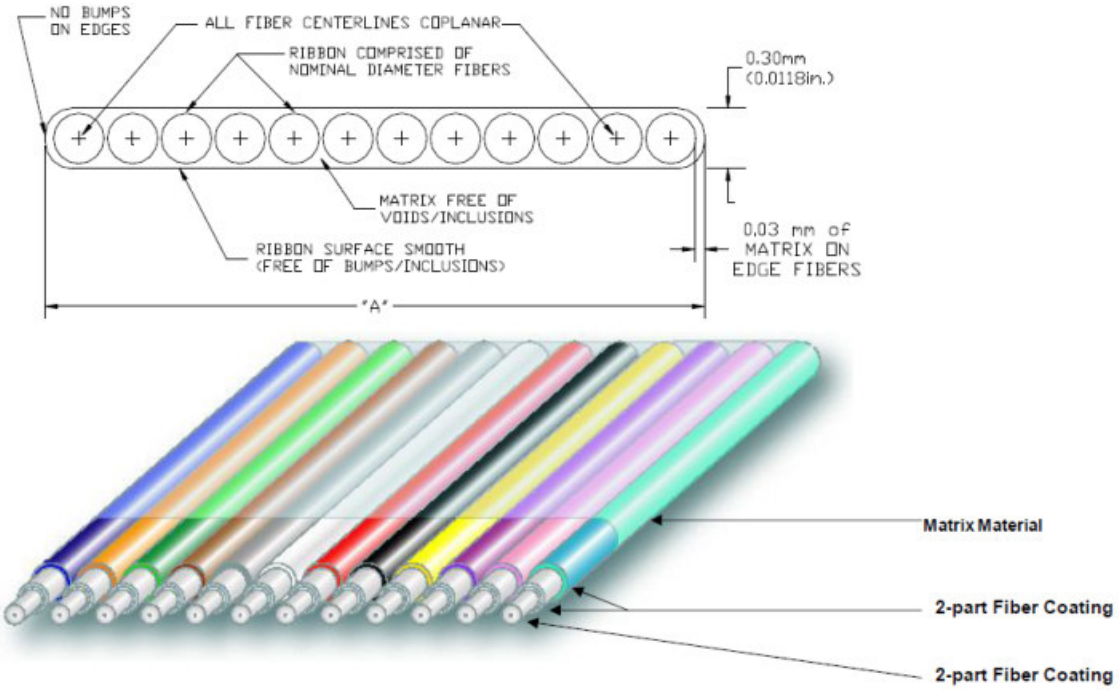
1. *Экономия времени и денег.* Рост производительности до 500% по сравнению с аналогичными 144-волоконными кабелями
2. *Эффективное использование ограниченного пространства канализации:* Кабельная канализация на распределительном участке малой емкости или уже заполнена. Экономия пространства до 25% благодаря большей плотности укладки волокон

Сварка 12-волоконной ленты за 15 секунд с использованием сварочного аппарата массовой сварки S122M12

Эффективное планирование и использование ценного ресурса в виде кабельной канализации с учетом будущего роста



Ленточное волокно



В.В. Харченко, В.В. Бурдюг

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ НАПРАВЛЕННЫХ СВОЙСТВ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

Ключевые слова: антенна, покрытие, метаматериал.

В статье рассматривается возможность применения интеллектуальных покрытий, построенных на основе метаматериалов, позволяющих управлять характеристиками направленности антенных систем.

V.V. Kharchenko, V.V. Burdyug

THE USE OF METAMATERIALS FOR IMPROVING THE DIRECTIONAL PROPERTIES OF ANTENNA SYSTEMS

Military educational scientific center air force "Air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Voronezh, Russia

Keywords: antenna, cover, the metamaterial.

The article deals with the possibility of using intelligent coatings based on metamaterials that allow controlling the directional characteristics of antenna systems.

В настоящее время, благодаря значимым достижениям в области материаловедения, продолжается интенсивное развитие теории и практики применения антенных систем с различного рода покрытиями. Известно, что использование покрытий позволяет не только защитить излучающий раскрыв антенны от механических повреждений и негативного влияния окружающей среды, но и достаточно эффективно управлять характеристиками и параметрами антенных систем по средствам варьирования значений основных параметров указанных покрытий [1]. В работе рассматривается возможность использования метаматериалов в качестве указанных покрытий для управления характеристиками излучения антенной решетки щелевых излучателей.

Известно, что метаматериал представляет собой искусственный композитный структурированный материал, электромагнитные свойства которого существенно отличаются от свойств компонентов, входящих в его состав, и определяются особым упорядочением и структурой компонентов (кольцеподобной, рулонной, проводной и т. д.) [2]. Поле электромагнитных волн, имея как электрическую, так и магнитную составляющую, заставляет двигаться электроны в материале вперед и назад (под действием электрического поля) и по кругу (под действием магнитного). Степень взаимодействия определяется двумя характеристиками вещества: диэлектрической проницаемостью ε и магнитной проницаемостью μ. Первая показывает степень реакции электронов на электрическое поле, вторая - степень реакции на магнитное. Все многообразие естественных и искусственных сред можно классифицировать в зависимости от эффективных значений их диэлектрической (ε) и магнитной (μ) проницаемостей [2].

Материалы, у которых отрицательна ε либо μ называют SNG (single negative, мононегативные). Если $\varepsilon < 0$ и $\mu > 0$, SNG-материал называют ENG (ε-негативные), если $\varepsilon > 0$ и $\mu < 0$ – MNG (μ-негативные). В таких средах электромагнитные волны быстро затухают по экспоненте. В отношении подобных материалов полагают, что они непрозрачны для излучения, если их толщина больше, чем характерная экспоненциальная длина затухания электромагнитных волн.

Метаматериалы с отрицательным коэффициентом преломления электромагнитных волн называют бинегативными средами (DNG, double negative). Эффект отрицательного преломления обусловлен одновременно отрицательными значениями диэлектрической и

магнитной проницаемостей ($\varepsilon < 0$ и $\mu < 0$). Такой эффект обратного распространения волн характеризуется необычным законом преломления при падении волны из свободного пространства в среду, где групповая и фазовая скорости волн направлены навстречу друг другу. При этом преломленный луч отклоняется в противоположную сторону от нормали к поверхности, нежели при падении на «обычную» среду.

Таким образом, подбором значений ε и μ возможно получение необходимых электродинамических эффектов при переотражении электромагнитных волн от поверхностей, покрытых защитными материалами.

Как уже отмечалось, интеллектуальное покрытие, как правило, имеет определенную, слоистую (многослойную) структуру. Внутренний (самый нижний) слой покрытия должен быть либо металлизирован, если объект выполнен из композитных материалов, либо расположен на металлической части несущей конструкции объекта. Внешний слой покрытия обеспечивает согласование со свободным пространством.

На примере цилиндрической антенной решетки (АР) щелевых излучателей оценим влияние параметров защитного интеллектуального покрытия на ее диаграмму направленности. Антенна включает в свой состав N колец, в каждом из которых расположено в общем случае, произвольное число щелевых излучателей. Магнитные излучатели ориентированы параллельно образующей цилиндра. При формировании луча в заданном направлении задействуется часть излучателей АР. При этом сканирование осуществляется путем изменения амплитудно-фазового распределения как между излучателями в кольце, так и в линейке излучателей. Цилиндр покрыт слоем магнитодиэлектрика с параметрами ε и μ.

Использование покрытия накладывает дополнительные требования к массогабаритным параметрам антенны. При этом необходимо принять меры к снижению массы покрытия. Работа над снижением веса покрытия путем расширения рабочего диапазона материала покрытия ведется в следующих направлениях [3]:

а) использованием однородных магнитных материалов;

б) применением магнитодиэлектрических материалов с дисперсией диэлектрической проницаемости по толщине покрытия;

в) использованием структур, преобразующих энергию падающей волны в энергию поверхностной волны с последующим ее поглощением.

Основной целью применения защитного интеллектуального покрытия в рассматриваемом случае, является значительное снижение уровня боковых лепестков диаграммы направленности при незначительном увеличении или сохранении ее ширины, что позволяет повысить помехозащищенность и помехоустойчивость антенной системы [4, 5]. Степень влияния параметров защитного покрытия на диаграмму направленности антенной решетки можно оценить из графиков, приведенных на рисунках 1-3.

На данных рисунках приведены нормированные диаграммы направленности цилиндрических антенных решеток щелевых излучателей, состоящих из двенадцати колец, по двадцать пять излучателей в каждом, размещенных в кольце с шагом 0.6λ и шагом между кольцами 0.6λ.

Сплошными кривыми изображены диаграммы направленности цилиндрической АР без покрытия со спадающим амплитудно-фазовым распределением в раскрыве антенны, а штриховыми линиями – диаграммы направленности цилиндрических антенных решеток с магнитодиэлектрическим покрытием с различными параметрами при равномерном

амплитудно-фазовом распределении. На рисунке 1 штриховыми линиями представлены диаграммы направленности ЦАР с покрытием, параметры которого составляют $\varepsilon = 1$, $\mu = 0.95$. По аналогии на рисунках 2, 3 приведены нормированные диаграммы направленности цилиндрических антенных решеток (ЦАР) с защитным интеллектуальным магнитодиэлектрическим покрытием с параметрами $\varepsilon = 0.9$, $\mu = 1$; $\varepsilon = 1.3$, $\mu = 0.82$ соответственно.

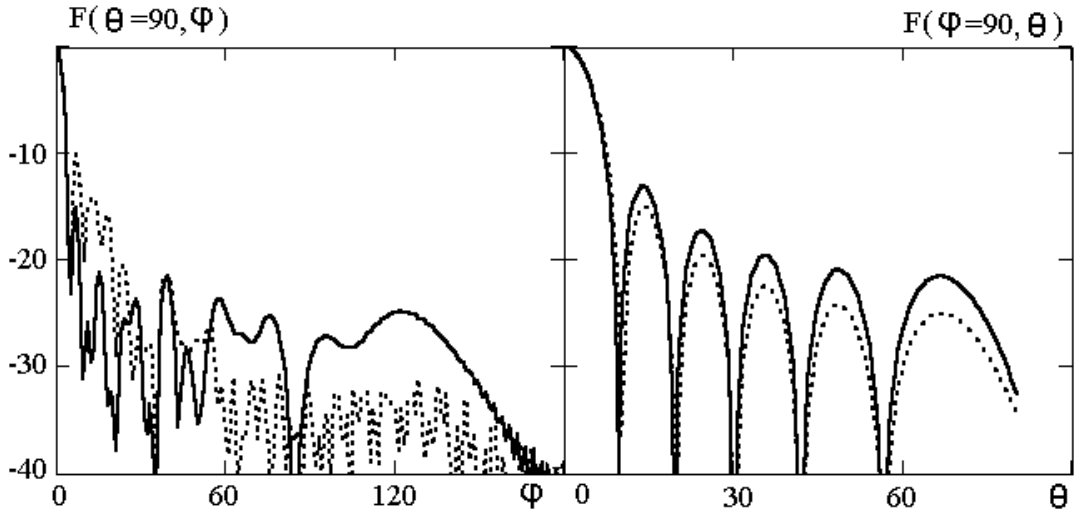


Рисунок 1 - Диаграммы направленности антенн с параметрами покрытия $\varepsilon = 1$, $\mu = 0{,}95$

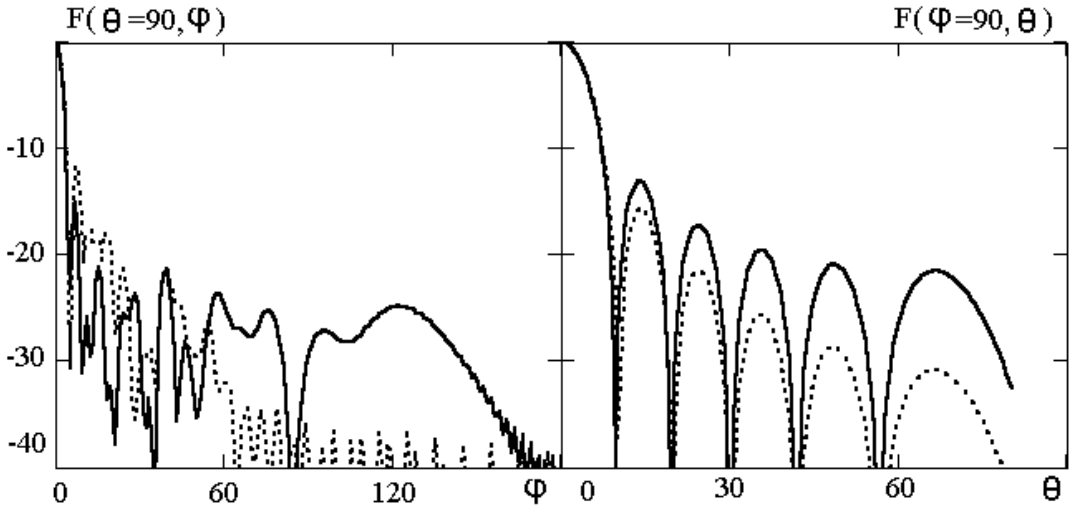


Рисунок 2 - Диаграммы направленности антенн с параметрами покрытия $\varepsilon = 0{,}9$, $\mu = 1$

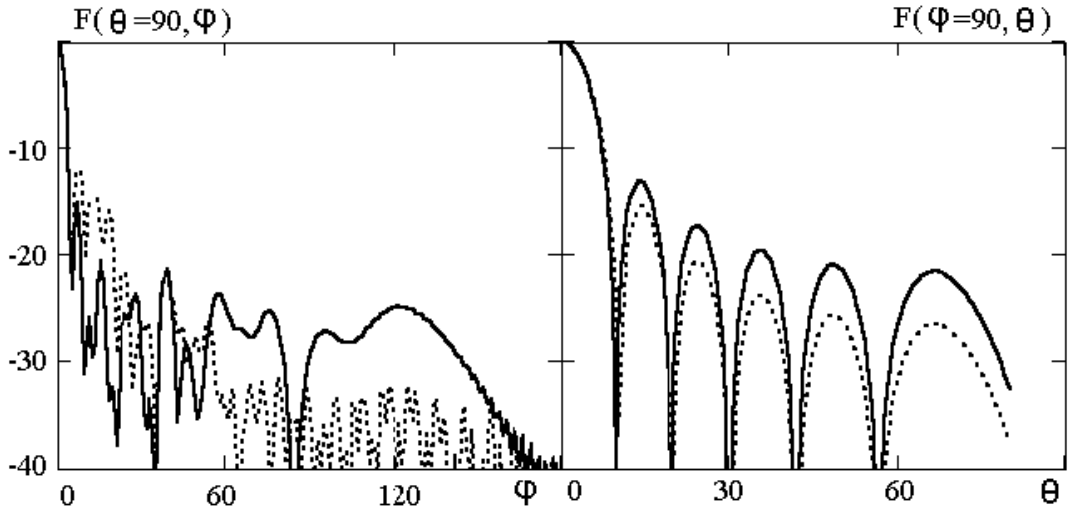


Рисунок 3 - Диаграммы направленности антенн с параметрами покрытия $\varepsilon = 1{,}3$, $\mu = 0{,}82$

Из рисунков видно, что использование интеллектуального покрытия с определенными параметрами позволяет значительно изменять характеристики излучения ЦАР. При этом характеристики направленности антенн с покрытиями могут изменяться как в лучшую сторону, как показано на рисунках, так и в худшую сторону. Использование магнитодиэлектрического покрытия определенной толщины с указанными на рисунках параметрами, позволяет снизить уровень бокового излучения при неизменной ширине диаграммы направленности АР в диапазоне углов 30…180 градусов, что в свою очередь позволяет повысить отношение «сигнал / помеха+шум» на выходе АР с покрытием по отношению к АР без покрытия.

Следовательно, применение покрытий на основе метаматериалов является перспективным направлением развития антенной техники. При этом, используя научно-обоснованные параметры таких материалов, возможно решение таких важных задач, как: существенное снижение радиозаметности, а также фокусировка излучаемого антенной луча с минимально возможной его шириной. Всё это приведет к повышению помехозащищенности и помехоустойчивости антенных систем перспективных комплексов радиолокации и связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Габриэльян Д.Д., Звездина М.Ю., Харченко В.В.* Влияние параметров магнитодиэлектрического покрытия на излучение продольной щели на цилиндре // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2004, Т.7, №4, с. 34-39.
2. *Слюсар В.А.* Метаматериалы в антенной технике: основные принципы и результаты // ТЕХНОЛОГИИ: НТБ, 2010, №.4, с. 44–60.
3. *Розанов К.Н., Преображенский Е.А.* Применение нелинейных и активных материалов для создания широкополосных радиопоглотителей // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники – 2003, №3, с. 26-40.

4. *Михайловский Л.К.* Радиопоглощающие бестоковые среды, материалы и покрытия (электромагнитные свойства и практические рекомендации) // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000, №9. с. 21-30.
5. *Касьянов А.О., Обуховец В.А.* Интеллектуальные радиоэлектронные покрытия. Современное состояние и проблемы // Антенны. – 2001, вып. 4(50), с. 4-11.

К.Ш. Хушмуродов, М.П. Трухин

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СБОИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: сбои электропитания, перепады напряжения, повышение напряжения, источники бесперебойного питания.

В статье рассмотрены основные проблемы связанные с электропитанием персональных компьютеров, представлены основные факторы, причины возникновение сбоев в электрических сетях и способы борьбы с ними.

K.Sh. Khushmurodov, M.P. Trukhin

THE FACTORS, INFLUENCING FAILURES OF POWER SUPPLY OF THE PERSONAL COMPUTER

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: failures of power supply, overfalls of tension, increase in tension, uninterruptible power supply units.

In article the main problems connected to power supply of personal computers are considered pacing factors, the reasons origin of failures in electrical networks and methods of fight against them are provided.

В основном проблемы, связанные с электропитанием компьютера, возникают в результате отключения электричества, перепадов напряжения и воздействия различных помех (радиочастотных, магнитных и прочее).

Исчезновение электричества может быть вызвано разными причинами: случайными факторами (кто-то непреднамеренно выдернул из розетки сетевой шнур), аварией на электрической станции, погодными явлениями и прочее.

Но наиболее распространенной и неприятной проблемой с сетевым питанием является его полное отключение. Если это случается, то вся информация, расположенная в памяти компьютера может быть безвозвратно утеряна. Вернее потеряются те данные, которые пользователь не успеет сохранить на жестком диске или внешнем накопителе. Худшее, что может произойти в данном случае, это выход из строя каких-либо комплектующих персонального компьютера.

Практически не заметны кратковременные перепады напряжения сетевого электропитания , которые происходят в течение доли секунды. Причиной этому может быть включение мощных электромашин, таких как лифты, моторы и прочее силовое эклектическое оборудование. Включение бытовых приборов (кондиционеров, обогревателей) также может вызвать «провалы» напряжения электропитания [1].

Кратковременное повышение напряжения электропитания может быть также импульсным, оно возникает в результате аварийного состояния электроосветительной аппаратуры, замыкания электропроводов, аварий электрических машин.

Электромагнитные и радиочастотные помехи возникают вследствие работы мощных электрических агрегатов или радиопередатчиков, которые находятся недалеко от работающего компьютера. Сильное воздействие радиочастотного или электромагнитного шума может вызвать искажение формы синусоидального напряжения сетевого электрического питания, что в конечном итоге может спровоцировать аппаратные сбои и ошибки при выполнении программ.

Перебои в электропитании могут сказаться на работе компьютера самым негативным образом (полная потеря всех данных или выход из строя компонентов компьютера). Основные проблемы электропитания показаны в таблице 1.

Таблица1–Основные проблемы электропитания

	Проблемапитания		Определение	Причина
1	Пропадание напряжения		Полное отключение питающей электросети	Может быть вызвано множеством причин: удар молнии, обрыв сети, перегрузка сети, аварии стихийные бедствия.
2	Провал напряжения		Кратковременное понижение напряжения	Может быть вызвано включением большой нагрузки, переключением питания сети, неисправностями сети, молниями, неспособностью питающей сети обеспечить уровень нагрузки. В дополнение к отключениям оборудования, провалы питания могут привести к его повреждению
3	Всплеск напряжения		Кратковременное повышение напряжения выше значения 110% от номинального	Может быть вызвано ударом молнии, в таком случае напряжение может достигать 6кВ. Броски напряжения почти всегда вызывают потери данных и повреждения оборудования.

4	Понижение напряжения		Понижение напряжения на период от нескольких минут до нескольких дней	Может быть вызвано намеренным снижением напряжения сети для сохранения мощности во время пиковых периодов или других повышений нагрузки, превышающих номинальные возможности сети.
5	Повышение напряжения		Повышение напряжения на период от нескольких минут до нескольких дней	Вызывается быстрым снижением потребляемой мощности, отключением мощного оборудования или последовательной коммутацией электросети. Может вызывать повреждения оборудования.
6	Электромагнитные и радиочастотные помехи		Высокочастотные помехи, вызванные электромагнитными наводками	Могут быть вызваны воздействием высокочастотных помех или электромагнитных излучений, создаваемых передатчиками, сварочным оборудованием, молниями и так далее.
7	Отклонения частоты		Нарушение стабильности частоты	Вызывается загрузкой и разгрузкой генераторов или небольших когенерационных станций. Отклонения частоты могут вызвать ошибки работе оборудования, потерю данных, системные сбои и повреждения оборудования.
8	Переходные процессы при коммутации		Кратковременное снижение напряжения	Обычная длительность меньше, чем у импульсных всплесков и в основном измеряется в наносекундах.
9	Нелинейные искажения напряжения		Искажение формы сигнала, в основном вызываемые нелинейной нагрузкой	Импульсные источники питания, приводы и двигатели с частотным регулированием, копиры и Факсы-примеры нелинейной нагрузки. Может вызывать ошибки связи, перегрев и повреждения оборудования.

Все эти факторы могут привести к выходу из строя слаботочной электроники, и, как это часто бывает, к потере данных. Впрочем, пользователи ПК научились защищаться: фильтры сетевого напряжения, «гасящие» скачки, дизельные генераторы, обеспечивающие подачу электроэнергии системам при пропадании напряжения в «глобальном масштабе», наконец, источники бесперебойного питания – основной инструмент защиты персональных компьютеров ПК, серверов, мини – АТС и другие. Виды сбоев электропитания ПК показаны в таблице 2.

Таблица2–Виды сбоев электропитания

Вид сбоя электропитания	Причина возникновения	Возможные последствия
Пониженное напряжение, провалы напряжения	- перегруженная сеть - неустойчивая работа системы регулирования напряжения сети - подключение потребителей, совокупная мощность которых сравнима с общей мощностью участка электрической сети	- перегрузки блоков питания электронных приборов и уменьшение их ресурса - отключение оборудования при недостаточном для его работы напряжении - выход из строя электродвигателей - потери данных в компьютерах
Повышенное напряжение	- недогруженная сеть - недостаточно эффективная работа системы регулирования - отключение мощных потребителей	- выход из строя оборудования - аварийное отключение оборудования с потерей данных в компьютерах
Высоковольтные импульсы	- атмосферное электричество - включение и отключение мощных потребителей - запуск в эксплуатацию части энергосистемы после аварии	- выход из строя чувствительного к качеству питания оборудования
Электрический шум	- включение и отключение мощных потребителей - взаимное влияние электроприборов, работающих неподалеку	- сбои при выполнении программ и передаче данных - нестабильное изображение на экранах мониторов и в видеосистемах
Полное отключение напряжения	- срабатывание предохранителей при перегрузках - непрофессиональные действия персонала - аварии на линиях электропередач	- потери данных в компьютерах - выход из строя жестких дисков на очень старых компьютерах
Гармонические искажения напряжения	- в сети преобладает нелинейная нагрузка, оснащенная импульсными блоками питания (компьютеры, коммуникационное оборудование) - неправильно спроектированная электрическая сеть, работающая с нелинейными нагрузками	- помехи при работе чувствительного оборудования (радио- и телевизионные системы, измерительные приборы и т.д.)

	- перегрузка нейтрального провода	
Нестабильная частота	- сильная перегрузка энергосистемы в целом - потеря управления системой	- перегрев трансформаторов - нестабильная частота как индикатор неправильной работы всей энергосистемы или ее существенной части (для компьютеров изменение частоты само по себе не страшно)

В России имеется стандарт (ГОСТ Р 50628-93), определяющий требования к персональным компьютерам по устойчивости к электромагнитным помехам. Этому стандарту должны соответствовать все компьютеры, производимые или импортируемые в России [2].

Компьютеры и периферийные устройства подразделяются на две группы в зависимости от устойчивости к помехам. Группу определяет производитель компьютера. После соответствующих испытаний и сертификации он имеет право объявить о соответствии его компьютера группе I или II ГОСТ Р 50628-93 по устойчивости к электромагнитным помехам. В таблице 3 приведены параметры электрической сети, которые должны выдерживать компьютеры и периферийное оборудование в соответствии с этим стандартом [2].

Таблица 3 – Требования к качеству электрической сети

Вид внешней помехи	Группа	
	I	II
Электростатические разряды: - контактные; - воздушные.	 2-4 кВ 2-4 кВ	 4-6 кВ 4-8кВ
Наносекундные импульсные помехи: - в цепях питания; - в цепях ввода-вывода.	 0.5 кВ 0.5 кВ	 1кВ 0.5 кВ
Динамические изменения напряжения питания: - провалы напряжения; - прерывания напряжения; - выбросы напряжения.	 154 В на 200 мс 0 В на 20 мс 264 В на 200 мс	 154 В на 500 мс 0 В на 100 мс 264 В на 500 мс
Микросекундные импульсы большой энергии	500 В	1000 В
Радиочастотные электромагнитные поля	1 В/м	3 В/м

Таким образом, можно смело сказать, что наиболее распространенным устройством, нуждающимся в защите, является персональный компьютер. Анализ сбоев и неисправностей, проведенный фирмой IBM, показал, что ПК подвергается более 120

нежелательным воздействиям. Это происходит несмотря на то, что современные источники питания обеспечены быстродействующей защитой[3].

Для единичных нагрузок решением проблем электроснабжения, связанных с пониженным напряжением, бросками и импульсными помехами, может стать установка стабилизатора или источника бесперебойного питания (ИБП). Однако у большинство этих устройств имеются большой недостаток - их высокая цена. Не каждый из пользователей может приобрести себе ИБП или стабилизатор для ПК.

Наряду с этими устройствами необходимо создать дополнительные устройства, позволяющие подержать работу блока питания ПК в течение нескольких секунд. Это устройство без источников питания.

Но такие устройства, как ИБП в случае изменения напряжения, смогут поддерживать необходимый уровень электрического питания на протяжении некоторого времени. ИБП позволяют сохранить информационные данные, завершить работу программы и выключить компьютер. Такие устройства могут работать в автономном режиме до шестидесяти минут, а наиболее совершенные несколько суток и даже, в случае исчезновения напряжения, самостоятельно выключать компьютер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические сети и сбои электропитания: официальный сайт - http://www.at-systems.ru/library/book/chap1.shtml
2. Электрические сети и сбои питания: официальный сайт - http://www.ups-info.ru/forpartners/library/istochnikibespereboynogopitaniyabezsekretov/ilektricheskieseti i sboipitaniya/
3. П. Ташков Сбои и ошибки ПК. Лечим компьютер сами.: М. – 2009 с. 160 стр.

В.Г. Черемных, В.С. Невельский, Д.В. Астрецов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕХВАТА СИГНАЛОВ ИЗЛУЧАЕМЫХ КЛАВИАТУРОЙ КОМПЬЮТЕРА

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: ПЭМИ, клавиатура, электромагнитные излучения

В статье рассмотрены причины возникновения электромагнитных излучений (ПЭМИ) при вводе информации с клавиатуры в компьютер. Был исследован спектр излучений PS/2 клавиатуры.Предложены варианты защиты от перехвата побочных излучений.Определено пороговое отношение сигнал/шум для детерминированного

сигнала, и сигнала со случайной фазой, которое показывает возможность перехвата ПЭМИ клавиатуры компьютеров средствами разведки.

V.G. Cheremnykh, V.S. Nevelskiy, D.V. Astretsov

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF INTERFERING SIGNALS RADIATED BY THE KEYBOARD BY THE COMPUTER

Federal state budgetary educational institution of higher education «Siberian state University of telecommunications and Informatics» Ural technical Institute of communications and Informatics (Branch), Ekaterinburg, Russia

Keywords: TEMPEST, keyboard, electromagnetic radiation

The article considers the causes of electromagnetic radiation (TEMPEST) when entering information from the keyboard to the computer. Was investigated range of radiation of PS/2 keyboard. The proposed protections from interception spurious emissions. The determined threshold signal/noise for a deterministic signal, and signal with a random phase, which shows the possibility of intercepting TEMPEST keyboard computers reconnaissance.

В сфере безопасности информации ограниченного доступа, одной из основных угроз относится утечка информации по техническим каналам, под которой наиболее часто понимается неконтролируемое распространение информативного сигнала от его источника через физическую среду до технического средства, осуществляющего перехват информации.

Одним из опасных режимов работы СВТ (с точки зрения утечки информации по каналу ПЭМИ) является ввод данных с клавиатуры.Клавиши клавиатуры функционально можно разбить на три группы:

К первой группе относятся алфавитно-цифровые клавиши, предназначенные для ввода знаковой информации и команд, набираемых по буквам. Каждая клавиша может работать в нескольких режимах (регистрах) и, соответственно, может использоваться для ввода нескольких символов. Переключение между нижним регистром (для ввода строчных символов) и верхним регистром (для ввода прописных символов) выполняют удержанием клавиши SHIFT (нефиксированное переключение).

При необходимости жёстко переключить регистр используют клавишу CAPS LOCK (фиксированное переключение). Для разных языков существуют различные схемы закрепления символов национальных алфавитов за конкретными алфавитно-цифровыми клавишами. Такие схемы называются раскладками клавиатуры. Раскладки принято именовать по символам, закреплённым за первыми клавишами верхней строки алфавитной группы.

Ко второй группеотносятся функциональные клавиши. Этих клавиш двенадцать (от F1 до F12), и размещены они в верхней части клавиатуры. Функции, закреплённые за данными клавишами, зависят от свойств конкретной работающей в данный момент программы, а в некоторых случаях и от свойств операционной системы. Общепринятым

для большинства программ является соглашение о том, что клавиша F1 вызывает справочную систему, в которой можно найти справку о действии прочих клавиш.

К третьей группе относятся служебные клавиши, располагающиеся рядом с клавишами алфавитно-цифровой группы. К ним относятся клавиши SHIFT и ENTER, регистровые клавиши ALT и CTRL (их используют в комбинации с другими клавишами для формирования команд), клавиша TAB (для ввода позиций табуляции при наборе текста), клавиша ESC (от английского слова Escape) для отказа от исполнения последней введённой команды и клавиша BACKSPACE для удаления только что введённых знаков. Служебные клавиши PRINTSCREEN, SCROLLLOCK и PAUSE/BREAK размещаются справа от группы функциональных клавиш и выполняют специфические функции, зависящие от действующей операционной системы.

В качестве датчиков нажатия клавиш применяют механические контакты (открытые или герконовые), кнопки на основе проводящих материалов, а также ёмкостные датчики. В клавиатуре коды символов, изображённых на клавишах, формирует контроллер (специализированный микропроцессор), последовательно опрашивающий все клавиши.

Скэн-код (scancode) – значение, которое аппаратные средства клавиатуры генерируют, когда пользователь нажимает клавишу, можно сказать, что это однобайтовое число, младшие 7 бит которого представляют идентификационный номер, присвоенный каждой клавише. Вид информативного сигнала в тракте клавиатуры зависит от её интерфейса. Проводные клавиатуры могут иметь интерфейс USB или PS/2 [1].

Структура и спектр сигнала побочных электромагнитных излучений клавиатуры PS/2.

Обмен данными между клавиатурой PS/2 и контроллером системной платы осуществляется асинхронно по последовательному протоколу. Для обмена данными в клавиатуре PS/2 служат две линии – данных (KBData) и синхронизации (KBSync). При передаче скан-кодов клавиатура выставляет очередной разряд данных на линии KBData и подтверждает передачу переводом из «1» в «0» сигнала на линии KBSync.

Общий вид передачи данных от клавиатуры представлен на рисунке 1 [3].

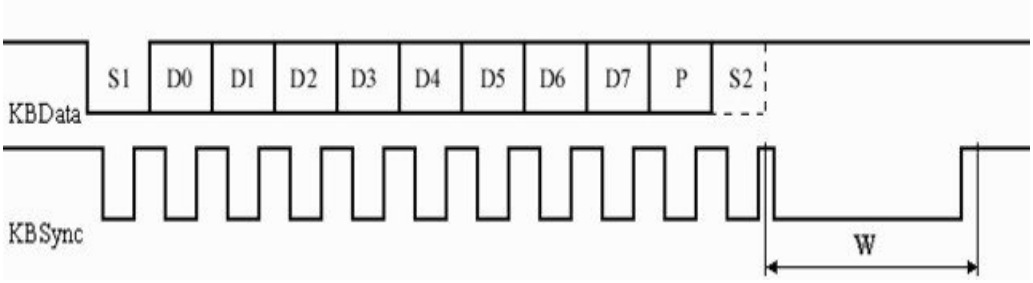


Рисунок 1. Общий вид передачи данных от клавиатуры

На данном рисунке отметим, S1 - стартовый бит, S2 - стоповый бит, D0-D7 – данные, P – бит четности, W – обработка принятых сигналов. Синхронизирующий сигнал представляет собой последовательность чередующихся «0» и «1», причём длительность импульса синхронизации в 2 раза меньше, чем длительность импульса данных.

Таким образом, вид передаваемого в линию данных сигнала (последовательность нулей и единиц, формирующих пакет данных) будет зависеть от передаваемого скэнкода, а, следовательно, будет меняться и частота передачи данных, что подтверждено экспериментально, таблица 1.

Таблица 1.Частоты передачи данных в линию при нажатии некоторых клавиш

Клавиша	Частота синхронизирующей посылки, кГц	Частота передачи данных в линии данных, кГц	Вид передаваемого сигнала
=	12,35	6,25	10101010
1	12,35	3,10	01101000
2	12,35	6,25	01111000
3	12,35	2,48	01100100
4	12,35	6,25	10100100
5	12,35	2,48	01110100
7	12,35	6,25	10111100
-	12,35	2,48	01110010
Tab	12,35	6,25	10110000
Leftshift	12,35	4,11	01001000
LeftCtrl	12,35	3,08	00101000
Leftalt	12,35	6,21	10001000

При прохождении импульсного сигнала от клавиатуры к системной плате по соединительному кабелю, вокруг последнего возникает переменное электромагнитное поле (побочное электромагнитное излучение), спектр которого будет определяться видом импульсного сигнала.

Проведённый анализ показал, что последовательность импульсов, близкая к периодической со скважностью $Q = T/\tau = 2$, подается в линию данных клавиатуры PS/2 при нажатии клавиши «=»: при нажатии этой клавиши в линию поступает последовательность импульсов 01010101011. Поэтому такой режим работы клавиатуры наиболее целесообразно использовать в качестве тестового.

На рисунке 2 в качестве примера приведён спектр ПЭМИ клавиатуры Genius KB-06X2, работающей в тестовом режиме, нажата клавиша «=».

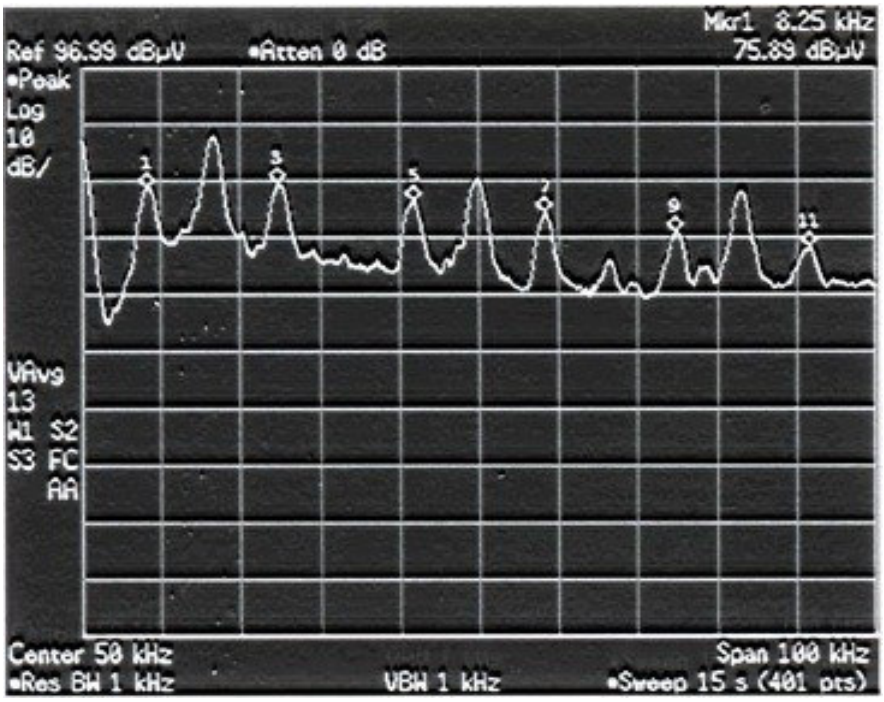


Рисунок 2. Спектр ПЭМИ клавиатуры в тестовом режиме, нажата клавиша «=»

Одновременно с данными по тракту клавиатуры передаётся синхронизирующий сигнала, представляющий собой последовательность чередующихся «0» и «1» – 01010101010101010101. Учитывая, что длительность импульса синхронизирующего сигнала в два раза меньше, чем длительность импульса данных, частота передачи синхроимпульсов должна быть в два раза больше, чем частота передачи данных, и составлять F = 16,5 кГц. На рисунке 2 наблюдаются 1, 3 и 5 гармоники сигнала синхронизации: сигналы на частотах 16,5 кГц, 49,5 кГц и 82,5 кГц. С точки зрения перехвата данных, вводимых с клавиатуры, синхронизирующий сигнал не является информативным.

Методика оценки возможностей перехвата побочных электромагнитных излучений клавиатуры компьютера.

Проведённый анализ показал, что для перехвата ПЭМИ клавиатуры диапазон рабочих частот комплекса должен составлять от 3−6 кГц до нескольких десятков и даже сотен МГц. Ширина полосы пропускания приёмного устройства должна перестраиваться в диапазоне от 1 кГц до 10 МГц с шагом не более 1 кГц. Уровень шумов приёмного устройства, измеренный при полосе пропускания приёмника ΔF = 1 Гц, не должен превышать – 165 дБм.

В комплексе должны использоваться направленные активные широкодиапазонные малошумящие антенны. Блок цифровой обработки сигналов должен обеспечивать обработку перехваченных сигналов в реальном масштабе времени.

При оптимальном приёме импульсного сигнала(каковым является информативный сигнал ПЭМИ клавиатуры) вероятность правильного приёма одиночного импульса с известной фазой (вероятность обнаружения детерминированного сигнала) P_0 рассчитывается по формуле (1):

$$P_0 \approx \Phi(q_c - \Phi^{-1}(1 - P_{fa})) \quad (1)$$

где $q_c = \sqrt{2E_p/N_o}$ – отношение сигнал шум понапряжению на выходе согласованного фильтра (оптимального приёмника);

P_{fa} - вероятность ложной тревоги.

Выражение (1) даёт связь между вероятностью правильного обнаружения, вероятностью ложной тревоги и отношением сигнал/шум на выходе согласованного фильтра и определяет семейство кривых (рисунок 2), называемых кривыми обнаружения (кривыми Неймана – Пирсона) [2].

Для распознавания нажимаемой клавиши клавиатуры необходимо перехватить её скэн-код, передаваемый контроллером клавиатуры в линию передачи данных. Полагая вероятности правильного обнаружения каждого импульса в сигнале скэн-кода независимыми, вероятность перехвата скэн-кода P можно рассчитать по формуле:

$$P_{sc} = \prod_{i=1}^{m} P_{0i} \approx (P_0)^m \quad (2)$$

где $P_{o.i}$ – вероятность правильного обнаруженияi-го импульса скэнкода;

m – количество бит, используемых для передачи скэнкода.

Например, в клавиатуре PS/2 для передачи скэнкода клавиши используется восемь бит. Следовательно, вероятность перехвата скэн-кода будет равна

$$P_{sc} \approx (F0)^8$$

Задаваясь пороговым значением вероятности перехвата скэн-кода P_{sci}и вероятности ложной тревоги P_{fa}из формул (1) и (2), легко рассчитать предельно допустимое (пороговое) значение отношения сигнал/шум σ: для детерминированного сигнала:

$$\sigma \approx \Phi{-}1(\sqrt[m]{Psci}) + \Phi{-}1(1 - Pfa) \quad (3)$$

Для сигнала со случайной фазой:

$$\sigma \approx \Phi^{-1}(\sqrt[m]{P_{sci}}) + \sqrt{2\ln(\frac{1}{P_{fa}})} \quad (4)$$

Пороговое значение отношения сигнал/ шум также может быть определено по графикам (кривым Неймана – Пирсона) [2].

Таким образом, для оценки возможностей по перехвату ПЭМИ клавиатуры необходимо рассчитать отношение сигнал/шум по напряжению на выходе согласованного фильтра (оптимального приёмника) q и сравнить его с пороговым значением σ.

Учитывая, что для оптимального приёмника полоса пропускания фильтра $\Delta F = 1/\tau$, и допуская, что форма импульса прямоугольная, отношение сигнал/шум по напряжению

на выходе согласованного фильтра (оптимального приёмника) q можно рассчитать по формуле:

$$q_c = \sqrt{\frac{2E_p}{N_0}} \approx \sqrt{\frac{2P_p \cdot \tau}{N_0}} = \sqrt{\frac{2P_p}{N_0 \cdot \Delta F}} \qquad (5)$$

где P_p– мощность одиночного импульса на входе разведывательного приёмника. Полагая, что сопротивление антенны и входа приёмника согласованы, формулу (5) запишем в виде:

$$q_c = \frac{U_p}{\sigma_n \cdot \sqrt{\Delta F}}$$

где U_p– напряжение сигнала на входе разведывательного приёмника,

σ_n– среднеквадратическое значение напряжения шума, приведённое ко входу разведывательного приёмника и измеренное при полосе пропускания 1 Гц [3].

Таким образом показана возможность создания приемника в неконтролируемой зоне, если обеспечиваются необходимые уровни мощности сигнала и шумов приемника. Поскольку определены параметры которые влияют на перехват, можем предложить защиту клавиатуры.

Первый способ заключается в экранировании клавиатуры. Пластмассовый корпус обрабатывается металлическим напылением, или заменяется корпусом из тонкого листового железа. Провод заменяется на экранированный.

Второй способ заключается в реализации динамического изменения таблицы скэн-кодов со стороны клавиатуры, и обратное декодирование в стандартную таблицу в PS/2 интерфейсе специальным декодером. Так как основным излучателем является провод клавиатуры, выступающий в роли антенны, даже если удастся перехватить сигнал со скэн-кодом, будет сложно сопоставить его с клавишей, которая была им закодирована.

Выводы:

1. Рассмотрен принцип работы клавиатуры с точки зрения защиты информации.
2. Исследован спектр излучений PS/2 клавиатуры.
3. Определено пороговое отношение сигнал/шум для детерминированного сигнала, и сигнала со случайной фазой, которое показывает возможность перехвата ПЭМИ клавиатуры компьютеров средствами разведки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хорев А.А.* Техническая защита информации: учеб. пособие для студентов вузов. В 3 т. Т.1. Технические каналы утечки информации. М.: НПЦ «Аналитика», 2008. - 436 с.

2. *Gandolfi, K., Mourtel, C., and Olivier, F.* Electromagnetic analysis: Concrete results. In CHES (2001), C¸ etin Kaya Koc¸, D. Naccache, and C. Paar, Eds., vol. 2162 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, pp. 251–261
3. *Martin Vuagnoux, Sylvain Pasini.* Compromising Electromagnetic Emanations of Wired and Wireless Keyboards // EPFL, Lausanne, Switzerland. URL: http://www.usenix.org-events-sec09-tech-f ull_papersvuagnoux.pdf

Г.Н. Черпаченко, П.В. Лобзенко

КЛИЕНТ-СЕВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: сервер, клиент, приложение на языке С++, среда разработки Qt, визуализация контроля.

Разработано приложение для регистрации неисправностей оборудования корпоративной информационной сети предприятия, выполненное в виде клиент-серверной системы. Система отличается оперативностью поиска в базе данных адреса неисправного оборудования и созданием сессии связи с ним без промежуточных операций, а также своевременным программным оповещением о возникающих неисправностях.

G.N. Cherpachenko, P.V. Lobzenko

THE CLIENT AND THE APPLICATION FOR REGISTRATION OF THE STATE INFORMATION NETWORK

North Caucasus branch of Moscow Technical University
of Communications and Informatics,
Rostov-on-Don, Russia

Keywords: server, client app in C++, Qt development environment, visualization of control.

Developed an application for the registration of malfunctions of the equipment of enterprise information the enterprise network, in the form of a client-server system. The system is speed search in database ' faulty equipment and setting up a session connection with it without intermediate operations, as well as timely policy alerts on emerging problems.

В современном мире, предприятия, которые предоставляют услуги связи, стараются постоянно повышать качество обслуживания клиентов. Тут важно время, которое пройдет с момента поступления заявки о некачественно-предоставляемой услуге, до момента, когда клиент станет получать услугу, надлежащего качества. Заявка клиента, за это короткое время, должна пройти такие ступени:

- принятие заявки
- обработка заявки
- восстановление услуги
- закрытие заявки с одобрением клиента

На ступени обработки заявки, нужно сделать много различных действий. Например, если рассматривать заявку, о разрывах интернет соединения, по технологии DSL, с авторизацией PPoE, нужно сделать следующее:

- По данным и специализированного ПО, узнать с какого оборудования и какого порта происходит авторизация клиента.
- Узнать, как часто происходят разрывы связи, и постараться выяснить причину. Возможны проблемы с оборудованием клиента (модем/роутер/компьютер и т.д.), с линией или с оборудованием СПД.

Далее рассмотрим ситуацию, когда вероятнее всего проблема с линией:

- По полученным данным, зайти на Deslam и нужный порт, посмотреть параметры соединения SNR(сигнал/шум) и Attenuation(затухание), если это возможно. Попробовать устранить разрывы, путем смены, более подходящего профиля соединения.
- Вместе с клиентом протестировать услугу. Если замена профиля помогла, и клиент больше не имеет претензий к качеству связи, заявку закрыть.
- Если заменой профилей, не удалось исправить проблему, передать заявку монтеру или линейному инженеру, в зависимости, от текущей проблемы.
- Далее этой заявкой занимается другой специалист.

Таких заявок поступает большое количество. Чтобы как можно раньше, можно было распределить силы, специалистов по устранению таких неисправностей, нужно как можно быстрее утром, отработать поступившие заявки и передать их выездным бригадам. Так же, нужно предупреждать появления заявок – своевременно обнаруживать, проблемы на оборудовании СПД, путем мониторинга. Как только проблема обнаружится, сразу отправить выездную бригаду.

Поэтому, чрезвычайно актуальной является разработка системы контроля исправности оборудования информационной сети, которая бы позволяла сократить время удовлетворения клиентских заявок.

Сейчас в Интернет представлено множество различных программ и ресурсов, выполняющих подобные функции [1-3].

При всех их достоинствах основными недостатками являются:

- отсутствие прямой настройки оповещения для различных сетевых устройств;
- ограниченность максимального количества хостов;
- отсутствие графиков доступности сетевого оборудования.

Разработанное приложение построено архитектурно как клиент-серверная система (рис. 1).

Рисунок 1- Структурная схема приложения

Видно, что основным преимуществом такой организации приложения является «легковесность» клиентской части, когда все основные инструменты, требующие вычислительных ресурсов, находятся на стороне серверной части.

Приложение «Мониторинг» разработано на объектно-ориентированном языке программирования высокого уровня C++ [4] в интерактивной среде Qt4 Gui Application [5]. Это позволило получить кроссплатформенное приложение с возможностью легкого сопровождения и доработок.

На главном окне программы выводится информация о неисправностях сетевых устройств (рис. 2):

- наименование и сетевой адрес устройства;
- визуальный график и секунда потери работоспособности;
- различные фильтры, используемые для ускорения поиска информации;
- различные управляющие клавиши для контроля линии и устройства.

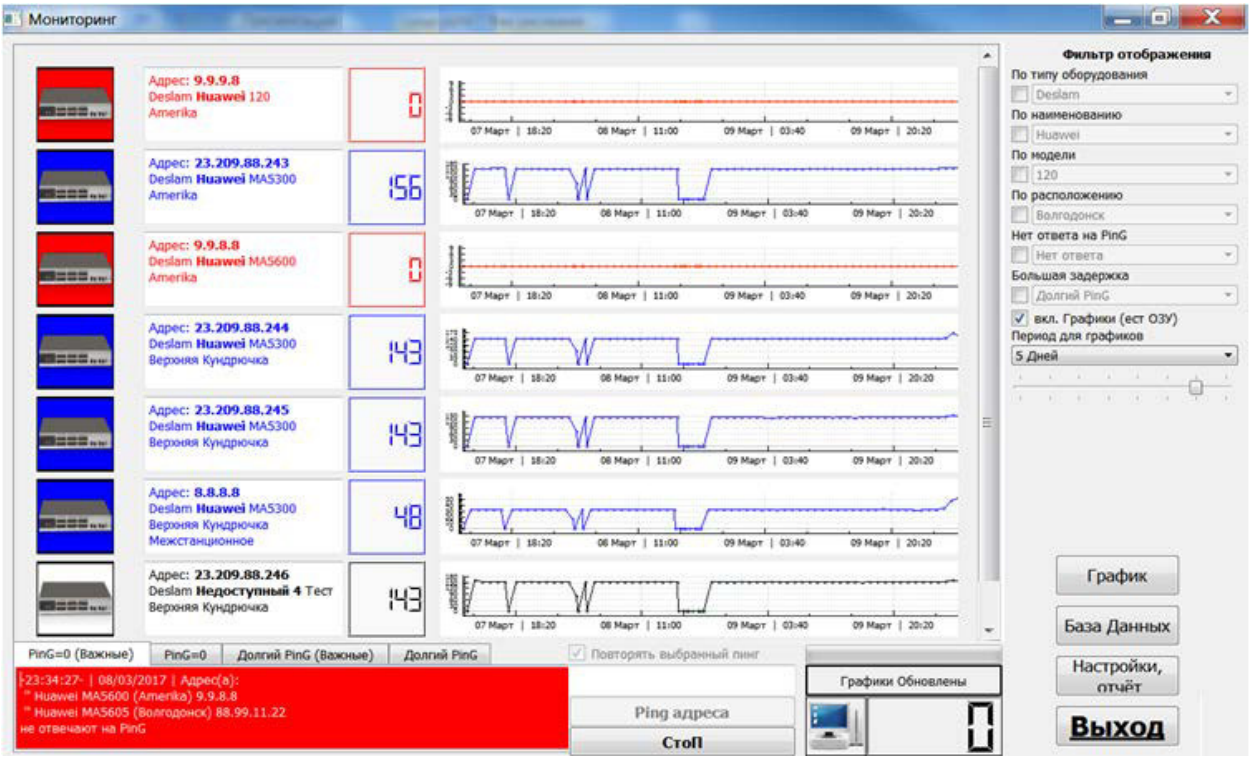


Рисунок 2- Главное окно приложения

Еще одна функция приложения – «всплывающие» оповещения помогает своевременно реагировать на неисправности устройств согласно рангов и приоритетов (рис. 3).

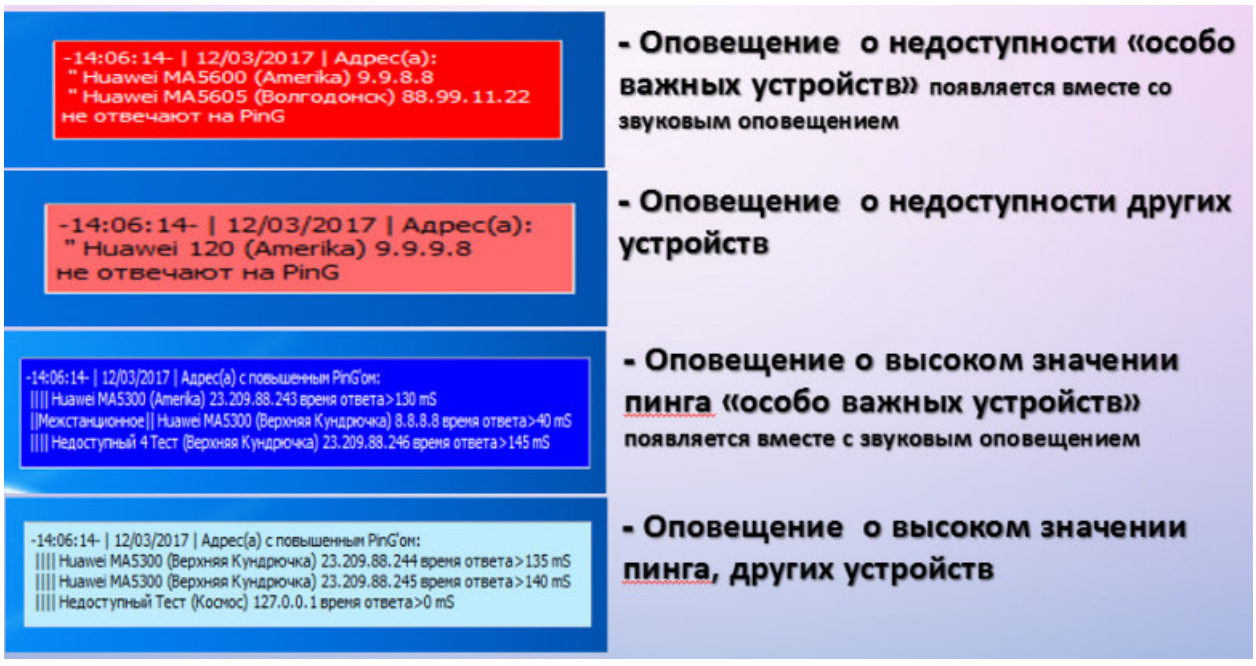


Рисунок 3- Виды «всплывающих» сообщений

Отметим еще одну очень полезную функцию приложения – создание сессии связи с оборудованием. Дело в том, что без этой функции приходится делать до 5-6 переключений в разных сервисах пока такую связь удается настроить, что приводит к

значительным задержкам, особенно при выполнении заявок на устранение неисправностей on-line (4).

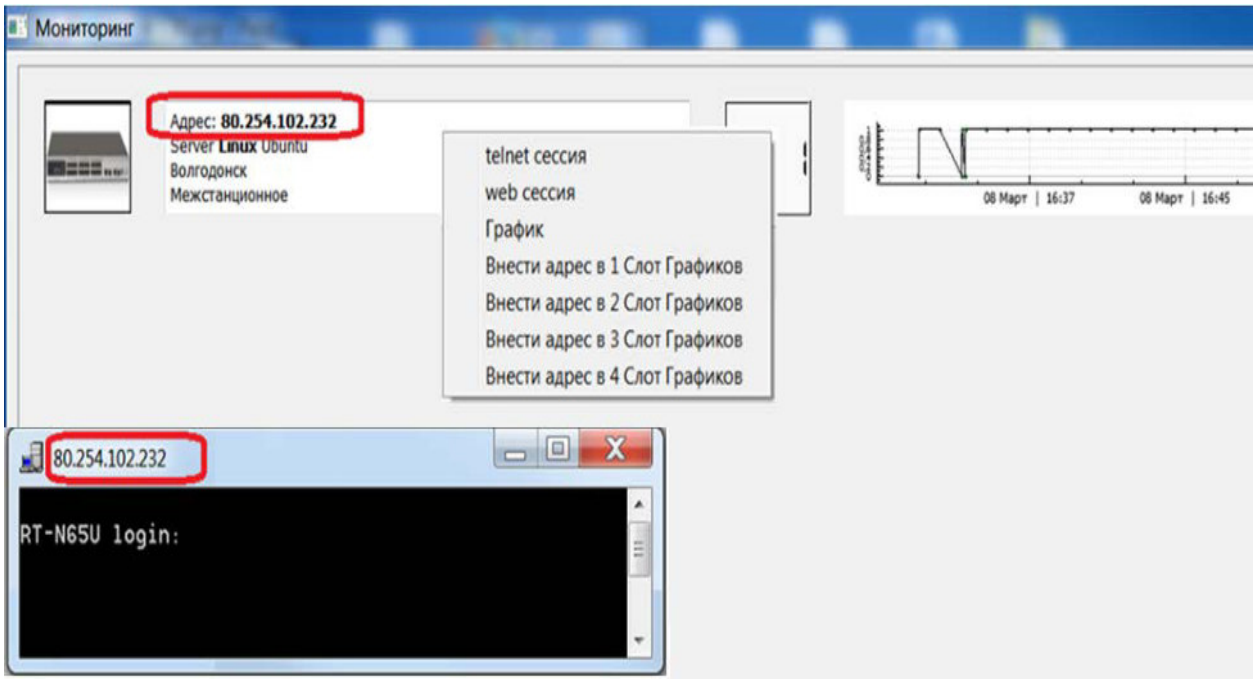


Рисунок 4- Окно создания сессии с оборудованием

Таким образом, использование разработанного приложения позволило:

- На 20 % ускорить выполнение заявок, путем быстрого поиска в базе данных нужного адреса неисправного оборудования и создания сессии связи, с этим оборудованием, без промежуточных операций.
- Детализировать причины неисправностей в сети.
- Оперативно реагировать, на появление неисправностей в сети благодаря своевременному программному оповещению.
- Удобно реализовать необходимые функции в одной программе и оперативно их использовать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ping alert*. Описание. // [Электронный ресурс] *URL: http://soft.mydiv.net/win/download-Ping-Alert.html/.*
2. *Программа администрирования и мониторинга сети LANState*. Описание. // [Электронный ресурс] *URL: http://www.10-strike.com/rus/lanstate/.*
3. SNMP. Описание. // [Электронный ресурс] *URL:* http://www.netwell.ru/.
4. *Бьерн Страуструп*. Дизайн и Эволюция C++, Питер, 2006 – 448с.
5. *Шлее М.* Qt 4.8. Профессиональное программирование на C++, БХВ-Петербург, 2012 - 894с.

А.А. Шадрин, М.П. Трухин, И.В. Соловаров

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ НЕСУЩЕГО КОЛЕБАНИЯ MSK-СИГНАЛА

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: msk-сигнал, msk, восстановление частоты несущей сигнала, модель Simulink

В статье рассмотрена модель алгоритма восстановления частоты несущего колебания MSK-сигнала. Построены характеристики отношений отклонения частоты от заданного значения и среднеквадратическое отклонение частоты при изменении отношения сигнал шум.

A.A. Shadrin, M.P. Trukhin, I.V. Solovarov

FREQUENCY RECOVERY OF MSK SIGNAL

The Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) of the federal state institution of higher learning "Siberian State University of Telecommunications and Informatics", Yekaterinburg, Russia

Keywords: msk signal, msk, signal carrier frequency recovery, Simulink model

The article considers the model of the algorithm for recovering the frequency of the carrier wave of the MSK signal. The characteristics of the ratio of the frequency deviation from the preset value and the standard deviation of the frequency are constructed when the signal-to-noise ratio changes.

Для передачи сигнала в любой сложной системе связи используется канал, в качестве которого может быть окружающая среда или линии связи. При передаче сообщений возникают искажения, которые на приёмной стороне мешают приёму сигнала. Для устранения искажений в условиях непреднамеренных помех используют устройства синхронизации и восстановления дискретного сигнала [1].

Для примера рассмотрим модель восстановления частоты несущей [2], реализованную в среде визуального проектирования Simulink системы моделирования MATLAB. Восстановление частоты несущего колебания происходит в блоке Carrier Frequency Recovery Algorithm, который работает в двух режимах – с восстановлением и без восстановления несущей частоты. Структура блока представлена на рисунке 1. Переключение режимов осуществляется на панели Control Switches переключателем Carrier Frequency Recovery.

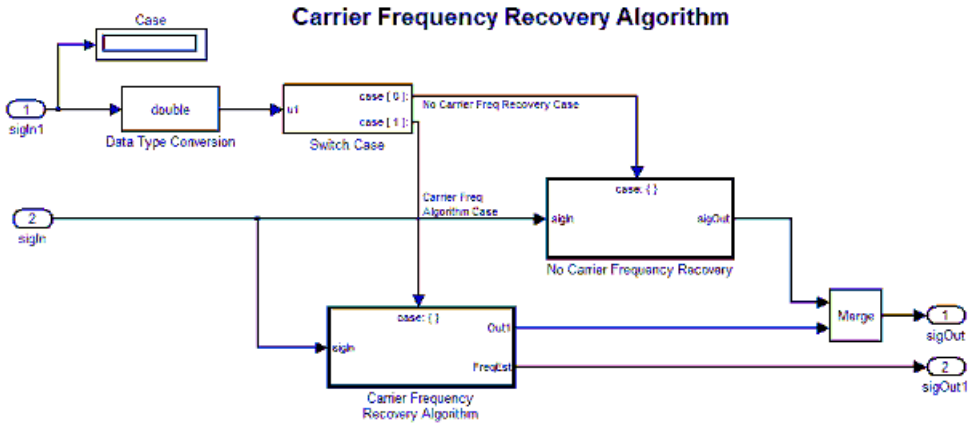


Рисунок 1 – Полная структура блока Carrier Frequency Recovery Algorithm

Рассмотрим режим с восстановлением частоты несущего колебания. Внутренняя структура блока Carrier Frequency Recovery Algorithm представлена на рисунке 2.

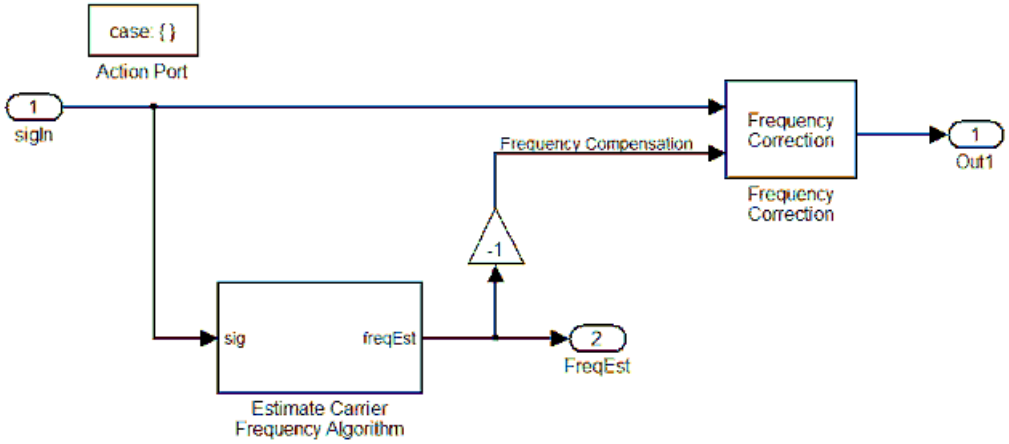


Рисунок 2 – Внутренняя структура блока Carrier Frequency Recovery Algorithm

Входной сигнал с порта sigIn проходит через подсистему блока оценки смещения несущей частоты Estimate Carrier Frequency Algorithm, оценка которого с обратным знаком подаётся на блок корректировки частоты Frequency Correction.

Детальная структура блока оценки смещения несущей частоты изображена на рисунке 3.

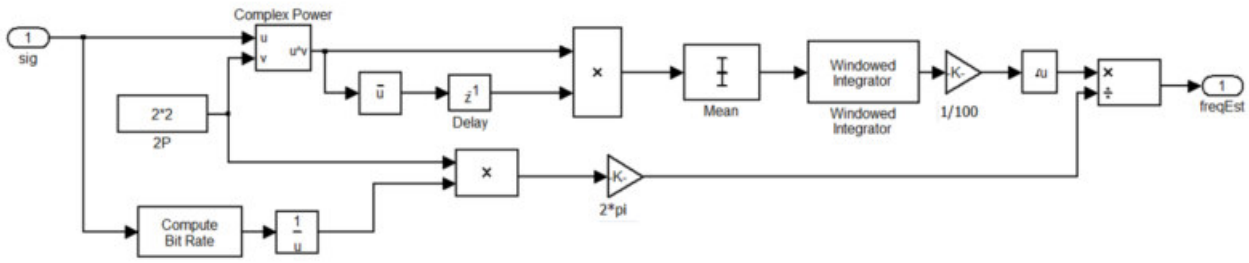


Рисунок 3 – Блок оценки смещения несущей частоты Estimate Carrier Frequency Algorithm

Данный алгоритм обработки основан на возведении в четвёртую степень и перемножении входного комплексного сигнала с задержанным на один такт тем же комплексно сопряжённым сигналом, усреднении и скользящем интегрировании на интервале в 100 отсчётов с последующей нормировкой. После усреднения по фрейму в блоке усреднения от каждого фрейма формируется одно комплексное число, которое поступает на скользящий интегратор. Изменение интенсивности шума приводит к тому, что соответственно изменяются все числовые данные, определяющие состояние оьдельных элементов блока. Величина временного интервала, необходимая для подсчёта частоты, вычисляется в блоке Compute Bit Rate.

Таким образом, в блоке Estimate Carrier Frequency Algorithm действительно находится частота несущей, которая в этой модели играет роль смещения относительно принятой нулевой несущей.

В выходном блоке корректировки несущей частоты Frequency Correction исключается нарастающая фазовая ошибка в принятом сигнале за счёт частотного сдвига несущей. Созвездия после прохождения сигнала через радиоканал с белым гауссовым шумом (AWGN-канал) и после корректировки несущей частоты изображены на рисунке 4.

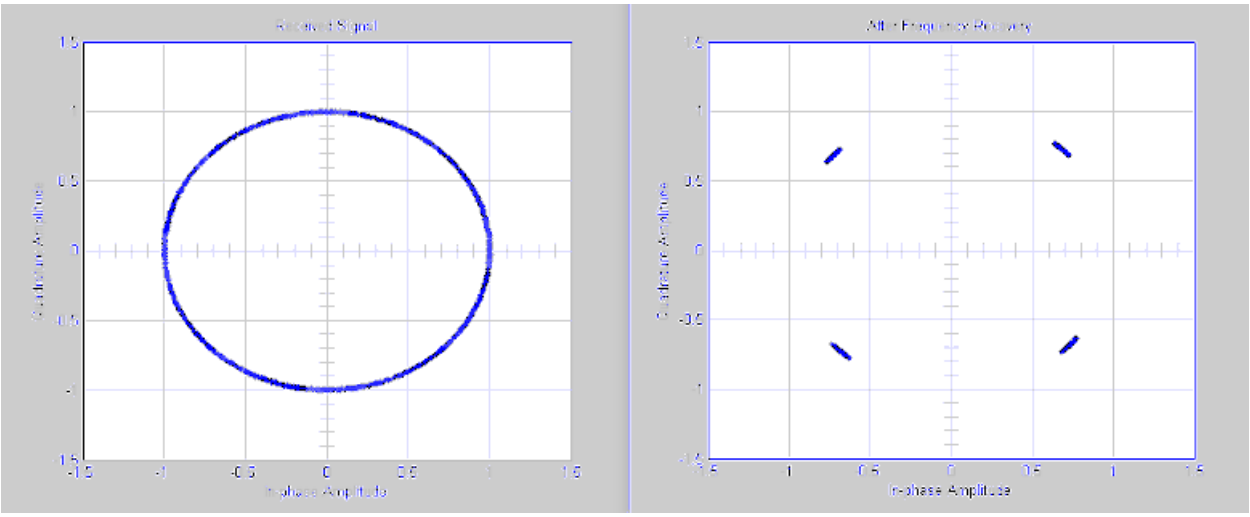


Рисунок 4 – Созвездия сигнала после прохождения сигнала через AWGN канал и после корректировки несущей частоты

На рисунке 5 представлена зависимость среднего значения восстановленной частоты от отношения сигнал/шум, полученная при моделировании блока Carrier Frequency Recovery Algorithm. Также на рисунке 6 приведена соответствующая зависимость среднеквадратического отклонения частоты от отношения сигнал/шум.

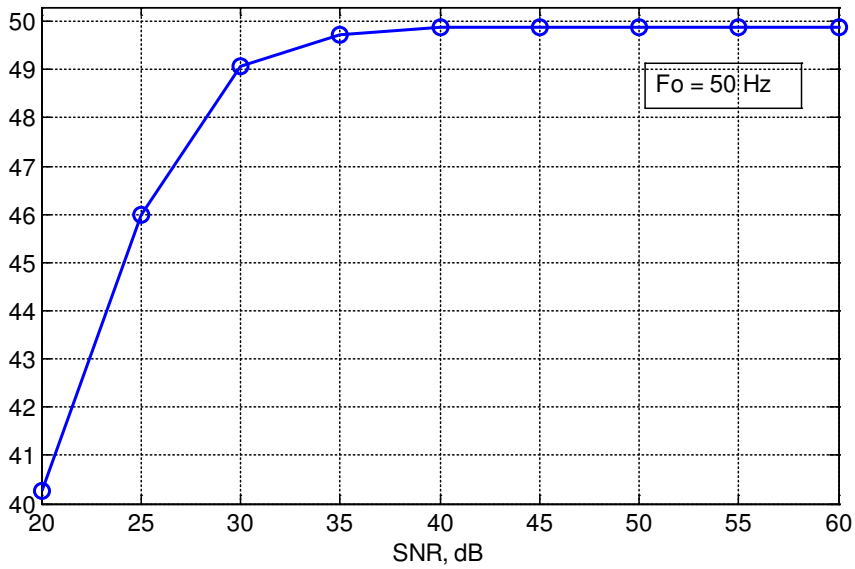


Рисунок 5 – Оценка несущей частоты при приеме MSK-сигнала

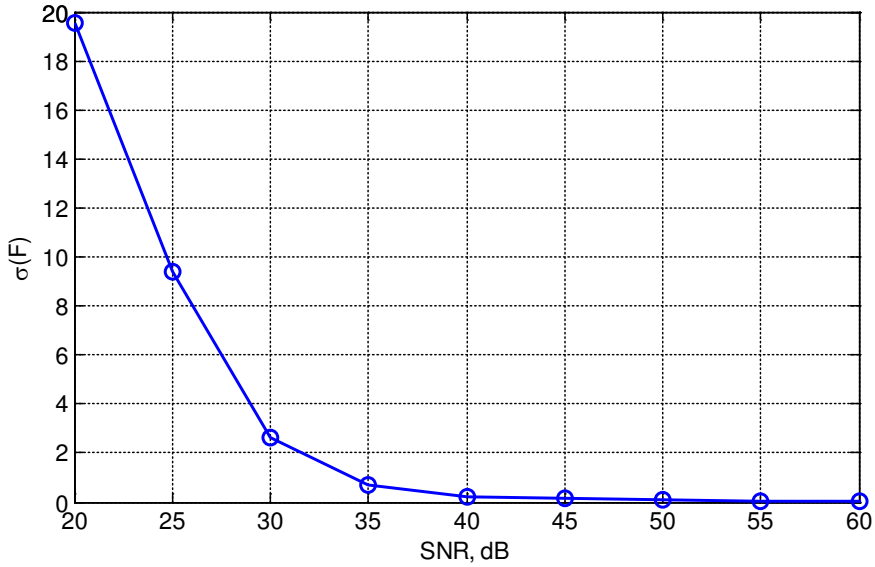


Рисунок 6 – Оценка СКО несущей частоты при приеме MSK-сигнала

На основании проведенного анализа модели восстановления частоты несущего колебания в системе связи с MSK-модуляцией можно сделать следующие выводы:

1. При величине отношения сигнал/шум, меньшей 30 дБ, отклонение от заданной частоты равно более 1 Гц, что недопустимо в условиях современного радиоэфира.
2. Среднеквадратическое отклонение частоты становится менее ощутимым при величине отношения сигнал/шума, большим 35 дБ.
3. Сложность алгоритмов восстановления частоты несущего колебания напрямую зависит от вида применяемой модуляции.
4. Для каждого применяемого вида модуляции эти алгоритмы должны быть разработаны отдельно.

5. Помимо восстановления частоты несущего колебания не стоит забывать о восстановлении таких весьма важных параметров как восстановление времени прихода символов и фазы несущей дискретного сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Communication system / S. Haykin – 4th ed.p. cm - 2001. – 816c.
2. MSK Signal Recovery [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.mathworks.com/help/comm/ug/msk-signal-recovery-in-simulink-1.html (Дата обращения 14.03.2017)

А.М. Шаповалов, А.Ю. Опарин

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЛИ ГУМАНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ БУДУЩЕГО

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: Автоматизация, программное обеспечение, контакт-центр, технологии, замещение человека.

В данной статье рассматривается автоматизация процессов и замещение людей в отраслях связи.

A.M. Shapovalov, A.Yu. Oparin

AUTOMATION OR HUMANIZING ECONOMY OF THE FUTURE.

North-Caucasian Branch of the Order of the Red Banner of Labor of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Moscow Technical University of Communication and Informatics", Rostov-on-Don, Russia

Keywords: Automation, software, call center, technology and human replacement.

This article discusses how to automate processes and replacement of people in communication industries

Technological replacement is the mechanism by which innovations in equipment and organization processes save human resources, thereby allowing fewer workers to produce more products at a lower cost. Marx and Engels demonstrated that in the process of mutual

competition, capitalists seek to increase profits. Those who cannot, must leave the market. Why this did not happen for 160 years that have passed since the theory was stated? As is well known, in those places where socialist regimes came to power, this change was called not capitalist economic crisis. It is because no matter what happens the final capitalist collapse due to technological move. Marx and Engels focused their attention on the move in the labor of the working class, they did not account the growth of the middle class "white collar", administrative and office workers, educated professionals. That is why one can say the return of the crisis caused by technological development. Up to the 1980's or 1990-h years, mechanization mostly replace physical labor. Now, on a new coil of development technologies, we have replacement administrative personnel, the reduction in the average class. Information launched the second great era of reduction of volumes of work, replacement of communication— that is, middle-class workers are doing. While the working class has decreased due to mechanization, capitalism was saved by growth of the middle class. Now the computerization, Internet and a large number of new electronic devices begin to displace the middle class.

Today automation of work is an Automation of processes and algorithms. In other words, the mould not bakery bread by hand, providing this work to equipment and conveyor belts. But to completely replace the person yet far: nodes are not perfect, they are needed to improvement, cleaning, repair. Many processes are computerized, however of their imperfections until the person performs main work, where as computers laid subsidiary and controlling functions (safety function). And hardly, if robots will replace people, people rely entirely on electronics.

However, the technology does not stand still:

- The company "Yandex" in 2015, announced the start of work on the establishment of a special information agency in which writing journalistic texts will be partly assigned to the automated system. Also in the realm of systems it is planned to transmit weather issues and traffic jams on the roads;
- not lagging behind rival Google, which, together with the Tesla is working on developing the car with autopilot. While work is progressing very slowly because the autopilot must be able to assess the situation on the road, predict human actions and its depending on the circumstances. But people on the road is unpredictable. And if you exclude the factor of human behavior, self-managed cars can enter the daily life within a few years;
- Company Natural Machines considering creating printers allowing menus to suit all tastes. Unlike simple breadmaker machine, etc., can be downloaded to the printer before the 5-minute completely different ingredients, then dish will quickly "printed". Although so far the experiments don't quite fortunate— food more like fast food, but there is every prospect that elite chefs will also remain not destiny. Chinese Harbin already has a restaurant in which almost the entire staff (from waiters to chefs)submitted to the robots;
- NASA is actively introducing Robotics in space. To make it easier to analyze the surface of space bodies — bots may not need neither oxygen nor rest.

Today, robots are already securely settled in hotels and airports, have studied several languages and have become good cleaners. Opened in mid-July the year 2015 in Japan: with robotic staff even offers service — live for 150 dollars. United States one day in triple room with robots-guests. Surprisingly, and in building robots begin to gradually replace human: new town Corporation Google in mountain view will build special machines that combine the functions of traditional faucets and maneuverability.

Today, Call centers are an integral part of the business. Customer call centers have evolved over the 20-th century, starting with simple agents operators who answered phone calls. Gradually more and more centers expanded and began to use the modernized means of telecommunications. The emergence of the market of services outsourcing call centers in Russia begins in 1999 year. Today they are not only optimize the work with clients, but also to promote the company.

Contact Center market is directly connected with the activity of the business. Many companies prefer not to have such in his State Department and rely on outsourcing.

Software for automation of customer service centers, in the past few years is developing dynamically. On the market today is going to allow call-centers with contact centers, which provide more opportunities for maintenance of communication with clients.

Services contact centers have become well known clients, market players will receivethe qualified requests, quality services leading contact centers corresponds to the level of leading foreign players. An increasing number of Russian contact centers and their employees receive special foreign certificates of conformance of business processes organization required standards in the industry.

According to the polls, only 7.6% of the ICMI call centers use exclusively traditional telephone communication with the client. The rest apply integrated methodology. Nearly 85.6% of all call centers communicate with customers through email, 76.4% use fax, 54.3%-IVR telephony *, 52.8% provide an opportunity for customers to self-service online, 15.6%-Web chat and only 4.3% * use VoIP.

On the world market of outsourcing contact centers present a high level of competition. In the year 2015 remains industry leader Teleperformance with 4.4% market share. This is followed by Convergys, TeleTech, Sykes and others.

* IVR telephony-voice menu brings together all the services of a telephony company and in fact is its most important communication node. IVR (interactive voice response) is a system of voice messages, which routes the incoming calls.

Call center's software is the basis for its functioning. It is the element in the call center organization, which has a direct impact on its success. Complex software programssimplify call-center employees.

LiveTex-multifunctional complex for work set features: chat on the website, virtual assistant, mobile widgets, chat and call, online statistics, chat in a mobile application, online monitoring

CallBackKiller is a free service of reverse calls with payment only for talk time according to the tariffs of the operator. set features: Chat, chat widgets on the site and callOnline-stats

LPtracker is a multi-functional service, feature set: backlink service calls, call recording tools, analytics, Geolocation

Oktell-multifunctional complex for work, a set of functions: monitoring of calls and messages, live chat, call distribution among available operators.

In the Russian telecommunications company Rostelecom in contact Centre employs more than 6000 operators in 15 cities in Russia. They can handle up to 6 million. calls. Now in "Rostelecom" developed automatic system OMNI-chat. Call Center operator can receive in one window text requests from users of various social networks, instant messengers, etc. All requests are aggregated into a single stream, the software recognizes the type of query the user and

answers the standard questions. This system is able to handle up to 40 per cent. From 1 July 11, 2016 year of pilot introduction of online chat Omni LiveTex platforms into a single web-based contact center operators Rostelecom in all theatres company. During this period, contact centers received more than 6.6 thousand downloads through Single personal cabinets and almost1.5 thousand downloads through mobile apps, but only between subscribers and operators of contact centers took place more than 10.8 thousand conversations. Using the online chat feature has increased the efficiency of processing requests from clients: the average response time was only 37 seconds. The average duration of the conversations between operators and customers contact centers was 12 minutes. Innovation will reduce the total number of employees and 30% of payroll within 2-3 years

The first question that arises from society if robots will replace people — how it will affect the global economy? Indeed, many people, especially third world countries (and for developed China is also an issue) will lose their livelihood. Few will be able tobe retrained, but as will survive the rest? Corporations do not suffer losses, as the drop in demand will be offset by cheapening production, but the stratification of society in terms of revenue will be even bigger. "The real problem I see is that Automation leads to greater inequalities," says David Otor, Economist at MIT.

Meanwhile, experts believe that this development is not the fact. Yes and predict exactly how the labour market will behave, you can't — no historical examples (in times of technological breakthrough was not so much a big overpopulation of the planet and urbanization). University of Chicago studies have shown that the introduction of automated technologies did not lead to unemployment, but rather contributed to the reduction in the level of wages. After all, lowering prices and increasing demand have contributed to the emergence of new professions.

By the way, some analysts believe that Robotics is a step on the road to communism. What actually lead automation, time will tell, as experts predict that robots will replace people in most of the areas after 20 years.

М.В. Юферев, А.Н. Езин

ФРЕЙМВОРК КАК ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Россия

Ключевые слова: фреймворк, шаблон проектирования, архитектура MVC, PHP-фреймворк, разработка web-приложений

В статье исследованы различные фреймворки, их достоинства и недостатки, приведены концепции и случаи, в которых можно применять PHP фреймворк, а так же выбран наиболее оптимальный фреймворк для разработки web-приложений.

M.V. Yuferev, A.N.Ezin

FRAMEWORK AS THE MAIN TOOL FOR DEVELOPING A WEB APPLICATION

Ural Technical Institute of Communications and Informatics (branch) FGBOU VO "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg (URTISI SibGUTI), Russia

Keywords: Framework, design pattern, MVC architecture, PHP framework, web application development

The article explores the various frameworks, their advantages and disadvantages, presents the concepts and cases in which you can apply the PHP framework, as well as selected the most optimal framework for developing web applications.

1.1 Фреймворк программной системы

Фреймворк это набор всевозможных библиотек (инструментов) для быстрого решения повседневных задач.

Фреймворк (англ. framework) — в информационных системах структура программной системы; программное обеспечение, которое облегчает разработку и объединение нескольких компонентов большого программного продукта. В отличие от библиотек, которые объединяют набор подпрограмм близкой функциональности, фреймворк содержит в себе большое количество различных библиотек. Употребляется также слово каркас, а некоторые авторы используют его в качестве основного, в том числе не базируясь вообще на англоязычном аналоге. Можно также говорить о каркасном подходе как о подходе к построению программ, в котором любая конфигурация программы строится из двух частей: первая, постоянная часть – каркас, не меняющийся от конфигурации к конфигурации и несущий в себе гнезда, в которых размещается вторая, переменная часть – сменные модули (или точки расширения).

1.2 Концепция PHP фреймворков

PHP фреймворки за последнее время стали популярны, и являются основной платформой для разработки веб-приложений, иначе говоря они обеспечивают основную структуру приложения. Использование PHP-фреймворков, позволяет снизить нагрузку на процесс разработки, избавиться от проблемы повторяющегося кода, быстро создавать приложения и делает процесс создания приложения более простым и функциональным. Без использования PHP-фреймворков, становится гораздо труднее создавать веб-приложения, сопровождать и модернизировать их.

PHP-фреймворки устраняют ошибку «повторения кода» распространенную при разработке приложений и систематизируют процесс разработки. Фреймворки являются мощным инструментом для быстроразвивающегося языка программирования как PHP, которые помогут структурировать ваш код.

Использование PHP-фреймворков помогает в ускорении процесса программирования, но в большинстве случаев это зависит от уровня профессионализма разработчика.

Как правило, PHP-фреймворки применяются для разработки проектов сложнее, чем 2-х-3-х страничный сайт с текстовыми страницами.

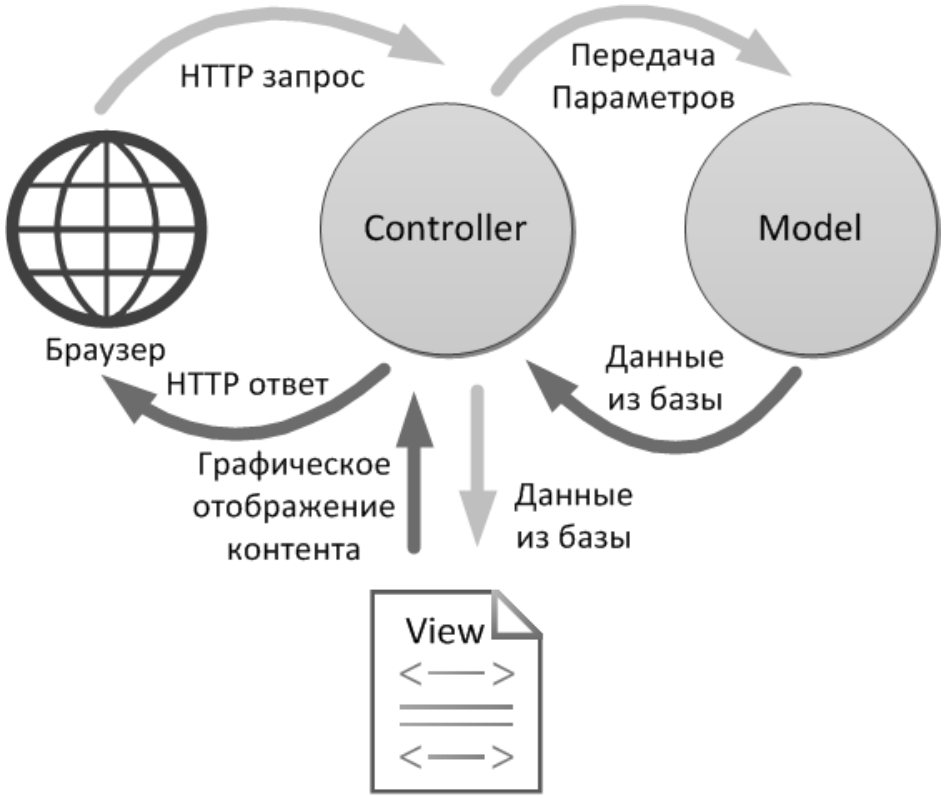


Рис 1.1. Концепция PHP фреймворков.

Model View Controller (MVC) – это архитектурный шаблон проектирования, позволяющий отделить бизнес-логику от пользовательского интерфейса и выделить область логики, которая производит обмен информации между базой данных и пользовательским интерфейсом. Использование данного разделения позволяет разделять логику приложения, не затрагивая интерфейсной части, а в случае изменения интерфейса – очень удобно для дизайнеров и верстальщиков. Это позволяет избежать путаницы и упрощает весь процесс разработки.

Когда говорится об архитектруе MVC, то имеется в виду:

- Model – часть архитектуры, взаимодействующая с базой данных;
- View – часть, которую непосредственно видит пользователь, то есть графический интерфейс;
- Controller – это область логики, которая контролирует и управляет всеми ее составляющими и позволяет передавать данные пользователя из View в Model.

Большинство современных фреймворков берут за основу именно архитектуру MVC. Так же в современном фреймворке используется шаблон проектирования Front Controller, который, в зависимости от запроса, перенаправляет его на нужный контроллер. Без Front Controller разработка с применением фреймворка не имела бы смысла. В настоящее время большинство PHP проектов построены при помощи этой архитектуры.

Преимущества использования фреймворков:

- удобная разработка нестандартных проектов. Ни один крупный нестандартный не делают на готовой CMS — они для этого не предназначены. Все оригинальные проекты разрабатывают на фреймворках;
- гибкость разработки и развития проекта;
- эффективное использование ресурсов сервера;
- открытый код фреймворка;

– легкость и надежность веб-разработок. Фреймворк состоит из базовых, проверенных, отлаженных функций и операций. Построен на базе объектно-ориентированного программирования;
– постоянное развитие и совершенствование фреймворка;
– большой объем сопроводительной документации, примеров по разработке на разных языках;
– мировая популярность, большое количество разработчиков.
– легкость сопровождения проекта в дальнейшем, так как разработка с применением фреймворка основана на определенных соглашениях.
– фреймворк позволяет сконцентрироваться на решении архитектурных задач, а не базовых как при разработке без его применения.
– фреймворк позволяет узко решать поставленную задачу.

Недостатки применения фреймворков:

– для каждого класса отдельный файл;
– сложность в освоении.

При выборе оптимального PHP фреймворка для разработки сайта следует придерживаться следующих критериев:

– Поддержка баз данных.

Вопрос поддержки баз данных в PHP фреймворках очень важен. В зависимости от используемой базы данных для разработки проекта приходится выбирать тот или иной PHP фреймворк.

– Поддержка сообщества.

Для быстрого поиска решения фреймворк должен иметь хорошее сообщество с точки зрения размера и в готовности помочь. Плюсом является наличие русскоязычного сообщества.

– Документация.

Некоторые фреймворки имеют устаревшую документацию, часть не имеют русской документации. В связи с этим перед выбором фреймворка стоит убедиться в том, что документация актуальна, часто обновляется и дополняется.

– Производительность.

Ключевым фактором при выборе является производительность фреймворка, поддержка кэширования на достаточном уровне.

– Безопасность.

Устойчивость к различного рода атакам играет большую роль, поэтому перед выбором фреймворка необходимо тщательно проанализировать наличие встроенных средств для защиты от атак.

– Скорость разработки.

На одном фреймворке проект разрабатывается быстрее, на другом нет. Это следует учесть при выборе.

– Model View Controller Архитектура.

Фреймворк также должен использовать MVC архитектуру. Большинство PHP фреймворков имеют библиотеки, плагины, модули и расширения. Это удобно реализация функционала, усовершенствования и ускорения процесса разработки.

– Скорость развития фреймворка.

Это позволяет избежать использования старого или недоработанного кода при разработке.

– Обратная совместимость.

Не все фреймворки обратно совместимы. При обновлении фреймворка может возникнуть необходимость в полной переделке проекта. Часть фреймворков условно обратно совместима. Руководство по переходу на новую версию фреймворка является плюсом.

– Наличие встроенных javascript-библиотек.

Одним из факторов выбора фреймворка может являться наличие или отсутствие встренных javaScript – библиотек.

– Поддержка со стороны хостинга.

Некоторые фреймворки требуют PHP 5.3, а часть работает на PHP 4. Если ошибиться в выборе, то проект не будет работать на хостинге.

При выборе PHP фреймворка необходимо убедиться, что он имеет достаточную функциональность и хорошую поддержку, что может вызывать различные ошибки и вопросы, которые в конечном счете мешают и замедляют процесс разработки.

Выбирая PHP фреймворк необходимо обращать внимание на то, насколько он легок в освоении и необходимо убедиться, что база данных и веб-сервер совместимы с архитектурой выбранного фреймворка.

Если не придерживать вышеуказанных рекомендаций, то производительность разработки проекта может быть снижена.

1.3 Обзор современных фреймворков

После проведения анализа о фреймворках было выделено 6 популярных PHP-фреймворков, которые отвечают требованиям (удобство разработки, скорость и стабильность):

– Zend Framework;
– CakePHP;
– Kohana;
– Codeigniter;
– Symfony;
– YII.

1.3.1 Zend Framework

Zend framework – это PHP-фреймворк, разработанный компанией Zend, сотрудники которой являются непосредственными авторами языка PHP. Поэтому он базируется на простоте, объектно-ориентированных принципах, дружественной лицензии и тщательно тестируемом коде с применением agile методов.

Особенности фреймворка:

– компоненты ориентированы на PHP 5 и E_STRICT- совместимы;
– встроенный генератор кода;
– архитектура «используй только то, что необходимо» с минимальными зависимостями компонентов;
– использует легко расширяемый шаблон проектирования MVC, поддерживает макеты и PHP-скрипты представления по-умолчанию;
– поддержка различных баз данных, включая MariaDB, MySQL, Oracle, IBM DB2, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, SQLite, and Informix Dynamic Server;
– гибкая подсистема кэширования с поддержкой множества хранилищ.

Недостатки:

– громоздкий;
– многослойный;
– медленный без кеширования;
– сложная архитектура, без глубокого понимания шаблонов проектирования сложен в освоении;
– слабое русскоязычное сообщество;
– низкая скорость развития;
– последняя версия требует PHP версии 5.2;

– нет ORM.

1.3.2 CakePHP

CakePHP – быстроразвивающийся фреймворк для PHP. Данный фреймворк предоставляет расширяемую архитектуру для разработки, обслуживания и развертки веб-приложений. Используется шаблон проектирования MVC, как и в объектно-реляционных фреймворках. Основной парадигмой CakePHP является увеличение продуктивности разработки и уменьшение кода.

Особенности:

- совместимость с PHP4 (до версии 1.3 включительно) и PHP5;
- компоненты для авторизации, ограничения доступа (ACL), управления сессиями, cookies, представления древовидной информации (в виде Nested Sets);
- хелперы (компоненты) для генерации и заполнения форм, деления на страницы (paginate), управления кэшем, JavaScript (в том числе и AJAX);
- механизм интернационализации для работы сайта на множестве языков;
- генерация SQL-запросов, в том числе для таблиц с отношениями один ко многим и многие ко многим, ORM;
- скаффолдинг и генерация CRUD-страниц для сущностей, Router::mapResources с Put Delete Get Post;
- автогенератор кода Bake;
- миграции;
- консольная интеграция, класс Shell и задачи Task;
- плагины (как отдельные расширяемые приложения), компоненты и поведения;
- поддержка Simple Test;
- слои (layouts) и темы (Themes);
- низкий порог вхождения — быстрая разработка, основана на соглашениях (взят курс на Ruby On Rails).

Недостатки:

- низкая производительность;
- слабая документация;
- неустойчивость к CSRF-атаке;
- нет русскоязычного сообщества;
- сложный в понимании ACL;
- строгие соглашения по именованию;
- низкая скорость развития.

Изначально создавался как клон популярного Ruby on Rails, и многие идеи были заимствованы именно оттуда.

1.3.3 Kohana

Kohana – ветвь PHP-фреймворка CodeIgniter под именем Blue Flame. Главной Причиной ответвления стал переход к более открытой для общественности модели разработки, поскольку многие пользователи оставались недовольны скоростью разработки и исправления ошибок в CodeIgniter. В июле 2007, после того, как создатель и владелец CodeIgniter подтолкнул новый фреймворк к созданию собственной документации и посоветовал переименовать проект, Blue Flame был переименован в Kohana.

Особенности фреймворка:

- высокая безопасность;
- прокомментированный код и встроенные средства отладки и профилирования;
- прост в понимании;
- использует парадигму MVC;

– поддержка UTF-8;
– легко расширяем;
– есть ORM;
– распространяется по лицензии BSD, то есть полностью свободен для коммерческого и бесплатного использования.

Недостатки:

– устаревшая, редко обновляющаяся документация;
– слабая обратная совместимость между версиями;
– слаборазвитый форум, большинство разработчиков общается через IRC;
– нет никаких гарантий, что проект будет развиваться в будущем;
– нет русскоязычного сообщества

1.3.4 Codeigniter

CodeIgniter – MVC фреймворк с открытым исходным кодом, написанный на языке программирования PHP, для разработки полноценных веб-систем и приложений. Разработан компанией EllisLab, а также Риком Эллисом и Полом Бурдиком.

Особенности фреймворка:

– хорошая документация;
– развитое сообщество;
– фреймворк не создавает структурных ограничений и конвенций;
– программисту не требуется учиться пользоваться генераторами кода из командной строки;
– работает практически на любом хостинговом плане, который имеет поддержку PHP версии 5.1 и выше;
– один из быстрых и не требовательных к ресурсам фреймворков;
– поддержка баз данных MySQL, PostgreSQL, MSSQL, SQLite, Oracle.

Недостатки:

– поддержка PHP4 влечет за собой лишний код;
– нет встроенной ORM;
– нет встроенной системы разделения прав;
– медленное развитие;
– неустойчив к CSRF-атакам.

1.3.5 Symfony

Symfony – PHP фреймворк, написанный на PHP 5 и имеющий большую библиотеку классов. Архитектура имеет полезные компоненты и отличные инструменты предназначенные для создания сложных веб-приложений. Symfony использует паттерн Model-View-Controller (MVC) и предлагает быструю разработку и управление веб-приложениями, позволяет легко решать рутинные задачи веб-программиста. Symfony бесплатный и публикуется под лицензией MIT.

Особенности фреймворка:

– поддержка множества баз данных (MySQL, PostgreSQL, SQLite или др. PDO-совместимая СУБД);
– встроенные классы для работы с email;
– гибкая система шаблонов в представлении;
– встроенный кодогенератор;
– поддержка французского спонсора Sensio;
– гибкий;
– есть Dependency Injection;
– высокая производительность.

Недостатки:

- сложный в освоении;
- подходит только для больших проектов;
- отсутствие русской документации;
- последняя версия требует PHP 5.3;
- нет встроенной ORM;
- нет русскоязычного сообщества.

1.3.6 YII

Yii – высокоэффективный, основанный на компонентной структуре PHP-фреймворк для разработки масштабных веб-приложений, который позволяет максимально применить концепцию повторного использования кода и может значительно ускорить процесс веб-разработки.

Особенности фреймворка:

- высокая производительность;
- интерфейсы DAO и ActiveRecord для работы с базами данных (PDO);
- поддержка интернационализации;
- кэширование страниц и отдельных фрагментов;
- перехват и обработка ошибок;
- ввод и валидация форм;
- аутентификация и авторизация;
- использование AJAX и интеграция с jQuery;
- генерация базового PHP-кода для CRUD-операций (скаффолдинг);
- поддержка тем оформления для их лёгкой смены;
- возможность подключения сторонних библиотек;
- миграции базы данных;
- автоматическое тестирование;
- поддержка REST;
- активное русскоязычное сообщество.

Недостатки:

- молодой.

1.4 Сравнение фреймворков

В таблице 1.1 приводится сравнение фреймворков по основным критериям.

Таблица 1.1 Сравнение фреймворков

	Zend Framework 1	CakePHP	Code Igniter 2	Kohana 3	Symfony 2	Yii 1.1
Описание	Академическ и грамотный код. Очень гибок. Требует хорошего знания PHP и ООП. Придётся доводить под себя прежде, чем использовать. Сухая, но достаточно полная техническая документация	Много встроенного функционала. Всё довольно тесно интегрирован о. Документация не в лучшем состоянии.	Почти микрофреймв орк. Очень лёгок для изучения. Отличная документация. Гибок. Легко использовать сторонний код.	Быстр, гибок. Свой подход к модульности. Скудная документация.	Активно использует командную строку, yaml. Мощный ORM, хорошая система view, генераторы кода, dependency injection для всего. Изучить очень непросто, несмотря на хорошую документацию	Проще в изучении, чем Zend и Symfony. Вобрал лучшее от Rails. Неплохой AR, хорошая система view, генераторы кода. Довольно тесная интеграция.
Необходим ый уровень знаний	PHP5, ООП, шаблоны проектирован ия.	PHP, ООП, умение разбираться в исходном коде фреймворка.	PHP, Основы ООП	PHP5, ООП	PHP5, ООП, ORM, консоль.	PHP5, ООП.
Предполага емые проекты	Средние — большие	Маленькие — средние	Маленькие — большие	Маленькие — большие	Большие	Маленькие — большие
PHP5.2	Да	Да	Да	Да	Нет	Да
Жёсткая структура каталогов	Нет (рекомендаци и)	Да	Да	Да	Да	Нет (рекомендации)
Официальн ая поддержка интернацио нализации	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Сложность установки и настройки	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая	Средняя
Требует настройки	Много	Немного	Немного	Немного	Много	Немного
Полная поддержка ORM	Нет	Да (не очень удобна)	Нет (можно использовать Doctrine)	Да	Да (Propel, Doctrine)	Active Record
Документац ия и примеры	Хорошая	Имеется	Отличная	Скудная, отстаёт от кода	В процессе написания	Отличная
Unit-тесты для исходного кода фреймворка	Да	Да	Нет		Да	Да
Англоязычн ое сообщество	Да	Да	Форум, Wiki, туториалы, блоги	Форум, блоги	Да	Да
Русскоязыч ное сообщество	Да	Почти не активно	Документация , форум, блоги	Нет	Нет	Документация, форум, блоги
Лицензия	New BSD	MIT	Своя	BSD-style	MIT	New BSD

Заключение

Из приведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее простым и функциональным является Yii фреймворк. Отличительными особенностями данного фреймворка являются:

Для русскоязычных пользователей на официальном форуме фреймворка создан собственный раздел, что позволяет легко найти ответы на вопросы. Большой плюс поддержки Yii в том, что есть возможность пообщаться или задать вопросы разработчику Yii на форуме.

Фреймворк поддерживает последнюю версию PHP, что позволяет использовать весь функционал при обьектно ориентированном программировании. PHP ниже 5ой версии не поддерживается в Yii, поскольку поддержка младших версий может привести к меньшей гибкости и удобства ООП.

Yii предоставляет встроенный генератор исходного кода. Существует возможность сгенерировать общую структуру приложения, указав лишь несколько параметров.

Благодаря встроенной поддержке тем можно изменять дизайн приложения в пару нажатий клавиш.

При разработке стандартных классов Yii соблюдался высокий уровень безопасности, что при умелом обращении позволяет полностью обезопасить свой сайт от Sql-Inj, XSS, CSRF и других атак.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Уайнсет Дж., Сафронов М.* Разработка веб-приложений в Yii 2. // ДМК Пресс – 2015, 392с.
2. *С. Макконнелл.* Совершенный код // Русская Редакция — 2014, 896с.
3. *А. Мазуркевич.* MB PHP: настольная книга программиста // Мн.: Новое знание, 2003. — 480 с.: ил
4. *Зандстра М.* PHP: объекты, шаблоны и методики программирования, 3-е издание // М.: «Вильямс», 2010. — С. 560.

П.В. Явтушенко, А.Ю. Опарин

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова:

Светоизлучающие диоды, полупроводники, органические светодиоды, проблемы развития ОСИД, перспективы развития ОСИД, ЖК-дисплеи, AMOLED, LED, OLED, полимеры, графен, спин светодиоды, лазеры, когерентные источники излучения, проекционные технологии, проекторы, лазерные проекторы, 3D.

Аннотация:

В статье проводится, сравнительный анализ функциональных характеристик ЖК-дисплеев и органических светоизлучающих диодов и рассмотрение новейших проекционных технологий. Рассмотрены, проблемы использования и применения светоизлучающих диодов, перспективы применения и развитие технологий их производства, а также перспективы использование проекционного моделирования.

P.V. Yavtushenko, A.Yu. Oparin

THE MODERN DISPLAYING DEVICES DEVELOPMENT PROBLEMS AND PROSPECTS

Keywords:

Light-emitting diodes, semiconductors, organic LEDs, problems of development of OLED, prospects for development of OLED, LCD displays, AMOLED, LED, OLED, polymers, graphene, spin LEDs, lasers, coherent radiation sources, projection technology, projectors, laser projectors, 3D.

Abstract:

The article is devoted to a comparative analysis of the functional characteristics of LCD displays and organic light-emitting diodes and consideration of the latest projection technologies. The problems of use and application of light-emitting diodes, prospects of application and development of their production technologies, as well as prospects for the use of projection modeling are considered.

Светоизлучающие диоды (СИД) это спутник научно-технического прогресса, на данный момент они являются самым перспективным средством отображения информации (экраны: смартфонов, часов, ТВ, медицинского оборудования с требования повышенной яркости и контрастности), световой индикации (приборные панели автомобилей), да и попросту освещения. СИД более экономичны в потреблении энергии, производство экологично относительно ЖК-дисплеев, в скором времени и затраты на производство станут меньше. Существует ряд проблем связаны с производством и эксплуатацией СИД и дисплеев на их основе, такие как «выгорание» определённых цветов, сложность технологического процесса производства, в связи с этим и дороговизна экранов больших разрешений и размеров, выполненных на СИД, относительно ЖК-дисплеев.

Светоизлучающие диоды, как и любой полупроводник, основывается на эффекте p-n-перехода, а точнее использует энергию квантов света, образующихся при протекании через него постоянного прямого электрического тока. Все полупроводниковые излучатели делят на две подгруппы: некогерентные излучатели и когерентные излучатели. Каждая из них в свою очередь разделяется на категории:

- Некогерентные полупроводниковые излучатели:
  - Инфракрасные излучающие диоды
  - Светоизлучающие диоды
  - Электролюминесцентные порошковые и плёночные излучатели:
    - Полупроводниковые знаковые индикаторы

- Полупроводниковые шкалы
- Полупроводниковые экраны

- Когерентные полупроводниковые излучатели
  - Полупроводниковые лазеры с различными типами возбуждения

Некогерентные полупроводниковые светоизлучатели составляют большинство полупроводниковых светоизлучающих диодов, к ним относятся все излучатели видимой области спектра.

Рассмотрим принцип работы самих СИД, как и писалось выше он основан на выпрямляющем p-n переходе, использующем энергию рекомбинации. Другими словами, при прохождении прямого тока, через p-n переход СИД-а, происходит явление заполнения свободного энергетического уровня в валентной зоне свободным близлежащим электроном, именуемое рекомбинацией, что естественно сопровождается выделением энергии. Энергия выделяется, как и тепловая, так и световая, в виде квантов лучистой энергии, на этом и строится эффект светоизлучающих полупроводниковых диодов. Для того, чтобы кванты энергии в виде фотонов, образовавшиеся в процессе рекомбинации, соответствовали квантам видимого спектра, необходимо иметь большую ширину запрещённой зоны исходного полупроводника ($\Delta Э > 1{,}7$ эВ), иначе при меньшей ширине, кванты будут соответствовать инфракрасной зоне видимого спектра. Таким образом главное отличие между СИД и ИК излучающими диодами только в исходном полупроводниковом материале. Основные материалы, используемые при производстве СИД: GaAs, GaP, GaN, AlN, InN.

Рассмотрев основы работы обычных СИД, перейдём в органическим светоизлучающим диодам (ОСИД или OLED). По принципу работы они очень похожи с обычными СИД, но есть пару отличий, основное в том, что эмиссионный слой расположен ближе к катоду, это связано с большей активностью дырок, относительно электронов, в органических СИД. По своей сути ОСИД это тонкоплёночные многослойные структуры органических полимеров, подложки и двух электродов, анода и катода соответственно. В качестве анода обычно используют оксид индия, легированный оловом, а в качестве катода – алюминий и кальций. Однако не смотря на похожие основные элементы существует несколько типов технологий производства:

- PHOLED – используют принцип флуоресценции, чтобы добиться 100% преобразование электрической энергии в световую.
- FOLED – используют пластмассу или гибкий метал в качестве подложки, а сами ОСИД ячейки в тонкой герметичной защитной плёнке. Это придаёт гибкость дисплею изготовленного по такой технологии.
- SOLED – используют сложенную архитектуру подпикселей: красный, синий и зелёные в одном пикселе. Изображение из этих подпикселей складывается вертикально, когда в ЖК-матрицах эти элементы располагаются рядом. Каждый элемент управляется независимо, управление цветом, как и яркостью происходит по току. Из-за такого расположения возможно добиваться высоких разрешений дисплеев и большого количества органических ячеек.
- TOLED – используют технологии, позволяющие сделать прозрачный экран. То есть у этих ОСИД прозрачный анод, катод и подложка. Они могут быть как однонаправленными (свечение только вверх или вниз), так и двунаправленными

(полностью прозрачными). Возможно использовать подложки, с низким коэффициентом отражения, для увеличения контрастности.

- PMOLED – используют матричный принцип формирования дисплея и так называемое пассивное управление яркостью каждого из цветных пикселей. В матрице расположены, перпендикулярно друг другу, анодные и катодные полосы, в каждом пересечении, отдельный пиксель, яркость которого изменяет внешняя схема, управляя подачей тока на него. Существенным недостатком является внешняя схема, потребляющая основную мощность, хоть она и больше чем у остальных ОСИД, но в сравнении с ЖК дисплеями, она всё так же мала.
- AMOLED – используют такой же матричный метод формирования дисплея, как и предыдущие, но уже с управление встроенными активными элементами, а именно тонкоплёночными полевыми транзисторами (ТПТ). ТПТ в свою очередь тоже формируются матрицей и располагаются под анодным слоем. Скорость переключения состояний ТПТ высока, что увеличивает частоту обновления данных отображения на самом дисплее и при этом потребляемая мощность существенно меньше чем у PMOLED.
- Спин-светодиоды – используют энергию спинов электронов. Изобретение профессора физики Университета штата Юта, Вали Уордни, научного сотрудника То Нгуенома и Итанома Еренфроендома, физика из Израильского Технологического Института в Хайфе.

Открытие и первая информация о спин-поляризованном органическом светоизлучающем диоде, появилась в журнале Science от 13 июля 2012 года. Его изобретение стало возможным благодаря другому открытию, сделанному восьмью годами ранее, органическому спиновому затвору, этот спиновый затвор был способен лишь регулировать протекание электрического заряда. В спиновом светодиоде, есть два ферромагнетических электрода, изготовленых из кобальта и лантанно-стронциевой окисью магния, а в качестве полимера - «дейтерированный DOO-PPV», излучающий оранжевый свет, но устройство изготовленное по данной технологии способно излучать разные цвета, которыми можно управлять через изменение значений магнитного поля. Магнитное поле так же способно регулировать интенсивность свечения, при неизменном значении тока. Впрочем, должно пройти не менее пяти лет, прежде чем новые светодиоды попадут на массовый рынок, поскольку сейчас они способны работать только при температурах не выше минус двух градусов по Цельсию, а, следовательно, их предстоит серьезно улучшить, чтобы новые светодиоды могли функционировать при комнатной температуре, говорил Вардени. Больше, к сожалению, информации от изобретателей, с того времени, не поступало, прошло уже почти пять лет, так что возможно скоро, мы увидим спин-светодиоды в различных устройствах.

В рамках проекта Gladiator, стартовавшего в 2013 году и завершающегося в апреле 2017 года, Институт Фраунгофера в Дрездене вместе с коллегами из других научных учреждений разработал электроды из графена для органических светодиодов размером 2 на 1 кв. см. ОСИД с использованием таких электродов, обладает гибкостью, устойчивы к деформационному скручиванию. Такие светодиоды можно использовать для экранов смартфонов, устойчивых к различным деформациям и падению, или же при создании гибких или прозрачных смартфонов, планшетных ПК, компьютерных мониторов. Используя свойства графеновых электродов, можно использовать тонкие плёнки для

регулировки пропускания света, в качестве поляризационного светофильтра в оптических системах и устройствах, в медицине. По словам авторов проекта, запуск производства начнётся в течении двух-трёх лет, а пока, в завершающей фазе, команда из Фраунгофера займется минимизацией примесей и дефектов, которые возникают в процессе производства. Процесс начинается в стальной камере, в вакууме, где нагревается подложка, из очищенной меди, до температур, превышающих 800 градусов. Следующим этапом, в камеру, подаётся смесь газов, метана и водорода. Метан растворяется в медной подложке образуя атомы углерода, распределяющиеся по поверхности по подложке. Следом, после охлаждения заготовки, на графен наносится слой полимерного носителя, а медь вытравливается.

Другая технология, позволяющая использовать графен в ОСИД, это замена оксида индия с оловом, выполняющего роль анода, на графеновый слой. Однако простая замена не приводит к особому повышению эффективности, для её достижения необходимо увеличить работу выхода графена, он обладает низкой работой выхода – около 4,4 эВ, что по сравнению с потенциалами других дыркопроводящих слоёв, весьма мало. Недавняя разработка сотрудника Байройтского университета, Германия, Акселя Энедерса, доктора физических наук, двумерного полупроводника, на основе графена, возможно позволит преодолеть низкую работу выхода. В новом материале, с химическим названием — «Гексагональный бор-углерод-азот», заменены некоторые атомы графена на атомы бора и азота, в результате получается двумерная «решётка», с свойствами полупроводника.

На данном этапе развития технологий, дисплеи в основе своей производят по технологии AMOLED и производные от неё. Они уже вытесняют с рынка ЖК дисплеи, оказываясь более эффективными, контрастными. Далее приведены преимущества ОСИД, относительно ЖК-дсплев:

- меньшие габариты и вес
- отсутствие необходимости в подсветке
- большие углы обзора - на дисплее, под любым углом, изображение не теряет качества и цветности
- мгновенный отклик (на несколько порядков быстрее, чем у ЖК) - по сути, полное отсутствие инерционности
- высокая контрастность, 1000 000:1
- яркость - способны обеспечивать яркость свечения от нескольких кд/м^2 до свыше 100000 кд/м^2
- возможность создания гибких экранов
- большой диапазон рабочих температур (от −40 до +70 °C)
- энергопотребление в 1,5 раза меньше, чем ЖК-дисплеев, расход энергии уходит на драйверы, подсветку, чего в ОСИД нет
- перспективы развития применения в различных отраслях жизни человека

Недостатки:

- небольшой срок службы диодов определённых цветов
- относительная дороговизна

Первый и главный недостаток, это маленький срок работы органических материалов, обеспечивающих синее свечение, относительно остальных двух цветов, которые его опережают по сроку работы на десятки тысяч часов. Но технологии совершенствуются и ведутся постоянные модернизации полимеров, так в 2007 году срок

работы было около 1-2 тысяч часов, к 2012 году это уже были 20 тысяч часов, а всего за год, к 2013 году работа «синего» ОСИД добралась до 30 тысяч часов. Этого времени непрерывной работы, вполне хватает для экранов таких устройств как смартфоны, планшетные ПК, фотокамеры и других небольших устройств, ведь им хватает всего 5 тысяч часов. Это обусловлено быстрым моральным устареванием моделей устройств, поэтому ОСИД применяются в них давно. Сейчас на рынке телевизоров уже около 30-40% занимают ОСИД, ведь благодаря ним возможно стало делать изогнутые экраны, так называемых ТВ «с полным погружением». Стоит отметить что у ЖК панелей, таких возможностей нет, ведь принцип построение дисплея и сама технология жидких кристаллов не позволяет этого сделать.

Экраны флагманских смартфонов, которые выдерживают нагрузку на изгиб или уже используют это свойство производясь с изогнутым экраном. Это всё возможно благодаря совместному использованию нескольких технологий производства, например, дисплей смартфона с изогнутыми краями: для начала определимся с основой самого построения ячеек, допустим пусть будет, наиболее перспективный, активный матричный принцип (AMOLED), далее необходимо сделать дисплей гибким, это возможно благодаря использованию пластмассовой подложки, вместо привычной стеклянной, теперь можно уменьшить энергопотребление и увеличить разрешение, для этого используем технологию вертикального сложения подпикселей, тем самым будет цветной сетки из них, так как у нас будут полноценные RGB ячейки, теперь стоит связать тачскрин с экраном, во избежание попаданий пыли и возникновения Ньютоновских колец, поэтому тачскрин является верхним слоем дисплея. Вот так получим дисплей под названием Super AMOLED plus.

Наиболее интересной попыткой применения потенциала ОСИД являются ТВ экраны, ведь уже экраном с 4К разрешением никого не удивишь, поэтому компании развивают технологии в этом направлении: гнут, делают тоньше, делают прозрачными, зеркальными, двусторонними экраны. Так компания LG представила, на прошедшей в Германии выставке IFA (Internationale Funkausstellung Berlin), в 2015 году, новый 111-дюймовый S-образный дисплей, он построен на базе трех отдельных 65-дюймовых 4K UHD OLED-дисплеев и имеет две информационные стороны, при этом толщина составила всего 5,3 мм. К сожалению, он всё ещё не предназначен для коммерческих целей. На той же выставке Samsung представила миру прозрачный дисплей (почти 80% пропускания световых лучей) и зеркальный, то есть, в ближайшем времени появятся интерактивные витрины и зеркала. В то же время, на мероприятии CES (Consumer Technology Assocoation) 2017, LG представила ультратонкие 4K-телевизоры линейки Signature OLED W, их толщина всего 2,57. Такой толщины удалось добиться перемещение всех компонентов системы управления в отдельный от дисплея дополнительный модуль – саундбар Dolby Atmos, подключаемого к дисплею через проприетарный кабель.

Стоит отметить перспективность использования и развития ОСИД, благодаря их обширным свойства и возможностям. В быту будут весьма полезны интерактивные обои, выполняющие одновременно роль светильника, наполняя комнату светом равномерно, как естественное освещение днём, на улице, или обои на которых можно смотреть фильмы, пользоваться глобальной сетью, читать новости. Создание интерактивных прозрачных оконных дисплеев, они ограничены в применении только фантазией разработчика. Новые прозрачные дисплеи планшетных ПК, использующиеся в медицине, которые могут

переносить данные с датчиков и сканеров на экран сопоставляя их с телом пациента, использование светодиодных дисплеев высокого разрешения при видео-зондировании. Автомобильные стёкла могут стать прозрачными сенсорными стеклянным экранами, которые затемняются от яркого света, чтобы избежать ослепления водителя.

Это далеко не все перспективы и возможные применения ОСИД дисплеев. Учитывая экологичность производства и малое потребление энергии, эти технологии заслуживают внимания и развития в дальнейшем.

Проекционные технологии, позволяющие переносить изображение на различные поверхности, подвешивать в воздухе и моделировать 3-х мерные модели, все это возможно благодаря когерентным полупроводниковым излучателям.

Оптические квантовые генераторы или попросту полупроводниковые лазеры основаны, как и СИД, на эффекте рекомбинации электронов и дырок, но есть существенное отличие: эта рекомбинация, в лазерах, не самопроизвольная, а вынужденная (стимулированная). Благодаря тому, что рекомбинация стимулированная, излучение является когерентным, в отличие от остальных СИД. Явление стимулированной рекомбинации, позволяет управлять излучением возбуждённых атомов полупроводника посредством электромагнитных волн, усиливая или попросту генерируя когерентное световое излучение. Лазеру необходимо преобладание стимулированной рекомбинации над поглощением квантов, это зависит от соотношения возбуждённых и невозбуждённых атомов в кристалле полупроводника. В условиях равновесия, когда количество атомов равно, независимо от температуры полупроводника число электронов на высоких энергетических уровнях меньше, чем на низких, при этом добиться усиления светового излучения в результате стимулированной рекомбинации не выйдет.

Что бы добиться усиления, необходимо, чтобы нижние энергетические уровни были меньше заполнены электронами, чем верхние. Состояние полупроводника, с числом электронов на одном из энергетических уровней с меньшей энергией меньше числа электронов на уровне с большей энергией, называют состоянием с инверсной населенностью. Поглощение квантов светового излучения в полупроводнике с инверсной населенностью энергетических уровней мало, так как около потолка валентной зоны почти нет электронов, которым может быть передана энергия кванта света. В таком полупроводнике с инверсной населенностью может происходить стимулированная рекомбинация. Инверсную населенность в полупроводнике можно создают несколькими способами:

1) с помощью инжекции носителей заряда при прямом включении p-n перехода, получая инжекционные лазеры;
2) путем электронного возбуждения, т. е. путем бомбардировки полупроводника пучком быстрых электронов;
3) с помощью оптической накачки, т. е. путем возбуждения атомов полупроводника квантами света от мощного излучателя некогерентного или когерентного света;
4) путем использования эффектов сильного электрического поля, т. е. лавинного размножения носителей заряда или туннелирования электронов при их переходе с энергетических уровней, расположенных вблизи потолка валентной зоны, на энергетические уровни, расположенные вблизи дна зоны проводимости.

Лазеры используются повсеместно, начиная с принтеров, заканчивая лазерными граверами с ЧПУ, наиболее интересная отрасль использование, это отображение информации, основанное на использовании лазерных проекторов.

Они позволяют прорисовывать на различных плоских поверхностях лазерную графику высокой четкости и интенсивности: голограммы, текстовую информацию, 3D объемные рисунки и фигуры, логотипы. Управляют лазерными проекторами по средствам компьютера с помощью контроллера ЦАП (цифро-аналогового преобразователя). Устройств лазерных проекторов несколько, самая популярная и дешёвая, это DPL-технология. Она работает по отражающему принципу. DPL это аббревиатура от Digital Light Processing, что можно перевести как "Цифровая Обработка Света". Устройство таких проекторов заключается в специальной микроэлектромеханической системе, которая представляет собой крошечные зеркала, за его их перемещение отвечает электромеханическая часть. Зеркало находится в двух положениях:

1. Отражение света, который после прохождения всего тракта формирует точку на экране.
2. Отражение света на светопоглощающее устройство.

Малый размер и скорость реагирования электромеханической части позволяет добиться высоких скоростей переключения состояний зеркал.

Для формирования изображения, необходим массив таких микрозеркал вместе с управляющей электромеханической частью, для этих целей разработан микрочип DMD или Digital Micro Device – "Цифровое Микро Устройство". Существуют исполнения на одном таком чипе и на трёх, по одному на цвет.

Другая, достаточно перспективная технология, находящаяся на стадии развития, LDT или Laser Display Technology, что переводится как "Технология Лазерного Отображения". Работа такого проектора основана на использовании трёх лазеров базовых цветов, которые модулируются по амплитуде электрооптическими устройствами. Используя систему полупрозрачных зеркал, лучи объединяют в один световой поток, не являющийся полноценным изображением. Далее по оптоволоконному кабелю, сигнал поступает на систему развёртки изображения, построенную на опто-механических элементах. Построение кадра, как и в телевизорных матрицах, – построчная: слева направо и сверху вниз. Развёртка изображения по одной оси осуществляется вращающимся барабаном с двадцатью пятью отклоняющими зеркалами, и по перпендикулярной оси – отклонением луча отражателем. Далее сигнал поступает на систему фокусировки, объединённую с отклоняющими устройствами в проекционную головку. Особенностью системы является источник света: благодаря использованию светового пучка, для дальнейшего формирования изображения, переданного по оптоволоконному кабелю, этот кабель может быть определённой длинны, тем самым удаляя источник светового излучения от проекционной системы. Это позволяет использовать мощные лазеры, требующие охлаждающих систем, тем самым можно добиться изображения высокой яркости и контрастности. Выполненный по такой технологии проектор, способен формировать на экране 48000 строк, то есть 50 кадров в секунду, при этом скорость лазерного луча достигает 90 км/с. Такая скорость достаточна для создания видимости плавно меняющегося изображения.

Благодаря таким лазерным проекторам, возможно использование в качестве проекционной поверхности различных материалов, плоскостей и даже объёмных фигур, для создания так называемых голограмм. Например, выступление, 2Pac-а или Майкла

Джексона, это технология основана на проецирование в сетчатую структуру, в виде абсолютно тёмного куба, проектор располагается за проекционной плоскостью в двух-трёх метрах, требуется полное затемнение места проецирования, там самым добивается контрастность и «читаемость» изображения. Но это всё же не голографическое изображение. Если использовать в качестве проекционной плоскости поток воздуха с различными частицами, способными задерживать фотоны светового излучения, будь то частички пыли или микропищики, всё равно это видимая поверхность, создающая определённое затемнение и не пропускающая часть светового потка естественного света. Определённого успеха добились российские студенты, создав плоскость из воздушного потока с частичками водяного пара, полученного путём пьезоэффекта, не создающего видимое затемнение, но прекрасно справляющееся с проекционной составляющей. При дальнейших исследованиях им удалось добиться изображения в 3-х мерной величины без сторонних вспомогательных приборов (поляризационных очков, очков дополнительной реальности и т.д.).

В ноябре 2016 года, на площадке Kickstarter появился проект под названием Holovect: Holographic Vector Display, это первый коммерческий проект по созданию 3-х мерной голограммы или как говорят сами авторы, миража. Позволяющая проецировать различные проекты из CAD-ов или предпросмотр при 3D печати. Принцип работы основан на явлении миража, из-за различной плотности воздушной среды. Когда свет проходит между двумя различными средами, в большинстве случаев вы получите три разных эффекта: рефракции, отражения и диффузии, в зависимости от разных “коэффициентов преломления”(КП) среды. Примером этого являются миражи, которые возникают, когда части воздушной среды имеют разный коэффициент преломления, что заставляет лучи света изгибаться и отражаться в различных направлениях. Это может происходить из-за температурного перепада или перепада давления в двух близ лежащих участках воздушной среды. Описание от авторов проекта: «…с технологией holovect, мы придумали, как контролировать воздух в «коробке», кубической формы, части пространства, чтобы точно изменять КП, в конкретных областях пространства этой «коробки», преломлять и отражать лазерный луч. Эта модификация увеличивает альбедо, который определяется как доля падающего света, которая отражается от поверхности, а также свойствами преломления на границе между изменённой и неизменной областями воздушного пространства. Поэтому, одновременно контролируя цель лазера и установки модифицированной воздушной «коробки», компьютер, может разместить объемный пиксель или воксель света в любом месте в 3D пространстве. Затем из этих пикселей формируется векторное изображение…»

В «корбке», куб со стороной 12см, изображение наиболее резкое и контрастное, частота прорисовки 50 раз в секунду. Голографические объекты – это структуры данных, разработанные для этого проекта, представляют собой список 3D-координат точек, собранных в линии, которые располагаются от начала прорисовки объекта до его конечной точки., которые компилируются в множества необходимые для векторной голограммы. Файлы можно создавать использую различные САПР или даже с помощью чертежа. Работая в среде CAD, можно манипулировать объектом, вращая его перемещая в пределах «коробки». Используя эту технологию можно проверять допуски, скрытую (внутреннюю), часть детали.

У данной технологии существуют другие применения:

1. Визуализация 3D данных, полученных с помощью 3D-сканера;
2. Предварительный просмотр перед 3D печатью;
3. Компьютерная томография;
4. Рекламные цели;

Авторы проекта заявляют, что к лету появится модернизация модели, со следующими характеристиками, 24-битная цветовая палитра (0-256 цветных каналов канал), сенсорное управление, разрешение изображения 6,4 млрд вокселей, увеличенная «коробка» до 16см x 16 см x16cm, управление 3-мя процессорами, для каждого цвета свой процессор, частота прорисовки 60 кадров в секунду.

В некоторых научных отраслях, медицине, инженерии, уже используются голографические дисплеи, но использующие другие технологии, например, полупрозрачные зеркала, отражающие комплекты, световозвращающие объёмные поверхности, но всё это достаточно дорогостоящее оборудование. Возможно с приходом данного проекта, эта технология получит большее распространение, тем самым, позволит перейти на трёхмерное отображение информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ауслендер Д.* Samsung показала прозрачные и зеркальные OLED-дисплеи //Hi-News.ru: новости высоких технологий: сетевой журн. 2015 URL: https://hi-news.ru/technology/samsung-pokazala-prozrachnye-i-zerkalnye-oled-displei.html (дата обращения 09.02.2017)
2. *Беляев В*. Светодиоды и плоскопанельные дисплеи: совмещение несовместимых // ЭЛЕКТРОНИКА наука | технология | бизнес: сетевой журн. 2013 URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/3/article_3953_251.pdf (дата обращения 18.02.2017)
3. *Майская В.* Органические светодиоды удивительное рядом // ЭЛЕКТРОНИКА наука | технология | бизнес: сетевой журн. 2007 URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_586_851.pdf (дата обращения 09.02.2017)
4. *Павленко А.* OLED-технологии – современные достижения // ЭЛЕКТРОНИКА наука | технология | бизнес: сетевой журн. 2015 URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/4/article_4904_301.pdf (дата обращения 18.02.2017)
5. *Пасынков В.В.,* Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: учебное пособие М.: ЛАНЬ; Архангельск: Издательско-полиграфическое предприятие Правда севера, 2009. 480с.
6. *Ровдо А.А*. Полупроводниковые диоды и схемы с диодами М.: Лайт Лтд., 2000. 288 с
7. *Романова И.* Органические светодиоды новые материалы, новые технологии // ЭЛЕКТРОНИКА наука | технология | бизнес: сетевой журн. 2012 URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/3/article_3402_406.pdf (дата обращения 15.02.2017)
8. *Хижняк Н.* LG показала уникальный двусторонний OLED-дисплей //Hi-News.ru: новости высоких технологий: сетевой журн. 2015 URL: https://hi-news.ru/technology/lg-pokazala-unikalnyj-dvustoronnij-oled-displej.html (дата обращения 09.02.2017)

9. Устройство проекторов: обзорная статья // Русский Tom's Hardware Guide: сетевой журн. 2014 URL: http://www.thg.ru/display/ustroistvo_proektorov_tehnologii/print.html (дата обращения 20.03.2017)
10. *Jaime Ruiz-Avila*. Holovect: Holographic Vector Display // Kickstarter: международная инвестиционная площадка. 2016 URL: https://www.kickstarter.com/projects/2029950924/holovect-holographic-vector-display (дата обращения 27.03.2017)

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. **Абрамов Иван Сергеевич**, студент 3 курса. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
2. **Абрамова Надежда Игоревна**, преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ» (Ростовский-на-Дону колледж радиоэлектроники, информационных и промышленных технологий)
3. **Акулин Павел Петрович**, студент. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
4. **Алтунин Федор Александрович**, магистрант. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
5. **Аль Ясири Джамаль Хамид Абдул Адим**, студент 2 года магистратуры. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
6. **Амирсаидов Улугбек Бабурович**, к.т.н., доцент. Ташкентский университет информационных технологий
7. **Артеменкова Анжелика Сергеевна**, студент 5-го курса. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
8. **Артынов Константин Артурович**, студент курс 4, ДС-41. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
9. **Астрецов Дмитрий Вячеславович**, профессор кафедры ОПДТС, к.т.н., профессор. Уральский технический институт связи и информатики (филиал), г. Екатеринбург, Россия
10. **Бабаян Армен Хачикович**, Технологический институт (филиал) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ) в г. Азове
11. **Бабычев Алексей Михайлович**, студент магистратуры. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
12. **Бадыштова Кристина Дмитриевна**, студентка ДВ-31. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

13. **Баженов Михаил Константинович**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
14. **Баранов Сергей Анатольевич**, к.т.н., доцент кафедры ОПДТС. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
15. **Бармина Екатерина Вадимовна**, студент магистратуры. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
16. **Батенков Кирилл Александрович**, доцент. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
17. **Белянчикова Мария Павловна**, аспирант кафедры экономики связи. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
18. **Безруков Игорь Михайлович**, студент 1-го курса магистратуры, группа М61601. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
19. **Безуглый Юрий Андреевич**, курсант. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного.
20. **Безумнов Данил Николаевич**, ассистент кафедры ИСУиА. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
21. **Белан Надежда Викторовна**, магистрант. ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет
22. **Беленькая Марина Наумовна**, доцент. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
23. **Бикбулатова Наталья Генриховна,** старший преподаватель кафедры ИСТ. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
24. **Бинеев Энвер Абдулхакович**, к.х.н., профессор кафедры ОНП, профессор. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
25. **Боковеев Денис Сергеевич,** студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

26. **Болдырихин Николай Вячеславович**, доцент кафедры СССК, к.т.н. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
27. **Борисенко Николай Павлович**, к.т.н., профессор, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
28. **Борисов Борис Петрович**, доцент, к.т.н, доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
29. **Бородин Алексей Викторович**, к.физ.-мат.н., доцент кафедры ОНП. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
30. **Боярчук Андрей Эдуардович**, профессор кафедры, к.т.н., профессор. г. Ростов-на-Дону. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
31. **Бражуненко Павел Сергеевич**, студент 2-ого курса магистратуры. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
32. **Брежный Игорь Андреевич**, магистрант, студент группы ВМВТ11, Специализация: Методы и системы принятия решений, Специальность: Информатика и вычислительная техника, Кафедра: "Кибербезопасность информационных систем". Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
33. **Будылдина Надежда Вениаминовна**, заместитель заведующего кафедрой ОПД ТС, доцент, к.т.н. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
34. **Букрина Екатерина Владимировна**, к.э.н., доцент кафедры Многоканальной электрической связи. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
35. **Бурдюг Владислав Владимирович**, курсант. Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
36. **Быстров Сергей Александрович**, старший преподаватель кафедры ОПД ТС. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
37. **Варакосов Дмитрий Викторович**, курсант 206 учебной группы. Уральский юридический институт МВД России

38. **Васинев Дмитрий Александрович**, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
39. **Вернигорова Наталья Александровна**, студентка гр. ДЭ-21. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
40. **Вершенник Алексей Васильевич**, преподаватель кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
41. **Водовозов Илья Витальевич**, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
42. **Волгарев Евгений Алексеевич**, аспирант 3 курса кафедры ВМиФ. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
43. **Галкин Алексей Сергеевич**, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
44. **Галухин Михаил Александрович**, студент гр.ДЭ-31. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
45. **Гатилова Елена Александровна**, студент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
46. **Герасименко Виктор Евгеньевич**, 2 курс магистратуры физфака. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
47. **Гизатуллин Марат Галимянович**, доцент кафедры информационного обеспечения органов внутренних дел, кандидат технических наук, доцент. Уральский юридический институт МВД России
48. **Гирин Иван Сергеевич**, студент группы ДС-41. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
49. **Глушак Елена Владимировна**, доцент кафедры АЭС ПГУТИ. ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
50. **Гниломёдов Ефим Иванович**, доцент кафедры МЭС. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

51. **Говор Светлана Александровна**, аспирант. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
52. **Головина Ирина Витальевна**, доцент кафедры ЭиУ, доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
53. **Головской Василий Андреевич**, старший научный сотрудник отдела научно-исследовательской работы и инновационного развития, к.т.н. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
54. **Гончаров Артём Александрович**, студент группы ДЭ-31. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
55. **Гончарова Оксана Владимировна**, к.э.н., доцент кафедры ЭиУ, заместитель декана по ВР. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
56. **Горохова Екатерина Александровна**, магистрант. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
57. **Горшенин Николай Олегович**, студент. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
58. **Грабовый Кирилл Дмитриевич**, студент группы ДВ-31. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
59. **Григорьев Илья Дмитриевич**, магистрант. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
60. **Давыдов Роман Вадимович**, магистрант. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
61. **Данилова Наталья Викторовна**, доцент, к.ф.-м.н., доцент. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
62. **Данилов Виктор Александрович**, профессор, д.т.н., профессор. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

63. **Данилова Людмила Викторовна**, доцент, к.ф.-м.н., доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» ФГБОУ ВО РГУПС, РГУПС)
64. **Данилова Анастасия Михайловна**, магистрант 2-го курса. Ташкентский университет информационных технологий
65. **Денисов Владислав Юрьевич**, магистр. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
66. **Денисов Дмитрий Вадимович,** к.т.н., доцент кафедры ОПДТС. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
67. **Дерканосов Максим Александрович**, студент группы ДВ-21. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
68. **Деркачев Игорь Сергеевич**, младший научный сотрудник, к.т.н. Федеральное казенное учреждение «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Россия
69. **Детко Герман Валерьевич**. Мастер по обслуживанию абонентов. Крыловский ЛТЦ Краснодарского края ПАО «Ростелеком»
70. **Демидов Дмитрий Евгеньевич**, бакалавр гр.Э-45Б. Уральский технический институт связи и информатики (филиал СибГУТИ)
71. **Докучаев Сергей Аркадьевич**, ст. преподаватель. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
72. **Долинер Леонид Исаевич**, профессор кафедры ИСТ, д.п.н., профессор. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
73. **Доткулова Анастасия Сергеевна**, ассистент. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
74. **Евдакова Лилия Николаевна**, зав. кафедрой экономики связи, к.э.н., доцент. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

75. **Евстафьев Вячеслав Владимирович**, доцент кафедры, к.т.н., доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
76. **Елисеев Александр Вячеславович**, профессор кафедры «Радиоэлектроника», д.т.н., доцент. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
77. **Елфимов Михаил Андреевич**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
78. **Енгибарян Ирина Алешаевна**, к.т.н., доцент кафедры МТС. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
79. **Ермолаев Андрей Владимирович**, студент курс 4, ДС-41. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
80. **Ершов Валерий Васильевич**, доцент кафедры «Сети связи и системы коммутации», к.т.н., доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
81. **Жабинский Юрий Вячеславович**, доцент кафедры СПОИ, к.т.н., доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
82. **Жук Арсений Сергеевич**, начальник учебно-методического отдела. НЧОУ ВО «Кубанский институт информзащиты»
83. **Жуковский Александр Георгиевич**, заместитель директора по УВР,, д.п.н., к.т.н., доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
84. **Зайченко Дмитрий Сергеевич**, бакалавр. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
85. **Зверев Алексей Петрович**, к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи, доцент. Академия гражданской защиты МЧС России
86. **Зеленский Сергей Валентинович**. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»

87. **Зубарев Игорь Александрович**, доцент, к.п.н., полковник внутренней службы. Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Екатеринбург, Россия
88. **Зуйков Алексей Петрович**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
89. **Игначкова Екатерина Валерьевна**, студент группы ДВ-21. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
90. **Иевлев Олег Павлович**, декан факультета ИТ, к.т.н., доцент. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
91. **Ильиных Нина Иосифовна**, к.ф.-м.н, доцент кафедры ВМиФ. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
92. **Ишдавлетова Эмине Талгатовна**, старший преподаватель. Ташкентский университет информационных технологий
93. **Калиенко Иван Викторович**, доцент кафедры «Радиоэлектроника», к.т.н., доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
94. **Каличак Максим Геннадьевич**, студент. ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
95. **Кальфа Александр Алексеевич**, д.ф.-м.н., проф. каф. МСиУС. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
96. **Карасев Иван Валентинович**, студент. ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет
97. **Караченцев Вадим Григорьевич**, Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
98. **Каримова Венера Аркиновна**, кафедра «Информационные технологии», к.т.н., доцент. Ташкентский университет информационных технологий
99. **Карпов Евгений Анатольевич**, начальник НТЦ 3 «Инновационные разработки» АО ВНИИ «Градиент»
100. **Кашуба Константин Алексеевич**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
101. **Киреев Максим Олегович**, студент 4-го курса гр. ИКТр-33. Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

102. **Кириленко Николай Евгеньевич**, студент 2го курса магистратуры. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
103. **Кирхеев Артем Геннадьевич**, заместитель командира взвода. Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М. Штеменко
104. **Клевакин Максим Александрович**, студент магистратуры. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге
105. **Кносаль Вячеслав Михайлович**, магистрант. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
106. **Кобак Валерий Григорьевич**, профессор, д.т.н. доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
107. **Коломиец Елена Анатольевна**, студент группы ДС-31. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
108. **Колосков Алексей Владимирович**, студент ДС-41. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
109. **Коновалов Игорь Сергеевич**, аспирант. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
110. **Коновалов Степан Валерьевич**, магистрант 2 курса. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге
111. **Конева Светлана Ивановна**, старший преподаватель. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
112. **Конкин Борис Борисович**, заведующий кафедрой ОНП, к.т.н., доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
113. **Коньшина Надежда Александровна**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

114. **Королев Дмитрий Эдуардович**, Уральский технический институт связи и информатики (филиал), г. Екатеринбург, Россия
115. **Корчемкина Мария Николаевна**, курсант. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
116. **Коршун Анна Михайловна**, доцент кафедры СПОИ СКФ МТУСИ, к.г.н. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
117. **Косарева Екатерина Павловна**, студент гр.ДЭ-21. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
118. **Костецкая Галина Сергеевна**, доцент, к.ф.-.м.н., доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
119. **Костюченко Джанета Владимировна**, старший преподаватель кафедры ОНП. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
120. **Красников Степан Олегович**, аспирант. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
121. **Краснопеев Сергей Михайлович**, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
122. **Кривошей Н.И.**, аспирант. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
123. **Кильдишов Роман Михайлович**, Ведущий специалист КЦ Теле2-Ростов.
124. **Куанышев Валерий Таукенович**, доцент кафедры «Мультимедиа и мобильных систем», к.ф.-м.н. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «СибГУТИ», г. Екатеринбург, Россия
125. **Кудряшова Анастасия Юрьевна**, магистр 2 курса. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
126. **Кузнецов Сергей Иванович**, доцент кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения, кандидат технических наук, доцент. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
127. **Куликов Михаил Алексеевич**, курсант, рядовой. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»

128. **Куприянов Никита Алексеевич**, курсант. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
129. **Кусайкин Дмитрий Вячеславович**, доцент кафедры МЭС, к.т.н. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге
130. **Ланко Дмитрий Александрович**, системный администратор ООО «Вилмари».
131. **Лаухин Александр Вячеславович**, 2 курс магистратуры физфака. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
132. **Лобзенко Павел Владимирович**, доцент кафедры СПОИ, к.т.н, Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
133. **Лукиенко Максим Алексеевич**, студент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
134. **Луганская Людмила Алексеевна**, сотрудник. ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет
135. **Львов Владимир Леонтьевич**, старший преподаватель кафедры СПОИ. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
136. **Львов Кирилл Владимирович**, студент. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
137. **Максимов Денис Андреевич**, Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
138. **Малкова Ирина Андреевна**, аспирант 3 курса кафедры ВМиФ. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
139. **Манин Александр Анатольевич**, к.т.н., директор Северо-Кавказского филиала Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», доцент
140. **Маркин Дмитрий Олегович**, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»

141. **Михайленко Юлиана Евгеньевна**, студент группы ВМ-41. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
142. **Мищук Евгений Михайлович**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
143. **Молоковский Игорь Алексеевич**, доцент кафедры АТ, к.т.н., доцент. ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
144. **Момот Александр Иванович**, заведующий кафедрой ЭиУ, д.э.н., профессор. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
145. **Момот Роман Александрович,** студент 3-го курса. ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)»
146. **Мосева Марина Сергеевна**, ассистент. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
147. **Мухитдинова Муаззам Лутфулла** кизи, магистрант 1-го курса. Ташкентский университет информационных технологий
148. **Невельский Владислав Сергеевич**, магистрант. Уральский технический институт связи и информатики (филиал),г. Екатеринбург, Россия
149. **Новикова Ирина Анатольевна**, магистрант кафедры экономики связи. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
150. **Овсянников Сергей Николаевич**, аспирант. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
151. **Овчинников Дмитрий Александрович**, аспирант. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
152. **Опарин Алексей Юрьевич**, начальник отдела научно-исследовательской работы и инновационного развития, действительный член (академик) Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, к.ф.н. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
153. **Орлов Владимир Георгиевич**, начальник научного отдела ИВД, к.т.н., доцент. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
154. **Павлова Анастасия Викторовна**, студентка 3-го курса. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

155. **Папаев Анатолий Борисович**, старший преподаватель кафедры «Мультимедиа и мобильных систем». Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «СибГУТИ», г. Екатеринбург, Россия
156. **Пащенко Ксения Владимировна**, студентка 3-го курса. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
157. **Пешкевич А.А.**, аспирант. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
158. **Полков Анатолий Анатольевич**, к.т.н., доцент, сотрудник, руководитель. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
159. **Полякова Марианна Витальевна**, аспирант. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» ФГБОУ ВО РГУПС, РГУПС)
160. **Попова Анжелика Вячеславовна**, курсант. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
161. **Поркшеян Виталий Маркосович**, декан факультета «Информатика и вычислительная техника», к.т.н., доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
162. **Портнов Эдуард Львович**, профессор, д.т.н., профессор. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
163. **Прыгунов Александр Германович**, доцент кафедры «Радиоэлектроника», к.т.н., доцент. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
164. **Пташинский Михаил Андреевич** студент 5-го курса. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
165. **Птицын Герман Александрович**, доцент кафедры ИСУиА МТУСИ, к.т.н., доцент. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
166. **Пузанов Алексей Станиславович**, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
167. **Путилин Николай Витальевич**, заместитель начальника. Научно-технический отдел (дислокация г. Ростов-на-Дону) Федерального казенного учреждения

«Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации

168. **Пятина Анна Алексеевна**, студент гр.ДЭ-21. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
169. **Рахимьянов Александр Вячеславович**, студент ВМ-51. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
170. **Ремез Ирина Геннадьевна**, старший преподаватель кафедры менеджмента связи. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
171. **Решетникова Ирина Витальевна**, доцент кафедры СССК, к.т.н. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
172. **Решетникова Ксения Алексеевна**, студент ДС-31. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
173. **Ролдугина К.А.**, студентка 4 курса. Ташкентский университет информационных технологий
174. **Ротова Елена Георгиевна** студент 5-го курса СКФ МТУСИ. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
175. **Руденко Николай Валерьевич**, доцент кафедры «Радиоэлектроника», к.т.н., доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
176. **Руднев Алексей Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры ИБ. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
177. **Рыбалко Игорь Петрович**, доцент кафедры СССК, к.т.н. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
178. **Самков Михаил Сергеевич**, Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

179. **Санников Артем Андреевич**, магистрант группы МИТЕ-61 кафедры «Мультимедиа и мобильных систем». Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «СибГУТИ», г. Екатеринбург, Россия
180. **Санникова Ксения Андреевна**. Уральский технический институт связи и информатики (филиал),г. Екатеринбург, Россия
181. **Сафарьян Ольга Александровна**, доцент, кандидат технических наук. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
182. **Сафронов Александр Игоревич**, инженер, Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
183. **Свирщ Елена Александровна,** ст. преподаватель. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
184. **Семенец Вячеслав Олегович**, аспирант. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
185. **Семиряд Никита Юрьевич**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
186. **Сидняев Николай Иванович**, заведующий кафедрой "Высшая математика" (ФН-1), д.т.н., профессор. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
187. **Сидорина Татьяна Викторовна**, доцент кафедры: «Экономическая безопасность», учет и право, к.э.н., доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
188. **Сильченко Владислав Витальевич**. Электромеханик ЛТЦ Руднянского р-на МЦТЭТ г. Камышин Волгоградского филиала ПАО Ростелеком
189. **Синева Ирина Сергеевна**, доцент, к.ф.-м.н., доцент. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
190. **Ситьков Иван Алексеевич**, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
191. **Скоробогатова Елена Анатольевна**, ст.преподаватель,кафедры экономики связи. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
192. **Смоляков Виктор Николаевич**, доцент кафедры СПОИ СКФ МТУСИ, ктн, доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия

193. **Совенко Дмитрий Сергеевич**, курсант, рядовой. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
194. **Соколов Сергей Викторович**, зав. Кафедрой СПОИ, д.т.н., профессор. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи
195. **Соколова Ольга Ивановна**, профессор, д.п.н., профессор. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» ФГБОУ ВО РГУПС, РГУПС)
196. **Сосновский Иван Александрович**, декан заочного факультета, к.т.н. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
197. **Степская Ирина Алексеевна,** студент 5-го курса. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
198. **Стремоухов Михаил Владимирович,** сотрудник, к.т.н. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
199. **Сулименко Илья Юрьевич**, студент курс 4, ДС-41. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
200. **Сумарокова Ольга Владимировна**, студент 4-го курса гр. ИКТр-33. ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
201. **Сухоев Алексей Павлович**, студент магистратуры. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
202. **Сухоева Ксения Сергеевна**, Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
203. **Сухорукова Елена Валерьевна**, старший преподаватель кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
204. **Табунщикова Полина Михайловна**, Студент 1 курса, группа ДИ-11. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

205. **Таов Инал Нарзанович**, студент группы ДС-41. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
206. **Тарасов Евгений Сергеевич**, старший преподаватель. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ) Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
207. **Тесля Сергей Петрович**, старший преподаватель кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
208. **Тимирбулатова Тамара Эдуардовна**, студент. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
209. **Тищенко Евгений Николаевич**, заведующий кафедрой информационных технологий и защиты информации, д.э.н., доцент. РГЭУ (РИНХ), г. Ростов-на-Дону
210. **Тлекова Элфира Равилевна**, студентка 4 курса кафедры «Связь». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»
211. **Трофименко Владимир Николаевич**, доцент каф. "Радиоэлектроника", к.т.н., доцент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
212. **Трофлянин Владимир Вадимович**, магистр 2 курса. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» 20.18.16.22.10
213. **Трухин Михаил Павлович**, к.т.н, доцент кафедры ОПД ТС. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
214. **Тураев Фаррух Икрамович**, иностранный обучающийся 306 И учебной группы. Уральский юридический институт МВД России
215. **Турсунов Шерзод Абдукодирович**, заведующий кафедрой «Менеджмент и маркетинг». Ташкентский университет информационных технологий.
216. **Тютюнникова Алина Игорьевна**, Студентка ДГТУ 1 курса магистратуры направление 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» («Методы и системы принятия решений»). Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

217. **Уколова Светлана Александровна**, ст.преподаватель кафедры ЭиУ, к.э.н. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
218. **Уманов А.А.**, студент аспирантуры обучающийся по направлению 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника». Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
219. **Усманова Наргиза Бахтиербековна**, к.т.н., доцент кафедры «Сети и системы передачи данных». Ташкентский Университет Информационных Технологий (ТУИТ) имени Аль Хорезми
220. **Усынин Марат Геннадьевич**, студент группы ДЗ-41. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
221. **Фатхи Владимир Ахатович**, заведующий кафедрой «Вычислительные системы и информационная безопасность», д.т.н., профессор, почетный работник высшего профессионального образования, заслуженный работник высшей школы РФ, академик Академии военных наук. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
222. **Фатхулин Тимур Джалилевич**, ассистент, аспирант. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
223. **Федотов Виталий Викторович**, руководитель направления ГСП КиГС, соискатель ученой степени кандидата экономических наук. Ростовский филиал. ПАО «Ростелеком»
224. Федотов Владислав Евгениевич, студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)
225. **Федотова Полина Чан Ен**, студент магистратуры. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
226. **Филиппов Андрей Павлович**, студент магистратуры. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
227. **Харченко Виктор Викторович**, заместитель начальника кафедры ВУНЦ ВВС «ВВА», к.т.н., доцент. Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
228. **Хурматов Роман Ильдарович**, Уральский технический институт связи и информатики (филиал),г. Екатеринбург, Россия

229. **Хушмуродов Комронбек Шамсидинович**, студент магистратуры. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
230. **Цибульский Евгений Александрович**, студент группы ДС-41. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
231. **Цыганов Александр Михайлович**, курсант, рядовой. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
232. **Черемных Вадим Геннадьевич**, магистрант. Уральский технический институт связи и информатики (филиал), г. Екатеринбург, Россия
233. **Чернышев Виталий Васильевич**. Печатник типографии «Lucky Pack», студент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия
234. Черпаченко Станислав Игоревич, студент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Ростов-на-Дону, Россия
235. **Шадрин Андрей Анатольевич**, аспирант. Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)
236. **Шадрунова Ольга Олеговна**, студент гр.ДЭ-21. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
237. **Шаповалов Александр Михайлович**, студент группы ДЭ-21. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
238. **Шаравова Ольга Ивановна**, доцент кафедры экономики связи, к.э.н., доцент. Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
239. **Швачко Олег Викторович**, научный сотрудник, к.ф.-м.н. Федеральное казенное учреждение «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Ростов-на-Дону, Россия
240. **Шестаков Иван Игоревич**, старший преподаватель кафедры МЭС. Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

241. **Шпилько Антон Сергеевич**, студент ДС-41. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
242. **Щербань Игорь Васильевич**, профессор кафедры, д.т.н., доцент. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет, ФГАОУ «ЮФУ», ЮФУ)
243. **Юркин Андрей Анатольевич**, сотрудник. Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия ФСО России»
244. **Юхнов Василий Иванович**, заведующий кафедрой МТС, к.т.н., доцент. Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
245. **Явтушенко Павел Владимирович**, студент ДИ-11. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
246. **Яковенко Анатолий Алексеевич**, профессор кафедры ЭиУ, к.э.н., профессор. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
247. **Яковлев Дмитрий Александрович**, аспирант. Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»
248. **Янкина Ангелина Игоревна**, студент. Группы ДЗ-31. Северо-Кавказский филиал Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Часть I

Акулин П.П. 19
Алтунин Ф.А. 22, 244
Аль Ясири Д.Х. 26
Амирсаидов У.Б. 33
Артынов К.А. 204
Астрецов Д.В. 512
Бабычев А.М. 42
Бадыштова К.Д. 235
Баженов М.К. 195
Баранов С.А. 339
Бармина Е.В. 48
Батенков К.А. 225, 353
Безруков И.М. 57
Безумнов Д.Н. 349
Беленькая М.Н. 473
Бикбулатова Н.Г 478
Боковеев Д.С. 206
Болдырихин Н.В. 19, 22, 69, 244, 266, 327, 397
Борисов Б.П. 498
Бородин А.В. 72
Бражуненко П.С. 76
Брежный И.А. 83
Будылдина Н.В. 42
Букрина Е.В. 86
Бурдюг В.В. 502
Буренин А.Н. 91
Волгарев Е.А. 229
Волков В.С. 97
Герасименко В.Е. 108
Гирин И.С. 69
Глушак Е.В. 232
Горохова Е.А. 113
Горшенин Н.О. 121
Грабовый К.Д. 121
Григорьев И.Д. 128, 132
Давыдов Р.В. 22, 244
Данилов В.А. 138, 144, 147
Данилова Л.В. 147
Денисов Д.В. 152, 161, 167, 175
Дерканосов М.А. 212
Детко Г.В. 415
Евстафьев В.В. 179, 195
Езин А.Н. 531
Елисеев А.В. 186
Елфимов М.А. 195, 291
Енгибарян И.А. 199
Ермолаев А.В. 199, 204
Ершов В.В. 206, 291
Жабинский Ю.В. 138
Жуковский А.Г. 251, 256, 261
Жуковский Д.А. 247
Зайченко Д.С. 401
Зверев А.П. 212, 219
Зеленский С.В. 225
Зубарев И.А. 296
Зуйков А.П. 179
Игначкова Е.В. 323
Иевлев О.П. 76
Ильиных Н.И. 48, 229, 438
Кабакова В.Г 272
Каличак М.Г. 334
Кальфа А.А. 132
Караченцев В.Г 376
Карпов Е.А. 108
Кашуба К.А. 179
Киреев М.О. 232
Кириленко Н.Е. 235
Клевакин М.А. 237, 301
Кносаль В.М. 22, 244
Кобак В.Г. 247, 251, 256, 261, 280
Колосков А.В. 266
Конева С.И. 268, 272, 276
Коновалов И.С. 280
Коновалов С.В. 301
Константинова Я.Б. 286
Коньшина Н.А. 195, 291
Коробенко С.В. 327
Королев Д.Э. 152
Королёв Д.Э. 167
Красников С.О. 235
Кривошей Н.И. 247
Куанышев В.Т. 296
Кузьменко А.С. 276
Кусайкин Д.В. 237, 301, 307
Ланко Д.А. 421
Лаухин А.В. 108
Легков К.Е. 91
Лобзенко П.В. 318, 365, 519
Лукиенко М.А. 318
Львов В.Л. 144, 323
Львов К.В. 323
Максимов Д.А. 161
Малкова И.А. 229

Манин А.А.....251, 327, 446
Михайленко Ю.Е. 268
Мищук Е.М. 291
Молоковский И.А. 334
Невельский В.С. 512
Овсянников С.Н. 186
Овчинников Д.А. 339
Опарин А.Ю. 528, 540
Оркин В.В. 91
Орлов В.Г. 128
Папаев А.Б. 296
Пешкевич А.А. 251
Полякова М.В. 431
Поркшеян В.М. 256, 261
Портнов Э.Л. 344
Прыгунов А.Г. 186
Птицын Г.А. 349
Пузанов А.С. 353
Рахимьянов А.В. 365
Ревякина Е.А. 83
Ремез И.Г. 371
Решетникова И.В. 204
Решетникова К.А. 206
Руденко Н.В. 179, 195, 206, 291
Рыбалко И.П. 69, 212, 219, 376
Самков М.С. 167
Санникова К.А. 152, 161
Сафарьян О.А. 19, 199
Сафронов А.И. 379
Светличная Н.О. 286
Семенец В.О. 393
Семиряд Н.Ю. 397
Синева И.С. 401
Ситьков И.А. 179
Смоляков В.Н. 415, 426
Соколов С.В. 431
Соколова О.И. 431
Соловаров И.В. 524
Сосновский И.А. 69, 327
Стремоухов М.В. 353
Сулименко И.Ю. 204
Сумарокова О.В. 436
Сухоев А.П. 438
Сухоева К.С. 161, 167
Таов И.Н. 446
Тарасов Е.С. 449
Тимирбулатова Т.Э. 291
Тлекова Э.Р. 461
Трофлянин В.В. 132, 473
Трухин М.П. 393, 507, 524
Тютюнникова А.И. 199
Уколов Е.М. 83
Уманов А.А. 478
Усик А.С. 138
Усманова Н.Б. 486
Фатхи В.А. 280
Фатхулин Т.Д. 344
Федоров Д.С. 491
Федотов В.А. 195
Федотов В.В. 498
Филиппов Ф.П. 48
Харченко В.В. 502
Хурматов Р.И. 307
Хушмуродов К.Ш. 507
Цибульский Е.А. 376
Чащин В.С. 175
Черемных В.Г. 512
Чернышев В.В. 426
Черпаченко Г.Н. 519
Шадрин А.А. 524
Шаповалов А.М. 528
Шимельфених К.А. 97
Шпилько А.С. 266
Щербань И.В. 121, 235
Юферев М.В. 531
Юхнов В.И. 491
Явтушенко П.В. 540

Абрамов И.С. 299
Абрамова Н.И. 299
Артеменкова А.С. 189
Бабаян А.Х. 196
Безуглов Д.А. 199
Безуглый Ю.А. 19, 24
Белан Н.В. 28
Белянчикова М.П. 387
Бикбулатова Н.Г. 281
Бинеев Э.А. 208
Борисенко Н.П. 34
Борисов Б.П. 38
Боярчук А.Э. 42, 210
Будылдина Н.В. 383
Быстров С.А. 216
Варакосов Д.В. 71
Васинев Д.А. 224
Вернигорова Н.А. 220
Вершенник А.В. 19, 24, 48, 53, 124
Водовозов И.В. 224
Галкин А.С. 60
Галухин М.А. 394
Гатилова Е.А. 376
Гизатуллин М.Г. 71, 227
Гирин И.С. 76
Гниломёдов Е.И. 241
Говор С.А. 145
Головина И.В. 220
Головской В.А. 81, 90, 103, 140
Гончаров А.А. 78
Гончарова О.В. 78, 248
Данилова А.М. 250
Данилова Н.В. 255
Демидов Д.Е. 257
Денисенко Ю.Н. 264
Денисов В.Ю. 270
Деркачев И.С. 179
Докучаев С.А. 275, 278
Долинер Л.И. 281
Доткулова А.С. 286
Евдакова Л.Н. 257, 293
Жук А.С. 81, 90
Ишдавлетова Э.Т. 97
Калиенко И.В. 299
Карасев И.В. 28
Каримова В.А. 329
Кильдишов Р.М. 155
Кирхеев А.Г. 103
Коломиец Е.А. 308
Конкин Б.Б. 313
Корчемкина М.Н. 48, 53
Коршун А.М. 308
Косарева Е.П. 400
Костецкая Г.С. 275, 278
Костюченко Д.В. 318
Краснопеев С.М. 106
Крутов В.А. 140
Куанышев В.Т. 350
Кудряшова А.Ю. 114
Кузин А.П. 199
Кузнецов С.И. 124
Куликов М.А. 34
Куприянов Н.А. 48, 53
Лисицин В.Г. 321
Лобзенко П.В. 196
Луганская Л.А. 28
Маркин Д.О. 60
Момот А.И. 189, 340, 345, 367
Момот Р.А. 325
Мосева М.С 286
Мухитдинова М.Л. 329
Новикова И.А. 387
Олейникова Ю.А. 264
Опарин А.Ю. 167, 248
Павлова А.В. 372
Пащенко К.В. 372
Погорелов В.А. 334
Полков А.А. 132, 135
Попова А.В. 19, 24
Пташинский М.А. 340
Путилин Н.В. 140
Пятина А.А. 406
Ролдугина К.А. 97
Ротова Е.Г. 345
Руднев А.Н. 114
Санников А.А. 350
Светличная Н.О. 275
Свирщ Е.А. 353
Семилеткин А.О. 334
Сидняев Н.И. 145
Сидорина Т.В. 357
Сильченко В.В. 161
Синева И.С. 183, 270
Скоробогатова Е.А. 363
Смоляков В.Н. 155, 161
Совенко А.С. 132
Совенко Д.С. 135
Сосновский И.А. 76
Стаценко Е.А. 76
Степская И.А. 367

Сухорукова Е.В. 19, 24, 48, 53, 124
Табунщикова П.М. 318
Тесля С.П. 124
Тищенко Е.Н. 379
Трофименко В.Н. 372
Тураев Ф.И. 227
Турсунов Ш.А. 250
Уколова С.А. 367
Устименко Д.Л. 376
Усынин М.Г 167
Федотов В.В. 379
Федотова П.Ч.Е. 383
Цыганов А.М. 34
Чикалов А.Н. 175
Шадрунова О.О. 411
Шаравова О.И. 387
Швачко О.В. 179
Швидченко С.А. 199, 334
Шевчук П.С. 42, 210
Шестаков И.И. 241
Юркин А.А. 106
Юхнов В.И. 42, 210
Яковенко А.А. 379, 394, 400, 406, 411
Яковлев Д.А. 183
Янкина А.И. 38, 175