



71

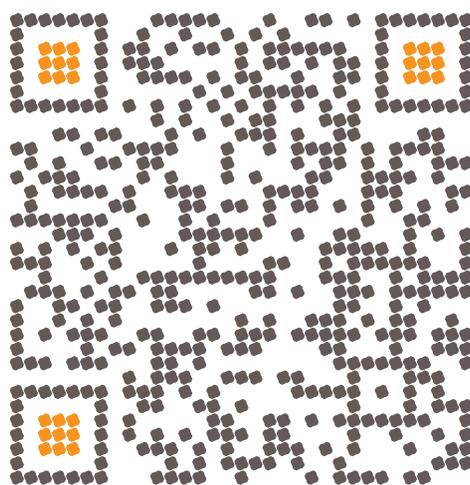
Региональная
научно-техническая
конференция

студентов, аспирантов
и молодых учёных

СТУДЕНЧЕСКАЯ ВЕСНА - 2017

23-24 мая

СПбГУТ



СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

УДК 061.3(082)
ББК 74.58

71-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2017» : сб. науч. ст. в 2-х т. / Под ред. К. В. Дукельского; сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникевич, С. В. Мышьянов. Т. 1. СПб. : СПбГУТ, 2017. 347 с.

В научных статьях участников конференции исследуются состояние и перспективы развития мирового и отечественного уровня IT и телекоммуникаций. Предназначено студентам, аспирантам и специалистам отрасли связи.

Издание изготовлено оргкомитетом конференции при участии редакции электронного научного журнала «Информационные технологии и телекоммуникации»
www.itt.sut.ru

Корректура и верстка Е. М. Аникевич
Подписано в печать 01.08.2017.
Вышло в свет 31.08.2017. Формат 60x90 1/8.
Уст. печ. л. 21,7. Заказ № 034-ИТТ-2017.
Россия, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Машков Г. М. – первый проректор–проректор по учебной работе

Ответственный секретарь

Елагин В. С. – начальник отдела организации научной работы студентов

Члены организационного комитета

Аверченков В.И. – начальник учебно-методического управления

Пацкан М. Ю. – начальник управления эксплуатации инфокоммуникационных систем

Колесникова О. А. – начальник управления маркетинга и рекламы

Пономарева Е. Ю. – начальник редакционно-издательского отдела

Мышьянов С. В. – главный специалист отдела организации научной работы студентов

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Бачевский С. В. – доктор технических наук, профессор, ректор

Заместители председателя

Дукельский К. В. – кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе

Алексенко И. А. – кандидат педагогических наук, проректор по воспитательной работе и связям с общественностью

Ответственный секретарь

Владыко А. Г. – кандидат технических наук, начальник управления организации научной работы и подготовки научных кадров

Члены программного комитета

Кирик Д. И. – кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиотехнологий связи

Бузюков Л. Б. – кандидат технических наук, профессор, декан факультета инфокоммуникационных сетей и систем

Коротин В. Е. – кандидат технических наук, доцент, декан факультета информационных систем и технологий

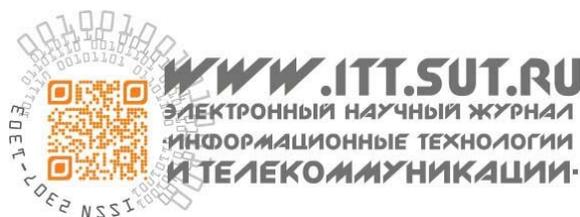
Колгатин С. Н. – доктор технических наук, профессор, декан факультета фундаментальной подготовки

Арзуманян Ю. В. – кандидат технических наук, доцент, декан факультета экономики и управления

Лосев С. А. – кандидат исторических наук, профессор, декан гуманитарного факультета

Лубянников А. А. – кандидат педагогических наук, доцент, директор Института военного образования

Неисключительные права на все материалы, опубликованные в данном издании, принадлежат СПбГУТ. Все материалы, авторские права на которые принадлежат СПбГУТ, могут быть воспроизведены при наличии письменного разрешения от СПбГУТ. Ссылка на первоисточник обязательна. По вопросам приобретения неисключительных прав и использования сборника обращайтесь по тел. (812) 312-83-79, e-mail: telecomsut@gmail.com Тип компьютера, процессор, сопроцессор, частота: Pentium IV и выше / аналогичное; оперативная память (RAM): 256 Мб и выше; необходимо на винчестере: не менее 64 Мб; ОС MacOS, Windows (XP, Vista, 7) / аналогичное; видеосистема встроенная; дополнительное ПО: Adobe Reader версия от 7.X или аналогичное. Защита от незаконного распространения: реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat.



Радиотехнологии в связи

- 6 Балук М. В.** Этапы формирования интерактивного электронного руководства
- 11 Барышников Н. В., Запольских Е. Ф., Летавин Д. А.** Полосно-пропускающий фильтр на двух Г-образных резонаторах
- 14 Березин А. Ю.** Судовая система для управления швартовкой
- 20 Буров А. Н., Колосько А. Г., Попов Е. О., Филиппов С. В.** Моделирование эффекта гистерезиса вольт-амперных характеристик полевых электронных эмиттеров
- 26 Васильев Е. Ю.** Концепция программного обеспечения для синтеза диаграмм направленности фазированных антенных решёток с учётом уравнения радиолокации в совмещённых системах радиосвязи и вторичной радиолокации
- 30 Винничек Р. Н., Колосько А. Г., Попов Е. О., Филиппов С. В.** Анализ однородности эмиссионной поверхности наноструктурированных полевых катодов для оптимизации технологии их изготовления
- 34 Волков Р. Э.** Особенности построения современных цифровых активных фазированных антенных решёток
- 38 Горобцов И. А.** Особенности работы микроконтроллеров STM32L0 компании STMICROELECTRONICS в режимах пониженного энергопотребления
- 41 Жукова А. В.** ТВ камера для наблюдения астрономических объектов в условиях дневной освещённости
- 45 Ильиных А. Б., Запольских Е. Ф., Летавин Д. А.** Полосно-пропускающий фильтр на резонаторах в виде меандра
- 49 Карпов Г. А.** Исследование способов и особенностей построения малошумящего усилителя приёмного канала приёмно-передающего модуля активной фазированной антенной решётки
- 53 Киреев Д. А.** Возможные направления модернизации фазированной антенной решетки первичного радиолокатора х-диапазона
- 56 Коваленко В. Н., Золотухин Я. В.** Аппаратная реализация быстрого преобразования Фурье на цифровых сигнальных процессорах НПЦ «Элвис»
- 60 Короткин К. Ф.** Радиообследование действующей беспроводной промышленной Wi-Fi сети в карьере «Южный», горнообогатительного комбината АО «Карельский Окатыш»
- 65 Кылосов Д. В.** Исследование методов передачи видеоданных в формате *HD* и *UHD* в системах ЦТВ
- 70 Лешошко А. А., Сударенко Д. Г.** Оценка пропускной способности радиоканалов передачи данных современных космических комплексов дистанционного зондирования земли
- 75 Остромухов Д. М.** Разработка системы озвучения помещения общественного питания СПбГУТ
- 80 Пирогов Ю. В.** Анализ программных продуктов для визуализации РЭС для обучения студентов основам промышленного дизайна
- 84 Помогалова А. В., Резников Б. К.** Генерация С-кода для реализации искусственных нейронных сетей на отладочной плате TMDSEVM66781 с применением Matlab
- 88 Помогалова А. В.** Применение пакета инструментов Neural Network Toolbox Matlab при моделировании нейронных сетей
- 90 Степанов А. Б., Гринёва А. К., Жуковский И. И.** Реализация функции XOR с помощью искусственных нейронных сетей на MSP430G2X
- 93 Стеценко А. И.** Методы слепой оценки времени реверберации
- 98 Строгалев Д. С.** Исследование способов и особенностей построения усилителей мощности для приемо-передающих модулей для активных фазированных антенных решёток
- 102 Султреков Д. Р.** Разработка модуля кодированных инфокоммуникационных ресурсов
- 106 Терентьев Ден. А., Терентьев Дан. А.** Определение числа π методом Монте-Карло с использованием системы MATLAB
- 110 Тютин А. В., Шеламова М. А.** Реализация АМ передатчика и приёмника средствами программно-конфигурируемого радио
- 115 Шалунов И. А.** Исследование материалов и конструктивных принципов для обеспечения электромагнитной совместимости возимых РЭС

Инфокоммуникационные сети и системы

- 120 Авчарова А. О., Елисеев С. М.** Разработка сценария и методологии проведения лабораторных работ по изучению протокола ARP на базе ИП SQUITCH

- 122 **Аксенов К. Д.** Реализация прокси-сервера для обработки HTTP/HTTPS – трафика
- 127 **Ахрамеева К. А., Скородумов С. А.** SteganRTP в IP-телефонии
- 130 **Байдин И. А., Марат Ж. М., Гольдштейн Б. С.** Анализ текущего состояния развития сельской связи
- 135 **Бекмамбетова Д. Д.** Исследование интернет трафика квартирного сектора
- 139 **Виноградова О. М.** Общее представление проекта адаптивной саморазвивающейся системы SSP_AI
- 145 **Гребенюк В. П., Ребров Д. А.** Анализ сетей SDN как объекта управления
- 150 **Дмитриева Е. В., Базылев Ю. Г.** Трансляция с IP-камеры с низкой задержкой
- 154 **Донсков Е. А., Кобзев К. О.** Разработка сценария и методологии проведения лабораторных работ по изучению протокола IP на базе ИП SQUITCH
- 157 **Доценко С. Э.** Опыт эксплуатации действующей волоконно-оптической линии связи
- 162 **Елагин В. С., Онуфриенко А. В.** Исследование статистических аспектов применения DPI-технологий для идентификации трафика и обеспечения QOS OTT-сервисов
- 168 **Ерофеева Ю. В.** Ландшафт современных угроз безопасности, эксплуатирующих уязвимости электронной почты
- 173 **Исаков А. С., Ковцур М. М.** Сравнение механизмов проверки статуса сертификата открытого ключа в УЦ на базе ОС «Astra Linux»
- 178 **Кормановская А. А.** Взаимодействие подсистемы прецедентной обратной связи со средой оператора связи
- 181 **Лесников Е. А., Мыльников В. А.** Оценка количественных параметров покрытия сотовой связи в стандарте LTE
- 184 **Помогалова А. В.** Разработка программного обеспечения для адаптации студенческого расписания под систему ANDROID
- 188 **Помогалова А. В.** Принцип работы системы проверки знаний применяемый в системе дистанционного обучения Qnet+
- 192 **Резников Б. К.** Модель передающего устройства многоканальной системы передачи на ПЛИС Cyclone V
- 197 **Савич В. В.** Проектирование автоматизированного процесса по устранению неисправностей сетевого оборудования с применением систем НТЦ Аргус
- 200 **Усманов О. С.** Задачи анализа трафика SDN и методы решения
- 205 **Феоктистов А. В.** Анализ влияния параметров профиля показателя преломления на параметры оптического волокна
- 210 **Фирсова М. А.** Особенности интеграции технологии MPLS на сетях SDN
- 215 **Фицов В. В.** Методы оптимизации сетевой конфигурации системы DPI
- 219 **Фостач Е. С., Левин М. В.** Анализ обеспечения защищенного доступа к данным в облачных средах
- 224 **Чернов А. В.** Критерии выбора архитектуры сети малого предприятия
- 229 **Шаврова Е. А.** Исследование модели протоколов аутентификации 802.1X
- 233 **Шариков П. И.** Методика создания и вложения цифрового водяного знака в исполняемые Java-файлы
- 239 **Шестакова А. А.** Проектирование участка сети по технологии FTTH с помощью системы ТУ
- 243 **Ялунина Т. Р., Гришин И. В.** Расчёт оптимального расположения источников излучения для реализации технологии передачи данных посредством светодиодов видимого излучения

Теоретические основы радиоэлектроники

- 249 **Гершенкоп Д. И.** Использование колец ИФАП в генераторах опорных частот
- 254 **Катасонов А. И., Кузнецов С. А., Судеревская Р. В.** Алгоритмы оптимизации методами Розенброка, Дэвидона-Флетчера-Пауэлла, Нелдера-Мида
- 259 **Лыпарь И. Ю.** Ректенный преобразователь для беспроводного сбора энергии
- 264 **Орлов Д. А., Сивков Д. И.** Сравнение достоинств и недостатков пакетов программ Microwave Office и HFSS при моделировании, анализе и оптимизации эллиптических фильтров
- 269 **Сазоненко Н. Ю., Сединин А. Д.** Исследование зависимости параметров выходного сигнала от параметров источника сигнала и гетеродина в базовых схемах смесителей
- 273 **Сазоненко Н. Ю., Шаповалова П. В.** Применение светоприёмных интегральных схем
- 277 **Седышев Э. Ю., Селиверстов Л. А.** Практическая реализация СВЧ-фильтров на копланарных эллиптических резонаторах

- Сети связи
специального назначения**
- 282 Арсентьева Е. В., Хмелляр Н. А.** Протокол OPENFLOW как основа программно-конфигурируемых сетей специального назначения
- 286 Белоус А. С., Ершов Г. О., Вархотов Г. М.** Применение тензорного анализа при построении телекоммуникационной системы
- 289 Гевель М. Д.** Краткий экскурс становления и развития телеграфной связи
- 294 Горбачева М. А., Кажан В. М., Чагин П. А.** Виртуальный тренажер для изучения мультисервисных сетей связи специального назначения в учебном военном центре
- 299 Гриценко Ю. С., Дунаева А. А.** Эффективные методы спектральной цифровой модуляции
- 303 Кажан В. М., Фролова Ю. А.** Huawei eNSP
- 307 Климов И. С.** Имитационная модель орбитального движения навигационных космических аппаратов ГНСС BEIDOU
- 312 Кузнецов Д. А., Митрошина П. О., Сёмин А. А.** Средства измерения, устройства контроля и мониторинга радиочастотного ресурса
- 317 Кузнецов Д. А., Митрошина П. О., Сёмин А. А.** Подготовка специалистов связи на основе учебно-тренировочных карт
- 322 Суранова М. А.** Влияние шумов на ослабление сигнала в канале связи
- 327 Суюндукова А. А.** Сравнительная характеристика оптоволоконной линии связи и электрической линии связи
- 330 Фролова Ю. А., Чагин П. А.** Программное обеспечение компании «СУПЕРТЕЛ» для изучения мультисервисных сетей связи специального назначения
- 334 Широков С. О.** Методика оценки эффективности подземной антенны
- 339 Широков С. О.** Анализ зависимости коэффициента усиления подземных антенн от конструкции плеча
- 344 Штеренберг И. Г., Стахеев К. И., Безбородова К. С.** Расчёт среднего значения коэффициента передачи мощности принимаемого сигнала атмосферно-оптического канала связи

УДК 004.91**М. В. Балук** (студент, СПбГУТ)**ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ИНТЕРАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО РУКОВОДСТВА**

В данной статье представлен общий обзор интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР), который начинается с краткого обсуждения проблем, связанных с необходимостью применения ИЭТР, общих характеристик ИЭТР, а также основные аспекты спецификаций ИЭТР. Основные классы ИЭТР, где 0 класс включен для полноты определения, а 5 класс оставлен открытым для будущих нововведений.

ИЭТР, CALS, техническое руководство, техническая информация, классы ЭТР.

Цель истинной интеграции технической информации в системах логистической поддержки фактически невозможно определить, когда предприятия должны полгаться на бумажные технические руководства для основной массы информации. Помимо содействия серьезным долгосрочным логистическим проблемам, связанным с производством, хранением, контролем, модификацией и использованием большого количества бумаги, технические руководства в нынешнем их виде неспособны включить в автоматизированную стандартизированную систему реального времени для передачи и обмена информацией о материально-техническом обеспечении в понятной форме. В частности, бумажные технические руководства неоправданно дороги для производства и управления, и их сложно интегрировать в автоматизированную систему материально-технического обеспечения, и они настолько неудобочитаемы и непонятны, что серьезно замедляют процесс технического обслуживания, увеличивают число случаев ложного снятия деталей или их присоединение, и увеличивают время обучения.

Чтоб уменьшить масштаб этих проблем, предпринимаются меры по автоматизации процессов производства и управления производством на бумажных носителях. Однако существующие меры автоматизации технических руководств, могут обеспечить улучшения на определенных этапах жизненного цикла устройства, но не могут обеспечить полного решения. В частности, они не могут удовлетворить требование об интеграции технической информации в реальном времени в стандартизированном виде. Наилучший подход к автоматизации процессов технической информации заключается не в автоматизации настоящего бумажного продукта, а в использовании новой среды предоставления информации – интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР).

Характеристики ИЭТР

ИЭТР предназначено для функционального эквивалента технического руководства на бумажной основе и в большинстве случаев полной замены бумажного руководства. Отличается тем, что оно предназначено для отображения на каком-либо электронном устройстве отображения и было преобразовано, чтобы использовать преимущества электронного носителя и компьютеризированной системы управления. Оно специально отформатировано для дисплея электронного экрана, с меньшей, но наиболее сфокусированной информацией, представляемой пользователю в любой момент времени. Электронный дисплей предоставляет функции, не доступные на бумажном носителе, такие как отображение определенного графического изображения или части графического изображения, специально связанного с текстовым выводом, когда этот текст отображается. Это намного эффективнее, чем подпись «см. Рисунок 1», используемая для ссылки на графику в бумажном руководстве. ИЭТР может быть спроектировано так, чтобы быть интерактивным с пользователем, время от времени запрашивая информацию у пользователя и основываясь на вводе этой информации, определяя, какую информацию отображать после этого. Благодаря этому интерактивному механизму ИЭТР может эффективно направлять пользователя с помощью этой процедуры, таким образом, каким не может обычный бумажный документ.

Есть несколько других характеристик для ИЭТР, специально предназначенных для работы в среде базы данных CALS. Технические руководства содержат огромное количество информации, и большая часть этой информации хорошо структурирована и организована вокруг таких факторов, как аппаратные компоненты, операционные подсистемы или такие факторы, как каталог способов устранения неисправностей. Однако в бумажном руководстве читателю предоставляется возможность доступа, предоставленной в виде разбитого на страницы списка того, что компьютер считает текстом свободной формы. В CALS технологиях эта организационная информация собирается в компьютерные обрабатываемые категории для последующего доступа, обработки с добавлением стоимости и конечного использования.

Необходимость стандартов ИЭТР

В настоящее время предпринимаются многочисленные меры по разработке некоторых типов ИЭТР. Проблема, возникающая сейчас, заключается в нестандартном характере этих, в основном, спонтанных мер. Существует необходимость разработать содержательную стратегию управления эволюцией ИЭТР. Ключевым фактором, необходимым для управления этой эволюцией, является установление общих определений ИЭТР, стандартов и сопутствующих спецификаций.

Основные аспекты спецификации ИЭТР

Спецификации ИЭТР были разработаны для трех основных аспектов всего процесса подготовки ИЭТР. Первым аспектом спецификации является общая спецификация самого ИЭТР, фактически электронная замена MIL-M-38784 (спецификация бумаги технического руководства). Эта общая спецификация ИЭТР, MIL-M-38784, имеет требования для нескольких областей. Первая включает требования к административной информации и определенному контенту, требуемого для любого ИЭТР, независимо от того, что является предметом. Вторая область включает требования к стилю информационных элементов (например, текстовые блоки, графики и т. д.) в форме, которая применяется, когда элемент добавляется в неформатированную исходную базу данных, а также когда элементы отображаются на экране компьютера. Третья область требований – формат отображаемой информации ИЭТР, когда он отображается на экране электронного дисплея. Четвертая область требований задает стандарты взаимодействия пользователя с отображаемой информацией. Эти две наиболее поздние области требований часто упоминаются как «внешний вид» ИЭТР. Эта спецификация применима, по крайней мере, к двум критическим аспектам процесса закупок ИЭТР: она устанавливает стандарты авторства базы данных ИЭТР, а также системы представления ИЭТР.

Вторым аспектом, требующим уточнения, является процесс обеспечения качества (ОК) для создания самого ИЭТР. Потребность в этой спецификации исходит из базовой перспективы, что более важно иметь точную и правильно представленную информацию, чем иметь конечную систему представления информации ИЭТР. Хотя спецификация обеспечения качества MIL-Q-87270 определяет требования к программе обеспечения качества, она делает это косвенно. Конкретное требование – предоставить подрядчику разработку плана программы обеспечения качества (ППОК). В спецификации указаны области, которые должны быть детализированы в ППОК, но ответственность за разработку подробных процедур для программы возложена на подрядчика. Особенность спецификации ОК заключается в том, чтобы предоставить больше контроля над самим процессом создания ИЭТР, поскольку фактическая поставка осуществляется в электронной форме и нелегко провести однократное испытание по ее получению. В нем также подчеркивается необходимость окончательной проверки фактического устройства отображения, которое будет использоваться специалистом по техническому обслуживанию конечного пользователя.

Третий аспект спецификации ИЭТР – это база данных, которая используется для разработки ИЭТР и отображает область на которую надо обратить внимание, существенно отличную от той, которая указана в традиционных бумажных технических руководствах. Поскольку база данных ИЭТР представляет собой все новую и новую концепцию, спецификация базы данных MIL-D-87269 была разработана для применения в различных

ситуациях. Основной характер некоторых реализаций ИЭТР заключается в том, что ИЭТР является механизмом для просмотра информации из интегрированной базы данных, которая содержит больше информации, чем действительно необходимо для конкретного приложения. Средство просмотра ИЭТР представляет только те данные, фактически необходимые для конкретного приложения и необходимые в определенный момент времени. В других случаях использования информации в ИЭТР (например, просмотр информации о деталях, разработка учебных материалов), база исходных данных имеет решающее значение, поскольку информация ИЭТР была создана один раз, но может отображаться в нескольких различных приложениях, с использованием различных презентационных систем, и в особых случаях для разных клиентов. Поэтому база данных должна быть разработана в форме, которая содержит весь логический контент, но не привязывает его к определенному формату представления.

Классы электронных технических руководств

Классы ЭТР, представленные ниже группируются с 0 по 5. Где 0 класс включен для полноты определения, а 5 класс оставлен открытым для будущих нововведений.

Класс 0. Нецифровые индексированные изображения страниц – системы оцифрованных изображений страниц, которые предназначены для электронной архивной систематизации или печатаются на заказ. Они позволяют просматривать страницы на электронном дисплее, но не имеют подробного указателя для навигации по документу с целью онлайн-использования.

Класс 1. Электронно-индексированные изображения страниц – системы изображений в цифровом формате, предназначенные для полноэкранного отображения и использования, позволяющие осуществлять навигацию с помощью автоматизированного интеллектуального указателя к изображениям страниц для доступа пользователей. Эти системы могут использоваться в библиотеке или в справочной установке для чтения и исследования.

Класс 2. Электронные скроллинговые документы – системы интерактивного отображения ASCII – кодированных документов с использованием интеллектуального указателя и гипертекстовых тегов, вставленных в файл с тегами документа. В общем, документ является результатом простого преобразования из документа, ориентированного на страницы, но с небольшим или отсутствующим переавторированием специалистом по предмету, за исключением добавления гипертекстовых тегов. Они позволяют пользователю перемещаться по документу, но имеют очень ограниченные вставленные автором средства навигации.

Класс 3. Линейные структурированные ИЭТР – интерактивное отображение технической информации, которое отмечено SGML с использова-

нием тегов MIL-D-87269 в максимально возможной степени и с использованием системы представления гипертекста для отображения в соответствии с MIL-M-87268. Он основан на линейном файле документа SGML, а не на использовании иерархической базы данных. Навигация основывается на разработанных автором конструкциях, в которых используются диалоговые окна с подсказками.

Класс 4. Иерархически структурированные ИЭТР – интерактивный электронный дисплей технической информации, специально созданный и поддерживаемый в объектно-ориентированной иерархической базе данных. Исходные данные впоследствии комплектуются в качестве базы данных времени выполнения для интерактивной презентации в соответствии со спецификациями ИЭТР. Этот класс отличается от класса 3 в основном тем, как управляются исходными данными. Представление для пользователя может быть очень похожим.

Класс 5. Интегрированная база данных ИЭТИС – интегрированная электронная техническая информационная система (ИЭТИС) для интерактивного представления ИЭТР класса 4, интегрированная с данными для других процессов, включая правила экспертной системы для отображения информации и других пользовательских приложений, таких как диагностика или компьютерное обучение. Этот класс предназначен для включения будущих приложений и функций, еще не разработанных или достаточно развитых для использования в производственных целях [1].

Перспективы развития ИЭТР

На данный момент, потенциальные преимущества ИЭТР широко признаны, и переходят к их закупке вместо обычных технических руководств. Вопрос заключается в том, насколько стандартными будут эти ИЭТР. Приведенные выше спецификации обеспечивают основу для стандартизации, однако они предназначены для включения различных реализаций. Необходимы подробные указания или дополнительные спецификации для обеспечения одинакового «внешнего вида» для нескольких ИЭТР или для любой реальной степени совместимости, то есть для ИЭТР одной системы, которая смогла бы также функционировать в другой системе отображения.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 54088–2010. Интерактивные электронные эксплуатационные и ремонтные документы. М. : Изд-во стандартов, 2012. 26 с.

*Статья представлена научным руководителем,
ассистентом СПбГУТ Капраловым Д. Д.*

УДК 621.372.543.2

Н. В. Барышников, Е. Ф. Запольских (студенты, УрФУ)
Д. А. Летавин (ассистент, УрФУ)

ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА ДВУХ Г-ОБРАЗНЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Предложена конструкция микрополоскового полосно-пропускающего фильтра (ППФ), с использованием двух идентичных Г-образных резонаторов. Подача и снятие сигнала осуществляется с помощью микрополосковых линий передачи расположенных на противоположенной стороне подложки от резонаторов. Используя программы трехмерного электродинамического моделирования был спроектирован ППФ, на подложке с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4.4$ и толщиной $h = 1,5$ мм. Центральная частота фильтра равняется 1 250 МГц, а полоса рабочих частот составляет 76 МГц. Предлагаемая конструкция имеет компактные размеры и занимает всего лишь $40 \times 50 = 200$ мм².

микрополосковая линия, резонатор, полосно-пропускающий фильтр.

Введение

Как известно селективные устройства являются важнейшими элементами радиотехнических систем. К таким селективным устройствам можно отнести и микрополосковый полосно-пропускающий фильтр. Данный фильтр имеет полосу пропускания, которая находится в определенном диапазоне частот, и две полосы заграждения расположенные по обе стороны полосы пропускания. Одними из основных требований, предъявляемых к таким устройствам, являются компактность, технологичность изготовления и высокие частотно-селективные свойства. В некоторых практических важных случаях габаритные размеры традиционных топологий полосно-пропускающих фильтров являются большими и необходимо их уменьшить, либо найти конструктивное решение, которое позволит получить такие же частотные характеристики при компактных размерах устройства.

Настоящая работа посвящена разработке конструкции микрополоскового фильтра на двух Г-образных резонаторах, а питающие линии расположены на противоположной стороне подложки от этих резонаторов. Использование питающих отрезков микрополосковой линии передачи на противоположной стороне подложки от резонаторов, позволяет уменьшить габариты устройства. В литературе уже присутствует большое множество компактных конструкций полосно-пропускающих фильтров [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Например, в [1, 2] миниатюризация достигается за счет использования квази-сосредоточенных емкостей и индуктивностей. В [3] применяется резонатор сложенный в форме буквы «С», а в [4] используется многослойная подложка с кольцевым резонатором, кроме того,

фильтры с резонаторами в виде разрезанного кольца обсуждаются в [5, 6, 7, 8]. В [9, 10] исследованы конструкции на основе гребенчатых структур. Кроме того, фильтры со ступенчатыми резонаторами [11, 12]. Однако не во всех перечисленных устройствах, присутствует простая методика проектирования, технологичность изготовления, компактные размеры и хорошие частотно-селективные свойства. Предлагаемый микрополосковый полосно-пропускающий фильтр имеет не сложный процесс моделирования, но при этом имеет компактные размеры.

Проектирование

Предлагаемый микрополосковый полосно-пропускающий фильтр с узкой полосой пропускания, содержит диэлектрическую подложку, на одной поверхности которой нанесено заземляемое основание, из которого вытравлено два идентичных Г-образных резонатора, а на вторую поверхность нанесены полосковые проводники, имеющие волновое сопротивление равное 50 Ом. Простой математический расчет не может позволить учесть все факторы, которые влияют на амплитудно-частотную характеристику. Поэтому в данной работе будет использована программа 3D-моделирования с помощью, которой не только ускоряется процесс проектирования устройств, но и позволяет учесть множество различных факторов влияющие на их характеристики. В качестве материала подложки был выбран *FR-4* с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4,4$, тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta = 0,02$ и толщиной $h = 1,5$ мм. В качестве центральной частоты для проектирования конструкции была задана частота 1 250 МГц.

После того, как спроектированы Г-образные резонаторы, проектируются микрополосковые линии расположенные на противоположной стороне подложки под резонаторами. Их положение и длина определяется исходя из получения максимального коэффициента передачи и наилучшего согласования, как на центральной частоте, так и в ее окрестности (полосе пропускания). Топология верхней и нижней стороны подложки, показана на рис. 1, 2.

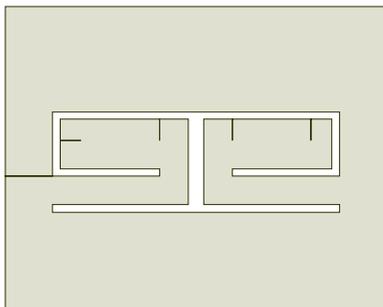


Рис. 1. Топология резонатора на металлизированном экране

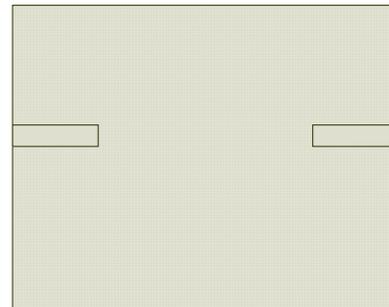


Рис. 2. Питающие МПЛ

Численные результаты моделирования, полученные в программе HFSS, показаны на рис. 3. Из полученной характеристики можно сделать вывод, что фильтр имеет узкую полосу рабочих частот.

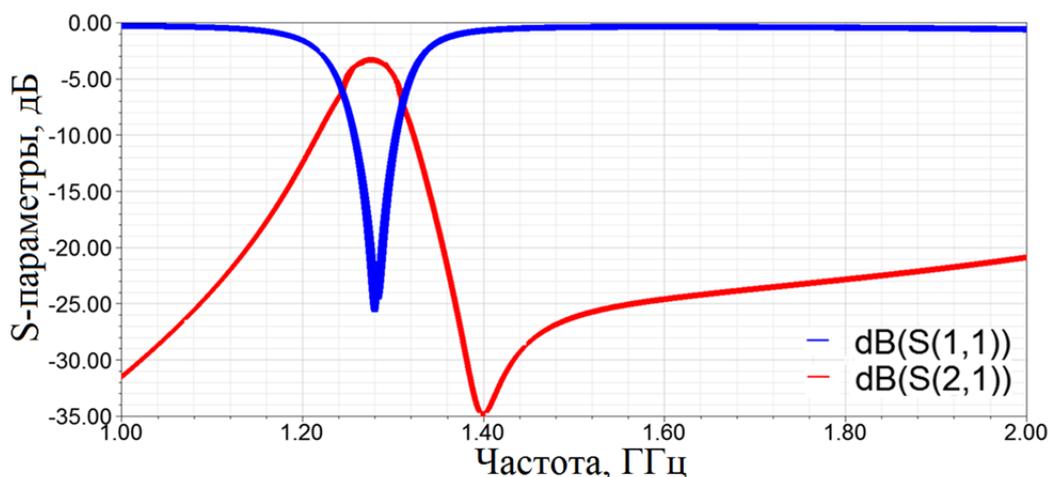


Рис. 3. Результаты численного моделирования

Из рис. 3, видно, что центральная частота фильтра равняется 1 265 МГц, а полоса пропускания, оцениваемая по уровню -3 дБ от минимальных потерь, начинается на 1 235 МГц и заканчивается на частоте 1 311 МГц. Минимальные потери на центральной частоте равняются $-3,3$ дБ, данные потери могут быть уменьшены при выборе материала с меньшими потерями в диэлектрике. Параметр согласования S_{11} имеет значение ниже -10 дБ во всей полосе пропускания.

Заключение

В данной работе была предложена конструкция микрополоскового полотно-пропускающего фильтра с относительной полосой пропускания равной 6 %. Для построения фильтра использовалось два идентичных Г-образных резонатора и две линии питания расположенные на противоположной стороне подложки от резонаторов. Устройство является симметричным и поэтому любая линия питания может быть как входом, так и выходом. Достоинством данного фильтра можно выделить его компактные размеры, всего лишь $50 \times 40 = 2\,000$ мм².

Список используемых источников

1. Yang T., Tamura M., Itoh T. Compact hybrid resonator with series and shunt resonances used in miniaturized filters and balun filters // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2010. V. 58. N 2. pp. 390–402.
2. Zhu J., Feng Zh. Microstrip interdigital hairpin resonator with an optimal physical length // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2006. V. 16. N 12. pp. 672–674.
3. Hung C.-Y., Weng M.-H., Lan S.-W., Huang C.-Y. // J. Electromagnetic Waves and Applications. 2012. V. 26. pp. 12–23.

4. Vegesna S. and Saed M. Compact two-layer microstrip bandpass filter using broadside-coupled resonators // Progress In Electromagnetics Research B. 2012. V. 37. pp. 81–102
5. Liu J.-Q., Jin J.-Y., Li J. L.-W. A Miniature Bandpass filter with split ring resonator and asymmetrical coupled lines // International Conference on Communications, Circuits and Systems. 2013. V. 2. pp. 425–427.
6. Rathore V., Awasthi S., Biswas A. Design of compact dual-band bandpass filter using frequency transformation and its implementation with Split Ring Resonator Dual-band bandpass filter using SRR // 44th European Microwave Conference. 2014. pp. 949–952.
7. Panda A. K., Sahu K. S., Mishra R. K. A compact triangular SRR loaded CPW line and its use in highly selective wideband bandpass filter for WiMAX communication system // 5th International Conference on Computers and Devices for Communication. 2012. pp. 1–4.
8. Horestani A. K., Duran-Sindreu M., Naqui J., Fumeaux C., Martin F. Coplanar Waveguides Loaded with S-Shaped Split-Ring Resonators: Modeling and Application to Compact Microwave Filters // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2014. V. 13. pp. 1349–1352.
9. Belyaev B. A., Serzhantov A. M., Bal'va Ya. F., Leksikov An. A., Galeev R. G. A new design of a miniature filter on microstrip resonators with an interdigital structure of conductors // Pis'ma v Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki. 2014. V. 41. Iss. 5. pp. 504–507.
10. Hong J. S., Lancaster M. J. Development of new microstrip pseudo-interdigital bandpass filters // IEEE Microwave and Guided Wave Letters. 1995. V. 5. N. 8. pp. 261–263.
11. Chen Y. M., Chang S. F. A compact stepped-impedance pseudo-interdigital bandpass filter with controllable transmission zero and wide stopband range // Microwave Conference. 2009. pp. 783–786.
12. Wu S.-R., Hsu K.-W., Tu W.-H. Compact wide-stopband microstrip bandpass filter based on stub-loaded stepped-impedance resonators // IET Microwaves, Antennas & Propagation. 2012. V. 6. N. 13. pp. 1422–1428.

*Статья представлена научным руководителем,
старшим преподавателем УрФУ Сосновским А. В.*

УДК 621.397.7-181.2

А. Ю. Березин (студент, СПбГУТ)

СУДОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ШВАРТОВКОЙ

Швартовка кораблей - ответственный процесс, где цена ошибки высока, учитываемая стоимость современных морских судов. Вероятность ошибочных действий экипажа также велика, учитывая недостаток места, времени для швартовки и большие размеры судна. В настоящее время разрабатываются технические средства с применением телевизионной техники и с использованием 3D изображений.

стереоскопическая система, 3D, видеонаблюдение, 3D очки.

Разработка схем системы стереоскопического видеонаблюдения

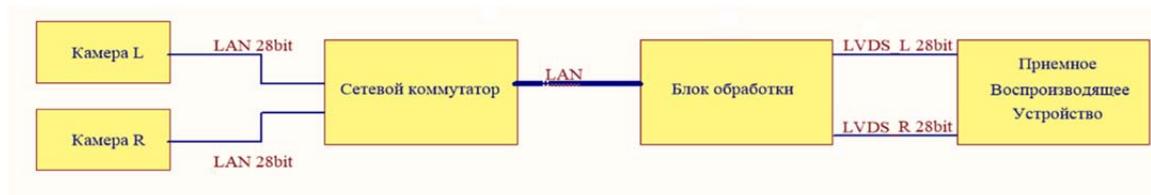


Рис. 1. Функциональная схема ТВ системы стереоскопического видеонаблюдения

На рис. 1 изображена функциональная схема разрабатываемой стереоскопической ТВ системы. Стереоскопическое изображение будет формироваться с помощью двух камер с неким базисом, который будет рассчитан позже. Камеры формируют цифровой видеопоток и по проводному каналу LAN через сетевой коммутатор, где происходит мультиплексирование сигналов, передается в блок обработки. С блока обработки сигнал передается по двум проводным каналам стандарта LVDS VESA на приемное устройство.

Камеры будут располагаться на специальной конструкции параллельно мостику дока, в данной конструкции предусмотрены отсеки для сетевого коммутатора и блока обработки. Оператор с применимо устройством будет располагаться в назначенном командования месте.

Разработка функциональной схемы приемного устройства

Было принято решение начать разработку с выбором подходящего типа приемного устройства. Для данной задачи оптимальным будет использовать тип устройств, которые именуются как шлем\очки виртуальной реальности (VR шлем), за исключением отсутствия канала звукового сопровождения, также системы трекинга, т. к. в них нет необходимости в разрабатываемом проекте.

В качестве воспроизводящего модуля был выбран промышленный дисплейный модуль со следующими характеристиками:

- Максимально потребляемый ток:
 - Матрицы дисплея – 250 mA,
 - Процессора – 100 mA;
- Напряжение питания:
 - Матрицы дисплея – 5 V,
 - Процессора – 1,8 V.

Исходя из этих данных, была разработана функциональная схема приемного устройства, изображенная на рис. 2. Также разрабатываемому устройству было дано название «3D очки», которое будет использоваться для сокращения.

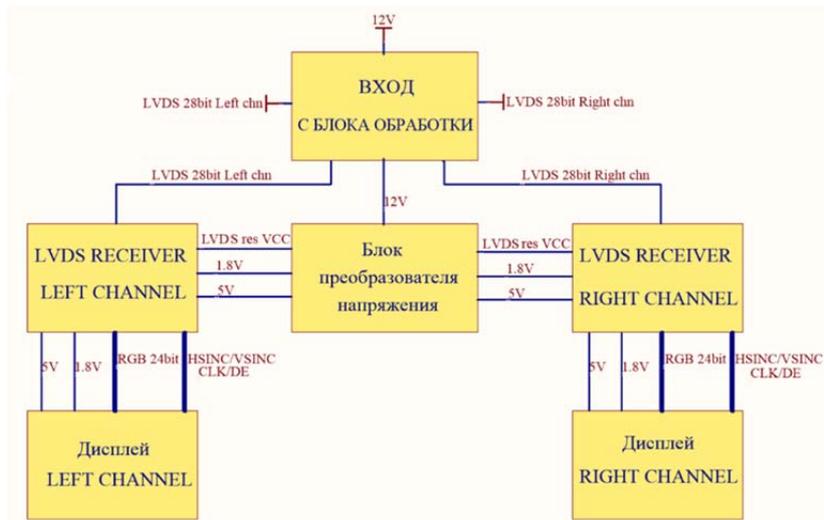


Рис. 2. Функциональная схема приемного стереоскопического устройства

Разработка функциональной схемы LVDS приемника

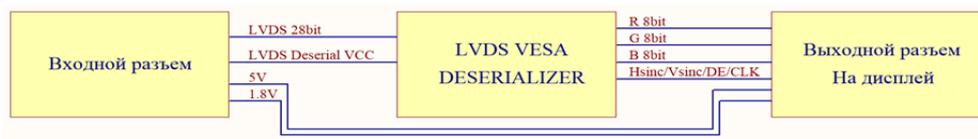


Рис. 3. Функциональная схема LVDS приемника

На рис. 3 изображена функциональная схема LVDS приемника 3D очков, которая поясняет принцип работы блока.

В качестве LVDS десериализатора потока LVDS VESA была принята микросхема DS90CF384MCT. При выборе микросхемы основными требуемыми параметрами были: диапазон рабочих температур, диапазон частоты работы PLL, разрядность глубины передачи цвета, пропускная способность.

Разработка платы преобразования питания

На рис. 4 (см. ниже) изображена функциональная схема платы преобразования питания. Перед выбором необходимых микросхем был произведен подсчет потребляемых токов элементов устройства с учетом двух каналов.

- Потребляемый ток дисплейным модулем:
 - Потребляемый ток матрицей – 500 мА,
 - Потребляемый ток процессором – 200 мА;
 - Потребляемый ток LVDS десериализатора – 210 мА.
- Были выбраны следующие микросхемы:
- Импульсный преобразователь напряжения LM2675M-5p;

- Линейный преобразователь напряжения LD1117533CTR, LD1117518CTR.

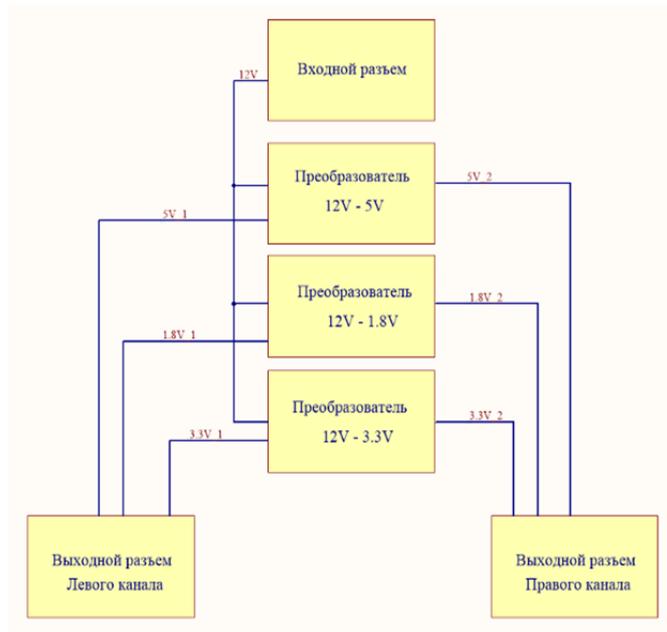


Рис. 4. Функциональная схема платы преобразователя напряжения

Расчет оптических и стереоскопических характеристик ТВ системы

Расчет оптических характеристик окуляра

Стояло требование, чтоб глаза пользователя не уставали при продолжительном использовании 3D очков. Этого можно добиться только при условии, если глаза фокусируются на бесконечность. Для определения расстояния условной «бесконечности» для глазного органа рассмотрим его как тонкую линзу и воспользуемся всем известной формулой:

$$\frac{1}{L} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{f} \quad (4)$$

где L – расстояние от объекта до оптической системы; f' – расстояние от оптической системы до изображения; f – фокусное расстояние оптической системы. Соответственно для определения дальней точки приравняем L к бесконечности, тогда

$$\lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} = 0 \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{f'}$$

Введем переменную k , $k = \min(L)$ и примем f' , как $f' = f + \Delta$, тогда

$$k = \frac{f + \Delta}{\Delta} * f \approx \frac{f^2}{\Delta} \quad (5)$$

Зная фокусное расстояние глаза, которое равно приблизительно 2 см и приняв допустимое отклонение (Δ) как длину палочек и колбочек, которая приблизительно равна 0,006 см, получим:

$$k = \frac{2^2 \text{ см}^2}{0,006 \text{ см}} \approx 6 - 7 \text{ м.}$$

В итоге расчетов было получено расстояние объекта от глаза, при котором, фокусируясь на этот объект, глаз не будет уставать. Данное расстояние равно 7 м.

Расчет необходимого фокусного расстояния окуляра

Приняв за f – требуемое расстояние от линз до мнимого изображения. Так как данное расстояние на 2 порядка превышает размеры системы, то можно приравнять $f \equiv k = 7 \text{ м}$; $L = 2 \text{ см}$. При всем этом слагаемое $\frac{1}{f'}$ получит отрицательный знак, так как получаемое изображение – мнимое.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{L} - \frac{1}{f'} = \frac{1}{2 \text{ см}} - \frac{1}{700 \text{ см}} = 0,5 - 0,0014285 = 0,49857 \text{ см,}$$

$$f = \frac{1}{0,49857 \text{ см}} = 2,0057 \text{ см.}$$

Достичь такую точность при производстве достаточно сложно и дорого, поэтому было решено увеличить фокусное расстояние на минимум 10 % + 10 % на погрешность производства. Итоговое фокусное расстояние $f = 2,5 \text{ см}$.

Расчет увеличения и углового поля зрения оптической системы

Увеличение данной оптической системы можно рассчитать, как:

$$\Gamma = \frac{tgw'}{tgw} = \frac{25 \text{ см}}{f}, \tag{6}$$

$$\Gamma = \frac{25 \text{ см}}{2,5 \text{ см}} = 10.$$

Угловое поле зрения оптической системы равно

$$2w' = 2arctg\left(\frac{y}{f}\right), \tag{7}$$

где y – полудиагональ дисплея (в мм).

$$2w' = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{15,24 \text{ мм}}{2}}{25 \text{ мм}} \right) = 2 \operatorname{arctg}(0,3048) = 2 * 0,295 \equiv 2 * 16,95^\circ = 34.$$

Расчет стереоскопических характеристик ТВ системы

Одна из поставленных задач разработки системы – это расчет необходимой базы съемки и ее регулирования. Для этого необходимо рассчитать требуемые стереоскопические характеристики.

Важной величиной, которая показывает степень стереоскопичности изображения, является полная пластика системы:

$$\Pi = n * \Gamma, \quad (9)$$

где Γ – увеличение оптической системы; n – удельная пластика системы:

$$n = \frac{b}{b_0}, \quad (10)$$

где b – расширенная стереобаза; b_0 – база глаз человека равна 65 мм.

Добиться усиления стереоскопического эффекта можно увеличивая показатель удельной пластики, т. е. расширяя базу съемки.

Расчет пластики для реального дока с размерами 300 x 60 м

Минимальное (начальное) кажущееся расстояние – 2 м = E . Максимальное кажущееся расстояние – 290 м = E' (10 м до корабля) Увеличение камер $\Gamma_{\text{кам}}$ – постоянная = 2х.

Минимальный показатель пластики до вхождения корабля в док либо в момент завершения швартовки:

$$\Pi = n * \Gamma_{\text{кам}} = 2.$$

База стереосъемки $b = b_0 = 65$ мм. Кажущееся начальное расстояние – 2 м.

Максимальный показатель пластики во время начала вхождения корабля в док:

$$\frac{E'}{E} = \frac{b}{b_0}, \quad (11)$$

$$b = \frac{E' * b_0}{E} = \frac{290 \text{ м} * 0,065 \text{ м}}{2} = 9,42 \text{ м},$$

$$\Pi = \frac{9,42 \text{ м}}{0,065 \text{ м}} * 2 = 289,84.$$

Итог: необходимо предусмотреть конструкцию, которая будет изменять базу камер в пределах от 65 мм до 9,42 м общей длиной в 4,71 м.

Заключение

В данном проекте были разработаны функциональные схемы системы и приемного стереоскопического устройства, Рассчитаны требуемые оптические характеристики окуляра. Рассчитаны стереоскопические характеристики системы. Все расчеты были использованы для реализации реальной системы.

Список используемых источников

1. Валюс Н. А. Стереоскопия. М.: Москва, 1962. 417 с.
2. Слюсарев Г. Г. Расчет оптических систем М.: Машиностроение, 1975. 639 с.
3. Заказнов Н. П. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1992. 448 с.

*Статья предоставлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Украинским О. В.*

УДК 621.385.6

А. Н. Буров (студент, СПбГУТ)

А. Г. Колосько (доцент, СПбГУТ)

Е. О. Попов, С. В. Филиппов (ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА ГИСТЕРЕЗИСА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ЭМИТТЕРОВ

В работе рассмотрены причины возникновения гистерезиса в вольт-амперных характеристиках полевых эмиттеров. Построена модель гистерезиса для многоострийного полевого эмиттера, основанная на расчёте вероятностей адсорбционно-десорбционных процессов, которые происходят на поверхности электродов в ходе полевой эмиссии. Модель создана на языке графического программирования LabView. Полученные зависимости согласуются с гистерезисом, наблюдаемым экспериментально для различных видов наноконкомпозитов.

полевая эмиссия, гистерезис, адсорбция, десорбция, наноконкомпозит.

Разработка вакуумных наноэлектронных компонентов, основанных на квантовом эффекте полевой эмиссии электронов, требует изучения достаточно сложных процессов, происходящих на поверхности полевого катода и приводящих к искажениям и эффектам "памяти" в вольт-амперных характеристиках (ВАХ) [1]. Одним из таких эффектов является гистерезис.

Эффект гистерезиса в ВАХ полевых эмиттеров различной структуры наблюдается многими исследователями. На сегодняшний день существуют несколько видов объяснения его природы: 1) адсорбционно-десорбционные эффекты, связанные с уровнем вакуума и типом остаточной атмосферы в межэлектродном пространстве [2]; 2) саморазогрев эмиссионных центров при протекании по ним эмиссионного тока [3]; 3) систематическая приборная погрешность (паразитная ёмкость электродов и т. д.) [4]; 4) необратимая деструкция эмиттера (вакуумные разряды, термические взрывы, трещины и т. д.) [5]; 5) задержка электронов на изолированных проводящих наноконцентрах при прохождении через эмиттер (эффект конденсатора) [6]; 6) инерционное изменение формы эмиссионных центров (упругие углеродные нанотрубки, нановолокна, макроскопические фрагменты плёнки композита и т. д.) [7].

Подключение к экспериментальным установкам компьютеров со специализированными платами сбора данных позволило производить быструю регистрацию и онлайн обработку ВАХ с многократным повторением эксперимента.

В работе [8] были зарегистрированы три вида гистерезисов ВАХ: «прямой», «обратный» и «восьмёрка» гистерезис при разных режимах подачи высокого напряжения (быстрый режим – импульс ~ 20 мс и медленный – импульс ~ 20 с) для разных видов наноконструктивных полевых эмиттеров (на основе графена, одностенных и многостенных нанотрубок).

Было показано, что обратный гистерезис связан с частицами, десорбирующимися с анода при повышенных амплитудах импульсов напряжения, хотя проявляется только при последующем понижении амплитуды. С помощью масс-спектрометра были зарегистрированы частицы CO, CO₂ и CH₄, которые увеличивают работу выхода нанотрубок, тем самым уменьшая эмиссионный ток.

Длительность импульсов также влияет на форму гистерезиса, так как определяет длительность десорбции частиц с анода.

Возникновение гистерезиса типа «восьмёрка» вместо «прямого» гистерезиса зависит от толщины нанотрубок, что указывает на влияние джоулева разогрева или эффекта фокусировки полей (и то и другое сильнее проявляется у одностенных нанотрубок, чем у многостенных). Все эти процессы можно использовать при объяснении формы ВАХ, что было продемонстрировано на феноменологическом уровне в работе [9].

В данной работе мы разработали модель, основанную на эффектах адсорбции-десорбции и термического разогрева эмиссионных центров.

На рис. 1 представлена схема, изображающая все использованные в модели процессы: полевую эмиссию электронов с острий катода (например, нанотрубки), термическую десорбцию частиц с поверхности острий, электронно-стимулированную десорбцию частиц с поверхности анода, адсорбцию частиц на острия катода, а также откачку летучих частиц из камеры вакуумным насосом.

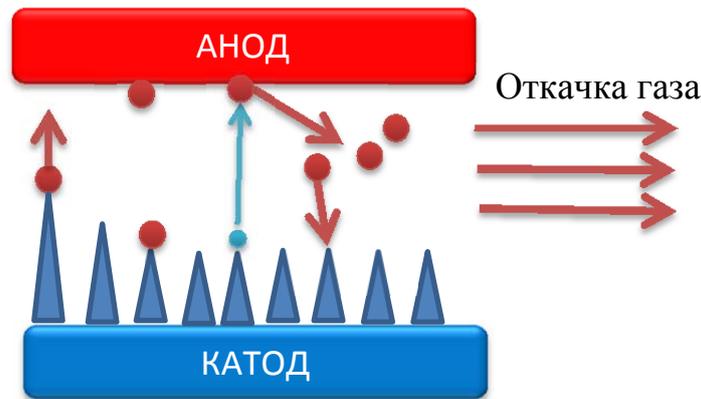


Рис. 1. Процессы в измерительной камере, сопутствующие полевой эмиссии

Для численного моделирования ВАХ были введены вероятности описанных выше процессов. Для каждой вероятности были введены константы x , отражающие степень влияния соответствующих процессов и позволяющие управлять состоянием системы.

Вероятность десорбции с катода P_{des} , которую поддерживает самонагрев острия (мощность джоулева тепла $\sim I^2$) и сила тянущего электрического поля (фокусировка поля на острие $\sim U \cdot \beta / d$, где d – межэлектродное расстояние, β – формфактор):

$$P_{des} = \exp\left(\frac{1}{I^2 \cdot x_{td}}\right) \cdot \exp\left(\frac{d}{U \cdot \beta \cdot x_{fd}}\right). \quad (1)$$

Вероятность адсорбции на катод P_{ads} , которой противодействует нагрев острия ($\sim I^2$) и тянущее поле ($\sim U \cdot \beta / d$), а "помогает" концентрация частиц в межэлектродном пространстве ($\sim n_0$):

$$P_{ads} = \exp\left(-\frac{1}{n_0 \cdot x_v}\right) \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{x_{ta}^2}{I^2}\right)\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{x_{fa} \cdot d}{U \cdot \beta}\right)\right). \quad (2)$$

Вероятность электронно-стимулированной десорбции с анода P_{edes} , которой способствует выделяемая на аноде мощность эмитирующих из катода электронов ($\sim U \cdot I_{sum}$):

$$P_{e.des} = \exp\left(\frac{1}{I_{sum} \cdot U \cdot x_{ed}}\right). \quad (3)$$

Вероятность удаления частицы из измерительной камеры в результате откачки P_{pump} , которая зависит только от концентрации частиц:

$$P_{pump} = \exp\left(-\frac{1}{n_0 \cdot x_{pump}}\right). \quad (4)$$

Моделирование было выполнено на платформе графического программирования LabView 2016 в виде циклически выполняемых друг за другом модулей (рис. 2).



Рис. 2. Блок-диаграмма алгоритма

Модель основана на двух наборах эмиссионных центров: группа А – с адсорбатами (работа выхода больше) и группа В – без адсорбатов (работа выхода меньше).

Отдельный модуль генерирует исходное распределение этих групп по величине формфактора β .

Ещё один – задаёт форму импульса напряжения, который будет формировать эмиссионный ток на каждой из итераций цикла.

Следующий модуль рассчитывает эмиссионные токи, текущие через каждый из эмиссионных центров.

Эти токи задают вероятности процессов происходящих на поверхности электродов, которые рассчитываются в следующем модуле.

В соответствии с этими вероятностями производится перераспределение эмиссионных центров между двумя группами А и В, а также расчёт изменения концентрации летучих частиц в камере (рис. 3).

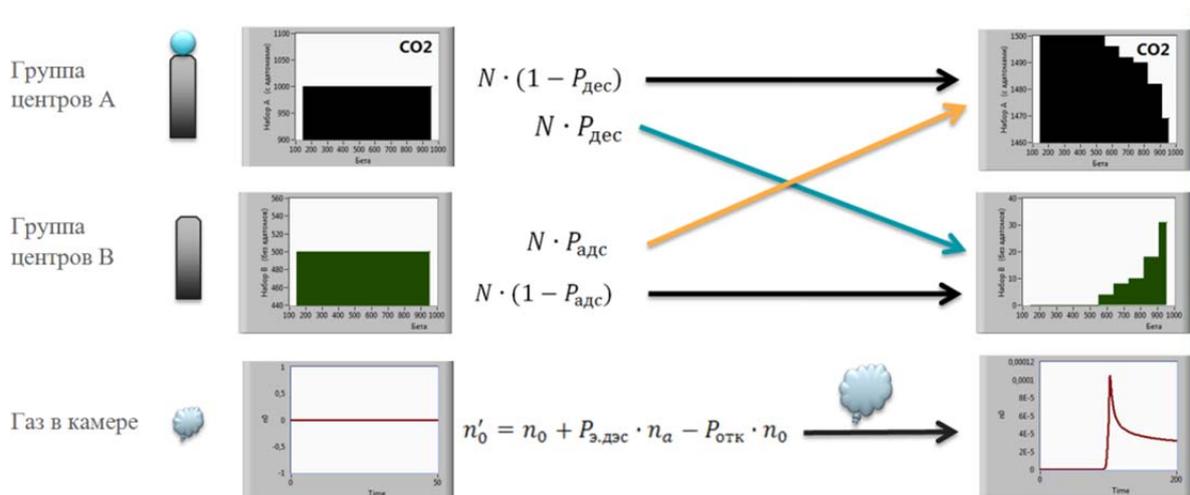
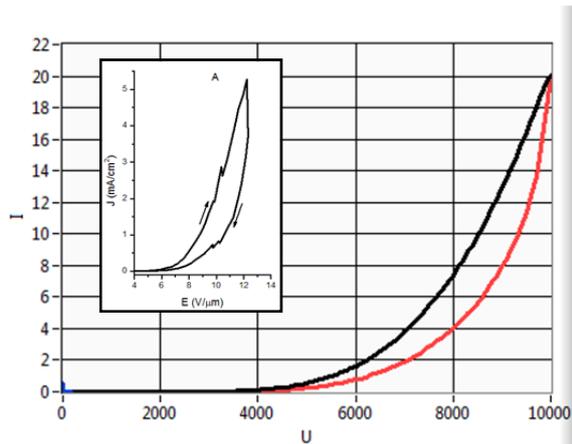


Рис. 3. Схема перераспределения эмиссионных центров и летучих частиц в камере в течение одного цикла

Для воссоздания гистерезисов различных форм были вручную подобраны параметры x , так чтобы в системе преобладали соответствующие процессы. Результаты представлены на рис. 4.

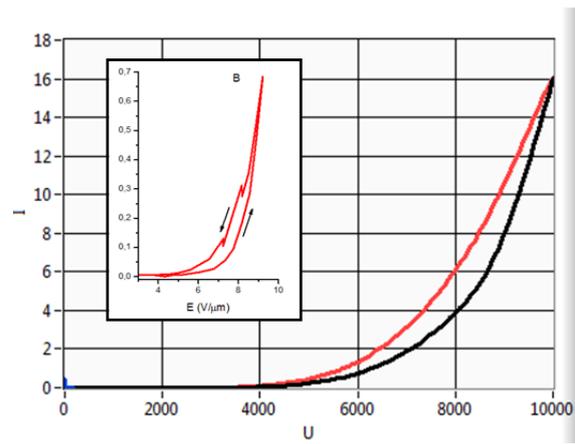
Получены результаты близкие по форме ВАХ к экспериментально наблюдаемым зависимостям.

Построенная модель имеет дальнейшие перспективы в виде вычисления эмпирических коэффициентов, входящих в управляющие уравнения, и прогнозирования поведения вольт-амперных характеристик.



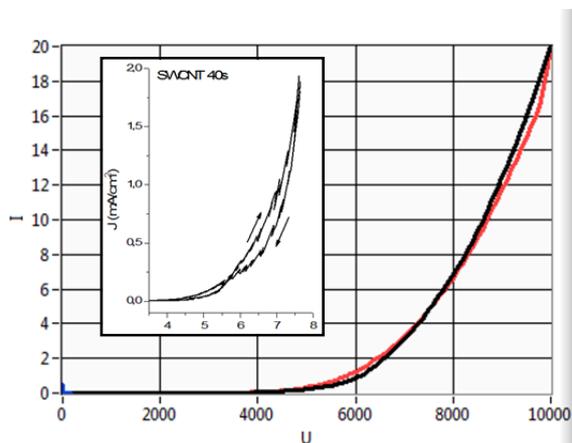
«Прямой» гистерезис:

$$x_{td} = 0, x_V = 1, x_{ta} = 0,1, x_{ed} = 7,1 \cdot 10^{-6}, \\ x_{pump} = 5\,000, x_{fd} = 10^6, x_{fa} = 10^6, n_{шагов} = 30$$



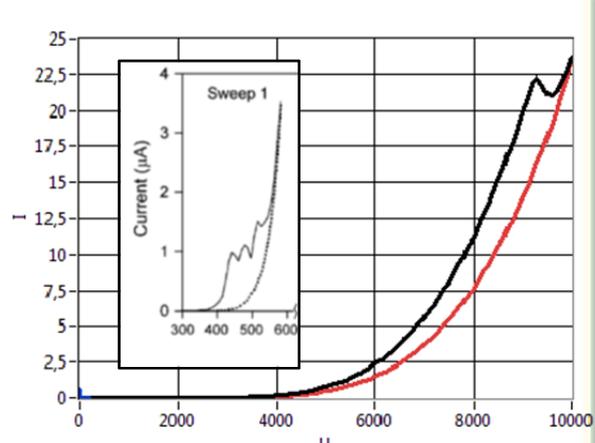
«Обратный» гистерезис:

$$x_{td} = 200, x_V = 0, x_{ta} = 0,005, x_{ed} = 5 \cdot 10^{-7}, \\ x_{pump} = 5\,000, x_{fd} = 10^6, x_{fa} = 10^6, n_{шагов} = 30$$



Гистерезис «восьмёрка»:

$$x_{td} = 2\,000, x_V = 10\,000, x_{ta} = 0,005, \\ x_{ed} = 5 \cdot 10^{-7}, x_{pump} = 5\,000, x_{fd} = 10^6, x_{fa} = 10^6, \\ n_{шагов} = 30$$



Гистерезис сложной формы:

$$x_{td} = 0, x_V = 10\,000, x_{ta} = 0,005, x_{ed} = 5 \cdot 10^{-7}, \\ x_{pump} = 5\,000, x_{fd} = 10^6, x_{fa} = 10^6, \\ n_{шагов} = 30$$

Рис. 4. Результаты моделирования.

Красной линией обозначена ветвь падающего напряжения.

На вставках показаны экспериментально наблюдаемые гистерезисы

Список используемых источников

1. Gorodetskiy D. V., Guseynikov A. V., Shevchenko S. N., Kanygin M. A., Okotrub A. V., Pershin Y. V. Memristive model of hysteretic field emission from carbon nanotube arrays // J. Nanophoton. 2016. N 10 (1). pp. 012524-1-6.
2. Wang Z., Zuo Y., Li Y. et al. Improved field emission properties of carbon nanotubes decorated with Ta layer // Carbon. 2014. N 73. pp. 114-124.
3. Cahay M., Zhu W., Fairchild S., Murray P. T., Back T. C., Gruen G. J. Multiscale model of heat dissipation mechanisms during field emission from carbon nanotube fibers // Applied Physics Letters. 2016. N 108. pp. 033110-1-5.
4. Düsberg Felix Electron Field Emission from Silicon Emitter Arrays: Studiengang Master Mikro- und Nanotechnik. Masterarbeit. München. 2014. 70 p.

5. Kleshch V. I., Bandurin D. A., Orekhov A. S., Purcell S. T., Obraztsov A. N. Edge field emission of large-area single layer graphene // *App. Surf. Sci.* 2015. N 357. pp. 1967–1974.
6. Arkhipov A. V., Mishin M. V. Interpretation of Dynamic and DC Field-Emission Characteristics of Nanocarbons in Terms of Two-Stage Emission Model // *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures*. 2011. N 19. pp. 75–80.
7. Kuznetsov A. A. et al. Electron field emission from transparent multiwalled carbon nanotube sheets for inverted field emission displays // *Carbon*. 2010. N 48. pp. 41–46.
8. Filippov S. V., Popov E. O., Kolosko A. G., Romanov P. A. Hysteresis phenomenon of the field emission from carbon nanotube/polymer nanocomposite // *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. N 643. 012101. pp. 1–6.
9. Popov E. O. et al. Current-voltage characteristics of carbon nanostructured field emitters in different power supply modes // *Journal of Physics*. 2017.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Кириком Д. И.*

УДК 654.022

Е. Ю. Васильев (студент, СПбГУТ)

КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК С УЧЁТОМ УРАВНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИИ В СОВМЕЩЁННЫХ СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ И ВТОРИЧНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

В статье рассматривается концепция интерактивной математической модели объединённой системы связи и вторичной радиолокации, с возможностью синтеза диаграмм направленности фазированных антенных решеток специальной формы, с учётом изменяющегося амплитудно-фазового распределения на апертуре, высоты подъёма антенн, чувствительностей приёмников, свойств подстилающей поверхности и других параметров и характеристик радиоканала.

ФАР, интерактивная визуализация, программное обеспечение.

Рассматриваемая в статье проблематика связана с тем, что возрастает функциональная сложность радиоэлектронных средств и, как следствие, возникает необходимость визуализации разнообразных и многочисленных радиолокационных характеристик, и характеристик канала связи. Эта потребность возникла в большей степени с усложнением радиоканала, от которого требуют в большей степени, чем раньше, системного эффекта

(эмерджентность) и синергии составных частей. Указанные аспекты современных радиоэлектронных средств отражены в [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

При построении столь сложных систем требуется анализ довольно большого количества разнородных данных, которые получаются при математическом моделировании и в результате натуральных экспериментов. Для этого полученные данные необходимо представить в удобном для анализа виде, а непосредственно при анализе желательно менять различные исходные параметры задачи. В качестве примера программного обеспечения для проведения анализа сложных радиолокационных систем можно привести “STK Radar” [9]. Современная вычислительная техника позволяет применять метод интерактивной визуализации данных при разработке комплексных радиоэлектронных средств. Указанная методика имеет ещё несколько полезных точек приложения. В частности, появляется возможность оперативного анализа данных, например, при настройке или эксплуатации аппаратуры. В данной статье представлена концепция программного обеспечения для решения задач, которые возникают при разработке систем радиосвязи и радиолокации с применением фазированных антенных решеток (ФАР). Выбор платформы для реализации, непосредственная реализация и результаты использования программного обеспечения будут представлены в последующих работах.

В основе концепции предлагаемого программного обеспечения лежит одновременное отображение всех относящихся к решению задачи данных и интерактивное управление ими. Например, меняя коэффициент усиления передатчика или вид амплитудно-фазового распределения (АФР) мы сразу увидим, какое воздействие это произведёт на диаграмму направленности (ДН) антенны, зону действия и бюджет канала связи. При построении систем связи и радиолокации исходными данными для анализа являются:

- АФР и соответствующая ДН антенны;
- исходные данные радиолинии (рабочая частота, высота подъёма антенн, коэффициент усиления передатчика, чувствительность приёмника, вид модуляции ...);
- параметры среды (характеристики подстилающей поверхности, условия распространения электромагнитных волн на трассе ...);
- зона действия радиолокатора и бюджет канала связи с учётом ДН антенн, параметров среды и исходных данных радиолинии.

Интерактивность предлагается обеспечивать простыми элементами и сложными элементами трёх типов, описываемыми далее.

Простые интерактивные элементы дадут возможность менять все основные параметры задачи дискретно или плавно.

Сложные интерактивные элементы позволят менять параметры амплитудного и фазового распределения ФАР и её ДН.

Сложные интерактивные элементы первого типа позволят выбирать АФР из заранее заданных, измеренных или меняющихся в зависимости

от некоторых коэффициентов. Подобные элементы фактически можно свести к простым интерактивным элементам.

Сложные интерактивные элементы второго типа позволят управлять амплитудным и фазовым распределениями непосредственно. При этом, если количество каналов ФАР велико, то распределения будут разбиваться на участки, количество которых позволит проводить анализ.

Сложные интерактивные элементы третьего типа будут работать подобно элементам второго типа, только воздействие будет производиться на ДН. Фактически, мы получаем инструмент для интерактивного синтеза ДН ФАР, в том числе и специальной формы.

Алгоритм синтеза ДН может быть следующим. Разбиваем ДН ФАР на некоторое небольшое количество участков. Меняем значение ДН в средней точке каждого участка. Применяем один из многочисленных алгоритмов синтеза ДН ФАР и получаем соответствующее АФР. По найденному АФР уточняем ДН. При этом значения ДН в выбранных нами точках также несколько меняются. Повторяем алгоритм до получения приемлемого для нас результата.

Есть возможность изначально осуществить синтез ДН по заданному критерию (коэффициент усиления, ширина ДН, уровень боковых лепестков ...). В зависимости от выбора алгоритма синтеза ДН, время вычислений может быть достаточно большим. Полученный результат интерактивно корректируется вручную. Подчеркнём, что при синтезе ДН можно будет учесть, в той или иной степени, и все остальные параметры системы, рассмотренные ранее, а не только АФР. Например, влияние подстилающей поверхности, высота подъёма антенн, бюджет канала связи... В результате получается не просто ДН специальной формы, обусловленной функциональными потребностями системы, а ДН специальной формы с учётом условий применения.

В результате реализации предлагаемой концепции будет получена интерактивная математическая модель объединённой системы связи и вторичной радиолокации с возможностью синтеза ДН ФАР специальной формы, для применения на всех этапах жизненного цикла системы (разработка (НИР, ОКР), настройка, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, модернизация, учебный процесс ...) с целью увеличения системного эффекта и синергии. Качество модели может быть улучшено за счёт развития работы в следующих направлениях:

- совершенствование методов синтеза ФАР;
- учёт особенностей, связанных с реализацией АФАР и ЦАФАР;
- совершенствование методов и инструментов интерактивной визуализации по отношению к рассмотренному классу задач;
- введение в модель таких параметров, как траектория полёта, траектория посадки, ошибки навигации и посадки...;

- создание подобной интерактивной модели для многопозиционных систем;
- учёт погрешностей установки фаз и амплитуд фазовращателей и аттенюаторов в каналах ФАР при различном числе разрядов;
- введение в модель элементов статистической теории антенн и применение метода Монте-Карло.

Список используемых источников

1. Отчёт-протокол о заседании Комитета по повестке: «Перспективы развития системы вещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В) для авиации Российской Федерации». Заседание Комитета по аэронавигации № 9 от 30 июня 2015 года. Союз авиапроизводителей России [Электронный ресурс]. URL: http://www.aviationunion.ru/Files/30_06_2015_CA9.pdf.
2. Боев Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с бесплотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнева. 2012. Вып. 2 (42). С. 86–91.
3. Щесняк С. С., Попов М. П. Адаптивные антенны. СПб.: ВИККА им. А. Ф. Можайского, 1995. 611 с.
4. Григорьев Л. Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. М.: Радиотехника, 2010. 144 с.
5. Пономарёв Л. И., Степаненко В. И. Сканирующие многочастотные совмещенные антенные решетки / под ред. Л. И. Пономарёва. М.: Радиотехника, 2009. 328 с.
6. Воскресенский Д. И., Овчинникова Е. В., Шмачилин П. А. Бортовые цифровые антенные решётки и их элементы / под ред. Д. И. Воскресенского. М.: Радиотехника, 2013. 208 с.
7. Научно-технические серии. Выпуск 3: Устройства СВЧ и антенные системы. Кн. 1. Антенные системы локации, навигации и радиосвязи. Коллективная монография / под ред. А. Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2013. 176 с.
8. Научно-технические серии. Выпуск 3: Устройства СВЧ и антенные системы. Кн. 3. Активные и цифровые антенные решетки и их элементы. Коллективная монография / под ред. А. Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2014. 172 с.
9. Официальный сайт компании «STK» [Электронный ресурс]. URL: <http://help.agi.com/stk/index.htm>.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Кузьминым С. В.*

УДК 621.385.6

Р. Н. Винничек (студент, СПбГУТ)

А. Г. Колосько (доцент, СПбГУТ)

Е. О. Попов, С. В. Филиппов (ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН)

АНАЛИЗ ОДНОРОДНОСТИ ЭМИССИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛЕВЫХ КАТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Разработка эффективных полевых катодов является одним из направлений развития новой элементной базы радиоэлектроники будущего. В представленной работе описывается методика осуществления контроля однородности поверхности полевых катодов, основанная на анализе изображений компьютеризированного автоэмиссионного проектора. В анализ входит построение статистических распределений эмиссионных центров по радиусу, углу и токоотдаче, а также распределение плотности центров по поверхности катода. Методика была апробирована на модельных катодах, изготовленных различными способами.

полевые катоды, нанокмозиты, нанотрубки, распределение токовой нагрузки.

На сегодняшний день перспективы развития нанотехнологий указывают на то, что радиоэлектроника будущего будет основана на микроэлементной базе, в которую кроме твердотельных наноразмерных устройств, войдут также элементы вакуумной электроники, основанные на квантовом эффекте автоэлектронной эмиссии.

Разработка эффективных полевых эмиттеров является одним из направлений научно-технических исследований, которые ведут лаборатории по всему миру. Самыми перспективными эмиттерами признаны микроскопические структуры с распределённой токовой нагрузкой (large area field emitters – LAFEs): массивы металлических и углеродных проводящих острий, созданные различными технологическими методами [1].

Основным недостатком квантовых структур этого рода является термическая нестабильность отдельных эмиссионных центров на их поверхности, которые испытывают в ходе полевой эмиссии избыточную токовую нагрузку и непредсказуемым образом взрываются, создавая вакуумный разряд в межэлектродном промежутке. Эти процессы не позволяют получать высокие эмиссионные токи и требуют достижения сверхвысокого вакуума, а также чистоты и однородности поверхности эмиттера [2]. Поэтому оптимальное распределение токовой нагрузки на центры, испускающие электроны, является одной из основных технологических задач при создании наноструктурированных катодов.

Одним из основных инструментов анализа равномерности и чистоты поверхности полевых эмиттеров, изготовленных различными способами,

является регистрация "картины свечения" автоэмиссионным проектором [3]. Стандартный проектор использует плоскопараллельную систему катод – анод, где анодом является стекло с прозрачным проводящим покрытием (ITO) и слоем люминофора (на основе фосфора). Светящиеся пятна, наблюдаемые на поверхности люминофора, отображают потоки электронов из соответствующих эмиссионных центров, расположенных на поверхности катода, и несут информацию о размерах, эмиссионной способности и взаимном расположении этих центров.

Для регистрации эмиссионных характеристик мы использовали многоканальную компьютеризированную установку [4], в которой установлен автоэмиссионный проектор с USB-микроскопом.

Разработанный метод оценки распределения токовой нагрузки основан на синхронной регистрации уровня приложенного к образцу напряжения, эмиссионного тока и "картины свечения" полевого проектора. Обработка зарегистрированных данных выполнена с помощью специальной программы, написанной на языке LabView 2016.

Для исследования был выбран модельный полевой эмиттер на основе перспективного нанокompозита "многостенные углеродные нанотрубки / полимер" [5]. Нанотрубки марки Taunit-M от фирмы TGTU (город Тамбов) имели длину $l > 10 \mu\text{m}$ и диаметр 8 нм. В качестве полимера был выбран полистирол. Нанесение производилось методом испарения раствора.

На рис. 1 показано SEM изображение поверхности модельного эмиттера и его ВАХ.

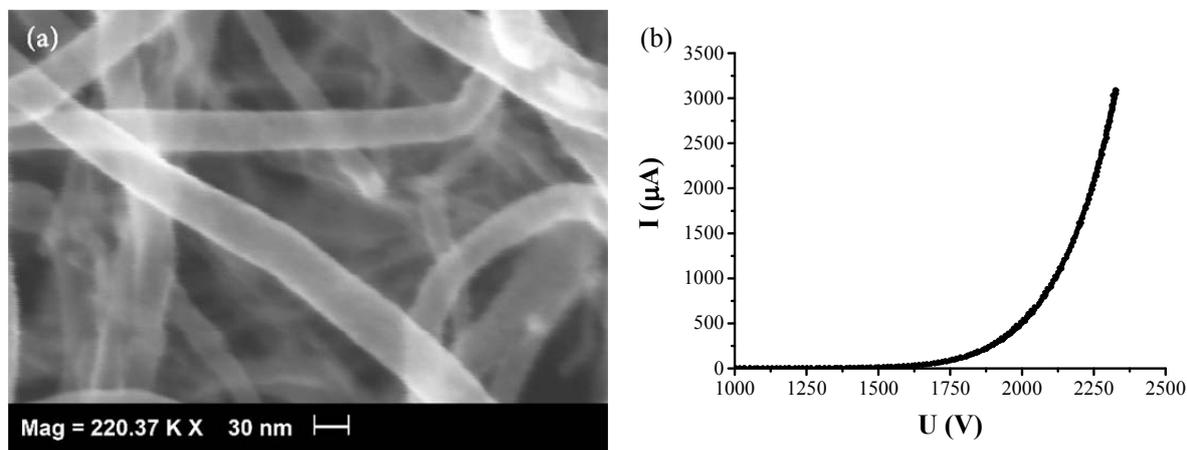


Рис. 1. SEM изображение нанотрубок модельного эмиттера (a) и его ВАХ (b)

На рис. 2 представлен процесс регистрации максимумов "картины свечения", полученной при стабильном эмиссионном токе 100 мкА. Найденные пики яркости соответствуют отдельным эмиссионным центрам, которые принимают на себя основную токовую нагрузку, а полученные в результате накопления на чёрно-белой картине "максимум / не максимум" квадратные зоны содержат в себе области флуктуации этих пиков.

Флуктуации связаны с адсорбционно-десорбционными процессами на поверхности эмиттера и должны учитываться при расчёте эмиссионных свойств поверхности.

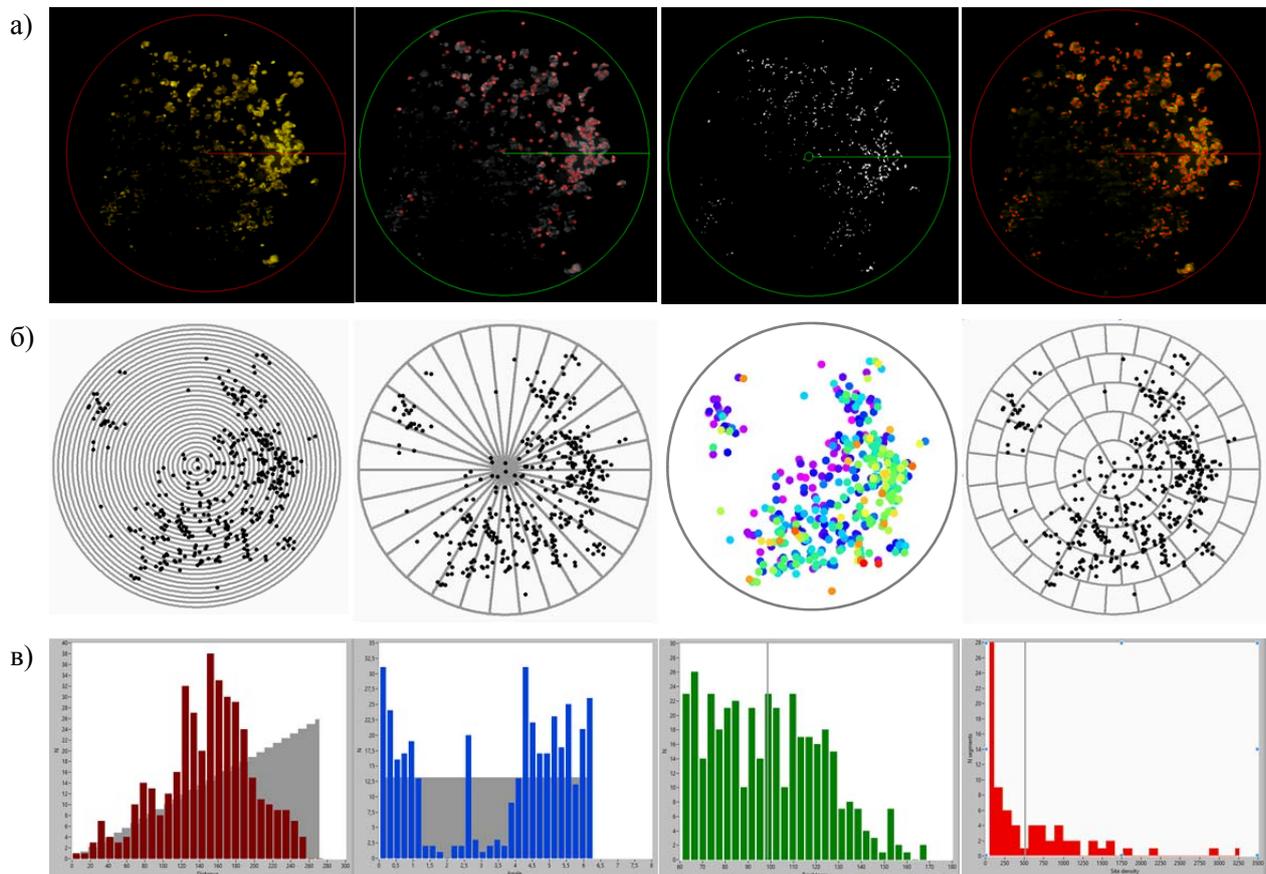


Рис. 2. Процесс регистрации максимумов "картины свечения":

- а) компьютерная обработка "картины свечения";
- б) разбиение поверхности эмиттера на сектора и диаграммы расположения и токовой нагрузки эмиссионных центров;
- в) распределения по яркости, расстоянию, углу и токовой нагрузке на сектор

Токовая нагрузка на каждый центр вычислялась в соответствии с его яркостью, взятой как весовой коэффициент (полный ток был ~ 3 мА). Найденные положения эмиссионных центров и их токовые нагрузки позволяют построить распределения центров по уровню яркости, по расстоянию до центра эмиттера и по углу расположения относительно центра, а также по величине токовой нагрузки на сектор поверхности.

Идеальный эмиттер, обладающий таким же количеством центров и средней яркостью, представлен на графиках в виде серых гистограмм и вертикальных линий. Сравнение экспериментальных распределений с идеальными путём расчёта соответствующих коэффициентов, позволило численно оценить степень качества реального эмиттера:

$$\rho_R = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} = 2,3 \%, \quad C_A = \frac{\sigma_A}{\mu_A} = 76 \%, \quad C_Y = \frac{\sigma_Y}{\mu_Y} = 25 \%, \quad C_I = \frac{\sigma_I}{\mu_I} = 134 \%. \quad (1)$$

Разработанная методика может быть применена для технологической оптимизации процесса изготовления многоострийного эмиттера. Причём каждая из представленных выше оценок имеет свой приоритет в том или ином методе создания полевого катода.

Так, например, распределение по расстояниям от центра эмиттера важно для методов, использующих радиально симметричные системы (метод вращающегося столика [6], разбрызгивание из пульверизатора [5]).

Распределение центров по углам поворота играет важную роль для методов, где наклон подложки или неравномерное распределение по ней температуры могут создавать угловую неравномерность эмиссионной поверхности (методы CVD [3], PECVD [7], электрофорез [8]).

Распределение по яркостям важно для оценки равномерности эмиссионных центров по высотам, которая может определяться неравномерностью профиля исходной подложки или наличием на поверхности эмиттера горбов или комков нанокompозита (методы печати [9], быстрое испарение растворов [10]).

Оценка же распределения плотности токовой нагрузки может охарактеризовать термическую стабильность образца в целом и показать места наиболее вероятного вакуумного пробоя на поверхности катода.

Список используемых источников

1. Milne W. I., Teo K. B. K., Amaratunga G. A. J. Carbon nanotubes as field emission sources // *J. Mater. Chem.* 2004. V. 14. pp. 933–943.
2. Parmee R. J., Collins C. M., Milne W. I., Cole M. T. X-ray generation using carbon nanotubes // *Nano Convergence.* 2014. V. 2. N 1. pp. 1–27.
3. Lin P.-H. et al. Field Emission Characteristics of the Structure of Vertically Aligned Carbon Nanotube Bundles // *Nanoscale Research Letters.* 2015. V. 10. N 297. pp. 1–6.
4. Popov E. O., Kolosko A. G., Filippov S. V., Romanov P. A., Fedichkin I. L. // *Nanomaterials and Nanostructures – XXI.* 2016. V. 7. Iss. 1. pp. 14–26.
5. Jung H., An S. Y. et al. A multi-wall carbon nanotube/polymethyl methacrylate composite for use in field emitters on flexible substrates // *Carbon.* 2012. N 50. pp. 987–993.
6. Filippov S. V., Popov E. O., Kolosko A. G., Romanov P. A. Hysteresis phenomenon of the field emission from carbon nanotube/polymer nanocomposite // *Journal of Physics: Conference Series.* 2015. N 643. 012101. pp. 1–6.
7. Patra R., Singh A., Vankar V. D., Ghosh S. Field emission image analysis: Precise determination of emission site density and other parameters // *Adv. Mater. Lett.* 2016. V. 7. N 10. pp. 771–776.
8. Xiao X., Ye Y., Zheng L., Guo T. Improved field emission properties of carbon nanotube cathodes by nickel electroplating and corrosion // *Semicond J.* 2012. V. 33. N 5. pp. 053004-1–6.
9. Liu W., Zeng F., Xin L., Zhu C., He Y. Turn-on field distribution of field-emitting sites in carbon nanotube film: Study with luminescent image // *J. Vac. Sci. Technol. B.* 2008. V. 26. N 1. pp. 32–35.

10. Kuznetsov A. A., Lee S. B., Zhang M. et al. Electron field emission from transparent multiwalled carbon nanotube sheets for inverted field emission displays // Carbon. 2010. N 48. pp. 41–46.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Кириком Д. И.*

УДК 621.396

Р. Э. Волков (студент, СПбГУТ)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК

В сложных радиоэлектронных системах, как связи, так и радиолокации применяются фазированные антенные решётки (ФАР), перспективным направлением развития которых являются цифровые активные ФАР (ЦАФАР). В статье рассматриваются особенности их построения.

ЦАФАР, радиолокация, связь, цифровая обработка сигналов.

На данный момент в радиоэлектронных системах, как связи, так и радиолокации применяются все более жесткие требования к широкополосности и массогабаритным параметрам антенно-фидерных систем.

В современных фазированных антенных решетках (ФАР) используются преимущественно аналоговые методы преобразования сигнала, что приводит к появлению дестабилизирующих факторов, искажающих реальные характеристики. Аналоговые управляющие элементы в процессе работы выделяют большое количество тепла, что требует особых мер по их охлаждению. Это, в свою очередь, приводит к ухудшению отношения сигнал/шум на входе приемника и другим проблемам.

Перспективным направлением развития ФАР являются цифровые активные фазированные антенные решетки (ЦАФАР).

Различие между ЦАФАР и АФАР заключается в методах обработки информации. В основе АФАР лежит приёмопередающий модуль (ППМ), включающий в себя два канала: приёмный и передающий. В каждом канале установлен нелинейный элемент – усилитель, а также по два устройства управления амплитудно-фазовым распределением: фазовращатель и аттенюатор (рис. 1, а). Структура модуля ЦАФАР (рис. 1, б) содержит в приёмном канале АЦП, а в передающем ЦАП, возможно наличие преобразователей частоты. Кроме того, каждый ППМ ЦАФАР должен быть обеспечен

сигналом единого времени, осуществляющим тактирование ЦАП/АЦП. При таком принципе построения на входе/выходе ППМ сигнал передается уже не в аналоговой, а в цифровой форме. В этом случае вместо аналоговых СВЧ трактов для передачи цифрового сигнала применяются быстродействующие цифровые шины данных, обладающие большой пропускной способностью (1–10 Гбит/с) [1].

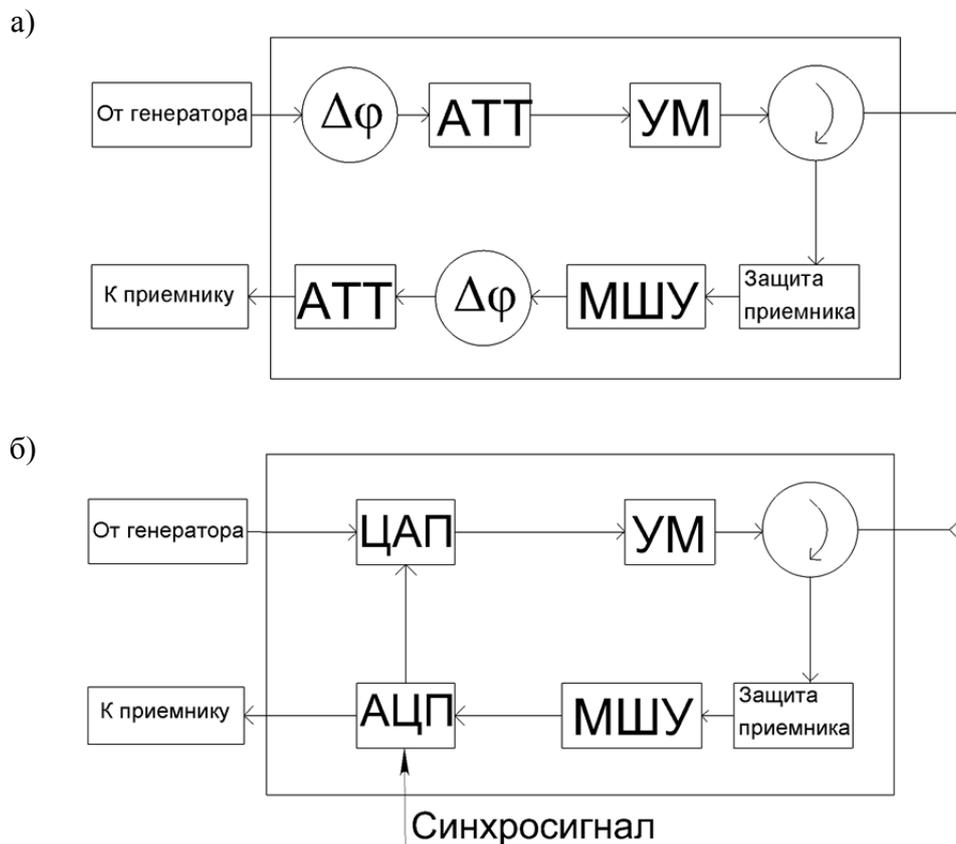


Рис. 1. Структура ППМ АФАР (а) и ЦАФАР (б)

Достоинства систем с ЦАФАР:

- Цифровое формирование высокоидентичных частотных фильтров на выходе приёмных устройств обеспечивает глубокую компенсацию широкополосных помеховых сигналов. В сочетании с расширением динамического диапазона при накоплении в процессе пространственно-временной обработки это обеспечивает недостижимую ранее помехозащищённость [1].

- Способность ЦАФАР к многосигнальному приёму в широком телесном угле при организации многопозиционных комплексов позволяет преодолеть большинство недостатков, присущих аналогичным традиционным системам с электронной или механической перестройкой узкого приёмопередающего луча [2].

- Возможность построения систем, работающих в многолучевом режиме с любым уровнем пересечения лучей в пространстве, в отличие от существующих аналоговых систем ФАР [4].
- Возможность построения адаптивных широкополосных приемопередающих антенных систем (возможность следить за объектом, или же погасить помеху) [5].
- Получение ограниченной сверхнаправленности (в зависимости от отношения сигнал/шум) за счет сужения главного лепестка ДН на 25 % [1].
- Организация многолучевого режима работы с независимым формированием и управлением ДН в каждом из каналов без потери КНД (в режиме приёма) [1].

До недавнего времени элементная база цифровой схемотехники позволяла создать ЦАФАР лишь в дециметровом диапазоне, и массогабаритные параметры такой решетки не позволяли разместить её на борту летательного аппарата, а также нельзя было обрабатывать сигналы на частотах свыше 0,5 ГГц. Но с развитием элементной базы и методов цифровой обработки сигналов, реализация ЦАФАР в габаритах летательного аппарата становится возможной [1].

На сегодняшний день, технология цифрового формирования диаграммы направленности антенны становится основой для новейших военных разработок систем различного назначения [2].

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) – второе направление, после элементной базы, развитие которого делает возможным создание ЦАФАР [3].

В качестве примера специализированного решения для цифрового диаграммообразования (ЦДО) можно рассмотреть платы многоканальной оцифровки сигналов NallaTech [6]. На рис. 2 изображена структурная схема этого модуля, содержавшего 20 АЦП.

Основной особенностью является наличие 16-ти и более независимых каналов радиочастотного ввода с разрядностью АЦП 12–14 бит и частотой дискретизации до 100 МГц, а так же применение современных ПЛИС Xilinx для обработки сигналов.

В 2017 г. Xilinx представила свое решение, интегрировав АЦП и ЦАП непосредственно в ПЛИС. Их технология является наиболее удачной реализацией программно-определяемой радиосистемы на одном кристалле [7].

Современными тенденциями в развитии ЦАФАР являются повышение рабочих частот радиосигнала, возможность его оцифровки без преобразования частоты, появление специализированных микросхем для цифрового диаграммообразования.

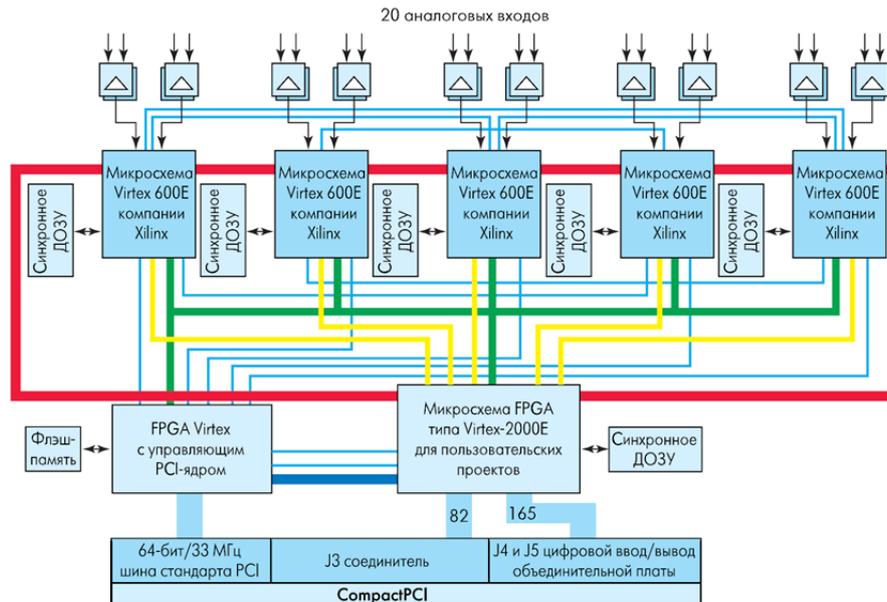


Рис. 2. Структурная схема модуля фирмы NallaTech

Список используемых источников

1. Шмачилин П. А. Характеристики бортовых цифровых АФАР СВЧ : дис. канд. техн. наук 05.12.07 / Шмачилин Павел Александрович. Москва, 2011. 150 с.
2. Слюсар В. И. Цифровые антенные решетки – будущее радиолокации // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2001. № 3. С. 42–47.
3. Слюсар В. И. Цифровое формирование луча в системах связи: Будущее рождается сегодня // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2001. № 1. С. 6–12.
4. Слюсар В. И. Цифровые антенные решетки, решения задач GPS // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2009. № 1. С. 74–78.
5. Слюсар В. И. Цифровые антенные решетки в мобильной спутниковой связи // Первая миля, 2008. № 4. С. 10–15.
6. Слюсар В. И. Схемотехника цифровых антенных решеток, грани возможного // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2004. № 8. С. 34-40.
7. Anthony Collins, All Programmable RF-Sampling Solutions, WP489 (v1.0) February 17, 2017.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Кузьминым С. В.*

УДК 621.3

И. А. Горобцов (студент, СПбГУТ)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32L0 КОМПАНИИ STMICROELECTRONICS В РЕЖИМАХ ПОНИЖЕННОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

В статье описываются особенности работы микроконтроллеров серии STM32L0, представлены основные способы снижения энергопотребления при использовании данных микроконтроллеров в соответствии с их функциональными особенностями, а также проводится оценка возможностей этих устройств.

микроконтроллеры, энергопотребление, беспроводные технологии.

При питании устройств от автономных источников питания – батареек, аккумуляторов – разработчики стремятся снизить энергопотребление, с целью увеличения срока службы устройства без замены элементов питания. Но экономичное потребление необходимо не только системам с батарейным питанием, но и любой современной технике, так как повышенное потребление в конечном итоге сказывается на цене эксплуатации. На сегодняшний день производители стремятся снизить уровень энергопотребления, при этом не потеряв в производительности. Для осуществления данных потребностей разработано несколько семейств 32-разрядных ядер Cortex-M выпускаемых по лицензии фирмы ARM. Микроконтроллеры на этом ядре выпускают ряд фирм: STMicroelectronics, Texas Instruments, Atmel, NXP и другие. Именно микроконтроллеры STM32L0 стали новым эталоном по уровню рабочих характеристик и стоимости. Кроме того, они могут использоваться в применениях с малым энергопотреблением и жесткими требованиями к характеристикам управления в режиме реального времени.

В микроконтроллерах STM32L0 используется ядро ARM Cortex-M0+, обладающее характеристиками, необходимыми для использования в системах со сверхнизким энергопотреблением:

- наличие специальных режимов работы микроконтроллера;
- низкое потребление:
 - 1) в режимах Stop и StandBy 0,27 ... 0,8 мкА;
 - 2) в активном режиме 87 мкА/МГц;
- время пробуждения: 3,5 ... 5 мкс;
- диапазон допустимых рабочих температур: –40 ... 125 °С.

В STM32L0 реализована технология масштабирования напряжения в зависимости от тактовой частоты микроконтроллера (рис.) [1].



Рисунок. Технология масштабирования напряжения

Для микроконтроллеров STM32L0 доступны следующие внутренние источники тактирования:

- Multi Speed Internal (MSI) – программно-конфигурируемый источник тактирования. Способен обеспечить семь различных тактовых частот в диапазоне 0,065...4,2 МГц;
- High Speed Internal (HSI) – высокочастотный источник тактирования на 16 МГц. Частота с помощью схемы ФАПЧ может настраиваться до максимальных 32 МГц;
- Low Speed Internal (LSI) – низкочастотный источник тактирования на 37 кГц;
- RC 48 МГц – источник тактирования с автоматической автоподстройкой частоты для модуля USB.

Также имеется возможность подключения двух внешних кристаллов:

- High Speed External (HSE) – внешние выводы для подключения внешнего кварцевого резонатора или генератора 1...24 МГц;
- Low Speed External (LSE) – внешний интерфейс для подключения низкоскоростного кварцевого резонатора.

В таблице 1 представлены различные источники тактирования в зависимости от используемого режима потребления.

ТАБЛИЦА 1. Источники тактирования при различных режимах потребления

Режим работы	Источник тактирования				
	HSE	HSI	MSI	LSI	LSE
Run	+	+	+	+	+
Sleep	+	+	+	+	+
Low Power Run	-	-	+	+	+
Low Power Sleep	-	-	+	+	+
Stop	-	-	-	+	+
Standby	-	-	-	+	+

Режимы потребления:

- Run – режим, который используется по умолчанию после запуска устройства для микроконтроллеров. Данный режим, в котором выполняются программные инструкции, является наиболее затратным с точки зрения потребления. Тем не менее, данный режим предоставляет возможности для управления напряжением.

В устройствах серии STM32L0 есть возможность использования пяти режимов пониженного потребления:

- Low Power Run – режим работы контроллера в режиме Run с пониженным потреблением. При его использовании регулятор напряжения ядра переходит в режим низкого напряжения, но при этом продолжается выполнение программных инструкций;
- Sleep – режим сна, который предполагает остановку выполнения программных инструкций и тактирования ядра;
- Low Power Sleep – симбиоз двух предыдущих режимов;
- Stop – режим остановки ядра, позволяющий значительно сократить потребление по сравнению с режимами, рассмотренными выше. Это достигается за счет ограничений на используемые источники тактирования, а также на доступную периферию;
- Standby – режим полной остановки, который способен обеспечить наименьшее потребление. Данный режим предполагает полное отключение питания области ядра и соответствующего регулятора, отключение Flash памяти и RAM [2].

Микроконтроллеры STM32L0 имеют широкие возможности для контроля входного напряжения. Данный функционал реализуется модулем сброса по уровню напряжения BOR (Сброс в исходное состояние), модулями сброса POR (Сброс при включении / выключении питания) напряжения питания, а также программируемым детектором напряжения PVD (Детектор напряжения питания).

Сброс по уровню позволяет определить минимальное пороговое значение, при котором будет выполняться сброс. Модуль PVD – это аппаратный блок, который конфигурируется программно и служит для определения напряжения питания [3].

Также важным является потребление устройств в режимах остановки и ожидания. В данных режимах может быть доступно ограниченное количество устройств. Потребление некоторых из них приведено в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Потребление наиболее часто используемой периферии

Наименование периферийного устройства	Потребление в режимах Stop и Standby при входном напряжении 1,8...3 В, мкА
LPTIM1	0,01 (входная частота 100 Гц)...6 (1 МГц)
LPUART	0,2

Наименование периферийного устройства	Потребление в режимах Stop и Standby при входном напряжении 1,8...3 В, мкА
RTC	0,3...0,48
LCD1	0,15...2,6

Микроконтроллеры новой линейки STM32L0 сочетают в себе несколько важных составляющих, характерных для устройств с батарейным питанием. Одна из них – низкое потребление и разнообразие малопотребляющих режимов. В устройствах серии STM32L0 представлено большое количество настроек, направленных на снижение энергопотребления, позволяющие регулировать частоту и напряжение в соответствии с потребностями разрабатываемой системы и использовать все ресурсы для уменьшения потребляемой энергии.

Список используемых источников

1. Техническая документация на микроконтроллер STM32L053R8 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/8a/f4/9d/d7/61/1b/46/b4/DM00105960.pdf/files/DM00105960.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105960.pdf>
2. Справочное руководство по работе с микроконтроллером STM32L053R8 [Электронный ресурс]. URL: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/2f/b9/c6/34/28/29/42/d2/DM00095744.pdf/files/DM00095744.pdf/jcr:content/translations/en.DM00095744.pdf
3. Попов Р., Мусиенко М., Крайнык Я. Особенности работы STM32L0 в режимах пониженного напряжения // Новости электроники. 2014. № 11. С. 26–30.

Статья представлена научным руководителем, ассистентом СПбГУТ Капраловым Д. Д.

УДК 621.397.422.12

А. В. Жукова (студентка, СПбГУТ)

ТВ КАМЕРА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ДНЕВНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

В данном докладе рассматривается вопрос возможности наблюдения небесных тел (звезд, созвездий, планет) невидимых в светлое время суток, с помощью телевизионной камеры со встроенной функцией противотуманной обработки. Описывается общий принцип работы данной камеры и противотуманного режима и почему с его

помощью возможно наблюдение при высоком естественном уровне освещения далеких астрономических тел, за счет фильтрации и контрастирования сигнала.

камера видеонаблюдения, туман, рассеивающая среда, чувствительность камеры.

На сегодняшний день камеры видеонаблюдения имеют широкий спектр возможностей. Одним из важнейших параметров для камер видеонаблюдения является их чувствительность, так как большую часть работа камеры ведется ночью, при низком уровне освещения. Методы повышения чувствительности делятся на два типа: с использованием дополнительной подсветки и без ее использования, за счет обработки видеосигнала внутри самой камеры. Первый способ по ясным причинам не дает вести наблюдение так чтобы, во-первых, оно было незаметным, во-вторых, не мешало окружающим. Но, даже не смотря на это, наблюдение ограничивается радиусом действия подсветки.

Камера видеонаблюдения с возможностью увеличения динамического диапазона формируемого изображения, позволяет вести наблюдение в условиях тумана. Тем самым увеличивается чувствительность камеры. Камеры видеонаблюдения с противотуманным режимом выпускаются фирмой «ЭВС». Например, камера VSC-751. При установке в нее специального длиннофокусного объектива типа $s\backslash cs$ возможно наблюдение астрономических объектов днем, наблюдение которых ограничивается высоким уровнем освещенности¹.

Возможность наблюдения звезд и планет с помощью противотуманной камеры обуславливается тем, что состав атмосферы идентичен составу тумана. Их оптические характеристики будут схожие.

Туман, как и нижние слои атмосферы, представляет собой дисперсную систему, содержащую взвешенные в газе мелкие капли жидкости. Состав и интенсивность этого атмосферного явления будут напрямую зависеть от температуры окружающей среды.

Прохождение света через слой взвешенных частиц в целом можно описать следующим образом (рис. 1, 2). Световой поток, отраженный от объекта наблюдения, проходит через неоднородную среду, часть этого потока рассеивается на мелких частицах среды. Вследствие этого, общий световой поток, попадающий на матрицу телевизионной камеры, будет складываться в основном из светового потока, рассеянного частицами среды. И лишь небольшая часть света без потерь дойдет до приемной части камеры. В итоге, суммарный световой поток, попадающий на матрицу, будет во много раз меньше того, что излучает объект наблюдения. Большая часть энергии рассеивается на взвешенных частицах среды. Так же часть света от естественного освещения таким же образом рассеивается и скла-

¹ <http://www.evs.ru/index.php>

дывается со светом от объекта наблюдения, что вносит дополнительные помехи в исходное изображение [1].

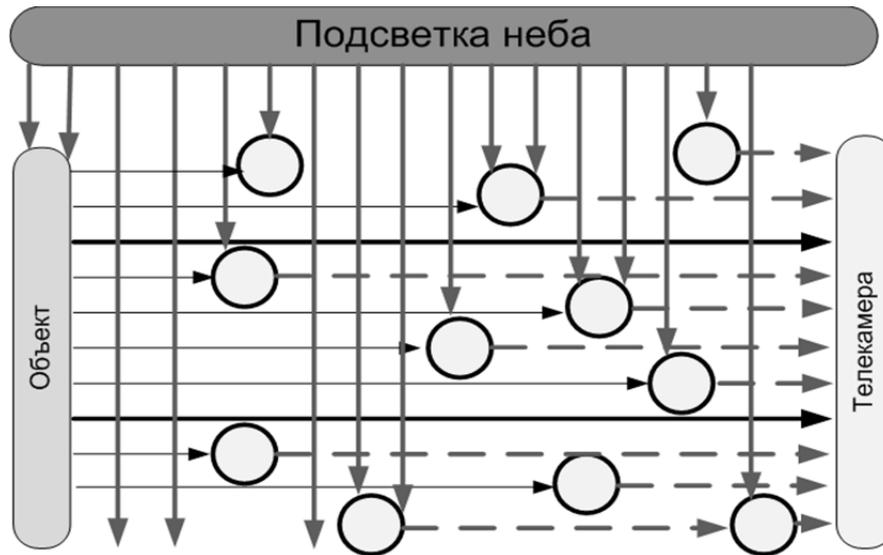


Рис. 1. Прохождение света через слой взвешенных частиц

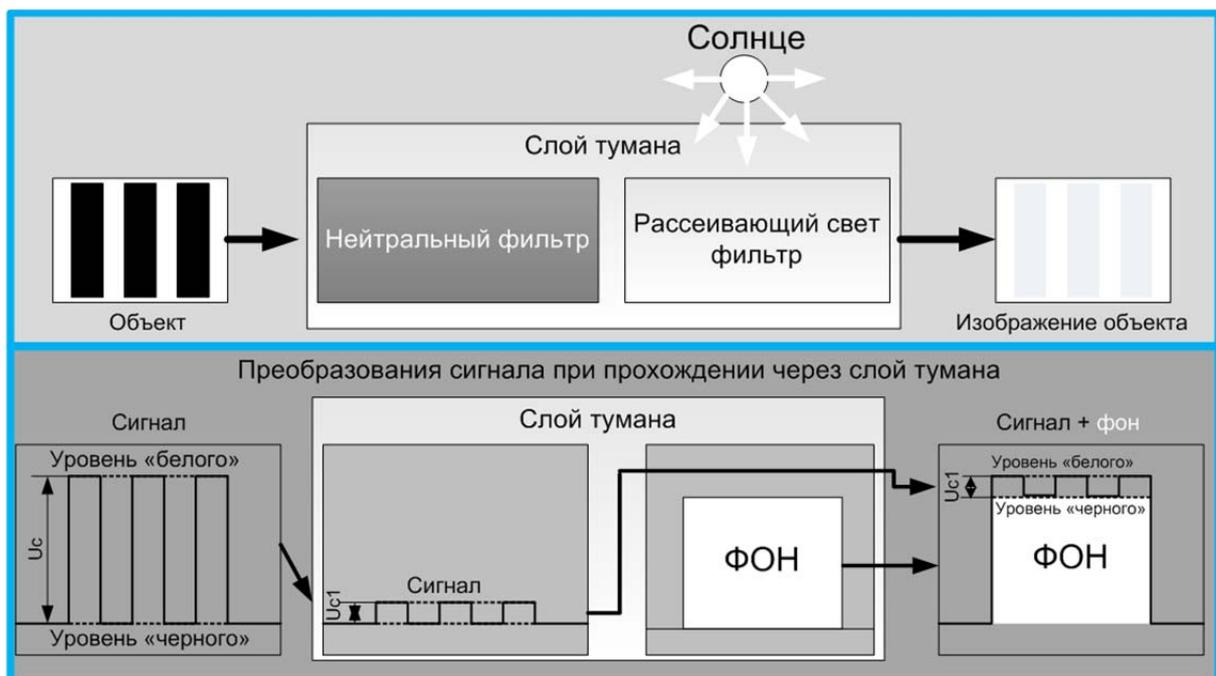


Рис. 2. Эквивалентная схема среды рассеивающей свет

Камера для работы с малоконтрастными изображениями должна иметь минимальный уровень собственных шумов и помех. Любая малейшая помеха или дефект на матрице приведёт к ложному объекту наблюдения, при увеличении отношения с/ш с помощью использования внешнего накопления. Наблюдение звезд и планет предполагает статичную картинку в течение долгого времени наблюдения. Входная частота кадров при записывании до 2 000 Гц, что позволяет суммировать несколько десятком

и даже сотен кадров для получения более качественной картинки. Но каждый «битый пиксель» при этом тоже будет увеличиваться и по размеру, и по яркости, поэтому ПЗС-матрицы в такие камеры проходят дополнительную проверку на дефекты.

Каждая ячейка ПЗС-матрицы имеет неравномерную чувствительность, на изображении это проявляется как мелкий зернистый шум. Влияние этого дефекта уменьшается при использовании ранее указанного внешнего накопления по кадрам [2, 3].

На формируемое чёрно-белое изображение так же влияет неравномерность чувствительности по полю объектива камеры видеонаблюдения. На изображении это выражается как затемнённая область по краям. При контрастировании сигнала эта область становится еще темнее и часть информации с изображения полностью теряется. Во избежание этого необходимо устанавливать объектив на шаг больше, чем матрица в камере. Так, например, в камере VSC-751 матрица диагональю 1/3", поэтому объектив должен быть 1/2".

Всё это позволяет получить изображение астрономических тел днём, так как в камере предусмотрено не только увеличение контраста, отношения с/ш и расширение динамического диапазона, но и уменьшение влияния светочувствительного элемента и оптической части камеры на формируемое изображение.

Список используемых источников

1. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 644 с.
2. Пахомов С. ПЗС- и КМОП-сенсоры для цифровых фото- и видеокамер // КомпьютерПресс. 2001. № 12. С. 101.
3. Шифрин К. Е. Рассеяние света в мутной среде. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951. 288 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Украинским О. В.*

УДК 621.372.543.2

А. Б. Ильиных, Е. Ф. Запольских (студенты, УрФУ)
Д. А. Летавин (ассистент, УрФУ)

ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА РЕЗОНАТОРАХ В ВИДЕ МЕАНДРА

Предложена новая конструкция микрополоскового полосно-пропускающего фильтра реализованная на подложке с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 4,4$ и толщиной $h = 1,5$ мм. Данный фильтр состоит из двух резонаторов на одной стороне подложки и двух питающих линий расположенных на противоположной стороне подложки от резонаторов. За счет такого способа питания получилось уменьшить размеры всей конструкции. Весь процесс проектирования был реализован с помощью программы 3D-моделирования Ansys HFSS. Спроектированная конструкция работает на центральной частоте 5 ГГц и имеет относительную полосу пропускания 40%.

микрополосковая линия, резонатор, полосно-пропускающий фильтр.

Введение

Как известно радиолокация и телекоммуникация являются важными направлениями в радиотехнике. В данной области частотно-селективные устройства являются незаменимыми и активно используются в современных радиотехнических системах. Фильтры в зависимости от расположения полосы пропускания делятся на фильтры нижних частот, полосно-пропускающие, заграждающие, верхних частот. Наиболее востребованный среди перечисленных фильтров является полосно-пропускающий фильтр. Такой фильтр пропускает сигнал в заданной полосе частот и подавляет сигнал на других частотах.

При разработке новых фильтров разработчики, как правило, стараются удовлетворить следующим требованиям: минимальные потери в полосе пропускания, технологичность исполнения и компактность. Всем известные конструкции фильтров, а именно шпилечный, с боковыми связями, на параллельных шлейфах, с четвертьволновыми связями и другие, обладают слишком большими габаритами. Данный факт приводит к тому, что они являются не пригодными для эксплуатации в миниатюрных радиотехнических системах.

Данная работа нацелена на проектирования полосно-пропускающего фильтра, который имеет технологически реализуемые и компактные размеры. Для того чтобы ускорить процесс проектирования и точность получаемых результатов, воспользуемся программой трехмерного электродинамического моделирования Ansys HFSS. В литературе представлено множество различных конструктивных решений, которые позволяют получить разнообразные микрополосковые полосно-пропускающие фильтры

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Например, в [1, 2] миниатюризация достигается за счет использования квази-сосредоточенных емкостей и индуктивностей. В [3] применяется резонатор сложенный в форме буквы «С», а в [4] используется многослойная подложка с кольцевым резонатором, кроме того, фильтры с резонаторами в виде разрезанного кольца обсуждаются в [5, 6, 7, 8]. В [9, 10] исследованы конструкции на основе гребенчатых структур. Кроме того, фильтры со ступенчатыми резонаторами [11, 12]. Однако не все конструкции имеют простую конструкцию или хорошие частотно-селективные свойства.

Проектирование

В данной работе исследован миниатюрный микрополосковый полосно-пропускающий фильтр (ППФ) реализованный на двух идентичных резонаторах в виде закороченных с двух сторон линии передачи в виде мандра. Вход и выход фильтра расположен на противоположной стороне подложки от резонаторов. В зависимости от расположения данных линий можно получить различный коэффициент передачи у фильтра. Предлагаемый ППФ реализуется на подложке из стеклотекстолита *FR-4* с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4,4$, толщиной $h = 1,5$ мм, угол диэлектрических потерь $tg\delta = 0,02$ и слоем металлизации толщиной $t = 35$ мкм. Детальная процедура проектирования такого фильтра состоит из следующих этапов:

- разработка модели микрополоскового резонатора;
- зеркально отразить полученную топологию резонатора относительно оси;
- вытравить топологию резонаторов на полностью металлизированной стороне подложки;
- на другой стороне подложки расположить питающие микрополосковые линии, отвечающие за вход и выход фильтра. Они находятся на одинаковом расстоянии от центра фильтра;

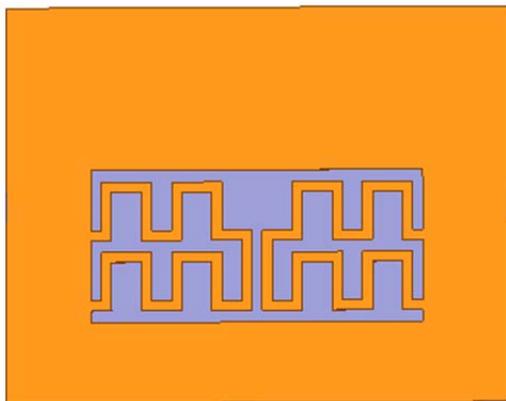


Рис. 1. Модель резонаторов в программе HFSS

- запустить на 3D анализ полученную конструкцию.

Ширина линии резонатора равняется 1 мм. С двух концов линия заземлена на полностью металлизированный слой. Рассмотрим конструкцию фильтра, обладающую осевой симметрией и реализованную на двух идентичных резонаторах (рис. 1). Стоит отметить, что полосно-пропускающий фильтр содержит диэлектрическую подложку, на одной стороне которой нанесено заземляемое ос-

нование, из которого вытравлены резонаторы, а на второй стороне расположены полосковые проводники. Используя такое конструктивное решение, позволяет сократить площадь занимаемая фильтром.

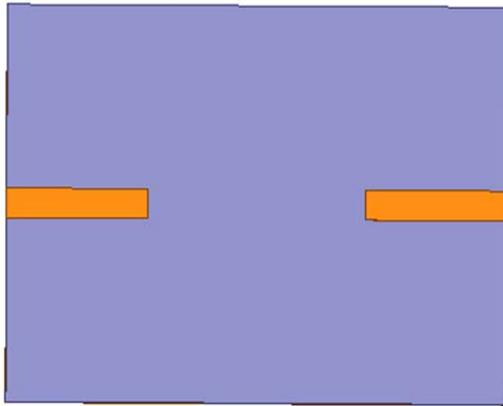


Рис. 2. Модель МПЛ в программе HFSS

После того, как резонаторы собраны и установлены, приступаем к параметрическому синтезу, который позволит получить оптимальное расположение питающих линий для получения минимального значения коэффициентов передачи (рис. 2). С помощью данных линий будет подаваться, и сниматься сигнал с фильтра.

Рассчитанная с помощью специальной программы амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) приведена на рис. 3, 4. Также стоит отметить, что полоса рабочих частот будет оцениваться по уровню -3 дБ от уровня минимальных потерь. Площадь спроектированного фильтра составляют 50×40 мм. Для того чтобы, наглядно продемонстрировать полученные результаты, разбиваем их на два графика – это АЧХ в полосе частот, и фрагмент АЧХ в полосе рабочих частот.

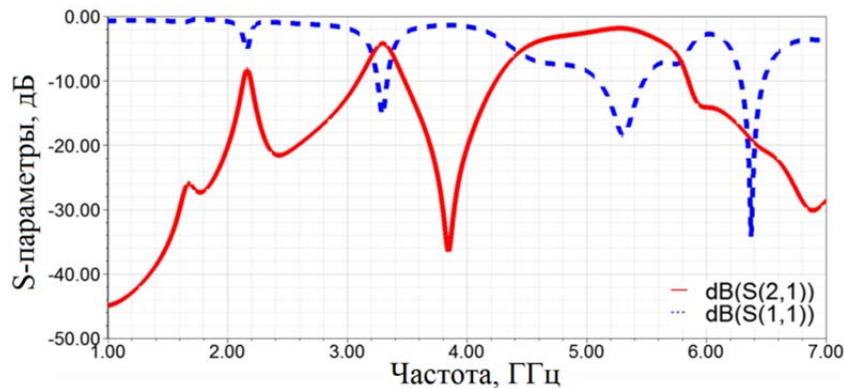


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика фильтра

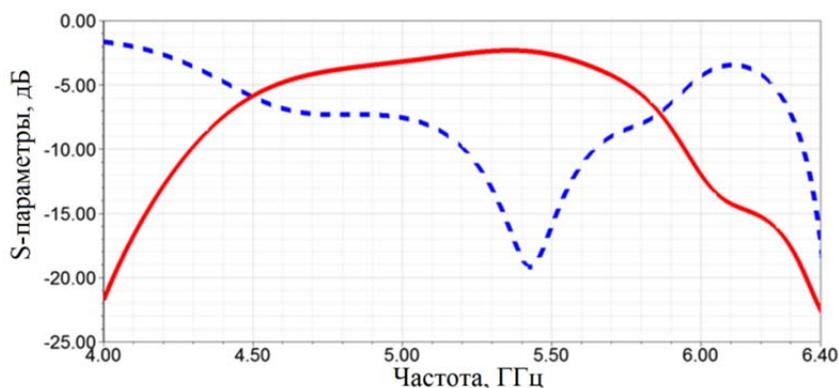


Рис. 4. Фрагмент амплитудно-частотной характеристики фильтра

Исходя из полученных результатов моделирования, можно сказать, что фильтр работает на центральную частоту 5 160 МГц. Полоса пропускания начинается с частоты 4 540 МГц и заканчивается на частоте 5 780 МГц. Относительная полоса пропускания равняется 40 %. Минимальное значение коэффициента передачи в полосе пропускания, составляют $-2,3$ дБ. Большое затухание в полосе пропускания объясняется высокими потерями в материале подложки ($tg\delta = 0,02$). Коэффициент S_{11} отвечающий за согласование равняется -14 дБ на центральной частоте. Также стоит учесть, что фильтр работает на частоте 3 500 МГц, однако с помощью подбора расположения питающих линий расположенные на противоположной стороне от резонаторов получили, что коэффициент передачи на этой частоте равняется -5 дБ, а коэффициент S_{11} равняется -13 дБ. Получается, что на частоте 3 500 МГц имеет узкую полосу и плохие характеристики для его работы.

Заключение

Таким образом, в данной работе проведено моделирование микрополоскового полосно-пропускающего фильтра, состоящего из двух одинаковых резонаторов и двух питающих линий расположенные на противоположной стороне подложки от резонаторов. Весь процесс моделирования фильтра был произведен в программе трехмерного электродинамического моделирования Ansys HFSS. Применение такой программы существенно позволило повысить точность получаемых результатов и скорость разработки нового частотно-селективного устройства. Фильтр работает на частоте 5 160 МГц, и имеет полосу пропускания равную 1 240 МГц. Минимальные потери в полосе пропускания составляют $-2,3$ дБ. Площадь полученного фильтра составляет 2 000 мм².

Список используемых источников

1. Yang T., Tamura M., Itoh T. Compact hybrid resonator with series and shunt resonances used in miniaturized filters and balun filters // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2010. V. 58. N 2. pp. 390–402.
2. Zhu J., Feng Zh. Microstrip interdigital hairpin resonator with an optimal physical length // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2006. V. 16. N 12. pp. 672–674.
3. Hung C.-Y., Weng M.-H., Lan S.-W., Huang C.-Y. // J. Electromagnetic Waves and Applications. 2012. V. 26. pp. 12–23.
4. Vegesna S. and Saed M. Compact two-layer microstrip bandpass filter using broadside-coupled resonators // Progress In Electromagnetics Research B. 2012. V. 37. pp. 81–102.
5. Liu J.-Q., Jin J.-Y., Li J. L.-W. A Miniature Bandpass filter with split ring resonator and asymmetrical coupled lines // International Conference on Communications, Circuits and Systems. 2013. V. 2. pp. 425–427.
6. Rathore V., Awasthi S., Biswas A. Design of compact dual-band bandpass filter using frequency transformation and its implementation with Split Ring Resonator Dual-band bandpass filter using SRR // 44th European Microwave Conference. 2014. pp. 949–952.

7. Panda A. K., Sahu K. S., Mishra R. K. A compact triangular SRR loaded CPW line and its use in highly selective wideband bandpass filter for WiMAX communication system // 5th International Conference on Computers and Devices for Communication. 2012. pp. 1–4.
8. Horestani A. K., Duran-Sindreu M., Naqui J., Fumeaux C., Martin F. Coplanar Waveguides Loaded with S-Shaped Split-Ring Resonators: Modeling and Application to Compact Microwave Filters // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2014. V. 13. pp. 1349–1352.
9. Belyaev B. A., Serzhantov A. M., Bal'va Ya. F., Leksikov An. A., Galeev R. G. A new design of a miniature filter on microstrip resonators with an interdigital structure of conductors // Pis'ma v Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki. 2014. V. 41. Iss. 5. pp. 504–507.
10. Hong J. S., Lancaster M. J. Development of new microstrip pseudo-interdigital bandpass filters // IEEE Microwave and Guided Wave Letters. 1995. V. 5. N 8. pp. 261–263.
11. Chen Y. M., Chang S. F. A compact stepped-impedance pseudo-interdigital bandpass filter with controllable transmission zero and wide stopband range // Microwave Conference. 2009. pp. 783–786.
12. Wu S.-R., Hsu K.-W., Tu W.-H. Compact wide-stopband microstrip bandpass filter based on stub-loaded stepped-impedance resonators // IET Microwaves, Antennas & Propagation. 2012. V. 6. N 13. pp. 1422–1428.

*Статья представлена научным руководителем,
старшим преподавателем УрФУ Сосновским А. В.*

УДК 621.375.026

Г. А. Карпов (студент, СПбГУТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ ПРИЁМНОГО КАНАЛА ПРИЁМНО-ПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Статья посвящена исследованию способов и особенностей построения малошумящего усилителя в составе приёмно-передающего модуля активной фазированной антенной решетки. В статье представлен анализ требований, предъявляемых к малошумящему усилителю в составе активной фазированной антенной решетки.

АФАР, ППМ, МШУ, антенна.

В настоящее время на практике широко используются фазированные антенные решетки (ФАР). В таких антеннах мощность передатчика величиной несколько киловатт делится между сотнями элементов, каждый из которых излучает десятки ватт мощности. Сегодня используются также более современные активные фазированные антенные решетки (АФАР), состоящие из несколько сотен приемно-передающих модулей (ППМ), ко-

торые создают суммарное излучение равное излучению ФАР. Отказ одного элемента АФАР несколько искажает диаграмму направленности антенны, но в целом она остаётся работоспособной. Одним из немаловажных преимуществ АФАР также является экономия массы передатчика и связанной с ним системой охлаждения и большого блока питания высокого напряжения. Функциональные возможности АФАР существенно превосходят ФАР [1].

ППМ является важнейшим конструктивным и функциональным элементом АФАР. ППМ АФАР производит обработку принимаемого и излучаемого сигнала по фазе и амплитуде в рабочем диапазоне частот.

Приёмные модули АФАР характеризуются рядом специфических электрических параметров. Основными из них являются: коэффициенты стоячей волны по напряжению (КСВН) входа и выхода, нагрузки и источника сигнала; не идентичность фазочастотных (ФЧХ) и амплитудно-частотных (АЧХ) характеристик; нелинейность ФЧХ, определяемая наибольшим отклонением по фазе реальной ФЧХ от идеальной (усредненной прямой) в рабочем диапазоне частот. Время готовности, определяемое быстродействием вспомогательных устройств, встроенных в модуль (устройства термopодогрева или термоохлаждения, термостабилизации и т. п.). Время восстановления после воздействия импульсной мощности; радиогерметичность, характеризующая качество экранирования модуля, и др.

Помимо перечисленных электрических параметров приёмные модули характеризуются параметрами режима эксплуатации, в частности, напряжением источника питания и его допустимой нестабильностью, диапазоном температур и механических воздействий, допустимым уровнем входной мощности или мощностью выгорания.

От чувствительности приёмных трактов в значительной степени зависит дальность действия системы.

Чувствительность приёмного тракта зависит от уровня шумов малошумящего усилителя (МШУ) и от вносимых потерь устройств приемного тракта, расположенных на входе МШУ. Малошумящий усилитель является важнейшим узлом приёмного тракта ППМ АФАР и во многом определяет чувствительность ППМ. МШУ также должен обладать достаточным коэффициентом усиления, чтобы снизить вклад последующих каскадов ППМ в общий коэффициент шума.

В нашем случае МШУ входит в состав приёмного канала приёмно-передающего модуля активной фазированной антенной решетки.

Активной фазированной антенной решёткой называют такую многоэлементную сканирующую антенну, в тракт каждого излучателя которой (или группы Излучателей) включён активный элемент: усилитель [2, 3].

Приёмный канал модуля выполняет следующие функции:

- предварительную селекцию принимаемого сигнала и подавление частот передатчика, зеркального канала, канала прямого прохождения и других мешающих сигналов;
- усиление СВЧ сигнала принимаемой частоты;
- управление фазой усиленного СВЧ сигнала;
- защита от мощных сигналов собственного передатчика;
- защита от сигналов сторонних РЭС.

Необходимость включения в состав ППМ специального устройства защиты приёмного канала модуля вызвана реальными условиями его работы.

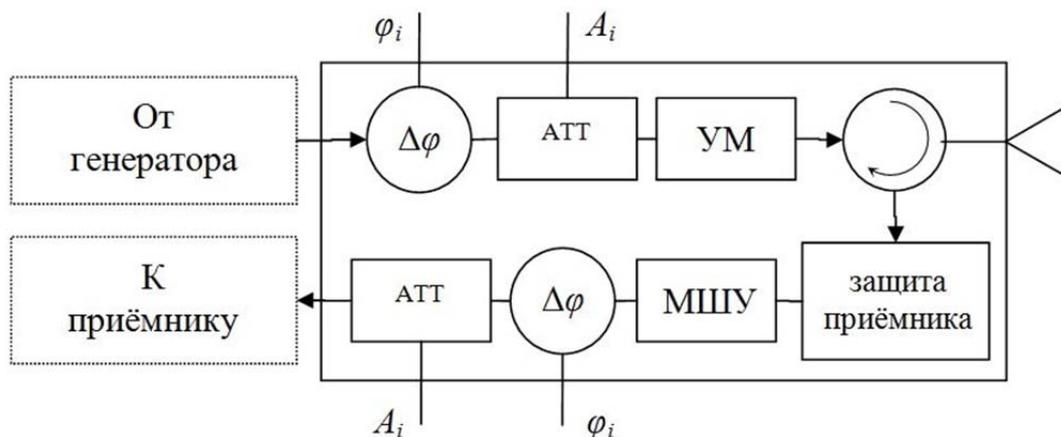


Рисунок. Приёмно-передающий модуль АФАР

Согласно рисунку отраженная от излучателя мощность согласно направлению циркуляции попадёт на вход МШУ. Что может перевести МШУ в нежелательные режимы работы или даже вывести его из строя.

Возможности повреждения наиболее чувствительного узла АФАР и приёмника РЛС могут возникнуть и при воздействии непреднамеренных и прицельных помех.

В частности, поэтому, МШУ в составе ППМ АФАР имеет некоторые особенности:

- Стойкость к воздействию сигналов с высоким уровнем мощности – одно из основных требований к первому каскаду МШУ ППМ. Поэтому, как правило, этот узел обладает малым коэффициентом усиления.
- Повышенные требования к теплоотводу и к обеспечению электромагнитной совместимости, из-за большой плотности монтажа.

Основные параметры СВЧ МШУ. Рабочий диапазон частот – это диапазон, в котором усилитель обеспечивает параметры не хуже величин, гарантированных изготовителем. Рабочий диапазон задается граничными частотами. Полоса частот вычисляется относительно средней частоты диапазона.

Коэффициент шума – величина, показывающая, во сколько раз уменьшается отношение мощностей сигнал/шум на выходе по сравнению с входом из-за собственных шумов усилителя. Коэффициент шума можно измерять в децибелах, а также шумовой температурой (особенно при малых величинах), в Кельвинах.

Предельная чувствительность – величина входной мощности, при которой обеспечивается превышение уровня мощности на выходе усилителя над уровнем собственных шумов в 2 раза. Предельная чувствительность измеряется в децибелах относительно ватта (дБ Вт).

Максимальная выходная мощность, которая поступает в нагрузку усилителя в момент уменьшения его усиления на 1 дБ по сравнению с измерением при меньших уровнях входных сигналов, дБ Вт.

Нелинейность ФЧХ – это наибольшее отклонение реальной ФЧХ от идеальной. Допустимый уровень входной мощности – уровень мощности, приводящий к необратимым ухудшениям характеристик усилителя.

Необходимую защиту и параметры можно достичь с применением современной элементной базы.

Сегодня наиболее освоена технология построения модулей АФАР на основе (арсенид галлия) GaAs-микросхем. Вместе с тем, в последнее десятилетие в США и некоторых других странах выполнены крупные научно-исследовательские проекты по изготовлению МИС с высокими параметрами на основе нитрида галлия (GaN), и сейчас начинается строительство и установка в радиолокационные системы первых АФАР с ППМ на GaN-микросхемах в приёмных трактах. Вместе с тем не прекращаются разработки новых типов GaAs-микросхем для перспективных АФАР [4, 5].

Список используемых источников

1. Воскресенский Д. И., Канащенков А. И. Активные фазированные антенные решетки. М.: Радиотехника, 2004. 488 с., ил.
2. Гостюхин В. Л., Гринева К. И., Трусов В. Н. Вопросы проектирования активных ФАР с использованием ЭВМ / под ред. В. Л. Гостюхина. М.: Радио и связь, 1983. 248 с.
3. Бахрах Л. Д., Воскресенский Д. И. Проблемы антенной техники. М.: Радио и связь, 1989. 368 с.
4. Минкович Б. М., Яковлев В. П. Теория синтеза антенн. М.: Советское радио, 1969. 296 с.
5. Викулов И. Монолитные интегральные схемы СВЧ технологическая основа АФАР // Электроника: наука, технология, бизнес. 2012. № 7 (121). С. 60–73.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Кузьминым С. В.*

УДК 621.396.67

Д. А. Киреев (студент, СПбГУТ)

ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ПЕРВИЧНОГО РАДИОЛОКАТОРА X-ДИАПАЗОНА

В статье анализируются факторы, влияющие на характеристики ФАР первичного радиолокатора X диапазона и предлагаются методы модернизации ФАР, как за счет конструктивных улучшений, так и за счёт новых схемотехнических решений.

фазированная антенная решетка, диаграмма направленности, радиолокатор.

Фазированная антенная решетка (ФАР) – антенная решетка, направление излучения и (или) форма соответствующей диаграммы направленности, которой регулируется изменением амплитудно-фазового распределения токов или полей возбуждения на излучающих элементах [1].

X-диапазон простирается от 8 до 12 ГГц электромагнитного спектра. В этом диапазоне используются радары многих типов, как в военных, так и в гражданских целях. Так, например, радары X-диапазона широко используются в радиолокации, связи, радионавигации, метеорологии.

Характеристик ФАР достаточно много, но выделяют следующие основные:

- скорость переключения луча (определяется скоростью работы фазовращателей);
- излучаемая мощность (влияет на дальность обнаружения);
- массогабаритный характеристики (зависят от ширины диаграммы направленности и применяемых материалов в конструкции).

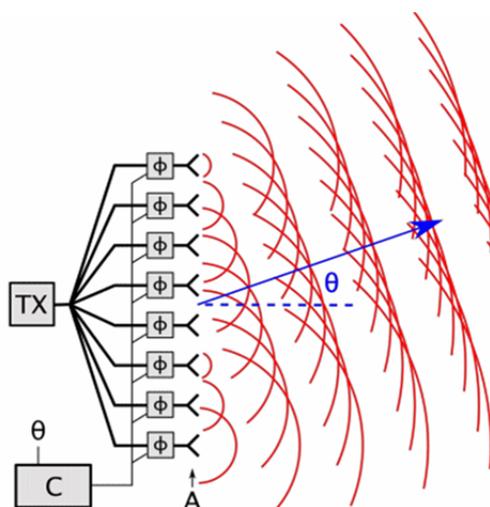


Рис. 1. Принцип действия ФАР

Принцип действия антенной решетки изображен на рис. 1. Мощность и скорость переключения луча взаимосвязаны. Увеличив мощность – увеличивается дальность обнаружения. Большую мощность труднее коммутировать из-за этого возрастает время переключения луча.

При разработке инженеры стараются уменьшить массу и габариты антенны, при этом увеличив скорость переключения луча и снизив мощность без потери дальности.

Для модернизации была выбрана антенная решетка радиолокационной стан-

ции семейства «МАРС», выполненная ОАО «ЦНПО «Ленинец» [3]. Радиолокационная станция (РЛС) изображена на рис. 2.

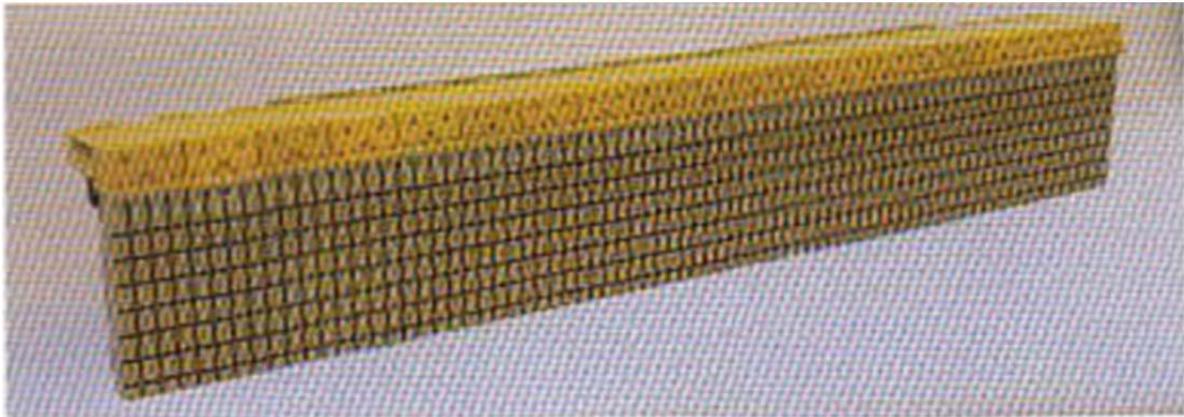


Рис. 2. Радиолокационная станция

Распределительная система вносит весомый вклад в массогабаритные характеристики антенны. Поэтому она и была выбрана в качестве объекта модернизации.

Вначале рассмотрим возможность схмотехнических (конструктивных) улучшений. Это направление подразумевает собой применение новых материалов, технологий изготовления, тщательный расчет системы с использованием современных САПР.

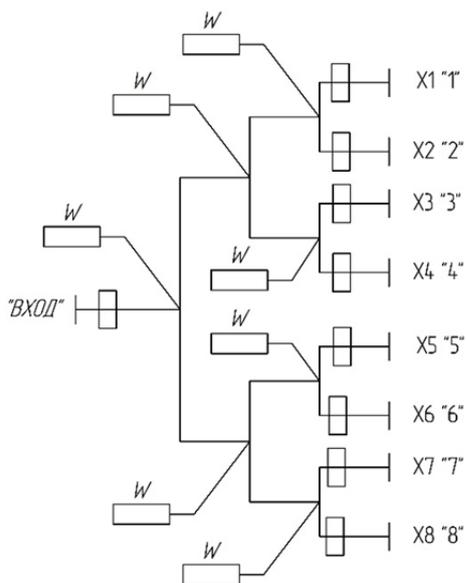


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная

На рис. 3 изображена схема электрическая принципиальная волноводной распределительной системы. На рис. 4. представлена распределительная система антенной решетки, которая была пересчитана с использованием современных САПР. В результате получилась более компактная система с меньшими потерями. Был рассчитан и применен переход на волновод меньшего сечения для уменьшения массы и габаритов, как показано на рис. 5. Деление происходит с помощью Т-мостов. Используются более компактные согласованные нагрузки и применены новые поглощающие материалы. Но из-за возможных неточностей изготовления не удалось обойтись без элементов подстройки.

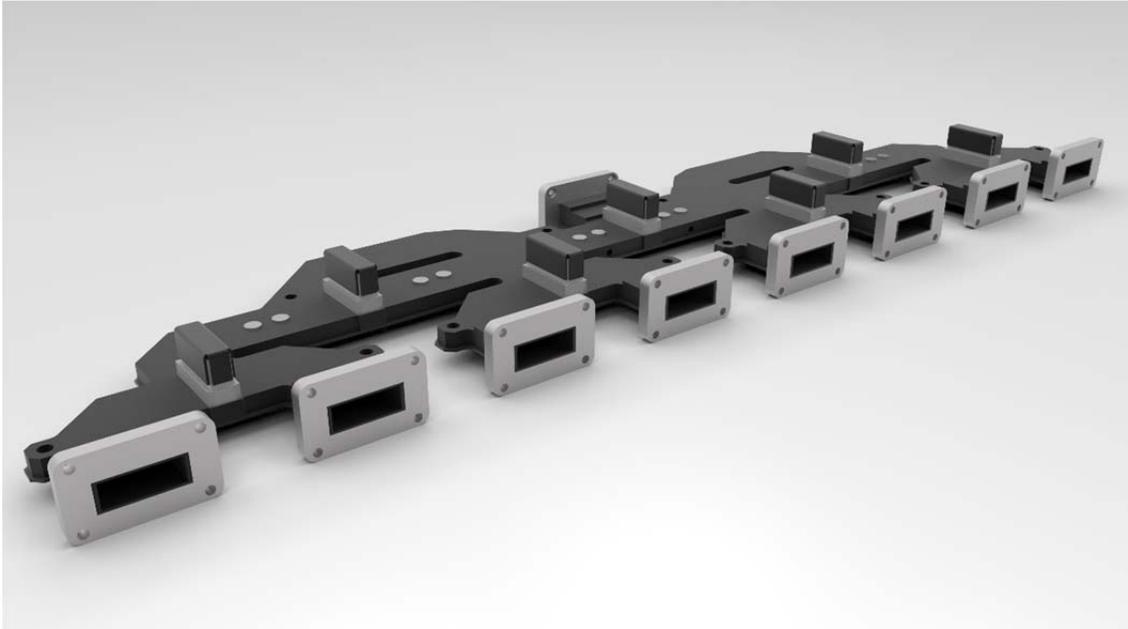


Рис. 4. Волноводно-распределительная система

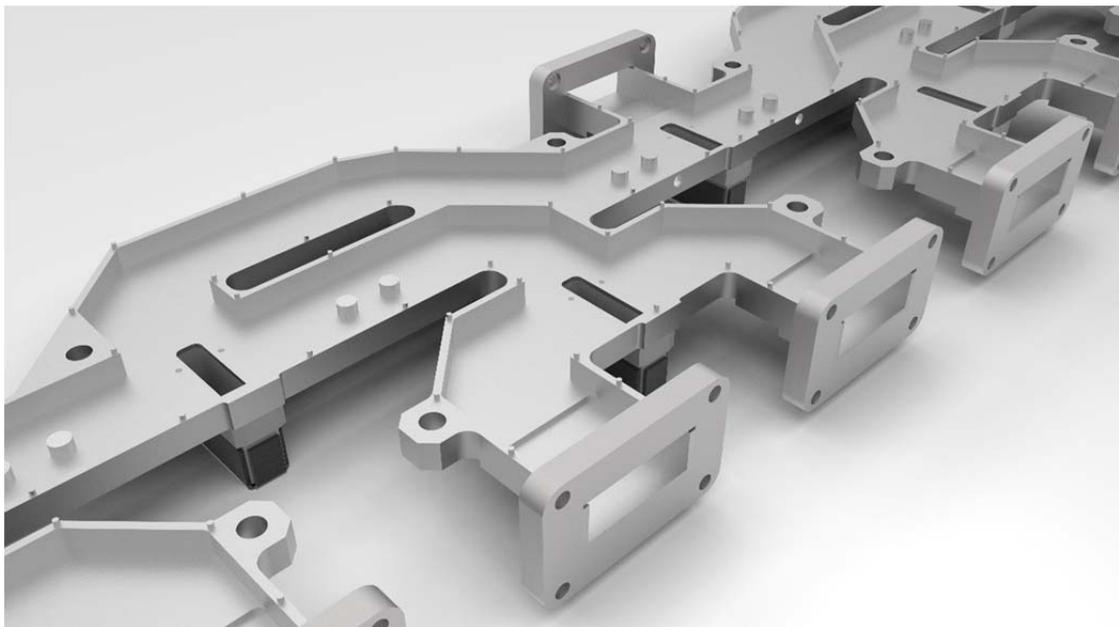


Рис. 5. Канал волноводно-распределительной системы

Исследование показало, что дальнейшие конструктивные улучшения не приведут к существенному изменению характеристик и поэтому перспективным направлением модернизации является изменение структуры системы или системные улучшения. Данное направление заключается в рассмотрении возможности перехода от существующей ФАР к ЦАФАР. Как и при каких условиях возможен переход и даст ли это функциональный выигрыш, так же необходимо оценить такую характеристику как соотношение цена/качество.

ЦАФАР – антенная решётка с поэлементной обработкой сигналов, в которой сигналы от излучающих элементов решетки подвергаются аналого-цифровому преобразованию с последующей обработкой по определенным алгоритмам [1].

Переход к ЦАФАР, возможно, позволит сократить стоимость изделия и уменьшить его массу и габаритные размеры при расширении функциональных возможностей.

Список используемых источников

1. ГОСТ 23282-91 – Решетки антенные. Термины и определения. М.: из-во стандартов, 1991. 7 с.
2. Программа «МАРС» ОАО «ЦНПО «Ленинец» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.optolink.ru/ftpgetfile.php?id=172> (дата обращения: 10.05.2017).

Статья представлена научным руководителем, кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Кузьминым С. В.

УДК 681.3.06

В. Н. Коваленко (студент, СПбГУТ)

Я. В. Золотухин (студент, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ НА ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРАХ НПЦ «ЭЛВИС»

Статья посвящена аппаратной реализации быстрого преобразования Фурье на цифровых сигнальных процессорах НПЦ «ЭЛВИС». Приводится теоретическое описание алгоритмов быстрого преобразования Фурье. Рассматриваются аппаратные модули быстрого преобразования Фурье, их устройства и характеристики. Приводится сравнительный анализ различных цифровых сигнальных процессов.

быстрое преобразование Фурье, IP-ядерная платформа, цифровые сигнальные процессоры, ELScore, алгоритм БПФ.

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – это алгоритм для быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [1].

1. Прямое ДПФ определяется по формуле [2]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk}, k = 0, 1, \dots, N - 1.$$

2. Обратное ДПФ [2]:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk}, n = 0, 1, \dots, N - 1.$$

Научно-производственный центр «Электронные вычислительно-информационные системы» (АО НПЦ «ЭЛВИС») – один из основных производителей микросхем в России, организованный в 1990 г. на основе одного из структурных подразделений научно-производственного объединения «ЭЛАС», занимавшееся в 1960–80 гг. разработками в области космической электроники, например, конструирование аппаратно-программных систем управления для станций серии «Салют» [3, 4].

НПЦ «ЭЛВИС» разрабатывает собственные сигнальные процессоры «МУЛЬТИКОР» – многопроцессорные системы на кристалле, проектируемые на основе IP-ядерной (IP – intellectual property) платформы (рис. 1) [3].

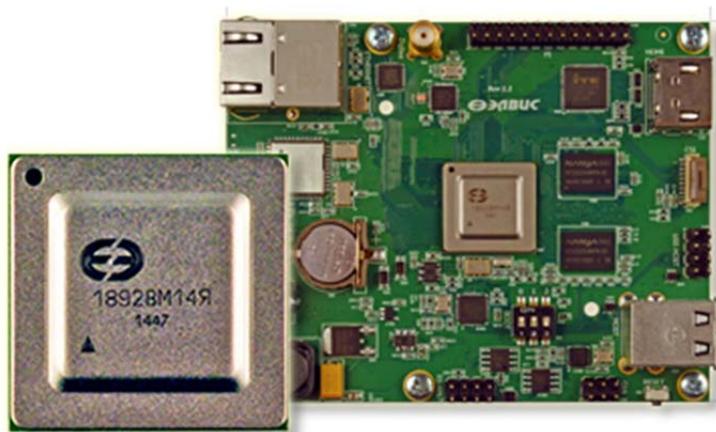


Рис. 1. Внешний вид микросхемы 1892BM14Я

Блоки процессора представлены двумя видами IP-ядер [3]:

- Процессор на базе RISC-ядра с использованием технологии MIPS32, являющийся центральным процессором системы (CPU).
- Ядра процессоров-акселераторов с высокой производительностью для цифровой обработки сигналов (DSP – Digital Signal Processing) собственной разработки компании, которые маркируются ELcore-xx (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Цифровые сигнальные процессоры НПЦ «ЭЛВИС»

Микросхема	1892BM3Т	1892BM2Я	1892BM5АЯ	1892BM10Я	1892BM7Я
Технология изготовления, мкм	0,25	0,25	0,25	0,13	0,13
Размер кристалла, мм*мм	10*10	10*10	12,3*12,6	8,8*9,5	11,7*11,9

Микросхема	1892ВМ3Т	1892ВМ2Я	1892ВМ5АЯ	1892ВМ10Я	1892ВМ7Я
Интеграция, млн. транзисторов	~18	~18	~26	~50	~81
Корпус	2 процессора RISCore32+E Lcore-14	2 процессора RISCore32+E Lcore-24	3 процессора RISCore32+2× ELcore-26	3 процессора RISCore32+2× ELcore-30	5 процессора RISCore32+4× ELcore-28
Многопроцессорная МИМД-архитектура	PQFP240	HSBGA292	HSBGA416	HSBGA400	HSBGA765
Рабочая частота	80	80	100	250	200
Пиковая производительность, MFLOPs, 32 бит	240	480	1200	4000	6400

Программный код контроллеров "Мультикор" более эффективен, чем у зарубежных аналогов, например, по сравнению с такими известными производителями DSP процессоров, как Texas Instruments (TI) и Analog Devices (ADI). Число стадий программного конвейера намного меньше, чем у зарубежных конкурентов (3–4 против 10). Это приводит к тому, что код у процессоров серии "Мультикор" до десяти раз короче, чем у зарубежных аналогов. В качестве примера приведено сравнение процессора НПЦ «ЭЛВИС» МС-24 (1892ВМ2Я) с процессором DSP TS201s фирмы Analog Devices (табл. 2) [5].

ТАБЛИЦА 2. Сравнение длины кода БПФ НПЦ «ЭЛВИС» с зарубежными аналогами

Процедура	Дополнительные условия	МС-24	TS-201
БПФ длина кода	32-х разрядный формат с плавающей точкой	150-230	1652-2508

Также сокращается число тактов, требуемых для выполнения алгоритмов (табл. 3) [5].

ТАБЛИЦА 3. Сравнение числа тактов БПФ НПЦ «ЭЛВИС» с зарубежными аналогами

Производитель	«ЭЛВИС»	ADI		TI
Микросхема	МС-24	TS101	TS-201	TMS320с6701
БПФ число тактов	23 тыс.	43 тыс.	60 тыс.	68 тыс.

Исследование времени, затрачиваемого на реализацию алгоритма БПФ, показывает, что отечественный производитель НПЦ «ЭЛВИС» способен конкурировать с аналогами зарубежных производителей. При этом процессоры НПЦ «ЭЛВИС» имеют более простую технологию изготовления и более низкое значение тактовых частот (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Сравнение времени, потраченного на реализацию алгоритмов БПФ

Компания	ЭЛВИС				TI		ADI
	1892 BM3T	1892 BM2Я	1892 BM5Я	1892 BM5АЯ	C6701	C6416	TS201
Технология, нм	250	250	180	130	180	130	130
Тактовая частота, МГц	80	80	100	250	166	600	600
БПФ-1024, комплексные данные							
Формат (16+j16), блочная плавающая точка, мкс	145	72	29	6	–	10	5
Формат (32+j32), блочная плавающая точка, мкс	273	136	55	16,7	160	–	16,8
БПФ-256, комплексные данные							
Формат (16+j16), блочная плавающая точка, мкс	28,9	14,5	5,8	–	–	–	1,5

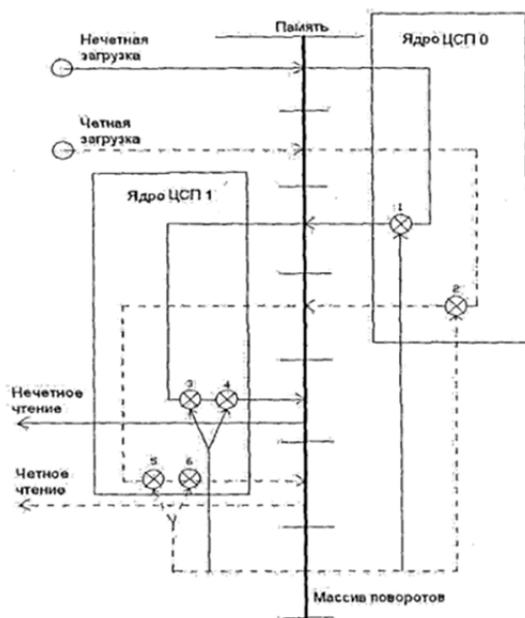


Рис. 2. Алгоритм БПФ на системе с двумя ядрами

Алгоритм БПФ организован в матричном виде, а вычисления реализуются с помощью операции «бабочка». На решение алгоритма уходит 7 этапов. На рис. 2 приведен пример вычисления алгоритма 16 384 точечного БПФ для двухъядерного процессора, в котором два вычислительных модуля обрабатывают сигнал по строкам и по столбцам по отдельности [6].

Список используемых источников

1. Солонина А. И. Основы цифровой обработки сигналов: курс лекций. 2-е изд., исп. и перераб. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 768 с.

2. Солонина А. И., Клинский Д. М., Меркурий Т. В, Персов С. Н. Цифровая обработка сигнала и MATLAB. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 512 с.
3. АО НПЦ «ЭЛВИС» – отечественные микросхемы «Мультикор» [Электронный ресурс]. URL: <http://multicore.ru>.
4. Российские микропроцессоры [Электронный ресурс]. URL: <http://ruxpert.ru/>
5. Солохина Т., Александров Ю., Петричкович Я. Сигнальные контроллеры компании ЭЛВИС: первая линейка отечественных DSP // Электроника: наука, технология, бизнес. 2005. № 7. С. 70–77.
6. Кучинский А. С. Модель для оптимизации архитектуры многоядерного цифрового сигнального процессора под выполнение спектрального анализа в радиолокации : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.12.14 / Кучинский Александр Сергеевич. М., 2009. 27 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Степановым А. Б.*

УДК 004.732

К. Ф. Короткин (студент, СПбГУТ)

РАДИООБСЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ Wi-Fi СЕТИ В КАРЬЕРЕ “ЮЖНЫЙ”, ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА АО “КАРЕЛЬСКИЙ ОКАТЫШ”

Увеличение количества клиентов сети, расширение зоны покрытия, новое оборудование, радиопомехи – все это может неблагоприятно воздействовать на работоспособность беспроводной сети Wi-Fi. Поэтому для поддержания высокой работоспособности сети необходимо проведение регулярных контрольных проверок. Статья посвящена радиообследованию действующей беспроводной промышленной Wi-Fi сети. Полигоном для радиообследования был выбран “Южный карьер” горнообогатительного комбината АО “Карельский окатыш”. В рамках данного радиообследования производился замер уровня сигнала и соотношения сигнал/шум, анализ интерференции, оценка зоны радиопокрытия и скорости передачи данных, оценка распределения частотных каналов между точками доступа.

Wi-Fi, радиообследование, автоматизированные системы управления, точка доступа, горнотранспортный комплекс, беспроводная локальная сеть, карьер.

Внедрение на карьерах современных автоматизированных систем управления горнотранспортными комплексами с использованием спутниковой навигации оказывает большое влияние на эффективное развитие открытых горных работ, повышение производительности и снижение себестоимости добычи полезных ископаемых, контроль качества использова-

ния техники и снижение эксплуатационных расходов. Для построения систем управления все большее применение находят широкополосные системы и технологии беспроводной передачи данных: Wi-Fi, WiMax, MESH-системы.

Автоматизированные системы управления горнотранспортным комплексом применяются для автоматизации управления горными работами и горным оборудованием: экскаваторами, самосвалами, бульдозерами, погрузчиками, грейдерами.

Системы беспроводной передачи данных должны обеспечивать передачу навигационной и телеметрической информации, аварийной информации, передачу управляющих команд и текстовых сообщений, служебную информацию о работе систем и оборудования полученную с различных датчиков (давления в шинах, уровня топлива, давления в системе пневмоподвески и др.) [1, 2].

В данной статье рассматривается организация существующей беспроводной сети Wi-Fi, построенной на одном из карьеров горнообогатительного комбината АО «Карельский окатыш» и результат радиообследования данной сети.

Сеть построена на базе оборудования серии Cisco Aironet 1552 и включает в себя фиксированные (Fixed Access Point, FAP) и перемещающиеся (Mobile Access Point, MAP) точки доступа. Основное покрытие карьера обеспечивается с помощью базовых точек доступа FAP 3, FAP 3-1 и FAP 3-2. Точки доступа 1552 поддерживают два радиомодуля (2,4 и 5 ГГц). FAP 3-1 и FAP 3-2 смонтированы на одной вышке и соединены между собой с помощью коммутатора по Ethernet. Базовые точки доступа работают на 136 частотном канале. Точки FAP 3-1 и FAP 3 организуют между собой радиомост и передачу данных на частоте 5 ГГц. Частота 2,4 ГГц используется для беспроводных клиентов. Точка доступа FAP 3 соединяется с опорной сетью комбината через коммутатор Catalyst 2960. Питание осуществляется с помощью источника бесперебойного питания и преобразователя напряжения постоянного тока (48–12 В). Точка FAP 3-2 оснащена всенаправленными антеннами, в то время как FAP 3-1 имеет секторные антенны с диаграммой направленности в вертикальной плоскости под углом 30 градусов, обеспечивающие покрытие всей площади карьера. Схема организации связи беспроводной сети приведена на рис. 1.

Также в карьере установлены несколько точек доступа Cisco 1552, которые выполняют функции репитера и работают на частоте 2,4 ГГц.

На горнотранспортное оборудование устанавливаются клиентские точки доступа Ubiquiti Bullet M2NR и MikroTik Metal 52 ac, с всенаправленными антеннами. Эти точки подключаются к специализированному бортовому оборудованию по кабелю Ethernet и обеспечивают прием-передачу телеметрической, управляющей и навигационной информации.

Передача и прием данных осуществляется на 1 частотном канале, в диапазоне 2,4 ГГц.

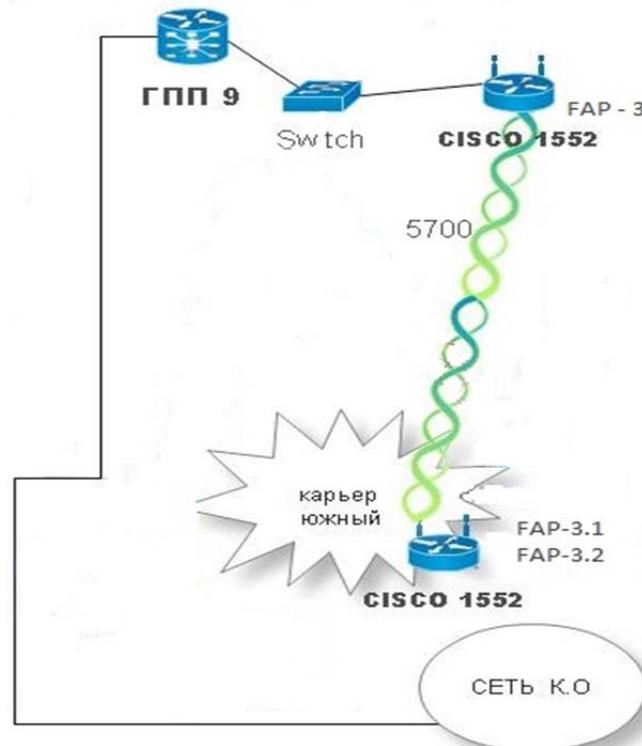


Рис. 1. Функциональная схема действующей беспроводной сети

В карьере размещены три мобильных точки доступа Cisco 1552, установленные на буксируемые тележки и служат для обеспечения связи в местах, где по производственным причинам не могут располагаться фиксированные точки, либо где возникает временная необходимость обеспечить радиопокрытие. Питание происходит от аккумуляторов, заряд осуществляется посредством солнечных панелей или ветряных генераторов.

Настройка, мониторинг и эксплуатация точек доступа осуществляется с помощью контроллера Cisco Wireless Controller 5508.

Работа точек доступа в разных частотных диапазонах (2,4 и 5 ГГц) и на частотных каналах, и применение контроллера, позволяет улучшить частотно-территориальный разнос и обеспечить минимальный уровень интерференции в беспроводной сети.

Радиообследование действующей сети осуществлялось с помощью программного обеспечения Acrylic Wi-Fi Heatmaps. Перемещаясь по карьере на автомобиле, были произведены замеры уровня сигнала и скорость передачи данных клиентских точек доступа в различных точках карьера и оценена зона радиопокрытия. Также обследование показало, в каком диапазоне частот и на каком частотном канале работает клиентское оборудование, а также используемые механизмы аутентификации и шифрования (рис. 2) [3].

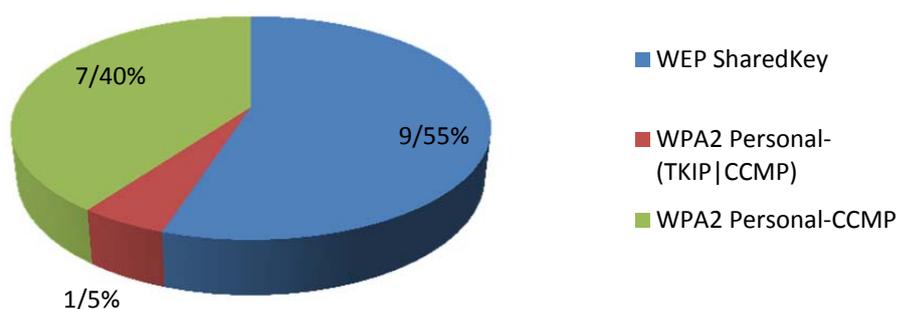


Рис. 2. Режимы шифрования безопасности

В таблице представлены результаты радиозамеров в контрольных точках карьера.

Ознакомившись с инфраструктурой беспроводной сети Wi-Fi, с ее функциональностью и результатами радиообследования, можно сказать, что развернутая на Южном карьере горнообогатительного комбината сеть Wi-Fi обеспечивает полное решение поставленных перед автоматизированными системами управления горнотранспортным комплексом задач и учитывает развитие горных работ.

Список используемых источников

1. Пахомов Г. И., Головин С. И., Калашников А. Д., Каширина Е. С., Тонких М. Ю. Технологии Wi-Fi и WiMAX в горной промышленности [Электронный ресурс] // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления, 2011. № 5. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-wi-fi-i-wimax-v-gornou-promyshlennosti> (дата обращения 30.03.2017).

2. Клебанова И. В. Применение систем радиосвязи для оперативного управления горнотранспортными комплексами в карьерах [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2016. № 89. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=73353> (дата обращения 30.03.2017).

3. Аудит действующей беспроводной сети передачи данных в составе системы управления технологическими процессами в карьерах ГОК ОАО «Карельский окатыш». 16.05.2011 [Электронный ресурс] // Официальный сайт «Группа компаний Дэй-лайн». URL: <http://www.dateline.ru> (дата обращения 30.03.2017).

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Дунайцевым Р. А.*

ТАБЛИЦА. Результаты радиозамеров

	SSID	BSSID	CHAN	FREQ	RSSI AVG	RSSI MAX	RSSI MIN	SECURITY	DATA RATE	802.11
1	<i>MLINK</i>	0A:C7:C8:7F:82:C0	1	2412	-78	-69	-91	WEP SharedKey	144,4	b, g
		40:A6:E8:76:32:80	1	2412	-81	-68	-89	WEP SharedKey	130	g
		40:A6:E8:76:62:A0	1	2412	-87	-87	-87	WEP SharedKey	54	g
		40:A6:E8:76:64:80	1	2412	-85	-80	-90	WEP SharedKey	54	g
		40:A6:E8:76:67:C0	1	2412	-73	-58	-88	WEP SharedKey	144,4	g
		40:A6:E8:76:79:A0	1	2412	-87	-87	-87	WEP SharedKey	54	g
		40:A6:E8:76:9A:60	1	2412	-84	-77	-90	WEP SharedKey	54	g
		40:A6:E8:76:B8:20	1	2412	-86	-84	-88	WEP SharedKey	54	g
		40:A6:E8:76:BC:A0	1	2412	-71	-65	-87	WEP SharedKey	144,4	g
2	<i>RKS</i>	06:C7:C8:7F:82:C0	1	2412	-78	-70	-91	WPA2 Personal-(TKIP CCMP)	144,4	b, g, n
		40:A6:E8:76:32:81	1	2412	-80	-68	-88	WPA2 Personal-CCMP	130	g, n
		40:A6:E8:76:64:81	1	2412	-84	-79	-89	WPA2 Personal-CCMP	54	g, n
		40:A6:E8:76:67:C1	1	2412	-73	-58	-88	WPA2 Personal-CCMP	144,4	g,n
		40:A6:E8:76:79:A1	1	2412	-87	-87	-87	WPA2 Personal-CCMP	54	g, n
		40:A6:E8:76:9A:61	1	2412	-84	-77	-88	WPA2 Personal-CCMP	54	g, n
		40:A6:E8:76:B8:21	1	2412	-86	-85	-88	WPA2 Personal-CCMP	54	g, n
		40:A6:E8:76:BC:A1	1	2412	-71	-65	-86	WPA2 Personal-CCMP	144,4	g, n

УДК 621.397.23

Д. В. Кылосов (студент, СПбГУТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОДАНЫХ В ФОРМАТЕ *HD* И *UHD* В СИСТЕМАХ ЦТВ

В ходе исследования проведен анализ стандартов компрессии видеопотоков, необходимых для формирования пакета программ в HD и UHD формате, и параметров модуляции стандарта DVB-T2, обеспечивающих оптимальное качество приема и возможность практической реализации.

H.264, H265, HD, UHD, DVB-T2.

С каждым годом устройства с HD разрешением становятся все доступнее населению, в связи, с чем эксперты отмечают рост интереса потребителей к HD контенту. Кроме того, развитие форматов сверхвысокой четкости не стоит на месте и на рынке появляется все больше устройств с разрешением 4K и более.

С 2018 г. в Российской Федерации прекратится вещание аналогового телевидения, что дает возможность перехода от вещания в формате стандартной четкости к форматам HD и UHD.

Для нахождения оптимальных параметров передачи видеоданных высокой и сверхвысокой четкости было проведено экспериментальное исследование. Условно его можно разделить на два этапа:

- эффективное кодирование (компрессия) по стандартам H.264 и H.265;
- передача данных в системе DVB-T2.

I этап. Эффективное кодирование

Максимальная скорость передачи данных в системе DVB-T2 составляет около 50 Мбит/с, а битрейт несжатых данных в формате HD и UHD составляет сотни и тысячи Мбит/с. Для исследования были выбраны стандарты H.264 и H.265, как наиболее совершенные и обеспечивающие необходимую степень сжатия. Также необходимо выбрать скорость потока данных или битрейт, удовлетворяющий следующим условиям:

- при данном битрейте обеспечивается хорошее качество изображения;
- данный битрейт позволяет сформировать собственный мультиплекс, состоящий из нескольких HD программ или хотя бы одной UHD программы.

Битрейты, выбранные для исследования:

- для HD – 2, 4, 6, 8, 10, 12 Мбит/с;
- для UHD – 4, 8, 12, 16, 20, 24 Мбит/с.

Качество изображения оценивалось метрикой PSNR и субъективной экспертизой по методу SAMVIQ.

Исследование проводилось для двух сюжетов. **1 сюжет:** скачки, открываются ворота, и всадники на лошадях начинают движение. Камера движется вместе с ними. Сильное движение и большое количество мелких деталей. **2 сюжет:** на чёрном фоне показано лицо девушки. Периодически девушка моргает, её волосы развеваются. Практически отсутствует движение. Каждый сюжет был представлен в формате HD и UHD. Для каждого формата было сформировано по 6 файлов на каждый стандарт сжатия. Всего для исследования было создано 48 видеофайлов. Кодирование производилось с помощью пакета FFMpeg.

На рис. 1, 2 представлены зависимости среднего значения метрики PSNR и средней субъективной оценки от битрейта.

На данных графиках видно, для двух сюжетов имеет место разный характер зависимости PSNR от битрейта и разное значение метрики PSNR. В то же время, средняя субъективная оценка увеличивается с ростом битрейта вне зависимости от сюжета. Особенно заметно различие метрики PSNR и субъективной оценки для второго сюжета в формате UHD: значение метрики PSNR для двух стандартов сжатия практически не отличается, однако наблюдается значительная разница в субъективной оценке на низких битрейтах.

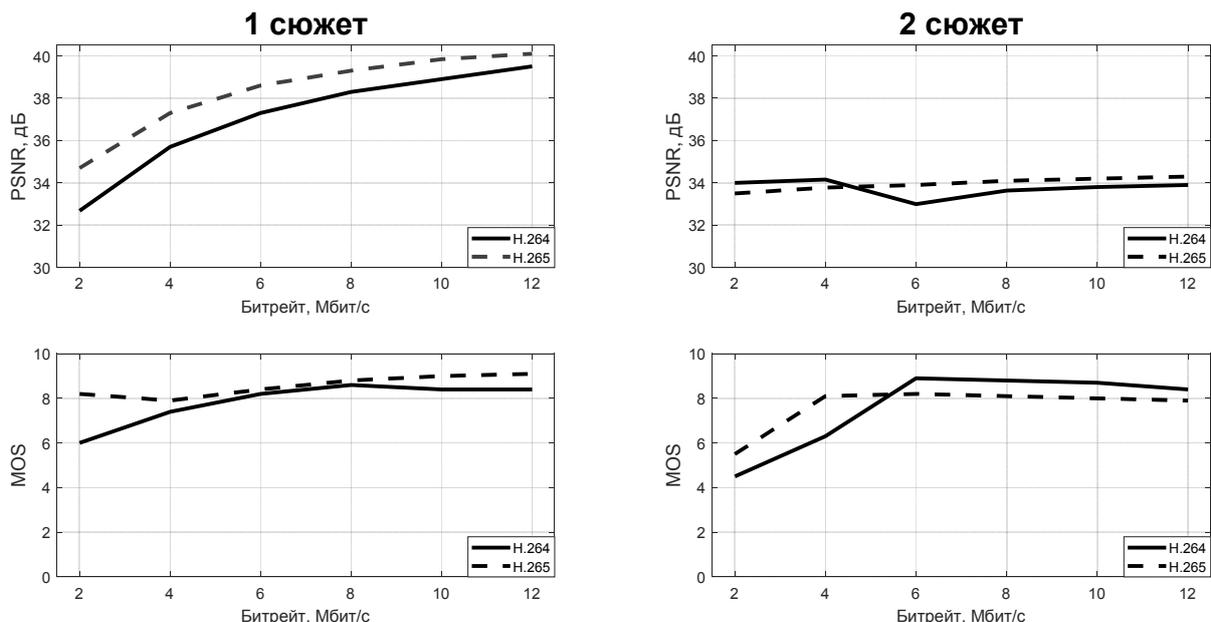


Рис. 1. Сравнение метрики PSNR и результатов субъективной экспертизы (HD)

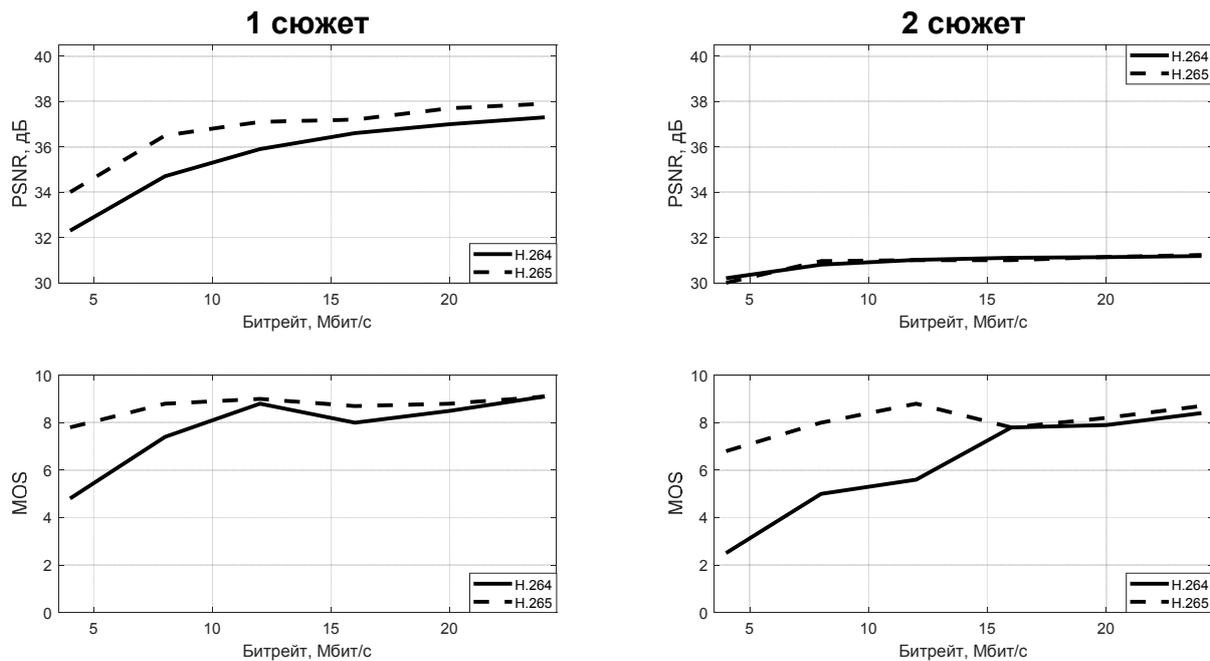


Рис. 2. Сравнение метрики PSNR и результатов субъективной экспертизы (UHD)

После усреднения субъективной оценки по двум сюжетам были получены следующие зависимости (рис. 3).

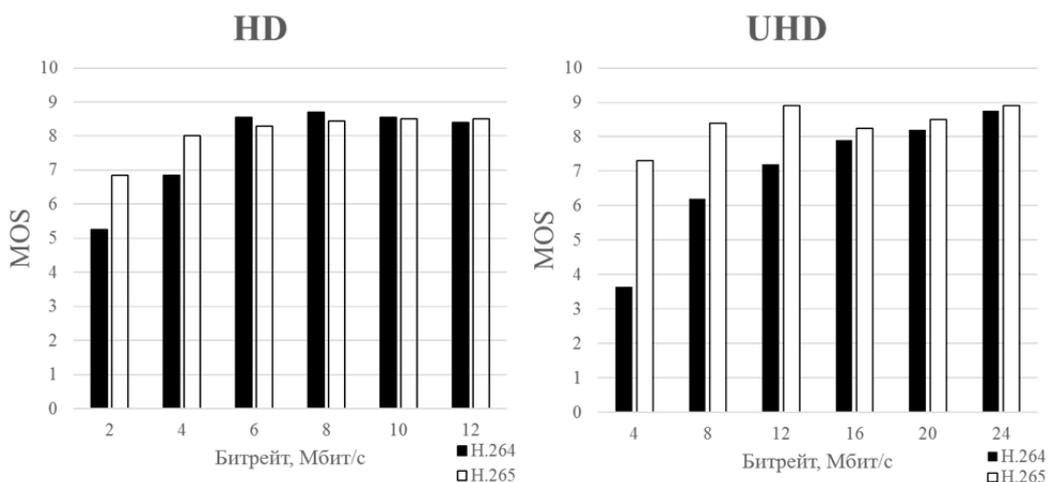


Рис. 3. Зависимости средней субъективной оценки от битрейта

Можно сделать вывод, что H.265 дает лучший результат, чем H.264, особенно на низких битрейтах. При общей скорости передачи данных, что в настоящий момент используется для передачи 10 программ стандартной четкости (30 Мбит/с) можно сформировать следующие мультиплексы:

- мультиплекс из 7 HD программ (H.265);
- мультиплекс из 4 HD программ (H.264);
- 1 UHD программа (H.264 или H.265).

II этап. Передача данных в системе DVB-T2

Структурная схема II этапа исследования представлена на рис. 4.

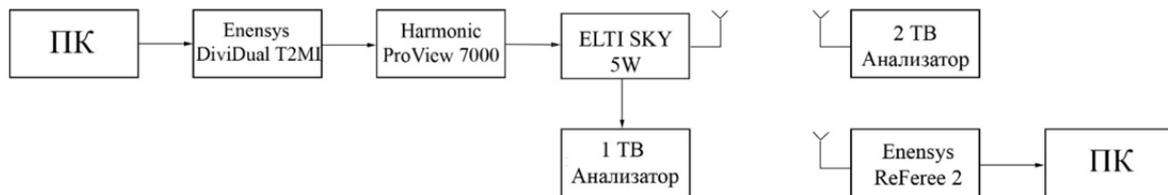


Рис. 4. Структурная схема II этапа исследования

Транспортный поток мультиплекса с ПК попадает на устройство, формирующее поток T2MI, который далее передается на приёмник-декодер. Далее приёмник ремультимплексирует входящий транспортный поток и выдает мультиплекс на передатчик.

Оценка качества ТВ-сигнала производится с помощью двух анализаторов EFL: первый анализатор оценивает параметры сигнала на выходе передатчика, а второй анализатор на некотором расстоянии от передатчика (в условной точке приема). Также полученный сигнал анализируется и записывается на ПК.

Для исследования методов передачи в системе DVB-T2 были выбраны следующие исходные параметры:

- количество несущих: 32К;
- защитный интервал: 1/16;
- схема размещения пилот-сигналов: PP4.

Исходя из того, что скорость передачи данных выбранных для исследования транспортных потоков ~ 25 Мбит/с, в соответствии с ГОСТ Р 55696-2013 были определены изменяемые параметры модуляции:

- модуляция 64-QAM, скорости кода: 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6.
- модуляция 256-QAM, скорости кода: 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6.

Исследование проводилось в учебной лаборатории базовой кафедры «Цифровое телевизионное и радиовещание».

Результаты II этапа исследования представлены в таблице. Полужирным курсивом выделены допустимые значения параметров. Полужирным подчеркнутым – критические значения.

Применение стандарта H.265 позволяет сформировать мультиплекс, состоящий из 7 программ в HD качестве при той же скорости потока данных, что используется в данный момент для передачи 10 программ в формате стандартной четкости.

Для передачи в системе DVB-T2 потока данных общей скоростью 30 Мбит/с рекомендуется использовать 64-QAM модуляцию и скорости кода 4/5, 5/6 (при схеме размещения пилот-сигналов PP4 и количестве несущих 32К).

ТАБЛИЦА. Результаты измерения параметров сигнала

Вид модуляции	Скорость кода	1 ТВ Анализатор					2 ТВ Анализатор				
		Уровень сигнала, дБ	C/N, дБ	BER	MER, дБ	LKM, дБ	Уровень сигнала, дБ	C/N, дБ	BER	MER, дБ	LKM, дБ
64-QAM	3/5	-17,2	36	$<1 \cdot 10^{-6}$	30,2	17,4	-61,2	29,1	$1,5 \cdot 10^{-5}$	27	14,3
	2/3	-17	36,2	$<1 \cdot 10^{-6}$	30,1	16	-61	29,2	$1,6 \cdot 10^{-5}$	26,9	13,2
	3/4	-17,2	36,3	$<1 \cdot 10^{-6}$	29,4	15,2	-61,2	28,6	$7,8 \cdot 10^{-5}$	26,7	11,3
	4/5	-17,1	36,4	$<1 \cdot 10^{-6}$	30	13,8	-61,1	28,6	$1,3 \cdot 10^{-4}$	26	9,4
	5/6	-17,1	35,7	$<1 \cdot 10^{-6}$	32,2	15,4	-61,1	29,3	$5,7 \cdot 10^{-5}$	26,8	7,5
256-QAM	1/2	-17,1	36,1	$7,8 \cdot 10^{-4}$	29,3	16	-61,1	29,5	$8 \cdot 10^{-3}$	26,2	11,6
	3/5	-17,2	36	$5,4 \cdot 10^{-4}$	29,5	13,7	-61,2	28,8	$1 \cdot 10^{-2}$	26,4	9,6
	2/3	-17	36,5	$6 \cdot 10^{-4}$	29,6	10	-61	28,8	$1 \cdot 10^{-2}$	25,7	7,4

Примечание: при модуляции 256-QAM и скорости кода 2/3 в уловной точке приема наблюдается нарушение декодирования видео (рассыпание изображения) более 15 секунд, поэтому дальнейшие измерения на скоростях 3/4, 4/5, 5/6 для 256-QAM не имеют смысла.

Стандарт H.265 в целом оказался лучше для передачи видеоданных в формате HD и UHD, но до перехода на данный стандарт еще далеко: для кодирования в данном стандарте требуются большие вычислительные мощности и замена оборудования как на передающих центрах, так и у абонентов на приемной стороне. Однако, уже существующая инфраструктура цифрового телевизионного вещания позволяет запустить передачу мультиплекса, состоящего из 4 HD программ при сжатии по стандарту H.264. Помимо этого, возможен запуск тестового вещания одной программы в UHD качестве, так как использование H.265 не приносит желаемой эффективности.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 55696-2013. Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2. Технические требования. Основные параметры. Методы измерений. М.: Изд-во стандартов, 2013. 43 с.
2. ГОСТ Р 55947-2014 Телевидение вещательное цифровое. Приемники для эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T2. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2014. 48 с.
3. ITU-T Recommendation. H.265. High efficiency video coding, 04/2013.
4. Iain E. Richardson. The H.264 advanced video compression standard. М.: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. 316 с.
5. Оценка качества видео. Субъективная оценка качества видео [Электронный ресурс]. URL: <http://www.compression.ru/video>
6. H.264 [Электронный ресурс]. URL: <https://trac.ffmpeg.org>

7. DVB-T2 [Электронный ресурс]. URL:<https://ru.wikipedia.org/>
8. H. 264 [Электронный ресурс]. URL:<https://ru.wikipedia.org/>
9. H.265 [Электронный ресурс]. URL:<https://ru.wikipedia.org/>
10. PSNR [Электронный ресурс]. URL:<https://ru.wikipedia.org/>

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Бучатским А. Н.*

УДК 621.396

А. А. Лешко (курсант, ВКА им. А. Ф. Можайского)

Д. Г. Сударенко (адъюнкт, ВКА им. А. Ф. Можайского)

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАДИОКАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Представлены оценки пропускной способности радиоканалов передачи данных наблюдения современных и перспективных космических комплексов дистанционного зондирования Земли. Проведенные исследования позволяют определить требования к перспективным комплексам дистанционного зондирования Земли и радиолиниям передачи данных наблюдения.

дистанционное зондирование, радиоканал, пропускная способность.

Развитие орбитального сегмента отечественных космических комплексов (КК) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в первую очередь связано с увеличением количества космических аппаратов (КА) в том числе малоразмерных КА. В состав бортовых специальных комплексов КА ДЗЗ внедряются новые высокоинформативные оптико-электронные системы (ОЭС) наблюдения, основанные на передовых технологиях съемки, для которых характерно развитие в сторону увеличения объемов видеоданных. Развитие наземного сегмента отечественных КК ДЗЗ связано с неуклонным расширением сетей станций приема данных ДЗЗ в реальном масштабе времени на всей территории Земли, в том числе на малые и мобильные приемные станции, оснащенные приемными антеннами с рефлектором малых размеров (диаметр рефлектора < 3 м). Передача данных наблюдения с КА ДЗЗ на приемные станции наземных пунктов приема информации (НППИ) осуществляется по радиолиниям передачи информации, одной из важнейших характеристик которых является их пропускная способность. Реальная пропускная способность радиолинии передачи информации зависит от многих факторов, в числе которых ширина полосы пропус-

кания приемной системы W , качество принимаемого сигнала, определяемого отношением средних мощностей принятого сигнала P_S и шума P_N , энергетического потенциала передающей и приемной аппаратуры, а так же реализованных в ней технических решений.

Для того чтобы космическая система ДЗЗ решала свои задачи необходимо, чтобы пропускная способность радиолинии передачи данных была полностью согласованна с информационной производительностью ОЭС КА ДЗЗ. В условиях возрастающего количества КА ДЗЗ регистрирующих большие объёмы данных наблюдения, исследование вопроса согласованности информационной производительности съёмочной аппаратуры КА ОЭН и пропускной способностью радиолиний передачи данных на НППИ является актуальной задачей определяющей дальнейшие темпы развития технологий ДЗЗ из космоса. Особенно остро эта проблема стоит при создании перспективных космических комплексов ДЗЗ реализованных на малых платформах способных передавать данные наблюдения в реальном масштабе времени на малые и мобильные приёмные комплексы НППИ.

В общем виде пропускную способность канала передачи данных можно согласовать с информационной производительностью съёмочной аппаратуры либо за счет увеличения скорости передачи информации в канале, либо сокращения объема передаваемых за заданное время данных наблюдения. ЭИИМ бортовой передающей аппаратуры КА ДЗЗ определяется соотношением

$$E = P_S \eta_{\text{прд}} G_{\text{прд}}, \quad (1)$$

где P_S – эффективная мощность на выходе передатчика, $\eta_{\text{прд}}$ – коэффициент передачи по мощности волноводного тракта, $G_{\text{прд}}$ – излучателя. Соответственно коэффициент усиления передающей антенны относительно изотропного чем больше ЭИИМ бортовой аппаратуры КА ДЗЗ, тем большую скорость передачи информации в радиоканале возможно обеспечить.

По отношению к приёмной аппаратуре НППИ энергетика радиолинии определяется мощностью сигнала на входе приёмника. В точке приема устанавливается антенна с коэффициентом усиления $G_{\text{прм}}$, связанная с приёмником волноводным трактом с коэффициентом передачи $\eta_{\text{прм}}$. При согласовании волновых сопротивлений антенны, элементов тракта и приёмника и с учетом ослабления сигнала при распространении в пространстве мощность сигнала на входе приёмника определяется как [1]

$$P_{\text{прм}} = ES_{\text{прм}} \eta_{\text{прм}} / (4\pi d^2 L_{\text{доп}}), \quad (2)$$

где $S_{\text{прм}}$ – эффективная площадь апертуры антенны, определяемая коэффициентом усиления антенны $G_{\text{прм}} = 4\pi S_{\text{прм}} / \lambda^2$, $L_{\text{доп}}$ – дополнительные потери,

полное значение потерь по трассе $L_{\Sigma} = L_0 L_{\text{доп}}$, d – максимальная дальность до КА ДЗЗ, на которой должен обеспечиваться требуемый энергетический потенциал радиолинии. Как правило, при расчёте приёмника, заданной оказывается не мощность сигнала на входе приёмника, а отношение сигнал-шум на входе приёмника $q = (P_S/P_N)_{\text{вх}}$, тогда для расчета чувствительности приёмника воспользуемся соотношением: $P_{\text{прм}} = qP_N$, где P_N – полная мощность шума на входе.

Для обеспечения вхождения в связь мощность сигнала, определяемая выражением (2), должна удовлетворять условию $P_{\text{прм}} \geq P_{\text{прм.треб}}$, где $P_{\text{прм.треб}}$ – требуемая мощность принимаемого сигнала, определяемая выражением [2]

$$P_{\text{прм.треб}} = q_{\text{треб}} k T_{\Sigma} W_N, \quad (3)$$

где $q_{\text{треб}}$ – требуемое отношение сигнал/шум на входе приемного устройства; k – постоянная Больцмана; T_{Σ} – суммарная шумовая температура приёмного устройства, учитывающая все внутренние и внешние шумы; W_N – эквивалентная (энергетическая) шумовая полоса приёмника. Произведение $P_N = k T_{\Sigma} W_N$ есть мощность шума, действующего при выделении символов передаваемой информации, при этом эквивалентная шумовая полоса приемника W_N для случая использования бинарных кодов связана с скоростью передачи информации в радиоканале R и относительной скоростью кода r соотношением: $W_N = 2R/r$.

С учётом вышеизложенного требуемая для обеспечения вхождения в связь ЭИИМ бортовой передающей аппаратуры КА ДЗЗ составит [2]

$$E_{\text{треб}} = 32\pi^2 q_{\text{треб}} k T_{\Sigma} d^2 R L_{\text{доп}} / (\lambda^2 r \eta_{\text{прм}} G_{\text{прм}}). \quad (4)$$

Достижение высоких значений ЭИИМ бортовой передающей аппаратуры КА ДЗЗ позволяющих обеспечивать большие скорости передачи информации в радиоканале является одной из самых сложных задач, связанной с ограниченными энергетическими возможностями КА ДЗЗ, особенно малых КА и сложностями в создании и эксплуатации бортовых передающих антенн КА ДЗЗ с высоким коэффициентом усиления $G_{\text{прд}}$. Мощность передатчика большинства современных КА ДЗЗ, как правило, не превышает 10 Вт, а коэффициенты усиления бортовых антенн не превышают 6 дБ и величина ЭИИМ ограничивается величиной порядка 16 дБВт. Например, бортовая аппаратура с ЭИИМ порядка 16 дБВт размещена на КА «Метеор-М», «Канопус-В» и др. Увеличение ЭИИМ бортовой аппаратуры КА ДЗЗ может быть обеспечено за счёт использования на борту КА направленных антенн оборудованных опорно-поворотным устройством с управлением по азимуту и углу места. Коэффициенты усиления таких бортовых антенн могут достигать 20–40 дБ. Бортовая аппаратура с такими

антеннами, размещается например, на КА «Ресурс-П» и позволяет обеспечить ЭИИМ до 35 дБВт. Недостатком таких антенн является их дороговизна и сложность в эксплуатации, что позволяет размещать их в основном на больших КА ДЗЗ.

Требуемое отношение сигнал/шум на входе приёмника $q_{\text{треб}}$ является показателем качества приема сигнала и определяется вероятностью ошибки передачи бита информации P_B [1]. К современным КА ДЗЗ предъявляются высокие требования по обеспечению достоверности передачи информации $P_B = 10^{-6} - 10^{-8}$. Поэтому для достижения высоких значений скоростей передачи в радиоканале необходимо обеспечивать максимально возможное пороговое отношение сигнал/шум, при котором возможна синхронизация между передающей и приемной аппаратурой.

Современные радиотехнические комплексы КА ДЗЗ работающие в X -диапазоне радиоволн функционируют в условиях ограниченной полосы частот $W = 375 - 400$ МГц, поэтому использование в радиоканале для передачи данных двоичных фазово-манипулированных сигналов $BPSK$, $DPSK$ при коэффициенте прямоугольности спектра сигнала равном 0.2 не позволит обеспечить скорость в радиоканале не более $R = 0.8W/2 = 150 - 160$ Мбит/с. В условиях ограниченной полосы частот W классическим способом решения задачи по повышению скорости передачи информации в радиоканале является использование M -арной передачи сигналов. С учетом выбранного вида модуляции в канале полоса пропускания приемника до детектора определяется как $W = 1,1R/(r \log_2 M)$, M – количество символов в алфавите. Однако при этом за увеличение скорости приходится расплачиваться повышением требовательности к помехоустойчивости радиоканала передачи информации. Повышение запаса энергетического бюджета радиолинии, а соответственно и возможностей по обеспечению более высоких значений скоростей передачи информации в радиоканале возможно за счет применения различных методов помехоустойчивого кодирования. Применение помехоустойчивого кодирования, дает возможность получать энергетический выигрыш до 6 дБ (что эквивалентно уменьшению диаметра рефлектора наземной зеркальной приемной антенны в 2 раза).

К эффективным методам обеспечения высокого уровня достоверности передачи информации в радиоканале можно отнести алгоритмы сверхточного кодирования, коды Рида-Соломона, каскадные схемы кодирования, алгоритмы турбо-кодов. Эффективность помехоустойчивого кодирования принято оценивать величиной энергетического выигрыша от кодирования (ЭВК) определяемого уровнем снижения отношения сигнал/шум в случае использования помехоустойчивого кодирования по сравнению со случаем, когда передача осуществляется без кодирования. Наличие ЭВК соответствует эффекту увеличения мощности передатчика, пересчитанной на одинаковые скорости передачи информации в радиоканале. Для современных

высокоэффективных кодеков при условии обеспечения в канале $P_B = 10^{-6}$ величина ЭВК составляет порядка 6–11 дБ. Например известный алгоритм сверточного кодирования для стандартного кода с кодовой скоростью $r = 1/2$ и длиной стандартного кодирующего регистра $K = 7$ позволяют достичь ЭВК в 5 дБ. Граница Шеннона для пропускной способности канала показывает, что для кодовой скорости $r = 1/2$ и $P_B = 10^{-6}$ ЭВК может быть более 9 дБ.

Расчеты показывают, что при условии обеспечения достоверности передачи информации не хуже $P_B = 10^{-6}$ и ЭИИМ бортовой аппаратуры КА порядка $E_{\text{треб}} = 35$ дБ использовании наземных зеркальных приемных антенн диаметром зеркала порядка 12 м возможно добиться скорости передачи информации в радиоканале порядка $R = 800$ Мбит/с. Реализованные в настоящее время радиолинии не позволяют обеспечить скорость передачи информации в радиоканале более 300 Мбит/с на одной несущей, однако в ближайшей перспективе планируется создание серии унифицированных радиолиний со скоростями 300, 450 и 600 Мбит/с.

Дальнейшее совершенствование радиолиний передачи данных ДЗЗ связано с разработкой и внедрением новых более совершенных сигнально-кодовых конструкций передаваемых по радиоканалу сообщений с использованием различных видов многопозиционной модуляции высокого порядка, позволяющих повысить скорость в радиоканале на одной несущей частоте до 600–800 Мбит/с, и в применении помехоустойчивого кодирования с высокими показателями ЭВК. В качестве перспективного задела к настоящему времени созданы опытные образцы сверхскоростных передающих устройств X -диапазона со скоростями до 800 Мбит/с достигаемой с использованием метода трехкратной фазовой модуляции 8PSK и 16-позиционной амплитудно-фазовой модуляции 16APSK, обеспечивающим повышение пропускной способности в 3 раза и увеличение энергетического выигрыша на 5–6 дБ.

В то же время, даже в случае ожидаемого увеличения скорости передачи до 600–800 Мбит/с, только прямая передача данных не позволит обеспечить приём всего потенциального объема информации с оптико-электронных КА ДЗЗ нового поколения, производительность которых может в 3–5 раз превысить потенциальную пропускную способность радиоканалов передачи данных на НППИ. Поэтому необходимо проведение работ по поиску новых подходов к согласованию пропускной способности радиоканалов с производительностью бортовой аппаратуры КА ДЗЗ связанных, например, с разработкой новых методов компрессии данных наблюдения на борту, методов сокращения информационной избыточности данных наблюдения и разработкой новых более совершенных сигнально-кодовых конструкций работающих в более высокочастотных диапазонах длин волн позволяющих приблизиться к потенциальной пропускной способности радиоканала.

Список используемых источников

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2016. 1104 с.
2. Спутниковая связь и вещание. Справочник / под ред. Л. Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1997. 344 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом ВКА им. А. Ф. Можайского Козиновым И. А.

УДК 534.842

Д. М. Остромухов (студент, СПбГУТ)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЗВУЧЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ СПбГУТ

Рассмотрены проблемы озвучения помещения студенческой столовой СПбГУТ на втором этаже. Проведен анализ акустических особенностей помещения, осуществлен выбор и последующий расчет частотной зависимости оптимального времени реверберации для рассматриваемого помещения. Выявлена и обоснована необходимость разработки рекомендаций по акустической обработке ограждающих поверхностей помещения, с целью обеспечения оптимального времени реверберации при различной заполняемости пространства людьми. Предлагается внесение изменений в основной фонд помещения, а также сформулированы вышеуказанные рекомендации по обработке ограждающих поверхностей. Разработана система озвучения и звукоусиления для помещения столовой второго этажа СПбГУТ, с целью позволяющая донести до студентов и преподавателей информацию с отличной, либо хорошей разборчивостью.

акустика помещения, звуковая система, акустический расчет.

В настоящее время качество системы озвучения столовой оставляет желать лучшего, посетители жалуются на низкое качество нынешней системы озвучения.

Целью является разработка системы озвучения ближней части помещения столовой второго этажа СПбГУТ, обеспечивающей акустические параметры помещения, при которых будут получены требуемые характеристики звукового поля, необходимые для высококачественного воспроизведения музыкальных и речевых программ. Также посредством внедрения системы звукового оповещения может быть решена проблема массового донесения информации до обучающихся и преподавателей (пожарная тревога, срочные объявления, информация об учебном процессе).

Система озвучения была разработана для ближней части столовой, которая имеет $S = 752,575 \text{ м}^2$ и $V = 782,221 \text{ м}^3$, в основной фонд звукопоглощения входит: потолок – панели гипсовые площадью $S = 245,21 \text{ м}^2$,

пол – глазурованная плитка площадью $S = 245,21 \text{ м}^2$, стены – панели гипсовые площадью $S = 186,704 \text{ м}^2$, окна – две штуки $S = 72,45 \text{ м}^2$, инвентарь – 38 штук, посетители – 152 человек. С учётом коэффициентов звукопоглощения основного фонда, был выполнен расчет стандартного времени реверберации по формуле Эйринга [1].

$$T = \frac{0,07 \cdot V}{0,04 \cdot \delta \cdot V - S \cdot \lg\left(1 - \frac{A}{S}\right)}, \quad (1)$$

где T – время стандартной реверберации помещения, V – объём помещения, S – площадь помещения, A – общее число единиц звукопоглощения.

Результат расчетов приведен на графике (рис. 1) и в таблице 1.

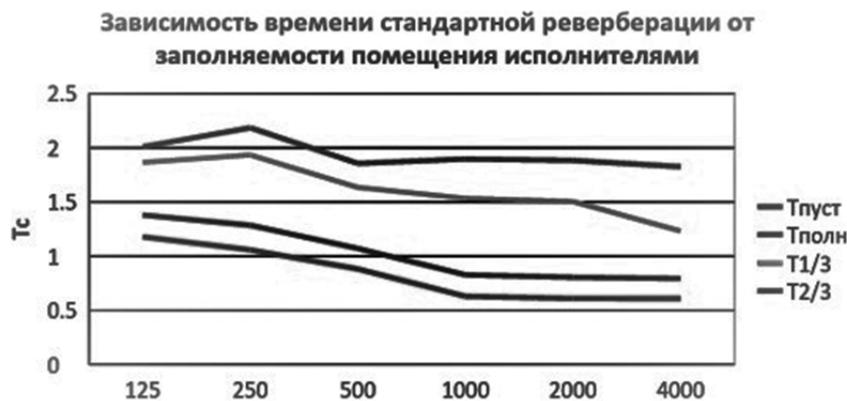


Рис. 1. Частотная зависимость времени стандартной реверберации от заполненности помещения до акустической обработки

ТАБЛИЦА 1. Результат расчета времени стандартной реверберации

Время	Заполненность помещения	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{пуст}, c$	Полностью пустое	2,00	2,18	1,85	1,89	1,88	1,82
$T_{полн}, c$	Полностью заполненное	1,17	1,05	0,88	0,62	0,60	0,60
$T_{1/3}, c$	Заполненное на 2/3	1,37	1,28	1,07	0,82	0,80	0,79
$T_{2/3}, c$	Заполненное на 1/3	1,86	1,93	1,63	1,53	1,50	1,23

Для достижения разборчивости речевых сигналов следует начать с выбора оптимального времени реверберации для исследуемого помещения. Оно рассчитывается по формуле Сэбина для речи [2].

$$T_{\text{ропт}} = 0,3 \cdot \lg V - 0,05. \quad (2)$$

В результате было получено оптимальное время реверберации ($\sim 0,8$ с) для разборчивости речевых сигналов с уменьшением времени реверберации на 20 % на низких частотах [3].

Достигнуть оптимального времени реверберации можно лишь путем полного изменения основного фонда на следующий: потолок – бетон гладкий, неокрашенный $S = 245,21 \text{ м}^2$, пол – бетон гладкий, неокрашенный $S = 245,21 \text{ м}^2$, стены – бетон гладкий, неокрашенный $S = 186,704 \text{ м}^2$, окна – две штуки $S = 72,45 \text{ м}^2$, инвентарь – 38 штук, посетители – 152 человек, и разместить специальный фонд звукопоглощения: неперфорированный пластик с поглотителем из минеральной ваты. $S = 70 \text{ м}^2$, драпировка, велюр на окнах, добавочный велюр на стены $S = 30 \text{ м}^2$. В результате размещения специального и изменения основного фонда звукопоглощения, время стандартной реверберации при разной заполненности помещения будет входить в допустимые пределы отклонения (от 1,068 до 0,568 с) и тем самым будет удовлетворять ранее рассчитанному значению времени оптимальной реверберации ($\sim 0,8$ с), (рис. 2).

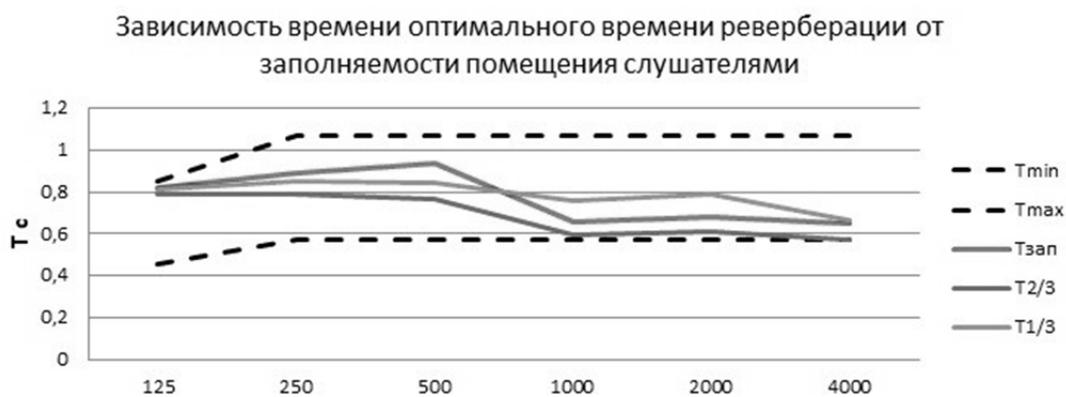


Рис. 2. Частотная зависимость времени стандартной реверберации от заполненности помещения после акустической обработки

Для озвучения исследуемого помещения была выбрана система типа «потолочная решетка», состоящая из 28 громкоговорителей (рис. 3). Данная потолочная система озвучения удобна тем, что в ней громкоговорители равномерно распределены по площади потолка, обеспечивая акустическое отношение и неравномерность звукового поля, создающая приемлемую разборчивость речи. Громкоговорители были выбраны фирмы ТОО артикул Н2, данные громкоговорители являются двухполосными. Громкоговорители выбирались по следующим характеристикам: частотный диапазон (от 100 до 20 кГц), стандартное звуковое давление 88 дБ, возможность изменения оси направленности громкоговорителя (в пределах 360 градусов). Разработка системы озвучения и звукоусиления помещения после достижения необходимого времени стандартной реверберации сводится к расчету создаваемого потолочной системой звукового поля в пределах зоны

прослушивания и достижения результата разборчивости «хорошо»/«отлично» (т. к. посетители столовой в основном размещены на стульях, зона прослушивания бралась 1,2 м от уровня пола) [4].

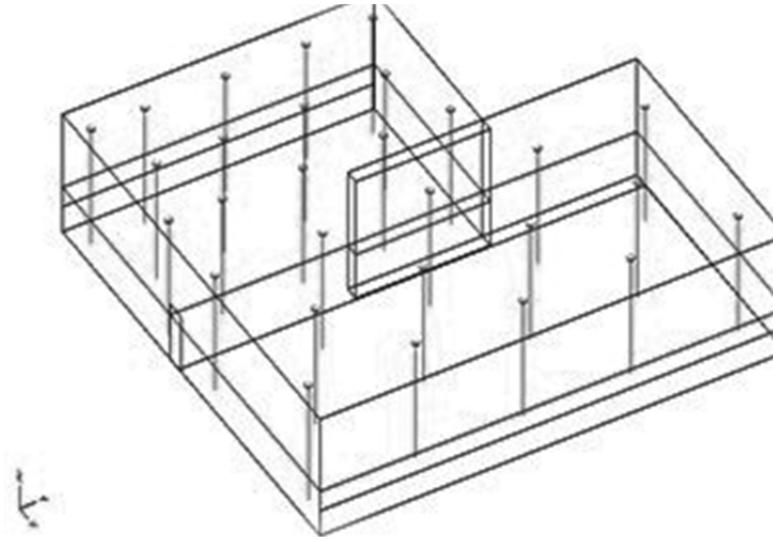


Рис. 3. Система озвучения типа «потолочная решетка», состоящая из 28 громкоговорителей

Расчёт разборчивости речевых и музыкальных сигналов, а также создаваемого звукового поля производился в программной среде Ulysses (которая позволяет создавать конкретные модели исследуемого помещения), а так же в программно-математической среде Matlab (рис. 4).

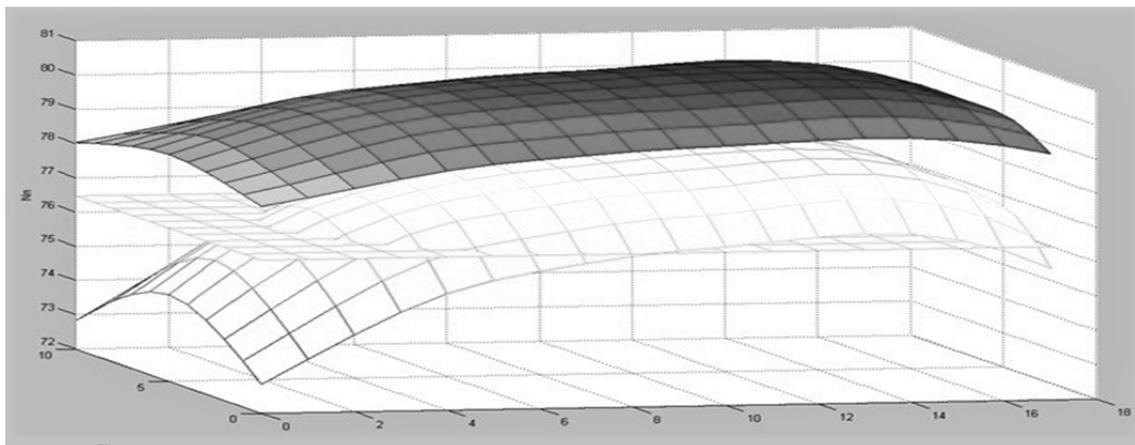


Рис. 4. Уровни прямого, диффузного и полного звукового давления, создаваемого всеми громкоговорителями

Для наглядности и сравнения результаты теоретического расчёта и расчёты компьютерного моделирования сведены в одной таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты сравнения теоретического и компьютерного расчетов параметров звукового поля в зоне прослушивания

Параметр	Результат теоретического расчёта	Результат компьютерного расчёта	Абсолютная величина отклонения
$N_{\text{пр мин}}$, дБ	93,52	97,19	6,842
$N_{\text{пр ср}}$, дБ	89,06	100,362	8,13
$N_{\text{пр макс}}$, дБ	94,01	102,83	8,82
$\Delta N_{\text{пр}}$, дБ	0,49	5,64	5,15
$N_{\text{д ср}}$, дБ	92,5	104,405	11,88
$N_{\text{п ср}}$, дБ	95,56	105,818	10,25
$\Delta N_{R \text{ ср}}$, дБ	0,48	4,028	3,54
R_{ch}	1,11	2,925	1,81
$\%AL_{\text{conscp}}$, %	2,51	5,322	2,81
$STI_{\text{ср}}$	0,78	0,641	0,13

Из-за расхождения в теоретическом и компьютерном расчетах оценка разборчивости по методу $STI_{\text{ср}}$ получила оценку «хорошо» вместо «отлично», а по методу $\%AL_{\text{conscp}}$ получила оценку «хорошо». Т. е. поставленная задача при разработке системы озвучения помещения общественного питания СПбГУТ была решена.

Список используемых источников

1. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов / И. А. Алдошина, Э. И. Вологдин, А. П. Ефимов, Г. П. Катунин, Л. Н. Кацнельсон, Ю. А. Ковалгин, А. А. Фадеев; под ред. Ю. А. Ковалгина. М.: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007. 872 с.
2. Папернов Л. З., Молодая Н. Т., Метер Ч. М. Расчет и проектирование систем озвучения и звукоусиления. М.: Связь, 1970. 114 с.
3. Сапожков М. А. Звукофикация помещений. Проектирование и расчет. М.: Связь, 1979. 143 с.
4. ГОСТ 25902-83. Зрительные залы. Метод определения разборчивости речи. М.: Изд-во стандартов, 1983. 7 с.

Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Фадеевым А. А.

УДК 004.9:621

Ю. В. Пирогов (студент, СПбГУТ)

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЭС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ОСНОВАМ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА

В данной статье проводится анализ программных продуктов, предназначенных для визуализации электронных средств. Проводится сравнение трёх программных пакетов, совместимых с САПР SOLIDWORKS: PhotoView 2016, Keyshot и Maxwell Render. Сравнение проводится с целью выбора наиболее подходящего программного обеспечения для обучения студентов технических специальностей основам промышленного дизайна. В рамках исследования проводился рендеринг одной и той же модели в трёх исследуемых программных пакетах. Обработка проводилась с одинаковыми настройками качества и на одном оборудовании, при этом оценивались затраты времени на рендеринг, его качество и сложность установки и настройки сцены.

САПР, визуализация, анализ, сравнение.

В настоящее время в России наблюдается отставание в области маркетинга и промышленного дизайна. Это обусловлено, в том числе, отсутствием у выпускающихся студентов технических специальностей каких-либо знаний о промышленном дизайне. В качестве одной из мер по улучшению данной ситуации может являться введение курса для изучения промышленного дизайна среди студентов технических специальностей на основе проведения лабораторных работ [1].

Для сравнения были выбраны следующие программные продукты: PhotoView 360, Keyshot и Maxwell Render.

При анализе учитывались следующие критерии:

- 1) Времени создания отображаемой сцены;
- 2) Время рендеринга;
- 3) Реалистичность результатов рендеринга;
- 4) Наличие и качество предварительного просмотра;
- 5) Количество встроенных материалов;
- 6) Простота и понятность интерфейса.

PhotoView 360

Время рендеринга в PhotoView 360 составило 4 минуты 30 секунд. Результат выглядел чистым и похожим на картинку, отображаемую при предварительном просмотре. Некоторые металлические материалы выглядели несколько похожими на пластик, другие металлические материалы – на резину, но в целом качество рендеринга было отличным. Время уста-

новки и настройки сцены заняло примерно 3 минуты. PhotoView является встроенным расширением для SolidWorks.

Положительные стороны

PhotoView 360 обладает наибольшей встроенной библиотекой материалов и сцен окружения.

PhotoView 360 имеет простой и понятный для понимания интерфейс, позволяющий, тем не менее, получать отличные результаты.

Отрицательные стороны

В PhotoView 360 отсутствует менеджер деколей, и в некоторых случаях, при импортировании деколей из Solidworks, результаты могут отличаться. Некоторые могут быть слишком светлыми или слишком темными.

Keyshot

Время рендеринга в Keyshot составило 6 минут и 21 секунду. Результат получился чистым и очень близким к результату, показываемому системой предварительного просмотра. Качество рендера оказалось самым лучшим среди всех рассматриваемых программ. Настройка и установка сцены заняла примерно 5 минут. Keyshot является отдельным программным обеспечением с возможностью импорта моделей из Solidworks.

Положительные стороны

Программа очень универсальна тем, что может импортировать целый ряд различных САД файлов (в отличие от PhotoView, который ограничен типами файлов Solidworks).

Время рендера в Keyshot варьируется в зависимости от того, какую часть сцены занимает отрисовываемая модель. Если модель занимает небольшую часть сцены, для завершения рендеринга потребуется значительно меньшее количество времени. Рендеринг фона происходит практически мгновенно.

Качество предварительного просмотра исключительно, оно намного превосходит все остальные программные пакеты не только по качеству, но и по тому, насколько близко оно соответствует финальному рендерингу.

Keyshot не может импортировать деколи из Solidworks, однако встроенный редактор материалов позволяет быстро и легко накладывать их на модель.

Отрицательные стороны

Перед экспортом модели из Solidworks необходимо установить параметры качества кривизны и сглаживания, так как соответствующие настройки в Keyshot отсутствуют.

В Keyshot отсутствует возможность регулировки перспективы модели.

Maxwell Render

Время рендеринга в Maxwell Render составило 31 минуту и 58 секунд. Соответствие освещения, теней и материалов реальности самое лучшее среди всех программ. Металлические поверхности обладают теми же отражательными свойствами и блеском, как и настоящие металлические поверхности и не выглядят такими пластиковыми, как в PhotoView. Тем не менее, процесс рендеринга занял наибольшее количество времени среди всех рассматриваемых программ. Maxwell Render – отдельный программный пакет с плагином для Solidworks.

Положительные стороны

Maxwell Render обладает некоторыми продвинутыми возможностями настройки сцены, такими как симуляция атмосферного озона, температуры солнца и другими. Процесс настройки рендеринга безупречен; не важно, какие настройки будут применены, конечный результат все равно будет выглядеть хорошо. Кроме того, Maxwell Render позволяет вносить изменения в настройки освещения прямо в процессе финального рендеринга изображения.

Maxwell Render обладает наиболее большой и разнообразной библиотекой материалов, доступных для бесплатного скачивания с официального сайта. В том числе такие материалы, как мех и травяное покрытие.

Отрицательные стороны

Программа не имеет в наличии большого количества встроенных материалов. Поиск и скачивание материалов с официального сайта может занять много времени.

Рендеринг занимает большое количество времени.

Отсутствует возможность добавления деколей.

Визуальное сравнение результатов рендеринга представлено на рисунке.

Сравнение результатов анализа по заданным критериям представлено в таблице.



Рисунок. Сравнение графики модели после рендеринга в каждом приложении:
а – PhotoView 360; б – KeyShot; в – Maxwell Render

ТАБЛИЦА. Сравнение программных пакетов по заданным критериям

Критерий	Программный пакет		
	PhotoView 360	Keyshot	Maxwell Render
Время создания сцены	3 минуты	5 минут	10 минут
Время рендеринга	4 минуты 30 секунд	6 минут 21 секунда	31 минута 58 секунд
Реалистичность рендеринга	Средняя	Средняя	Высокая
Качество предварительного просмотра	Высокое	Среднее	Среднее
Количество встроенных материалов	Много	Мало	Мало
Простота интерфейса	Высокая	Средняя	Средняя

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее подходящим программным пакетом для обучения студентов основам промышленного дизайна является PhotoView 360. Keyshot является отдельным от Solidworks программным пакетом, требующим самостоятельной покупки и установки. При этом качество и время рендеринга Keyshot незначительно отличается от таковых в PhotoView. Maxwell Render обладает большими возможностями в области настройки сцены, рендеринга и выбора материалов,

по время настройки сцены и процесс рендеринга слишком большое по сравнению с PhotoView.

Список используемых источников

1. Молокова О. А., Сивакова К. В. Текущая проблема отечественного производства – промышленный дизайн в России // Gaudeamus Igitur. 2015. № 1. С. 111–113.

Статья представлена научным руководителем, ассистентом СПбГУТ Капраловым Д. Д.

УДК 004.032.26

А. В. Помогалова, Б. К. Резников (студенты, СПбГУТ)

ГЕНЕРАЦИЯ С-КОДА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЕ TMDSEVM6678L С ПРИМЕНЕНИЕМ MATLAB

В статье рассматриваются примеры нейронных сетей, созданных с помощью пакета инструментов Neural Network Toolbox MATLAB. Рассмотрен процесс генерации С-кода для отладочной платы TMDSEVM6678L для разных типов искусственных нейронных сетей с использованием прикладного пакета моделирования MATLAB.

нейронные сети, NNTool, MATLAB, генерация С-кода.

В настоящее время искусственные нейронные сети активно используются в самых разных областях, в том числе при обработке сигналов. Но на этапе написания программного кода для отладочных плат очень часто возникают трудности в связи с недостаточными навыками в области программирования, сложностью решаемой задачи и многими другими параметрами.

Именно поэтому в прикладном пакете моделирования MATLAB предусмотрены определенные функции, способствующие упрощению процесса написания программного кода, сводящие весь процесс к автоматической генерации кода.

Данная работа посвящена рассмотрению процесса генерации кода с момента создания нейронной сети и до момента его успешной загрузки на отладочную плату.

Отладочная плата TMDSEVM6678L (рис. 1) – это простой в использовании и экономичный инструмент для разработки, который помогает разработчикам быстро начать работу с проектами с использованием многоядерных цифровых сигнальных процессоров С6678.



Рис. 1. Отладочная плата TMDSEVM6678L

Создание массивов входных и выходных данных

Перед тем как приступить к настройке и генерации С-кода, необходимо задать входные и выходные данные, которые будут использованы при создании нейронной сети [1]. В работе созданы простейшие массивы в диапазоне от -1 до 1 с шагом $0,2$ для входного значения « x », выходному значению « y » присвоено отношение экспоненциальной функции от входного значения, деленные на экспоненту от единицы. Задав необходимые входные и выходные значения, вызывается пакет, предназначенный для создания нейронных сетей – Neural Network Toolbox (рис. 2).

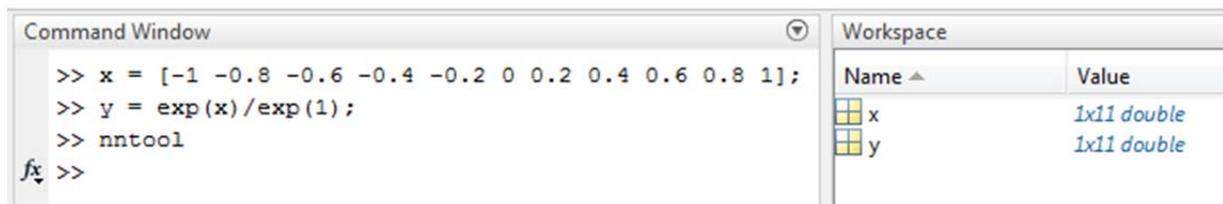


Рис. 2. Входные и выходные значения

Создание и настройка нейронной сети

После анализа всех представленных в пакете нейронных сетей, была выбрана сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (feed-forward backprop) [2]. Оптимальное количество слоев для поставленной задачи принято равным 5. В каждом слое по 5 нейронов, за исключением 5-го слоя, он содержит в себе один нейрон, что отражено на схеме сети (рис. 3). Функция активации линейная.

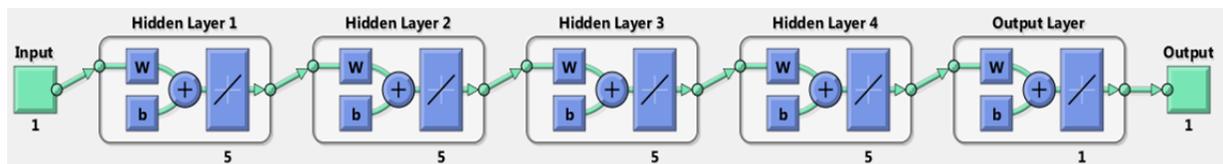


Рис. 3. Схема нейронной сети

В работе выполнены все необходимые настройки – заданы входные и выходные параметры, после которых сеть подверглась обучению и, после успешного завершения, выведены графики результата обучения регрессии, статуса, массивы выходных данных и ошибок. Затем выходные данные, данные о результатах и ошибках, экспортировались в MATLAB.

Генерирование С-кода

Экспортированные данные должны находиться в поле Workspace. Убедившись, что массивы полученных данных экспортированы корректно,

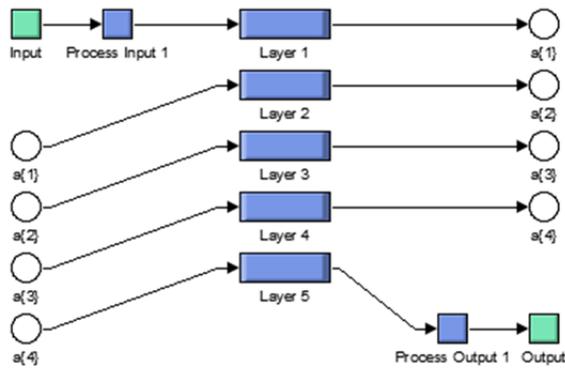


Рис. 4. Окно Custom Neural Network

можно приступить к процессу генерации кода. Для этого в командном окне необходимо использовать команду «gensim (NN_FfB)», где буквы в скобках – название созданной нейронной сети.

В результате симуляции получено окно Simulink, отражающее обобщенную схему сети, включающий блок «Custom Neural Network» (рис. 4).

Полученное окно позволяет подробнее ознакомиться с нейронной сетью по слоям, рассмотреть функции и коэффициенты, участвующие в ее работе.

Затем была произведена настройка разных параметров, таких как стартовое время генерации, тип данных по умолчанию, язык, на котором будет генерироваться выходной код. После успешной настройки запускается процесс генерирования кода. В результате было получено окно, включающее в себя файлы «main.c», «untitled.c», «untitled.h» (рис. 5), то есть главный файл, вспомогательный и заголовочный.

The screenshot shows the Simulink workspace with a 'Contents' pane on the left and a code editor on the right. The 'Contents' pane lists 'Generated Code' with subfolders for 'Main file' (ert_main.c), 'Model files' (untitled.c, untitled.h), 'Data files' (untitled_data.c), and 'Utility files' (rtwtypes.h). The code editor displays the content of 'ert_main.c'.

```

File: ert_main.c
1 /*
2  * File: ert_main.c
3  *
4  * Code generated for Simulink model 'untitled'.
5  *
6  * Model version          : 1.0
7  * Simulink Coder version : 8.10 (R2016a) 10-Feb-2016
8  * C/C++ source code generated on : Fri May 19 19:31:48 2017
9  *
10 * Target selection: ert.tlc
11 * Embedded hardware selection: Texas Instruments->C6000
12 * Code generation objectives:
13 *   1. Execution efficiency
14 *   2. RAM efficiency
15 * Validation result: Not run
16 */
17
18 #include <stddef.h>
19 #include <stdio.h>          /* This ert_main.c example uses printf/f
20 #include "untitled.h"      /* Model's header file */
21 #include "rtwtypes.h"
22
23 /*
24 * Associating rt_OneStep with a real-time clock or interrupt service routine

```

Рис. 5. Файл main.c

Загрузка сгенерированного кода в среду Code Composer Studio

После того, как код был сгенерирован, необходимо провести проверку, корректно ли он был сгенерирован и возможна ли его загрузка на плату. Для этого необходимо провести соответствующие настройки в среде Code Composer Studio, активировать одно из 8 ядер платы, записать в файлы сгенерированный код, а файлы загрузить на плату. После этого производится проверка на ошибки, то есть компиляция, а затем загрузка данных на плату с последующей успешной активацией.

Тестирование процесса генерирования C-кода на примере сети Perceptron

Для чистоты эксперимента и проверки работы метода генерирования C-кода, описанного в этой работе, было принято решение сгенерировать код для другой нейронной сети. Сеть была выбрана из соображений принципиального отличия от уже опробованной, то есть Perceptron с одним слоем.

В ходе работы проведены все вышеописанные пункты работы, в итоге которых был получен C-код, что подтвердило возможность использования данного метода автоматической генерации C-кода.

Хотелось бы отметить, что данный метод тестировался для простых, прикладных задач. Тестирование данного метода для работы с более сложными сетями является дальнейшей целью проводимых исследований.

Список используемых источников

1. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. Пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Степановым А. Б.*

УДК 004.032.26

А. В. Помогалова (студентка, СПбГУТ)

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА ИНСТРУМЕНТОВ NEURAL NETWORK TOOLBOX MATLAB ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассматривается актуальный список искусственных нейронных сетей, доступных для создания и обучения в прикладном пакете моделирования MATLAB. Рассмотрены функции активации данных сетей, задачи, решаемые искусственными нейронными сетями, и области их применения.

нейронные сети, NNTool, MATLAB, функции активации.

Искусственные нейронные сети находят широкое применение при обработке сигналов. К сожалению, в настоящее время испытывается серьезный дефицит в русскоязычной литературе по моделированию искусственных нейронных сетей в MATLAB. Можно выделить, пожалуй, лишь один источник, в котором наиболее полно изложена технология моделирования искусственных нейронных сетей в MATLAB [1]. К сожалению, упомянутая книга серьезно устарела для ее использования при работе с последними версиями этого пакета.

Данная работа посвящена обзору искусственных нейронных сетей, доступных в системе MATLAB и специализированном пакете инструментов Neural Network Toolbox. К таким сетям относятся: конкурирующая сеть (competitive), каскадная сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (cascade-forward backprop), сеть Элмана с обратным распространением ошибки (Elman backprop), сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (feed-forward backprop), сеть с запаздыванием и обратным распространением ошибки (time delay backprop), обобщенная регрессионная сеть (generalized regression), сеть Хопфилда (Hopfield), линейный слой (создание) (linear layer (design)), линейный слой (обучение) (linear layer (train)), сеть для классификации входных векторов (LVQ), персептрон (perceptron), вероятностная сеть (probabilistic), радиальная базисная сеть с нулевой ошибкой (radial basis (exact fit)), радиальная базисная сеть с минимальным числом нейронов (radial basis (fewer neurons)), самоорганизующаяся карта Кохонена (self-organizing map).

В качестве основных функций активации, которые могут быть использованы при построении искусственных нейронных сетей, можно выделить следующие: конкурирующая функция активации (compet), функция активации с жесткими ограничениями (hardlim), симметричная функция активации с жесткими ограничениями (hardlims), логистическая сигмоид-

дальная функция активации (logsig), положительная линейная функция (poslin), линейная функция активации (purelin), радиальная базисная функция (radbas), линейная функция активации с ограничениями (satlin), симметричная линейная функция активации с ограничениями (satlins), конкурирующая функция активации с мягким максимумом (softmax), функции гиперболического тангенса (tansig), треугольная функция активации (tribas).

В последнее время наблюдается сильный интерес к нейронным системам, которые сегодня уже нашли применение в разнообразных сферах человеческой деятельности – медицине, бизнесе, технике [2]. Нейронные сети используют для решения следующих задач:

- *Классификация образов.* Задача состоит в указании принадлежности входного образа (например, речевого сигнала или рукописного символа), представленного вектором признаков, одному или нескольким предварительно определенным классам. К известным приложениям относятся распознавание букв, распознавание речи, классификация сигнала электрокардиограммы, классификация клеток крови.

- *Кластеризация.* Алгоритм кластеризации основан на подобию образов и помещает близкие образы в один кластер. Известны случаи применения кластеризации для извлечения знаний, сжатия данных и исследования свойств данных.

- *Аппроксимация функций.* Задача аппроксимации состоит в нахождении оценки неизвестной функции. Аппроксимация функций необходима при решении многочисленных инженерных и научных задач моделирования.

- *Предсказание/прогноз.* Предсказание цен на фондовой бирже и прогноз погоды являются типичными приложениями техники предсказания/прогноза.

- *Оптимизация.* Задачей алгоритма оптимизации является нахождение такого решения, которое удовлетворяет системе ограничений и максимизирует или минимизирует целевую функцию.

- *Память, адресуемая по содержимому.* Ассоциативная память, или память, адресуемая по содержимому, доступна по указанию заданного содержимого. Содержимое памяти может быть вызвано даже по частичному входу или искаженному содержимому. Ассоциативная память чрезвычайно желательна при создании мультимедийных информационных баз данных.

- *Управление.* В системах управления с эталонной моделью целью управления является расчет такого входного воздействия, при котором система следует желаемой траектории, диктуемой эталонной моделью. Примером является оптимальное управление двигателем.

Как показал выполненный обзор в MATLAB, данные искусственные нейронные сети имеют следующие области применения: приближение, распознавание образов и классификация, кластеризация, динамическое моделирование и прогнозирование, моделирование в Simulink, самоорганизующиеся сети, адаптивные линейные фильтры, радиальные базисные сети, обучение квантованию векторов, простые приложения.

Яркими примерами являются встроенные демонстрационные функции, позволяющие ознакомиться с принципом решения тех или иных задач. Например, оценка стоимости дома (`fit_house_demo`) – эта функция анализирует демографические показатели района и оценивает средние цены на жилье. Такая функция, как классификация крабов по половой принадлежности (`classify_crab_demo`), позволяет оценить физические размеры краба, и, используя проанализированные данные, соотнести крабов по половому признаку, что бывает затруднительно. Эти функции не могут целиком реализовать все возможности нейронных сетей, но позволяют ознакомиться с основными алгоритмами работы, предоставляя всю необходимую информацию на интуитивно понятных примерах.

Список используемых источников

1. Медведев П. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6. М.: Диалог-МИФИ, 2002. 496 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. 2-е изд., испр. М.: Вильямс, 2006. 1102 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Степановым А. Б.*

УДК 681.3.06

А. Б. Степанов (канд. техн. наук, доцент, СПбГУТ)

А. К. Гринёва, И. И. Жуковский (студенты, СПбГУТ)

РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ ХОР С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА MSP430G2X

В данной статье раскрывается процесс реализации математической функции ХОР («Исключающее ИЛИ») с использованием искусственных нейронных сетей на микроконтроллере MSP430G2x фирмы Texas Instruments. Для моделирования искусственных нейронных сетей была использована система MATLAB. А для реализации смоделированной системы на элементной базе использовалась интегрированная среда разработки Code Composer Studio v. 6.2.

искусственная нейронная сеть, микроконтроллер, MSP430G2x, реализация, MATLAB.

В настоящее время наблюдается рост популярности технологий машинного обучения. Одним из столпов этого направления являются нейронные сети. Искусственная нейронная сеть (ИНС) представляет собой распределенный параллельный процессор, состоящий из элементарных единиц обработки информации, накапливающих элементарные знания и предоставляющих их для последующей обработки [1].

Графически нейронные сети представляются совокупностью нейронов, связи между которыми имеют определенные синаптические веса. При поступлении на вход нейронной сети определенного набора входных сигналов (X) на выходе ожидаются вполне конкретные результаты (Y).

Термины «адаптация» и «обобщение» определяют работу нейронной сети. Обучение системы происходит с помощью обучающего множества (X, Y), за счет которого сеть адаптируется путём подбора необходимых синаптических весов под поставленную задачу. Если сеть обучена достаточно, то она способна обобщать, то есть выходной сигнал близок к необходимому, даже в случае отсутствия некоторого множества в наборе обучающих [2].

Нейронные сети в современном мире решают ряд сложных задач. В цифровой обработке сигналов ИНС используют для аппроксимации функций, классификации множеств и пр. В данной статье рассмотрена реализация функции XOR («Исключающее ИЛИ») с помощью нейронной сети.

Рассматриваемая в работе нейронная сеть имеет два слоя нейронов:

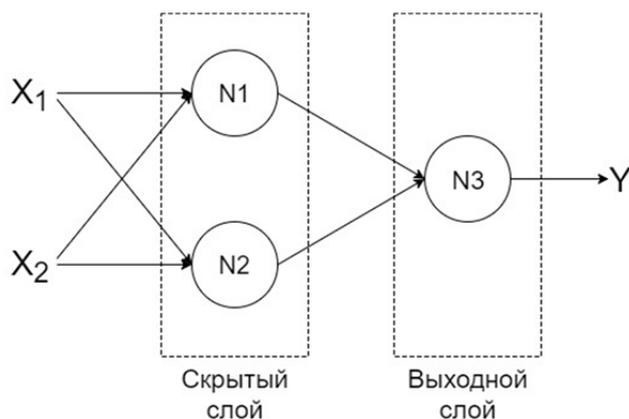


Рис. 1. Структура построенной ИНС

скрытый слой, состоящий из двух нейронов, и выходной слой, состоящий из одного нейрона. Все нейроны имеют линейную функцию активации. Архитектуру сети представлена на рис. 1.

После выбора архитектуры сети и функций активаций нейронов, необходимо приступить к этапу обучения ИНС. Для этого можно использовать систему MATLAB с его специализированным набором инструментов Neural Network Tool.

На рис. 2 представлена модель ИНС, построенной в MATLAB.

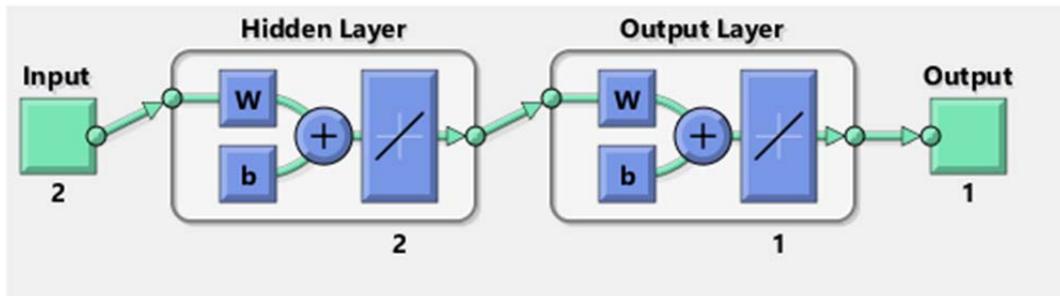


Рис. 2. Модель ИНС, построенной в MATLAB

Важным этапом является реализация ИНС. Нейронные сети являются сложной нелинейной системой, поэтому зачастую их реализуют на специализированных сигнальных процессорах. Выбранный для данной задачи микроконтроллер MSP430G2x обладает малым энергопотреблением, но сама задача реализации на нём нейронной сети является нетривиальной и требует соответствующего подхода.

Микроконтроллер выполнен в 20-пиновом DIP корпусе. Он обладает 16 kb flash-памяти и 512 byte ОЗУ. Он предустановлен на отладочной плате TI Launchpad.

Микроконтроллеры используют для решения задач управления, поэтому реализация на MSP430 ИНС может позволить по результатам обработки сигналов задействовать необходимую периферию.

Внутреннюю периферию микроконтроллера составляют: UART, 2 шестнадцатитбитных таймера, аппаратная поддержка I2C и SPI, десятибитный АЦП, компаратор, датчик температуры. Внешнюю периферию отладочной платы составляют: два светодиода, пользовательская кнопка, кнопка Reset, модули для распайки других устройств. Для отладки используется внутрисхемный эмулятор. Внешний вид платы представлен на рис. 3.

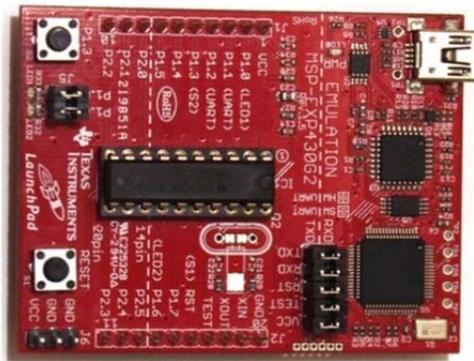


Рис. 3. Отладочная плата MSP430 LaunchPad Value Line Development kit

Код был написан традиционным способом, после чего была прошита плата с помощью предоставленной фирмой TI среды разработки Code Composer Studio v.6. Результатом работы является реализация нелинейной системы – искусственной нейронной сети на микроконтроллере со сверхнизким энергопотреблением MSP430G2x, решающей задачу XOR. В дальнейшем, усложняя архитектуру сети и изменяя используемые функции активации, возможно реализовывать сети для решения более сложных задач.

Данная работа является актуальной, так как используемый микроконтроллер широко применяется в носимой электронике. В частности,

с его помощью решается вопрос обработки сигналов медицинских датчиков на теле человека.

Нейронные сети, реализованные на данной элементной базе, могут представлять интерес, как новое направление к улучшению обработки подобных сигналов.

Список используемых источников

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ.. 2-е изд., испр. М.: Вильямс, 2006. 1102 с.
2. Медведев П. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6. М.: Диалог-МИФИ, 2002. 496 с.

УДК 534.842

А. И. Стеценко (студент, СПбГУТ)

МЕТОДЫ СЛЕПОЙ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ

Статья посвящена исследованию методов слепой оценки времени реверберации. Время реверберации (RT) является важной величиной для характеристики закрытых помещений. Эта мера обычно используется для оценки акустических свойств помещения. Время реверберации может быть измерено с помощью метода прерываемого шума, или получено непосредственно из измеренного импульсного отклика в помещении вместо вычисления его по ансамблевому усреднению различных звуковых распадов.

Однако, провести измерение времени реверберации в соответствии с этими методами не всегда представляется возможным. В некоторых случаях требуется выполнить слепую оценку времени реверберации, т. е. определить время реверберации из записанного в помещении звукового сигнала, не зная исходного сигнала возбуждения или геометрии помещения.

время реверберации, слепая оценка.

Метод 1. Spectral Decay Distributions (SDD).

Спектральное распределение затухания

Метод основан на распределениях спектрального распада наблюдаемой речи и принимает статистическую модель для акустической импульсной характеристики (AIR – Acoustic Impulse Response)

AIR (Acoustic Impulse Response) – характеристика, которая является функцией помещения, отражательной способности стен и других объектов, а также расстояния и положения источника-микрофона.

Частоты затухания, зависящие от частоты, оцениваются путем применения линейного приближения наименьших квадратов к огибающей энергии логарифма в каждой частотной полосе в домене дискретного преобра-

зования Фурье (ДПФ). Показано, что дисперсия отрицательной стороны распределения скоростей распада коррелирует со скоростью затухания в помещении и, таким образом, используется для прогнозирования времени реверберации. Этот подход требует подготовки, чтобы сопоставить значения от отрицательной стороны дисперсии с T_{60} . На этапе подготовки вычисляется полиномиальная функция отображения 2-го порядка с использованием реверберированной речи с известным T_{60} .

Метод 2. Modulation Energy Ratios (MER).

Отношение энергии модуляции

Метод рассматривает энергию в восьми частотных диапазонах модуляции, меняющихся логарифмически между 4 и 128 Гц, рассчитанных по 23 акустическим полосам частот, полученным из набора фильтров гамматона. Обнаружено, что низкая частота модуляции (4–18 Гц) относительно нечувствительна к реверберации, в то время как энергия на высоких частотах модуляции (29–128 Гц) почти линейно возрастает с T_{60} . Это приводит к измерению отношения энергии модуляции речи и реверберации, которое представляет собой отношение средней энергии на низких частотах модуляции к высоким частотам модуляции. Получение значений для T_{60} требует некоторой подготовки, и, подобно методу 1, функция полиномиального отображения 2-го порядка вычисляется из реверберационной речи с известным T_{60} .

Метод 3. Maximum Likelihood (ML).

Метод максимального правдоподобия

В методе используется статистическая модель звукового распада реверберационной речи, следуя модели реверберации, подобной модели метода 1. Затем это используется для разработки подхода максимального правдоподобия (*ML*) для оценки T_{60} . Для повышения эффективности вычислений перед оценкой речевые сигналы подвергаются пониженной дискретизации и существует подход предварительного выбора для обнаружения вероятных затуханий до того, как они используются в процедуре оценки *ML*. Кроме того, оцененное T_{60} для каждого кадра используется в гистограмме и в процедуре сглаживания, чтобы повысить надежность оценок. Этот алгоритм также имеет опцию для быстрого отслеживания T_{60} . Однако отслеживание в этой оценке не учитывается. В отличие от предыдущих двух методов, этот метод не требует подготовки.

Экспериментальная установка

Целью экспериментов было исследование точности оценки и вычислительной эффективности трех методов, описанных в разделе 2. Для оценки использовались следующие два показателя:

- Ошибка оценки, определяемая как разница между оцененным временем реверберации, $T_{60\text{оцен}}$ и истинным временем реверберации, $T_{60\text{истин}}$

$$E = T_{60\text{оцен}} - T_{60\text{истин}} \quad (1)$$

и, в частности, распределение этих ошибок у разных говорящих и разных уровней шума и реверберации. Положительные и отрицательные ошибки оценки указывают на переоценку и недооценку соответственно.

- Фактор реального времени, определяемый как отношение времени, затраченного на обработку предложения, T_p , и длины предложения, L_s

$$R = \frac{T_p}{L_s}. \quad (2)$$

Для всех экспериментов использовалась безэховая речь из корпуса ТИМІТ (ТИМІТ – аппарат чтения речи для речевых данных акустически-фонетических исследований и разработки оценок систем автоматического распознавания речи). ТИМІТ содержит десять предложений, которые проговаривают каждый из 438 мужчин и 192 женщин, которые в общей сложности говорят 6 300 предложений. Данные делятся на два взаимоисключающих набора: подготавливающий набор и тестовый набор [1]. Речь из подготавливающего набора была использована для вычисления функций отображения для метода 1 и метода 2, в то время как тестовый набор использовался для оценки. Предложения для каждого собеседника объединялись для формирования высказываний приблизительно 30 секунд. В тестовом наборе это привело к 168 высказываниям. Частота дискретизации была установлена на $f_s = 8$ кГц.

Рассматривались три набора акустической импульсной характеристики (AIR). Первый набор состоит из имитационных импульсных откликов, используя метод исходного изображения для комнаты с размерами $(6 \times 5 \times 4)$ м и расстоянием от источника до микрофона 1,5 м. Время реверберации варьируется от 0,2 до 1 с с шагом 0,1 с. Во втором наборе используются три AIR из базы данных бинаруальных импульсных откликов в помещении (*Aachen Impulse Response*), измеренные в офисе, зале заседаний и аудитории с расстоянием от источника до микрофона 2 м. Время реверберации для офиса, конференц-зала и аудитории было соответственно 0,349, 0,539 и 0,855 с; Они использовались в качестве исходных истин T_{60} в оценке. Наконец, третий набор содержит моделируемые воздушные потоки для T_{60} от 0,1 до 1,1 с с шагом 0,05 с с использованием статистической модели *Polack* [2, 3].

Результаты и выводы

Приведем результаты для трех методов, оцененных в соответствии с экспериментальной установкой в разделе 3. На рис. 1 показаны результаты для случая без шума, $SNR = \infty$ дБ.

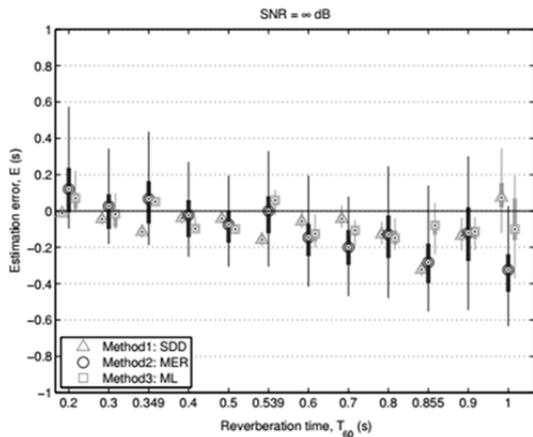


Рис. 1. Оценка времени реверберации в бесшумной реверберационной речи

Группы полевых графиков выше каждого T_{60} показывают распределение ошибок для трех методов. Маркеры указывают способ, а точки внутри маркеров обозначают медиану ошибок оценки; Толстые вертикальные линии показывают верхний и нижний квартили, а тонкие вертикальные линии указывают ошибки оценки в 1,5 раза больше межквартильного диапазона, охватывая приблизительно 99,3 % данных. $T_{60} = \{0,349, 0,539, 0,855\}$ представляют собой измеренные значения AIR.

$0,539, 0,855\}$ представляют собой измеренные значения AIR.

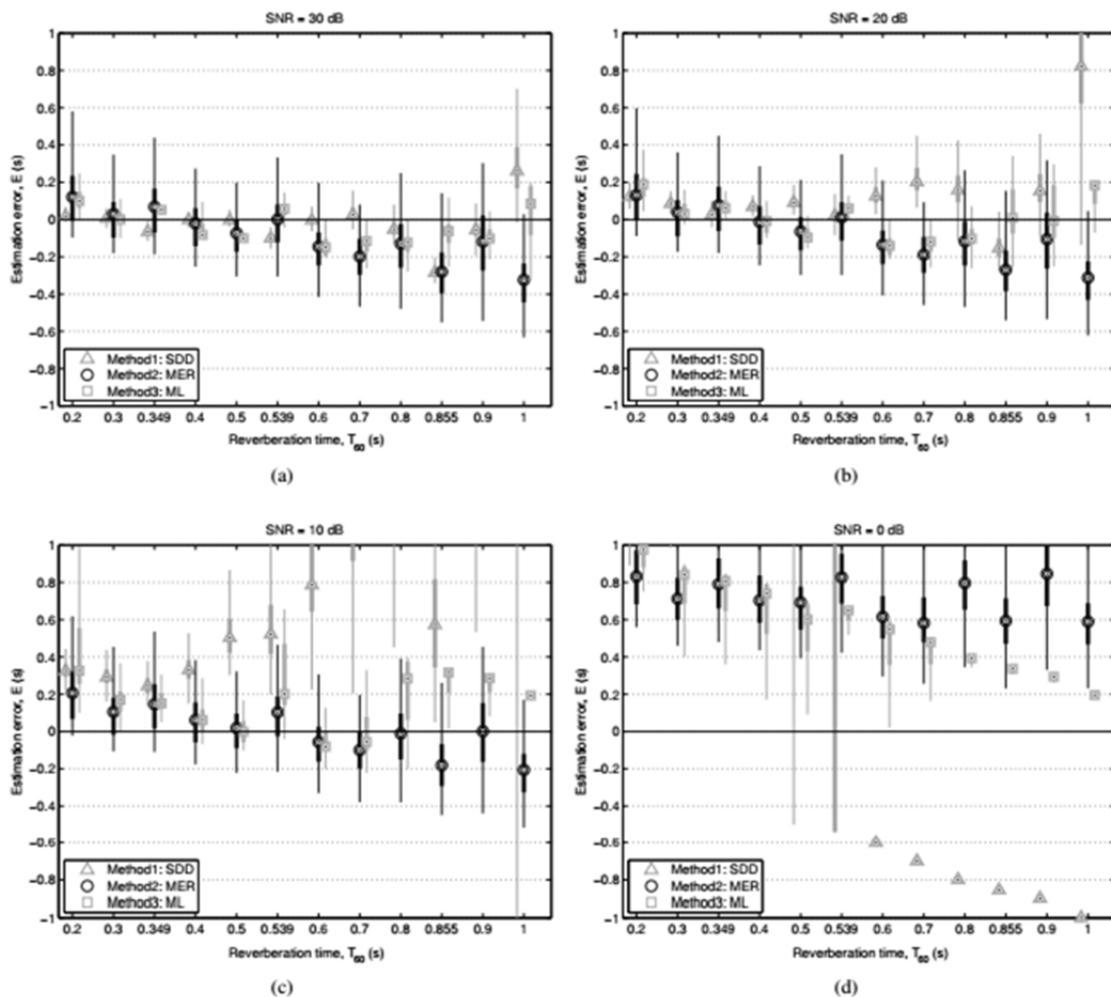


Рис. 2. Оценка времени реверберации в аддитивном белом гауссовском шуме при (a) $SNR = 30$ дБ, (b) $SNR = 20$ дБ, (c) $SNR = 10$ дБ и (d) $SNR = 0$ дБ

На рис. 2 а–d показаны результаты для SNR в диапазоне от 30 до 0 дБ, соответственно (см. рис. 1 для объяснения сюжетов).

Результаты для моделируемых и измеренных акустических импульсных откликов показаны на одних и тех же графиках ошибок оценки, E по сравнению с увеличением времени реверберации. Маркеры указывают разные алгоритмы: метод 1 (треугольники), метод 2 (круги) и метод 3 (квадраты). Точки, расположенные внутри маркеров, расположены в середине ошибок оценки, толстые вертикальные линии представляют нижний и верхний квартили, а тонкие вертикальные линии представляют оставшиеся точки данных в пределах $\pm 1,5$ раза от межквартильного диапазона, что дает приблизительно 99,3 % охвата данных. Мы показываем только до ± 1 с ошибки оценки по причинам размера.

Как видно из рис. 1, что Методы 1 и 3 обеспечивают точные оценки с точностью $\pm 0,2$ с для всех случаев $T_{60} \leq 0,8$ с небольшой дисперсией между пережатателями, после чего дисперсия между говорящими увеличивается.

Двумя основными эффектами аддитивного шума во всех трех методах являются положительное смещение, то есть переоценка, и увеличенная дисперсия ошибки в оценках. Несмотря на большую дисперсию между говорящими, метод 2 демонстрирует самую низкую чувствительность к шуму и приводит к одинаковой производительности для всего $SNR \geq 10$ дБ. При $SNR = 0$ дБ Методы 1 и 2 не дают оценок в диапазоне $\pm 0,5$ с, в то время как метод 3 способен сделать это для $T_{60} \geq 0,7$ [4].

Мы представили сравнительное количественное исследование трех методов для слепой оценки времени реверберации. В исследовании учитывались точность оценки, зависимость от говорящего и относительное время вычисления. Эксперименты проводились на множестве измеренных и смоделированных акустических импульсных характеристиках и различных уровнях аддитивного белого Гауссовского шума. Результаты показали, что методы спектрального распределения затухания и максимальной вероятности обеспечивают точные оценки в пределах $\pm 0,2$ с для $T_{60} \leq 0,8$ с для SNR более 30 дБ. Метод отношения энергии модуляции проявляет большую разницу между говором, но менее чувствителен к шуму, обеспечивая аналогичную производительность до $SNR = 10$ дБ. Ключевой эффект аддитивного шума во всех методах – это положительное смещение ошибки оценки, которое приводит к ошибкам оценки $E \geq 0,2$ с для всех методов.

Список используемых источников

1. Garofolo J. S. Getting started with the DARPA TIMIT CD-ROM: An acoustic phonetic continuous speech database. Technical report, National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland, Dec. 1988.
2. Lebart K., Boucher J. M., and Denbigh P. N. A new method based on spectral subtraction for speech dereverberation // Acta Acoustica. 2001. V. 87. pp. 359–366.

3. Habets E. A. P. Single- and Multi-Microphone Speech Dereverberation using Spectral Enhancement: Ph.D. thesis. Technische Universiteit Eindhoven, 2007.

*Статья представлена научным руководителем,
доцентом СПбГУТ Фадеевым А. А.*

УДК 621.375.026

Д. С. Строгалев (студент, СПбГУТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

В статье затронуты вопросы отличительных особенностей АФАР от более старых и простых решений в построении антенных решеток, задачи, решаемые в процессе разработки АФАР, наиболее важные характеристики усилителя мощности (УМ) АФАР, возможные режимы работы УМ конкретно в ППМ, особенности разработки УМ конкретно для АФАР.

активная фазированная антенная решетка, усилитель мощности, приемно-передающий модуль.

Широкий круг задач, стоящих перед разработчиками радиосистем, приводит к необходимости создания антенн различного назначения, соответственно с различными характеристиками. Так, требования улучшения разрешающей способности, повышения информативности, быстродействия, помехозащищенности современных радиотехнических комплексов привели к появлению фазированных антенных решеток (ФАР), в таких решетках стало возможным производить немеханическое сканирование, управляя лучом при помощи изменения фаз сигнала отдельного излучающего элемента. А стремление увеличить уровень максимальной излучаемой мощности, надежность, адаптацию к конкретным условиям работы в окружающей помеховой обстановке привело к созданию активных антенных решеток (ААР) и, в частности, активных фазированных антенных решеток (АФАР). Все эти преимущества АФАР достигаются путем использования так называемых Приемно-Передающих модулей (ППМ), с их помощью удастся не только фазировать сигнал на каждый излучатель в отдельности, но также и усиливать отдельные излучатели, такие модули разгружают аттенюаторы и фазовращатели за счёт установки усилителя в конце тракта, что также увеличивает точность и скорость работы [1].

Характерной особенностью АФАР является наличие активных элементов в системе формирования требуемого амплитудно-фазового распределения по излучающему полотну антенной решетки.

Создание АФАР требует решения большого круга задач. К ним относятся:

- разработка соответствующей элементной базы;
- конструирование активных антенных элементов и АФАР в целом;
- определение ожидаемых характеристик АФАР, и оптимизация параметров ее основных узлов;
- разработка методик настройки АФАР и измерения ее характеристик;
- проектирование и изготовление необходимой контрольно-измерительной аппаратуры;
- проведение испытаний.

Среди многообразия задач важное место занимает направление исследований, целью которых является математическое моделирование отдельных узлов и АФАР в целом, а также оптимизация с помощью ЭВМ параметров активных, фазосдвигающих, согласующих и излучающих элементов АФАР. Так как экспериментальная отработка антенных решеток является дорогостоящей и занимает длительное время, использование вычислительных средств для проектирования АФАР приобретает важное значение [2].

Одним из важнейших элементов приемо-передающего модуля АФАР является усилитель мощности, при помощи которого производится управление амплитудой сигнала в отдельном канале (рис. 1).

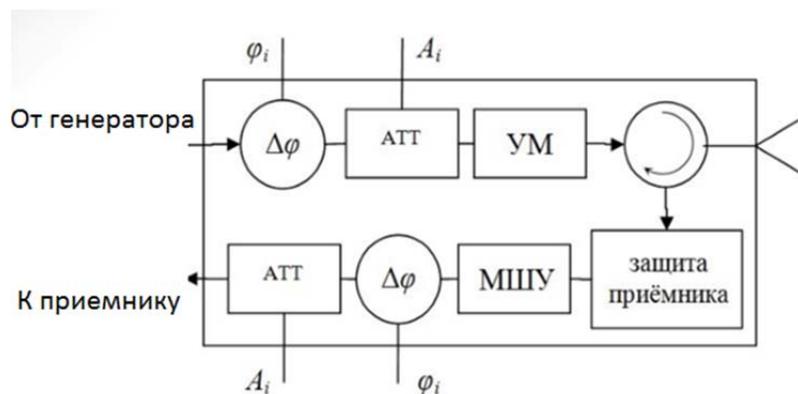


Рис. 1. Схема типичного ППМ АФАР [3]

Наиболее важные характеристики усилителя мощности:

- Уровень выходной мощности устанавливается согласно техническим требованиям к антенной решетке.
- КПД параметр, показывающий энергоэффективность ППМ и решетки в целом.

- Эффективность системы отвода тепла очень актуальный параметр, т. к. усилитель мощности – это самый теплонагруженный элемент в схеме ППМ.

- Габаритные размеры и масса также очень актуальный параметр в следствии необходимости плотного монтажа отдельных ППМ (для минимизации потерь в канале передачи сигнала с ППМ к излучателю) оптимизируются в соответствии с техническими требованиями.

- Равномерность АЧХ ФЧХ для получения постоянного коэффициента усиления при изменении частоты в пределах полосы пропускания, а для неискаженного усиления необходима линейность ФЧХ.

Усилители мощности могут работать в различных режимах (рассмотрим основные).

Режим А

Режим А – такой режим, в котором ток через усилительный элемент протекает в течение всего периода (рис. 2).



Рис. 2. Режим А усилителя

Использование такого режима позволяет при подаче на вход гармонического напряжения получить на выходе практически синусоидальное напряжение за счет использования линейного участка характеристики. Благодаря этому свойству режим А широко применяют в усилителях напряжения. Однако он имеет и существенный недостаток – очень низкий КПД. Значение входного напряжения в режиме А должно быть таким, чтобы работа усилительного каскада происходила на линейном участке характеристики. В этом случае нелинейные искажения усиливаемого напряжения будут минимальными.

В этом случае нелинейные искажения усиливаемого напряжения будут минимальными.

Режимы В и АВ

В режиме В усилительный элемент способен воспроизводить либо только положительные, либо только отрицательные входные сигналы.

Режим АВ является промежуточным между режимами А и В (рис. 3).

Ток покоя усилителя в режиме АВ существенно больше, чем в режиме В, но существенно меньше, чем ток, необходимый для режима А. При усилении гармонических сигналов усилительный элемент проводит ток в течение большей части периода: одна полу-волна входного сигнала (положительная или отрицательная) воспроизводится без искажений, вторая сильно искажается.



Рис. 3. Режим АВ усилителя

Режим С

В режиме С, также как и в режиме В, усилительный элемент воспроизводит только положительные, либо только отрицательные входные сигналы. Однако рабочая точка усилительного элемента выбрана так, что при нулевом напряжении на входе (или при нулевом управляющем токе) усилительный элемент заперт. Ток через усилительный элемент возникает только после перехода управляющего сигнала через ноль (рис. 4).

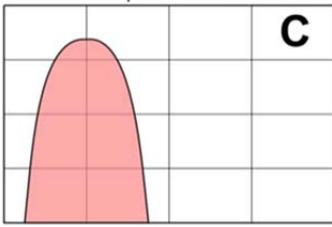


Рис. 4. Режим С усилителя

Режим С не подходит для работы в ППМ т. к. нет возможности менять амплитуду сигнала перед усилителем [4].

При разработке усилителя конкретно для ППМ АФАР существуют следующие особенности

- Необходимость использования режимов работы либо А либо АВ.
- Наличие паразитной обратной связи от МШУ.
- Плотный монтаж элементов (из-за недостатка пространства).
- Сложность теплоотвода (из-за плотности монтажа).
- Повышенные требования к экранированию (для минимизации помех от соседних элементов или из вне).
- Повышенные требования к фильтрам питания (для минимизации помех по питанию, наводок и стабильной работы).

АФАР не удастся разрабатывать традиционными методами, когда сначала создаются отдельные элементы: антенна, передатчик, высокочастотный тракт и т. п., а потом из них формируется система. В составе АФАР все эти элементы взаимосвязаны, интенсивно влияют на параметры друг друга и, в результате, определяют электродинамические характеристики решетки, и поэтому АФАР рассматривается как единый комплекс, а ее проектирование – это системная задача.

Достоинства АФАР – возможность создания на их основе принципиально новых интегрированных Радио Электронных Комплексов (РЭК), обеспечивающих многофункциональную работу с гибким управлением пространственными характеристиками и высоким энергетическим потенциалом, адаптацию к быстроменяющимся условиям и сложной помеховой обстановке, тем самым удовлетворяя всем возрастающим требованиям к мощностным и масса-габаритным характеристикам антенных систем различного назначения; высокий уровень излучаемой мощности, что позволяет значительно превзойти мощностные характеристики одиночного фидерного тракта без опасности электрического пробоя; высокая надежность, малые массогабаритные характеристики твердотельных приемопередающих модулей (ППМ) АФАР, позволяющие проектировать многоэлементные решетки с высоким энергетическим потенциалом [5].

Список используемых источников

1. Стерлигов В. Л. Проблемы антенной техники. М.: Радио и связь, 1989. С. 4.
2. Гостюхин В. Л. Вопросы проектирования активных ФАР с использованием ЭВМ. М.: Радио и связь, 1983. С. 3.
3. Википедия [Электронный ресурс] / Интернет энциклопедия; ред. Infarh; 2009. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/ru/a/a7/ППМ_АФАР.jpg, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
4. Крыжановский, В. Г. и др. Высокоэффективные режимы работы усилителей СВЧ // IEEE Microwave and Telecommunication Technology, 2001 (CriMiCo 2001). 2001. pp. 105–107.
5. Активные фазированные антенные решетки / под ред. Д. И. Воскресенского и А. И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004. 488 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Кузьминым С. В.*

УДК 621.396

Д. Р. Султреков (студент, СПбГУТ)

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ КОДИРОВАННЫХ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ**

В статье рассматривается разработка модуля кодированных инфокоммуникационных потоков. Выбор составных частей модуля обуславливается заданным техническим заданием.

мультиплексор, модуль, конструкция, МК.

В настоящее время для того, чтобы сократить свои финансовые затраты, довольно часто используют такое устройство, как мультиплексор. С помощью него есть возможность через один выход пропустить информацию с нескольких входов. Мультиплексор представляет собой такое оборудование, которое содержит в себе несколько входов сигнала, один или несколько входов управления и лишь один общий выход. Данное устройство дает возможность передавать определенный канал из одного из имеющихся входов на специальный и единственный выход. При всем этом выбирается вход с помощью подачи определенной комбинации сигналов управления. Работоспособность мультиплексора основана на том, что сигнал связи, даже в случае, если он один, очень часто не применяется на всю мощность. По этой причине имеется лишнее место для запуска других потоков информации по одной линии. Разумеется, что если все эти потоки пускаются в изначальном виде и в одно и то же время, то на выходе

получится обычная мешанина информационных данных, которую будет практически нереально расшифровать. Из-за этого мультиплексор производится при помощи разделения потоков информации разнообразными методами. Разделение по частотным полосам – это когда все потоки данных идет в одно и то же время, но с разной частотой. При этом не происходит смешивание потоков. Кроме этого, есть возможность пустить потоки в различных временных линиях. Также особо популярным является способ кодирования. В этом случае все потоки обозначаются специальными знаками, кодируются и одновременно отправляются.

По техническому заданию изделие предназначено для эксплуатации в стационарных отапливаемых помещениях.

Должно предоставлять:

- восемь интерфейсов E1 (G.703/G.704);
- один интерфейс Fast Ethernet.

Так же необходимо соблюсти подключение к электросети переменного напряжения 220 В.

Модуль кодированных инфокоммуникационных потоков (в дальнейшем для удобства будет называться МК) представляет собой модуль, включающий в себя шкаф-контейнер с вмонтированной в него 19-дюймовой рамой и установленным в ней оборудованием (рис. 1, 2).

Электропитание МК осуществляется через внешние разъемы шкафа-контейнера путем подключения соответствующего выхода модуля бесперебойного питания или от внешней сети электроснабжения (рис. 3).

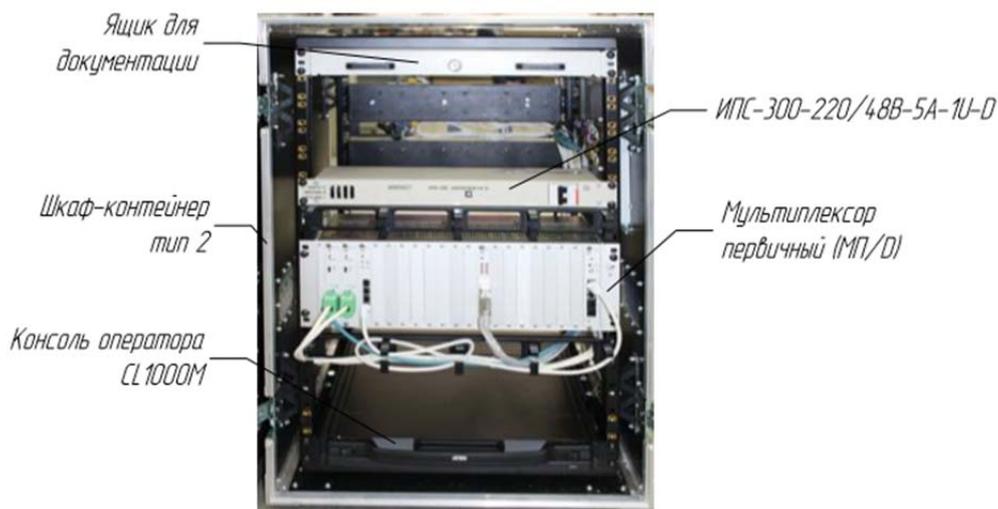


Рис. 1. Внешний вид МК (вид спереди)



Рис. 2. Внешний вид МК (вид сзади)



Рис. 3. Внешний вид коммутационной панели МК

Мультиплексор первичный ТАИЦ.465112.022-01, предназначен в качестве оборудования каналообразования с временным разделением каналов, обеспечивающих формирование и приемопередачу групповых и компонентных сигналов плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ), образование типовых цифровых каналов передачи, групповых трактов и сетевых трактов передачи ПЦИ (рис. 4).

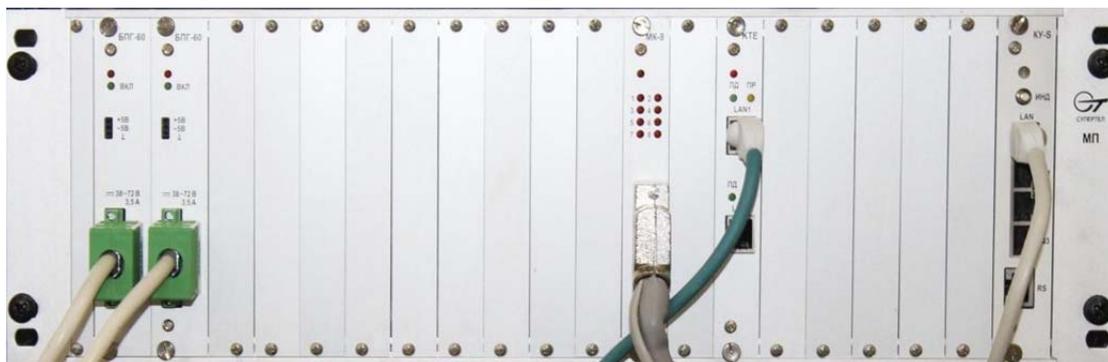


Рис. 4. Внешний вид мультиплексора первичного

Управляющая вычислительная машина с контролем управления представлена персональным компьютером Kraftway Credo моделью KC56, предназначенным для управления оборудованием МК, и консолью Aten CL1000, которая используется для работы с ПК при подготовке к работе и в процессе эксплуатации (рис. 5, 6).



Рис. 5. Внешний вид ПК Kraftway Credo



Рис. 6. Внешний вид консоли Aten CL1000

Блок питания ИПС-300-220/60(48)В-5А-1U-D, который предназначен для обеспечения электропитания постоянным стабилизированным током составных частей МК путем преобразования входного переменного тока напряжением 220 В в постоянный ток (до 5 А) напряжением 48 В (рис. 7).



Рис. 7. Внешний вид блока питания ИПС-300-220/60(48)В-5А-1U-D

В данной работе был разработан модуль кодированных инфокоммуникационных потоков. В ходе проектирования была достигнута цель по разработке МК при помощи решения следующих задач (выбора мультиплексора, шкафа/контейнера, управляющей вычислительной машины с консолью управления, блока питания).

Список используемых источников

1. Уэкерли Дж. Ф. Проектирование цифровых устройств: учебное пособие. В 2-х т. М.: Постмаркет, 2002. 1087 с.
2. Варламов Р. Г. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. М.: Советское радио, 1973. 430 с.

Статья представлена научным руководителем, ассистентом СПбГУТ Капралов Д. Д.

УДК 004.438

Ден. А. Терентьев, Дан. А. Терентьев (студенты, СПбГУТ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА π МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ MATLAB

Статья посвящена определению числа π методом Монте-Карло. Показаны основные идеи данного метода, позволяющие сформировать общее представление о нем. С использованием системы MATLAB разработано приложение, обладающее графическим интерфейсом с выводом рассчитанного числа π , относительной и абсолютной

погрешности. Используя данные, полученные при работе с программой, можно оценить особенности применения метода Монте-Карло для расчета различных величин.

метод Монте-Карло, число π , система MATLAB.

Метод Монте-Карло – общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций случайного процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи. Используется для решения задач в различных областях физики, математики, экономики, оптимизации, теории управления и др.

В качестве основы для решения поставленной задачи выберем геометрический алгоритм Монте-Карло для интегрирования. Его смысл

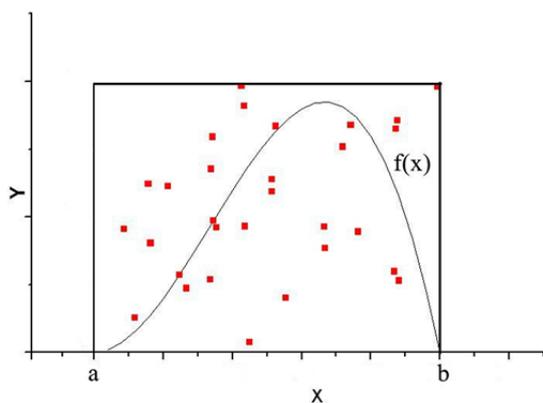


Рис. 1. График подынтегральной функции

заключается в том, что численное значение интеграла трактуется как площадь под графиком функции. На интервале интегрирования функция ограничивается неким прямоугольником (рис. 1). В этом прямоугольнике размещается некоторое количество точек, координаты которых являются равномерно распределёнными случайными величинами. Далее подсчитывается количество точек n , попавших под график. Затем необходимо определить вероятность нахождения

точки под графиком. По теореме Бернулли при многократном повторении случайного эксперимента с двумя исходами относительная частота успехов приближается к вероятности успеха в одном испытании. Следовательно:

$$P_{\text{т. под граф.}} = \frac{n}{N},$$

где N – количество всех испытаний.

С другой стороны, вероятность нахождения точки под графиком (с учётом равномерности распределения её координат) является отношением его площади к площади всего прямоугольника [1].

$$\frac{\int_a^b f(x) dx}{S_{\text{пр}}} \approx \frac{n}{N}.$$

Откуда $\int_a^b f(x) dx \approx \frac{S_{\text{пр}} n}{N}.$

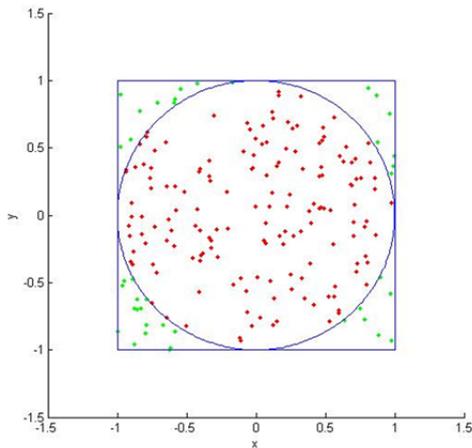


Рис. 2. Модель для определения числа π

В нашем случае необходимо найти отношение площадей квадрата и вписанного в него круга (рис. 2). Очевидно, отношение их площадей равно вероятности попадания точки в круг, если её координаты равномерно распределены в области квадрата.

$$\frac{S_{\text{окр}}}{S_{\text{кв}}} = \frac{\pi R^2}{4R^2} = \frac{\pi}{4} \approx \frac{n}{N}.$$

$$\text{Откуда } \pi \approx \frac{4n}{N}.$$

Перейдём к реализации в системе MATLAB.

Изначально было сформировано окно пользователя, где размещена область для вывода графика, поле ввода количества точек, участвующих в вычислениях, и поля Static text для вывода расчётных значений.

Были сформированы два случайных вектора строки с использованием функции rand.

$$\begin{aligned} Y &= 2*\text{rand}(1,N)-1; \\ X &= 2*\text{rand}(1,N)-1; \end{aligned}$$

Одним из факторов, влияющим на точность вычислений, является количество случайных экспериментов. Однако, если в решении задачи используется генератор псевдослучайных чисел (ГПСЧ), необходимо следить, чтобы количество проводимых экспериментов не превышало периода генератора, а лучше, чтобы оно было много меньше него. В нашем случае это условие выполнено, т. к. rand реализует алгоритм Вихрь Мерсенна, период которого составляет $2^{19937}-1$, а для достижения довольно точного результата достаточно использовать 1 000 000 случайных экспериментов [2].

Далее был сформирован логический вектор, содержащий значения неравенства:

$$\text{count} = (X.^2+Y.^2) < 1.$$

Его сумма является количеством точек, находящихся внутри окружности:

$$\text{No} = \text{sum}(\text{count}).$$

Далее было вычислено число π по вышеприведённой формуле:

$$\text{spi} = 4*\text{No}/N.$$

Были рассчитаны относительная и абсолютная погрешности с использованием эталонного значения числа π .

$$\begin{aligned} \text{apі} &= \text{abs}(3.1415926 - \text{срі}); \\ \text{грі} &= \text{apі} / 3.1415926 * 100. \end{aligned}$$

Все эти значения были выведены в соответствующие поля.

Для наглядности вычислений методом Монте-Карло в процессе расчета строится график, на котором показано местоположение сгенерированных точек.

Итак, в данной работе с использованием системы MATLAB была реализована программа, позволяющая вычислить число π методом Монте-Карло. Этот метод основан на анализе случайного процесса, вероятностные характеристики которого совпадают с аналогичными величинами решаемой задачи. Нами была сформирована математическая модель, позволяющая определить искомую величину. Точность вычислений геометрического алгоритма Монте-Карло для интегрирования зависит от количества сгенерированных точек, а также требует равномерного распределения этих точек на плоскости. Необходимо учитывать период ГПСЧ, который может значительно повлиять на результат расчетов. Проведенная работа демонстрирует универсальность метода Монте-Карло для проведения вычислений в различных сферах научной деятельности.

Список используемых источников

1. Гайнанов Р. Р., Файзрахманов Р. А., Полевщиков И. С. Особенности программной реализации процесса расчета определенного интеграла методом Монте-Карло // Science Time. 2015. № 1 (13). С. 71–75.

2. RandStream.list [Электронный ресурс]// MathWorks Documentation. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/randstream.list.html> (дата обращения: 03.05.2017)

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Степановым А. Б.*

УДК 371.684

А. В. Тютин, М. А. Шеламова (студенты, СПбГУТ)

РЕАЛИЗАЦИЯ АМ ПЕРЕДАТЧИКА И ПРИЁМНИКА СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО

В настоящее время технология программно-конфигурируемого радио становится более востребованной в области телекоммуникаций. Это объясняется тем, что основная обработка сигнала осуществляется программными методами, изменение аппаратной части радиоаппаратуры заключается только в изменении программного обеспечения. Аппаратные средства ПКР работают в широком диапазоне частот и способны работать с различными стандартами связи.

программно-конфигурируемое радио, ПКР, SDR, передатчик, приемник, аппаратные платы ПКР, имитационное моделирование, апробация.

Введение

В данной статье рассматривается реализация приемопередающего тракта амплитудно-модулированных сигналов с использованием аппаратных платформ USRP B210 и RTL-SDR (R820T2) с использованием технологий программно-конфигурируемого радио (ПКР) и модельно-ориентированного проектирования (МОП).

Применение технологий ПКР/МОП позволяет с помощью специального программного обеспечения моделировать системы радиосвязи, передавать и принимать любые радиосигналы, осуществлять программную обработку сигналов на персональном компьютере, при этом минимизировать, аппаратную часть радиоустройств. Такие системы легко модернизировать, процессы, протекающие в различных точках системы, могут быть отображены графически.

Постановка задачи исследования

Объектом исследования является передающий и приёмный радиointерфейс. Под радиointерфейсом будем понимать совокупность протоколов и процедур, определяющих порядок установления соединений и организации связи по радиоканалу между двумя станциями [1].

Предмет исследования – программные модели передатчика и приемника АМ сигналов на основе подхода ПКР, реализованные с помощью программной среды MathWorks Simulink и апробированные на аппаратных платформах ПКР.

Целью данной работы является реализация и экспериментальная апробация приемного и передающего радиоустройств АМ сигналов на основе подхода SDR и оценка качества приёма сигналов с АМ различных ви-

дов с применением аппаратной платформы RTL–SDR (R820T2), при установлении связи с согласованным передатчиком, реализованным на платформе USRP B210.

Имитационное моделирование передачи и приема АМ сигналов

Перед экспериментальной апробацией приемопередающего тракта на реальном оборудовании предварительно для оценки работоспособности разрабатываемого устройства была создана идеализированная имитационная модель в СПО Math Works Simulink. Модель содержит в себе модулятор АМ и БАМ (балансная амплитудная модуляция) сигналов с возможностью переключения модуляции соответствующим ключом и детектор огибающей (рис. 1). В качестве модулирующего сигнала выступает однонаправленный гармонический сигнал.

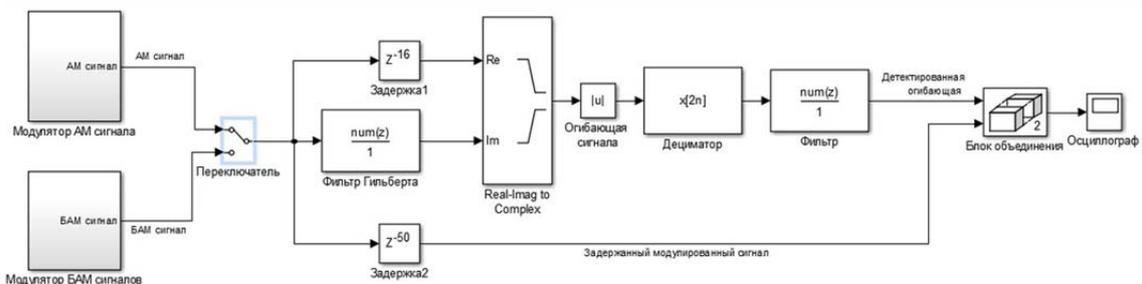


Рис. 1. Имитационная модель приемопередающего тракта

Блок – схемы модуляторов сигналов представлены на рис. 2.

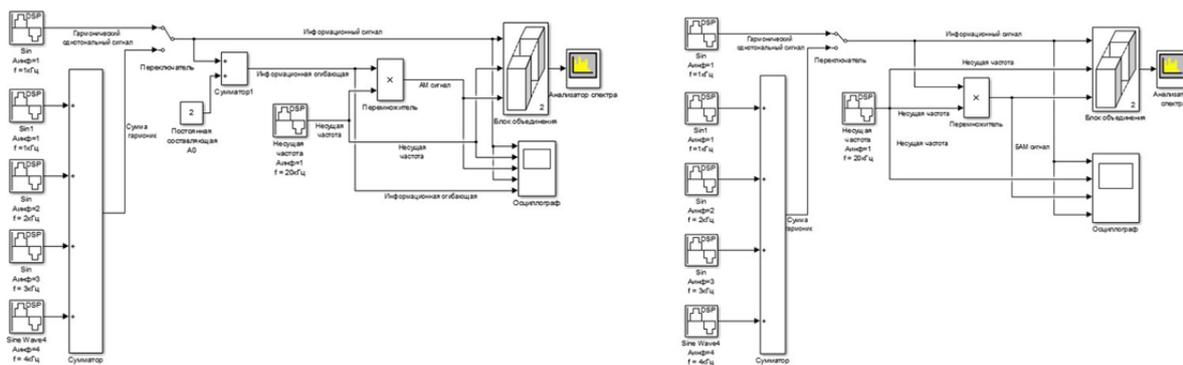


Рис. 2. Модель модулятора АМ и БАМ сигналов в Simulink

В процессе работы модели были получены осциллограммы модулированных сигналов и их огибающие (рис. 3, 4).

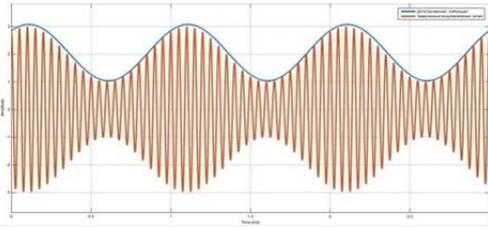


Рис. 3. Осциллограмма огибающей АМ сигнала с $m = 50\%$

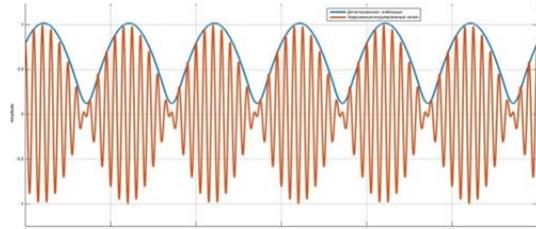


Рис. 4. Осциллограмма огибающей БАМ сигнала

Из теории электрической связи известно, что детектирование огибающей сигнала (на основе преобразования Гильберта) является простейшим методом некогерентной модуляции. Детектор огибающей сигнала сглаживает верхние пики амплитуд модулированного сигнала [2].

Известно, что БАМ сигнал не имеет несущего колебания в своем составе и соответственно не имеет огибающей. Такой сигнал не может быть качественно демодулирован, сигнал на выходе динамика будет сильно искажен. Детектор огибающей может использоваться только для АМ сигналов.

Отметим, что модель является идеальным примером для пояснения работы приемопередатчика. В реальных условиях присутствуют помехи не только в радиоканале, но и на входе приемника. Помехи в радиоканале обычно оцениваются отношением сигнал/шум.

Реализация приемника и передатчика АМ сигналов средствами SDR

Экспериментальная апробация реализованного приемопередающего радиотракта представляет собой проверку работоспособности модели на практике в режиме реального времени.

В процессе эксперимента параметры передатчика (рабочая частота, усиление и др.) заранее известны, схема соединения аппаратных платформ RTL – SDR и USRP B210 с ПК остается неизменной (рис. 5).

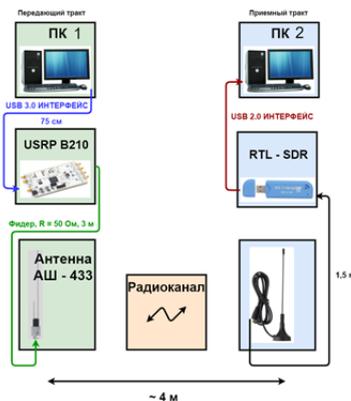


Рис. 5. Структурная схема лабораторной установки приемопередающего интерфейса

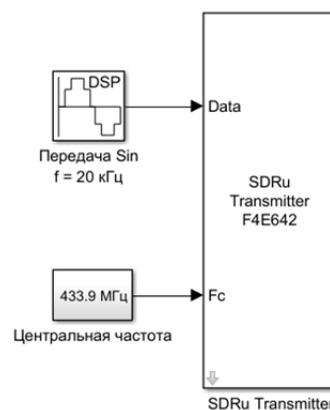


Рис. 6. Модель передатчика для калибровки частоты приемника RTL – SDR

Перед каждым запуском лабораторной установки осуществляется процедура калибровки частоты радиоприемного устройства, необходимая для точного соответствия принимаемой частоты её реальному значению, с помощью заранее написанного скрипта на приеме. Передатчик USRP B210 передает синусоиду на центральной частоте 433,9 МГц (рис. 6). Для компенсации частотного сдвига приемника к центральной частоте добавляется значение ухода частоты в абсолютных значениях или в ppm.

При экспериментальной апробации на аппаратной платформе USRP B210 была создана модель передатчика АМ сигналов с адаптивно меняющимися модуляторами сигналов с АМ, БАМ и ОМ в режиме реального времени посредством ключей (рис. 7) [3].

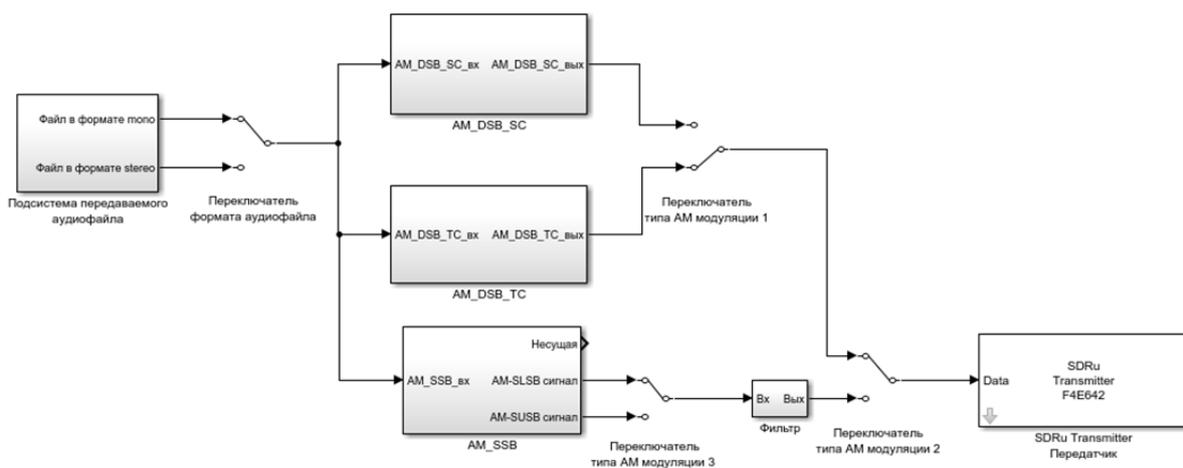


Рис. 7. Структурная схема передатчика

Настройка приемника RTL – SDR осуществляется на конкретной рабочей частоте АМ сигнала: $f_{AM} = 433,9$ МГц. Модель приемника RTL – SDR в СПО Matlab/Simulink приведена на рис. 8.

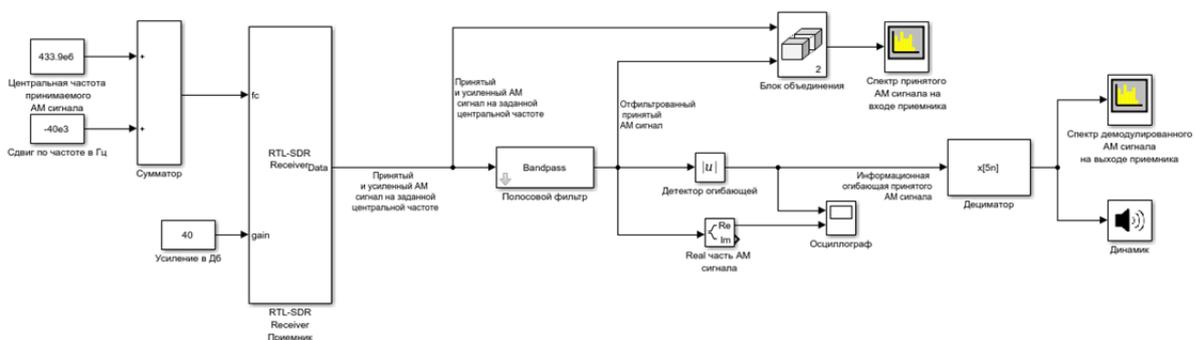
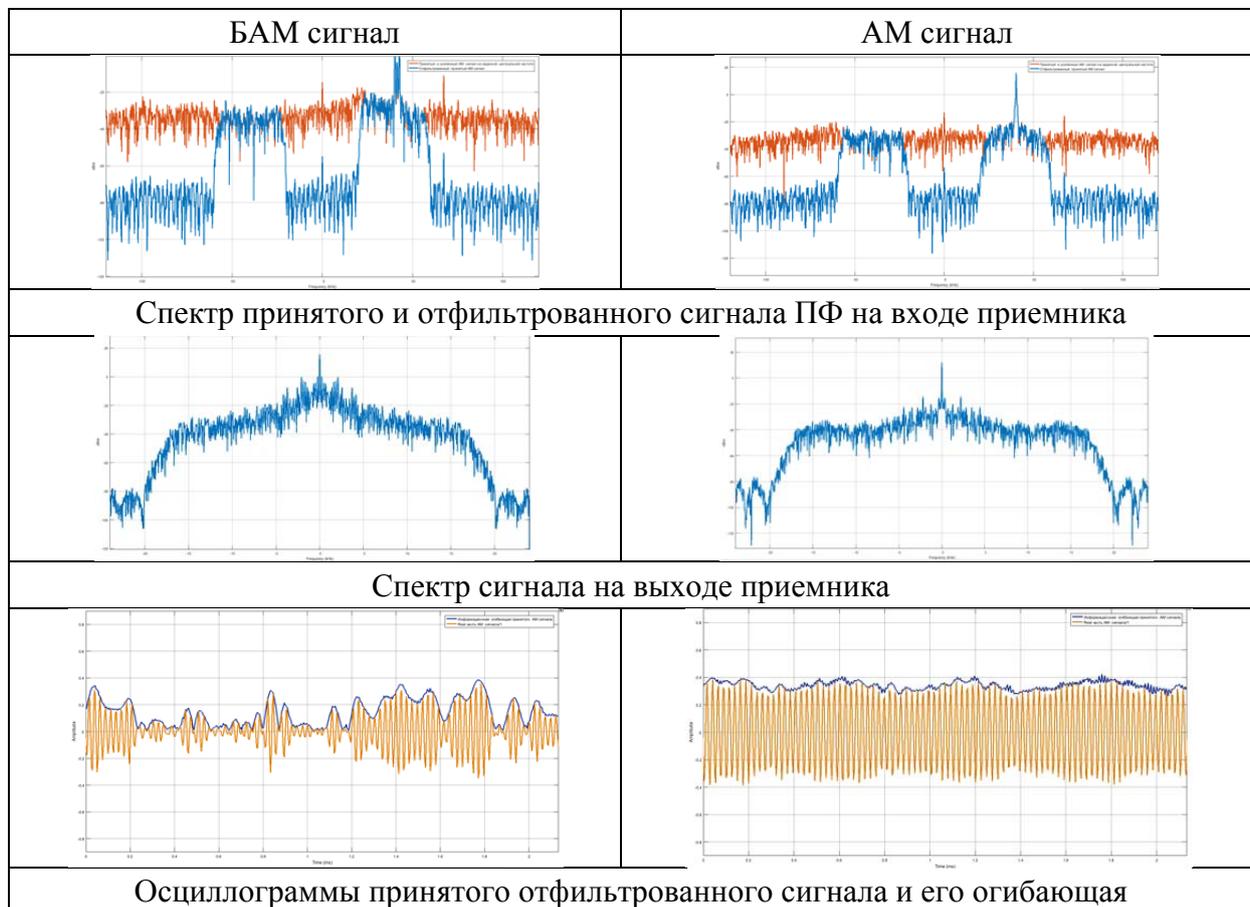


Рис. 8. Программная модель приемника RTL – SDR в СПО

Полоса пропускания полосового фильтра: (25–55 кГц). В этой полосе частот находится значение ПЧ, равное 40 кГц (в модели).

Работа передатчика на аппаратной плате ПКР USRP B210 и приемника на плате RTL – SDR является согласованной. В первом испытании передавался сигнал с балансной АМ. Качество принятого БАМ сигнала амплитудным детектором на слух плохое, мелодия плохо разборчива, в сигнале слышны пiski и громкие шипения. Сигнал слишком искажен и не пригоден для прослушивания. Во втором испытании был передан АМ сигнал. Качество принятого АМ сигнала амплитудным детектором по сравнению с принятым БАМ сигналом на слух на много лучше, речь разборчива, в сигнале не наблюдается посторонних пискa и громких шипений, но шумы в принятом сигнале присутствуют. Качество принимаемого радиосигнала можно считать удовлетворительным. Результат работы моделей приведен в таблице.

ТАБЛИЦА. Результаты эксперимента



Выводы

На основе имитационной модели был успешно реализован и апробирован приемопередающий радиоинтерфейс с использованием аппаратных платформ B210 и RTL – SDR с использованием СПО MathWorks Simulink.

В процессе экспериментов была проведена оценка качества принимаемого радиосигнала.

Список используемых источников

1. Невдяев Л. М. Телекоммуникационные технологии. Англо-русский толковый словарь – справочник / под редакцией Ю. М. Горностаева. Серия изданий «Связь и бизнес». М.: МЦНТИ, ООО «Мобильные коммуникации», 2002. 592 с.
2. Биккенин Р. Р., Чесноков М. Н. Теория электрической связи : учеб. пособие для студ. высших учебных заведений. М.: Академия, 2010. 336 с.
3. Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee, Dale W. Atkinson, Louise H. Crockett. Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR. 1st edition. Department of Electronic and Electrical Engineering University of Strathclyde Glasgow, Scotland, UK, 2015. 645 p.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Фокиным Г. А.*

УДК 621.396.669

И. А. Шалунов (студент, СПбГУТ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ
И КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИНЦИПОВ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ ВОЗИМЫХ РЭС**

Для эффективной работы радиоэлектронных средств (РЭС) в заданных условиях необходимо учитывать вопросы, связанные с электромагнитной совместимостью (ЭМС). В статье рассматриваются основные конструктивные принципы и материалы, применяемые для обеспечения ЭМС РЭС, с учетом группы эксплуатации – возимая техника.

ЭМС, конструирование, помехи, защита, возимая техника.

В настоящее время радиоэлектронные средства широко распространены в различных сферах человеческой деятельности, что приводит к возрастанию уровня электромагнитных полей, создаваемых РЭС в окружающем пространстве. Эти поля являются помехами для других подобных устройств, ухудшая условия их функционирования и снижая эффективность применения. Для обеспечения совместного функционирования различных радиоэлектронных средств необходимо при их разработке учитывать окружающую электромагнитную обстановку, а также использовать методы, обеспечивающие электромагнитную защиту от негативных воздействий. Поэтому задача исследования конструктивных методов и материалов для обеспечения ЭМС РЭС является весьма актуальной.

Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств – это способность этих средств одновременно функционировать в предусмотренном режиме в заданной электромагнитной обстановке и при этом не создавать электромагнитных помех другим техническим средствам [1].

Электромагнитные помехи делятся на непреднамеренные и преднамеренные [1]:

1) Непреднамеренные – это помехи, вызванные природными явлениями или искусственными источниками, например линии сотовой связи, линии электропередач, генераторы, трансформаторы др.;

2) Преднамеренные помехи – влияние этих помех учитывают в основном при разработке оборудования специального применения.

Для защиты РЭС как от внешних источников помех, так и от внутренних применяется различного рода экраны.

Идеальный электромагнитный экран представляет собой полностью замкнутую непрерывную проводящую поверхность с бесконечно большой проводимостью и с некоторой толщиной стенки экрана. Однако в реальности проводимость экрана всегда конечна, так как в нем имеются отверстия, щели, крышки и другие апертуры. Сама эффективность экранирования в общем случае определяется не параметрами экрана, а свойствами апертур и проходных отверстий, так как они представляют собой элементарные антенны [2].

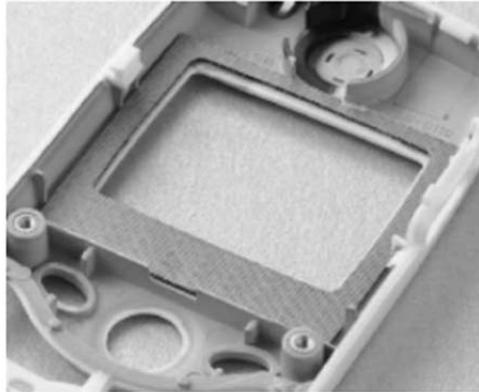


Рис. 1. Аппертура антенны

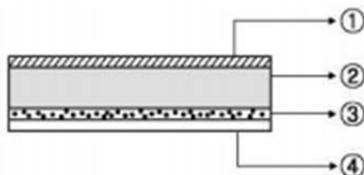
Для качественного экранирования большую роль играет форма зазора между сопрягаемыми элементами.

С целью увеличения проводимости в местах механического соединения деталей корпуса, а также экранирования отдельных участков прибора используются различные токопроводящие прокладки, краски, покрытия.

На рис. 2 представлен вариант прокладки, состоящей из листа токопроводящего вспененного полимера с медно-никелевым напылением микрорепор.



■ Конструкция



- (1) Токопроводящая ткань (M2Rip: -CN, -CNR или -CNW).
- (2) Токопроводящий вспененный полимер
- (3) Токопроводящий клеевой слой (DK-1042)
- (4) Защитная пленка (удаляемая при установке).

Рис. 2. Токопроводящая прокладка и ее строение

На рис. 2 представлена прокладка применяющаяся, как правило, для создания защитного контура. Она состоит из токопроводящей металлизированной ткани, обернутой вокруг формообразующего профиля из вспененного полимера. Помещая такие прокладки в специальные углубления в корпусе прибора его защитные свойства значительно улучшаются. В зависимости от степени деформации такие прокладки изменяют свою проводимость (рис. 3, 4).

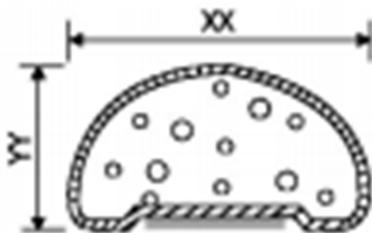


Рис. 3. Деформируемая прокладка формы RN

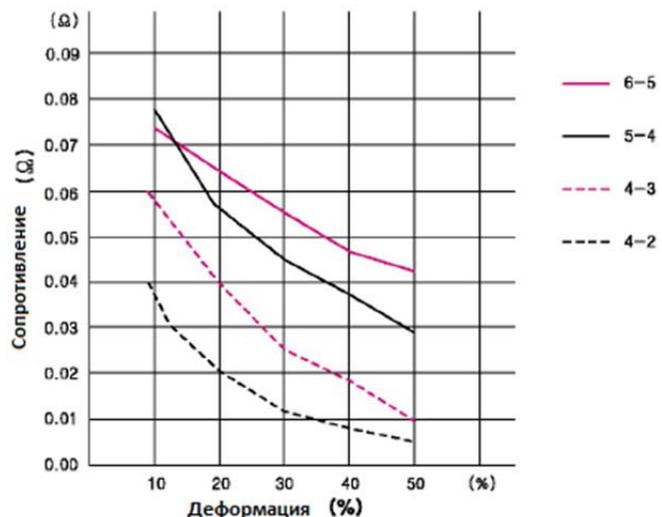


Рис. 4. График зависимости электрического сопротивления от степени линейной деформации

При проектировании мобильных РЭС необходимо учитывать ряд особенностей:

- 1) Работа в условии переменной ЭМО;
- 2) Влияние контактных помех;
- 3) Особенности заземления.

Контактной называют помеху, созданную в результате воздействия электромагнитного поля радиопередатчика на токопроводящий металлический контакт. Экспериментально установлено, что контактные помехи возникают на частотах ниже 30 МГц, хотя могут быть ощутимы и в диапазонах до 300 МГц [3].

Борьба с контактными помехами в месте их возникновения может осуществляться по следующим основным направлениям:

- устранение переменных контактов и причин их возникновения;
- уменьшение величин наведенного тока, протекающего через переменное контактное сопротивление, и напряжения, прикладываемого к контактному промежутку;
- экранирование источников контактных помех.

Подвижные объекты (наземные транспортные средства, морские и речные суда, летательные аппараты) в общем случае не имеют потенциала, обусловленного землей. Поэтому для таких объектов, несущих на себе многочисленные РЭС, возникает проблема приведения всех металлонесущих частей к одному потенциалу.

Металлизации с корпусом объекта подлежат также экранированные провода неэкранированных жгутов, экранированные жгуты и кабели. При длине экранированных проводов, жгутов и кабелей от 2 до 5 метров металлизацию производят в двух местах, на их концах; при длине менее 2 м – в одном месте, на одном конце. При длине менее 0,5 м металлизацию можно не производить.

Металлизацию осуществляют несколькими способами:

- а) неразъемными перемычками;
- б) разъемными перемычками;
- в) путем обеспечения непосредственного контакта поверхностей металлизированных элементов;
- г) при помощи установочных деталей;
- д) при помощи крепежных деталей, устанавливаемых на токопроводящих покрытиях;
- е) металлизированными заклепками.

Применение новых материалов в совокупности с использованием конструктивных методов обеспечения ЭМС позволяют добиться требуемого уровня защиты РЭС. В отдельных случаях достигается практически полное изолирование системы от ЭМП различной природы.

Список использованных источников

1. ГОСТ 23611-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 1979. 10 с.
2. Кечиев Л. Н., Акбашев Б. Б., Степанов П. В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. М.: Группа ИДТ, 2010. 469 с.
3. Ефанов В. И., Тихомиров А. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: учебное пособие. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 2012. 228 с. .

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Кузьминым С. В.*

УДК 004.772

А. О. Авчарова, С. М. Елисеев (студенты, СПбГУТ)

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЯ И МЕТОДОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОТОКОЛА ARP НА БАЗЕ ИП SQUITCH

В данной статье рассматривается процесс разработки лабораторной работы по изучению протокола ARP и последующее внедрение ее в учебную программу студентов 3 курса. Рассматриваются основные этапы реализации поставленной задачи, такие как разработка сценария, проверка его работоспособности, разработка методологии проведения лабораторной работы, а также проверка эффективности получаемых знаний в ходе выполнения данной лабораторной работы.

ИП Squitch, ARP, лабораторная работа, IP-адрес, MAC-адрес.

Теоретическая справка

ARP (англ. Address Resolution Protocol) – протокол в компьютерных сетях, работающий между канальным и сетевым уровнями модели OSI. Предназначен для определения MAC-адреса устройства по известному IP-адресу. Для выполнения данной процедуры используется пара сообщений: ARP-Request (Запрос) и ARP-Reply (Ответ) [1].

ARP-запрос отправляется на широковещательный MAC-адрес ff:ff:ff:ff:ff:ff. ARP-ответ отправляется на MAC-адрес получателя, отправившего ARP-запрос. В теле сообщения ответа указывается запрашиваемый MAC-адрес устройства [1].

В ходе работы протокола, составляется ARP-таблица, в которой полученный MAC-адрес привязывается к уже известному IP-адресу.

Чтобы два устройства могли начать передавать трафика между собой, в их ARP-таблицах должна существовать соответствующая запись о соседнем устройстве [1].

Разработка сценария

В данной лабораторной работе будет рассматриваться обмен сообщениями между ИП Squitch и различными IP-серверами.

Интерактивная платформа исследования протоколов ИП Squitch предназначена для изучения и исследования инфокоммуникационных протоколов и позволяет на практике формировать различные пакеты (сообщения) изучаемых протоколов, инициировать их функционирование и анализировать получаемые ответы.

При проведении исследовательских и лабораторных работ ИП Squitch предоставляет следующие возможности:

- подсистемы экранного пользовательского интерфейса;
- подсистемы эмулятора сетевых элементов подсистемы визуализации данных;
- создание собственных сценариев на основе заранее сформированных базовых эталонов;
- изучение эталонных (заранее сформированных) пакетов;
- отправка готовых пакетов в сеть;
- анализ реакции сетевых элементов на отправленные пакеты;
- генерация трафика (формирование информационных потоков, в которых интервалы между пакетами распределены в соответствии с заданным законом);
- формирование заведомо искаженных пакетов (для проведения специальных тестов).

Исходными данными в рассматриваемой лабораторной работе являются IP-адрес ИП Squitch, MAC-адрес ИП Squitch и IP-адрес сервера, на который будут отправляться сообщения.

Цель: с помощью протокола ARP узнать неизвестный MAC-адрес IP-сервера. Исходя из полученных данных, отправить на IP-сервер IP-пакет.

Для этого необходимо сгенерировать в ИП Squitch сообщение ARP-Request, указав в нем исходные IP-адрес отправителя (ИП Squitch), MAC-адрес отправителя (ИП Squitch), IP-адрес получателя (IP-сервер), MAC-адрес получателя (Широковещательный MAC-адрес). Также необходимо указать верный Ether Type для протокола ARP (2054) [1].

Затем необходимо с консоли рабочего места удаленно подключиться по защищенному соединению SSH к IP-серверу, просмотреть перехваченные сообщения ARP-запрос и ARP-ответ программой WireShark, проанализировать их и узнать нужный MAC-адрес сервера.

Далее в ИП-Squitch требуется сгенерировать IP-пакет, указав в нем исходные IP-адрес отправителя (ИП Squitch), MAC-адрес отправителя (ИП Squitch), IP-адрес получателя (IP-сервер) и полученный MAC-адрес получателя (IP-сервер). Также необходимо указать новый Ether Type (для протокола IP – 2048).

Затем необходимо повторно подключиться к IP-серверу, просмотреть перехваченные пакеты, убедиться в наличии и целостности полученного IP-пакета.

Также в сценарий данной лабораторной работы были введены системы проверок, которые контролируют правильность ввода полей в генерируемых сообщениях в ИП-Squitch. Данные системы проверяют MAC-адреса отправителя и получателя, IP-адреса отправителя и получателя, а также Ether Type сообщения. В случае неправильности ввода, сценарий

будет прерван, на окне появится текст ошибки, которая укажет на поле, в котором введены неверные данные.

Внедрение и тестирование

Данная лабораторная работа реализована в десяти вариантах. Каждому варианту соответствует свой IP-сервер и свои системы проверок. Разработаны подробные методические указания, для выполнения этой работы.

Было проведено тестирование и проверка эффективности получения знаний студентами 3 курса, факультета ИКСС СПбГУТ, обучающихся по направлениям: сети связи и системы коммутации, защищенные системы связи, информационная безопасность.

Список используемых источников

1. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 400 с.

*Статья представлена научным руководителем,
ассистентом СПбГУТ Пупцевым Р. И.*

УДК 004.514.6

К. Д. Аксенов (студент, СПбГУТ)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОКСИ-СЕРВЕРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ HTTP/HTTPS – ТРАФИКА

Высокоскоростные прокси-сервера – играют немаловажную роль в корпоративной сети, так как способны вести учет соединений, фильтровать веб-контент, кэшировать данные и ограничивать доступ пользователям конечных устройств к ресурсам глобальной сети Интернет. Но все эти функции были бы неосуществимы без ретрансляции HTTP/HTTPS -трафика.

прокси-сервера, обработка веб-трафика, TLS.

На сегодняшний день большинство инфраструктур имеют доступ к глобальной сети «Интернет». Подключение к глобальной сети предоставляет возможность пользователям: мгновенно обмениваться данными, совместно решать поставленные задачи, участвовать в международных конференциях, и т. д. Интернет ресурсы обладают неслучайным запасом информации, которая способствует продвижению бизнеса, науки, технологий и культуры в обществе. Но, всё чаще вместе с полезными данными на вычислительные устройства пользователей попадает вредоносное ПО, ко-

торое способствует утечке персональных данных, активов организации, проектов. Обеспечить антивирусную защиту на домашнем ПК можно с помощью антивирусного приложения, но в корпоративной среде этого недостаточно. Для обеспечения безопасности конечных устройств в корпоративной сети необходимо реализовать централизованное управление HTTP/HTTPS-трафиком от пользователя к глобальной сети «Интернет». Одним из способов обработки данных прикладного уровня является прокси-сервер.

Прокси-сервер – это приложение, установленное на специализированное устройство или удалённый сервер, которое выступает в качестве посредника между клиентом и сервером глобальной сети Интернет. Данное решение может заменить межсетевой экран прикладного уровня или работать с ним в тандеме. Реализовать прокси-сервер для компаний малого и среднего бизнеса можно на основе открытого программного обеспечения Squid¹. Squid по своей архитектуре является кэширующим прокси-сервером, но, в зависимости от изменения конфигурационного файла squid.conf, меняются режимы работы и функционал веб-шлюза².

Основными режимами прокси-сервера являются:

- Препрозрачный режим – HTTP/HTTPS соединения перенаправляются на прокси-сервер без ведома пользователей. Клиентские приложения дополнительных конфигураций не требуют.

- Пересылающий или аутентифицирующий режим – клиентские приложения требуют дополнительной конфигурации, так как подключаются напрямую к прокси-серверу. Поддерживается аутентификация пользователей с серверами аутентификации, такими как AD и LDAP.

- Обратный прокси-сервер – принимает запросы внешних клиентов ко внутренним HTTP/HTTPS-ресурсам.

На первом этапе конфигурирования прокси-сервера указываются с помощью ACL диапазоны сетей локального домена и предоставляется доступ к глобальной сети:

```
acl localnet src 192.168.1.0/24
acl localnet src 172.16.0.0/16
http_access allow localnet
```

В данной статье для обработки HTTP/HTTPS трафика используются два режима: пересылающий (3) и прозрачный (2). По умолчанию (1) Squid ретранслирует HTTP-трафик в пересылающем режиме и использует 3128 TCP порт. IP-адрес присваивается от сетевого интерфейса или назначается в ручную (3). Режим работы, тип трафика, порт и IP-адрес – назначаются за счёт изменения следующих директив файла squid.conf:

¹ <http://wiki.squid-cache.org/Features/SslPeekAndSplice>

² <http://wiki.squid-cache.org/ConfigExamples/Intercept/SslBumpExplicit>

http_port 3128, (1)

http_port 3127 intercept, (2)

http_port 192.168.1.1:3126. (3)

Соединения по протоколу HTTPS имеют более сложную структуру в отличие от HTTP. На рис. 1 изображены этапы соединения клиента с сервером с помощью протоколов прикладного уровня: HTTP и HTTPS. Можно заметить, что оба протокола перед передачей данных устанавливают TCP сессию, но HTTP передаёт данные в открытом виде, а HTTPS устанавливает зашифрованное соединение, используя протокол TLS [1].

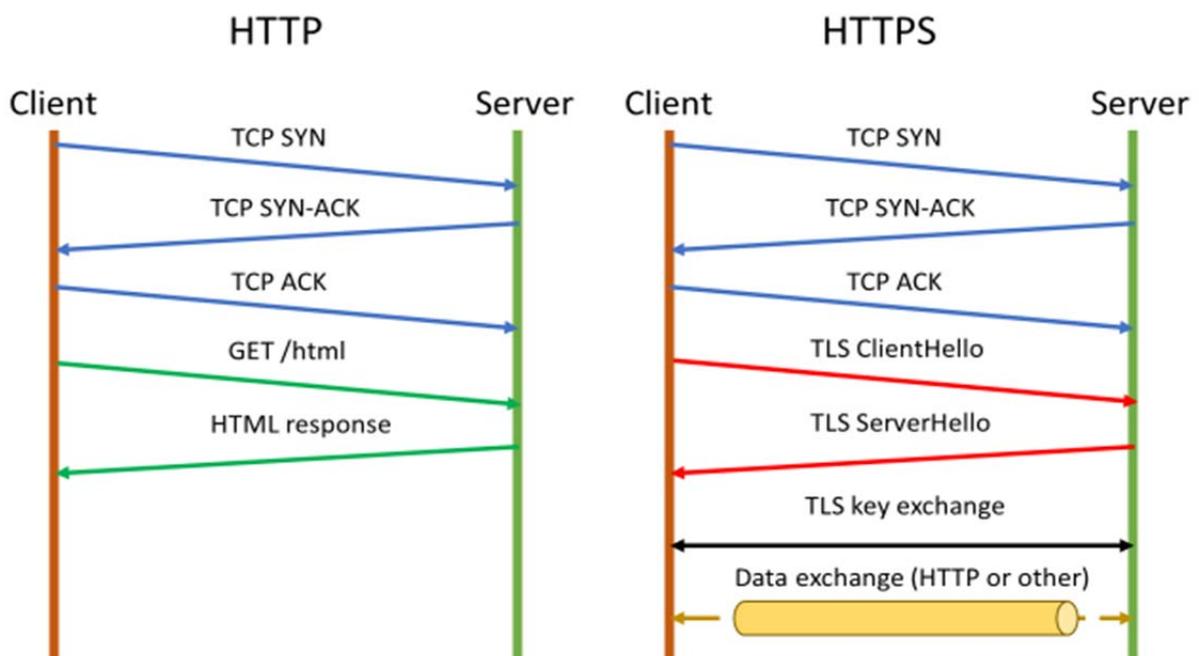


Рис. 1. Этапы соединения клиента с сервером с помощью протоколов прикладного уровня: HTTP и HTTPS

Для осуществления ретрансляции зашифрованного трафика с помощью прокси-сервера используется метод MITM (Man in the middle) или атака «человек посередине». Основной смысл данного метода заключается в том, что прокси-сервер выдаёт себя со стороны клиента за легитимный веб-сервер, а со стороны веб-сервера – за конечного пользователя и устанавливает HTTPS соединение и с клиентом, и с удалённым веб-сервером. Вся процедура можно поделить на несколько этапов. После установления сессии с веб-шлюзом по протоколу TCP, клиент посылает сообщение ClientHello, которое содержит в себе следующую информацию: поддерживаемые методы шифрования (Cipher Suites), ID сессии, версия протокола, и т. д. Прокси-сервер анализирует полученную информацию, выбирает какой алгоритм шифрования будет использоваться для обмена ключами

и проверки подписи сертификатов, например, RSA или более стойкий алгоритм Диффи – Хеллмана, а также, определяет алгоритм шифрования передаваемых данных (RC4, AES, CBC и т. д.) и хеш-функцию (MD5, 3DES, SHA и т. д.) для верификации содержимого пакета. После, веб-шлюз отправляет клиенту сообщение ServerHello с утверждёнными параметрами и цифровым сертификатом, который предварительно создаётся и подписывается секретным ключом, с помощью открытого программного обеспечения OpenSSL:

1) Создание секретного ключа с парольной фразой:

```
#openssl genrsa -des3 -out priv_squid.key 2048
Generating RSA private key, 2048 bit long modulus
.....+++
...+++
e is 65537 (0x10001)
Enter pass phrase for priv_squid.key:
Verifying - Enter pass phrase for priv_squid.key:
```

2) Удаление парольной фразы секретного ключа:

```
#openssl rsa -in priv_squid.key -out pub_squid.key
Enter pass phrase for priv_squid.key:
writing RSA key
```

3) Генерация запроса на получение сертификата (CSR):

```
#openssl req -new -key pub_squid.key -out squid.csr
-----
Country Name (2 letter code) [XX]:RU
State or Province Name (full name) []:SAINT-PETERSBURG
Organization Name (eg, company) [Default Company Ltd]:BONCH-BRUEVICH
Organizational Unit Name (eg, section) []:ZSS
```

4) Создание сертификата:

```
#openssl x509 -req -days 3650 -in squid.csr -signkey pub_squid.key -out cert_squid.crt
Signature ok
subject=/C=RU/ST=SAINT-PETERSBURG/O=BONCH-BRUEVICH/OU=ZSS/
Getting Private key
```

5) Генерация корневого сертификата для клиентских приложений:

```
#openssl x509 -in cert_squid.crt -outform DER -out br_squid.der
```

6) Создание файла параметров, для использования шифров DH/EDH:

```
#openssl dhparam -outform PEM -out dhparam.pem 4096
```

7) Обновление базы сертификатов и назначение уровня доступа:

```
/usr/lib64/squid/ssl_crt -c -s /etc/squid/mycert/ssl_db  
#chown -R squid /etc/squid/mycert/ssl_db
```

Клиент проверят присланный сертификат и, если информация о данном сертификате отсутствует, то он получает уведомление от клиентского приложения, об использовании недействительного сертификата безопасности. Для предотвращения повторного появления подобного сообщения, предварительно созданный сертификат `br_squid.der` (5), вручную добавляется в клиентское приложение или используется технология автоматического получения настроек (WPAD).

На следующем этапе, используя алгоритмы шифрования AES или Диффи – Хелмана, прокси-сервер выполняет обмен открытыми ключами, для создания сеансового ключа, который отвечает за шифрование и дешифрование передаваемых данных.

Для реализации обработки HTTPS трафика прокси-сервером, в конфигурационный файл `squid.conf` вносятся следующие поправки:

1) Ретрансляция HTTPS трафика в пересылающем режиме:

```
http_port 192.168.1.183:3128 ssl-bump generate-host-certificates=on dynamic_cert_mem_cache_size=4MB cert=/etc/squid/mycert/cert_squid.crt  
key=/etc/squid/cert/pub_squid.key options=NO_SSLv3:NO_SSLv2  
tls-dh=prime256v1:/etc/squid/mycert/dhparam.pem
```

2) Ретрансляция HTTPS трафика в прозрачном режиме:

```
https_port 3129 intercept ssl-bump generate-host-certificates=on dynamic_cert_mem_cache_size=4MB cert=/etc/squid/mycert/cert_squid.crt  
key=/etc/squid/mycert/pub_squid.key options=NO_SSLv3:NO_SSLv2  
tls-dh=prime256v1:/etc/squid/mycert/dhparam.pem
```

3) Оптимизация обработки HTTPS трафика:

```
always_direct allow all  
sslcrt_d_program /usr/lib64/squid/ssl_crt -s /etc/squid/mycert/ssl_db -M 4MB  
ssl_bump server-first all  
sslproxy_cert_error allow all  
sslproxy_flags DONT_VERIFY_PEER
```

По окончании проделанной работы, необходимо удостовериться, что прокси-сервер выполняет перенаправление HTTP/HTTPS трафика, открыв

текстовым редактором файл access.log, вывод которого изображен на рис. 2.

```
192.168.1.85 TAG_NONE/200 0 CONNECT yandex.ru:443 - HIER_DIRECT/77.88.55.77 -
192.168.1.85 TCP_MISS/200 349 GET https://yandex.ru/clck/click/dtype=stred/pid=
```

Рис. 2. Перенаправление HTTP/HTTPS трафика прокси-сервером

В результате проведенного исследования, удалось реализовать веб-шлюз для обработки открытого и шифрованного веб-трафика. В дальнейшем может использоваться для фильтрации URL – запросов и инспектирования вредоносных файлов.

Список используемых источников:

- 1) RFC 5246 – The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2.

*Статья представлена научным руководителем,
старшим преподавателем СПбГУТ Кирилловым Д. И.*

УДК 654.173

К. А. Ахрамеева (кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ)
С. А. Скородумов (студент, СПбГУТ)

SteganRTP В IP-ТЕЛЕФОНИИ

В статье рассматривается использование метода цифровой стеганографии SteganRTP в IP-телефонии для просмотра входящего потока, или пересылки RTP пакетов на необходимое устройство, для дальнейшего погружения скрытой информации и ее извлечения. Предоставляется описание программы в нескольких режимах работы, что дает вариативность в использовании данного метода. Приведен анализ достоинств и недостатков метода, а также выявленные особенности и технические требования для использования программы.

SteganRTP, RTP, IP-телефония.

SteganRTP – это метод выборочного вложения скрытых данных, разработанный на основе передачи RTP пакетов для создания скрытой выделенной линии [1]. Метод включает в себя не только правила вложения, но и определенные алгоритмы, включенные в программу, которая позволяет проводить анализ встраивания информации в RTP пакеты, избегая возможного обнаружения.

Программа предоставляет два режима работы. Первый режим (см. рис. 1) описывается как локально запущенная программа на узле в

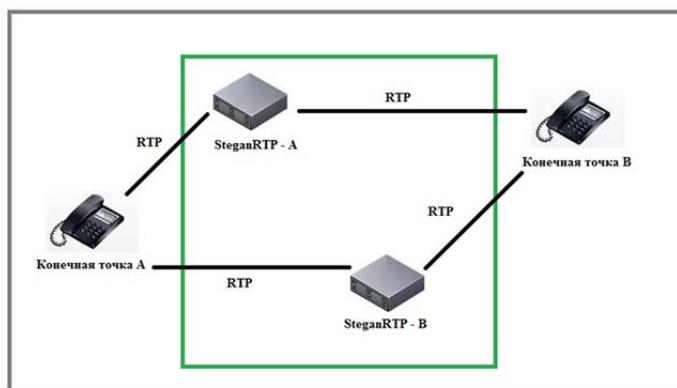


Рис. 1. Локальный режим работы программы накопления “пользовательского опыта”. В следствие чего путем взаимодействия непосредственно с сетевым стеком легитимной операционной системы будет происходить забор желаемых потоковых пакетов [2].

Сначала приложение начинает выполнять инициализацию (см. рис. 3), путем создания внутренних структур памяти и используя информацию

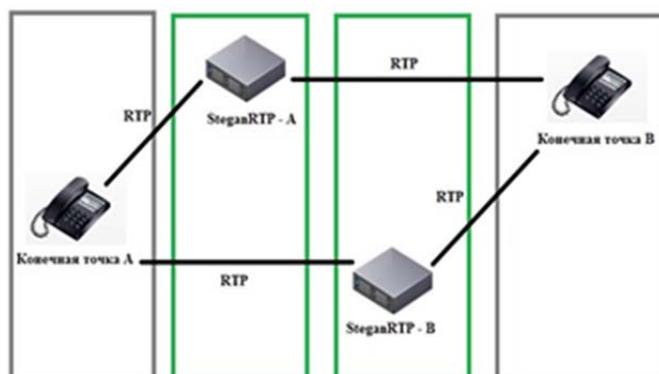


Рис. 2. Режим работы MITM (Man-In-The-Middle)

о конфигурации из командной строки. Затем алгоритм переходит к просмотру сетевого трафика, пока не идентифицирует RTP сеанс, ограниченный командной строкой пользователя. Эти ограничения включают в себя контроль и выбор RTP сеансов между конкретными конечными точками пользователя. После идентификации RTP сеанса, приложение SteganRTP подстраивается в сетевой стек хоста, чтобы получить необходимые пакеты по их прибытию. Из сетевого потока приложение считывает и находит необходимые пакеты и перехватывает их. Является ли пакет входящим или исходящим, определяет дальнейший ход приложения. Это определение поступает из того, какой порт конечной RTP точки используется, “локальный” или “удаленный”.

Когда исходящий RTP пакет считывается, приложение SteganRTP анализирует поток на сообщения, ожидающие немедленной отправки. Если нет такого сообщения, пакет сразу отправляется без изменений. Если такое сообщение есть, оно считывается из файлового дескриптора, упаковывается, шифруется, а затем при помощи стеганографии встраивается в поле полезной нагрузки RTP пакета. Измененный RTP пакет затем посылается вместо исходного.

При считывании входящего RTP пакета из потока, он копируется для использования приложением, а исходный пакет немедленно отправляется

качестве конечной точки RTP. Второй режим (см. рис. 2) описывается как запущенная программа на промежуточном узле маршрута от одной RTP точки к другому устройству. Данная реализация позволяет выдать промежуточное устройство за идентичного оконечного пользователя, независимо от режима работы, путем

о конфигурации из командной строки. Затем алгоритм переходит к просмотру сетевого трафика, пока не идентифицирует RTP сеанс, ограниченный командной строкой пользователя. Эти ограничения включают в себя контроль и выбор RTP сеансов между конкретными конечными точками пользователя. После идентификации RTP сеанса, приложение

обратно в поток. Все полученные входящие пакеты считаются потенциально вложенными сообщениями, поэтому эти сообщения затем извлекаются из каждого входящего пакета на приемной стороне. Если контрольная сумма верна, то пакеты отправляются на дальнейшую обработку.

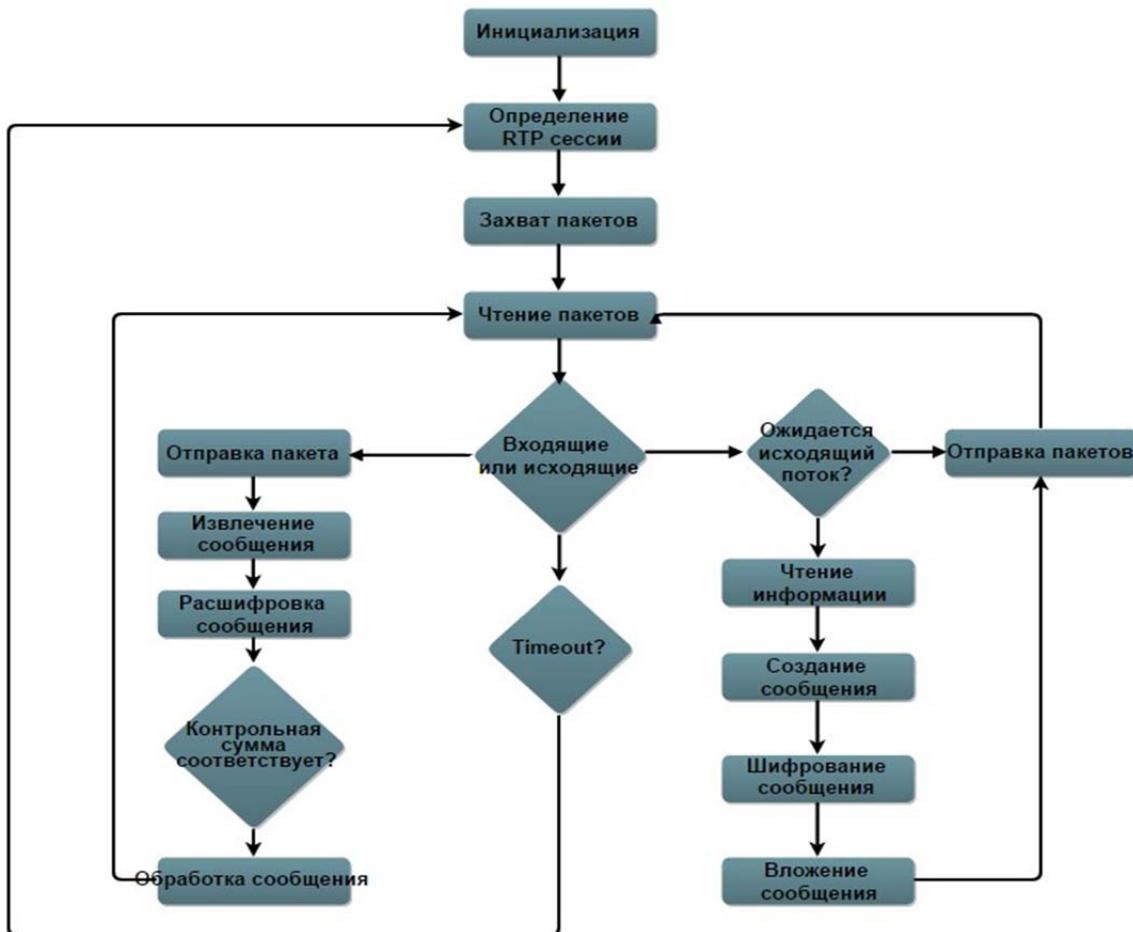


Рис. 3. Алгоритм работы SteganRTP

Следующий шаг включает в себя анализ потока на сообщения, ожидающие немедленной отправки. Если нет такого сообщения, пакет сразу отправляется без изменений. Если такое сообщение есть, оно считывается из файлового дескриптора, упаковывается, шифруется, а затем при помощи стеганографии встраивается в поле полезной нагрузки RTP пакета [3]. Измененный RTP пакет затем посылается вместо исходного.

При запуске, приложение SteganRTP сначала инициализирует различные структуры памяти, такие как кэш сообщения, настройки конфигурации и структуру RTP сессии. Наиболее примечательна задача, выполняемая на этапе инициализации – это вычисление ключа, используемого различными компонентами. Метод, выбранный для создания этого ключа, заключается в создании хэш-функции размером 20 байт типа SHA-1, которым пользователь обменивается секретной текстовой строкой. Эта операция нужна для использования ключа в различных компонентах системы

SteganRTP, а также этот общий ключ должны получить оба устройства SteganRTP, которые хотят общаться между собой.

Список используемых источников

1. Melina Marcela Pontón Loaiza. Steganography using RTP packets [Электронный ресурс] // MSc. Ethical Hacking & Computer Security. 2013–2014. URL: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1677/1/T-SENESCYT-00795.pdf>
2. Real-time Steganography with RTP. [Электронный ресурс] // Iruid, C2ISSP. 2007. URL: <http://www.uninformed.org/?v=8&a=3&t=pdf>
3. Небаева К. А., Скородумов С. А. Стеганография в IP-телефонии и сложности ее реализации [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научных статей / под ред. С. В. Бачевского. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 494–498. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/5apino/apino2016.pdf>

УДК 621.395

И. А. Байдин, Ж. М. Марат (магистранты, СПбГУТ)

Б. С. Гольдштейн (доктор технических наук, профессор, СПбГУТ)

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОЙ СВЯЗИ

Статья начнется с определения сельских и отдаленных районов, а также их характеристики. Далее будет дана демографическая статистика сельских и отдаленных районов по сравнению с городскими. Представлен план развития программ и услуг трех исследовательских периодов. В статье будет приведен пример нового подхода модернизации системы сельской связи, а именно предоставление VoIP и широкополосного доступа поверх PLC, используя WiMAX в качестве носителя.

сельские и отдаленные районы, беспроводная связь, проводная связь, уровень доступа интернета, беспроводные абонентские линии, PLS, WiMAX, VoIP.

Проникновение широкополосной связи в развивающихся странах значительно хуже в сельских и отдаленных районах. что показатель охвата мобильной сотовой связью сельского населения в мире достиг почти 90 % [1] в большинстве случаев они покрыты мобильными 2G/2.5G службами связи, включая СМС. Реальная ситуация в сельских и отдаленных районах развивающихся стран, включая наименее развитые страны и развивающиеся страны, не имеющих выхода к морю, значительно отличается.

Можно проанализировать работу МСЭ, поскольку это коллективный распределенный институт, собирающий сведения сельской связи о дальнейших путях её развития.

Определение сельских и отдаленных районов даётся в [2] следующим образом.

Сельские и отдаленные районы, расположены вдали от крупных городов и в основном не сильно населенных, в сравнении с городскими и пригородными районами. В некоторых странах такие районы определяются как районы, которые имеют население менее 2 500. Сельские районы в зависимости от большой сельскохозяйственной деятельности могут быть охарактеризованы следующим:

1) проблемы географического доступа из-за расстояния, рельефа местности, низкого качества дорожной/транспортной сети и удаленность некоторых сельских общин;

2) отсутствие или несоответствующий уровень базовой инфраструктуры, например, непрерывного электроснабжения;

3) отсутствие надлежащей телекоммуникационной инфраструктуры;

4) высокая стоимость физического доступа и установки оборудования, обусловленного сочетанием вышеупомянутых проблем географического характера;

5) низкий уровень информированности (если такое имеется) о преимуществах современных телекоммуникационных продуктов, ведущее к низкому текущему спросу в некоторых областях;

6) и иные причины.

Демографическая статистика показывает относительное ухудшение благосостояния сельских и отдаленных районов по сравнению с городскими районами. По оценкам почти половина населения земного шара находится в сельской местности, согласно статистическим данным отдела народонаселения организации объединенных наций (2014) [3], как показано на рис. 1–3, в 2005 г. большая часть мирового населения переместилась из сельской местности в городскую.

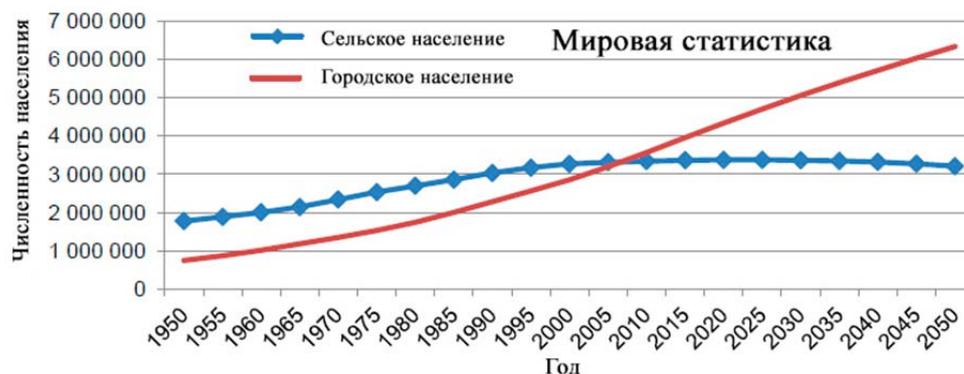


Рис. 1. Тенденции в изменении численности мирового населения, сельское население в сравнении с городским



Рис. 2. Тенденции в изменении численности населения Африки, сельское население в сравнении с городским

Изучая регионы, в Африке проникновение интернета составляет 19 % [4], этот сдвиг продолжается и к 2040 г. сельское население, по прогнозам, превзойдет городское население.

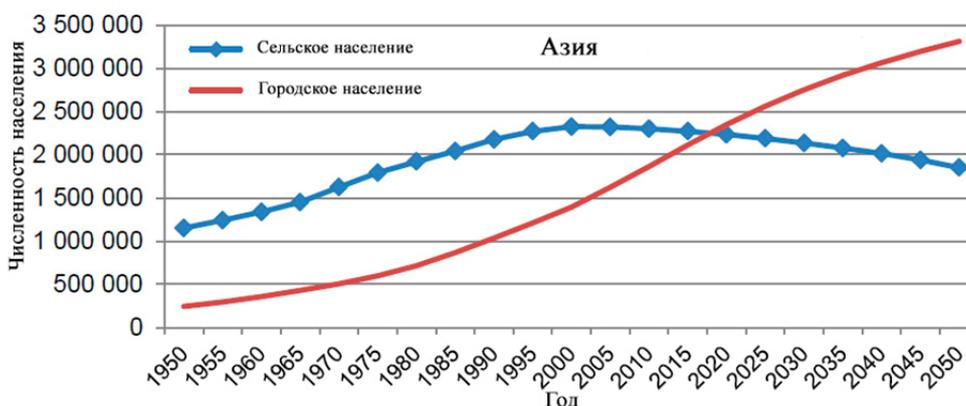


Рис. 3. Тенденции в изменении численности населения Азии, сельское население в сравнении с городским

Также и в Азии, где проникновение интернета находится на предпоследней строчке 32,4 % [4].

Эти цифры свидетельствуют о том, что сельские и отдаленные районы по-прежнему остаются не подключенными к интернету, они сталкиваются с проблемами привлечения инвестиций и возможность широкополосного доступа для сельского населения должно быть одним из ключевых элементов, препятствующих такому сильному оттоку населения.

Вопрос «Электросвязь для сельских и отдаленных районов» [2] изучался исследовательской группой ITU-D в течении 12 лет, начиная с 2002 г. Изучая эти 12 лет темы и предметы исследований можно заметить проблемы и вопросы в исторической перспективе: что изменилось, а что осталось прежним. Исходя из этого, можно получить опыт из существующих проектов и работ в сельских и отдаленных районах: что являлось основными проблемами и задачами в сельских и отдаленных районах в развивающихся странах.

Рис. 4 содержит три диаграммы, показывающие распределение применений, которые будут реализованы в проектах. Анализ диаграмм показывает, во-первых, что нет изменений с точки зрения важности применения одних с другими. Переход с ISDN на ADSL и широкополосный доступ в течение 12 лет был продиктован особенностью технологии, тем не менее очевидно, что важность каждого применения для улучшения жизни в сельских и отдаленных районах остается прежним.

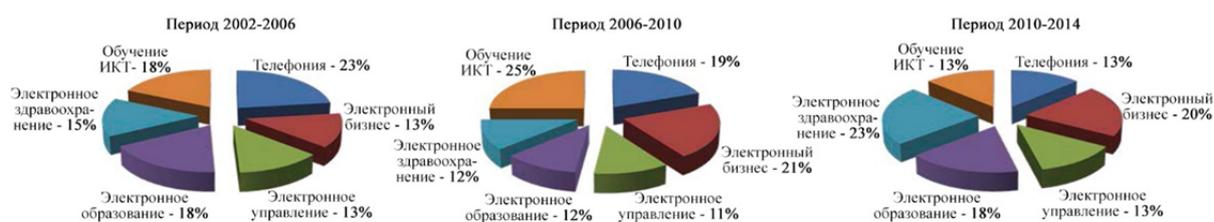


Рис. 4. Уровень применения услуг

При детальном рассмотрении диаграмм, можно заметить небольшое увеличение электронного здравоохранения и снижение телефонии, однако, сравнение показывает устойчивый процент случаев, связанных с каждой категорией.

Второе сравнение на рис. 5, это технологии, используемые с проектами в сельских и отдаленных районах. Можно заметить, что место, занимаемое спутниковыми системами, постепенно было занято беспроводными системами абонентского доступа, особенно это видно в период 2010–2014 гг.



Рис. 5. Используемые технологии

В качестве третьего сравнения на рис.6 были собраны периоды 2006–2010 гг. и 2010–2014 гг. Эти аспекты тесно связаны с широкополосным доступом в интернет.



Рис. 6. Динамика изменений использования технологий широкополосного доступа

Исследование, основанное на 12-летнем периоде сравнения планов применения и используемых технологий, показало, что важность применения не изменилась для большинства пользователей в сельских и отдаленных районах, даже если технологии или метод доступа был изменен. Это означает, что при планировании развития широкополосной связи в сельских и отдаленных районах прогнозирование в долгосрочной перспективе имеет важное значение. Развитие и обслуживание высокоскоростных сетей связи в сельских и отдаленных районах является долгосрочным последовательным усилием в помощи развития сельских и отдаленных районов.

Теперь рассмотрим один из вариантов обеспечения связью сельских и отдаленных районов, а именно применение технологий WiMAX и PLC и комбинацию обеих технологий (рис. 7).

Этот метод включает проверку предоставления услуг VoIP, согласно Рекомендации H.323, и широкополосного доступа поверх PLC, используя WiMAX в качестве носителя.

Для этого используется Привратник в качестве маршрутизатора, для того чтобы услуга VoIP, предоставляемая поверх PLC в системе WiMAX, имела такие же характеристики, как линия абонентского доступа, с использованием Ethernet вместо WiMAX для доступа и PLC для ЛВС в электрической цепи низкого напряжения объекта.

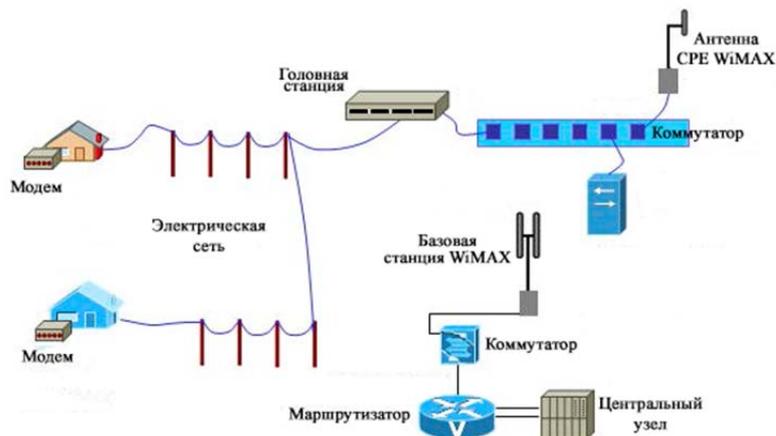


Рис. 7. Подробная информация об установке линии WiMAX–PLC

Это новая возможность межсетевых соединений, экономически ценная в сельских районах, где требование предоставления услуг передачи речи и доступа к широкополосным услугам в деревнях, не имеющих телефонной инфраструктуры, но имеющих инфраструктуру электрических сетей, благодаря своей капиллярности позволяет предлагать эти услуги в любом месте.

Список используемых источников

1. ITU (2014) [Электронный ресурс] // Measuring the Information Society Report (2014). URL: http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS_2014_without_Annex_4.pdf.
2. Final Report QUESTION 10-3/2 [Электронный ресурс] // Telecommunications/ICTs for rural and remote areas. URL: <http://www.itu.int/pub/D-STG-SG02.10.3-2014>.
3. United Nation [Электронный ресурс] // Population Division "World Urbanization Prospects, the 2014 revision". URL: <http://esa.un.org/Unpd/Wup/CD-ROM/Default.aspx>.
4. ITU [Электронный ресурс] // Statistics, estimate for 2014. URL: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>.

УДК 621

Д. Д. Бекмамбетова (студентка, СПбГУТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА КВАРТИРНОГО СЕКТОРА

Работа, результаты которой приведены в настоящей статье является частью исследований, цель которых – разработка математической модели трафика квартирного сектора крупного города.

Статья содержит результаты анализа трафика одной квартиры, его вероятностно-временные характеристики, анализ поведения трафика в течение выбранного промежутка времени.

трафик, распределение, статистический анализ сетевого трафика, TCP, сессия, длительность, объём, гистограмма, коэффициент вариации.

Введение

Характер и свойства трафика, поступающего на вход современных сетей связи, в отличие от трафика классических телефонных сетей, изучены еще недостаточно, однако эти знания весьма важны для эффективного управления сетью, оптимизации структуры сетей и планирования их развития.

Изучение вероятностных характеристик трафика, законов его поведения, формирование математической модели позволит моделировать и прогнозировать на перспективу характер трафика, как на существующих, так и на строящихся сетях связи и осуществлять более рациональное их планирование и управление.

Для отработки методологии исследований была предпринята попытка изучения трафика одной квартиры.

Для достижения указанной цели, были сформулированы следующие задачи:

- разработать методологию анализа трафика;
- разработать схему стенда, обеспечивающего сбор трафика;
- выбрать конкретные характеристики трафика, подлежащие анализу;
- провести статистическую обработку собранных данных;
- Провести технический анализ полученных результатов.

Этапы исследования

На первом этапе требовалось разработать универсальную систему сбора данных о трафике. Для анализа трафика, недостаточно одной, случайно взятой порции трафика, трафик нужно собирать постоянно и анализировать в динамике. Решено было каждые сутки собирать данные в отдельные файлы на протяжении одного месяца для дальнейшего анализа.

В соответствии с этой методологией была создана схема стенда (рис. 1), обеспечивающая сбор трафика.

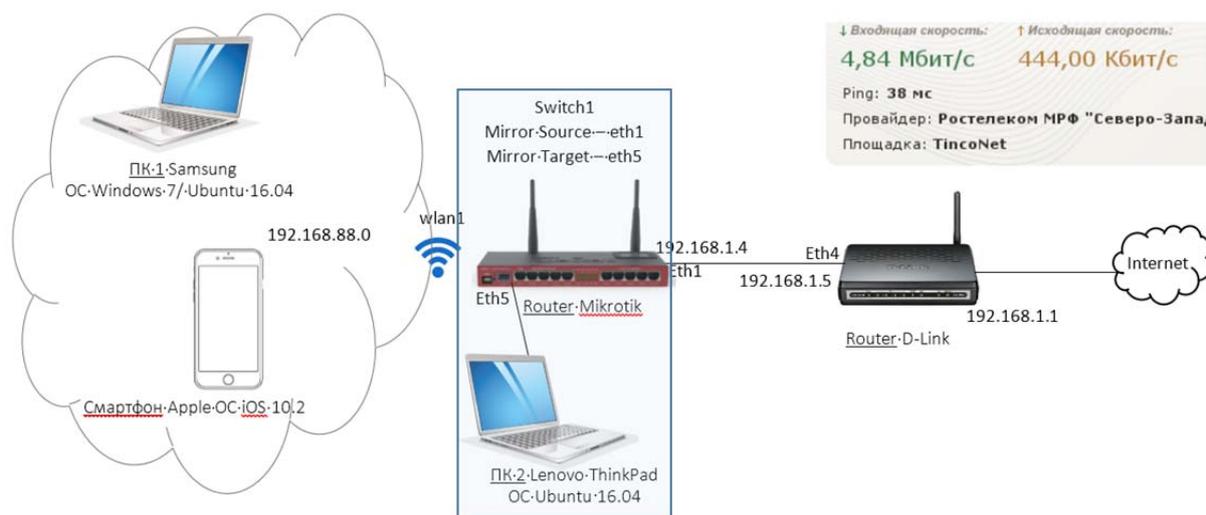


Рис. 1. Структурная схема стенда

Зоной, проводимого эксперимента, стала квартира, в которой уже имелась точка доступа Router D-Link, которая обслуживала 2 объекта (ПК1 и смартфон), регулярно выходящих в Интернет. На имеющемся роутере был отключён WiFi, и врезан между источниками нагрузки и точкой до-

стуга установлено дополнительное оборудование (роутер Mikrotik и ПК2), с помощью которого производилась запись трафика, путём зеркалирования потока данных с одного порта роутера Mikrotik на другой [1]. Трафик записывался с использованием утилиты «tcpdump».

Указанное оборудование является компактным, легко транспортируется и встраивается в любую уже существующую сеть. Поэтому описанную выше систему сбора трафика можно считать достаточно универсальной.

Далее, на следующем этапе, необходимо было определить наиболее существенные характеристики трафика, подлежащие дальнейшему анализу.

Было принято решение анализировать только входящий трафик, т. к. он составляет 97 % от объёма всего трафика, и только трафик TCP, поскольку он является преобладающим.

Было принято во внимание также то, что протокол TCP [2], в отличие от UDP, оперирует понятием «сессии», что приводит к аналогии с понятием «разговор» в телефонии.

Сессии TCP имеют начало и конец и могут быть использованы для анализа таких характеристик, как длительность сессий и объём передаваемых в них информации.

Анализ данных

На протяжении месяца каждый день собирались данные о трафике. Была выбрана шкала для исследования длительности и объёма сессий. (Дальнейший действия идентичны для обоих исследуемых параметров, поэтому далее, в качестве примера, рассмотрен анализ длительности сессий.)

В соответствие с выбранной шкалой были построены гистограммы (рис. 2). Каждый столбец гистограммы иллюстрирует, сколько было сессий длительностью до 1, 10, 30 сек, и т. д. за одни сутки. Проанализировав гистограммы за все анализируемые, дни можно оценить, насколько устойчива картина поведения трафика ото дня ко дню.

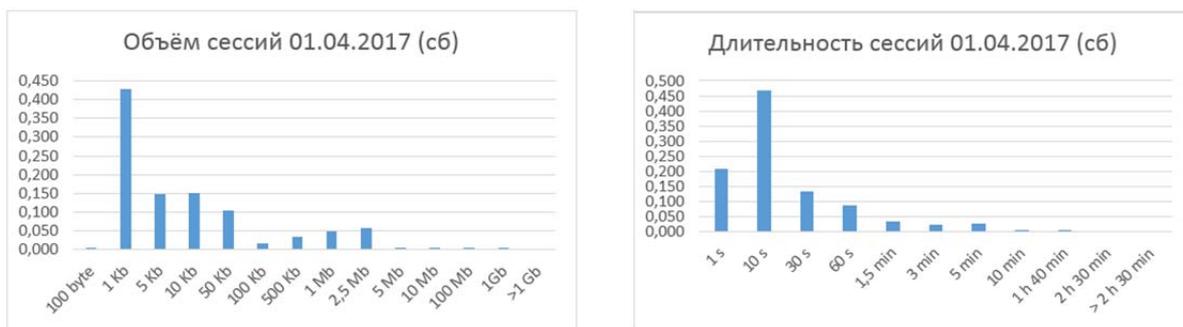


Рис. 2. Гистограммы характеристик трафика за один день

Проанализировав каждую из указанных случайных величин в течение месяца (рис. 3), можно оценить, каково распределение количество сессий, с заданной характеристикой.

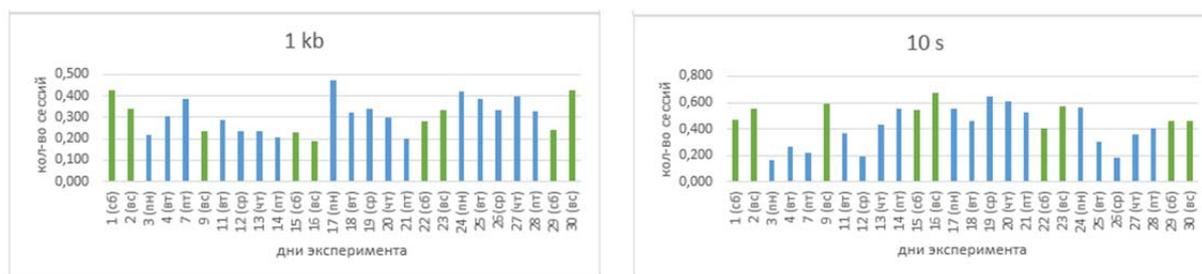


Рис. 3. Гистограммы характеристик трафика за месяц

Для наибольшей наглядности на построенных графиках (рис. 4) отображены значения максимума, минимума, среднего, медианы и коэффициента вариации за 30 дней. Т. е., например, если взять сессию до 10 секунд, то максимальная доля сессий с таким объёмом за все дни = 0,7.

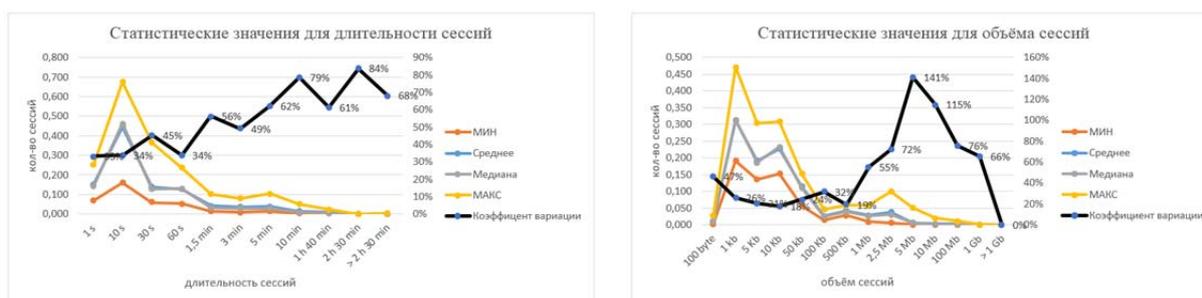


Рис. 4. Статистические значения для длительности и объёма сессий

Из анализа графиков, построенных на основе трафика, порождаемого квартирой, в которой проводился эксперимент, следует, что:

- Наиболее часто встречаются сессии объёмом до 1 Kb и длительностью до 10 сек.
- Коэффициент вариации имеет наименьшее значение для сессий длительностью до 1 секунды, до 10 и до 60 сек, объёмом от 100 байт до 500 Kb.
- Наблюдается высокая вариативность анализируемых характеристик.
- Особенно следует отметить устойчивую близость среднего значения и медианы для всех градаций шкал на протяжении всех дней. Это может свидетельствовать о симметричности изучаемых характеристик.

Заключение

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Исследуемые характеристики обладают высокой вариативностью в течение периода исследований.
- Наблюдается устойчивая близость соответствующих средних значений и медианы.
- Чем меньше размер сессии и чем она короче, тем больше таких сессий, и наоборот, длинные и объёмные сессии составляют 1 % от всего количества сессий.
- В данном эксперименте для данной квартиры наиболее характерны сессии объёмом до 10 Кб и длительностью до 10 сек, для этих сессий коэффициент вариации является наименьшим.
- Период 30 дней сбора данных является недостаточным.

Дальнейшие направления исследований:

- Увеличение продолжительности проведения эксперимента.
- Проведение эксперимента на большем количестве объектов, т. е. аналогичных квартир.
- Исследование закономерностей, которые приводят к корреляции трендов исследуемых параметров.

Список используемых источников

1. Mikrotik documentation // [Электронный ресурс] / Руководства: Возможности чипа коммутации. URL: https://wiki.mikrotik.com/wiki/Руководства:Возможности_чипа_коммутации (дата обращения 25.06.2017).
2. Postel J. Transmission Control Protocol: RFC 793. 1981.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Гойхманом В. Ю.*

УДК 4.056

О. М. Виноградова (студентка, СПбГУТ)

ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА АДАПТИВНОЙ САМОРАЗВИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ SSP_AI

Целью данного научного проекта является разработка технологии вложения самомодифицирующегося кода для реализации информационной системы с встроенными функциями информационной безопасности, моделей и методик построения адаптивных средств в составе систем защиты информации, учитывающих изменения множества угроз, условий эксплуатации и ориентированных на специфику процессов, собственных средствам анализа данных в режимах функционирования программного обеспечения

защита информации, адаптивные системы, стеганография, искусственный интеллект, сети связи.

В связи с острой необходимостью защищённость компьютеров были созданы системы, которые опознают подозрительную сетевую активность программ. В случае совпадения с ситуацией, определенной экспертом как потенциально опасной, система предлагает пользователю прекратить действия вероятно вредоносного программного обеспечения и убрать все произведенные им модификации и действия.

Методы SSP_AI [4] могут брать за основу при построении целостной системы безопасности или же могут быть реализованы отдельно, для поиска или оптимизации процесса. Нередко разные методы комбинируются, дополняя друг друга по функционалу. Теперь, когда спектр задач обозначен, рассмотрим методы искусственного интеллекта и решаемые с их помощью вопросы защиты информации.

Собирая общую картину представления интеллектуальной системы по защите информации, следует уделить внимание составляющим компонентам данного комплекса. Прежде всего, стоит уделить внимание названию данного проекта и выделить его цель. В целом, РИ должен представлять собой многоагентную систему, которая бы обладала самоорганизующимся поведением, которое, суммарно, должно проявлять некоторое разумное поведение. Проект SSP_AI делится на три части: SSP_SMC, SSP_CPC, ISSM_SSP.

SSP_SMC – специальный программный комплекс самомодифицирующихся приложений и кодов в составе искусственного интеллекта SSP_AI. Прежде всего, следует указать акцент развития SSP_AI как многозадачной операционной системы с гибридным типом ядра. Здесь важно понимать, что дальнейшая разработка всего проекта будет основываться и поддерживаться на разных платформах и обрабатывать различные элементы по передаче данных и систем защиты информации.

В работах [1, 3] имеется следующее представление действия SSP_SMC, а именно, график, представленный на рис. 1 показывает, что при использовании замен хог-тов, риска обнаружения стеговложения значительно меньше при использовании любого количества операторов, замен операторов и генераций самомодифицирующегося кода.

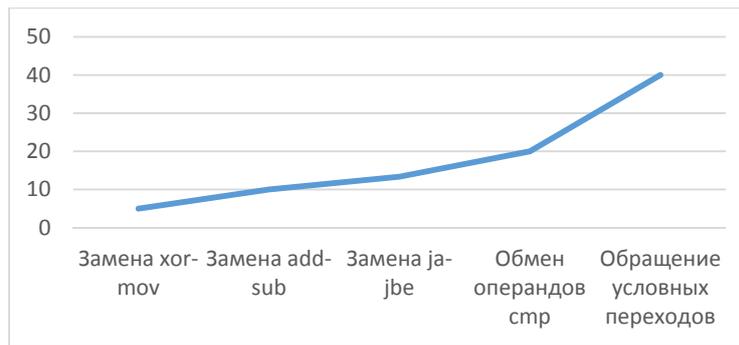


Рис. 1. Возрастание общего количества рисков обнаружения стеговложения в исполняемых файлах

Имея вышеперечисленные параметры [2] необходимо построить соответствующий алгоритм порядка действий, при котором будет показан общий путь стеговложения (рис. 2а).

Указанное пороговое значение нарастания присутствия СМК $k_{\text{СМК}}$ (коэффициент присутствия СМК) позволяет устанавливать необходимое значение для используемых величин $N_{\text{бит}}$ (количество обрабатываемой информации в битах), что позволит потом ориентироваться на значение S_n . Определив зависимость характеристик вложения на примере некоторых заранее известных данных о вложенной информации, возможно, применить, например, замену цепочек NOP, где в обработку уйдет небольшой объем, который даст результат [5], согласно которому, при 100 % наполненности исполнимого файла вложением, 40 % данных возможно оставить незаметным при общем параметре $F = 45\%$ (алгоритм на рис. 2б).

Имея формулу (3) можно сопоставить значения F и выразить их для расчета коэффициента $k_{\text{СМК}}$. Поскольку параметры связаны на общее взаимодействие с обменами битами в исполняемых файлах, то и от этих параметров может зависеть любое изменение F , потому что там имеется значение S_n .

$$k_{\text{СМК}} = e^n F, \quad (1)$$

где e^n – экспоненциальная функция для проверки эффективности стеговложения. Однако любые полученные при этом данные не позволят вывести результата в график зависимости для P . Поэтому предлагается преобразовать полученные вычисления для P .

$$P(t) = \sum_{n=1}^{\infty} k_{\text{СМК}}. \quad (2)$$

Формула (2) будет отвечать за прогнозирование распространения СМК по ЛВС, где имеются потенциальные исполняемые файлы для стеговложения. Это означает, что коэффициент $k_{\text{СМК}}$ будет оказывать влияние на степень распространения СМК (все величины информации указаны в битах (см. рис. 3).

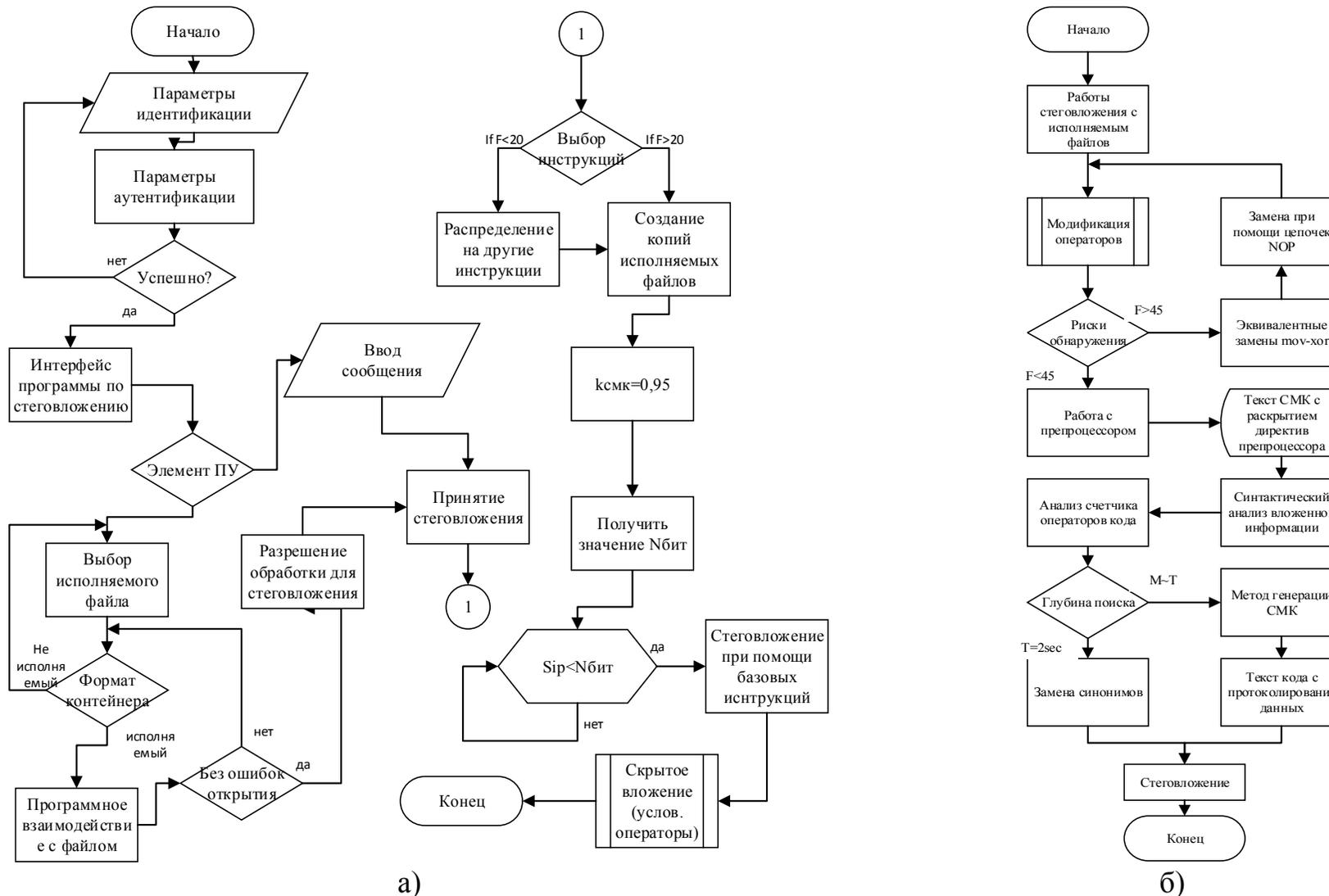


Рис. 2. Блок-схемы а) работы программных приложений для внедрения стеговложения в исполняемые файлы и б) алгоритма понижения рисков обнаружения стеговложения при использовании техники генерации СМК

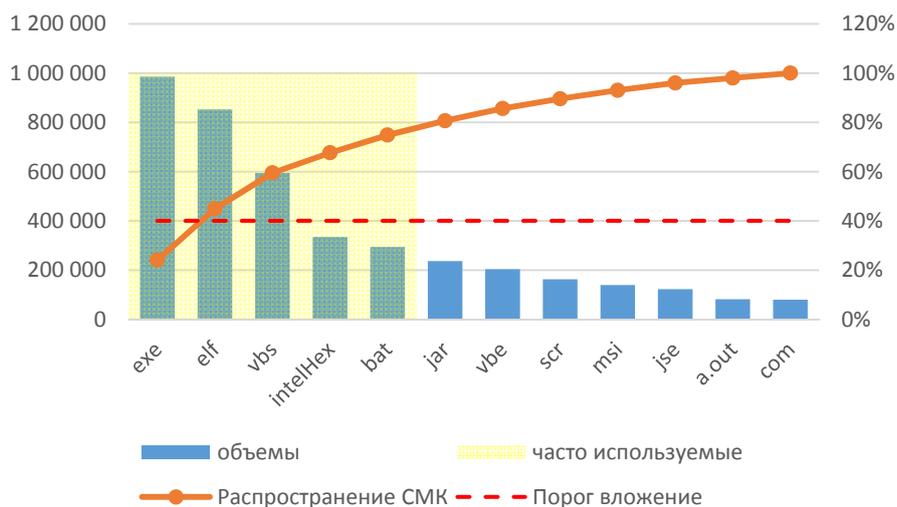


Рис. 3. Анализ распространение СМК по прогнозированию P

Определив вложение ЦВЗ в исполняемый файлы как главный критерий и цель функционирования СМК, следующей нашей задачей будет не только создание концептуальной модели работы СМК в информационной системе, но и создание предпосылок для внедрения данной модели в одну из главных функций программного комплекса SSP_AI.

Потому в рамках проекта необходимо было разработать программу управления, которая в последствии приобрела название – SSP_CPC (Stanislav Shterenberg Program – Central program control). На этой стадии были определены следующие основные задачи:

- 1) Разработка модели распространения самомодифицирующегося кода в защищаемой информационной системе.
- 2) Разработка модуля поисковой системы.
- 3) Разработка MVC, что расшифровывается как model-view-controller (модель-представление-контроллер).

Процесс управления ЛВС на основе краткосрочного прогнозирования распространения самомодифицирующегося кода по узлам сети может быть представлена в виде замкнутого цикла, состоящего из отдельных фаз (рис. 4). Первые четыре фазы определяют цикл обработки и анализа информации, а остальные – цикл управления.

Цикл обработки и анализа информации решает задачи обобщения, обработки и определения состояния распространения СМК [3, 6] по узлам сети в определенный момент времени, передачи данной информации в центр управления сетью (ЦУС). Цикл управления отвечает за прогнозирование распространения СМК по узлам сети и принятие соответствующего решения в условиях полученных данных.

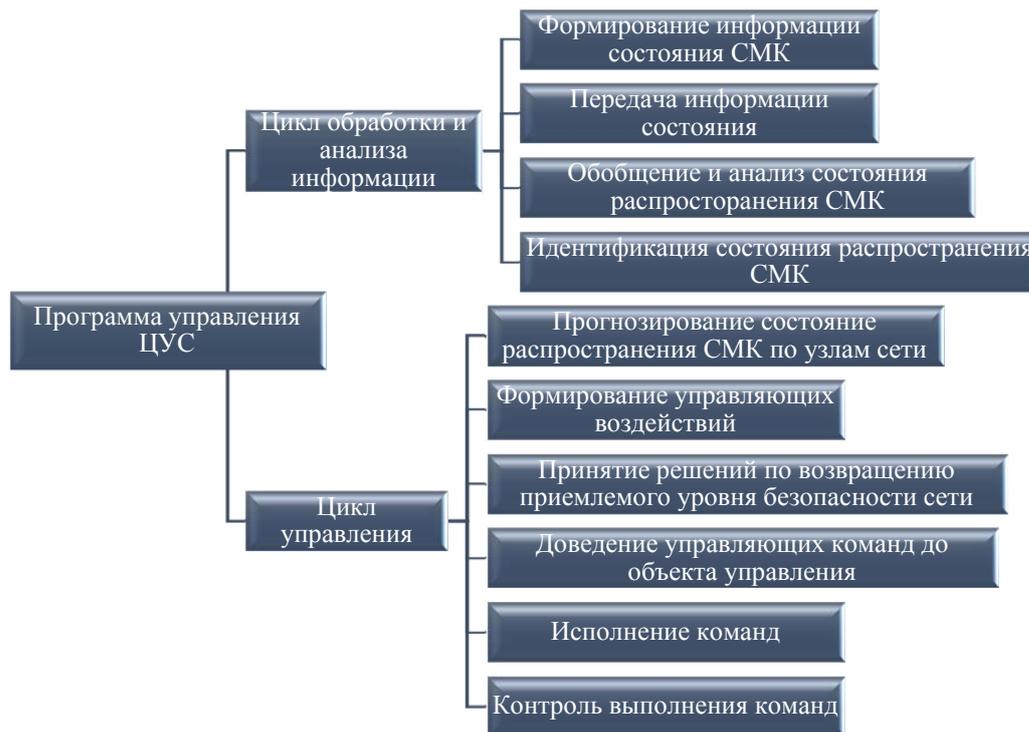


Рис. 4. Процесс управления ЦУС ЛВС

Для оценивания эффективности применения разработанных в исследовании методов управления используется имитационная модель функционирования. Для этих же целей его можно использовать и исследователю для оценивания эффективности разработанных методов управления.

Общая структура SSP_AI иллюстрирует в некотором смысле систему роевого интеллекта, причем здесь наблюдается сочетание МРЧ и АВС методов в одном, потому что данная адаптивная система имеет на вооружение несколько компонентов программы с разными функциями. Первоначально SSP_AI разрабатывается как система защиты информации. Здесь важно наличие программы управления над ресурсами адаптивной системы SSP_AI.

Полученные результаты успешно внедрены в учебно-методический комплекс дисциплин «Компьютерные вирусы» и «Технологии программной защиты в Интернете» (тематический план, планы проведения занятий, текст лекций, задания на семинары и другие учебно-методические материалы) внесены соответствующие изменения. Результаты реализации в учебном процессе ВУЗов СПбГУТ и СПбГУПТД.

Перспективными задачами исследования является дальнейшее совершенствование разработанной программной реализации комплекса самоодифицирующихся программ для реализации защиты информации от нарушений целостности и несанкционированного копирования данных, а также доработка решений за счет внедрения элементов стеганографии в предлагаемые методы повышения безопасности.

Список используемых источников

1. Штеренберг С. И. Методика применения в адаптивно системе локальных вычислительных сетей стеговложения в исполнимые файлы на основе самомодифицирующегося кода // Системы управления и информационные технологии. 2016. Т. 63. № 1. С. 51–54.
2. Андрианов В. И., Романов Г. Г., Штеренберг С. И. Экспертные системы в области информационной безопасности // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: материалы IV Международной научно-технической и научно-методической конференции: сб. науч. ст. в 2 т. СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 193–197.
3. Штеренберг С. И. Общее представление проекта адаптивной интеллектуальной системы A_RPA // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 5. С. 50–57.
4. Штеренберг С. И. Программно-аппаратный комплекс средств защиты информации на основе самомодифицирующихся приложений SSP_AI (Stanislaw Shterenberg program – Artificial intelligence): отчёт о НИР // Сборник трудов «Двадцать первая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов». СПб., 2016. 190 с.
5. Shterenberg S. I., Krasov A. V., Ushakov I. A. Analysis of using equivalent instructions at the hidden embedding of information into the executable files // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2015. V. 80. N 1. pp. 28–34.
6. Красов А. В., Левин М. В., Штеренберг С. И., Исаченков П. А. Модель управления потоками трафика в программно-определяемой сети с изменяющейся нагрузкой // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 4. С. 70–74.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом политических наук, доцентом СПбГУТ Штеренбергом И. Г.*

УДК 004.72 (004.77)

В. П. Гребенюк, Д. А. Ребров (студенты, СПбГУТ)

АНАЛИЗ СЕТЕЙ SDN КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

На данный момент сети SDN/NFV широко исследуются и развиваются. Применение программно-конфигурируемых сетей позволяет разделять функции передачи трафика от функций управления, контролировать как сам трафик, так и устройства, осуществляющие его передачу. С помощью протокола OpenFlow создается открытый, единый интерфейс между устройствами управления и передачи. В статье рассматривается сеть SDN/NFV как объект управления, а также сетевые элементы SDN и параметры которые необходимы для работы системы эксплуатационного управления.

OSS, SDN, программно-конфигурируемая сеть, NOS, NFV, OSS.

Сеть в классическом ее виде становится ограничивающим фактором развития вычислительной инфраструктуры. Традиционные сети статичны и не соответствуют быстрой динамике развития современного IT бизнеса. Возможности масштабирования традиционных сетей не соответствуют требованиям крупного бизнеса и сервис провайдеров (Google, Microsoft), а распределенное управление устройствами традиционных сетей слишком сложное и неэффективное [1]. Необходима новая технология или подход к построению информационных сетей позволяющая решить перечисленные выше проблемы. Такая технология есть и носит название – Software Defined Networking (SDN).

SDN – это сеть передачи данных, в которой уровень управления сетью отделен от устройств передачи данных и реализуется программно.

Классический сетевой роутер/коммутатор представляет из себя 3 в 1:

1) Уровень управления (CLI, встроенный веб-сервер или API и протоколы управления) Задача этого уровня обеспечить управляемость устройством.

2) Уровень управления трафиком. Задача – автоматическая реакция на изменения трафика, т. е. интеллект устройства.

3) Передача трафика. Функционал, обеспечивающий физическую передачу данных, уровень микросхем и сетевых пакетов [2].

Централизовав управление устройством и трафиком, получаем роутер или коммутатор, который обслуживает только поток данных (уровень передачи трафика Data Plane), становится более простым, а значит и более дешевым. Конечно, полностью лишать сетевое устройство интеллекта нельзя, но его достаточно заменить таблицей переадресации (forwarding table). Весь интеллект (Control Plane) переносится в отдельное центральное устройство называемое контроллером SDN.

Таким образом, архитектура сети *SDN* выглядит следующим образом:

- уровень приложений (SDN App);
- уровень контроллера (SDN Controller);
- уровень данных (SDN Datapath/SDN Switch).

Если рассмотреть более подробно информационные потоки в архитектуре SDN, можно заметить два основных направления обмена информацией: первый – между SDN приложениями и второй для управления физическими сетевыми устройствами. Первый поток получил название «северный мост», а второй «южный мост». В качестве «северного моста» выступает протокол на основе REST API – обмен информацией между контроллером и приложениями, а в качестве «южного моста» прижился протокол OpenFlow – между контроллером и устройствами.

В SDN вводится понятие сетевой операционной системы NOS, которая работает на отдельных серверах в сети (дублированных для надежности). Сервер NOS «общается» с каждым сетевым узлом и таким образом

получает глобальную топологию сети и представляет его для управляющей платформы сети в виде сетевого графа.

Кроме того, NOS отвечает за централизованное конфигурирование сетевых узлов. Управляющая платформа формирует параметры, которые применяются к конкретной сети через ее граф, извлеченный NOS. Таким образом, конфигурация сетевых узлов является, по сути, функцией сетевого графа. Механизм управления теперь сводится к определению политик работы сетевых узлов (изоляция пользователей, контроль доступа, QoS...). Однако, за реализацию этих политик на конкретной физической инфраструктуре сети управляющая программа не отвечает, это задача NOS. Можно сказать, что NOS выполняет ту же функцию, что и компилятор в программировании, преобразующий выражения языка высокого уровня в блоки машинных команд, которые понимает конкретное «железо» того или иного компьютера. Как сам компилятор не может создать программу, так же и NOS не формирует политики.

В архитектуре SDN глобальную топологию сети тоже можно вывести на уровень абстракции, чтобы обеспечить некие правила относительно того, кто с кем может связываться в сети, какой функционал доступен тому или иному пользователю и пр. Для этого в архитектуру плоскости управления SDN вводится еще один уровень – виртуализации сетевых функций NFV (Network Functions Virtualization). NFV реализует через сетевой граф такой функционал, как трансляция сетевых адресов (NAT), параметры межсетевых экранов (firewall), распознавание вторжений, службу доменных имен (DNS), кэширование и пр., забирая эти функции у «железа» сетевых узлов, тем самым, нивелируя особенности реализации на оборудовании различных производителей. Теперь эти функции можно реализовывать и конфигурировать программно, отсюда и название «программно-конфигурируемые сети».

Инфраструктура сети теперь состоит из хорошо определяемых и отслеживаемых модулей (уровней абстракции):

- сетевая виртуализация NFV;
- сетевая операционная система NOS;
- интерфейс для описания передачи пакетов (например, OpenFlow).

NFV и NOS тем не менее, представляют собой достаточно сложный программный код, но все проблемы теперь можно легко отслеживать, локализовывать и решать на соответствующем уровне. Теперь нужно заботиться лишь о том, ЧТО должно происходить в сети, а не о том, КАК сделать так, чтобы это происходило.

Таким образом, для управления сетью SDN/NFV достаточно изменить небольшую часть кода NOS или NFV. Часто говорят, что «SDN – сеть, работающая на базе протокола OpenFlow». При помощи этого протокола NOS переносит конфигурацию глобальной топологии сети (network view) на реальные физические устройства сети (маршрутизаторы, коммутаторы,

межсетевые экраны, пограничные контроллеры, контроллеры сети беспроводного доступа и пр.), а также получает информацию о глобальной топологии сети. Это не единственное возможное решение задачи, но на данный момент оно удовлетворяет требованиям современных сетей. Возможно, в будущем будет создано что-то другое, благо, что иерархичность и модульность «Control plane» теперь легко позволяет вводить такие усовершенствования. Таким образом, в сети формируются прямые сетевые соединения с минимальными задержками передачи данных и необходимыми параметрами.

Система поддержки операций OSS – это физическая система оператора. OSS занимается управлением сетью (network management), управлением при отказах (fault management), управлением конфигурацией (configuration management) и управлением услугами (service management) [3].

OSS включает набор систем и приложений, которые оператор использует для управления и поддержки бизнеса. NFV должна работать вместе с ней, а не автономно. Можно управлять функциями VNF от OSS непосредственно, расширением существующего функционала OSS, но это выливается в необходимость развертывания собственных реализаций вендора, что ведет к «вендорозависимости» оператора. Поскольку NFV представляет собой открытую платформу, то управление объектами NFV через открытые референсные точки (как в MANO) является более рациональным подходом.

Каждый уровень сети SDN имеет свои функции и задачи [4]. В задачи *уровня данных* входит пересылка пакетов согласно правилам сформированных на уровне контроллера. На этом уровне сложно обеспечить функционирование системы эксплуатационного управления, каждое действие контроллера и OSS системы должно быть синхронизировано и каждый из них обязан сообщать о своих действиях, это в свою очередь увеличивает объем служебной информации по сети и усложняет задачу эксплуатации, масштабирования и развертывания сети.

Уровень контроллеров отвечает за составление таблиц правил (Flow Table), их обновление, сбор статистики, мониторинг уровня передачи данных и интерпретацию команд и запросов поступающих от уровня приложений. Данный уровень очень интересен с точки зрения системы эксплуатационного управления т. к. контроллеры SDN владеют всей информацией о состоянии сети и имеют полный контроль уровня передачи данных. Имея всего один интерфейс между системой OSS и контроллером SDN можно получать полную информацию о состоянии сети, в зоне ответственности данного контроллера, а также конфигурировать данную сеть.

Уровень приложений отвечает за виртуализацию сетевых функций. На данном уровне расположены сетевые приложения, с помощью которых выполняются различные задачи, такие как: динамическая маршрутизация, межсетевые экраны, виртуализация топологии сети и т. д. На данном

уровне OSS система может получить готовую виртуализированную топологию сети, информацию о доступных виртуальных и физических ресурсах. Высокий уровень абстракции упрощает процесс предоставления услуг, процесс активации услуги сводится к отправке одной команды сетевому приложению, при этом конфигурацией сети, после получения команды, будет заниматься непосредственно уровень контроллеров.

Таким образом, для мониторинга сети SDN системе OSS необходимо собирать таблицы правил, информацию о доступных ресурсах, а так же анализировать команды, поступающие от сетевых приложений.

На данный момент сети SDN/NFV широко исследуются и развиваются. SDN уже имеет применение на практике. Например, в центре ядерных исследований CERN в Швейцарии SDN используется для масштабирования услуг центров обработки данных (ЦОД), балансировки нагрузки на серверы ЦОД, обеспечения мобильности виртуальных машин, оперативной связи ЦОД между собой. При исследованиях элементарных частиц в «адронном коллайдере» каждую секунду генерируются огромные массивы данных (порядка экзабайт), которые нужно быстро отправить в системы хранения для последующей обработки, причем с резервированием, чтобы не потерялся ни один бит. Для этого нужно оперативно настроить передачу трафика в сети ЦОД под такую задачу. Когда экспериментальная часть закончена, наступает черед научной обработки данных. Для этого нужно быстро перенастроить сеть под другую задачу, с тем, чтобы эта обработка была произведена как можно быстрее, и здесь незаменимым помощником также выступает технология SDN.

Список используемых источников

1. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 400 с.
2. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. Softswitch. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 368 с.
3. Кох Р., Яновский Г. Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. М.: Радио и связь, 2001. 280 с.
4. Елагин В. С., Пупцев Р. И. Проблемы развития OSS-систем при миграции сетей NGN/IMS в направлении SDN/NFV // Технологии и средства связи. 2017. № 2. С. 18–22.

*Статья представлена научным руководителем,
ассистентом СПбГУТ Пупцевым Р. И.*

УДК 004.738.2

Е. В. Дмитриева, Ю. Г. Базылев (студенты, СПбГУТ)

ТРАНСЛЯЦИЯ С IP-КАМЕРЫ С НИЗКОЙ ЗАДЕРЖКОЙ

В настоящее время в мире используются миллионы IP-камер для видеонаблюдения. Для многих из них задержка не критична, т.к. видеопоток записывается в хранилище и анализируется на движение. Для этих целей разработано множество программных и аппаратных решений.

Данная статья затронет применение IP-камер для онлайн трансляций, в которых требуется низкая задержка.

IP-камеры, WebRTC, низкая задержка, транскодинг.

С развитием информационных технологий становятся более распространенными требования к низкой задержке. Основными примерами необходимости в низкой задержке являются ситуации, когда зритель активно взаимодействует с источником видеовещания, такими как: интерактивное онлайн-шоу, удаленное управление квадрокоптером и т. д.

Благодаря аппаратной составляющей, IP-камера сама преобразует видео в требуемый кодек, как правило, в H.264, и может работать в двух режимах транспортировки данных: *non-interleaved* и *interleaved*.

Режим *interleaved* наиболее распространен благодаря передаче данных по протоколу TCP внутри сетевого подключения к камере (рис. 1).

В режиме *non-interleaved* соединение устанавливается по протоколу RTSP/TCP, в то время как трафик идет по протоколу RTP/UDP вне созданного TCP-канала (рис. 2).

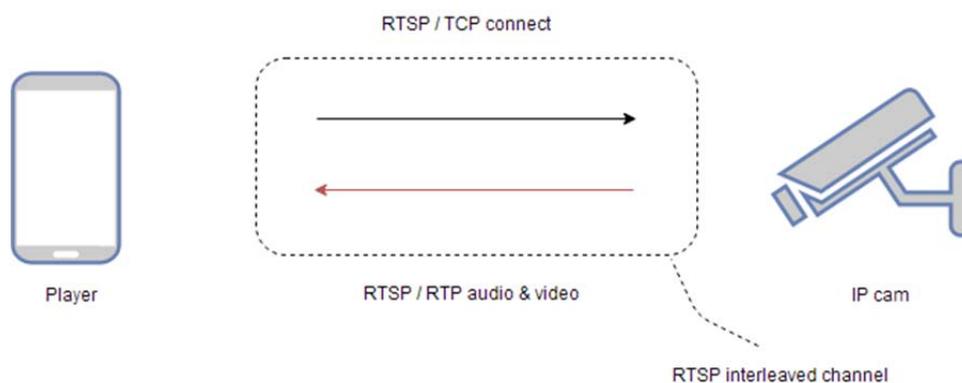


Рис. 1. Трансляция в режиме interleaved

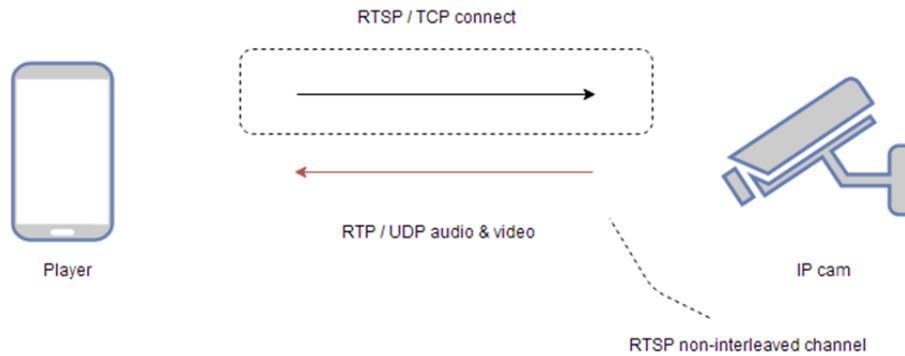


Рис. 2. Трансляция в режиме non-interleaved

Режим non-interleaved более качественно реализует трансляцию с низкой задержкой посредством использования протокола RTP/UDP.

Основным недостатком данного режима являются сложности, при нахождении получателя данных за пределами NAT (рис. 3). В этом случае в SDP-конфигурации, которая будет передана камере при установке соединения, необходимо указать внешний IP-адрес и порты для приёма медиа потоков.

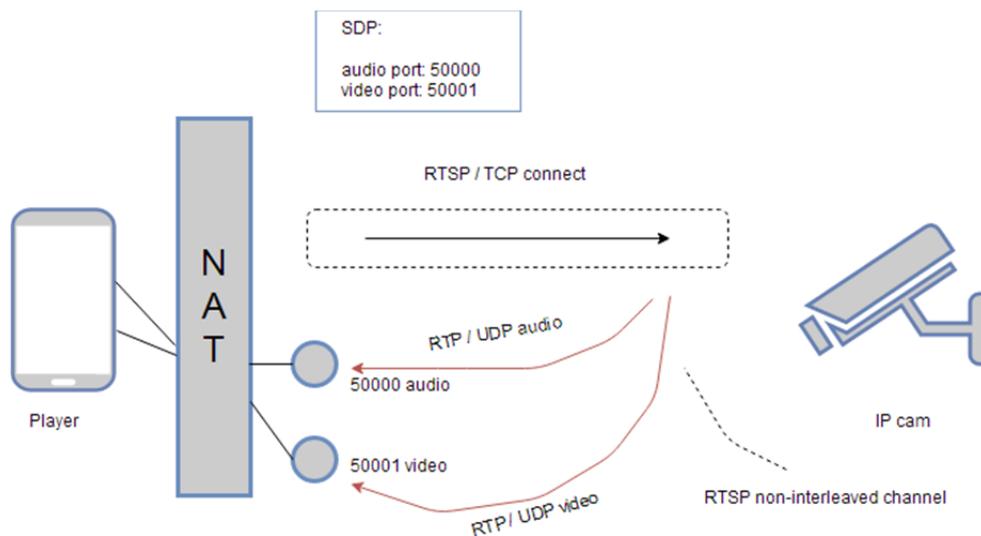


Рис. 3. Трансляция за пределы NAT

Как правило, браузеры не поддерживают стек протоколов RTSP/UDP напрямую, но поддерживают стек протоколов встроенной технологии WebRTC.

Для устранения этой несовместимости требуется мост между протоколами IP-камеры и протоколами браузера, который можно настроить при помощи промежуточного сервер-ретранслятора (рис. 4).

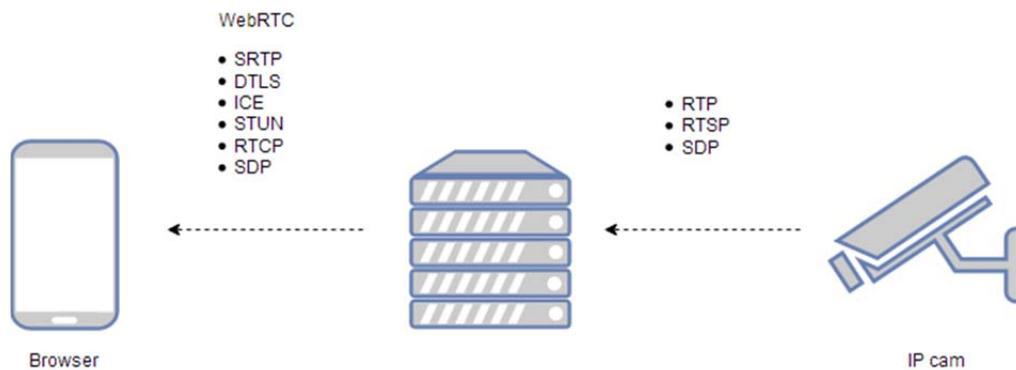


Рис. 4. Использование сервера в качестве моста

Сервер забирает поток с камеры по RTP/UDP и передаёт браузеру по WebRTC. Технология WebRTC работает по протоколу UDP, что и обеспечивает низкую задержку при передаче данных с сервера к браузеру. IP-камера также работает по протоколу RTP/UDP, что обеспечивает низкую задержку в направлении от камеры к серверу.

Кроме того, камера может отдать ограниченное число потоков из-за ограничений в ресурсах и по полосе пропускания. Передача данных через промежуточный сервер решает данную проблему, позволяя масштабировать трансляцию на большее число зрителей. При этом, могут появиться дополнительные сложности из-за включения двух коммуникационных "ног":

- 1) между зрителем и сервером;
- 2) между сервером и камерой.

Проблемы передачи потока данных через сервер

Кодеки

При передаче трансляции через сервер, причиной ухудшения производительности может послужить использование различных кодеков на сервере и устройстве-получателе. Например, камера отдаёт видеопоток в H.264, а подключенное устройство поддерживает только VP8.

Проблему можно решить включением транскодинга, но в этом случае количество обслуживаемых IP-камер ограничится ресурсами сервера: примерно, 1 камера на физическое ядро. Исходя из этого, если серверные мощности не позволяют транскодировать нужное количество камер, то данного решения надо избегать. Например, обслуживать только браузеры с поддержкой H.264, а остальным предлагать использовать приложения с поддержкой нужного кодека.

Битрейт камеры и потери

В протоколе UDP возможны потери видеопакетов, из-за чего картинка может быть испорчена, несмотря на низкую задержку.

Чтобы эти потери не возникали, необходимо убедиться, что битрейт видеопотока камеры помещается в полосу пропускания между камерой и сервером.

Битрейт зрителей и потери

Кроме проблем с пропускной способностью между камерой и сервером, могут возникнуть проблемы с нехваткой скорости со стороны пользователя. Если поток превышает возможности канала зрителя, то будут большие потери кадров (рис. 5).

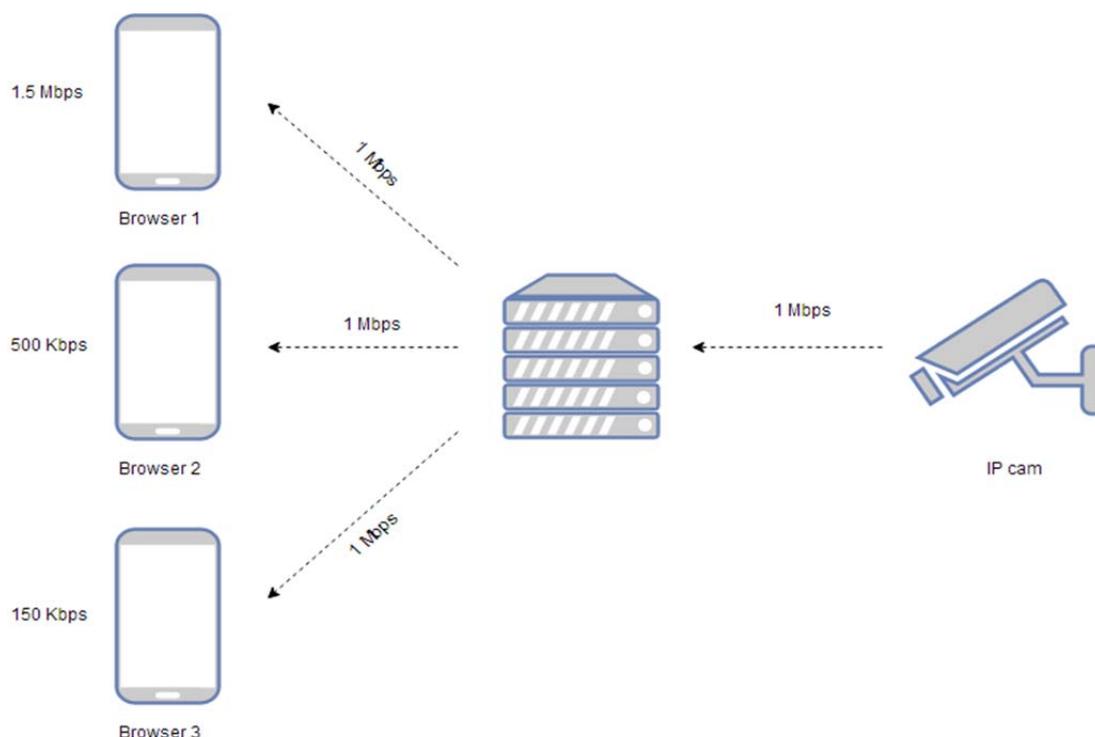


Рис. 5. Разница между битрейтом камеры и зрителей

Решить данную проблему можно следующими вариантами:

- 1) транскодировать видеопоток для каждого зрителя отдельно;
- 2) транскодировать потоки для групп пользователей;
- 3) создать несколько потоков с камеры с разным разрешением и битрейтом.

В первом случае ресурсов сервера хватит на небольшое количество подключившихся зрителей. Стоит отметить, что данный вариант имеет наибольшую гибкость при наибольшей нагрузке на CPU.

Во втором варианте предлагается создать несколько групп с разным битрейтом. При этом количество транскодинг-сессий будет фиксированным, в зависимости от количества групп, что позволит снизить нагрузку на CPU сервера.

Третий вариант предлагает настроить камеру на отдачу нескольких потоков с разными разрешениями и битрейтами. Сервер будет транслировать эти потоки в сеть, и пользователи смогут переключаться на нужный. В этом варианте транскодинговая нагрузка уходит на камеру, не затрагивая ресурсы сервера.

В итоге, было рассмотрено три варианта настройки передачи потока в зависимости от полосы пропускания пользователей. Можно изобразить предполагаемую нагрузку на сервер при условии, что одна транскодинг-сессия занимает 1 ядро сервера (табл.).

ТАБЛИЦА. Нагрузка на сервер при транскодировании

	Способ настройки	Ядра процессора
1	Транскодирование видеопотока под каждого пользователя отдельно	N = количество зрителей
2	Транскодирование видеопотоков по группам пользователей	P = количество групп
3	Подготовка потоков с несколькими разными битрейтами на камере заранее	0

Таким образом, нагрузку можно сместить либо на камеру, либо на сервер, в зависимости от поставленных задач.

Список используемых источников

1. Andrii Sergiienko WebRTC Cookbook. М. : Packt, 2015. 32 p.
2. Лыткин А. IP-видеонаблюдение: наглядное пособие. М. : Авторская книга, 2011. 121 с.
3. Alan B. Johnston, Daniel C. Burnett WebRTC: APIs and WebRTC Protocols of the HTML5 Real-Time Web. М.: Kindle Edition, 2014. 152 p.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Бородко А. В.

УДК 004.771

Е. А. Донсков, К. О. Кобзев (студенты, СПбГУТ)

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЯ И МЕТОДОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОТОКОЛА IP НА БАЗЕ ИП SQUITCH

В данной статье рассматривается процесс разработки лабораторной работы по изучению протокола IP и последующее внедрение ее в учебную программу студентов 3 курса. Рассматриваются основные этапы реализации поставленной задачи, та-

кие как разработка сценария, проверка его работоспособности, разработка методологии проведения лабораторной работы, а также проверка эффективности получаемых знаний в ходе выполнения данной лабораторной работы.

IP, межсетевой протокол, ИП Squitch, Qnet+.

В системе работы по восприятию и усвоению нового материала учащимися широкое применение находит метод лабораторно-практических работ. При таком методе обучения студенты под руководством преподавателя и по заранее намеченному плану выполняют определенные практические задания и в процессе их выполнения получают необходимые знания и навыки.

Лабораторная работа необходима для экспериментального подтверждения, а также проверки теоретических знаний у студента. При выполнении лабораторных работ у студентов формируются практические умения и навыки обращения с лабораторным оборудованием, аппаратурой.

Теоретическая справка

Internet Protocol (IP, досл. «межсетевой протокол») – маршрутизируемый протокол сетевого уровня стека TCP/IP. Именно IP стал тем протоколом, который объединил отдельные компьютерные сети во всемирную сеть Интернет. Неотъемлемой частью протокола является адресация сети.

IP-адрес – уникальный цифровой адрес, состоящий из 4 байтов (четырех десятичных чисел в интервале от 0 до 255, разделенных точками)

Ключевые понятия

Интерактивная платформа исследования протоколов ИП Squitch предназначена для изучения и исследования инфокоммуникационных протоколов и позволяет на практике формировать различные пакеты (сообщения) изучаемых протоколов, инициировать их функционирование и анализировать получаемые ответы.

При проведении исследовательских и лабораторных работ ИП Squitch предоставляет следующие возможности:

- создание собственных сценариев на основе заранее сформированных базовых эталонов;
- изучение эталонных (заранее сформированных) пакетов;
- отправка готовых пакетов в сеть;
- анализ реакции сетевых элементов на отправленные пакеты;
- формирование заведомо искаженных пакетов (для проведения специальных тестов);

- генерация трафика (формирование информационных потоков, в которых интервалы между пакетами распределены в соответствии с заданным законом).

Система Qnet+ представляет собой инструментальную платформу, предназначенную для организации дистанционного обучения ряду дисциплин, относящихся к направлению "инфокоммуникационные технологии". Система обеспечивает доступ пользователей к своим ресурсам через графический web-интерфейс, что делает процесс обучения простым, наглядным и, в то же время, функциональным.

Система Qnet+ обеспечивает настройку и конфигурирование стендов (модельных сетей), необходимых для выполнения лабораторных работ и осуществляет оперативный контроль, учет и документирование результатов работы обучающихся.

Разработка сценария

Лабораторная работа по изучению протокола IP была разработана в системе Qnet+. Для разработки сценария была задействована интерактивная платформа (ИП) Squitch.

В связи с этим задачи лабораторной работы:

- знакомство с принципами работы протокола IP;
- получение практических навыков настройки сетевого оборудования;
- нахождение и исправление некорректного значения параметра в заголовке IP пакета;
- знакомство со сценарием передачи IP пакета на рабочее место ClientSoho;
- успешное получение пакета на рабочем месте.

Сценарий представляет собой набор функциональных блоков, в лабораторной работе – SendIP (IP пакет). Особенностью данной работы кроме отправки пакета на ClientSoho является закрепление знаний студентов о составе заголовков пакета IP – перед студентами стоит задача найти и исправить неверно заполненное поле заголовка IP пакета.

В зависимости от некорректного сценария ошибка может находиться в любом из полей:

- Ether Type;
- Version & IHL;
- Type of Service;
- Total Length;
- Identification;
- Flags;
- Time to Live;
- Protocol;

- Header Checksum.

Также в ИП Squitch студенту необходимо задать параметры испытания, а именно: используемые интерфейсы, IP – адреса, MAC – адреса.

В системе Qnet+ лабораторная работа подразумевает создание системных объектов.

Под системными объектами понимаются существующие или вновь создаваемые IP – адреса маршруты, пользователи и т. д. Для этого на каждом сетевом устройстве необходимо назначить интерфейсам соответствующие IP – адреса. Однотипные объекты могут объединяться в упорядоченные списки, каждый элемент которых ассоциирован с конкретным объектом.

Тестирование и внедрение

Для выполнения лабораторной работы были разработаны методические указания. Данная работа реализована в десяти вариантах, каждый из которых содержит свою уникальную ошибку. Для проверки выполнения лабораторной работы была разработана система проверок.

Было проведено тестирование и проверка эффективности получения знаний студентами 3 курса, факультета ИКСС СПбГУТ, обучающихся по направлениям: сети связи и системы коммутации, защищенные системы связи, информационная безопасность.

Список используемых источников

1. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 400 с.

*Статья представлена научным руководителем,
ассистентом кафедры инфокоммуникационных систем Пупцевым Р.И.*

УДК 681.785

С. Э. Доценко (аспирант, СПбГУТ)

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

В ходе эксплуатации волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), необходимо обеспечить качественную и бесперебойную работу систем связи. Бесперебойная работа волоконно-оптических систем передачи (ВОЛП) осуществляется за счёт эксплуатационно-технического обслуживания ВОЛС, в который входит измерения параметров оптического волокна (ОВ) с помощью рефлектометра. Контроль состояния

ВОЛС методом обратного рассеивания позволяет своевременно определить место и характер повреждения, и произвести работы по предупреждению аварий.

волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС), оптическое волокно (ОВ), оптический рефлектометр, сигнал обратного рассеяния.

При измерении параметров ОВ с помощью оптического рефлектометра необходимо убедиться в чистоте торцов ферул оптического коннектора на наличие грязи, пыли, трещин и царапин [1]. От чистоты коннектора зависит точность измерения ОВ, а также возможно увеличение вносимых потерь, обратного отражения и причинение ущерба передающему оборудованию. Для проверки коннекторов обычно используют видеомикроскопы (рис. 1). В некоторых моделях рефлектометров присутствует функция оценки ввода оптического излучения, которая позволяет оценить по шкале качество ввода, но при неудовлетворительном результате не позволяет определить характер загрязнения или повреждения.

Особое внимание необходимо уделять оптическому разъёму рефлектометра, периодически прочищая специальными очистителями и безворсовыми салфетками. Использование не специализированных очистительных средств может привести к повреждению разъёма.



Рис. 1. Рефлектометр и видеомикроскоп

При измерениях на магистральных волоконно-оптических кабелях (ВОК) количество оптических волокон достигает 96, что приводит к необходимости многократных переключений на кроссовом оборудовании. Для сохранения целостности разъёма рефлектометра обычно используют оптический соединительный шнур (рис. 2).

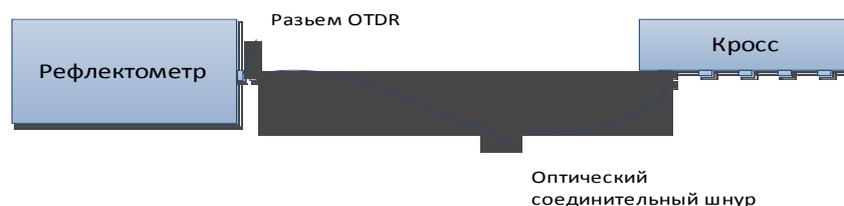


Рис. 2. Схема подключения

Рефлектометрические измерения необходимо производить с компенсационной катушкой для устранения влияния ближней мертвой зоны и нормализации модового состава излучения, вводимого в измеряемую линию. Компенсационная катушка позволяет оценить состояние оконечного разъёма.

Потери на границе кварц/воздух могут достигать 4 %, однако если поверхность загрязнена или повреждена, коэффициент отражения может иметь более низкое значение и отражение от конца или обрыва не всегда можно обнаружить [2]. Конец волокна и коннектора отображаются всплеском вверх (3, 5) (рис. 3). Незаземлённые соединения, такие как сварные отображаются ступенькой вниз (2) как правило, у них отсутствует отражение. Возможно появление на рефлектограмме ступеньки вверх (4) такое явление, называемое мнимым усилением, возникает в результате сращивания (сварки) разных по параметрам оптических волокон или неправильной юстировки, попадания на торец волокна пыли.

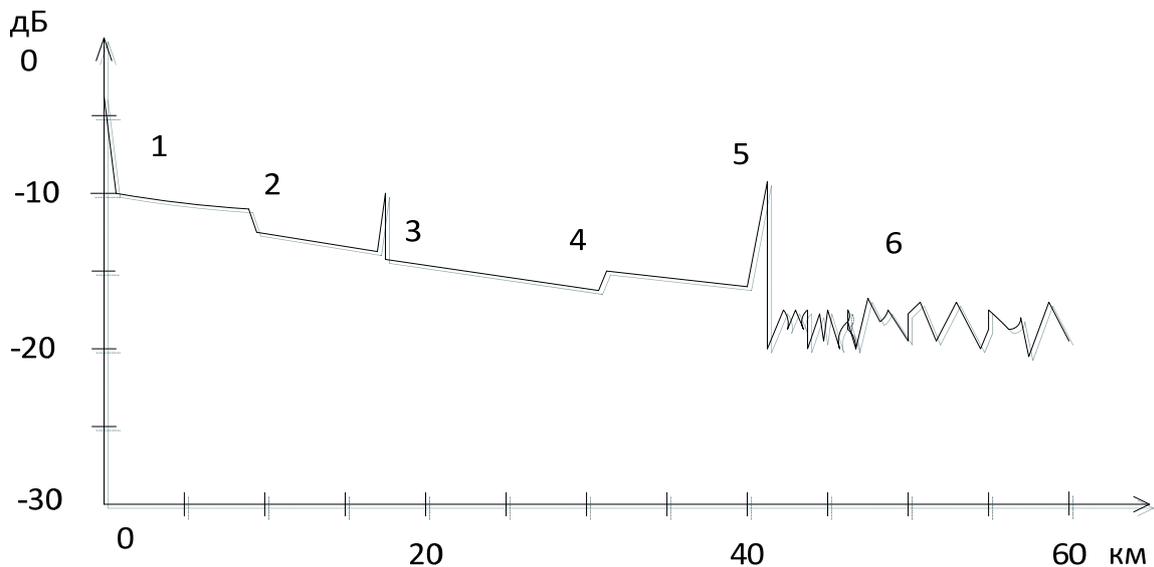


Рис. 3. Типы неоднородностей на рефлектограмме

Изгибы волокна проявляются на рефлектограмме так же, как и сварка (ступенька вниз), от сварки данную неоднородность можно отличить, измерив линию на длине волны 1 310 и 1 550 нм. При сравнении рефлектограмм на длине волны 1 310 будет менее выражена неоднородность или вообще отсутствовать на данном участке (см. рис. 4).

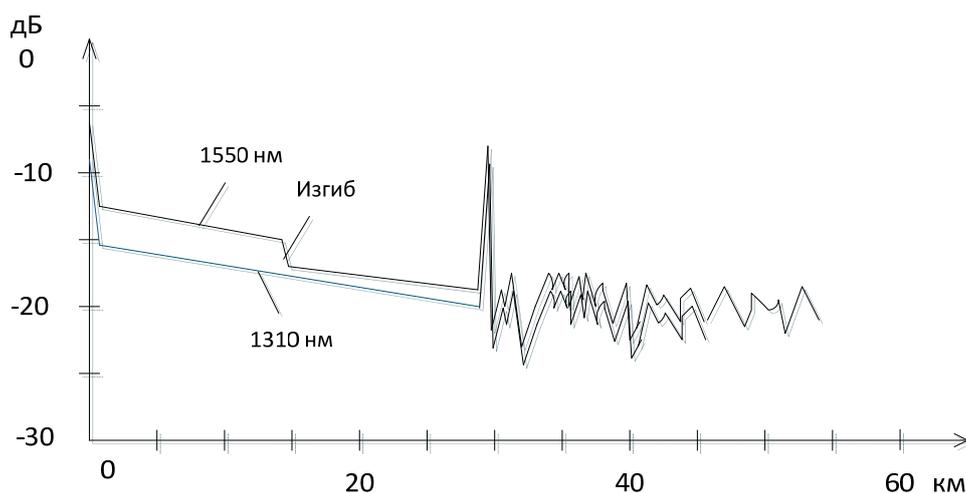


Рис. 4. Измерения на двух длинах волн

Выбор длительности зондирующего импульса определяется исходя из длины ВОЛС и километрического затухания на измеряемой длине волны. Например, для линии связи длиной 40 км оптимально подходит длительность импульса 300 нс, но необходимо учитывать общее затухание ВОЛС, если присутствуют повышенные затухания на соединениях и муфтах, данной длительности импульса, возможно, будет недостаточно для построения информативной рефлектограммы. Поэтому будет недостаточно установить рекомендованную длительность зондирующего импульса и произвести измерения всех ОВ в кабеле связи. На практике необходимо совершить тестовые измерения и убедиться, что конец волокна хорошо просматривается и имеется четкий всплеск обратного отражения, а величина мертвой зоны минимальна. Отметим также то, что при увеличении длительности импульса увеличивается и мертвая зона. Влияние мертвой зоны сказывается на точности определения затухания на сростках ОВ, чем больше длительность импульса, тем сильнее увеличивается мертвая зона и наоборот.

Обработку результатов измерений удобней проводить на персональном компьютере используя для этого специализированную программу, которая позволяет результаты двухсторонних измерений накладывать друг на друга (рис. 5). При наложении рефлектограмм автоматически вычисляется среднее затухание на однородностях, что показано на рис. 6 в столбце *Average*, а так же производится расчет среднего наклона рефлектограммы (коэффициента затухания).

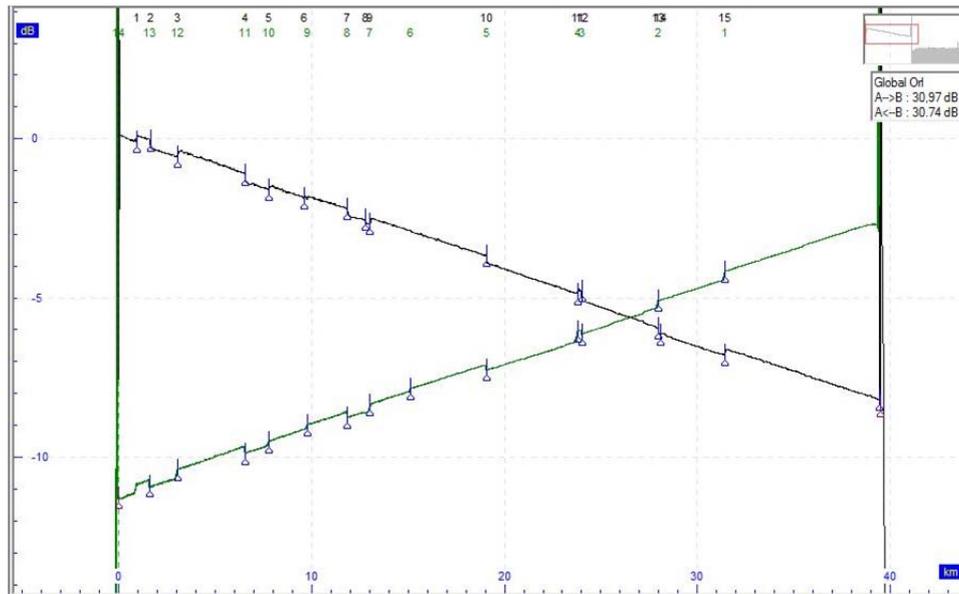


Рис. 5. Обработка двусторонних измерений

Action A-->B (Action A<--B (Distance (m)	Loss (dB)	Loss (dB)	Average (dB)	Slope (dB/km)	Slope (dB/km)	Average (dB/km)
		14	0,00					
1		13	949,62	-0,193	0,273	0,040	0,256	
2		12	1659,27	0,282	-0,216	0,033	0,148	
3		11	3099,01	-0,213	0,256	0,021	0,182	0,198
4		10	6601,36	0,266	-0,218	0,024	0,212	0,211
5		9	7811,35	-0,115	0,134	0,010	0,191	0,196
6		8	9659,53	-0,063	0,109	0,023	0,204	0,205
7		7	11875,29	0,206	-0,159	0,024	0,179	0,193
8		6	13049,55	-0,165	0,222	0,029	0,216	0,160
9		5	19079,09	0,223	-0,206	0,009	0,199	0,210
10		4	23811,85	-0,112	0,345	0,117	0,205	0,190
11		3	24026,28	0,306	-0,154	0,076	0,082	0,186
12		2	27988,12	0,173	0,212	0,193	0,214	0,213
13		1	31429,20	-0,234	0,259	0,012	0,206	0,191
14			39429,45				0,201	0,198

Рис. 6. Вывод результатов измерений в программе FiberTrace 2

По результатам измерений оптического кабеля, рефлектометром было определено 109 сварных соединений. Путем подсчёта можно высчитать среднее затухание на неразъёмных соединениях. Получаем среднее значение затухания на выявленных сварках ВОК равное 0,03 (рис. 7).

В описаниях современных сварочных аппаратах указывается значение среднего затухания на сварном соединении 0,02 дБ, в реальных же условиях это значение немного больше. Можно предположить, что увеличение затухания обусловлено не идеальными условиями работы, грязь, дождь, изменения температуры.



Рис. 7. Затухание на сварных соединениях

Список используемых источников

1. Листвин А. В., Листвин В. Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРарт, 2005. 208 с.
2. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: Компания Сайрус СИСТЕМС, 1999. 672 с.
3. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи. М.: ЛЕСАРарт, 2003. 288 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Глаголевым С. Ф.

УДК 004.72 (004.77)

В. С. Елагин (канд. техн. наук, доцент СПбГУТ)

А. В. Онуфриенко (студентка, СПбГУТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПРИМЕНЕНИЯ DPI-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАФИКА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ QOS OTT-СЕРВИСОВ

В настоящей статье авторы вводят определение термина OTT-сервисов, приводят описание услуг данных сервисов и краткое сравнение с услугами традиционных управляемых услуг. Авторы приводят основные показатели сетевых характеристик, необходимых для обеспечения заданного качества обслуживания при предоставлении и передаче трафика разного вида. В докладе описываются проблемы, связанные с появлением OTT-сервисов на сети оператора. В связи с чем, в качестве перспективного

варианта монетизации OTT-сервисов авторы приводят подходы и процедуры DPI-системы, обеспечивающие необходимые требования для QoS при предоставлении ресурсов своей сети для OTT-сервисов. В заключении приводятся основные преимущества от внедрения технологии DPI в сеть оператора связи для передачи определенного пользовательского контента.

OTT, OTT-сервис, OTT-услуга, DPI, Deep Packet Inspection, QoS, качество обслуживания.

Широкое распространение высокоскоростного доступа с одновременным снижением стоимости трафика и распространения сетевых технологий все больше приводит к появлению таких сервисов, как OTT.

Классификация OTT сервисов

OTT (англ. OVER THE TOP) – метод предоставления услуг (информации) через интернет и предоставления контента на широкий спектр пользовательских устройств по сетям передачи данных без участия оператора в управлении и распределении контента. Такие услуги и приложения потенциально конкурируют с традиционными услугами электросвязи и вещания, такими как голосовая телефонная связь, СМС и видео-вызовы, а также загрузка видео/аудио контента или вовсе заменяют их.

OTT-сервис – сервис, оказывающий услуги по предоставлению пользователям доступа к контенту на платной и/или бесплатной основе методом OTT.

Услуги, предоставляемые OTT-сервисами, подразделяются на:

- потоковое вещание – непрерывная трансляция аудиовизуальных материалов в потоковом режиме;
- видео по запросу – система индивидуальной доставки контента по запросу пользователя;
- текстовые мессенджеры – службы мгновенных сообщений, программы онлайн для обмена сообщениями в реальном времени;
- голосовые мессенджеры – службы, программы для передачи и приема голосовых сообщений в реальном времени через Интернет;
- социальные сети – платформа, сервис предназначенные для построения, отражения и организации социальных взаимоотношений в Интернете;
- облачные сервисы – это модель предоставления сетевого доступа в режиме «по требованию» к набору настраиваемых вычислительных ресурсов, которые пользователь может оперативно задействовать под свои задачи;
- другие.

OTT-сервисы в свою очередь, предоставляет зрителю существенную свободу выбора сервисов, персональный подбор услуг, так же технология

не привязана к определенному провайдеру, что позволяет получить к ней доступ в любой точке мира при наличии подключения к интернету [1].

Однако Интернет является «неуправляемой» сетью, где ширина полосы не может контролироваться на всем маршруте передачи видео и звука от серверов до конечного пользователя.

Предполагается, что пользователи справедливо разделяют доступные сетевые ресурсы, но при этом не гарантируется обеспечение предварительно заданного качества обслуживания, что означает, что нет гарантии в том, что пакет будет доставлен в заданное время или, что он будет доставлен вообще, причем вне зависимости от типа трафика. Как только появляется недостаток ресурсов, ведущий к увеличению вероятности потерь пакетов и росту их задержек, для приложений реального времени необходимые показатели качества не могут быть обеспечены. В результате ухудшения скорости потока приложение периодически останавливает воспроизведение или происходит отказ в выполнении той или иной операции, что отрицательно сказывается на впечатлении пользователей о качестве услуг [2].

Желаемые сетевые характеристики

Качество обслуживания (англ. QoS Quality of Service) – совокупность характеристик услуги электросвязи, которые имеют отношение к её возможности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности пользователя услуги.

Проблема: обеспечить оператору связи гарантированной QoS для отдельных сервисов на своей сети для получения дополнительной прибыли от ОТТ-провайдеров.

Нормы на параметры доставки пакетов IP с разделением по классам обслуживания указаны в таблице 1 (модель ITU-T Y.1541 [3]).

ТАБЛИЦА 1. Нормы на параметры доставки пакетов IP

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка доставки пакета	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н
Вариация задержки пакета	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Коэффициент потери пакетов	1×10^{-3}	Н				
Коэффициент ошибок пакетов	1×10^{-4}	Н				

DPI в OTT-сервисах

Ввиду развития технологии DPI перспективно рассмотреть технологические решения, по обеспечению QoS на сети провайдера для выделения OTT-сервисов.

Deep Packet Inspection – совокупное название технологий, при которых оборудование реагирует не только на заголовки пакетов разного уровня, но и на содержимое. Интернет-провайдеры получили возможность контролировать проходящий трафик своих клиентов, и соответственно заниматься приоритизацией трафика.

В сочетании с возможностью удаленного управления и анализом данных система дает возможность гибкого управления услугами и обеспечения QoS для поставщика заданных услуг. Система DPI позволяет изменять поле приоритета в проходящих через него пакетах в зависимости от детектированного протокола, что позволяет маршрутизаторам использовать эту разметку для обеспечения нужного уровня QoS.

Результат такого подхода, с точки зрения пользователя, является то, что некоторые приложения будут работать лучше, чем другие.

Возможности применения DPI в OTT

Существует несколько методов идентификации трафика. Совместное их использование позволяет наиболее точно определить трафик и затем применить к нему соответствующие правила и политики.

DPI анализ основывается на следующих механизмах:

- 1) Явно заданные правила.
- 2) Сигнатурный анализ.
- 3) Эвристический анализ.
- 4) Анализ поведения трафика.

Для корректной работы системы необходимо контролировать правильность и полноту сигнатурной базы. А так же иметь ввиду, что может существовать некая погрешность выделения нужного трафика (погрешность на неопределение и погрешность неверно воспринятого пакета).

Для рассмотрения данных погрешностей были рассмотрены частные случаи определения трафика OTT-сервисов. SopCast – это программа для просмотра потокового видео по технологии peer to peer. Для проведения эксперимента была использована система nDPI для анализа трафика, и для проверки правильности и целостности написанной сигнатуры был использован сниффер «Wireshark».

Для оценки для сравнения двух связанных выборок интересующего нас трафика мы воспользовались расчетами критерия Вилкоксона.

Критерий Вилкоксона

Критерий Вилкоксона для связанных выборок – непараметрический статистический критерий, используемый для сравнения двух связанных (парных) выборок по уровню какого-либо количественного признака, измеренного в непрерывной или в порядковой шкале.

Критерий предназначен для сопоставления показателей, измеренных в двух разных условиях на одной и той же выборке испытуемых. Он позволяет установить не только направленность изменений, но и их выраженность, то есть способен определить, является ли сдвиг показателей в одном направлении более интенсивным, чем в другом.

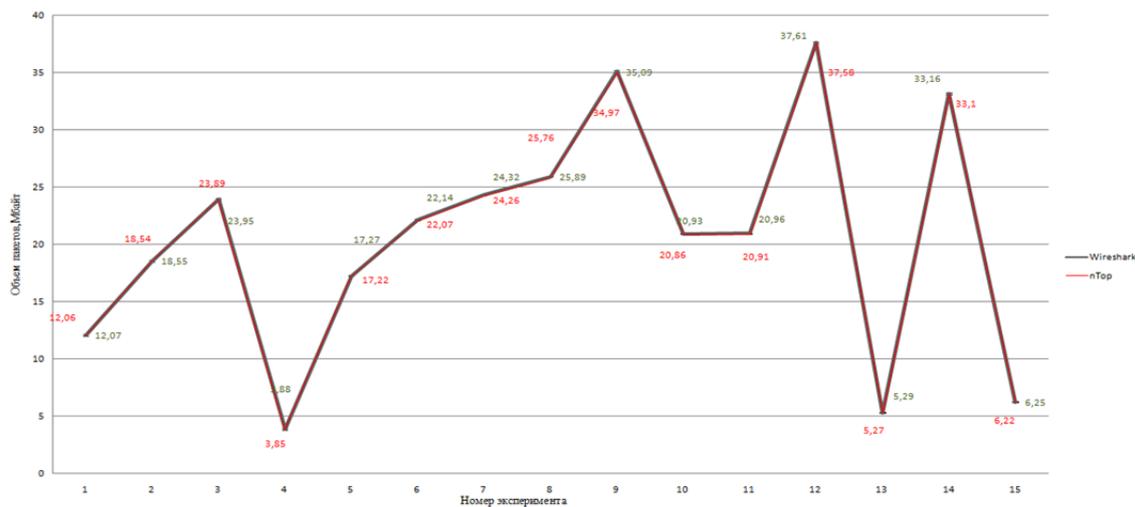


Рис. 3. Значения экспериментов и погрешностей измерений

Первый шаг в подсчете T -критерия – вычитание каждого индивидуального значения "до" из значения "после". Далее производится присвоение рангов. Так как в матрице имеются связанные ранги 1-го ряда, произведем их переформирование (табл. 2).

Гипотезы.

H_0 : Показатели после проведения опыта меньше значений показателей до эксперимента.

H_1 : Показатели после проведения опыта превышают значения показателей до эксперимента.

ТАБЛИЦА 2. Данные, полученные в результате расчетов

Канал	До измерения, $t_{до}$	После измерения, $t_{после}$	Разность ($t_{до} - t_{после}$)	Абсолютное значение разности	Ранговый номер разности
25788 VL Sport	12,07	12,06	-0,01	0,01	1
25771 VL Drama	18,55	18,54	-0,01	0,01	2
8893 CCTV-1	23,95	23,89	-0,06	0,06	10,5
Канал	3,88	3,85	-0,03	0,03	4

Канал	До измерения, $t_{до}$	После измерения, $t_{после}$	Разность ($t_{до} - t_{после}$)	Абсолютное значение разности	Ранговый номер разности
128789 channel	17,27	17,22	-0,05	0,05	7,5
12921 ShanghaiTV	22,14	22,07	-0,07	0,07	12,5
25761 Discovery	24,32	24,26	-0,06	0,06	10,5
256414 PROTV	25,89	25,76	-0,13	0,13	15
25765 VL ENT	35,09	34,97	-0,12	0,12	14
25762 TLC	20,93	20,86	-0,07	0,07	12,5
25791 FOXSports2	20,96	20,91	-0,05	0,05	7,5
25757 TTV	37,61	37,58	-0,03	0,03	6
108790 IMPACT	5,29	5,27	-0,02	0,02	3
141796 (WAM)tv	33,16	33,1	-0,06	0,06	9
9761 CCTV-4	6,25	6,22	-0,03	0,03	5

Сумма по столбцу рангов равна $\sum = 120$. Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+15)15}{2} = 120.$$

Сумма по столбцу и контрольная сумма равны между собой, значит, ранжирование проведено правильно. Теперь отметим те направления, которые являются нетипичными, в данном случае – положительными. Сумма таких рангов составляет эмпирическое значение критерия T : $T = \sum R_i = 0$.

По таблице находим критические значения для T -критерия Вилкоксона для $n = 15$:

$$T_{кр} = 19(p \leq 0,01) \quad T_{кр} = 30(p \leq 0,05).$$

Вывод

В данном случае эмпирическое значение T попадает в зону значимости: $T_{эмп} < T_{кр}(0,01)$. Гипотеза H_0 принимается. Показатели после эксперимента не превышают значения показателей до опыта.

Таким образом система DPI является одним из актуальнейших решений для выделения нужного трафика, назначения ему приоритета, и предоставления своевременной доставки пакетов. Что позволяет оператору извлечь практическую выгоду за счет предоставления дополнительной услуги.

Список используемых источников

1. Елагин В. С., Онуфриенко А. В. Как оператору заработать на OTT-сервисах и при чем тут SDN? // Т-COMM. 2017. № 1. С 17–21.
2. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 400 с.
3. Рекомендация ITU-T Y.1541(12/2011) Аспекты межсетевых протоколов – Качество обслуживания сервисов и сети: производительность сети для услуг IP сети. 2011. 66 с.
4. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.

УДК 004.056.

Ю. В. Ерофеева (студентка, СПбГУТ)

ЛАНДШАФТ СОВРЕМЕННЫХ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ УЯЗВИМОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ

Одним из самых распространенных приложений в сети Internet является электронная почта. Поэтому ее уязвимости критичны для общей безопасности электронных систем. В статье описывается основной принцип работы электронной почты. Рассматриваются возможные уязвимости, а также элементы, на которые направлены угрозы эксплуатации этих уязвимостей.

электронная почта, уязвимости электронной почты.

Основные принципы работы электронной почты

Электронная почта является одним из самых популярных приложений с момента появления её в Интернете. В отчетах, компаний Check Point [1] и SANS 2016 [2], выделяется, что основной проблемой происходящих киберугроз является взлом пользовательских устройств, причем в 75 % случаев атаки совершаются через электронную почту.

Архитектура системы электронной почты представлена на рис. 1. Она состоит из двух подсистем: пользовательские агенты (MUA – Mail User Agent), которые позволяют читать и отправлять электронную почту, а также агенты передачи сообщений: Mail Transfer Agent (MTA), выполняющие функции хранения и пересылки сообщений от источника к месту назначения, и Mail Delivery Agent (MDA), отвечающие за доставку сообщения конечному пользователю. В роли MTA и MDA выступают почтовые серверы. Часто эти роли объединены на одном сервере, или же разделены на два независимых сервера: сервер-MTA и сервер-MDA.

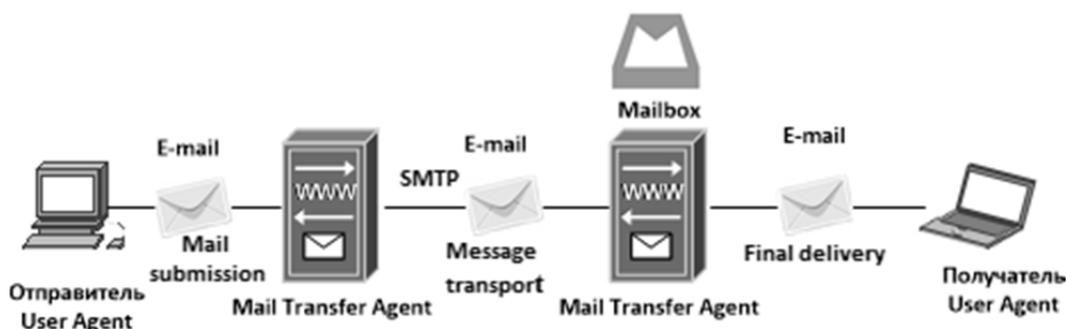


Рис. 1. Архитектура системы электронной почты

Mail User Agent – это программа, которая предоставляет графический, командный или текстовый интерфейс, позволяя пользователям взаимодействовать с системой электронной почты (например, Microsoft Outlook для Windows).

После того как МТА получает сообщение от MUA, он занимается доставкой этого сообщения с использованием SMTP. SMTP (Simple Mail Transfer Protocol, простой протокол передачи почты), служит для передачи электронных писем. Transfer Agent сначала проверяет, обслуживает ли он домен адресата. В случае положительного решения, производится поиск получателя, и письмо помещается в его ящик. Если же нет, то МТА формирует DNS-запрос, запрашивающий MX-записи для нужного домена. MX-запись содержит имена почтовых серверов, обрабатывающих входящую почту для данного домена. Если MX-запись отсутствует, то запрашивается A-запись, которая в свою очередь содержит запись адреса, сопоставляющую доменное имя с IP-адресом. Теперь Transfer Agent создает TCP соединение через 25 порт, который используется для SMTP сервера. MUA ничего не знает о типе хранилища, для доступа к нему он использует протоколы POP3 (Post Office Protocol ver 3, протокол почтового офиса) или IMAP (Internet Message Access Protocol). Протокол POP3, предполагает, что пользователи забирают сообщения из серверного хранилища и работают с ними в локальном хранилище своего MUA. Протокол IMAP, подразумевает, что все сообщения даже после прочтения хранятся на сервере с пометкой о том, что они прочитаны, поэтому пользователи могут работать с одним и тем же почтовым ящиком с разных рабочих станций с помощью различных MUA одновременно. При невозможности отправить сообщение оно возвращается отправителю с сообщением об ошибке. Схема почтового обмена представлена на рис. 2 [3].

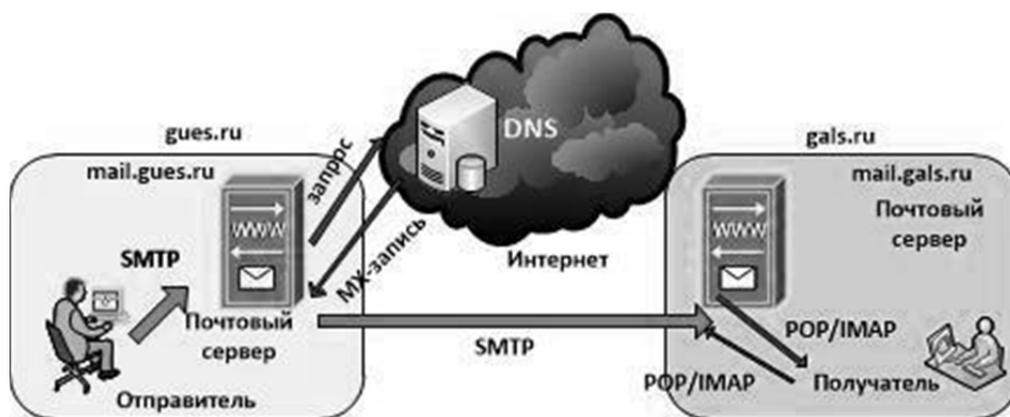


Рис. 2. Схема обмена e-mail между отправителем и получателем на разных серверах

Уязвимости SMTP

Электронная почта в Интернете основывается на протоколе SMTP. Простота данного протокола является его силой и слабостью. Отсутствие аутентификации и понятие того, что нужно принимать все сообщения, делает его одним из самых популярных среди злоумышленников в Интернете на сегодняшний день, в связи с этим существует целый ряд угроз.

Многие SMTP серверы настроены на ретрансляцию почты для всех адресатов. Эта приятная особенность была, конечно же, одним из первых эксплойтов, обнаруженных спамерами, позволяя воспользоваться ничего не подозревающими законными серверами для доставки их сообщений третьей стороне. Такие хосты известны как открытые реле (open relays).

Злоумышленники совершают много попыток украсть учетные данные от пользователей, с помощью сообщений, содержащих ссылку на поддельные сайты сброса пароля, или посредством логирования. Украденные учетные данные можно использовать для получения свободного прохода – ретрансляции, благодаря чему, отправлять спам [4].

Другое стандартное поведение системы обмена сообщениями, заключается в уведомлении о состоянии доставки (bounce message) отправителя. С технической точки зрения, bounce message это просто еще одно SMTP сообщение, составленное системой в какой-то момент в процессе доставки обратно к первоначальному отправителю. Сообщение bounce message может включать в себя любые вредоносные URL-адреса. Некоторые из bounce message простые и не содержат угрозы (нет вредоносных URL-адресов), в массовом порядке, они также представляют значительную проблему. Если злоумышленник создает множество сообщений с вашим адресом электронной почты в качестве отправителя и отправляет его на заведомо недействительных получателей на SMTP-серверах, то ваш сервер получит тысячи bounce messages. На рис. 3 проиллюстрирована данная

проблема [4]. В данном случае эффектом будет отказ в обслуживании (DDoS).

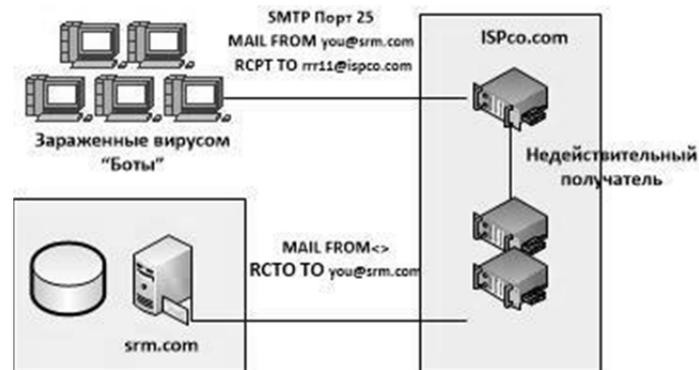


Рис. 3. Misdirected Bounce или Bounce Storm

Когда один почтовый сервер хочет отправить сообщение на другой, он, сначала отправляет запрос, существует ли такой адрес на указанном сервере. Если адрес существует, сервер отправляет подтверждение. Злоумышленники используют эту особенность, отправляя множество запросов с различными комбинациями. Исходя из этого, злоумышленник теперь имеет список всех действительных адресов в заданном домене, которые будут использованы спам-кампаниями [4].

Одной из очевидных угроз для электронной почты является спам. Спам разделяется на несколько категорий: фишинг (мошеннические сообщения, с целью раскрыть личную информацию или регистрационные данные), реклама, Nigerian 419 («Нигерийские письма») – обещания несметных богатств в обмен на некоторые накладные расходы.

Один из самых простых способов, который довольно часто используют мошенники, осуществляется с помощью подмены информация, содержащейся в поле "From". Для этого они могут зарегистрировать домен с именем, очень похожим на название нужной компании или используют бесплатный почтовый сервис, зарегистрировав на нем домен, например `odnoklassniki@gmail.com`.

Другой метод, который используют мошенники, для того чтобы повысить доверие к их истории является использование «клона» веб-сайта. В этой технике, мошенники копируют законные сайты, для обмана и получения личной информации (PII) или учетных данных для входа. Создатели фишинговых сообщений настолько искусно вводят пользователей в заблуждение, что среднестатистическому человеку невозможно отличить поддельную ссылку от настоящей. Для зашумления ссылок, спамеры стали вставлять символы между доменом сервиса коротких ссылок и финальной ссылкой – слешы, буквы и точки. Помимо букв и точек спамеры вставляют между слешами рандомные тэги-комментарии, и ссылки продолжают кор-

ректно интерпретироваться браузером. Также в ссылках для зашумления используется символ “собаки” [5].

Во многих схемах фишинга пользователю предлагается открыть вложение в сообщении электронной почты, которое затем может заразить компьютер вирусом или установить шпионское программное обеспечение. Количество вредоносных вложенных файлов многообразно. После своего внедрения в систему вредоносная программа подгружает необходимые модули, с учетом особенностей «жертвы» [6].

Исследователями Check Point [1] в 2016 г. было обнаружено, что и количество вредоносных программ и атак возросло на 5 %. Рост атак вымогателем Locky не прекращает падать, а только набирает обороты, и занимает второе место среди наиболее часто эксплуатируемых видов вредоносного ПО. Распространяется Locky преимущественно через спам-рассылку. Причина его популярности кроется в постоянном появлении его модификаций, меняется тип файлов, для загрузки вымогателя, а также вносятся изменения в письма для спам-рассылки [7].

Другая общая тема, которую можно наблюдать, это фишинг с использованием методов социальной инженерии, методов, позволяющих получить доступ к конфиденциальной информации, основанных на особенностях человеческой психологии. По данным компании Cisco мошеннический социальный инжиниринг переместился с первого места (2015 г.) на второе [8]. От такого вида фишинга не сможет защитить никакое техническое оборудование. Единственное противодействие таким атакам – полное игнорирование сообщения.

В исследованиях, проведенных компаниями IBM и Ponemon Institute за 2015–2016 гг., были получены такие данные: 74 % респондентов подвергались множественным хакерским атакам, а 64 % из них были многократно осуществлены с помощью фишинга [9]. Данные статистики дают понять, что атаки становятся большой угрозой для компаний, благодаря разным методам фишинга. Главным методом проникновения является хорошо таргетированный фишинг. Помимо очевидных угроз, спама и вирусов, можно столкнуться с рядом других проблем, которые влияют на доступность электронной почты. В данной статье были рассмотрены одни из наиболее популярных уязвимостей на сегодняшний день. Для эффективной борьбы с ними используется внедрение лучшей защитной архитектуры, которая поможет решать нынешние и будущие задачи по защите ИТ-инфраструктуры. Для защиты электронной почты существуют такие механизмы, как SPF (Sender Permitted From) и DKIM (Domain Keys Identified Mail), позволяющие исправить недостатки SMTP. Безопасность электронной почты является многогранной проблемой. Атаки становятся все более изощренными, а пути их проникновения остаются прежними.

Список используемых источников

1. Check point – ОТЧЕТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ 2016.
2. Exploits at the Endpoint: SANS 2016 Threat Landscape Survey
3. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. Computer networks. M.: Prentice Hall, 2011, 960 p.
4. Porter Ch. Email Security with Cisco IronPort, M.: Cisco Press. pp. 24–27.
5. Hadnagy Ch., Fincher M. Phishing Dark waters. May 2015. 192 p. URL: [https://tioslane.herokuapp.com/\[N490.Ebook\]%20Free%20PDF%20Phishing%20Dark%20Waters%20The%20Offensive%20And%20Defensive%20Sides%20Of%20Malicious%20Emails%20By%20Christopher%20Hadnagy%20Michele%20Fincher.pdf](https://tioslane.herokuapp.com/[N490.Ebook]%20Free%20PDF%20Phishing%20Dark%20Waters%20The%20Offensive%20And%20Defensive%20Sides%20Of%20Malicious%20Emails%20By%20Christopher%20Hadnagy%20Michele%20Fincher.pdf).
6. Гудкова Д., Вергелис М., Демидова Н., Щербакова Т. Спам и фишинг в первом квартале 2016 : отчет компании Касперский [Электронный ресурс]. Май 12, 2016. URL: <https://securelist.ru/spam-and-phishing-in-q1-2016/28561/>.
7. Годовой отчет Cisco по информационной безопасности за 2016 год, 2016 [Электронный ресурс]. URL: https://www.cisco.com/c/dam/m/ru_ru/offers/assets/pdfs/cisco_2016_asr_011116_ru.pdf
8. Годовой отчет Cisco по информационной безопасности за 2015 год, 2015 [Электронный ресурс]. URL: https://www.cisco.com/c/m/ru_ru/offers/lp/2015-annual-security-report.html.
9. Benchmark research sponsored by IBM Independently conducted by Ponemon Institute LLC, June 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://app.clickdimensions.com/blob/softchoicecom-anjfo/files/ponemon.pdf>.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Юркиным Д. В.*

УДК 004.056

А. С. Исаков (студент, СПбГУТ)

М. М. Ковцур (канд. техн. наук, ст. преподаватель, СПбГУТ)

**СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПРОВЕРКИ СТАТУСА
СЕРТИФИКАТА ОТКРЫТОГО КЛЮЧА В УЦ
НА БАЗЕ ОС «ASTRA LINUX»**

В настоящее время распространено использование операционных систем семейства Windows для обеспечения поддержки Инфраструктуры Открытых Ключей в аккредитованных Удостоверяющих Центрах (УЦ) в Российской Федерации. Однако, одной из современных тенденций является импортозамещение, как в части аппаратного, так и программного обеспечения. Так, одной из актуальных задач для Министерства Обороны РФ является полный переход на ОС LINUX и на аппаратное обеспечение отечественной разработки. Однако, развертывание Удостоверяющих Центров на базе операционных систем Linux Российского производства и существующие особенности взаимодействия УЦ описаны недостаточно в современной литературе. В

данной статье описываются механизмы проверки статуса сертификата открытого ключа в УЦ на базе ОС Astra Linux.

инфраструктура открытых ключей, удостоверяющий центр, сертификат, CRL, OCSP.

Основной вопрос, связанный с использованием средств электронной цифровой подписи, к которым предъявляются требования по высокой отказоустойчивости, заключается в повышенных мерах обеспечения информационной безопасности при доверии к службам доверенной третьей стороны международного информационного обмена.

Как известно, все операционные системы отечественного производства семейства Astra Linux базируются на открытых кодах ОС типа Linux и прошли оценку соответствия согласно федеральному законодательству Российской Федерации. Поэтому наиболее актуален вопрос сравнения механизмов проверки статуса сертификата открытого ключа (МПСС) на базе УЦ развёрнутого в среде именно Astra Linux.

Для реализации этой задачи необходимо дать характеристику существующим механизмам проверки статуса сертификата открытого ключа (МПСС) (рис. 1) [1, 5], определить критерии сравнения МПСС, развернуть УЦ с поддержкой МПСС, проверить функциональность развёрнутого УЦ в части работы МПСС.

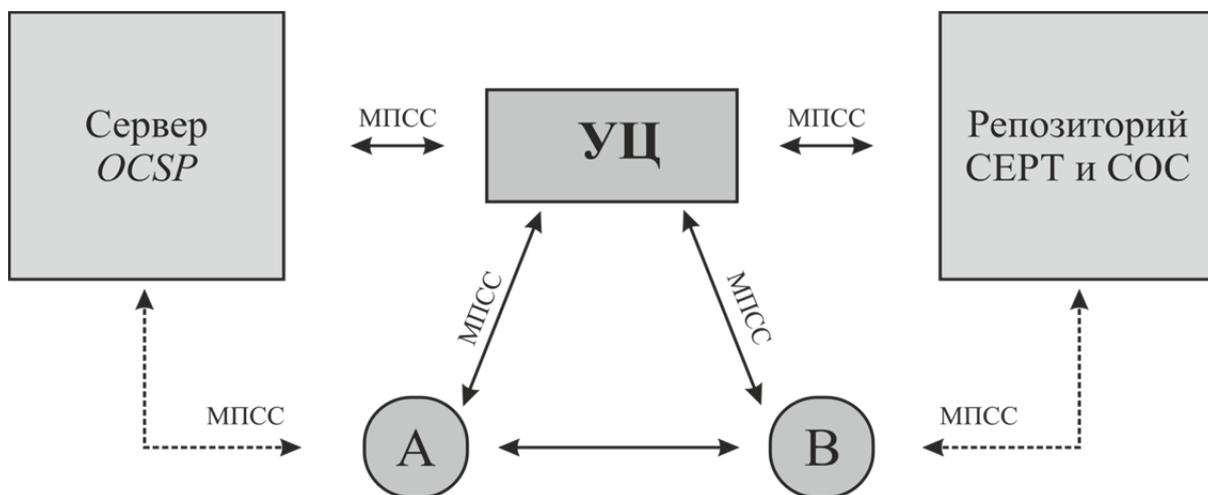


Рис. 1. Механизмы проверки статуса сертификата открытого ключа

В рамках данной статьи были рассматриваются следующие МПСС:

- CRL – Certificate Revocation List, представляет собой список, содержащий метку времени и идентифицирующий отозванные сертификаты, который подписывается УЦ или издателем CRL, а также помещается в открытый репозиторий для публичного доступа. При взаимодействии с друг с другом пользователи обращаются в УЦ, а в дальнейшем напрямую к репозиторию, для получения информации о состоянии сертификата откры-

того ключа виде CRL с информацией о каждом отозванном сертификате (рис. 1).

- OCSP – Online Certificate Status Protocol обслуживает пользователей в режиме реального времени и занимается проверкой статуса аннулирования цифрового сертификата. OCSP может использоваться для удовлетворения некоторых эксплуатационных требований предоставления более своевременной информации об отзыве, чем это возможно в CRL, а также может использоваться для получения дополнительной информации о состоянии. Пользователь OCSP, делает запрос о статусе сертификата открытого ключа серверу OCSP и, до прихода ответа, приостанавливает обработку соответствующих сертификатов, пока OCSP сервер не даст ответ (рис. 1).

Для того чтобы сравнить между собой данные МПСС, необходимо ввести следующие критерии сравнения:

- оперативность получения статуса сертификата;
- предоставление дополнительной информации о состоянии сертификата – подробное описание состояния сертификата на момент запроса;
- возможность получения информации о промежуточных УЦ – получение информации обо всех объектах тракта сертификации;
- зависимость работоспособности МПСС от расширения TLS – возможность вкладывать дополнительную информацию для более информативного и полного вида тракта сертификатов с использованием дополнительных расширений;
- зависимость от доступности репозитория – необходимость для работы МПСС выполнить запросы к репозиторию для проверки статуса сертификатов открытых ключей.

ТАБЛИЦА. Сравнение МПСС CRL и OCSP

	CRL	OCSP
Оперативность получения статуса сертификата	Низкое	Высокое
Предоставление дополнительной информации о состоянии сертификата	Низкое	Высокое
Информация о промежуточных УЦ	Имеется	Опционально
Зависимость работоспособности расширения TLS	Отсутствует	Опционально
Зависимость от доступности репозитория	Имеется	Отсутствует

Исходя из таблицы, следует, что с ростом инфраструктуры PKI рекомендуется использовать OCSP, а в малых и средних инфраструктурах придерживаться CRL.

Для создания CRL сертификата открытого ключа воспользуемся развёрнутым УЦ на ПО TinyCA. В ПО TinyCA необходимо на графическом интерфейсе выбрать иконку экспорта CRL, далее выбрать каталог и формат файла для экспорта (рис. 3). После выпуска CRL сертификата он импортируется в хранилище сертификатов – репозиторий.

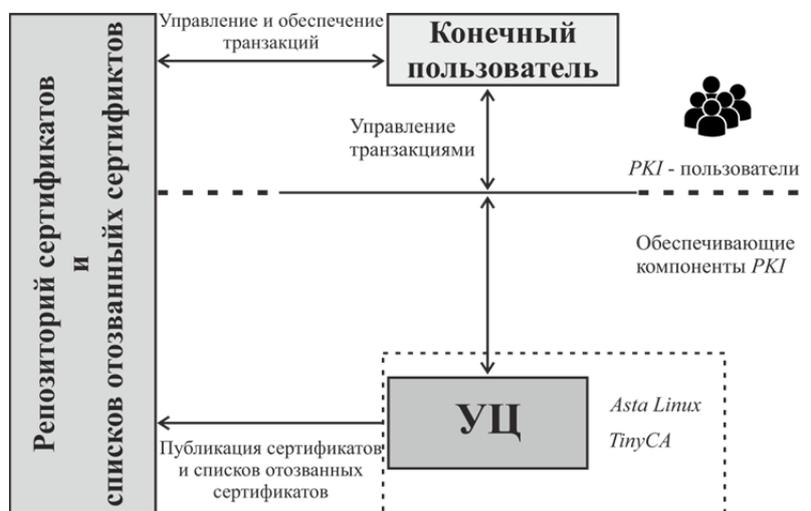


Рис. 2. Инфраструктура открытых ключей на базе ОС Astra Linux

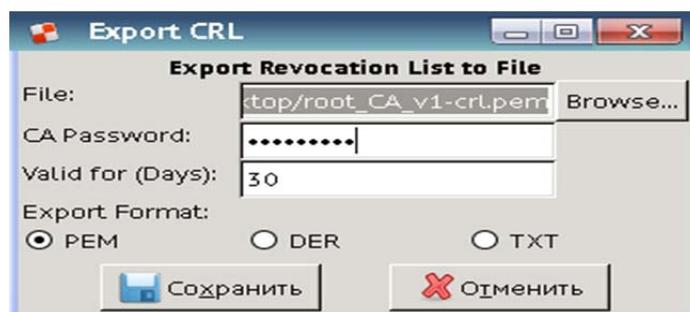


Рис. 3. Экспорт CRL в TinyCA

На рис. 4 показано, что выпущенный сертификат CRL сформирован путем подписания на секретном ключе УЦ TinyCA, который содержит информацию об отозванных сертификатах, в соответствии с требованиями стандарта X.509 [3].

В заключение стоит отметить, что TinyCA позволяет выпускать сертификаты и списки отозванных сертификатов, соответствующие стандарту X.509, открытые ключи, ЭЦП, обрабатывать запросы на сертификаты, формировать базы открытых ключей и списки отозванных сертификатов механизмом CRL.

```

Certificate Revocation List (CRL):
  Version 2 (0x1)
  Signature Algorithm: sha1WithRSAEncryption
  Issuer: /C=RU/ST=SPb/L=SPb/O=SUT/OU=ZSS/CN=CA
  Last Update: May 19 16:12:09 2017 GMT
  Next Update: Jun 18 16:12:09 2017 GMT
Revoked Certificates:
  Serial Number: 01
  Revocation Date: May 19 16:10:37 2017 GMT
  CRL entry extensions:
    X509v3 CRL Reason Code:
      Key Compromise
  Signature Algorithm: sha1WithRSAEncryption
  2f:bd:3d:0d:ae:20:a3:7a:7a:68:4f:2c:35:4f:24:37:ea:d8:
  d3:3f:7a:dc:1f:c0:2e:ee:58:03:a4:60:ed:a7:5f:5f:f3:ef:
  64:54:9c:23:27:80:23:41:ec:5e:8b:6d:ad:79:a4:58:6b:cd:
  92:b5:bc:c1:a4:8b:5d:0e:1f:88:a3:6b:9d:3e:7a:ed:a4:2f:
  86:8e:84:cb:3:3:bc:0d:18:60:44:bd:55:34:8e:bf:87:cb:

```

Рис. 4. Демонстрация подписанного сертификата CRL УЦ на базе TinyCA

Список используемых источников

1. RFC 5280: Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile.
2. Stephan Martin TinyCA – OpenSSL Front end [Электронный ресурс]. URL: // <http://tinyca.sm-zone.net/>.
3. Recommendation ITU-T X.509 | ISO/IEC 9594-8 defines frameworks for public-key certificates and attribute certificates.
4. .Официальный сайт AstraLinux [Электронный ресурс]. URL: // <http://astra-linux.ru/>.
5. RFC 2560: X.509 Internet Public Key Infrastructure Online Certificate Status Protocol – OCSP.
6. Ковцур М. М., Павлюкович М. В. «Методика организации аккредитованного удостоверяющего центра» // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V международной научно-технической и научно-методической конференции: сб. науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 417–421.
7. Небаева К. А., Чумаченко С. А. «Роль электронных цифровых подписей в электронном документообороте» // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 2 т. 2015. С. 377–379.

УДК 65.011.56

А. А. Кормановская (студентка, СПбГУТ)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРЕЦЕДЕНТНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ СО СРЕДОЙ ОПЕРАТОРА СВЯЗИ

Customer Experience Management (CEM) – концепция, включающая в себя совокупность технологий, методов и процессов, которые позволяют отслеживать, измерять и управлять впечатлениями клиента при взаимодействии с компанией–оператором связи. Одним из важнейших аспектов, формирующих положительный клиентский опыт, является грамотная организация процессов взаимодействия с клиентом в различных точках его контакта с компанией, чтобы это обеспечить необходимо начать с анализа обратной связи от клиента. В докладе рассматривается взаимодействие подсистемы прецедентной обратной связи со средой оператора связи, которая поможет оператору отследить обратную связь от клиента и проанализировать ее.

Customer Experience, Customer Experience Management, Customer Experience Management–FeedBack, ТМ–Forum.

За последние несколько десятилетий рынок телекоммуникаций претерпел большие перемены. С каждым днем конкуренция между компаниями становится все более жесткой. На рынке появляются новые игроки, новые современные технологии. И на сегодняшний день рынок диктует операторам связи необходимость пересматривать свой подход к бизнесу и ставить перед собой задачи, которые будут грамотно организовывать процесс общения с клиентом. Согласно оценкам ТМ–Forum, привлечение нового клиента стоит оператору связи в 5–7 раз дороже, чем удержание существующего [1]. Поэтому задачи по удержанию клиентов и управлению пользовательским опытом для компании оператора связи являются важными.

Понятие пользовательский опыт – Customer Experience (CE) складывается из множества факторов, и представляет собой совокупность впечатлений, желаний и ощущений, которая возникает на протяжении всего жизненного цикла клиента – Customer Lifecycle. На каждом этапе жизненного цикла клиентский опыт (CE) может быть как положительным, так и отрицательным, но в любом случае CE будет влиять на лояльность и отток клиентов в будущем [2]. Поэтому компании оператора связи необходимо уметь отслеживать, анализировать и влиять на клиентский опыт. Для решения этих задач существует концепция Customer Experience Management (CEM) – управление клиентским опытом, которая описывает подход в качественном обслуживании клиента, обеспечивает управление эмоциональным опытом клиента, а также увеличивает его ценность у оператора связи.

Для организации эффективного взаимодействия с клиентом, компаниям важно получать обратную связь от клиента. Обратная связь являет-

ся сверхэффективным инструментом, который позволяет отследить впечатления клиента от взаимодействия с компанией, построить оптимальную стратегию взаимодействия с клиентом на основе анализа количественных показателей Customer Experience, увеличить общую конкурентоспособность компании на рынке и повысить удовлетворенность клиента от взаимодействия с компанией. Для решения задач получения обратной связи от клиентов и ее анализа занимается Customer Experience Management – FeedBack – подсистема сбора прецедентной обратной связи. Решения, реализуемые этой подсистемой, направлены на изучение мнения клиента о различных аспектах взаимодействия с компанией на разных этапах его жизненного цикла. СЕМ–FeedBack является одним из ключевых элементов при построении решений для анализа пользовательского опыта клиента. Она предполагает «удобную» автоматизацию взаимодействия с клиентами в части проведения опросов различного характера в рамках конкретных клиентских событий. Для того, чтобы внедрить данную подсистему в инфокоммуникационную среду оператора связи необходимо рассмотреть информационное взаимодействие подсистемы прецедентной обратной связи.

Рассматривая структуру информационного взаимодействия, можно выделить четыре уровня.

Первый уровень – уровень систем источников IT-ландшафта оператора. На данном уровне фиксируются клиентские события, на основе которых будет проводиться опрос клиента. К системам – источникам можно отнести системы Billing, Service Desk, OMS, WFM, Order Management и др. [3].

Второй уровень непосредственно реализует саму подсистему сбора прецедентной обратной связи. Подсистема СЕМ–FeedBack выполняет функции агрегации данных о событиях взаимодействия с клиентом от систем–источников (в различных точках контакта клиента с компанией). Обрабатывает информацию о событии и формирует опрос. Далее транслирует информацию для проведения опроса клиента в системы доставки информации. После проведения опроса подсистема СЕМ–FeedBack агрегирует обратную связь клиента, мгновенно реагирует на реакцию клиента, и если клиент недоволен, то сообщает эту информацию в смежные системы оператора связи. Также структурирует обратную связь для дальнейшего расчета определенных метрик.

Третий уровень реализует набор подсистем, которые осуществляют непосредственное информационное взаимодействие с клиентом в части проведения опросов. Взаимодействие с клиентом может происходить по различным каналам: SMS, IVR, E–mail, личный кабинет клиента, мобильные приложения, Web–порталы, различные мессенджеры (Telegram, Viber, Whats App) и др.

Четвертый уровень представляет собой уровень обработки данных, где представлены системы, в которых тоже может анализироваться обратная связь от клиентов, в частности на основе обратной связи могут быть рассчитаны стандартные метрики и метрики стандартизованные TM-Forum.

На рис. представлена структура информационного взаимодействия подсистемы прецедентной обратной связи.

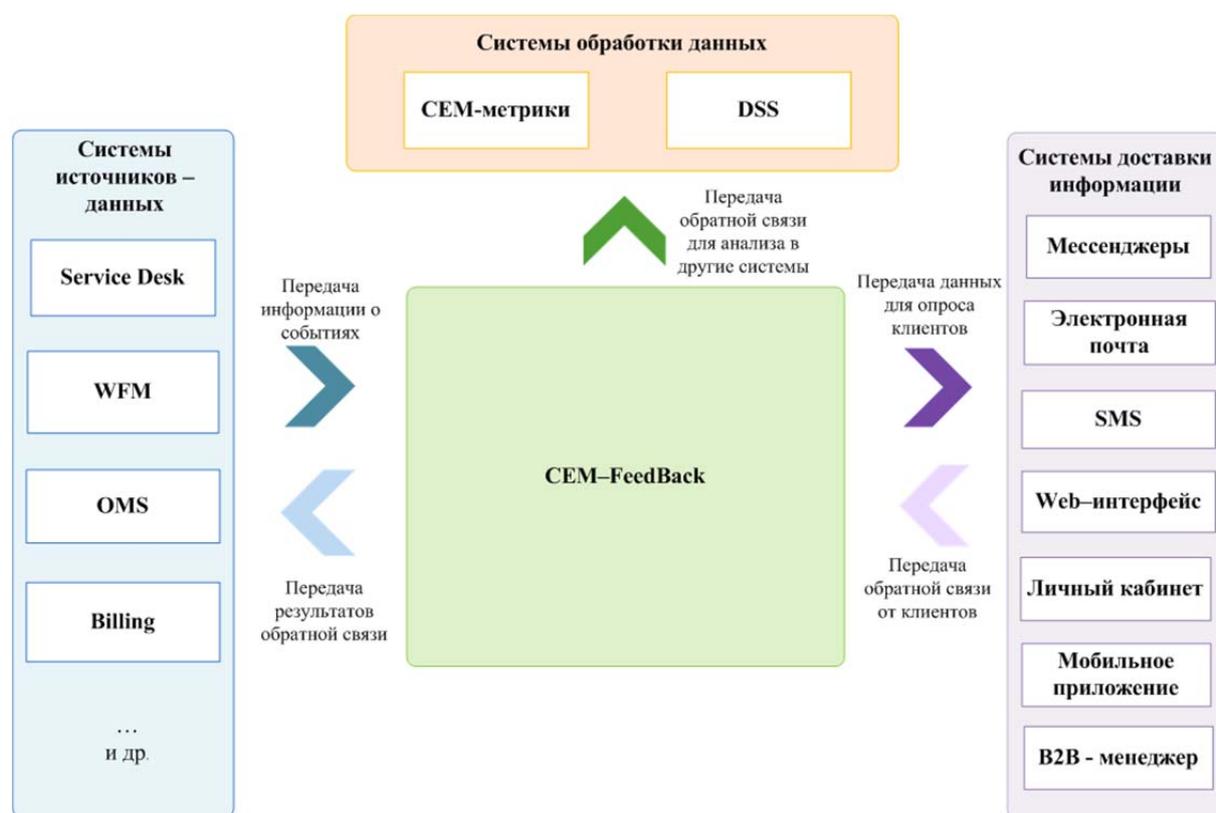


Рисунок. Информационное взаимодействие подсистемы прецедентной обратной связи

В заключение хотелось бы сказать, что использование подсистемы сбора прецедентной обратной связи позволит оператору в целом получить сверх выгоду при каждом взаимодействии с клиентом, отслеживать и измерять впечатления клиента от прецедентов взаимодействия с компанией на каждом этапе жизненного цикла клиента, строить персонализированный подход к клиенту, ориентировать процессы работы с клиентом на то, чтобы превзойти ожидания клиента от предоставляемого сервиса и компании в целом и снизить стоимость клиент-ориентированных транзакций за счет автоматизации интерактивного взаимодействия с клиентом.

Список используемых источников

1. Гольдштейн А., Феноменов М., Чумачкова К. Абоненты на всю жизнь // СТАНДАРТ – деловой журнал о связи и вещании в России и мире. 2014. № 4. С. 14–15.

2. Акишин В. А., Кисляков С. В., Феноменов М. А. Функциональная архитектура СЕМ-комплекса для внедрения в IT-ландшафт крупного оператора связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 10. С. 12–16.

3. Самуйлов К. Е., Чукарин А. В., Яркина Н. В. Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении современной инфокоммуникационной компанией. М.: Альпина Паблишер, 2016. 515 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Кисляковым С. В.*

УДК 654.078

Е. А. Лесников, В. А. Мыльникова (студенты, СПбГУТ)

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОКРЫТИЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ В СТАНДАРТЕ LTE

Проведено сравнение параметров покрытия сотовой связи стандарта LTE, полученных в ходе проведения исследования. Показаны причины ухудшения качества сотовой связи и приведены пути решения этой проблемы. Составлена карта качества покрытия сотовой связи для трех операторов.

LTE, покрытие сотовой связи, операторы сотовой связи.

Мобильные телефоны прочно вошли в жизнь человека. Все больше времени люди проводят в интернете, решая рабочие проблемы или просто для развлечений. Но комфортный веб-сёрфинг возможен только при достаточной скорости и бесшовном покрытии. Такую возможность реализует грамотно спроектированная и впоследствии корректно оптимизированная сеть базовых станций стандарта LTE. В сравнении с предыдущими поколениями, LTE обладает более высокими скоростями и меньшими задержками, правда и меньшим радиусом действия сот.

Измерения проводятся в рабочем диапазоне частот стандарта LTE без использования внешних антенн, усилителей сигнала и иных устройств, влияющих на работу приёмопередатчика small screen устройств. Процедура проведения измерений заключалась в сборе экспериментальных статистических данных имитирующих использование абонентами услуг предоставления доступа на такие сервисы как: ВКонтакте (vk.com), YouTube (youtube.com) и Google (google.com). Выбор сервисов обусловлен тем, что они создают достаточный трафик для оценки качества канала передачи информации, а также же измерений скорости передачи в канале LTE.

Исследование проводилось в Невском районе города Санкт-Петербург, в час наибольшей нагрузки (время максимальной нагрузки на сотовую сеть

оператора сотовой связи). Маршрут и время исследования были выбраны таким образом, чтобы были задействованы территории с высокой плотностью концентрации абонентов в момент эксперимента. А именно, были выбраны крупные автомобильные дороги с высокой нагрузкой в вечерние часы.

Для проведения измерения использовались смартфоны среднего ценового сегмента с предварительно установленной программой, разработанной компанией ООО «Гиперион», и sim-картами трех популярных операторов (ПАО «МТС», ПАО «ВымпелКом», Tele2). Выбор телефона средней ценовой категории объясняется их наибольшей популярностью среди целевой аудитории пользователей указанных выше сервисов.

Отказ от бюджетных моделей смартфонов обусловлен тем, что модели телефонов обладают достаточно большой нестабильностью параметров принимаемого сигнала ввиду использования бюджетных приемопередатчиков. Такая нестабильность параметров может приводить к тому, что даже в зоне вблизи от базовой станции уровень принимаемого сигнала достаточно низкий.

В свою очередь флагманские модели смартфонов используют самые передовые технологии мобильной связи, такие как MIMO и Carrier Aggregation, которые позволяют принимать и обрабатывать даже слабые сигналы в условиях сильных помех. Применение указанных технологий позволяет получить довольно существенный выигрыш в качестве принимаемого сигнала, однако это приводит к искажению карты покрытия для среднего пользователя.

В силу технических особенностей используемых в эксперименте телефонов, проводилось измерение всех стандартов сотовой связи.

Во время информационного обмена с БС телефон, в зависимости от поколения связи, обрабатывает ряд параметров, таких как: CID, LAC/TAC, ASU. По результатам обработки полученных данных программное обеспечение делает вывод о том, какое поколение связи используется в данный момент. На экране смартфона отображаются основные параметры измерения.

ПО записывает полученные данные в специальный log-файл, в котором содержатся координаты и время измерения, LAC/TAC, CID, пинги для различных ресурсов каждого из операторов, уровни мощности принимаемых сигналов.

Сведения с разных телефонов снимались в одни и те же моменты времени, в одних и тех же координатах с равными промежутками времени.

В результате, на основе сведений о координатах и принимаемой мощности сигнала были составлены карты с визуализацией уровня сигнала для различных операторов.

По результатам анализа измерений установлено, что уровни принимаемых мощностей для разных операторов различны.

В результате анализа карт покрытия, полученных в ходе измерений, можно отследить мягкий и жесткий хэндовер, обусловленные перемещением мобильного устройства по маршруту следования, а также межсистемный хэндовер, который вызван низким качеством покрытия сотовой связи (см. рис.).

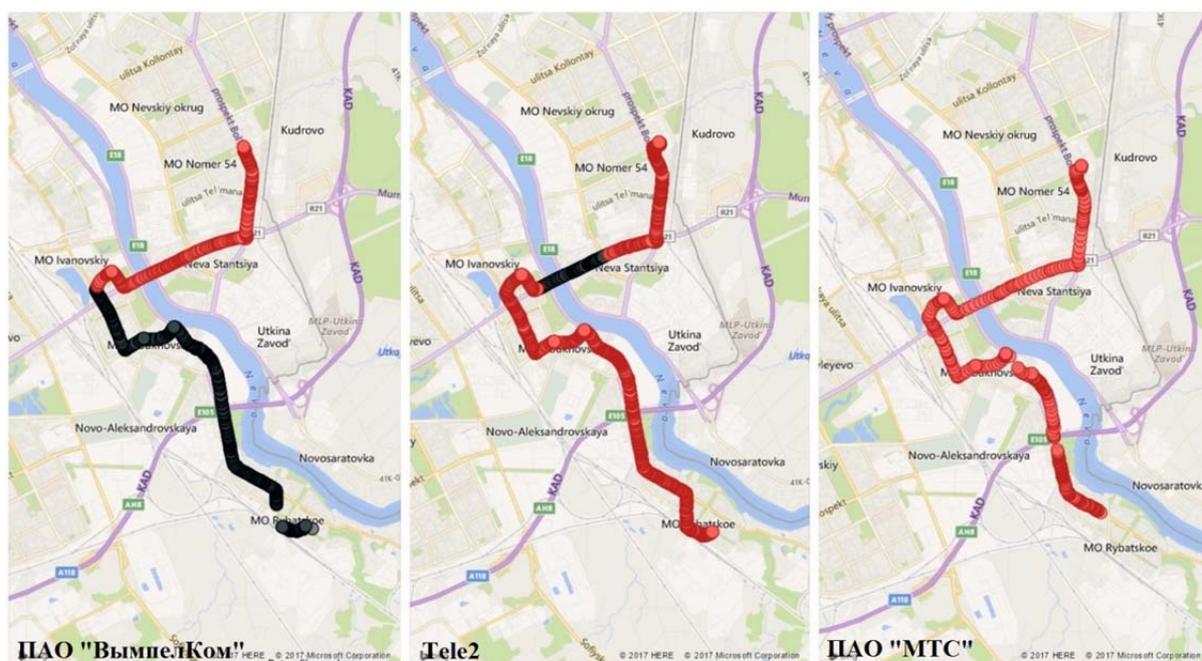


Рисунок. Карта уровня сигнала (красный – LTE, черный – 2/3G)

В результате анализа карт покрытия, полученных в ходе измерений, можно отследить мягкий и жесткий хэндовер, обусловленные перемещением мобильного устройства по маршруту следования, а также межсистемный хэндовер, который вызван низким качеством покрытия сотовой связи.

Во время анализа данных у всех используемых операторов наблюдалось непостоянство качества покрытия сотовой связи. Кроме исследуемого стандарта LTE на некоторых участках маршрута были выявлены территории с уверенным приемом только стандарта 3G.

Таким образом, при условии рассмотрения одновременной работы всех стандартов, лучший результат наблюдался у оператора ПАО «МТС», худший результат по всем показателям оказался у ПАО «ВымпелКом». Причиной таких результатов у ПАО «ВымпелКом» послужило недавнее окончание процесса SWAP. ПАО «МТС» не занимается модернизацией сети и работает над улучшением качества предоставляемой связи. После приобретения компании Tele2 компанией ПАО «Ростелеком», также ведется работа по улучшению качества предоставляемой связи.

Список используемых источников

1. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMAX: учебник / А. Е. Рыжков, М. А. Сиверс, В. О. Воробьев, А. С. Гусаров, А. С. Слышков, А. В. Шуньков. СПб.: Линк, 2012. 226 с.

*Статья представлена научным руководителем,
ведущим специалистом СПбГУТ Андреевым Р. А.*

УДК 004.4

А. В. Помогалова (студентка, СПбГУТ)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ СТУДЕНЧЕСКОГО РАСПИСАНИЯ ПОД СИСТЕМУ ANDROID

Статья посвящена вопросам разработки мобильного приложения, специализирующегося на автоматизированной обработке Excel-файла с расписанием и последующим выводом расписания для конкретной группы на каждую неделю. В статье отражены основные этапы разработки проекта.

Программный код приложения реализован на языке Java. При разработке приложения применялась среда разработки (IDE) IntelliJ IDEA. Для хранения обработанных данных использовалась СУБД MySQL. В качестве вспомогательного клиентского приложения для работы с MySQL применялся программный продукт Navicat Premium.

Excel, Excel-файл, Java, Web-приложение, алгоритмы обработки данных.

Важной, почти основной частью проекта являлось решение проблемы считывания и обработки Excel-файла с минимальным вмешательством пользователя, сводившимся к таким манипуляциям, как загрузка файла и выбор своего факультета и группы. О том, как была решена и реализована эта проблема, нам бы хотелось рассказать.

Среда разработки (IDE)

Работа производилась в среде разработки IntelliJ IDEA на языке программирования Java. Язык программирования был выбран в связи с его обширными возможностями, большим количеством существующих библиотек и вспомогательного обучающего материала. Среда разработки является профессиональной и имеет весь необходимый функционал для создания Java-проектов, в том числе и приложений для мобильных устройств.

Name	Type	Parameter1	Parameter2	Not null	
id_faculty	int	11	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
name_faculty	varchar	60	0	<input type="checkbox"/>	

Рис. 1. Ключевое поле таблицы факультетов

Name	Type	Parameter1	Parameter2	Not null	
id_group	int	11	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
faculty_id	int	11	0	<input checked="" type="checkbox"/>	
name_group	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	

Рис. 2. Ключевое поле таблицы групп

Name	Type	Parameter1	Parameter2	Not null	
id_week_1	int	11	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
day_1_1	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_1_2	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_1_3	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_1_4	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_1_5	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_1_6	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_1_7	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_2_1	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	
day_2_2	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>	

Рис. 3. Ключевое поле таблиц недель

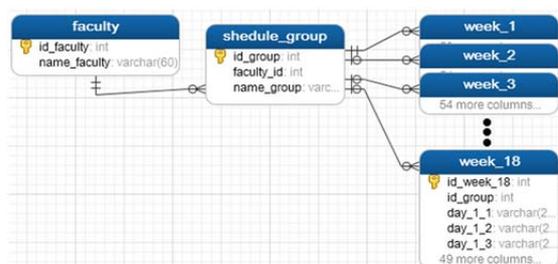


Рис. 4. Связи в базе данных

и название факультета (name_faculty). id_faculty является ключевым полем и по этому полю производится связь с другими таблицами (см. рис. 1).

Таблица с группами (schedule_group) включает в себя поля id группы (id_group), которое является ключевым, id факультета и название группы (name_group) (см. рис. 2).

Таблица с неделями состоит из большого количества полей, ключевое поле – id недели (id_week_X, где X - номер недели), 42 поля, обозначающие день недели и номер пары (напр. day_1_1 – понедельник, первая пара), поле курс (course), семестр (semester), id группы (group_id) (см. рис. 3).

Структура проекта

Так как информация после считывания Excel-файла должна быть куда-то записана, нами было принято решение создать базу данных, в которой бы хранилась информация в структурированном виде с возможностью последующего считывания в любой момент времени.

В качестве СУБД была использована MySQL. Для организации работы по первоначальной настройке базы данных использовался программный продукт «Navicat Premium». Эта утилита отличается простотой в использовании, большими функциональными возможностями, а также наличием пробной лицензии, которую можно обновлять раз в 30 дней.

Итак, база данных состоит из 18 таблиц отведенных под недели (week_1, ..., week_18), одной таблицы с перечнем факультетов (faculty) и одной таблицы с перечнем всех групп (schedule_group).

Таблица с факультетами состоит из следующих полей: id факультета (id_faculty)

Таблицы связаны между собой с помощью ключевых полей: таблица факультетов (faculty) связана с таблицей групп (schedule_group) связью «один ко многим», таблица с группами (schedule_group) связана с таблицами недель (week_1, ..., week_18) также связью «один ко многим» (см. рис. 4).

Изначально занесена информация только о факультетах. В результате работы программы расписание загружается из Excel-файла в базу данных MySQL. В процессе работы приложения формируются таблицы с данными о группах и данными о том, в какой день недели, в какое время, в какой аудитории, будут идти учебные занятия для студентов.

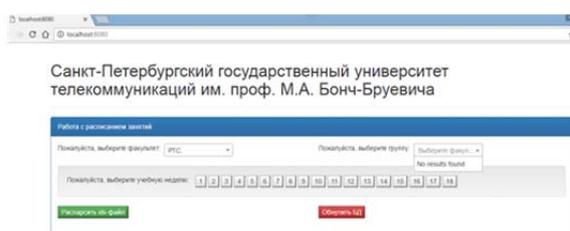


Рис. 5. Визуализация

№ пары/группы	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
1	9:00-10:20					
2	10:45-12:20	Электроника устройств и систем	Специализация, таб. 5			
3	13:00-14:15	ОУИСС, таб. Пушкин, комн. 3-17к. а.8191	УОС, таб. Степанов, комн. 5-17к. а.8282	Э/СТ, таб. Колпаков, комн. 5-17к. а.8414(3)	Интерактивные среды (интеракторы ИСЭ)	
4	14:45-16:20	ТЭД, таб. Ровина, комн. 3-17к. а.8281	Специализация, таб. 5	КОРТАРС, таб. Адкина, комн. 5-17к. а.8191	УОС, таб. Степанов, комн. 5-17к. а.8282	
5	16:30-18:05		ИСС, таб. Степанов, комн. 5-17к. а.8191			
6	18:15-19:50					

Рис. 6. Вывод расписания

После формирования базы данных расписание занятий может быть выведено в красивом графическом виде. Технология вывода расписания получается следующей: пользователь выбирает свой факультет (см. рис. 5), по ID факультета в базе данных отсеиваются строки таблицы, где не фигурирует данный ID и выводится список групп, в таблицах которых был найден нужный нам ID факультета. После этого выбирается группа, и отсеиваются оставшиеся ненужные строки таблицы, в которых не обнаружено ID нашей группы. Далее пользователю предлагается выбрать номер недели, после чего появляется расписание

на неделю, распределенное на дни недели и номера пар (см. рис. 6).

Программный код

Для удобства написания, а также последующего функционирования был использован Паттерн «Репозиторий», а также Паттерн MVC (Model View Controller). Паттерн «Репозиторий» позволяет абстрагироваться от конкретных подключений к источникам данных, с которыми работает программа, и является промежуточным звеном между классами, непосредственно взаимодействующими с данными, и остальной программой. Паттерн MVC – схема разделения данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: модель, представление и контроллер – таким образом, что модификация каждого компонента может осуществляться независимо:

Модель (Model) предоставляет данные и реагирует на команды контроллера, изменяя своё состояние;

Представление (View) отвечает за отображение данных модели пользователю, реагируя на изменения модели;

Контроллер (Controller) интерпретирует действия пользователя, оповещая модель о необходимости изменений.

Исходный код программы разделен на функциональные компоненты и распределен по папкам.

В папке «\src\main\java\com\albomo\shedule\model» содержатся данные об используемых таблицах MySQL: вспомогательные объекты – методы get и set, конструкторы, а также описания всех составляющих таблиц базы данных, с заданием типа данных. Представлено детальное описание данных, которые будут храниться в тех или иных ячейках таблиц, количество символов, может ли быть ячейка нулевой или нет, обозначение ключевого поля, а также связи между таблицами.

Сервисы отвечают за реализацию функционирования, то есть запись информации в базу данных, удаление, поиск и т. д. В папках «\src\main\java\com\albomo\shedule\service» и «\src\main\java\com\albomo\shedule\repository» содержатся классы для реализации сервисной части программного модуля.

Папка «\src\main\java\com\albomo\shedule\view» и «\src\main\webapp\WEB-INF\views» содержат в себе механизмы визуализации результатов работы программы.

Процесс обработки Excel файла

В связи с тем, что приложение специализировалось на обработке файлов именно для нашего университета, так как все файлы имеют общепринятое оформление, то и процесс обработки файла базируется на схожести всех вариантов расписания.

В процессе изучения файла расписания были найдены зависимости, такие как место, занимаемое «шапкой» с названием университета, расположение дней недели, названий групп, времени занятий. С помощью этих зависимостей программа высчитывает те ячейки, в которых хранится информация о дне недели, времени занятия, принадлежности той или иной группы.

Также наше приложение «понимает», когда ячейки объединяются, держа в себе потоковые лекции, которые относятся сразу к нескольким группам и корректно записывает эту информацию в базу данных MySQL.

Визуализация работы программного продукта

На данном этапе работы было принято решение визуализацию производить с помощью вывода «на сайт». Для отладки проекта используется localhost, то есть рабочая машина. Но созданное приложение может работать на любом хостинге, на котором установлена виртуальная машина Java

и контейнер сервлетов Tomcat. Этот вариант вывода информации наиболее удобен для той задачи, которая решалась на этом этапе, а также дает возможность для последующего преобразования, как в мобильный формат с последующей привязкой к мобильному приложению, так и как самостоятельный продукт, который можно выгрузить на сайт для удобства студентов.

Список используемых источников

1. Васильев А. Н. Java. Объектно-ориентированное программирование. СПб.: Питер, 2014. 401 с.
2. Дейтел П., Дейтел Х., Дейтел Э., Моргано М. Android для программистов. Создаем приложения. СПб.: Питер, 2013. 384 с.
3. Нимейер П. Программирование на Java. СПб.: Эксмо, 2014. 1216 с.

*Статья представлена научным руководителем,
ст. преподавателем СПбГУТ Ермаковой Т. В.*

УДК 004.4'6

А. В. Помогалова (студентка, СПбГУТ)

ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ ПРИМЕНЯЕМЫЙ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ QNET+

В статье рассматривается система дистанционного обучения QNet+, активно используемая для закрепления полученных студентами знаний, в рамках изучаемых дисциплин. Акцент производится на систему проверки знаний, применяемой в данной системе, алгоритмы и принципы оценки данных, получаемых от обучающихся.

Также подробно отражается механизм действий системы, после ввода студентами данных, на примере разработанной лабораторной работы по изучению протокола IP.

система дистанционного обучения, QNet+, система проверки, скрипт.

Система Qnet+ представляет собой инструментальную платформу, предназначенную для организации дистанционного обучения ряду дисциплин, относящихся к направлению "инфокоммуникационные технологии". Система обеспечивает доступ пользователей к своим ресурсам через графический web интерфейс, что делает процесс обучения простым, наглядным и, в то же время, функциональным [1]. Система Qnet+ обеспечивает настройку и конфигурирование стендов (модельных сетей), необходимых

для выполнения лабораторных работ и осуществляет оперативный контроль, учет и документирование результатов работы обучающихся.

Система Qnet+ содержит ряд базовых курсов, по каждому из которых обучающимся предлагается выполнить необходимое количество лабораторных работ. Каждая лабораторная работа детально разработана, содержит ряд последовательных заданий, результаты выполнения которых контролируются и учитываются. Для выполнения каждой работы обеспечивается доступ к соответствующему стенду, на котором данное задание выполняется наиболее наглядно. Обучающимся предоставляется полная информация о выделенном ему для работы стенде, его составе и параметрах, предоставляется возможность провести необходимые конфигурационные действия над элементами данного стенда.

Пользователям предоставляется вся информация о последовательности проведения лабораторных работ, краткая теоретическая информация о предстоящем задании, ссылки на теоретические курсы по изучаемым дисциплинам.

В процессе выполнения каждого задания лабораторной работы обучающиеся производят некоторые действия по манипулированию с оборудованием на модельном стенде. По результатам этих действий предлагаются проверочные задания. Ответы на эти задания могут заполняться студентами в следующих вариантах:

- без ввода данных;
- поле ввода произвольной текстовой информации;
- несколько полей ввода произвольной текстовой информации;
- выбор одного ответа из списка предоставленных ответов;
- выбор множественного выбора из предоставленных вариантов ответа.

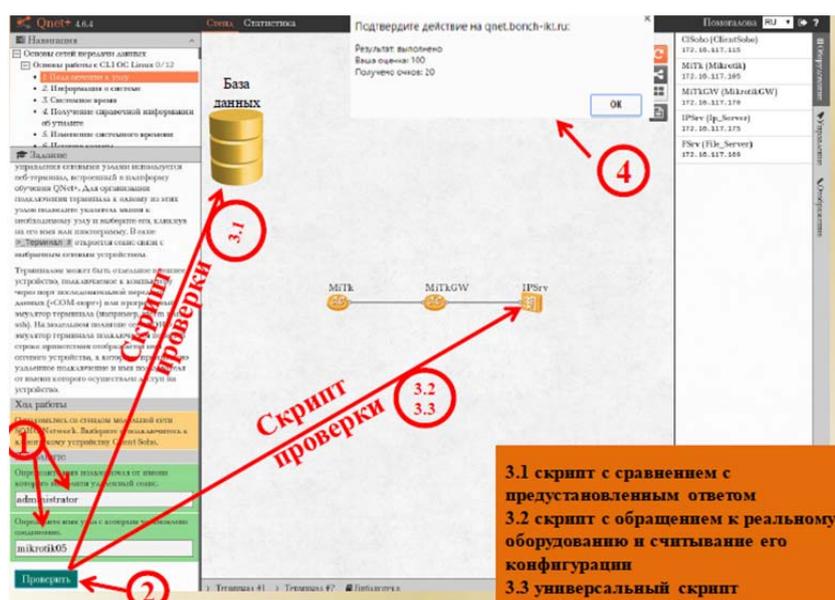


Рис. 1. Принцип работы системы проверки знаний

Отмеченная или введенная студентом информация (рис. 1 пункт 1) передается на сервер системы QNet+ (рис. 1 пункт 2). На сервере иницируются скрипты проверки (рис. 1 пункт 3.1, 3.2, 3.3), которые обращаются к сетевым устройствам модельного полигона. После чего выводится результат проверки (рис. 1 пункт 4).

Используемые скрипты делятся на три вида:

1) Скрипт, который сравнивает введенные данные с данными на сервере. Этот скрипт обращается к базе данных, где хранится информация о правильном ответе, и сравнивает идентичность введенной пользователем информации с информацией в базе данных. (Пример: на сервере указано числовое значение в десятичном формате Ether Type = 2048, студент вводит числовую информацию в поле. Введенная информация сравнивается с этим числом на сервере. Любой ответ, не совпадающий с числом 2048, будет воспринят и оценен как неверный).

2) Скрипт, сверяющий данные и начисляющий определенное количество баллов, в зависимости от процента совпадения с верным ответом. (Пример: нужно перечислить количество активных интерфейсов на маршрутизаторе – «eth1», «eth2», «eth4». Студент вводит «eth1», «eth2» и получает 60% выполнения задания или, например, 13 баллов, так как ввел не все необходимые данные).

3) С++ универсальный скрипт, управляемый с помощью файла «config». В данном случае нет необходимости писать какой-либо код, просто изменяются необходимые настройки в файле «config». Скрипт может производить любой из двух вышеописанных типов проверки, в зависимости от прописанной настройки (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм работы универсального скрипта

Принцип работы такого скрипта заключается в том, что после ввода данных и отправки их на проверку активируется программа проверки, которая содержит также файл «config» и параметры запуска.

Параметры запуска включают в себя данные о том, к какому устройству подключиться, IP адрес хоста, логин и пароль, вариант и др.

Параметры в файле «config» описывают команду для запуска на устройстве, параметры ее вызова, параметры парсинга файла с выходным файлом команды, введенной на устройстве, дополнительные ключи, такие как критерии оценки по 100-й шкале и сравнение введенного пользователем ответа с тем, что распарсила программа.

Если в распарсенном файле не найдено совпадений, то за задание не будет начислено баллов. Другая ситуация, если представлено несколько полей и если в распарсенном файле не было найдено информации, совпадающей с той, что записана в первое поле ответа пользователем, то система не прекращает проверку, а просто не начисляет баллы за этот ответ и переходит к анализу следующего.

Информация, полученная от скриптов сравнивается с информацией введенной обучающимся. В зависимости от совпадений выдается оценка. Если используется сложная структура проверки с несколькими вопросами, каждый вопрос будет оценен индивидуально, каждый со своим весом и по совокупности будет выведена итоговая оценка за задание. При правильном решении всех пунктов заданию присваивается выполнение на 100 %. При выявлении недочетов в ответах, значение снижается. Порог прохождения задается куратором курса, по умолчанию равен 60 %.

Оценка знаний по заданию вычисляется как произведения значения сложности и полноты выполнения. Сложность указывается куратором курса в момент наполнения системы по 100-бальной шкале.

Список используемых источников

1. НОЦ ИКТ СПбГУТ [Электронный ресурс]: Система дистанционного обучения QNet+. URL: <http://bonch-ikt.ru/content/sistema-distancionnogo-obucheniya-qnet/>.

*Статья представлена научным руководителем,
ассистентом СПбГУТ Есаловым К. Э.*

УДК 004.942:[004.312.24+621.395.4]

Б. К. Резников (студент, СПбГУТ)

МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ НА ПЛИС CYCLONE V

Статья посвящена моделированию передающего устройства МСП, а именно каналообразующего оборудования на ПЛИС. Представлен один из способов формирования группового сигнала цифровой системы передачи информации.

мультиплексор, каналообразующее оборудование, цифровая система передачи.

Многоканальная система передачи – совокупность технических средств, обеспечивающая одновременную передачу сообщений от N источников к N получателям по одной цепи связи (одному стволу).

МСП состоит из передающей части (ПдУ), группового тракта передачи и приемной части (ПрУ) (рис. 1).

На вход передающей части МСП поступают первичные сигналы электросвязи (телефонные, телеграфные, звукового вещания, факсимильные, передачи данных, телевидения и пр.).

В передающем устройстве первичные сигналы $a_i(t)$ преобразуются в каналные сигналы $s_i(t) = M_i[a_i(t)]$ с помощью операторов преобразования M_i . Под преобразованием обычно понимается модуляция.

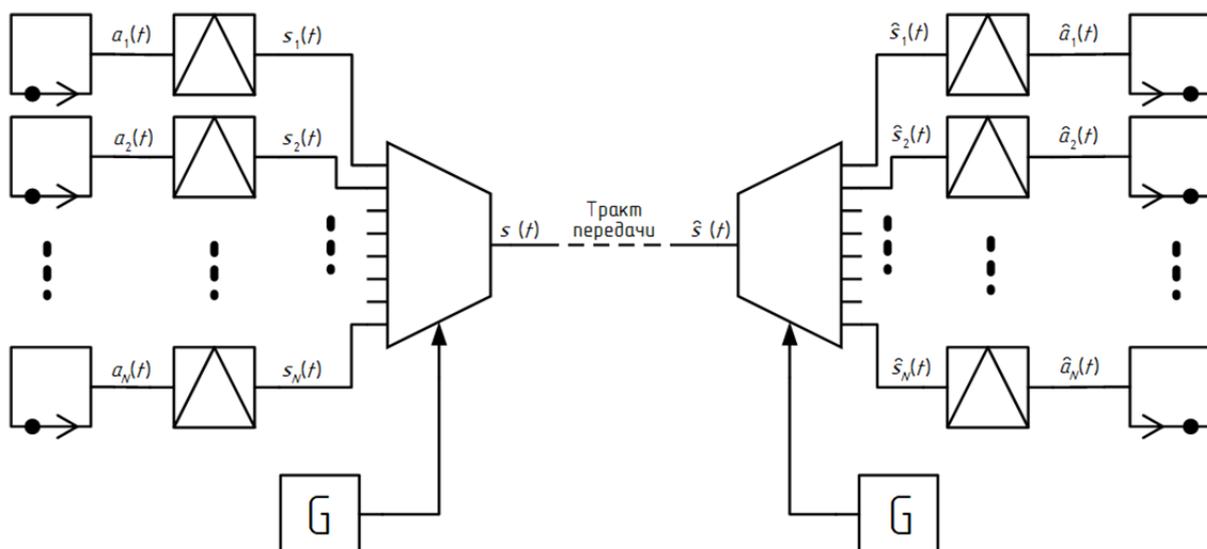


Рис. 1. Обобщенная структурная схема МСП

Групповой сигнал образуется путем суммирования (мультиплексирования) каналных сигналов:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t) = \sum_{i=1}^N M_i(a_i(t)).$$

Групповой сигнал при прохождении по тракту передачи претерпевает искажения. Следовательно, на входе приемной части вместо сигнала $s(t)$ присутствует сигнал $\hat{s}(t)$.

На приемной стороне из сигнала $\hat{s}(t)$ сначала выделяют индивидуальные каналные сигналы. Т. к. $\hat{s}(t)$ отличается от $s(t)$, то и каналные $\hat{s}_i(t)$ будут отличаться от исходных $s_i(t)$.

Разделение сигналов происходит с помощью операторов разделения R :

$$\hat{s}_i(t) = R_i(\hat{s}(t)).$$

На следующем этапе необходимо преобразовать принимаемые каналные сигналы $\hat{s}_i(t)$ обратно в первичные, которые, в свою очередь, будут отличаться от передаваемых $a_i(t)$. Преобразование заключается в применении к каждому каналному сигналу $\hat{s}_i(t)$ оператора, обратного M :

$$a_i(t) = M_i^{-1}(\hat{s}_i(t)).$$

Под преобразованием M^{-1} , аналогично M , обычно понимается демодуляция.

В качестве методов многоканальной передачи сообщений обычно используют следующие методы:

- с частотным разделением каналов (ЧРК);
- с фазовым разделением каналов (ФРК);
- с временным разделением каналов (ВРК).

При цифровой передаче первичный сигнал необходимо преобразовать в цифровой сигнал (рис. 2), т. е., если, например, сигнал является аналоговым, то его необходимо сначала заменить последовательностью импульсов – дискретизировать [1, с. 83], затем квантовать и закодировать.

Источники сообщения. В качестве источников сообщения при моделировании выбраны элементы памяти ПЗУ (ROM) по нескольким причинам: они просты в реализации – имеется Мега-функция Altera; сигнал от ROM поступает сразу в необходимой для мультиплексирования цифровой форме.

Для моделирования ПДУ выбрано восемь источников – достаточное, чтобы наглядно отобразить работу устройства. Размер слова – 8 бит, слов в памяти (ячеек) – 1024.

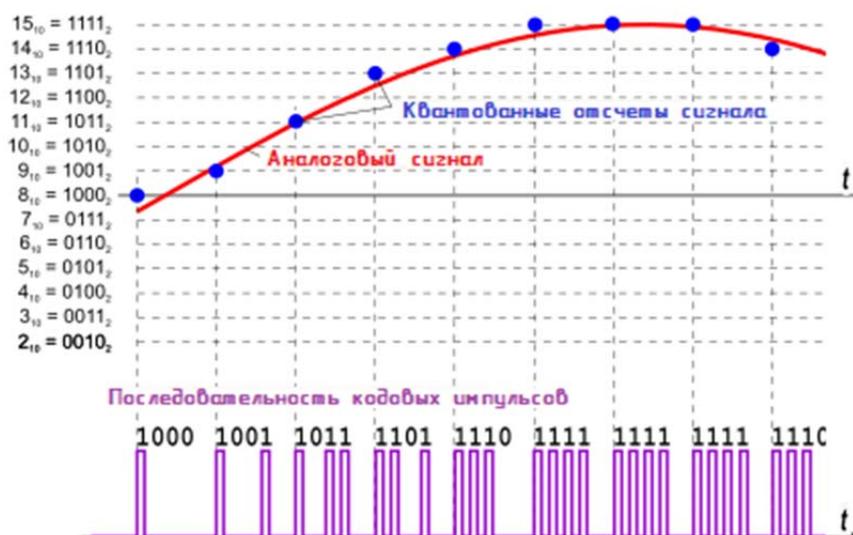


Рис. 2. Пример 4-битной (16-уровневой) импульсно-кодовой модуляции. Показано квантование аналогового сигнала и пачки импульсов, кодирующих отсчеты

Временное разделение каналов. В моделируемом устройстве (ПДУ МСП) будет использоваться метод передачи с ВРК и цифровой передачей группового сигнала – каналные сигналы будут передаваться в разные промежутки времени в цифровом двоичном виде. ВРК в моделируемой системе будет обеспечиваться последовательной коммутацией каналных сигналов выходную линию передачи – мультиплексирование. В качестве устройства мультиплексирования будет использоваться каскадное соединение ряда первичных мультиплексоров и одного вторичного (рис. 3). Данная операция прodelывается с целью упрощения – все мультиплексоры имеют одинаковую структуру, и, соответственно, программная реализация.

Заметим, что вместо первичных мультиплексоров могут быть использованы сдвиговые регистры.

Так как количество источников – 8, то выберем мультиплексоры 8 к 1 с 3-разрядными шинами адреса $adr[2:0]$.

После прохождения сигнала через первичный мультиплексор, образуется цифровой поток. Временное объединение цифровых потоков будет производиться групповым (канальным) методом [1, с. 231] – по байту информации от каждого из источников. Как только информация от последнего источника поступит в линию, считывание продолжится из первого источника, образуя цикл передачи. При передаче информации для каждого из источников в цикле будет отводиться временной интервал, называемый канальным (КИ).

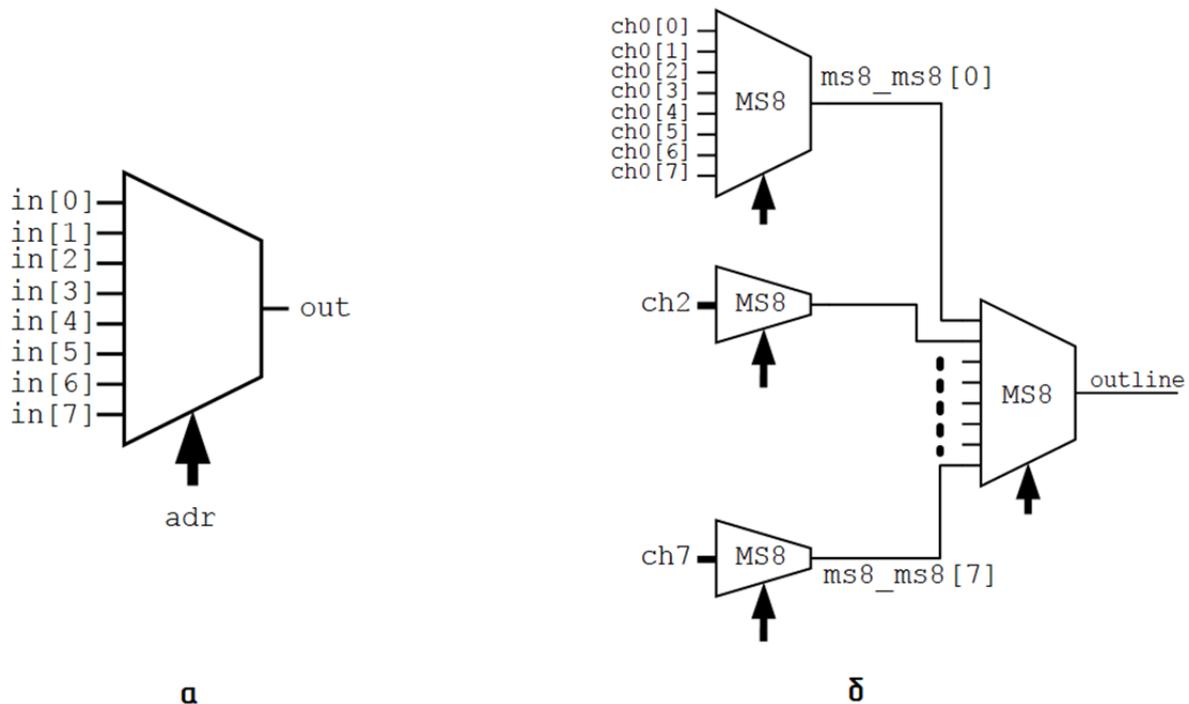


Рис. 3. Устройство мультиплексирования: первичный мультиплексор (а) и каскадное соединение мультиплексоров (б)

Тактирование в схеме. Генераторное оборудование. В качестве генераторного оборудования (ГО), формирующего разрешающие импульсы, будет использоваться инкрементирующий счетчик, который формирует адреса для мультиплексоров и блоков ROM. Так как для моделирования выбраны блоки памяти объемом 1024 ячейки, для ее адреса необходима 10-разрядная шина.

Для модели ГО выбран двоичный счетчик, формирующий 16-разрядную шину cnt[15:0] – шину адреса для мультиплексоров и памяти, три младших разряда 2:0 которой подаются на первичный мультиплексор, разряды 5:3 на – вторичный и разряды 15:6 – на блоки памяти ROM.

Формирование группового сигнала. Соединяя рассмотренные в предыдущих пунктах блоки согласно схеме (см. рис. 4), получим модулируемое передающее устройство МСП. Временная диаграмма входа и выхода схемы отображена на рис. 5.

Программирование устройства на ПЛИС. Моделируемое устройство было разработано в среде программирования Quartus II 15.0. Данная среда позволяет запрограммировать устройство в ПЛИС с помощью соответствующего функционала. В качестве прошиваемого устройства была использована ПЛИС Cyclone V компании Altera.

Выводы. Модель устройства представляется возможным использовать в качестве одного из элементов модели МСП на ПЛИС при разработке задания на курсовое проектирование в курсе изучения дисциплины «Вычислительная и микропроцессорная техника» для студентов, обучающихся по

направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профиля «Многоканальные телекоммуникационные системы».

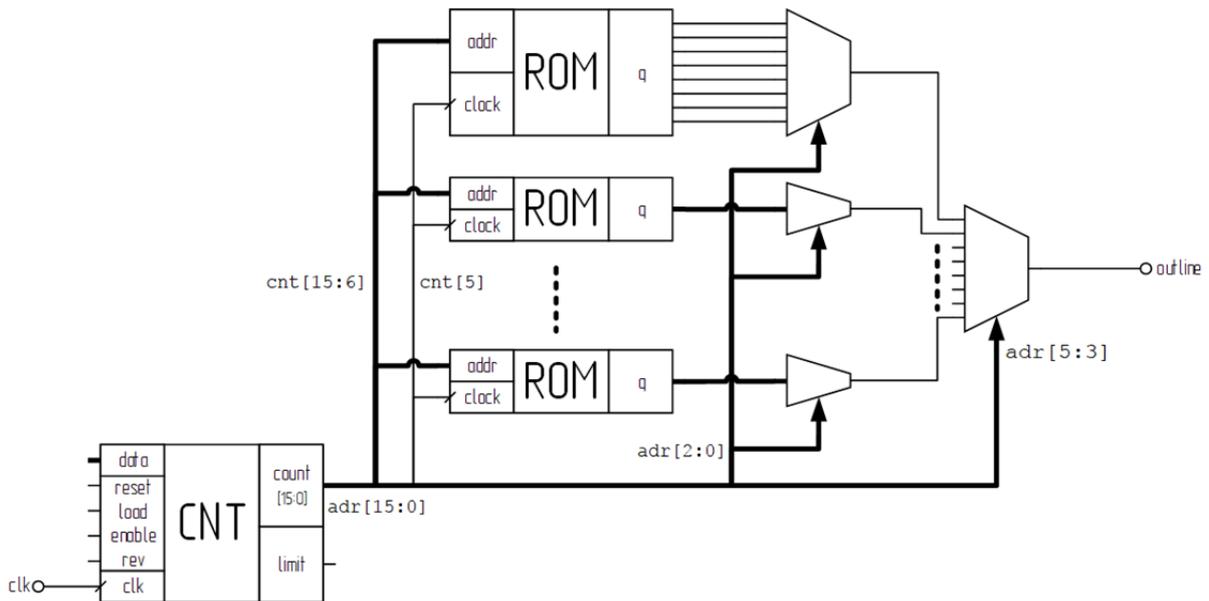


Рис. 4. Передающее устройство МСП

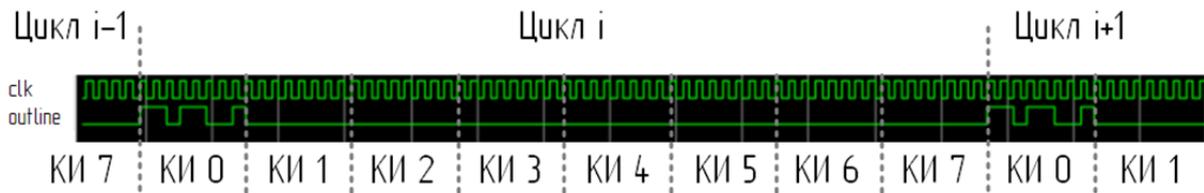


Рис. 5. Временная диаграмма работы ПДУ МСП.

Для наглядности источники 1 – 7 отключены, передается лишь сигнал с источника #0

Список используемых источников

1. Матюхин А. Ю., Курицын С. А. Многоканальные системы передачи: учеб. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2013. 400 с.
2. Неёлова О. Л. Базовые цифровые устройства телекоммуникационных систем: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2006. 40 с.

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем СПбГУТ Неёловой О. Л.

УДК 65.011.56

В. В. Савич (студент, СПбГУТ)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ПО УСТРАНЕНИЮ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ НТЦ АРГУС

В статье предложено решение по сквозной автоматизации процесса обработки аварии на сетевом оборудовании с применением OSS систем АРГУС, интеграции с системой мониторинга и предложено дальнейшее развитие комплекса в сторону доработки активного опроса состояния оборудования системы СИРИУС.

мониторинг аварий, OSS-системы, проектирование сквозного процесса, автоматизация деятельности оператора связи.

Сквозная автоматизация процессов [1] поддержки эксплуатации оборудования и услуг связи при помощи хорошо отстроенного ИТ-ландшафта позволяет существенно повысить эффективность процесса управления бизнесом в целом и в том числе решить одну из основных задач оператора – сохранения и преумножения клиентской базы.

OSS решения НТЦ АРГУС [2] широко применяются крупнейшими операторами связи РФ и СНГ для задач автоматизации эксплуатационной поддержки. Интеграция с системой мониторинга позволит автоматизировать процесс регистрации аварии в системе и её обработки, сократив тем самым время простоя отказавшего оборудования.

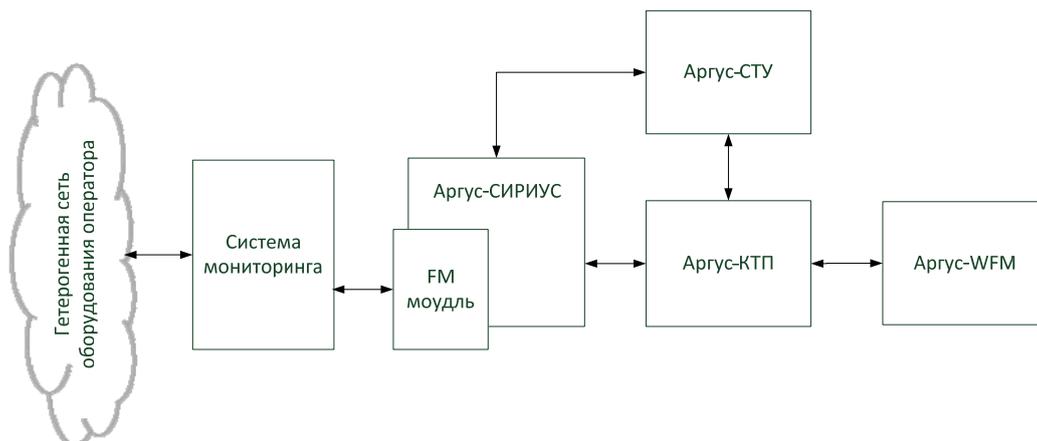


Рис. 1. Концептуальная модель взаимодействия систем

Составляющими элементами (рис. 1) предлагаемого взаимодействия систем управления неисправностями оборудования должны выступить системы интеграции ресурсов и управления сетью («АРГУС-СИРИУС»), мо-

дуль управления неисправностями (Fault management), система автоматизации процессов приема обращений и обработки инцидентов («АРГУС-КТП»), управления рабочей силой («АРГУС-WFM») и инвентаризации ресурсов («АРГУС-СТУ») [3]. Такая конфигурация систем должна обеспечить автоматизированную обработку аварии на сетевом оборудовании до полного ее устранения.

Сигнальные сообщения обрабатываются модулем системы «СИРИ-УС» – «Fault management (FM)», цель которого обнаружить сообщения об отказах [4] в другие системы, следующие по автоматизированному процессу. Модуль способен отсеивать сообщения об ошибках, производить их корреляцию с целью сокращения количества дублирующей информации. Все данные передаются системе «КТП» для вызова создания группового повреждения (ГП) и в «СТУ», как единую базу данных, где выявляется степень затронутости ресурсов аварией. Адрес расположения неисправного устройства, участок и обслуживающее подразделение, к которому относится устройство, количество и вся необходимая информация об абонентах анализируются в «КТП». Обладая этой информацией система «КТП» создает наряд на групповое повреждение (ГП) по данной неисправности. С учетом информации от системы «WFM» о квалификации работников, их занятости и местоположении, назначается исполнитель наряда. Ремонтные работы могут быть произведены, как выездные, с физическим ремонтом, так и удаленные.

Исполнитель, выполнивший ремонт должен сделать отметку в наряде о выполненных работах и ожидать подтверждения об успешности выполненных работ от системы мониторинга.

Завершающим этапом работы взаимодействия систем является подтверждение выполнения ремонта ответственным сотрудником, что служит сигналом для запуска проведения диагностических тестов системой мониторинга. По результатам теста, при успешном варианте происходит автоматическое окончательное закрытие наряда на ремонт и снятие ГП в системе «КТП».

Прокомментировать предложенную модель взаимодействия можно с помощью схемы основного сквозного процесса (рис. 2) работы по устранению неисправности сетевого оборудования и восстановлению доступа к услугам.

Рассмотрим более подробно предполагаемый процесс сквозной автоматизации устранения неисправностей.

Система мониторинга собирает сигнальную информацию, которая обрабатывается в FM модуле. В случае обнаружения сообщения об ошибке производится вызов функции автоматического создания группового повреждения в КТП.

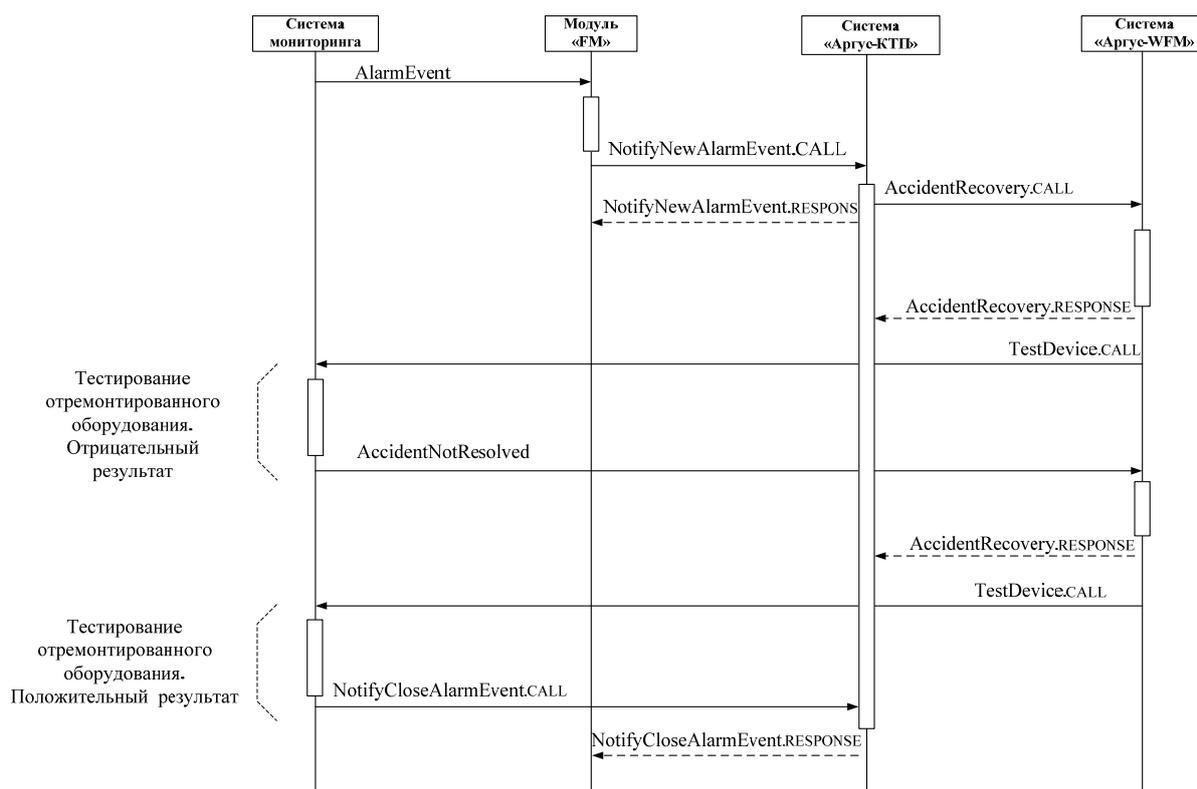


Рис. 2. Диаграмма сквозного процесса обработки аварии

Так как Аргус системы используют единую базу данных, ГП создается сразу, на поврежденное оборудование. Внутренние алгоритмы КТП предусматривают включение в ГП единичных инцидентов с целью исключения дублей нарядов на ремонтные работы. Исполнитель наряда назначается в соответствии с алгоритмами WFM, в зависимости от зон обслуживания, графиков рабочего времени и загруженности. После выполнения ремонта оборудования ответственный сотрудник выставляет отметку в ГП о выполненных работах, что служит сигналом для запуска тестов оборудования.

В случае негативного результата тестирования – наряд возвращается на проведение повторных ремонтных работ и с ГП выполняется снятие отметки о выполненных работах.

Выполненные работы снова должны быть подтверждены тестированием отремонтированного оборудования. В случае положительного результата – метка о выполненных работах заменяется на метку «закрытие системой мониторинга» и ГП закрывается.

В качестве дальнейшего развития комплекса можно предложить расширение функциональности системы СИРИУС до выполнения активного опроса состояния сетевого оборудования. Наличие такой функциональности позволит получить комплексную систему мониторинга и управления

неисправностями на сети, с автоматизированными внутренними процессами и единой базой данных.

Список используемых источников

1. Атцик А. А. OSS/BSS Технологии // Техника Связи. 2008. № 4. С. 28–31.
2. Кисляков С. В., Никулин В. Н. Система сквозной автоматизации управления материальными ресурсами компании // Технологии и средства связи. 2016. № 2. С. 99–105.
3. Атаманчук Е., Кисляков С. В. Перспективные комплексные решения для автоматизации средних и малых операторов связи // Connect. Мир ИТ. 2015. № 10. С. 33–37.
4. Кисляков С. В., Савич В. В. Решение по автоматизации бизнес-процессов групп Fulfillment и Assurance для крупного оператора связи // Т-Comm – телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10, № 6. С. 34–36.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидат технических наук, доцент СПбГУТ Кисляков С. В.*

УДК 621.391

О. С. Усманов (магистрант, СПбГУТ)

ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ТРАФИКА SDN И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Исследовательская работа посвящена анализу и исследованию трафика в программно-конфигурируемых сетях. В данной статье описывается концепция SDN, постановка задачи, а также пути её решения. Для исследования трафика и анализа полученных результатов будет использоваться специальное программное обеспечение для имитационного моделирования. В статье также присутствует краткий обзор вариантов программного обеспечения для решения поставленной задачи.

ПКС, Программно-конфигурируемые сети, качество обслуживания.

Введение

В наши дни, когда в геометрической прогрессии растет число сетевых устройств. К примеру, по прогнозам, к 2020 г. число беспроводных устройств составит 7 триллионов на 7 миллиардов человек [1]. Возникает большое опасение того, что традиционные сети просто не справятся с таким колоссальным трафиком, который будут генерировать такое огромное количество сетевых устройств. Помимо этого, возникнут большие трудности в конфигурации и управление сетями такого масштаба.

“Панацеей” от проблем, описанных выше, считается концепция программно-конфигурируемых сетей (Software-Defined Network, SDN) [2, 3].

SDN сеть предполагает централизованного управление, за счет программирования. Данный метод позволяет гибко распределять и обрабатывать большие потоки трафика, устранять узкие места, резервировать ресурсы сети, что предотвращает перегрузку [4].

Также стоит отметить, что SDN сети значительно дешевле в развертывание, чем традиционные сети, так как в ПКС сетях сетевые устройства становятся проще (в плане интеллекта) и соответственно дешевле.

Область исследования

Программно-конфигурируемая сеть (SDN от англ. Software-defined Networking, также программно-определяемая сеть) – концепция сети передачи данных, главная идея которой заключается в отделении плоскости передачи трафика от плоскости управления сетью [2, 3, 4, 5].

Концепция SDN, ее архитектура (см. рис. 1) Действие протокола OpenFlow и Flow Table описывается в [2, 3, 5].

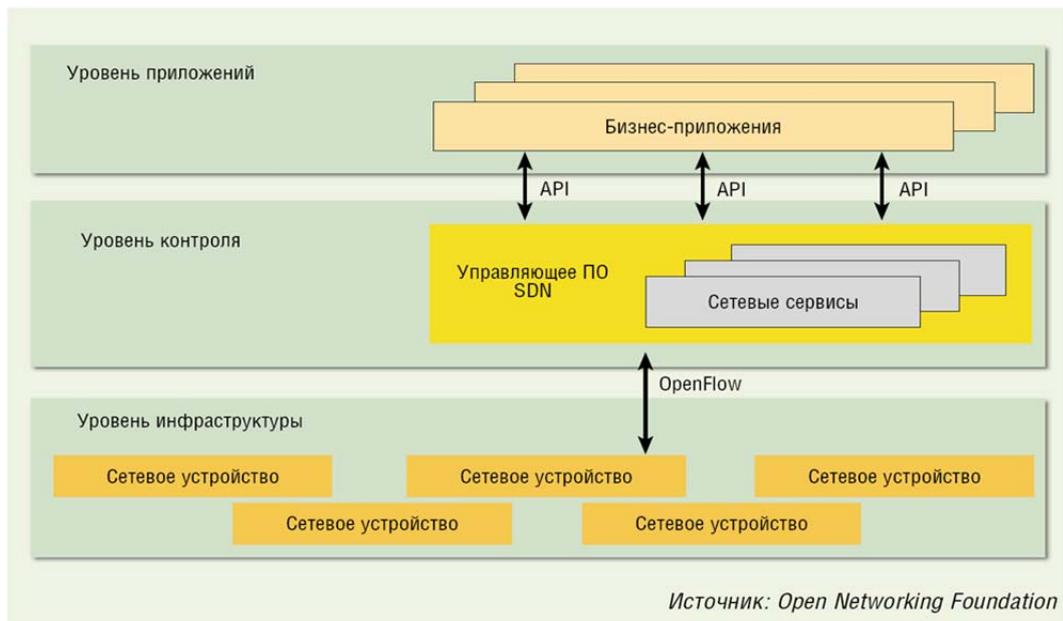


Рис. 1. Архитектура SDN

Постановка задачи

Задача при построение сети связи – выбор компромисса между абонентским трафиком, качеством обслуживания и объемом ресурсов. Соответственно, нужно иметь данные о трафике, который будет проходить в данной сети, нужно определить требования к QoS и вычислить объем ресурсов, который потребуется для построения сети. А самое главное – необходимо выбрать модель для описания сети.

Трафик влияет на выбор модели обслуживания, поэтому важно знать свойства трафика. Следовательно, целью дальнейшей работы является анализ и исследование трафика SDN, для построения его модели, на основе которой могут быть выбраны или разработаны методы обеспечения QoS.

Для решения задач анализа трафика могут быть использованы методы аналитического и имитационного моделирования. Разработка аналитической модели требует решения ряда математических задач, при этом получение адекватной модели не всегда возможно или слишком сложно. В любом случае требуется проверка адекватности полученных аналитических решений. Для этой цели чаще всего используются методы имитационного моделирования.

В общем, для решения задач имитационного моделирования существует разнообразное программное обеспечение. В частности, для задач моделирования сетей связи наиболее часто используются такие системы как: GPSS, NS2, NS3, Mininet, Estinet, OPNET, OMNeT++, GNS3 [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Применение имитационного моделирования для решения данной задачи требует учитывать специфику построения модели SDN. Для решения данной задачи требуется учитывать такие особенности SDN как: протокол OpenFlow и его версии, возможность реализации централизованного управления сетью, поддержка различных контроллеров SDN.

Можно сформулировать основные параметры систем имитационного моделирования, по которым следует проводить сравнение.

- адаптация системы имитационного моделирования к специфике построения модели SDN;
- наличие открытого или закрытого исходного кода (можно использовать систему бесплатно или на платной основе);
- сложность использования программного обеспечения;
- наличие обучающего материала по рассматриваемому программному обеспечению;
- производительность платформы;
- графический интерфейс (GUI – graphical user interface).

Учитывая специфику построения модели SDN, далее будут рассмотрены следующие варианты платформ имитационного моделирования: Estinet, GNS3, Mininet, NS3, OPNET, OMNeT++.

Обзор программного обеспечения для имитационного моделирования

Рассмотрим достоинства и недостатки основных платформ для имитационного моделирования программно-конфигурируемых сетей (см. табл.).

ТАБЛИЦА. Преимущества и недостатки различных платформ для имитационного моделирования

Платформа для имитационного моделирования	Преимущества	Недостатки
Эмулятор сети Mininet	+ Открытый код, + находится в открытом доступе, + полная адаптация к SDN – поддержка всех контроллеров SDN и протоколов OpenFlow, + большое количество обучающего материала в Интернете.	– Сложность в эксплуатации, – необходимо знание Python и Linux, – отсутствие полноценного графического интерфейса.
Эмулятор сети Estinet	+ Наглядность, простота настройки и установки, + удобный графический интерфейс, + может работать, как симулятор (имеет Simulation mode), + поддержка всех версий OpenFlow.	– Закрытое ПО (платная лицензия), – низкая производительность работы, – высокая сложность настройки, если используется невстроенный контроллер, – малое количество обучающего материала.
Симулятор сети OMNet++	+ Открытый код, + удобный, наглядный GUI, + высокая производительность, + хорошая масштабируемость – возможность реализовывать крупные сети ($N > 100$).	– Высокая сложность при использовании – необходимо хорошее знание C++, – небольшое количество обучающего материала, – плохая адаптация к SDN – для реализации необходимы дополнительные расширения.
Симулятор сети NS3	+ Открытый код, + для описания моделей можно использовать в равной степени как C++, так и Python.	– Сложность в использовании ПО (необходимо знание C++ и Python), – отсутствие полноценного GUI (для конфигурации используется C++ или Python), – не поддерживает реальные SDN контроллеры.
Симулятор сети OPNET	+ Открытый код, + простота в работе благодаря полноценному GUI, + интеграция с реальными устройствами, + хорошая масштабируемость сети, + высокоточное имитационное моделирование (свыше 800 моделей сетевого оборудования).	– Платная лицензия, – моделирование требует большое количество мощности (особенно если имеется большое количество сетевых устройств в модели), – мало обучающего материала.

Платформа для имитационного моделирования	Преимущества	Недостатки
Эмулятор сети GNS3	+ Открытый код, + удобный GUI, + много обучающего материала, + многопользовательский режим (на одной VM можно создать несколько сетей).	– Сильная нагрузка на CPU компьютера (порядка 10 маршрутизаторов на 1 ПК), – слабая работа с L2 сетями, – реализация SDN сети возможна только при интеграции с другим ПО для моделирования (например, Mininet), – кроме Cisco IOS почти не поддерживает других вендоров.

Заключение

Проанализировав обзор платформ для имитационного моделирования SDN можно сделать вывод, что в рамках поставленной задачи оптимальным вариантом будет использование следующего программного обеспечения: Mininet, OMNet++, OPNET.

- Mininet полностью адаптирован к реализации сети SDN, имеет высокую производительность;
- OMNet++ славится своей высокой производительностью и хорошей масштабируемостью;
- в OPNET используется высокоточное имитационное моделирование.

Список используемых источников

1. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 160 с.
2. Барсков А. SDN: кому и зачем это надо? [Электронный ресурс] // Журнал сетевых решений / LAN. 2012. № 12. URL: <http://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012/>.
3. Kreutz D., Ramos F., Verissimo P., Rothenberg C., Azodolmolky S., Uhlig S. Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey // Proceedings of the IEEE. 2015. V. 103. Iss. 1. pp. 14–76.
4. Владыко А. Г., Матвиенко Н. А., Новиков М. И., Киричек Р. В. Тестирование контроллеров программно-конфигурируемой сети на базе модельной сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 1. С. 17–28.
5. Лихачев В. А. Программно-конфигурируемые сети на основе протокола OpenFlow // Приволжский научный вестник. 2014. № 3 (31). С. 18–21.
6. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS WORLD: учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 368 с.
7. Заборовский В. С., Ильяшенко А. С., Мулюха В. А. Имитационное моделирование телематических систем. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2013. 58 с.
8. Issariyakul T., Hossain E. Introduction to Network Simulator NS2. N.Y.: Springer, 2008. 435 p.

9. Jha Rakesh Kumar, Kharga Pooja. A Journey Starts from Basic Understanding of Ns2 to Ns3. Lambert Academic Publishing. Saarbruecken: LAP, 2015. 152 p.
10. Welsh C., GNS3 Network Simulation Guide. Birmingham: Packt, 2013. 154 p.
11. Adarshpal S. Sethi, Vasil Y. Hnatyshin. The Practical OPNET User Guide for Computer Network Simulation. N.Y.: Taylor Francis Ltd, 2012. 527 p.
12. Chamberlain T., Learning OMNet++. Birmingham: Packt, 2013, 130 p.
13. Shie-Yuan Wang, Chih-Liang Chou and Chun-Ming Yang. EstiNet OpenFlow Network Simulator and Emulator [Электронный ресурс] // IEEE Communications Magazine 2013. V. 51 Iss. 9. pp. 110–117
14. Azodolmolky S. Software Defined Networking with OpenFlow. Birmingham: Packt, 2013, 152 p.

*Статья представлена научным руководителем,
доктором технических наук, профессором СПбГУТ Кучерявым А. Е.*

УДК 621.3

А. В. Феоктистов (студент, СПбГУТ)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Представлена методика расчета полей направляемых мод в оптическом волокне со ступенчатым профилем показателя преломления. Проведен анализ влияния радиуса сердцевинны и высоты профиля на оптические параметры волокна – хроматическую дисперсию и радиус модового поля.

оптическое волокно, профиль показателя преломления, хроматическая дисперсия, радиус модового поля.

Оптическое волокно (ОВ) сегодня является самой совершенной физической средой, обеспечивающей передачу больших объемов информации с высокой скоростью и на значительные расстояния. Одной из основных характеристик ОВ является профиль показателя преломления (ППП) – зависимость показателя преломления n от расстояния r от оси волокна. ППП определяет большинство оптических параметров ОВ, а значит, оказывает непосредственное влияние на максимально достижимые скорость и дальность связи.

В данной работе представлена методика расчета оптических параметров одномодовых ОВ со ступенчатыми ППП. Ступенчатым называют ППП следующего вида:

$$n(r) = \begin{cases} n_{core} & |r| \leq r_{core} \\ n_{ob} & |r| > r_{core} \end{cases}, \quad (1)$$

где n_{core} , n_{ob} – показатели преломления (ПП) сердцевины и оболочки ОВ, r_{core} – радиус сердцевины ОВ. Направляющие свойства ОВ принято характеризовать высотой ППП Δ , которая определяется выражением [1, 2]:

$$\Delta = (n_{core}^2 - n_{ob}^2) / 2n_{core}^2. \quad (2)$$

В работе было проведено моделирование ОВ с оболочкой из чистого кварцевого стекла и сердцевинной из кварцевого стекла, легированного оксидом германия в концентрации 3,5 молярных процента. ПП сердцевины и оболочки моделируемого ОВ (см. рис. 1) рассчитывались по известному уравнению Селлмейера:

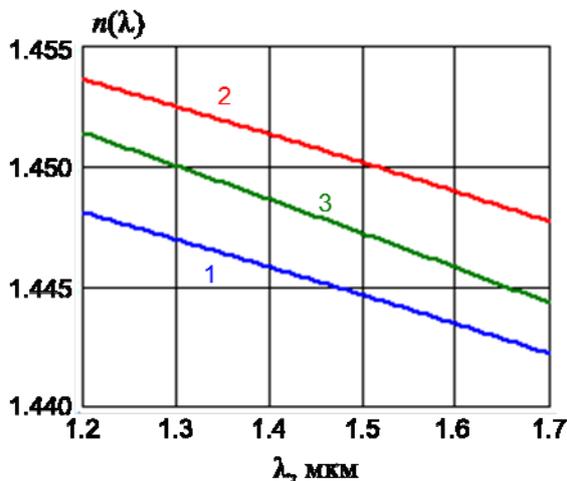


Рис. 1. Показатели преломления оболочки (1), сердцевины (2) и эффективный показатель преломления основной моды (3) моделируемого ОВ

$$n(\lambda) = \sqrt{\sum_{i=1}^3 A_i \lambda^2 / (\lambda^2 - \lambda_i^2) + 1}. \quad (3)$$

В (3) входят резонансные длины волн λ_i и безразмерные коэффициенты A_i , значения которых для кварцевого стекла приведены в таблице [1].

В ОВ со ступенчатым ППП в общем случае может распространяться M направляемых линейно поляризованных мод LP_{lm} , азимутальные и радиальные свойства которых характеризуются индексами l и m .

Z -составляющая напряженности электрического поля направляемой моды LP_{lm} в ОВ, обладающим круговой симметрией, может быть описана уравнением (r , φ – цилиндрические координаты):

$$E_{lm}(r, \varphi) = E_{\max lm} \cdot R_{lm}(r) \cdot \exp(il\varphi), \quad (5)$$

где $E_{\max lm}$, $R_{lm}(r)$ – амплитуда и нормированное распределение напряженности электрического поля моды LP_{lm} в поперечном сечении ОВ. Для ОВ со ступенчатым ППП $R(r)$ имеет вид [2]:

ТАБЛИЦА. Коэффициенты Селлмейера

Состав стекла	100 % SiO ₂	96,5 % SiO ₂ , 3,5 % GeO ₂
A1	0.6961663	0.7042038
A2	0.4079426	0.4160032
A3	0.8974794	0.9074049
λ_1 , мкм	0.0684043	0.0514415
λ_2 , мкм	0.1162414	0.1291600
λ_3 , мкм	9.896161	9.896156

$$R(r) = \begin{cases} J_l(r\sqrt{k^2 n_{core}^2 - \beta_{lm}^2}) / J_l(r_{core}\sqrt{k^2 n_{core}^2 - \beta_{lm}^2}), & |r| \leq r_{core} \\ K_l(r\sqrt{\beta_{lm}^2 - k^2 n_{ob}^2}) / K_l(r_{core}\sqrt{\beta_{lm}^2 - k^2 n_{ob}^2}), & |r| > r_{core} \end{cases}, \quad (6)$$

где $k = 2\pi / \lambda$ – волновое число, λ – длина волны, β_{lm} – постоянная распространения моды LP_{lm} , с которой однозначно связан так называемый эффективный показатель преломления моды $n_{eff\,lm} = \beta_{lm} / k$.

Основной или фундаментальной модой ОВ со ступенчатым ППП является мода LP_{01} . На рис. 1 показана зависимость $n_{eff\,01}$ от длины волны. При расчете радиус сердцевинки принимался равным 4 мкм.

С постоянной распространения основной моды в одномодовом ОВ связаны такие его параметры как хроматическая дисперсия (ХД) D_{chr} (рис. 2) и радиус модового поля (РМП) w (рис. 3) [2]:

$$D_{chr} = -\frac{\lambda}{2\pi c} \left(2 \frac{d\beta_{01}}{d\lambda} + \lambda \frac{d^2\beta_{01}}{d\lambda^2} \right), w = \frac{r_{core}}{\sqrt{k^2 n_{core}^2 - \beta_{01}^2}} \frac{K_1(\sqrt{\beta_{01}^2 - k^2 n_{ob}^2})}{K_0(\sqrt{\beta_{01}^2 - k^2 n_{ob}^2})} \sqrt{2}, \quad (7)$$

где c – скорость света в вакууме.

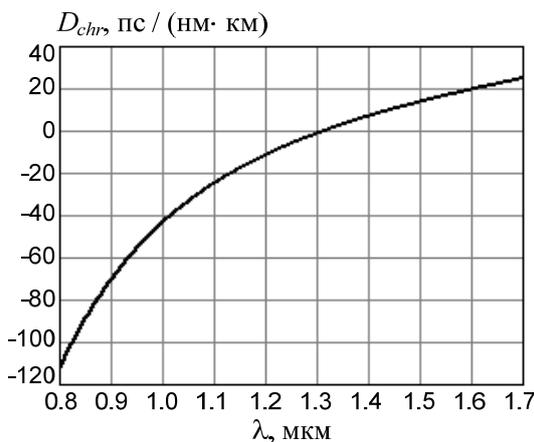


Рис. 2. ХД моделируемого ОВ

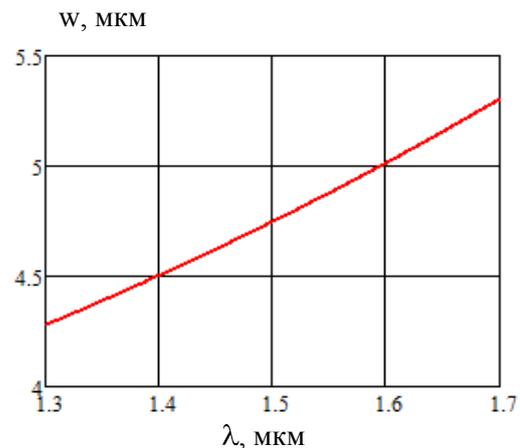


Рис. 3. РМП моделируемого ОВ

На рис. 4–7 представлены результаты исследования зависимости ХД и РМП ОВ со ступенчатым ППП от радиуса сердцевинки r_{core} . ХД (рис. 4, 5) при увеличении r_{core} сначала возрастает, достигая максимума, а потом уменьшается. Увеличение r_{core} приводит к уменьшению длины волны нулевой дисперсии (рис. 6). РМП (рис. 7) при увеличении r_{core} сначала уменьшается, достигая минимума, а потом возрастает. Положение минимума зависит от длины волны.

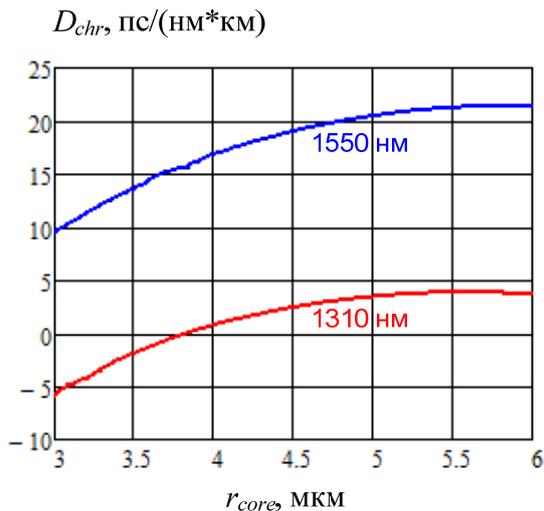


Рис. 4. Зависимость ХД от радиуса сердцевины ОВ

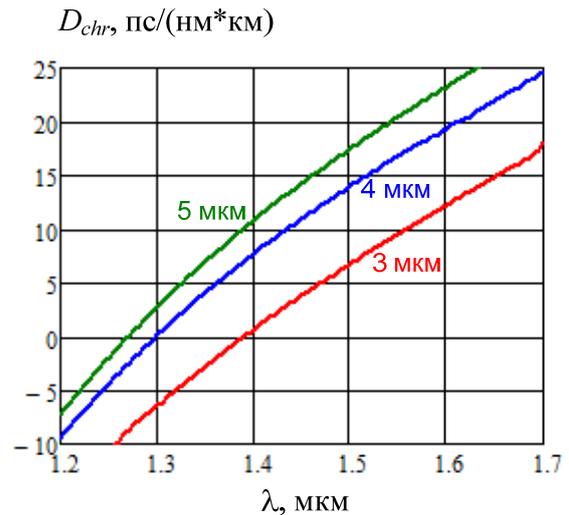


Рис. 5. Зависимость ХД от длины волны при различных радиусах сердцевины ОВ

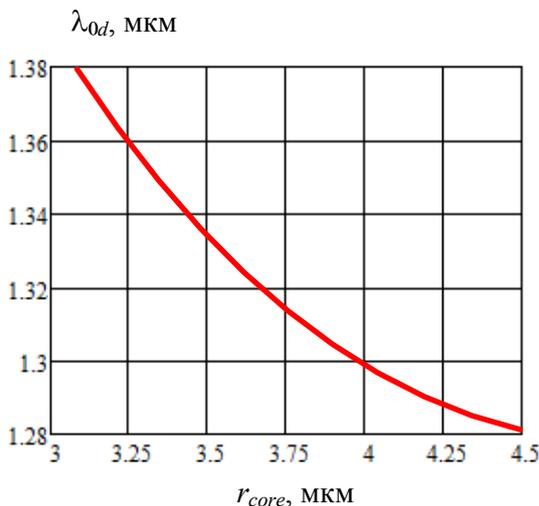


Рис. 6. Зависимость длины волны нулевой дисперсии от радиуса сердцевины ОВ

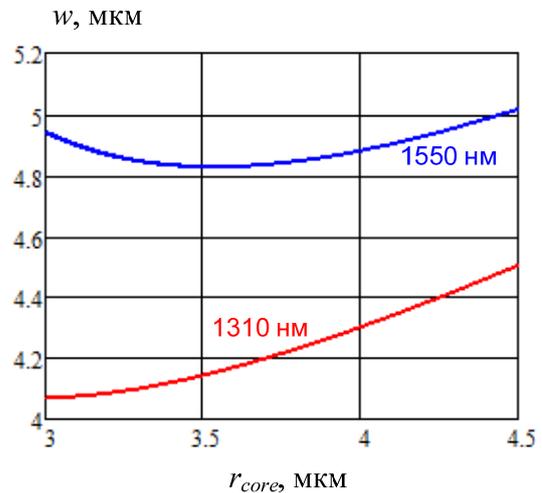


Рис. 7. Зависимость РМП от радиуса сердцевины ОВ

На рис. 8–11 представлены результаты исследования зависимости ХД и РМП при разных значениях высоты ППП моделируемого ОВ с $r_{core} = 4$ мкм. ПП оболочки рассчитывался по выражению:

$$n_{core} = \sqrt{n_{ob}^2 / (1 - 2\Delta)}. \quad (8)$$

Из рис. 8–11 видно, что с увеличением высоты ППП: РМП уменьшается, а ХД возрастает.

Известно, что длина регенерационного участка (РУ) волоконно-оптической системы передачи может быть ограничена как затуханием, так

и дисперсией. Уменьшение ХД позволяет увеличить длину ограниченного дисперсией РУ, а увеличение РМП – длину ограниченного затуханием РУ.

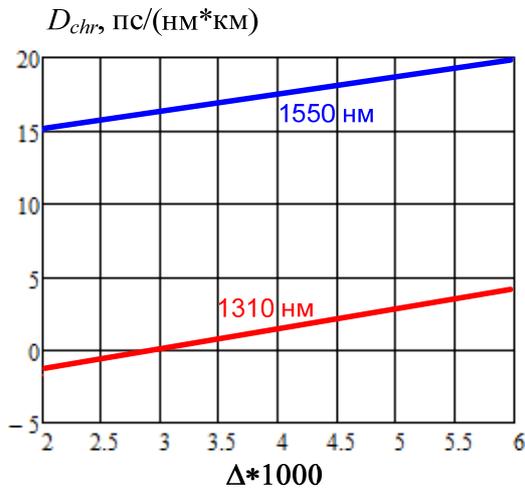


Рис. 8. Зависимость ХД от высоты профиля ППП ОВ при различных длинах волн

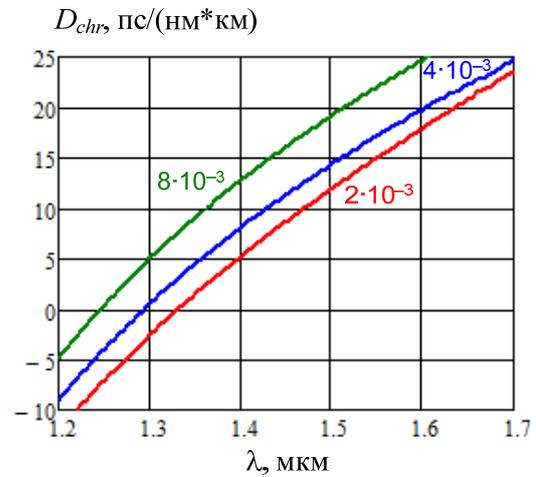


Рис. 9. Зависимость ХД от длины волны при различных значениях Δ

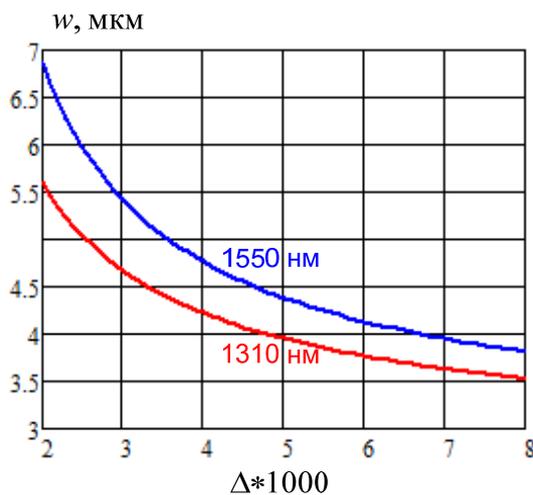


Рис. 10. Зависимость РМП от высоты профиля ППП ОВ

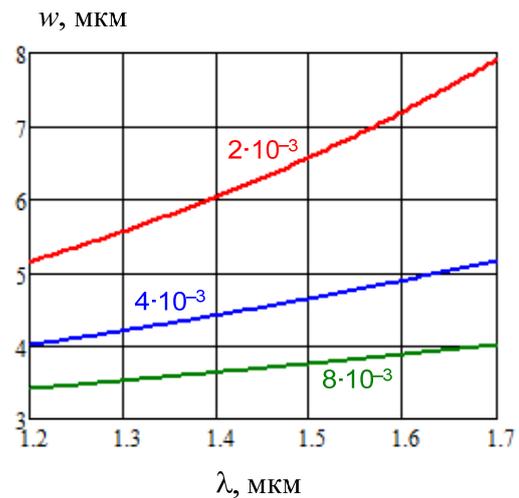


Рис. 11. Зависимость РМП от длины волны при различных значениях Δ

Расчеты показали, что для увеличения длины РУ следует использовать одномодовые ОВ с большим радиусом сердцевины и меньшей высотой ППП.

Список используемых источников

1. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов. М.: Мир, 1984. 512 с.
2. Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов. М.: Радио и связь, 1987. 656 с.

Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Былиной М. С.

УДК 004.72

М. А. Фирсова (студентка, СПбГУТ)

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ MPLS НА СЕТЯХ SDN

Метка – это базовая часть коммутируемой схемы, такой как MPLS. Метка является эффективной в больших сетях, т.к. её коммутирование занимает меньше времени, чем анализ IP и MAC заголовков, что дает возможность предоставления QoS на более высоком уровне. В то же время недавно появившаяся концепция SDN стремительно завоевывает мир, предлагая отделить плоскость передачи данных от плоскости управления всех сетевых узлов, и вынести интеллект всех устройств в единое сетевое устройство – контроллер.

метка, software-defined network, MPLS, SDN, OpenFlow, label switching.

Недавно появившаяся концепция сетей SDN (Software Defined Networks) стремительно завоевывает мир, предлагая объединить плоскость управления всех сетевых узлов в одном устройстве – контроллере. Благодаря чему не нужно будет перенастраивать множество устройств, при внесении каких либо изменений в сеть, достаточно только перенастроить одно устройство, которое повлияет сразу на всю сеть.

Так же существует мнение, что для дальнейшего процветания концепции программно-конфигурируемых сетей, стоит принять более структурированную модель, в которой метка будет являться базовой частью коммутации потоков, также как и в технологии MPLS (Multiprotocol Label Switching). Такую позицию можно объяснить тем, что метка является эффективной в больших современных сетях, т. к. её коммутирование занимает меньше времени, чем анализ IP и MAC заголовков, что дает возможность предоставления QoS на более высоком уровне.

На деле существуют различные исследования, подтверждающие то, что реализация логики MPLS на сетях SDN возможна [1, 2]. Кроме того с версии протокола OpenFlow 1.3 появилась поддержка полей заголовка с MPLS-метками.

Особенности интеграции

Интеграция может происходить только поверх Data plane сетей SDN. Это можно объяснить тем, что SDN – это более современные сети, которые имеют совершенно иную структуру, которая заключается в централизованном управлении сетью, т.к. основным свойством программно-конфигурируемых сетей считается отделение Data plane от Control plane. Иными словами происходит вынесение интеллекта всех устройств передачи данных в единое сетевое устройство, имеющее операционную систему.

Сети SDN – это программируемые сети, которые очень гибкие в настройке и могут работать по абсолютно любой, заранее запрограммированной логике. Поэтому в данной статье рассматривается, работа программно-конфигурируемых сетей на основе логики коммутации меток, которая сейчас активно используется технологией MPLS. Отсюда, особенность, которая будет говорить о том, что в сеть SDN интегрирована технология MPLS, будет заключаться в использовании метки при коммутации потоков. К тому же не стоит забывать, что для осуществления коммутации по меткам необходимо, чтобы на входе в сеть присваивалась первая метка, а при выходе снималась последняя метка. В центральной части сети должна происходить только лишь замена старой метки на новую, исходя из записей в таблицах потоков коммутаторов, а также коммутирование потока с порта на порт.

В качестве наглядного примера интеграции технологии MPLS на сетях SDN можно привести две модели, которые представлены ниже на рис. 1.

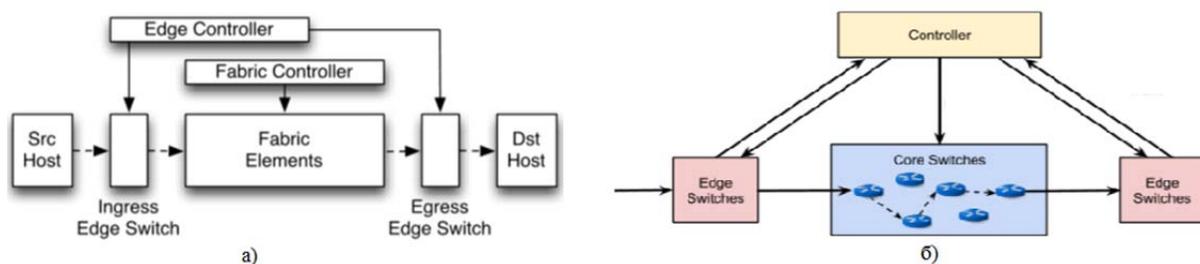


Рис. 1. Примеры интеграции технологии MPLS на сетях SDN
а) с двумя контроллерами, б) с одним контроллером

Обе модели имеют одинаковую структуру в области передачи данных, т. е. в Data plane, которая здесь подразделяется на две части: на границу (edge) и на ядро (core) сети. Ядро SDN-сети, работающей на основе коммутации меток здесь представлено как fabric elements в первой модели и core switches во второй. В отличие от MPLS, для передачи в такой сети используются OpenFlow коммутаторы, а не маршрутизаторы.

В обеих моделях для передачи потоков используется метка, как в технологии MPLS. Именно поэтому в сеть SDN внедряется логика управления метками, таким образом, что необходимо использовать различное управление границы сети и ядра. В первой модели управление Data plane данных делится между двумя контроллерами, во второй вся сеть управляется с помощью одного контроллера. Но ввиду сложности реализации архитектуры модели а, а также отсутствия протокола взаимодействия между контроллерами, в дальнейшем в статье будет рассматриваться работа модели интегрированной сети, которая имеет один контроллер.

Data plane

Для полного понимания работы сети SDN при интеграции в неё логики коммутации меток разберемся с тем, как изменится работа Data plane и Control plane, в отличие от стандартной работы сети с IP и MAC адресами.

Передача потоков в Data plane будет осуществляться по тому же принципу, что и в технологии MPLS (рис. 2). Соответственно при передаче потока можно выделить следующие этапы передачи и обработки:

1) Хост-источник (сервер приложений) передает пакет в сеть на входной граничный коммутатор (ingress edge switch).

2) Входной граничный коммутатор, который получает пакет от сервера, осуществляет поиск совпадений по таблице потока с данными этого пакета. Если он находит подходящую запись для полученного на вход пакета потока, то коммутатор может перейти к шагу (4). В противном случае он должен отправить Packet-In сообщение на контроллер.

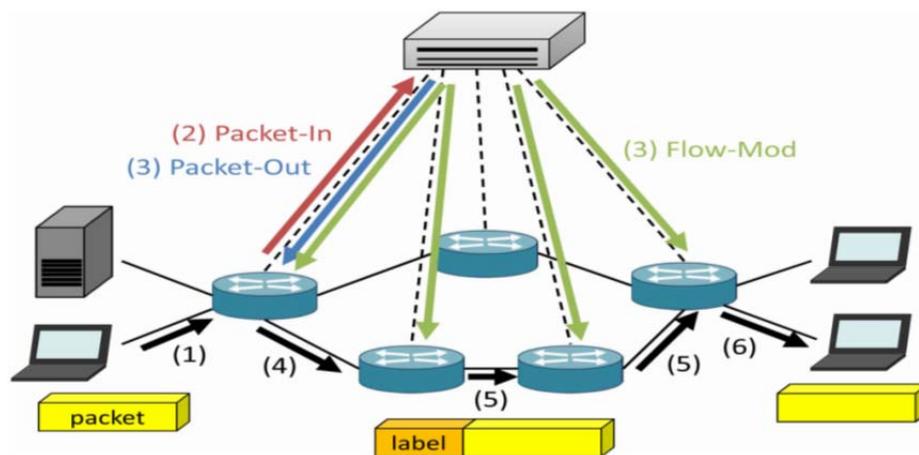


Рис. 2. Функционирование Data plane

3) Когда контроллер получает Packet-In сообщение, он начинает определять детали обработки для пакета, включенного в Packet-In сообщение. Далее, он собирает Flow-Mod сообщение, описывающее содержание обработки и отправляет его на все коммутаторы маршрута данного потока, после чего отправляет Packet-Out в ответ на Packet-In сообщение.

4) Когда коммутатор получает Packet-Out сообщение и узнаёт что делать дальше с потоком, то есть, на какой порт отправить пакет, и с какой меткой. Для этого он помещает полученную запись о потоке от контроллера в первую таблицу потоков, а далее выполняет действие, описанное в Packet-Out сообщении. Но, как правило, сообщение Packet-Out несёт действие, которое применяется только один раз, а далее удаляется. Именно поэтому далее за ним необходимо, чтобы контроллер послал сообщение Flow-Mod и установил правило на более длительный срок (т. е. при необходимости).

5) Коммутаторы ядра (core switch) просто используют заранее установленное значение метки для пересылки пакета на основе записи потока в таблице потоков, которая была установлена заранее.

6) Коммутатор, который является выходным (egress edge switch), должен удалить метку и отправить пакеты к хосту назначения.

Control plane

Итак, после того, как была описана Data plane, можно говорить о том, что передача меток по сети SDN похожа на то, как это происходит MPLS сетях. Остается непонятным лишь то, как работает Control plane, и что происходит на контроллере, когда он получает Packet-In сообщение. На рис. 3 приведен сценарий обработки контроллером пакета в сообщении Packet-In. Как можно видеть, для полной обработки потока необходимо, чтобы контроллер содержал три дополнительных модуля: flow management, label management и route management. Подробно взаимодействие модулей описано ниже.

Определение класса обслуживания для потока. Первоначально, когда главный модуль распакует пакет Packet-In, он обращается к модулю потоков (flow management) для определения типа потока, содержащегося в принятом сообщении Packet-In. Модуль находит необходимую запись и отправляет главному модулю такой параметр как OFPXMТ_OFB_MPLS_TC. Данный параметр определяет поле класса обслуживания для потока.

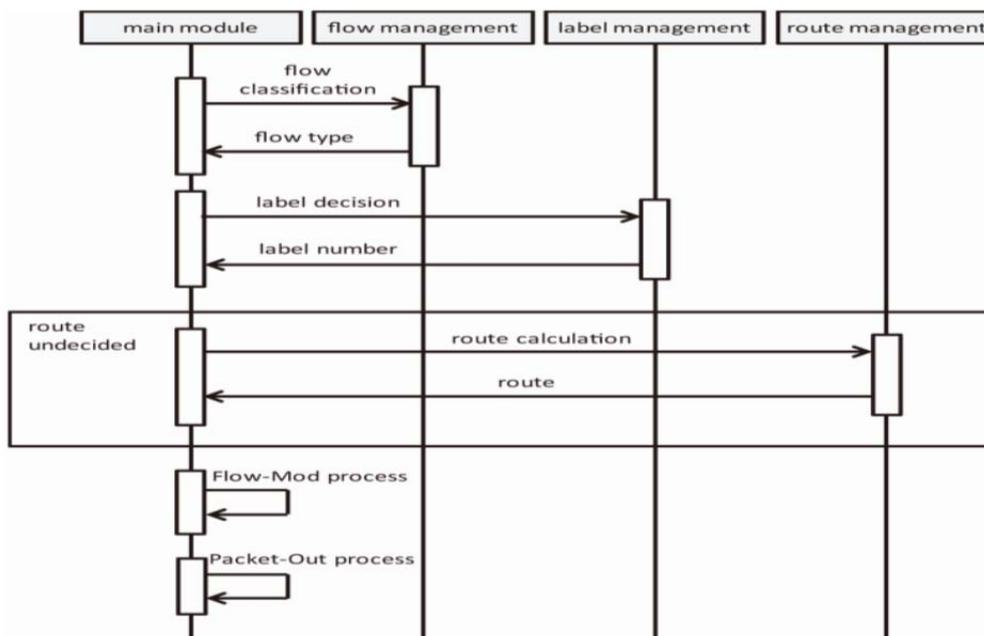


Рис. 3. Сценарий работы Control plane

Маркировка потока пакетов

После того, как определения класса обслуживания потока пакетов, происходит маркировка потока. Этот процесс происходит путем запроса метки у модуля управления метками (label management). Если совпадают ID граничного входного коммутатора, ID граничного выходного коммутатора и класс обслуживания в таблице меток данного модуля, то данный модуль посылает такой параметр, как OFPXMT_OFB_MPLS_LABEL, который содержит в себе поле с номером метки.

Расчет маршрута

Для определения маршрута потока пакетов главный модуль обращается к модулю, управляющему маршрутами (route management module). Если маршрут уже заранее вычислялся, то он будет храниться в записях таблицы данного модуля. Такую запись модуль может найти по совпадению с полем метки.

Итак, можно сказать, что все основные процессы по определению метки для потока и его маршрута закончены, и теперь начинается формирование сообщений, которые скажут, какие действия и каким коммутаторам нужно будет выполнить, чтобы входящий поток достиг места назначения.

Формирование и передача Flow-Mod сообщения

Flow-Mod сообщение передается на все коммутаторы, которые были задействованы при расчете маршрута. Правила для сопоставления этого Flow-Mod сообщения и содержащегося в нем списка действий, различаются в зависимости от расположения коммутатора:

- Входному граничному коммутатору должно передаваться Flow-Mod сообщение с описанием, как метка и пакетная передача должна осуществляться на основе поля заголовка.
- Коммутаторам пути (т. е. всем коммутаторам кроме входного и выходного) должно передаваться Flow-Mod сообщение с описанием, как пакеты с назначенной меткой должны быть переданы на следующий коммутатор.
- Граничному выходному коммутатору должно передаваться Flow-Mod сообщение с описанием процедуры удаления.

Создание и передача ответного Packet-Out сообщения

Такое сообщение контроллер обязан передать в ответ на Packet-In сообщение для входного граничного коммутатора, на который поступил поток пакетов.

Список используемых источников

1. Bellessa J. Implementing MPLS with label switching in software-defined networks, 2015.
2. Casado M., Koponen T., Shenker S., Tootoonchian A. Fabric: a retrospective on evolving SDN // HotSDN '12: Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks, 2012.
3. Shinnosuke Kimura, Kenya Sato A Low-Load QoS Routing Method for OpenFlow Networks // Communications and Network. 2016. N 8. pp. 144–157.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Елагиным В. С.*

УДК 654.9, 681.5**В. В. Фицов** (ст. преподаватель, СПбГУТ)**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ DPI**

В данной статье рассмотрены методы оптимизации применимые к сетевой конфигурации DPI. Предметом оптимизации является число процессоров в сервере или доступные вычислительные ресурсы системы. Представлена упрощенная общая формула времени обработки заявок двумя серверами.

DPI, методы оптимизации, система массового обслуживания (СМО).

Введение

Система DPI (Deep Packet Inspection, глубокого анализа пакетов) распознает приложения по потоку пакетов, проводит мониторинг трафика, собирает статистику, ограничивает скорость трафика по приложениям и число сессий [1], а еще перенаправляет трафик на другие сервера.

В статье предпринята попытка получить приближенные формулы расчета времени анализа и принятия решения системой DPI, получить значения этого времени для аппаратного фильтра и Front-End (пренебрегая временем PCRF и Back-End) для последующей оптимизации по числу процессоров в каждом из серверов (N1 и N2, соответственно).

Виды оптимизации

Методы оптимизации делят на классические, неклассические (математического программирования) и случайного поиска. Классическая оптимизация предполагает нахождение экстремумов оптимизационной функции взятием ее производной (метод неопределенности множеств Лагранжа).

К классической оптимизации относят градиентный метод, метод золотого сечения, метод чисел Фибоначчи, кроме того, метод Парето, метод уступок Венцеля, и метод оптимизации по главному критерию. Неклассическая оптимизация в зависимости от ресурсов и систем, использует теорему Куна и Такера, метод максимального элемента (ММЭ), метод двух функций (Берзень), метод динамического программирования и метод неопределенности множеств Лагранжа. Случайный поиск может быть направленный и ненаправленный, еще применяется метод последовательного перебора [2].

Получение формулы времени анализа

Для системы массового обслуживания (СМО) М/М/Н по классификации Кендалла можно рассчитать случайную среднюю длину очереди по формуле (1) и случайную длину ненулевой положительной очереди по формуле (2), так же среднее время ожидания в очереди по формуле (3).

$$Ln = \frac{E2n(A)*A}{N}, \quad (1)$$

где $E2n(A)$ – вероятность ожидания в очереди, $A = \frac{\lambda}{\mu}$ – отношение интенсивностей поступающих и обслуживаемых заявок, N – число устройств.

$$Lng = \frac{N}{N-A}, \quad (2)$$

$$Toh = \frac{\frac{1}{\mu}}{N-A}, \quad (3)$$

Используя среднее время обслуживания вызова (без учёта очереди), вероятность ожидания в очереди и среднее время ожидания в очереди можно получить среднее время обслуживания вызова с учётом очереди по формуле (4).

$$Tz = Toh * E2n(A) + Tob, \quad (4)$$

где $Tob = \frac{1}{\mu}$ – среднее время обслуживания вызова (без учёта очереди).

Для рассматриваемой модели М/М/Н вероятность ожидания в очереди можно получить по формуле (5).

$$E2n(A) = \frac{A^N}{N! * \left(\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!} \right)}. \quad (5)$$

Систему DPI можно представить сетью массового обслуживания (СеМО) состоящей из четырех СМО (рис.). В функциональной модели

в качестве СМО1 выступает аппаратный фильтр совместно с Вурасс. СМО с 2 по 4 соответствуют Front-End, PCRF и Back-End [3].

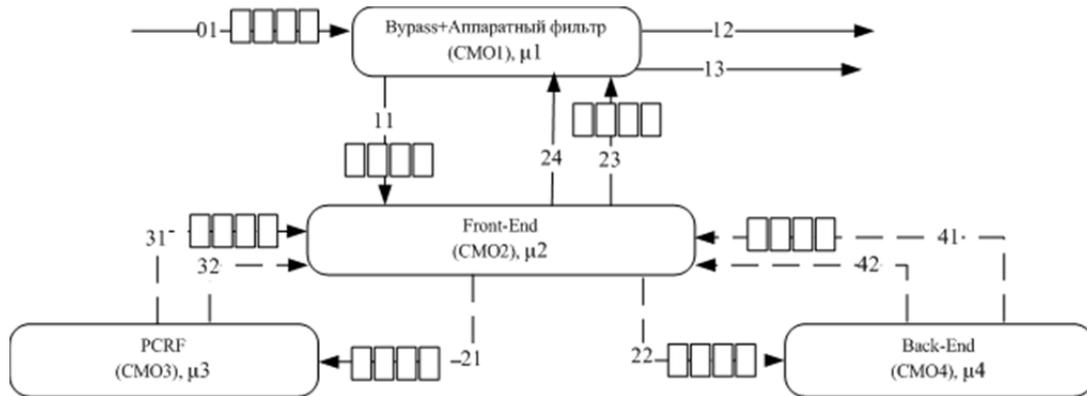


Рисунок. Система DPI как сеть массового обслуживания (СеМО)

Для упрощения рассмотрим формулы расчета только для СеМО из первых двух СМО1 и СМО2, вносящих наибольшее время обработки данных. Тогда учитывая вероятность обработки трафика только СМО1 – $P = 0,8$ (значение выбрано на основе различных статей), интенсивность поступающей нагрузки на СМО2 будет выглядеть согласно формуле (6.1), а для СМО1 по формуле (6.2) [4].

$$\lambda_2 = (1-P)*\lambda, \tag{6.1}$$

$$\lambda_1 = \lambda + (1-P)*\lambda. \tag{6.2}$$

Т. е. суммарная интенсивность поступающей нагрузки на СМО1 состоит из интенсивности нагрузки поступающей на систему DPI и интенсивности нагрузки, поступающей от СМО2.

Исходя из определения A и (6.1, 6.2) получаем формулы (7.1 и 7.2) для A_1 (A у СМО1) и A_2 (A у СМО2).

$$A_2 = \frac{(1-P)*\lambda}{\mu_2}, \tag{7.1}$$

$$A_1 = \frac{\lambda+(1-P)*\lambda}{\mu_1}. \tag{7.2}$$

Подставим в (4) формулы (3) и (5), и тогда получим время анализа СМО1, указывая A_1 и μ_1 в формуле (8).

$$T_{z1} = \frac{1}{\mu_1} * \left(\frac{A_1^N}{N!*(N-A_1)*\left(\sum_{i=0}^N \frac{A_1^i}{i!}\right)} + 1 \right). \tag{8}$$

Аналогично можно получить формулу для $Tz2$, подставив $A2$ и $\mu2$. Искомое время анализа системой DPI будет равняться сумме времени анализа каждой из СМО. Таким образом для двух СМО общее время анализа можно получить по формуле (9):

$$Tz = Tz1 + Tz2. \quad (9)$$

Метод максимального элемента

В таблице представлены значения времени анализа системой согласно оптимизации по методу максимального элемента (ММЭ), полученные путем подстановки в (9) исходных параметров с значениями $\lambda = 17\,829$, $\mu1 = \mu2 = 13\,000$ (допустим, что интенсивность обработки СМО1 и СМО2 одинакова), $P = 0.8$, при разном числе устройств $N1$ (СМО1) и $N2$ (СМО2). Таким образом, СМО1 работает в режиме, когда не справляется с поступающим потоком заявок.

ТАБЛИЦА. Значения времени анализа системы DPI

$N1$, шт	$N2$, шт	Tz , 10^{-4} с	$N1$, шт	$N2$, шт	Tz , 10^{-4} с	$N1$, шт	$N2$, шт	Tz , 10^{-4} с
1	1	0,228200	2	2	3,793000	4	1	1,843000
1	2	0,012790	2	3	3,781000	4	2	1,627000
1	3	0,000742	2	4	3,780000	4	3	1,615000
1	4	0,000041	3	1	2,087000	4	4	1,614000
1	5	0,000006	3	2	1,872000	8	1	1,767000
1	50	0,000004	3	3	1,860000	8	2	1,551000
2	1	4,008000	3	4	1,859000	8	3 и 4	1,539000

Таким образом с указанными параметрами производительности системы и поступлением заявок, наиболее оптимальным будет применением одного процессора (или устройства) в СМО1 и 5 процессоров (или устройств) в СМО2, однако тогда не все заявки будут обработаны с полученной задержкой, т. к. часть из них будет находиться в очереди СМО1. Другим решением может быть применение 8 процессоров СМО1 и 3 процессоров СМО2. Основной причиной таких результатов является необходимость нескольких СМО2 для обслуживания потока заявок от СМО1, находящегося в состоянии перегрузки и являющимся узким местом системы при одном устройстве.

Исходя из статьи видно, что ММЭ проще классических методов оптимизации, требующих поиска экстремумов путем взятия производной, которое в свою очередь затрудняется (5) – вероятностью ожидания в оче-

реди. Однако, на первый взгляд, ММЭ не дает возможности получения точного соотношения между N_1 и N_2 , т. к. предполагает изменение целого числа устройств. С другой стороны, можно уменьшить шаг дискретизации, например, до $0,1 \cdot N$, а значит получить более точные значения, для заданных условий. Такая точность имеет смысл в системах с виртуализацией серверов (СМО), позволяющих гибко и в режиме реального времени выделять требуемые аппаратные ресурсы серверам. Результаты могут использоваться для эффективного распределения ресурсов системы DPI.

Список используемых источников

1. Якимович С. Управление трафиком и услугами в сетях ШПД с помощью решений DPI // Вестник связи. 2010. № 12. С. 27–29.
2. Дымарский Я. С. Задачи и методы оптимизации сетей связи: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2005. 205 с.
3. Фицов В. В. Имитационная модель системы DPI на основе программного обеспечения GPSS World // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 539–545.
4. Фицов В. В. Глубокий анализ пакетов для обеспечения QoS // Первая миля. 2015. № 8 (53). С. 56–61.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Гойхманом В. Ю.*

УДК 004.056

Е. С. Фостач (студентка, СПбГУТ)

М. В. Левин (аспирант, СПбГУТ)

АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ДОСТУПА К ДАННЫМ В ОБЛАЧНЫХ СРЕДАХ

С развитием облачных технологий возрастает роль распределенной инфраструктуры, функциональная совместимость и портативность которой являются неотъемлемой составляющей. Однако, обеспечение доступности услуг и масштабируемости виртуальных ресурсов, безопасности и конфиденциальности пользовательских данных имеет первостепенное значение. Исследование содержит актуальные для поставщиков облачных услуг решения, которые позволяют поддержать доступность, конфиденциальность и целостность личных данных в облачной среде.

защита персональных данных, облачная архитектура, безопасность облачных вычислений, конфиденциальность информации, механизмы аутентификации, угрозы информационной безопасности.

С развитием облачных технологий, происходит смена парадигм информационной безопасности от идеи локальной защиты ресурсов к облачной модели защиты приложений, данных и сервисов. В связи с этим, для создания безопасных виртуальных услуг, прежде всего, необходимо обеспечить меры защиты со стороны поставщика облачной инфраструктуры.

Облачные вычисления представляют собой технологию распределенной обработки данных, где ресурсы и мощности предоставляются пользователю в качестве услуг. Технология облачных вычислений является результатом конвергенции более ранних технологий, таких как параллельные вычисления и распределенные вычисления.

Провайдеры облачных вычислений предлагают свои услуги на базе трех основных моделей сервисов:

- инфраструктура как услуга (IaaS);
- платформа как сервис (PaaS);
- программное обеспечение как услуга (SaaS) [1].

Несмотря на то, что виртуализация сетевых функций и облачные вычисления дают возможность дистанционно разграничить ИТ-инфраструктуру и пользователей, необходимо решить возросшие вместе с этим риски эксплуатации уязвимостей информационной безопасности для того, чтобы в полной мере воспользоваться новыми возможностями вычислительной парадигмы.

Особое значение приобретает данная проблема для поставщиков SaaS услуг. Пользователь, который доверил свои данные для хранения в облаке, теряет контроль над их целостностью, конфиденциальностью и доступностью. Одной из важных задач поставщика услуг является обеспечение трех базовых свойств информационной безопасности, включая задачи организации места хранения и способа представления пользовательских данных.

Таким образом, для поддержания трех базовых свойств информационной безопасности – конфиденциальности, целостности и доступности данных пользователей, обозначим ключевые проблемы, которые необходимо решить в первую очередь:

1) Исследование механизмов аутентификации пользователей и использования защищенного канала связи на пути между клиентом и сервером.

2) Исследование способов хранения информации в зашифрованном виде, ее обработки и поиска в облачном хранилище.

Решение данных проблем позволит повысить уровень конфиденциальности, целостности и доступности данных в облачных средах.

За основу была взята схема функциональной архитектуры облачной среды, приведенная на рис. 1, на базе которой построено данное исследование. На схеме показан способ развертывания баз данных и приложений на ресурсах облачной инфраструктуры вместе с сетевой схемой взаимо-

действия. Наглядно показаны уровни коммутации (L2) и маршрутизации (L3) данных между объектами облачной инфраструктуры.

В соответствии с решаемой проблемой, обозначим ключевые аспекты информационной безопасности, которые должны лежать в основе каждого надежного облачного сервиса:

- 1) Определение способов *конфиденциальной* передачи данных.
- 2) Организация доступа *авторизованных* пользователей к данным.

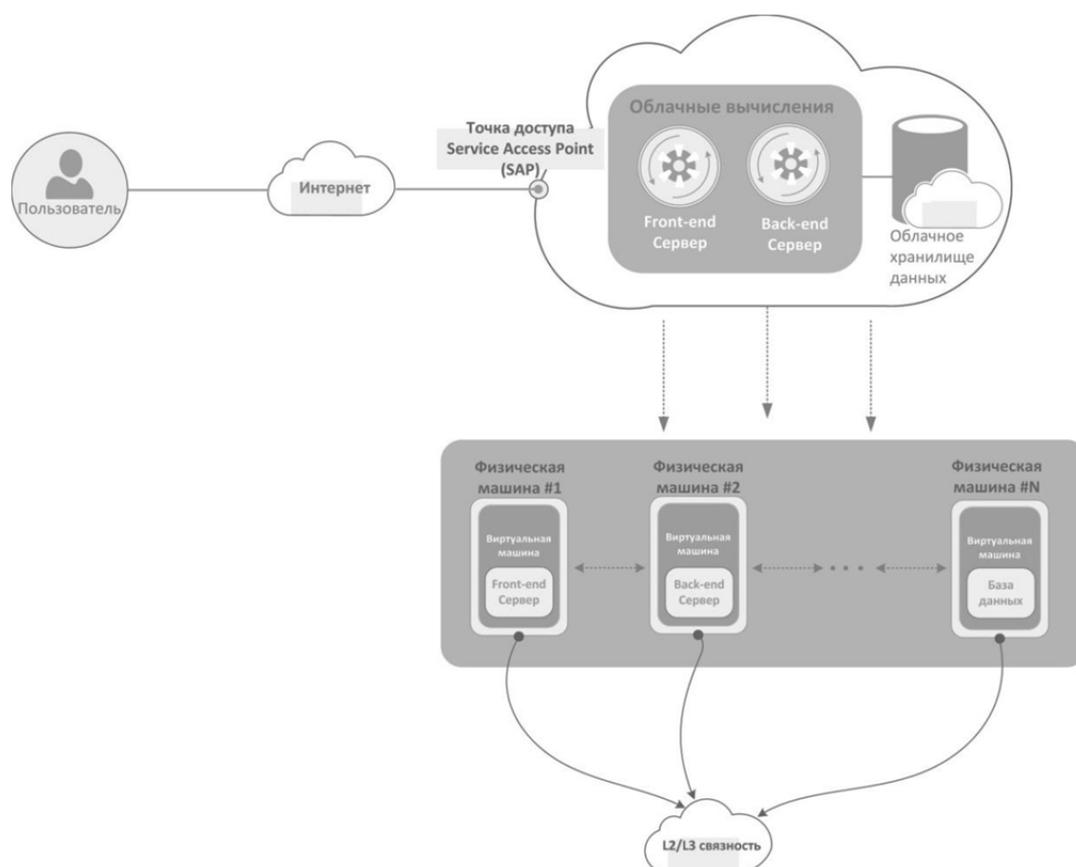


Рис. 1. Функциональная архитектура облачных сред

Определение способов конфиденциальной передачи данных

Для решения первой задачи необходимо использовать криптографические механизмы, позволяющие обеспечить надежное шифрование данных. Важно отметить, что с целью снижения вероятности перехвата в открытом виде передаваемого сообщения, шифрование данных должно происходить до того момента, как информация покинет браузер пользователя (т. е. до момента отправки сообщения на сервер).

Рассмотрим протокол защищенной передачи данных TLS v1.2, в котором реализованы алгоритмы шифрования информации, аутентификации пользователей и контроля целостности получаемых данных [2].

Работа TLS протокола начинается с согласования версии используемого протокола, способа шифрования данных между узлами соединения, а так же проверки достоверности полученных сертификатов, после чего будет установлен криптографически безопасный канал. Отметим, что шифрование с открытым ключом должно использоваться только в процедуре во время первоначальной настройки соединения (TLS Handshake), которая позволяет установить общий секретный ключ шифрования без предварительных знаний узлов соединения друг о друге. После настройки TLS-туннеля должна использоваться симметричная криптография, общение в пределах текущей сессии будет зашифровано именно установленными симметричными ключами. Это необходимо для увеличения быстродействия, так как криптография с открытым ключом требует значительно больше вычислительной мощности.

После того, как мы определили протокол, который обеспечит соединение на участке между клиентом и облаком, необходимо перейти к вопросу аутентификации.

Отметим одну из ключевых особенностей протокола TLS v1.2, которая заключается в возможности установления подлинности личности клиента и сервера (Chain of Trust) за счет использования сертификатов подлинности, предоставляемыми центрами сертификации (CA – certificate authorities). Центры сертификации выдают подписанные сертификаты, доверие к которому неоспоримо. Таким образом, целый ряд выданных сертификатов образует цепочку доверия. Благодаря этому можно проверить подлинность каждого доверительного узла.

Передача каждого сообщения осуществляется с добавлением MAC-значения (Message Authentication Code), который представляет собой одностороннюю криптографическую функцию хэширования, ключи которой известны обоим участникам соединения. При отправке сообщения каждый раз генерируется его MAC-значение, по которому принимающая сторона может проверить полученную информацию на предмет подмены.

Таким образом, показано, что использование протокола TLS v1.2 позволяет создать канал конфиденциальной передачи данных. Однако, отметим, что механизмы работы данного протокола не обеспечивают контроль времени жизни каждой пользовательской сессии и повторную аутентификацию клиента для возобновления сессии в случае разрыва установленного соединения. Так же отметим, что протокол TLS v1.2 не позволяет аутентифицировать самого пользователя, в связи с этим, рассмотрим механизм аутентификации пользователей в рамках протокола OAuth2.0.

Организация доступа авторизованных пользователей к данным

В связи с глобальным развитием облачных сервисов и многообразием служб, позволяющих создавать и распространять медиа-контент или получать мгновенный доступ к электронным услугам перед разработчиками

сервисов возникает задача обеспечения безопасности. Необходимо решать задачи защиты данных от несанкционированного доступа пользователей, работающих в большом количестве приложений. Ситуация осложняется тем, что работа пользователя не должна затрудняться внутренними механизмами безопасности и перемещение между сервисами должно происходить максимально быстро и безопасно для услуг, предоставляемых пользователю [3].

Чтобы решить задачу, связанную с упрощением авторизации пользователя при работе с большим количеством приложений и онлайн сервисов был разработан протокол OAuth. При использовании OAuth-авторизации к основным преимуществам принято относить отсутствие передачи логина и пароля в приложение, с которым работает пользователь. Таким образом, приложение может выполнить только то, что явно разрешил пользователь. Так же, отпадает необходимость решения вопроса обеспечения защищенного хранения пароля и логина приложением.

Актуальная версия стандарта OAuth 2.0, опубликована в 2012 г. в документе IETF RFC 6749. OAuth 2.0 позволяет сторонним приложениям получать доступ от своего имени или ограниченный доступ к HTTP-службе от имени владельца ресурса, организовав процесс согласования взаимодействия между владельцем ресурса и HTTP-службой. Результатом авторизации является Access Token – ключ, предъявление которого является пропуском к защищенным ресурсам. Стандарт не определяет формат ключа, который получает приложение, поэтому ключ сам по себе не может быть использован для аутентификации пользователя [4].

Таким образом, снижение риска несанкционированного доступа к ресурсам, и, как следствие, обеспечение доступности информации, можно добиться за счет внедрения механизма аутентификации.

Суммируя описанные ранее подходы, представим концептуальную схему (рис. 2), которая отражает ключевые элементы облачной архитектуры (клиентскую часть приложения, сервер аутентификации, сервер приложения (который включает в себя механизмы обработки информации), а так же хранилище данных). Дополнительно, на схеме отмечено, на каких сегментах сети применимы рассмотренные ранее протоколы OAuth 2.0, TLSv1.2 для обеспечения надежного соединения.

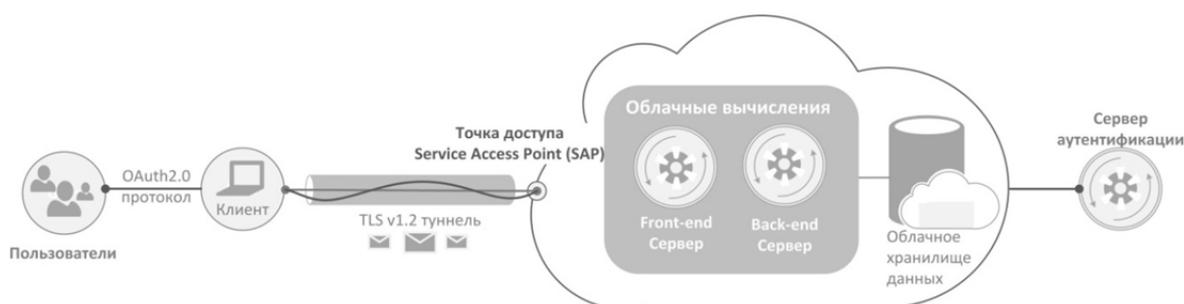


Рис. 2. Концептуальная схема построения защищенной облачной среды

Заключение

В результате исследования показано, что для создания надежного TLS соединения важно иметь возможность аутентификации именно клиентской части приложения, а не самого пользователя. Так же стоит отметить, что в основе протокола TSL v1.2 отсутствуют механизмы контроля времени жизни пользовательской сессии и механизмы повторной аутентификации для возобновления сессии в случае разрыва соединения. Вследствие чего необходимо внедрение средств аутентификации пользователей за счет протокола OAuth2.0.

Список используемых источников

1. Jansen Wayne, Grance Timothy Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing, NIST, Draft Special Publication 800-144, January 2011.
2. Dierks T., Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol, Version 1.2 (RFC5246).
3. Красов А. В., Левин М. В., Цветков А.Ю. Управление сетями передачи данных с изменяющейся нагрузкой // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2015. № 1. С. 141–146.
4. Li W. & Mitchell C. J. Security issues in OAuth 2.0 SSO implementations // 2014 Information Security. 17th International Conference, ISC 2014, Hong Kong, China, October 12–14, 2014 / Proceedings. Chow, S., Camenisch, J., Hui, L. & Yiu, S-M. (eds.). Springer-Verlag. pp. 529–541.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Красовым А. В.*

УДК 004.72

А. В. Чернов (студент, СПбГУТ)

КРИТЕРИИ ВЫБОРА АРХИТЕКТУРЫ СЕТИ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье предлагаются принципы и подходы к оптимальному построению локальных сетей небольших предприятий. Рассмотрены факторы, влияющие на проектирование локальных сетей. Обозначены критерии, которые необходимо учитывать при закупке и дальнейшей эксплуатации сетевого оборудования. Учитывая функциональные возможности, описаны варианты использования сетевого оборудования разных уровней в различных ситуациях.

локальные сети, проектирование локальных сетей, оборудование локальных сетей, малые предприятия.

Введение

В наше время трудно представить даже очень маленькое предприятие вне зависимости от сферы его деятельности без корпоративной локальной сети. И если с одной стороны, кажется, что проектирование небольшой сети очень простой и не вызывающий трудностей процесс, поскольку у таких предприятий нет широких потребностей в сетевых услугах и, соответственно, набор оборудования по сравнению с большими сетями существенно мал, в то же время оказывается, что самостоятельно грамотно подойти к выбору архитектуры сети довольно сложно, тем более, когда в условиях непростой экономической ситуации у предприятия нет возможности нанять сторонних проектировщиков и всё хочется сделать собственными силами.

Цель данной работы – выработка критериев и подходов к оптимальному построению небольшой сети. Для разработки критериев требовалось изучить потребности малых предприятий в сетевых услугах, функциональные возможности сетевого оборудования, реализующего эти услуги и, собственно, общие принципы построения локальных сетей.

Современные корпоративные сети принято строить по иерархической модели, состоящей из трех уровней: доступа, распределения и ядра сети. В случае малого предприятия в архитектуре может остаться либо только уровень доступа, либо уровень доступа плюс уровень распределения, выполняющий функции уровня ядра – так называемая модель совмещенного ядра Collapsed Core [1]. Очень важно сохранять этот принцип модульности, который в будущем позволит довольно просто наращивать информационную инфраструктуру. Согласно разработанным критериям определяется итоговая архитектура сети и оборудование для соответствующих уровней.

Распределение прав доступа к сети

Очень важный критерий с точки зрения такого фактора надежности, как безопасность [2]. Здесь можно пойти двумя путями. В целях экономии вводить только управляемые L2-коммутаторы на уровне доступа и использовать технологию VLAN, либо дополнительно вводить уровень совмещенного ядра с L3-устройствами, где использовать технологию списков контроля доступа (ACL) [3]. Использование таких технологий влечет за собой дополнительные траты на оборудование, стоимость которых в разы превышает стоимость неуправляемых коммутаторов.

Резервирование

Этот критерий отвечает требованиям отказоустойчивости сети [2]. Резервировать можно как каналы связи между промежуточными сетевыми устройствами, используя технологии протоколов связующего дерева

(SPA/STP) [3], так и сами промежуточные устройства, что увеличит стоимость сети.

Расширяемость

Надежная сеть должна быть построена по принципу масштабируемости. Масштабируемую сеть можно быстро расширить, обеспечив поддержку новых пользователей и услуг [2]. Поскольку расширяемости услуг уже отвечает модульная архитектура сети, здесь под расширяемостью будем понимать добавление новых пользователей на уровне доступа. Здесь целесообразно предусмотреть введение агрегирующего L3-коммутатора на уровне совмещенного ядра [1]. В противном случае изначально рассчитывать внедрение коммутаторов уровня доступа со слотами расширения, либо использовать другие технологии, например, стекирование – возможность объединения коммутаторов уровня доступа в стек.

Высокоскоростной доступ в Интернет

По ряду причин, например, таких, как видеоконференции и большая пропускная способность для серверных соединений, предприятию необходим стабильный высокоскоростной доступ в Интернет. Для этого требуется высокопроизводительный маршрутизатор, который в разы увеличит стоимость средней по бюджету сети. Высокие требования к безопасности требуют также введения в архитектуру сети межсетевого экрана.

Серверы

Серверы в организации могут быть разными и к ним предъявляются разные требования. Рассмотрим ситуации, когда предприятие владеет только локальными серверами, и когда помимо локальных присутствуют клиентские. В первом случае серверы могут быть выделены в отдельный сетевой сегмент и здесь рекомендуется использовать более производительный, по сравнению с обычным маршрутизатором, L3-коммутатор. Во втором случае не обойтись без высокопроизводительного маршрутизатора и межсетевого экрана.

Удаленный доступ

У предприятия могут быть как удаленные филиалы, так и удаленные сотрудники. Удаленный доступ организуется посредством технологий VPN, поэтому помимо наличия маршрутизатора, предъявляются высокие требования к безопасности, что делает необходимым введение в архитектуру сети межсетевого экрана.

Гостевая сеть, BYOD

Малое предприятие может представлять собой клиентский офис. И при финансовой возможности в офисе можно организовать гостевую беспроводную сеть с доступом в Интернет. Сюда же отнесем концепцию BYOD, т. к. обе услуги в основном реализуются на беспроводном маршрутизаторе. Политики доступа таких клиентов к внутренней и внешним сетям лучше осуществлять на межсетевом экране.

Голосовая связь

Вариантов организации офисной телефонии немало, но поскольку основная задача данной работы – предусмотреть необходимое промежуточное сетевое оборудование ЛВС, то для данного критерия важно лишь понимать, какого типа будут абонентские терминалы и как они будут подключаться в сеть. Так, например, если это аппаратные IP-телефоны, то желательно предусмотреть коммутаторы с технологией PoE. Это также могут быть программные телефоны, либо аппаратные шлюзы и устройства коммутации, но их описание в архитектуре сети выходит за рамки компетенций этой работы.

Приоритезация трафика

Говоря о телефонии нельзя не вспомнить о механизмах обеспечения качества обслуживания. При проектировании сети должны учитываться различные типы трафика в ней и их обработка [2]. Приоритеты регулируются на сетевом уровне, соответственно, в сети потребуется соответствующее устройство.

Обслуживание сетевой инфраструктуры

Наконец, самое важное – где размещать оборудование, и кто его будет обслуживать. Большое количество промежуточного сетевого оборудования, серверов и требования к соблюдению элементарной физической безопасности вынуждают организовать некое специализированное помещение, например, серверную или автозал. Очень тяжело обойтись без обслуживающего сетевую инфраструктуру специалиста или специалистов. Всё это требует выделения дополнительного бюджета и отнюдь не разового, как в случае с покупкой оборудования, поэтому обслуживание выделяется в отдельный критерий.

Результат

В результате получаем своего рода конструктор или конфигуратор архитектуры сети (см. рис.).

Заключение

В заключении хочется отметить, что построение любой корпоративной сети есть сугубо индивидуальный процесс. В данной работе представлен лишь необходимый базис критериев, от которых необходимо отталкиваться при проектировании. Эти материалы могут быть полезны как предприятиям, у которых нет возможности нанять соответствующих специалистов, так и начинающим сетевым инженерам, администраторам. Наконец, самое главное – студентам.

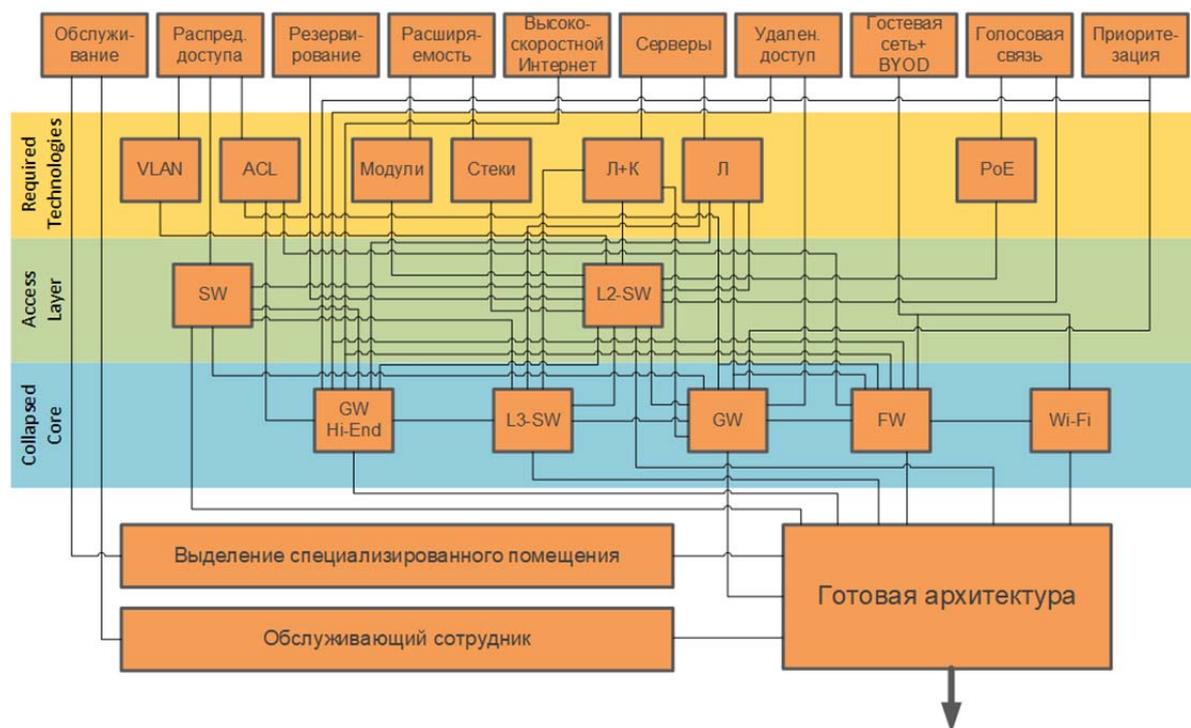


Рисунок. Схема выбора архитектуры

Список используемых источников

1. Pueblas M., Gyurindak S., et al. Small Enterprise Design Profile Reference Guide [Электронный ресурс] // Cisco Validated Design Program Guides, 2010. URL: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Small_Enterprise_Design_Profile/SEDP.pdf (дата обращения 18.05.2017).
2. Корячко В. П., Перепелкин Д. А. Корпоративные сети: технологии, протоколы, алгоритмы. М.: Горячая линия–Телеком, 2011. 216 с.
3. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 4-е изд. СПб.: Питер, 2010. 944 с.

Статья представлена научным руководителем, ассистентом СПбГУТ Пупцевым Р. И.

УДК 004.056

Е. А. Шаврова (студентка, СПбГУТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ 802.1X

В статье проведён обзор стандарта IEEE 802.1x. и его основных компонентов. Данная статья развёрнуто описывает фреймворк аутентификации EAP (Extensible Authentication Protocol, Расширяемый Протокол Аутентификации). Рассматриваются формат пакета, принципиальная схема процесса проверки подлинности, основные методы протокола.

EAP, аутентификация, аутентификатор, клиент, сервер аутентификации.

Введение

Стандарт 802.1x – это утверждённый IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Институт инженеров по электротехнике и электронике) стандарт, который устанавливает ограничения в доступе неавторизованным клиентам, подключённым к коммутатору или точке доступа. Данная технология является «port-based authentication». Это означает, что пока субъект, подключающийся к сети, не будет аутентифицирован, он не получит доступ к сети – порт коммутатора будет закрыт для трафика данного пользователя. Данная концепция проиллюстрирована на рис. 1. Также IEEE 802.1x определяет процесс инкапсуляции трафика EAP между устройством, выполняющим запрос доступа, и сервером аутентификации [1].

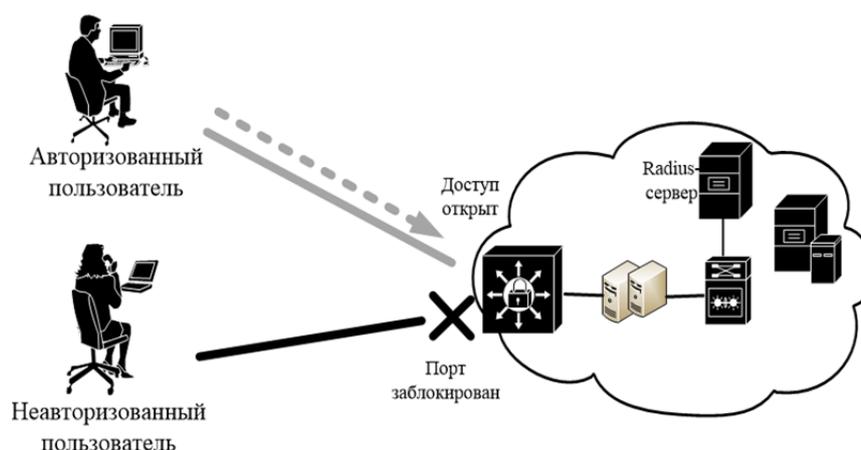


Рис. 1. Основной принцип работы стандарта IEEE 802.1x

Компоненты стандарта и принцип работы

802.1x включает в себя следующие обязательные логические элементы (представлены на рис. 2):

- клиент (Supplicant) – это рабочая станция, которая запрашивает доступ к локальной сети и сервисам коммутатора и отвечает на запросы от коммутатора;
- аутентификатор (Authenticator) – управляет физическим доступом к сети, основываясь на статусе аутентификации клиента;
- сервер аутентификации (Authentication Server) – выполняет фактическую аутентификацию клиента [2].

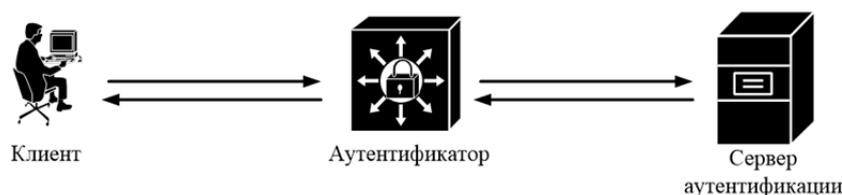


Рис. 2. Компоненты стандарта IEEE 802.1x

Ключевым моментом здесь является то, что сетевые устройства – аутентификаторы – могут быть достаточно простыми, поскольку для реализации функций 802.1x в них требуются минимальные аппаратные затраты, в то время как весь интеллект концентрируется в RADIUS-сервере.

Аутентификация и авторизация осуществляется при помощи протокола EAP, который сам по себе является набором методов проверки подлинности, а не отдельным протоколом аутентификации.

Данный протокол был создан с целью упразднения частных механизмов аутентификации и распространения стандартизированных подходов – схем типа "запрос-ответ" (challenge-response) и инфраструктуры, основанной на публичных ключах и пользовательских сертификатах.

EAP является набором встроенных компонентов, реализующих архитектурную поддержку любых типов EAP, выполненных в виде подключаемых модулей. Вместо требования обновлять аутентифицирующую сторону

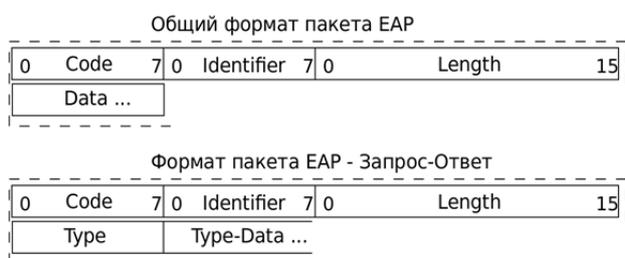


Рис. 3. Формат пакета EAP

На рис. 3 показаны общий формат пакета и формат пакета типа «запрос-ответ» EAP.

для поддержки каждого нового метода аутентификации EAP, разрешает использование внутреннего сервера проверки подлинности, который может реализовать те или иные методы, а аутентификатор просто пропускает через себя некоторые или все методы аутентификации.

Назначение каждого поля:

- Code (Код) – равен 1 для пакета с запросом, 2 - для пакета с ответом, 3 – для пакета, сигнализирующего об успешной аутентификации (success-пакет), 4 – аутентификацию не прошла (failure-пакет);

- Identifier (Идентификатор) – поле, длиной в 8 бит, в ответе идентификатор должен быть таким же, что и в запросе. Во время сессии для каждого из запросов идентификатор выбирается уникальным в пределах одной сессии, однако при ретрансляции запроса по таймауту, идентификатор не должен меняться;

- Length (Длина) – поле с длиной всего EAP-пакета;

- Type (Тип) – поле, описывающее тип запроса или ответ.

Поле «тип» имеет длину 8 бит. Первые четыре типа зарезервированы стандартом RFC 3748 как особые: 1 – identity; 2 – notification; 3 – Nak.

Тип Identity: запрос с таким типом посылается аутентификатором в самую первую очередь во время процедуры аутентификации. Запрос служит для идентификации клиента и начала фазы аутентификации. В основном этот тип пакетов используется для определения, какой метод EAP использовать.

Тип Notification: запросы с таким типом могут отсылаться в любое время процедуры аутентификации, ответом на такой пакет могут служить пакеты с таким же типом, ответы с типом Nak запрещены. Очень часто пакеты с таким типом не требуются, и в реализации можно запретить такие пакеты, тогда клиент будет просто удалять их.

Тип Nak: данный тип пакетов используется только в ответах. Он сигнализирует о том, что предлагаемый в запросе тип аутентификации не приемлем у клиента. Ответ может содержать в себе один или несколько типов аутентификации, которые поддерживаются у клиента [3].

Методы EAP можно поделить на три основные категории:

- Запрос и ответ (EAP-MD5, LEAP). Аутентификация пользователя с использованием шифрования;

- На основе сертификатов (EAP-TLS). Аутентификация осуществляется с использованием сертификатов;

- Туннелирование (PEAP, EAP-FAST). Гибрид двух предыдущих методов.

Процедура аутентификации согласно стандарту 802.1x на примере использования EAP-MD5 представлена на рис. 4.

EAP-MD5 метод аналогичный протоколу CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol). Для проверки учетных данных пользователя сервер аутентификации пропускает пароль и строку challenge через MD5-hash. Если полученный хэш совпадает с рассчитанным, то аутентификация прошла успешно.

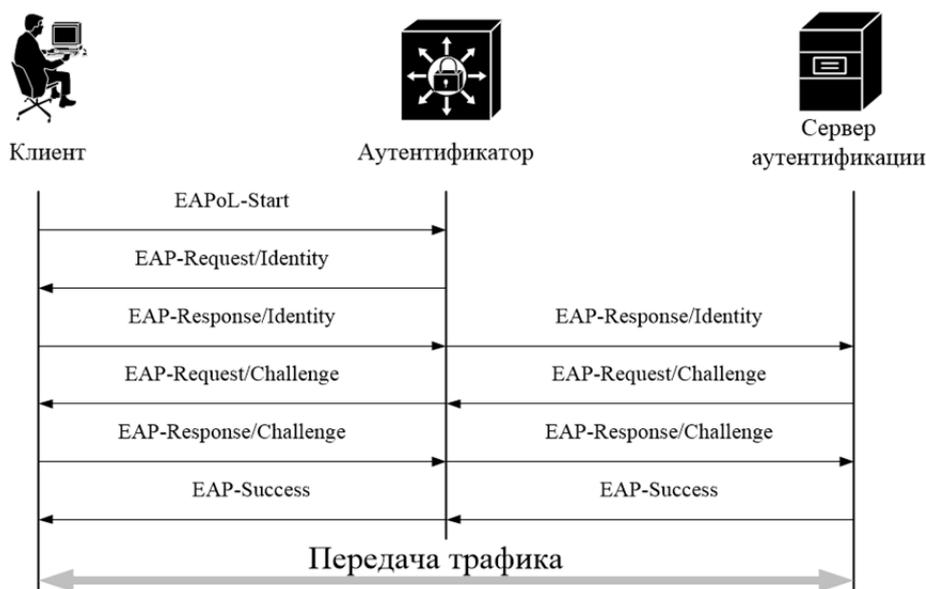


Рис. 4. Обмен сообщениями во время аутентификации по EAP-MD5

Процесс проверки подлинности:

- 1) Клиент инициирует процесс аутентификации путем отправки кадра EAPoL Start, аутентификатор запрашивает user ID клиента (логин).
- 2) Аутентификатор передает имя пользователя центру аутентификации.
- 3) Сервер аутентификации отвечает строкой challenge.
- 4) Клиент отвечает EAP-MD5 хэшем из строки challenge и пароля.

Центр аутентификации проверяет ответ и при успешной проверке отправляет EAP Success сообщение.

Таким образом, после успешной аутентификации клиент имеет возможность передавать обычный трафик через порт коммутатора. Для завершения сеанса (при отключении) он посылает EAPoL-logoff сообщение, которое говорит коммутатору перевести используемый порт в режим «unauthorized» [4].

Заключение

По мере развития стандарта IEEE 802.1X он стал повсеместно распространен в корпоративных сетях как общее решение для защиты уровня L2. Аутентификация по данному стандарту позволяет развернуть надежную среду для передачи данных. Главной особенностью является возможно его использования в беспроводные сети, доступ к которым нельзя ограничить на физическом уровне, что позволяет увеличить стойкость сети к атакам.

Однако следует знать: аутентификация 802.1x может помешать управлению системами. Например, клиент не сможет получить IP адрес по DHCP, пока не пройдет аутентификацию. Так как коммутатор будет пропускать только трафик EAPoL, плюс трафик CDP (Cisco Discovery

Protocol) и STP (Spanning-Tree Protocol) в коммутаторах Cisco. Также это может препятствовать запуску сценариев входа в систему и обновлению групповых политик, поскольку клиентская система может аутентифицировать пользователя, используя кэшированные учетные данные.

Список используемых источников

1. RFC 3748, § 3.3, § 7.12 [Электронный ресурс]. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3748>.
2. 802.1X-2001 - Port Based Network Access Control [Электронный ресурс]. URL: <http://bookre.org/reader?file=645243&pg=14>.
3. RFC 3748 [Электронный ресурс]. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3748>.
4. Introduction to 802.1X Operations for Cisco Security Professionals. Student Guide.
5. Меркулов А. Б., Никитин В. Н., Юркин Д. В. Криптографические протоколы безопасности сетей широкополосного радиодоступа стандартов IEEE 802.1x [Электронный ресурс] // Защита информации. Инсайд: электрон. научн. журн. 2009. № 5. URL: http://www.inside-zi.ru/pages/5_2009/38.html.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидат технических наук, доцентом СПбГУТ Юркиным Д. В.*

УДК 004.056.53

П. И. Шариков (студент, СПбГУТ)

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ И ВЛОЖЕНИЯ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА В ИСПОЛНЯЕМЫЕ JAVA-ФАЙЛЫ

Статья демонстрирует методику для вложения цифрового водяного знака в исполняемые файлы java для защиты авторского права владельца программы и возможности доказательства в суде прав на исходный код программы. Указаны плюсы использования цифровых водяных знаков в разрабатываемых программах. Приведены примеры действий злоумышленников при обнаружении лицензированной части кода в нелегальной программе. Рассматриваются плюсы данной методики, возможные недостатки. Произведен обзор случаев, когда необходимо использование цифровых водяных знаков в программе. Описаны критерии, предъявляемые к водяным знакам в java-программах, также основные свойства водяных знаков. Приведены примеры возможного поиска нелегальных программ в интернете с помощью программы работающей по данной методике. Данные водяные знаки не заметны пользователям. Процедура шифрования и дешифрования разделена на фазы и подробно описана по шагам. Приведены примеры возможной автоматизации процесса создания, шифрования, вложения и расшифровки с изъятием водяного знака из class-файлов java-программы. Обращено особое внимание на возможные проблемы с верификатором JVM при неправильном использовании типов переменных и синтаксиса языка. Легко шифруются, легко дешифруются. Водяной знак устойчив к изменению программы. Наличие программы производящей вложение водяного знака в class-файлы, не гарантирует, что злоумышленник,

имеющий ту же программу, сможет извлечь водяной знак из программы. Сделан вывод по всему материалу статьи, даны рекомендации по использованию данной методики

цифровой водяной знак, байт-код Java, bytecode, защита авторских прав, вложение, class-файл, Java программа, стеганография, исполняемые файлы, portable executable.

На данный момент самый популярный язык программирования это Java. Именно на этом языке написано множество приложений, которые используются в самых разных сферах, начиная от касс в супермаркетах и заканчивая банковской сферой. Следствием этого является повышенный интерес недобросовестных пользователей к программам, частям различных проектов, которые написаны на Java или работают на JVM.

Программы на Java кроссплатформенны, также существует много сайтов использующих Java-апплеты, логику клиент-сервер. Таким образом, данный язык покрывает все сферы IT, будь то бесконтактные карты, роутеры или оборудование компании cisco.

Разумеется, такая популярность языка даёт о себе знать. Java-файлы легко анализируются. Грамотному специалисту, практически не составит труда, получить исходный код, имея на руках class-файл вашей Java-программы [1]. Также, почему в качестве контейнера для скрытого вложения цифрового водяного знака был выбран java-файл, можно ознакомиться в других материалах [2]. Существует огромное количество декомпиляторов java-файлов. Но что делать, если вы хотите защитить свой программный продукт от кражи или нарушения интеллектуальной собственности?

В данной статье рассматривается один из вариантов, вложения цифрового водяного знака в class-файл java с целью защиты авторского права. Данный метод незаметен для пользователей программы, но позволяет идентифицировать нелегальную программу, которая содержит украденные у вас class-файлы.

Основные плюсы метода:

1) Пользователи программы не могут знать, расположение водяного знака.

2) Водяные знаки в программах будут сохранены. Злоумышленники не смогут извлечь их из программы, даже если метод вложения цифрового водяного знака или инструмент будет в открытом доступе.

3) Даже в случае кражи только части программы, водяной знак легко декодируется, в тех местах программы, где он может существовать.

4) Водяной знак в программе не уменьшает быстродействие и эффективность работы программы.

Сначала мы разберем важные свойства данного метода. После разбора основных свойств метода, будет приведен алгоритм метода для создания водяных знаков в программах на Java, а также процедура шифрования, дешифрования и заключение по всему материалу.

Критерии при создании водяных знаков

В данном разделе будут обозначены свойства, кодирующего метода и водяного знака. Ниже представлены критерии, которым должен удовлетворять метод кодирования цифрового водяного знака.

1) Водяной знак не изменяет спецификацию программы, способ её работы. Данное свойство должно выполняться для любого метода кодирования в компьютерных программах.

2) Программист, кодирующий водяной знак, должен иметь способ его декодирования. В идеальном варианте создание водяного знака проходит автоматически, также как и его вложение в программу. Естественно, что разработчики программы должны иметь возможность проверить содержит ли целевая программа украденную или нет. Если для подтверждения, что программа украдена, придется смотреть полный код целевой программы, её всесторонний анализ, то в таком случае отпадает необходимость и эффективность цифрового водяного знака. В данном случае, наилучшим вариантом будет возможность автоматического декодирования цифрового водяного знака, для экономии времени и средств.

3) Водяной знак должен размещаться в программе везде, где представляется возможность. Разумеется, на данное свойство накладывается ряд ограничений. Например, функционал программы пострадать не должен, ее отображение пользователю, быстродействие, а также размер занимаемого места на жестком диске. Но данное свойство имеет высокую важность, так как обычно происходит кража части программы, фрагмента кода. В данной ситуации алгоритм декодирования не должен зависеть от расположения водяного знака.

4) Функционал для удаления, изменения, проверки или вложения водяного знака не может быть получен на основании функционала кодирования водяного знака. Метод описывается в данной статье, а статью может прочитать любой человек, поэтому данное свойство не менее важно, чем все вышеперечисленные.

5) Водяные знаки в программе не должны уменьшать эффективность выполнения программы. Так как есть программы, которые очень чувствительны к сокращению скорости работы, данное свойство вынесено в отдельный пункт.

6) Изменение или преобразование программы не должно сказываться на водяных знаках. Злоумышленники могут дизассемблировать программу, а затем повторно произвести ее сборку. Существует множество способов преобразования программ [1]. Злоумышленники могут не только дизассемблировать, а потом произвести повторную сборку программы, также можно произвести перекомпиляцию программы, оптимизацию программы, критическую оптимизацию программы, скремблировать программу или воспользоваться обфускаторами различной степени сложности. Водяные

знаки должны быть надежно защищены от данного рода воздействий на программу.

Методика создания водяных знаков

Процедура шифрования водяного знака состоит из трех фаз, показанных на рис.

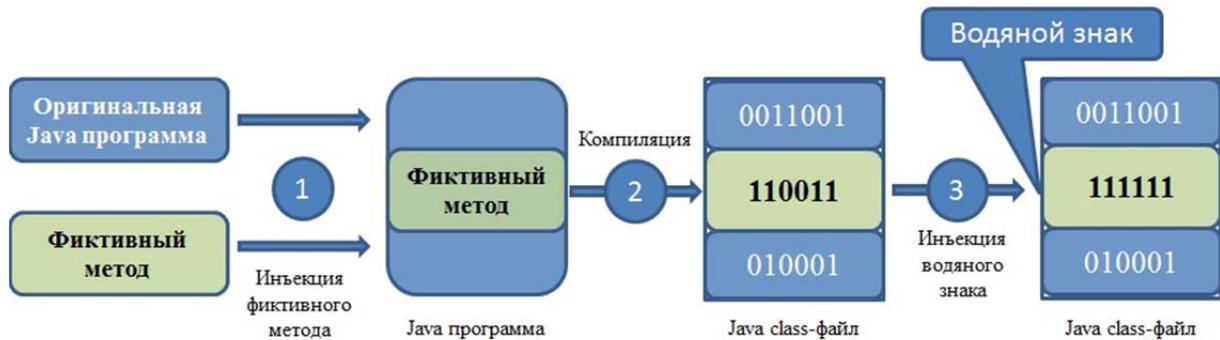


Рисунок. Процедура шифрования водяного знака

Фаза 1. Инъекция фальшивого метода

В первой фазе создания водяных знаков, используется поддельный метод (из класса), который никогда не будет выполняться, «присоединяется» к целевой начальной программе Java. Этот поддельный метод – пространство для ключевого слова водяного знака. Содержимое фальшивого метода нас не волнует, но он должен иметь достаточный размер для инъекции водяного знака.

Следующий шаг данной фазы заключается в подключении и вызове фиктивного метода в оригинальной java программе. Ниже представлен пример, демонстрирующий один из вариантов вызова метода:

```
if (Условие) fictitiousMethod();
```

«Условие» – это выражение, которое никогда не должно стать истинным. Таким образом, фиктивный метод практически никогда не вызывается. Практически, потому что все зависит от выражения (условия). Если условие достаточно сложное, то вызов метода никогда не произойдет и пользователи программы не будут никогда осведомлены о поддельном методе.

Данная фаза очень схожа с одним из ранее описанных методов защиты байт-кода java-приложения посредством «глухих» классов [1].

Фаза 2. Компиляция

Изначальная программа Java с вставкой фиктивного метода компилируется. Для этой фазы не важен компилятор. Вполне уместно использовать стандартный Java-компилятор.

Фаза 3. Инъекция водяного знака

В данной фазе необходимо обратить внимание на байт-код верификатор. Когда мы выполняем апплет Java, байт-код верификатор проверяет синтаксическую правильность кода и правильность использования типов в программе. Для того чтобы сохранить синтаксическую правильность и правильность использования типов в программе, необходимо использовать два следующих подхода.

- **Перезапись числовых операндов.** Единственный простой путь сохранить синтаксическую корректность – ограничить место перезаписи. Например, числовой операнд `opcode`, который «толкает» значение в стек, и `opcode`, который увеличивает значение в стеке, могут быть перезаписаны без синтаксической некорректности и несоответствия типов. Операнд “*xx*” в `opcode` “*iinc xx*” и “*bipush xx*” может быть перезаписан в один любой байт. С другой стороны, большинство других операндов, которые указывают позицию или индекс массивов класса или локальные переменные методов, не могут быть перезаписаны без синтаксической некорректности. Например, такие операнды, как “*getfield x*” и “*putfield xx*” не могут быть перезаписаны. Данное ограничение в операндах, очень сокращает место, которое может быть перезаписано в наших целях.

- **Замена опкодов.** Для того чтобы увеличить место для инъекции водяного знака, мы заменяем некоторые из опкодов, например, *iadd*, *ifnull*, *and iflt*, на другие опкоды с теми же свойствами. Замена опкода *iadd* опкодом *isub* не нарушает синтаксическую корректность и не создает ошибок использования типов. Кроме того, опкод *iadd* может быть заменен любым опкодом среди *isub*, *imul*, *idiv*, *irem*, *iand*, *ior*, и *ixor*. Это указывает на то, что приведенные выше операционные коды в JVM являются взаимозаменяемыми. Используя эту способность взаимной замены, мы можем кодировать 3 разрядную информацию в этих опкодах. Для примера можно присвоить 000_2 для *add*, 001_2 для *isub*, 010_2 для *imul*, ..., и 111_2 для *ixor*. Какой бы из перечисленных опкодов не появился в фиктивном методе, мы заменим его одним из указанных выше опкодов, в зависимости от того какое количество бит мы хотим закодировать. Такое информационное присвоение и замена кода операции может быть также сделано для других опкодов. В таблице показаны примеры информационного назначения опкодов, которые взаимозаменяемы.

ТАБЛИЦА. Информационное значение взаимозаменяемых опкодов

Байт-код	Мнемоническое представление	Назначенные биты
0E	dconst 0	0
0F	dconst 1	1
C6 xx xx	ifnull	0
C7 xx xx	ifnonnul	1
9B xx xx	iflt	00
9C xx xx	ifge	01
9D xx xx	ifgt	10
9E xx xx	ifle	11

В случае если нам необходимо зашифровать такое предложение, как «COPYRIGHT 2016 BY SHARIKOV PAVEL», сначала необходимо будет перевести предложение в последовательность битов, затем закодировать эту последовательность битов в программу. В качестве примера шифрования было взято слово «ABCDE». Данное слово шифровалось в байт-коде. Сначала было сделано присвоение «А» 00000_2 , «В» 00001_2 , «С» 00010_2 , «D» 00011_2 , «Е» 00100_2 . Теперь мы имеем зашифрованную последовательность бит «0000000001000100001100100» в программе.

Процедура расшифровки

В фазе расшифровки водяного знака предполагается, что мы знаем отношение между байт-кодами и присвоенными им битами, а также между последовательностями битов и алфавитом.

Алгоритм расшифровки очень прост. Мы просто делаем в точности противоположную процедуру инъекции водяного знака с самого начала каждого метода. Как операции, так и операнды в каждом методе класса должны быть заменены на последовательность битов, после чего заменены в алфавитную последовательность. После этого водяной знак можно будет просматривать в фиктивном методе. Данная процедура расшифровки может быть автоматизирована таким образом, что в случае кражи только небольшой части программы и при последующем использовании ее в другой программе, водяной знак мог быть легко расшифрован, неважно в каком месте программы он находился.

Вывод

В данной статье предложен метод создания цифровых водяных знаков, применимый к существующим Java программам. В большинстве случаев кража java программы происходит блоками, которые потом используются в других программах. Чаще всего, в нелегальных программах используются украденные class-файлы. Используя данную методику, разработчики программ смогут защищать важные class-файлы их программы

путем вложения водяного знака в class-файлы. Данная методика легка и практична, так как водяной знак может быть легко расшифрован в подозрительной программе, в любом месте, где был использован украденный class-файл.

Список используемых источников

1. Шариков П. И. Методика выбора наиболее эффективного контейнера в форматах исполняемых файлов для вложения информации // VI Всероссийская научно-техническая конференция «Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур»: межвузовский сборник трудов. 2016. С. 57–64.
2. Шариков П. И. Методика нахождения величины наиболее выгодного контейнера в форматах исполняемых файлов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 5. С. 58–62.
3. Красов А. В., Штеренберг С. И., Верещагин А. С. Разработка методов защиты от копирования ПО на основе цифровых водяных знаков внедряемых в исполнимые и библиотечные файлы // Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании: сб. науч. ст. СПб.: СПбГУТ. 2013. С. 847–852.
4. Красов А. В., Верещагин А. С., Абатуров В. С., Резник М. В. Методы скрытого вложения информации в исполняемые файлы. СПб.: Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2012. № 8. С. 51–55.
5. Красов А. В., Верещагин А. С., Цветков А. Ю. Аутентификация программного обеспечения при помощи вложения цифровых водяных знаков в исполняемый код // Телекоммуникации. Спецвыпуск. М., 2013. С. 27–30.
6. Хомяков И. Н., Красов А. В. Возможность скрытого вложения информации в байт-код Java // Информационные технологии моделирования и управления. 2014. № 2 (86). С. 185–191.
7. Horstmann Cay S. Core Java. Volume II: Advanced Features. 9th Ed. Prentice Hall, 2015. 1118 p.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Красовым А. В.*

УДК 65.011.56

А. А. Шестакова (студентка, СПбГУТ)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА СЕТИ ПО ТЕХНОЛОГИИ FTTH С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ TU

Проектирование участка сети – процесс многоэтапный, который предполагает выявление требований оператора связи, разработку проекта, установку, тестирование и ввод в эксплуатацию. Проектирование позволяет получить точные характеристики требуемого оборудования и выбрать оптимальное техническое решение. При проектировании достаточно велико влияние человеческого фактора и высок риск

ошибки в самых разных операциях. Возникает желание, повысить автоматизацию процесса проектирования участка сети и подойти к необходимости решения этой задачи, используя имеющиеся OSS средства.

технический учёт, паспортизация, FTTx, проектирование сети, автоматизация деятельности оператора связи.

В настоящее время операторы связи всё больше вкладывают финансы в разработку систем класса OSS/BSS. Это связано с тем, что внедрение автоматизированных средств в повседневную деятельность операторов связи позволяет повысить контроль управления бизнес-процессом и решить одну из основных задач – сохранить и преумножить клиентскую базу [1]. Одним из существующих решений являются системы класса ТУ.

Система Технического Учёта (ТУ) в телекоммуникациях представляет собой совокупность комплекса технических средств, информационных технологий и данных, необходимых для осуществления контроля над расширением или уменьшением сетей, средств и сооружений связи в части единиц ТУ.

Суть задачи технического учёта и паспортизации заключается в постоянном сборе, накоплении, объединении и поддержании в актуальном состоянии информации о составе и конфигурации различных сетей, средств и сооружений связи за весь период их жизненного цикла – от проектирования до вывода из эксплуатации [2].

Объектом технического учёта в телекоммуникациях являются сети, средства связи, сооружения связи. Объекты ТУ совокупно можно рассматривать как сетевые ресурсы. Все сетевые ресурсы можно разделить на физические и логические ресурсы.

К физическим ресурсам относится оборудование сетей, линий и сооружений связи. К логическим ресурсам можно отнести адресное пространство, ПО, временные каналы, логические соединения.

Разрабатываемый алгоритм будет основываться на базе такой системы и позволит оператору связи решить первостепенные проблемы по проектированию нового участка сети.

Экономическая часть при проектировании нового участка сети нам интересна, но рассчитываться алгоритмом не будет.

В настоящее время одной из наиболее популярных технологий строительства сетей широкополосного доступа в мире является технология FTTx. Для описания работы алгоритма возьмём за основу проектирование участка сети по технологии FTTx.

Разрабатываемый алгоритм должен позволить достаточно полно и однозначно оценить объём работ и оборудования, которые потребуются для реализации поставленной задачи.

Под алгоритмом будем понимать строго определённую последовательность процесса, который направлен на получение требуемой информации конкретного объёма и вида.

Разрабатываемый алгоритм должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) гибкость конечного алгоритма;
- 2) возможность взаимодействия с различными OSS-решениями.

Дополнительным требованием к результату работы алгоритма является точность расчёта длины кабеля не менее 50 % [3].

Работу алгоритма разобьём на два взаимосвязанных этапа – «Предварительная оценка проекта» и «Проектирование участка сети».

На этапе «Предварительная оценка проекта» алгоритмом должно реализовываться следующее:

- 1) проверка технической возможности;
- 2) подбор ближайшего оконечного кабельного устройства;
- 3) построение маршрута до магистрального кросса;
- 4) предварительный расчёт длины кабеля;
- 5) создание схемы.

На этапе «Проектирование участка сети» алгоритмом должно реализовываться следующее:

- 1) точный расчёт длины кабеля;
- 2) определение способа прокладки кабеля;
- 3) учёт оборудования;
- 4) учёт работ по сварке волокон в муфтах;
- 5) составление сводных таблиц.

Взаимодействие пользователя должно осуществляться через экранные формы. Анализ поставленной задачи позволил сформулировать требования к экранной форме разрабатываемого алгоритма:

1) Ввод данных должен осуществляться через автоматически открывающиеся окна.

2) Выбор критериев для поиска должен осуществляться через checkbox (флажки).

3) Пользователю должна быть доступна работа с картой.

4) Пользователю должна быть доступна работа со схемой.

5) Результат работы алгоритма должен выводиться в две таблицы экранной формы: «Перечень работ» и «Оборудование».

Таблица «Перечень работ» должна содержать список существующих сварок на участке сети и перечень сварок, которые требуется провести, а также список муфт, через которые будет проходить проектируемый участок сети.

Таблица «Оборудование» должна содержать список оборудования, которое потребуется для реализации проекта.

Пользовательский интерфейс должен способствовать комфортной работе пользователя с алгоритмом.

Разработанный алгоритм позволяет оценить трудозатраты при проектировании участка сети.

Длина кабеля, полученная в ходе работы алгоритма, может быть введена пользователем в стороннюю систему для составления ТЭО.

Таблица, отображающая существующие сварки и сварки, которые требуется провести, будет полезна для работы монтажника.

Использование алгоритма будет полезно для сотрудника отдела развития сети или сотрудника отдела продаж, а также для инженера-проектировщика.

С помощью разработанного алгоритма достигнута основная цель, которая заключается в повышении эффективности процессов проектирования, оптимизации и развития волоконно-оптических сетей связи, за счёт разработки автоматизированного комплекса проектирования сетей ФТТх.

Таким образом, был разработан алгоритм учёта ресурсов при проектировании участка сети по технологии ФТТх, который улучшает\упрощает планирование и качество работы и автоматизацию процесса позволяет оценить целесообразность планируемого расширения сети – благодаря возможности сравнить затраты и перспективы подключений.

Для последующего развития алгоритма, планируется добавить следующую функциональность: расширить количество технологий, на основании которых производится расчёт оборудования при проектировании участка сети. Такими технологиями являются – ADSL, SHDSL.

Список используемых источников

1. Ashford Colin, Geuthier Pierre OSS Design Patterns. Berlin: Springer, 2009. 151 p.
2. Основное назначение ТУ [Электронный ресурс]. URL: http://www.tmforum.org/Models/eTOM/etom_9.0_publication/Framework/tamapplication17.htm.
3. Коберн А. Современные методы описания функциональных требований к системам. М.: Лори, 2014. 263 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Гольдштейном А. Б.*

УДК 621.3.052

Т. Р. Ялунина (студентка, СПбГУТ)

И. В. Гришин (канд. техн. наук, доцент, СПбГУТ)

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПОСРЕДСТВОМ СВЕТОДИОДОВ ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Идея передачи данных посредством видимого света нова. Одним из преимуществ этой технологии является объединение функций освещения и передачи данных. Однако становится вопрос расположения источников излучения таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить равномерное и приятное глазу освещение, а с другой стороны, минимизировать задержки от соседних источников во избежание межсимвольной интерференции. В докладе приводятся расчеты для выбора оптимального расположения источников.

системы передачи при помощи видимого света, технология VLC, Li-Fi, светодиоды видимого излучения, МСИ.

Одним из перспективных направлений развития беспроводных систем передачи данных является технология передачи на базе светодиодов видимого излучения [1]. Предполагается, что такую систему связи можно будет использовать как поверх основного освещения, так и в дополнение к нему, например, только в рабочей зоне [2]. При втором способе реализации технологии не требуется расчета межсимвольной интерференции (МСИ), возникающей вследствие наложения сигналов от соседних источников излучения (ИИ). Однако при развертывании системы передачи по всей площади необходим точный расчет расположения ИИ, с целью исключения негативного воздействия взаимных влияний.

Расположение ИИ ограничивается двумя факторами. С одной стороны, ИИ необходимо расположить максимально близко друг к другу для того, чтобы не было ощущения "пятнистого" освещения. Однако с другой стороны, при близком расположении происходит смешение световых потоков, что нежелательно, потому что приводит к наложению сигналов и, как следствие, к дополнительным искажениям в виде МСИ.

Межсимвольная интерференция будет возникать из-за того, что световые потоки, распространяющиеся от разных ИИ, будут проходить разное расстояние до приемника и, как следствие, сигнал, приходящий по длинному пути, придет с задержкой и наложится на сигнал, приходящий по короткому пути. Однако при небольших значениях задержки распространения сигналов МСИ возникать не будет. В этом случае величина критического времени задержки определяется исходя из момента принятия решения (МПР). В данной работе примем, что принятие решения о том,

какой символ передавался, происходит в середине длительности импульса, тогда:

$$t_{кр} = T_{и} \cdot k_3,$$

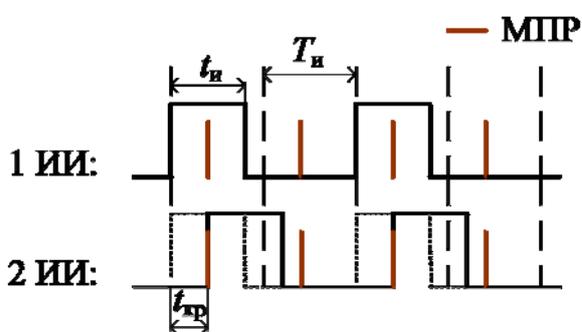


Рис. 1. Критическое время задержки

ИИ так, чтобы максимальная разность длин прохождения сигналов соседних ИИ была меньше:

$$l_{кр} = t_{кр} \cdot c,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Для начала необходимо разобраться, в каком положении приемника относительно соседних ИИ будет максимальная разность длин прохождения сигналов.

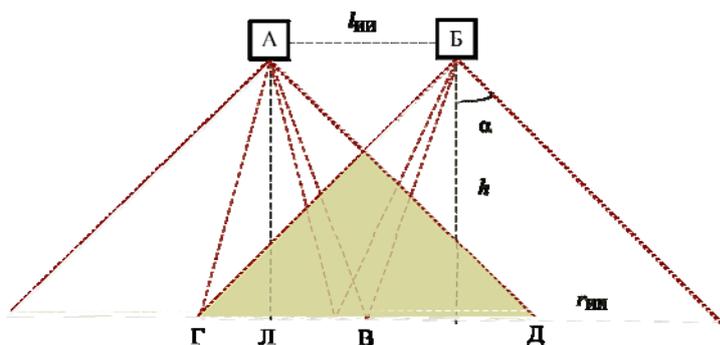


Рис. 2. Геометрический сценарий наложения двух световых потоков

где $T_{и} = 1/F_c$ – период следования импульсов, F_c – полоса частот сигнала, $k_3 = D/2$ – коэффициент запаздывания, где $D = t_w/T_{и}$ – коэффициент заполнения, t_w – длительность импульсов (рис. 1).

При реализации технологии задержки от соседних ИИ должны быть меньше $t_{кр}$. Для этого необходимо расставить

ИИ так, чтобы максимальная разность длин прохождения сигналов. Допустим, ИИ расположены на расстоянии $l_{иИ}$ друг от друга, углы излучения источников равны α , тогда на высоте h от потолка радиусы излучения равны $r_{иИ}$ (рис. 2).

В этом случае наложение световых потоков будет происходить в зоне с шириной, равной отрезку “ВГ”. Точка “В” находится

на равном удалении от ИИ “А” и “Б”, и разность длин “АВ” и “БВ” нулевая, поэтому в таком положении относительной задержки сигнала не будет.

Так как зоны “АГВ” и “БГД” симметричны, рассмотрим только первую. Будем перемещать приемник из точки нулевой разности “В” до максимальной дальности излучения передатчика “Б” – в точку “Г”. График изменения разности длин прохождения сигналов от источников “А” и “Б” при перемещении приемника из “В” в “Г” представлен на рис. 3.

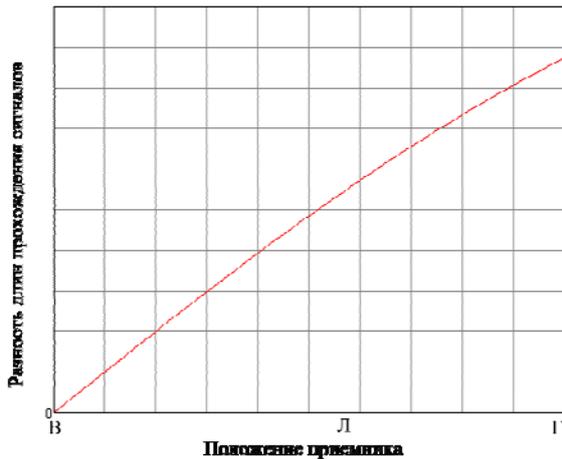


Рис. 3. Изменение разности длин прохождения сигналов при перемещении приемника из точки “В” в точку “Г”

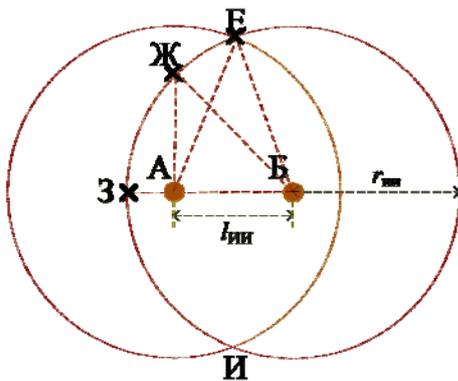


Рис. 4. Геометрический сценарий наложения двух световых потоков при взгляде сверху

Исходя полученной зависимости, справедливо сказать, что наибольшая разность длин в зоне наложения приходится на точку максимальной дальности излучения передатчика “Б” (на его радиус излучения – точку “Г”). Однако на рис. 2 изображено геометрическое представление наложения световых потоков в одной плоскости. В связи с этим, говорить, что пик будет приходиться на точку максимальной дальности неточно. На рис. 4 представлено наложение световых потоков при взгляде сверху. В этом случае точка максимальной дальности передатчика “Б” в зоне наложения световых потоков находится на дуге от точки “Е” до точки “И”. Поэтому уточним, что наибольшая разность длин прохождения сигналов в зоне наложения будет приходиться на точку максимальной дальности передатчика “Б” и минимального расстояния от передатчика “А” до пересечения с радиусом передатчика “Б”, т. е. на точку “З”.

Однако это справедливо только для наложения двух передатчиков. При равноудаленном расположении четырех передатчиков, как это показано на рис. 5, наибольшая разность длин прохождения сигналов, в зависимости от расстояния $l_{иИ}$, может приходиться на зону наложения передатчиков, расположенных по диагонали, то есть передатчиков “Б” и “В”. Т. е. критическая задержка может приходиться не на точку “П”, где происходит наложение ИИ “А” и “Б”, а на точку “Р”, где происходит наложение ИИ “Б” и “В”.

Экспериментально установлено, что при соотношениях расстояния между ИИ и радиуса одного ИИ таких, что $l_{иИ} \leq r_{иИ} < 1,2 \cdot l_{иИ}$ наибольшая разность длин прохождения сигналов будет между соседними ИИ, а при $1,2 \cdot l_{иИ} \leq r_{иИ} < 1,5 \cdot l_{иИ}$ – между ИИ, расположенными по диагонали.

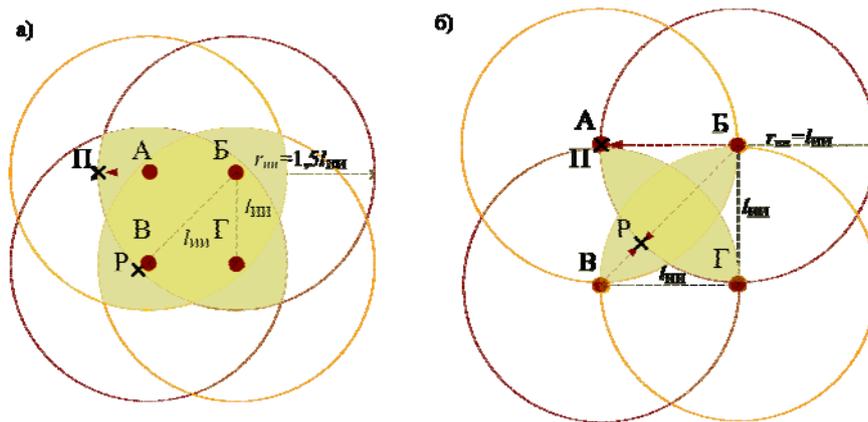


Рис. 5. Геометрический сценарий наложения четырех световых потоков при взгляде сверху: а) при соотношении $r_{иИ} = 1,5 \cdot l_{иИ}$; б) при соотношении $r_{иИ} = l_{иИ}$

Надо заметить, что задержка сигналов происходит не только при распространении по оптической беспроводной среде, но и в кабеле, соединяющем соседние ИИ. Задержка при распространении сигнала в кабеле определяется по формуле:

$$t_k = \frac{l_{иИ}}{V_k},$$

где V_k – скорость распространения сигнала в кабеле (номинальная скорость распространения сигнала в электрическом кабеле составляет $2,041 \cdot 10^8 - 2,174 \cdot 10^8$ м/с [3], при расчетах необходимо исходить из худшего варианта).

В таком случае максимально допустимая разность длин прохождения сигналов по беспроводной среде (БС) сигналов соседних ИИ равна:

$$l_{кр, БС} = (t_{кр} - t_k) \cdot c.$$

Для того чтобы минимизировать задержку между ИИ, необходимо соединить их, как показано на рис. 6. В этом случае, задержка при распространении по кабелю будет только между ИИ, расположенными по диагонали, и будет равна задержки в один пролет.

Рассмотрим пример наложения двух световых потоков. В помещении на высоте 200 см от потолка находится приемник. Угол излучения каждого источника 45° . Радиус излучения на этой высоте для каждого источника будет 200 см. Полоса частот сигнала 40 МГц, коэффициент заполнения – 0,5. Соседние ИИ соединены электрическим проводом, как на рис. 6.

Как уже было сказано, при расположении ИИ на таком расстоянии, что $1,2 \cdot l_{иИ} \leq r_{иИ} < 1,5 \cdot l_{иИ}$, максимальная разность длин прохождения сигналов по беспроводной среде будет между ИИ, расположенными по диагонали. К тому же, между этими ИИ появляется дополнительная задержка при распространении по кабелю. Таким образом, расстояние между ИИ

необходимо выбирать как максимально допустимое, исходя из разности длин прохождения сигналов от ИИ, расположенных по диагонали, в диапазоне $1,2 \cdot l_{ИИ} \leq r_{ИИ} < 1,5 \cdot l_{ИИ}$. Расстояние не меньше $l_{ИИ} = r_{ИИ}/1,5$ ограничено тем, что при более тесном расположении максимальная разность длин прохождения сигналов по БС приходится не на ИИ “1” и “2”, а на ИИ “1” и “3” (см. рис. 7).

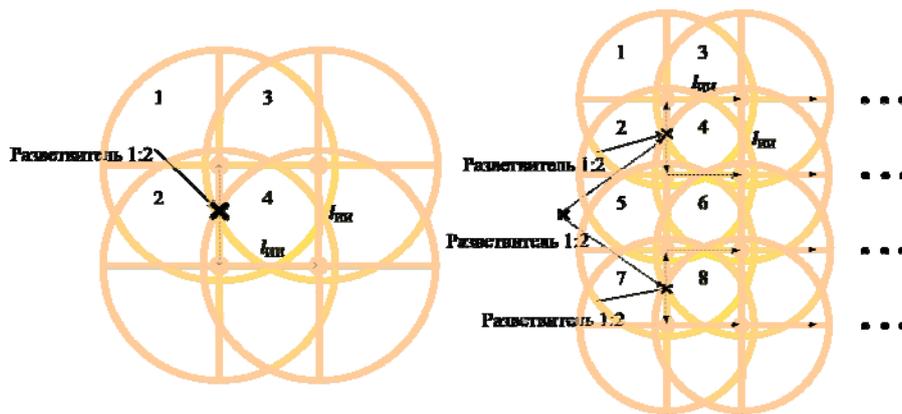


Рис. 6. Оптимальная схема соединения источников излучения

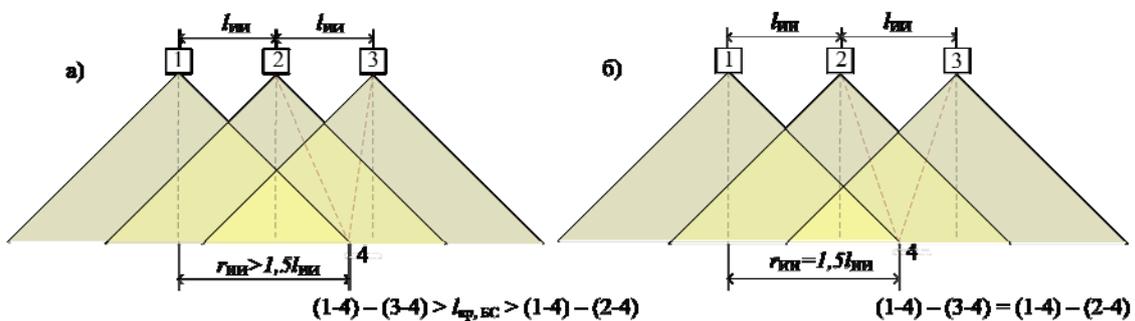


Рис. 7. Расположение ИИ с условием, что а) $1,5 \cdot l_{ИИ} < r_{ИИ} < 2 \cdot l_{ИИ}$; б) $r_{ИИ} = 1,5 \cdot l_{ИИ}$

К тому же, для организации оптических точек доступа предпочтительным является большое количество узконаправленных источников, поэтому одним из условий реализации СПВС должно быть ограничение расстояния такое, что $l_{ИИ} \geq r_{ИИ}/1,5$. Таким образом, будет возникать взаимное влияние только соседних источников излучения. При уменьшении угла излучения можно добиться минимальных взаимных влияний, однако использование слишком узконаправленных источников чревато негативным воздействием на зрение человека и, к тому же, не рационально. Расстояние $l_{ИИ} = r_{ИИ}/1,2$ ограничено тем, что при больших промежутках между ИИ, освещение не будет воспринято равномерным, что приведет к дискомфорту и усталости глаз.

Для описанных выше условий допустимым является максимальное расстояние из указанного диапазона – $r_{\text{ИИ}}/1,2 = 166$ см.

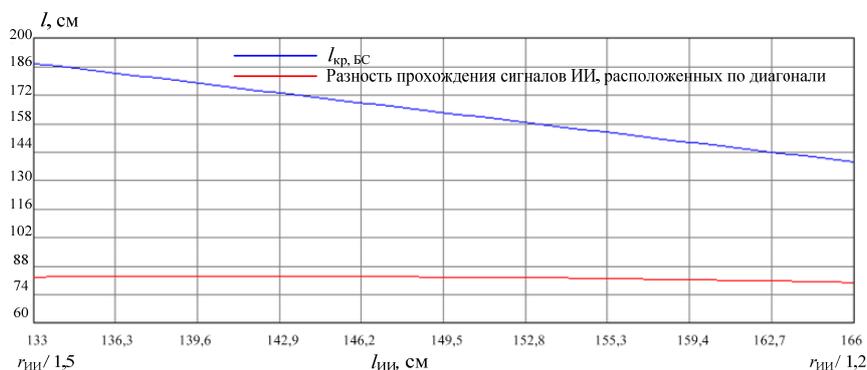


Рис. 8. График зависимости разности в прохождении сигналов соседних ИИ от расстояния между соседними ИИ

Можно сделать вывод, что для оптимальной организации технологии СПВС по всей площади помещения необходимо подобрать такие параметры, чтобы выполнялись неравенства:

$$\begin{cases} l_{\text{ИИ}} < l_{\text{кр, БС}} \\ r_{\text{ИИ}}/1,5 \leq l_{\text{ИИ}} < r_{\text{ИИ}}/1,2 \end{cases}$$

где критическая разность длин прохождения сигналов по БС, $l_{\text{кр, БС}}$, рассчитывается между ИИ, расположенными по диагонали, учитывая задержку при распространении по кабелю.

Подводя итог настоящей работы, необходимо сказать, что при грамотном расположении источников излучения возможна организация системы передачи посредством светодиодов с минимальными задержками сигнала в дополнение к почти равномерному освещению, однако при реализации технологии возникает множество существенных проблем, решение которых требует тщательного исследования.

Список используемых источников

1. Dmitrov S., Haas H. Principles of LED Light Communications: towards networked Li-Fi. United Kingdom, Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
2. Arnon S. Visible Light Communication. Israel, Negev: Cambridge University Press, 2015. 176 с.
3. Задержка распространения сигнала в кабеле [электронный ресурс]: База знаний ICS. URL: <https://www.icsgroup.ru/library/consult/detail.php?ID=9149>.

УДК 621.391

Д. И. Гершенкоп (студент, СПбГУТ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЕЦ ИФАП В ГЕНЕРАТОРАХ ОПОРНЫХ ЧАСТОТ

В данной работе рассмотрено применение колец импульсно-фазовой автоподстройки в качестве генераторов опорных колебаний, а так же проведён инженерный расчёт и сравнение колец с разными реализациями трактов приведения по частоте.

опорное колебание, ИФАП, СВЧ Диапазон, дробный нониус.

Одним из ключевых элементов современных электронных устройств является генератор опорного колебания. По мере развития этих устройств, требования к генераторам так же возросли. Необходимо обеспечить как и высокую выходную частоту, так и низкий уровень шумов в выходном колебании. Один из подходов к созданию генераторов – использование колец импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП).

Тем не менее, кольца ИФАП обладают недостатком, который негативно влияет на спектр выходного колебания: умножение помех, приходящих с опорным колебанием, попадающим в полосу прозрачности кольца ($f_{\text{ИФАП}}$) в N раз, где N – коэффициент деления кольца (см. рис. 1).

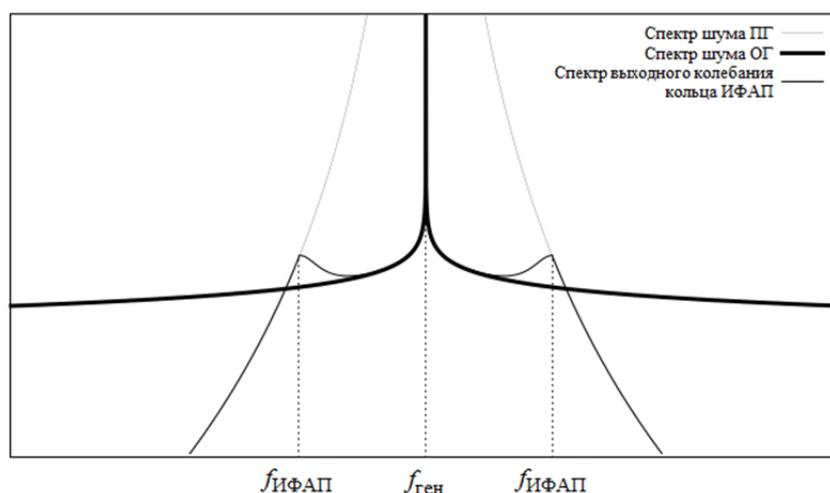


Рис. 1. Умножение кольцом ИФАП побочных спектральных составляющих ОГ

Для борьбы с данным недостатком целесообразно ввести дробный нониусный тракт приведения (ТП) частоты [1, 2], как это продемонстрировано на рис. 2.

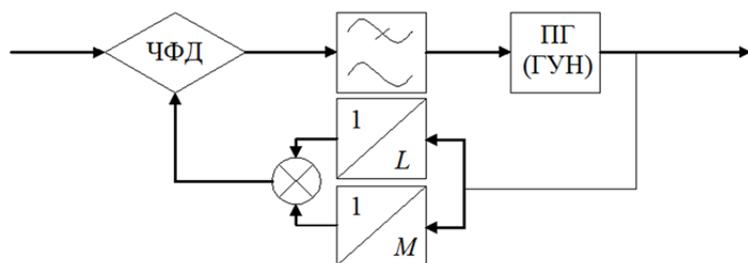


Рис. 2. Кольцо ИФАП с дробным нониусом в тракте приведения частоты

Произведём расчет умножающих колец ИФАП для двух случаев [3]. Зафиксируем частоту выходного колебания – 1 ГГц, частота сравнения 5 МГц.

Перед началом расчета колец ИФАП произведён выбор компонентной базы. В качестве генератора опорного колебания применен ГК54-ТС-5М с выходной частотой 5 МГц. В данном случае тракт приведения должен обеспечить коэффициент деления частоты:

$$N = \frac{1000 \text{ МГц}}{5 \text{ МГц}} = 200.$$

Для этого случая коэффициенты деления дробного нониусного ТП подобраны следующие – $L = 5^{5/9}$ ($^{50/9}$) и $M = 5^{5/7}$ ($^{40/7}$), в результате будет получен эквивалентный коэффициент деления:

$$N_{\text{экв}} = \frac{1}{\frac{1}{5^{5/9}} \cdot \frac{1}{5^{5/7}}} = \frac{1}{\frac{9}{50} \cdot \frac{7}{40}} = 200.$$

Эквивалентный коэффициент деления $N_{\text{экв}}$ в данном случае остаётся прежним, но уровень шумов в «окне прозрачности» кольца поднимется всего в 6 раз. Цифра 6 получается при искусственном создании дробности управляемым делителем частоты коэффициентами деления 5 и 6.

В роли частотно-фазового детектора и делителя частоты можно применить интегральную микросхему НМС984 [4]. Для реализации дробного нониусного ТП так же потребуются два дополнительных делителя НМС394 [5] с управляемым коэффициентом деления. ПГ в данных кольцах – ROS-1000С с диапазоном перестройки частот 985,2–1012,4 МГц ($\Delta f_{\text{ПГ}} = 27,2$ МГц) под действием управляющего напряжения от 0 до 5 В.

Следующим шагом вычисляем наибольшее значение приведенной к частоте сравнения полосы перестройки ПГ: $K_{\text{ПГ}} = \Delta f_{\text{ПГ}}/N = 136$ кГц – в случае делителя частоты и $K_{\text{ПГн}} = \Delta f_{\text{ПГ}}/L = 4,896$ МГц в случае нониусного ТП.

ПГ в кольце ИФАП выполняет роль интегратора и имеет коэффициент передачи $K_{\text{ПГ}}(j\omega)$. Произведём расчёт частоты единичного усиления ПГ с учётом коэффициента передачи ЧФД в кольце без ТП: $f_{1Г} = \Delta f_{\text{ПГ}} / 2\pi N = 22$ кГц; с нониусом: $f_{1Гн} = \Delta f_{\text{ПГ}} / 2\pi L = 779$ кГц.

Определение желаемой частоты единичного усиления кольца ($f_{\text{ИФАП}}$) производим по графику уровня шумов ПГ и приведённых уровней шумов

ОГ при двух разных конструкциях ТП (см. рис. 3). Как следует из графика, $f_{\text{ИФАП}} = 2,1$ кГц; $f_{\text{ИФАПн}} = 61,7$ кГц. Для подавления всплеска побочных спектральных составляющих на границах окна прозрачности и повышения удобства расчётов можно принять данные частоты на величинах $f_{\text{ИФАП}} = 3$ кГц; $f_{\text{ИФАПн}} = 65$ кГц.

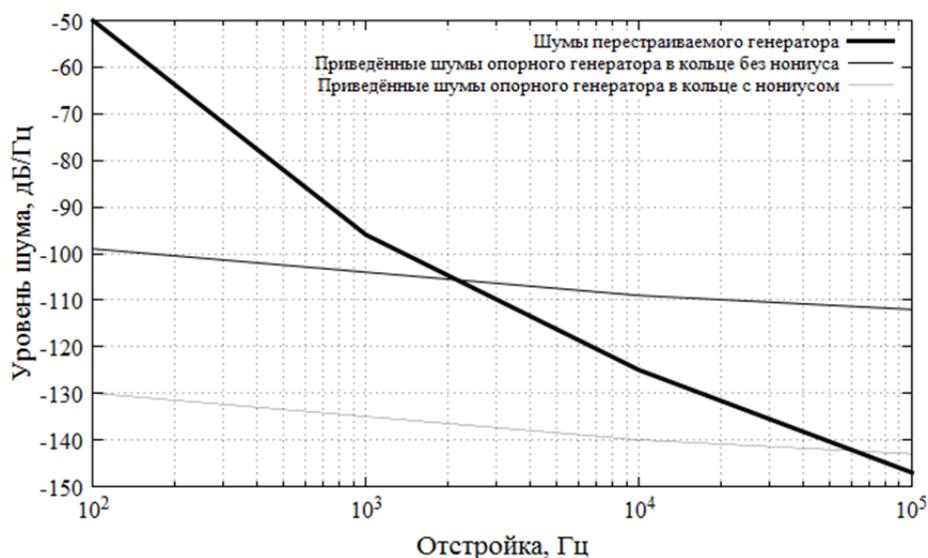


Рис. 3. Сравнение уровня шумов генераторов

Кольцо ИФАП с ЧФД является системой автоматического регулирования с (квази)астатизмом по фазе, поэтому требуется обеспечить устойчивость замкнутого кольца и низкую колебательность переходного процесса при включении. С этой целью в окрестностях точки пересечения графика коэффициента передачи разомкнутого кольца ($f_{\text{ИФАП}}$) с осью абсцисс наклон характеристики должен составлять -20 дБ/дек, что достигается добавлением изодромного звена.

Так как наклон должен составлять -20 децибелл на декаду, несложно найти частоту излома характеристики изодромного звена $f_{\text{и}}$, она отстоит на декаду от $f_{\text{ИФАП}} = 3$ кГц, т. е. излом должен происходить на частоте $0,3$ кГц для кольца с делителем частоты; $f_{\text{ин}} = 6,5$ кГц для кольца с нониусным ТП.

Поскольку известны частоты $f_{\text{и}}$ и $f_{\text{ИФАП}}$, можно найти точку пересечения графика характеристики кольца ИФАП без компенсирующего звена с осью абсцисс (см. рис. 4). Эта точка находится по середине между $f_{\text{и}}$ и $f_{\text{ИФАП}}$, следовательно, её положение – среднее пропорциональное этих двух точек:

$$f_{(2)} = \sqrt{f_{\text{и}} \cdot f_{\text{ИФАП}}} \approx 0,95 \text{ кГц}$$

$$f_{(2)\text{н}} \approx 20,5 \text{ кГц.}$$

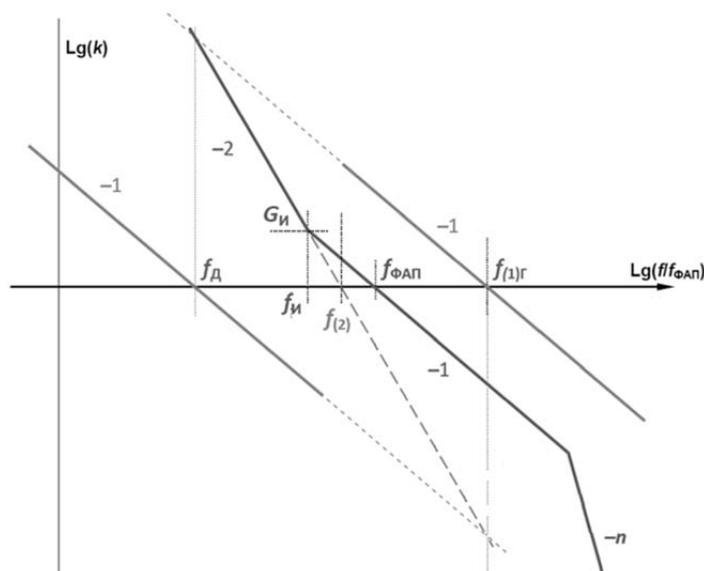


Рис. 4. Обеспечение стабильности кольца ИФАП

Следующий шаг – расчёт частоты работы ЧФД. $f_д$ и $f_{(2)}$ одновременно находится и по середине между $f_{1Г}$ и $f_д$, следовательно, частота может быть найдена так: $f_д = f_{(2)}^2 / f_{(1)Г} = 41$ Гц; аналогично, $f_{дн} = 539$ Гц.

Если известна частота работы детектора, то можно найти ёмкость изодромного звена:

$$C_{и} = \frac{I_д}{2\pi E_д f_д}.$$

Ток $I_д$ и напряжение $E_д$ на ИМС *НМС984* можно изменять, зададим следующие величины: $I_д = 1,88$ мА, $E_д = 5$ В. Тогда, учитывая номиналы серийно выпускаемых конденсаторов, $C_{и} = 2,2$ мкФ; $C_{ин} = 0,110$ нФ.

Расчёт сопротивления в изодромном звене может быть выполнен по формуле: $R_{и} = (2\pi f_{и} C_{и})^{-1}$. $R_{и} = 240$ Ом; $R_{ин} = 220$ Ом.

Для эффективного подавления частоты ОГ применим петлевой ФНЧ второго порядка. Гарантированное подавление частоты ОГ будет достигаться при подавлении частоты в два раза ниже, т. е. при подавлении частоты 2,5 МГц. При эквивалентном сопротивлении ЧФД $R_{ф} = 50$ Ом, $C_{ф} = 1/2\pi f R_{ф} \approx 1,3$ нФ. Следующее звено фильтра можно посчитать из следующего соображения: $R_{ф2} = 5R_{ф} = 250$ Ом, $C_{ф2} = 1/5 C_{ф} \approx 0,255$ нФ.

Пьедестал шумов кольца ИФАП может быть найден по формуле:

$$D_{ФАП} = \Phi_{БАЗ} + 10\lg F_c + 20\lg N,$$

где $\Phi_{БАЗ}$ – фундаментальные шумы ИМС (для *НМС984*: -230 дБн/Гц), F_c – частота сравнения в ЧФД: 5 МГц, N – мин. коэффициент деления (200

и 5). Подставив все числа в формулу, получаем значение -116 дБн/Гц для кольца с делителем частоты и -149 дБн/Гц для кольца с дробным нониусом в ТП. Результат продемонстрирован на рис. 5.

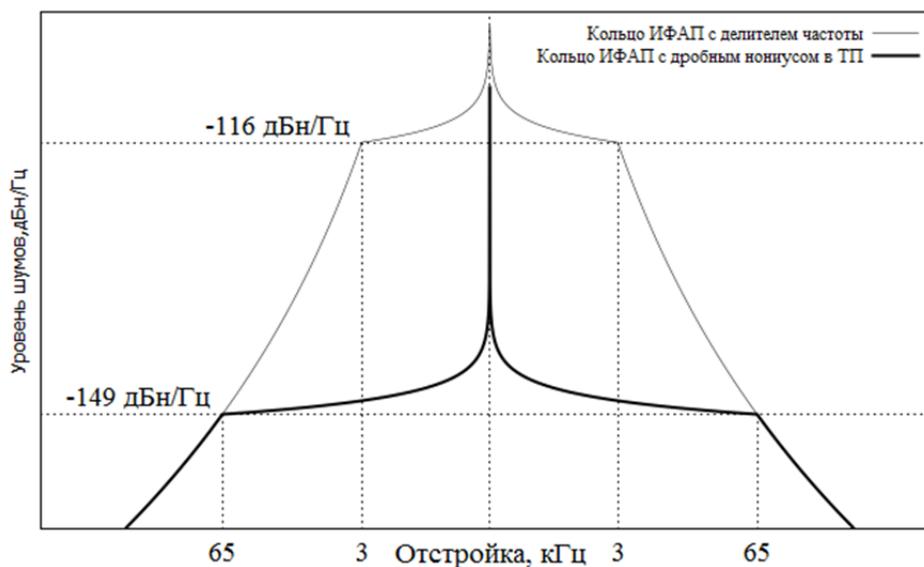


Рис. 5. Сравнение спектральных линий колец ИФАП

Список используемых источников

1. Никитин Ю. А. Построение тракта приведения активного синтезатора частот. // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 3. С. 19–26.
2. Sadowski В. A self-offset phase-locked loop // Microwave journal. 2008. V. 51. N 4. pp. 116–124.
3. Никитин Ю. А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот. Часть 2: учебное пособие. СПб. : СПбГУТ, 2015. 99 с.
4. HMC984 DIGITAL PHASE-FREQUENCY DETECTOR: техническая спецификация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc984.pdf>
5. HMC394 GaAs HBT PROGRAMMABLE 5-BIT COUNTER, DC – 2.2 GHz: техническая спецификация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc394.pdf>

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником,
доцентом СПбГУТ Никитиным Ю. А.*

УДК 621.396.67

А. И. Катасонов, С. А. Кузнецов, Р. В. Судеревская (студенты, СПбГУТ)

АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДАМИ РОЗЕНБРОКА, ДЭВИДОНА-ФЛЕТЧЕРА-ПАУЭЛЛА, НЕЛДЕРА-МИДА

Представлена классификация методов оптимального проектирования. Представлены анализ следующих алгоритмов оптимизации: алгоритм оптимизации методом Розенброка, алгоритм оптимизации методом Дэвидона-Флетчера-Пауэлла, алгоритм оптимизации методом Нелдера-Мида.

алгоритм оптимизации, аналитические методы, поисковые методы оптимизации, интерполяция, итерация, метод Розенброка, метод Дэвидона-Флетчера-Пауэлла, метод Нелдера-Мида.

Одним из перспективных методов оптимизации с такими достоинствами, как относительная простота и быстроедействие является метод Розенброка. Метод Розенброка является итерационной процедурой, имеющей некоторое сходство с исследующим поиском Хука и Дживса. Отличие состоит в том, что с помощью дискретных шагов или одномерной оптимизации поиски осуществляются вдоль системы ортонормированных направлений, полученных при помощи процедуры Грама-Шмидта.

Метод вращающихся координат (метод Розенброка)

Суть метода состоит во вращении системы координат в соответствии с изменением скорости убывания целевой функции. Новые направления координатных осей определяются таким образом, чтобы одна из них соответствовала направлению наиболее быстрого убывания целевой функции, а остальные находятся из условия ортогональности. Идея метода состоит в следующем. Из начальной точки $x[0]$ осуществляют спуск в точку $x[1]$ по направлениям, параллельным координатным осям. На следующей итерации одна из осей должна проходить в направлении $y_1 = x[1] - x[0]$, а другая – в направлении, перпендикулярном к y_1 . Спуск вдоль этих осей приводит в точку $x[2]$, что дает возможность построить новый вектор $x[2] - x[1]$ и на его базе новую систему направлений поиска. В общем случае данный метод эффективен при минимизации овражных функций, так как результирующее направление поиска стремится расположиться вдоль оси оврага.

Алгоритм метода вращающихся координат состоит в следующем:

1. Обозначают через $p_1[k], \dots, p_n[k]$ направления координатных осей в некоторой точке $x[k]$ (на k -й итерации). Выполняют пробный шаг h_1 вдоль оси $p_1[k]$, т. е. $x[k+1] = x[k] + h_1 p_1[k]$. Если при этом $f(x[k+1]) < f(x[k])$,

то шаг h умножают на величину $b > 1$. Если $f(x[k1]) > f(x[k])$, то на величину $(-b)$, $0 < |b| < 1$;

$$x[k1] = x[k] + b h_1 p_1[k].$$

Полагая, что $h_1 = a_1$, получаем $x[k1] = x[k] + a_1 p_1[k]$.

2. Из точки $x[k1]$ выполняют шаг h_2 вдоль оси $p_2[k]$:

$$x[k2] = x[k] + a_1 p_1[k] + h_2 p_2[k].$$

Повторяют операцию п. 1, т. е. $x[k2] = x[k] + a_1 p_1[k] + a_2 p_2[k]$.

Эту процедуру выполняют для всех остальных координатных осей. На последнем шаге получают точку

$$x[kn] = x[k+1] = x[k] + \sum_{i=1}^n a_i p_i[k].$$

3. Выбирают новые оси координат $p_1[k+1], \dots, p_n[k+1]$. В качестве первой оси принимается вектор $p_1[k+1] = x[k+1] - x[k]$.

Остальные оси строят ортогональными к первой оси с помощью процедуры ортогонализации Грама-Шмидта. Повторяют вычисления с п. 1 до удовлетворения условий сходимости.

Коэффициенты b подбираются эмпирически. Хорошие результаты дают значения $b = -0,5$ при неудачных пробах ($f(x[k1]) > f(x[k])$) и $b = 3$ при удачных пробах ($f(x[k1]) < f(x[k])$).

В отличие от других методов нулевого порядка алгоритм Розенброка ориентирован на отыскание оптимальной точки в каждом направлении, а не просто на фиксированный сдвиг по всем направлениям. Величина шага в процессе поиска непрерывно изменяется в зависимости от рельефа поверхности уровня. Сочетание вращения координат с регулированием шага делает метод Розенброка эффективным при решении сложных задач оптимизации.

Метод Дэвидона-Флетчера-Пауэлла

Метод Дэвидона-Флетчера-Пауэлла представляет собой алгоритм оптимизации, приспособленный для отыскания безусловного минимума целевой функции, зависящей от нескольких переменных и имеющей вид:

$$M = F(x_1, x_2, \dots, x_N).$$

Необходимы частные производные целевой функции по независимым переменным. Поскольку в основе метода лежит допущение об унимодаль-

ности целевой функции, в тех случаях, когда есть основания предполагать, что она не является таковой, следует брать несколько исходных точек.

Сначала в пространстве проектирования выбирают подходящую начальную точку. Затем, вычисляя составляющие вектора градиента

$$v_i^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^N H_{i,j} \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^{(k)}}{\left[\sum_{l=1}^N \left(\sum_{i=1}^N H_{i,j} \frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2 \right]^{0.5}}, i = 1, 2, \dots, N,$$

определяют направление поиска. Здесь k – номер итерации, а $H_{i,j}$ – элементы симметричной положительно определенной матрицы размерности $N \times N$. В процессе итераций эта матрица превращается в матрицу, обратную матрице Гессе, элементами которой являются вторые частные производные целевой функции. Поскольку обычно матрица заранее неизвестна, то в качестве начальной можно воспользоваться любой симметричной положительно определенной матрицей. Как правило, берут простейшую из них – единичную матрицу. В этом случае поиск начинается вдоль линии наискорейшего спуска.

Одномерный поиск ведется вдоль исходного направления в соответствии с соотношением $x_{i,нов} = x_{i,ст} + S v_i, i = 1, 2, \dots, N$, где S – величина шага в направлении поиска. Найдя одномерный оптимум, проверяют результат на сходимость и, если она достигнута, поиск прекращают; в противном случае для дальнейшего поиска выбирают новое направление, причем используют прежнее соотношение и новую матрицу H , определяемую формулой $\underline{H}^{(r+1)} = \underline{H}^{(k)} + \underline{A}^{(k)} - \underline{B}^{(k)}$.

Элементы матриц $A^{(k)}$ и $B^{(k)}$, имеющих размерность $N \times N$, вычисляются по данным формулам

$$\underline{A}^{(k)} = \frac{\underline{\Delta x}^{(k)} (\underline{\Delta x}^{(k)})^t}{(\underline{\Delta x}^{(k)})^t \underline{\Delta G}^{(k)}},$$

$$\underline{B}^{(k)} = \frac{\underline{H}^{(k)} \underline{\Delta G}^{(k)} (\underline{\Delta G}^{(k)})^t \underline{H}^{(k)}}{(\underline{\Delta G}^{(k)})^t \underline{H}^{(k)} \underline{\Delta G}^{(k)}},$$

где верхним индексом t обозначены транспонированные матрицы, а Δx и ΔG – соответственно векторы-столбцы разностей значений x_i и градиентов в двух точках. В соответствии с правилами матричного исчисления числители выражений для $A^{(k)}$ и $B^{(k)}$ представляют собой матрицы размерности $N \times N$. Знаменатели являются скалярами. Определив новое направ-

ление поиска, проводят одномерный поиск и продолжают итерационный процесс.

При выполнении описываемого алгоритма поиск после первой попытки ведется в тех направлениях, в которых целевая функция в ближайшей окрестности имеет значения, приближающиеся к оптимальному. Лишь в редких случаях эти направления совпадают с направлением градиента. Поэтому данный алгоритм часто называют методом «отклоненного» градиента.

Указанное свойство метода Дэвидона-Флетчера-Пауэлла позволяет обходить трудности, связанные с разрывами производных в пространстве проектирования. Широко распространено мнение, что этот метод является наиболее эффективным из всех градиентных методов. В отличие от метода Флетчера-Ривса он дает полную информацию о кривизне поверхности целевой функции в точке минимума, однако при этом требуется больший объем памяти и большее время счета для обработки матрицы H .

Симплекс-метод

Начнем с того что же такое симплекс. Симплекс – N -мерная замкнутая геометрическая фигура, ребра которой представляют собой прямые линии, пересекающиеся в $N + 1$ вершине. В двумерном случае это треугольник, в трехмерном – тетраэдр. Схемы поиска с использованием симплексов основаны на слежении за изменением значений целевой функции в их вершинах. Главным в этих схемах является процесс отражения – нахождение вершины нового симплекса, расположенной симметрично относительно плоскости, проходящей через одну из сторон исходного симплекса. Выбор направления поиска вершины нового симплекса определяется положением той вершины исходного симплекса, в которой целевая функция имеет наихудшее значение. Новая точка называется «дополнением» наихудшей точки. Если в только что полученной вершине нового симплекса значение целевой функции оказывается худшим, то алгоритм предусматривает возврат в исходную точку – вершину прежнего симплекса. Затем осуществляется переход к той вершине прежнего симплекса, в которой целевая функция имеет следующее по величине значение, и отыскивается точка, являющаяся ее дополнением. Такой алгоритм обеспечивает систематическое смещение центра симплекса в направлении экстремума целевой функции.

Метод Нелдера-Мида

Известен и более сложный метод – метод Нелдера-Мида, в котором помимо поиска вершин новых симплексов производится сжатие или растяжение их ребер. При работе этого алгоритма достигается минимум функции вида:

$$M = F(x_1, x_2, \dots, x_N).$$

Выполняется он следующим образом. Сначала в пространстве проектирования вводят исходный симплекс и вычисляют значения целевой функции в его вершинах. Из полученных значений выбирают наихудшее $P_{\text{худш}}$ и наилучшее $P_{\text{лучш}}$. Затем определяют положение центра симплекса P' , исключая наихудшую точку. Отраженную точку P^* находят по формуле:

$$P^* = (1 + \alpha)P' - \alpha P_{\text{худш}},$$

где α – положительная постоянная, называемая коэффициентом отражения. Если точке P^* соответствует лучшее из найденных значений целевой функции, то следующую точку определяют по выражению:

$$P^{**} = \gamma P^* + (1 - \gamma)P',$$

где γ – заранее выбранная постоянная, называемая коэффициентом расширения (всегда больше единицы). Если значение целевой функции в точке P^{**} лучше ее значений во всех предыдущих точках, то его используют вместо прежнего наилучшего значения в точке $P_{\text{лучш}}$ и после проверки сходимости процесс повторяется. Если же P^{**} не лучше P^* , то $P_{\text{лучш}}$ заменяют на P^* и продолжают поиск. Если ранее найденная точка P^* не лучше $P_{\text{лучш}}$, то $P_{\text{худш}}$ заменяют либо прежней точкой $P_{\text{худш}}$, либо точкой P^* , причем выбирают ту из них, в которой целевая функция имеет лучшее значение. После того как выбор сделан, по формуле:

$$P^{**} = \beta P_{\text{худш}} + (1 - \beta)P'$$

определяют положение точки сжатия, причем β – коэффициент сжатия, значение которого заключено между нулем и единицей. Если точка P^{**} оказывается более удачной, чем $P_{\text{худш}}$, то в дальнейшем ею заменяют $P_{\text{худш}}$. В противном случае прежде, чем продолжить итерации, все P_i заменяют на новые:

$$P_{i,\text{нов}} = \frac{P_{i,\text{ст}} + P_{\text{лучш}}}{2}.$$

Описанный алгоритм обладает достаточной гибкостью, позволяющей учитывать локальные топологические свойства поверхности, описанной целевой функцией. Симплексы вытягиваются в направлении наклона плоскостей, их оси поворачиваются при встрече с впадиной на поверхности целевой функции, вблизи экстремума они сжимаются. В целом метод

симплексов можно охарактеризовать как весьма эффективный и удобный для выполнения на ПЭВМ.

Список используемых источников

1. Кубалова А. Р., Томашевич С. В.. анализ и синтез микроволновых эллиптических фильтров: монография. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2013. 360 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Кубаловой А. Р.

УДК 621.314

И. Ю. Лыпарь (студент, СПбГУТ)

РЕКТЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОГО СБОРА ЭНЕРГИИ

В статье рассматривается пассивный преобразователь энергии микроволнового излучения в энергию постоянного тока (ректенный преобразователь, ректенна) для питания автономных маломощных устройств. Приведены типовые схемы построения ректенных преобразователей. Рассмотрены схемы умножителей напряжения и согласующих цепей. Проведено моделирование работы выпрямителя в программе Fastmean с учетом нелинейных характеристик диода Шоттки и паразитных емкостей. Получены зависимости КПД преобразователя от уровня входной мощности и сопротивления нагрузки.

ректенна, ректенный преобразователь, диод Шоттки, выпрямитель, беспроводная передача энергии, согласующая цепь, rectenna, rf energy harvesting.

В настоящее время появляются различные автономные маломощные устройства, которые функционируют в труднодоступных условиях, поэтому питание таких устройств может быть затруднено. К таковым относятся различные датчики радиочастотной идентификации, сенсоры промышленного мониторинга, биомедицинские сенсоры и т. д. Для питания таких устройств может быть использована энергия микроволнового излучения, получаемая из окружающего пространства. Источником этой энергии являются сети GSM, 3G, Wi-Fi. Устройство, преобразующее микроволновое излучение в постоянный ток называется ректенным преобразователем или ректенной (от англ. rectenna – rectifying antenna) [1].

Типовая структура ректенны приведена на рис. 1. Она состоит из приемной антенны, согласующей цепи, выпрямителя и нагрузки [2].



Рис. 1. Структурная схема ректенны

Основная задача при проектировании ректенных преобразователей, собирающих энергию из окружающего пространства, заключается в оптимизации каждого блока преобразователя для эффективного съема энергии и передачи ее в нагрузку при малых уровнях входной СВЧ мощности (от -20 до 10 дБм или от $0,01$ до 10 мВт).

КПД системы определяется как:

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{V_n^2 / R_n}{P_{\text{вх}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{вх}}$ – мощность падающего на антенну СВЧ излучения, V_n – постоянное напряжение на нагрузке, R_n – сопротивление нагрузки.

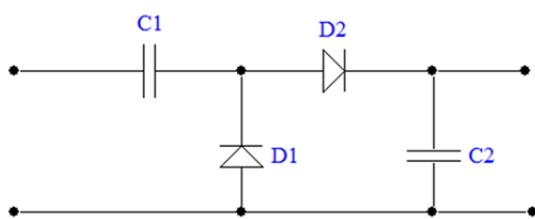


Рис. 2. Эквивалентная схема умножителя напряжения

Поскольку уровень входной мощности мал, то выпрямитель строится по схеме умножителя напряжения, представленной на рис. 2, который позволяет на выходе получить напряжение в 2 раза больше, чем на входе (при идеальных элементах) [3].

Приемную антенну можно представить в виде источника синусоидального напряжения с последовательно соединенным резистором (внутреннее сопротивление антенны равно 50 Ом). В качестве диодов необходимо использовать диоды Шоттки, т. к. они обладают малым прямым падением напряжения, малой барьерной емкостью и большим быстродействием (рис. 3). В данной работе используются модель диода HSMS-2850 производства Avago Technologies. Эквивалентная схема замещения диода выглядит следующим образом:

Для передачи максимальной мощности от источника к нагрузке, их сопротивления должны быть согласованы на рабочей частоте,

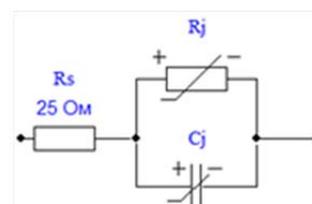


Рис. 3. Эквивалентная схема замещения диода Шоттки.
 R_d – сопротивление перехода,
 C_j – барьерная емкость,
 R_s – сопротивление выводов

поэтому необходимо ввести согласующую цепь, приводящую входное сопротивление выпрямителя к 50 Ом. Выпрямитель является нелинейным устройством, вследствие нелинейных характеристик диода: сопротивления перехода и барьерной емкости. Его входное сопротивление будет являться функцией от напряжения входного сигнала и частоты. Для определения частотной характеристики входного сопротивления была использована программа Fastmean. Отличительной особенностью этой программы является возможность расчета ЧХ через моделирование переходных процессов, что позволяет выполнять анализ нелинейных цепей без предварительной линеаризации системы.

ВАХ диода задается по точкам согласно характеристике указанной в документации производителя [4]. Зависимость барьерной емкости от приложенного напряжения определяется из технологических параметров диода:

$$C(V) = \frac{dQ}{dV} = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V}{V_j}\right)^{0.5}},$$

где Q – заряд накопленный емкостью, V – напряжение, приложенное к диоду, C_{j0} – значение барьерной емкости при нулевом напряжении на диоде, $V_j = 0,65$ В – контактная разность потенциалов.

Моделирование производится из расчета, что уровень входной мощности равен -10 дБм ($0,1$ мВт), частота – 868 МГц. Итоговая эквивалентная схема преобразователя с учетом паразитных параметров в программе Fastmean показана на рис. 4.

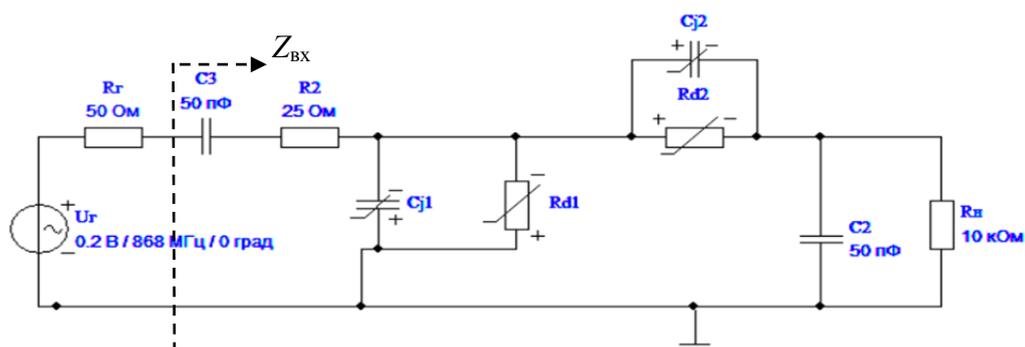


Рис. 4. Эквивалентная схема преобразователя в программе Fastmean с учетом паразитных параметров

Результаты моделирования методом гармонического баланса показаны на рис. 5.

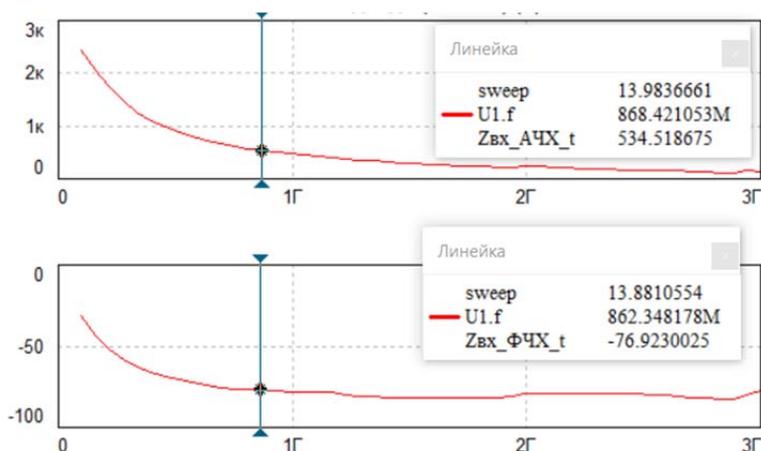
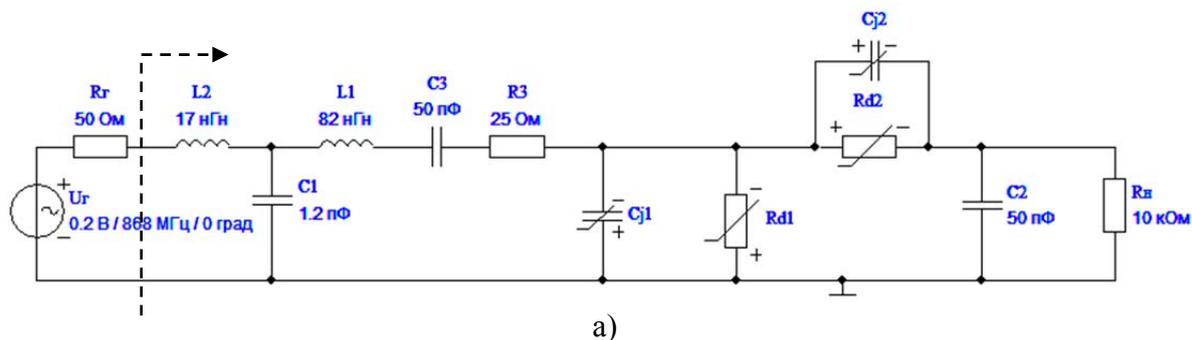
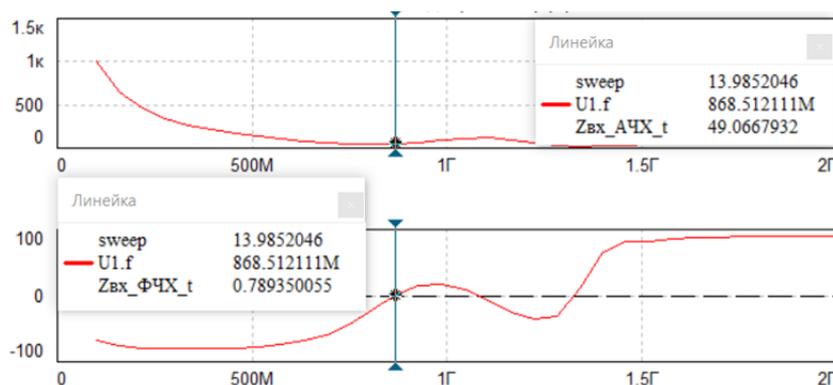


Рис. 5. Смоделированные АЧХ и ФЧХ входного сопротивления выпрямителя

Из графиков АЧХ и ФЧХ видно, что входное сопротивление выпрямителя на рабочей частоте равно $Z_{вх} = 534.5e^{-j76.9} = 137.24 - j522$. Введением Т-образной согласующей цепи можно добиться согласования сопротивлений и увеличения напряжения на входе выпрямителя. Схема преобразователя с рассчитанной согласующей цепью и результаты моделирования ЧХ изображены на рис. 6.



а)



б)

Рис. 6. Схема преобразователя с согласующей цепью (а) и ЧХ его входного сопротивления (б)

После введения согласующей цепи входное сопротивление выпрямителя равно: $49 + j0.79$, т. е. практически равно сопротивлению антенны 50 Ом. Напряжение на R_n достигает 0,78 В, а КПД определяемый из (1) составляет 61 %. С помощью многократных расчетов получены зависимости КПД от уровня входной мощности и сопротивления нагрузки (рис. 7 а, б).

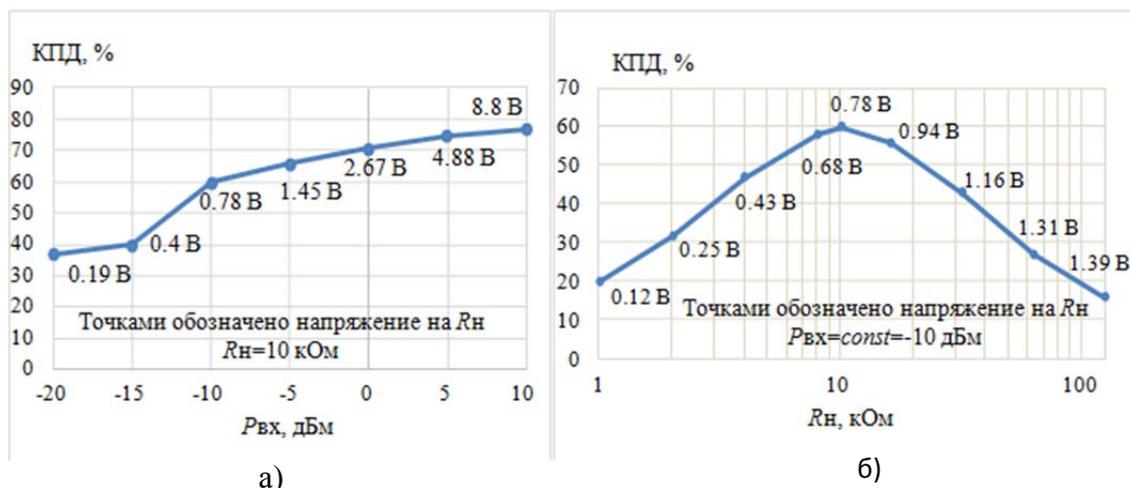


Рис. 7. Зависимость КПД и выходного напряжения от уровня входной мощности (а) и сопротивления нагрузки (б)

Таким образом, в работе была получена модель ректенного преобразователя с учетом нелинейных характеристик диода Шоттки. На основе метода гармонической линеаризации найдены эквивалентные ЧХ его входного сопротивления. Введением оптимальной согласующей цепи можно добиться приемлемого КПД и уровня напряжения на нагрузке. При необходимости повышения уровня напряжения на заданной нагрузке схему можно дополнить DC/DC преобразователем. В дальнейшем планируется изготовление макета, включающего в себя преобразователь и приемную антенну.

Список используемых источников

1. Falkenstein E. Characterization and Design of a Low-Power Wireless Power Delivery System. Electrical, Computer & Energy Engineering Graduate Theses & Dissertations. 2010.
2. Antwi Nimo. Analysis of Passive RF-DC Power Rectification and Harvesting Wireless RF Energy for Micro-watt Sensors // AIMS Energy. 2015. V. 3. I. 2.
3. Keyrouz S. Efficient Direct-Matching Rectenna Design for RF Power Transfer Applications // IOP Publishing Ltd, Journal of Physics: Conference Series. 2013. V. 476. conf. 1.
4. Avago Technologies. HSMS-285x Series Surface Mount Zero Bias Schottky Detector Diodes. 2009.

Статья представлена научным руководителем доктором технических наук, профессором СПбГУТ Филиным В. А.

УДК 621.396.67

Д. А. Орлов, Д. И. Сивков (студенты, СПбГУТ)

СРАВНЕНИЕ ДОСТОИНСТВ И НЕДОСТАТКОВ ПАКЕТОВ ПРОГРАММ MICROWAVE OFFICE И HFSS ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ, АНАЛИЗЕ И ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

В статье представлен краткий обзор пакетов программ Microwave Office и HFSS компании Ansoft, а также приведен сравнительный обзор достоинств и недостатков вышеупомянутых программ.

электромагнитная симуляция, уравнения Максвелла, имитационное моделирование, объемные фильтры, планарные фильтры, электротехническая схема, параметрическая оптимизация.

В настоящее время наблюдается бурное развитие высокочастотных и сверхвысокочастотных радиоэлектронных систем. Подобные устройства обеспечивают функциональность и эффективность сложных вычислительных комплексов, современных систем связи, радиолокации и навигации, применяемых в авиационной, оборонной и космической промышленности. Разработка и создание устройств, соответствующих современным рыночным требованиям и потребностям заказчиков из высокотехнологичных отраслей, предполагает использование передовых инструментов и методов, позволяющих выполнить инженерные расчеты для определения функциональности и рабочих характеристик будущего устройства. При проектировании микроволновой техники актуальной задачей является использование систем автоматизированного проектирования для моделирования и оптимизации микроволновых устройств, что существенно упрощает задачу расчета электрических и геометрических параметров вышеуказанных фильтров, позволяет получать недоступные ранее электрические характеристики и существенно повышает производительность труда инженеров-разработчиков. Существует два пакета программ, лидирующих в данной сфере деятельности, это Microwave Office (MO) и HFSS. В статье представлен сравнительный анализ при моделировании, анализе и оптимизации эллиптических фильтров.

MO представляет собой универсальное программное решение для разработки всех видов радиочастотных и СВЧ устройств, начиная от сложных СВЧ сборок и кончая интегральными СВЧ микросхемами [1]. Программный продукт MO разработан под операционную систему Windows. Это наиболее доступная и широко распространенная платформа, в которой достигнута высокая скорость вычислений и нет видимых задержек процесса моделирования схем в режиме реального времени.

ТАБЛИЦА. Сравнительная характеристика достоинств и недостатков пакетов программ Microwave Office и HFSS

Сравнительная характеристика		AWR DE Environment	HFSS
Производитель		Applied Wave Research	ANSYS
Алгоритмы проектирования (методы анализа электромагнитных структур)		2,5-D, 3-D	3-D
Функциональные модули	Сквозного трехмерного моделирования СВЧ устройств	Microwave Office	+
	Проектирования антенн	-	+
	Моделирования радиотехнических систем на уровне функциональных блоков	Visual System Simulator	-
	Проектирования высокочастотных интегральных микросхем	Analog Office	+
	Проектирования фильтров	Nuhertz Filter	-
	Анализа поведения элементарных частиц в электромагнитных полях	-	-
Специальные методы анализа	Оптимизация в режиме реального времени	+	-
	Мультифизический анализ	-	+
	Быстрые методы электромагнитного анализа	На основе рядов Вольтерра в квазилинейных схемах	-
Способы построения сетки объектов		Тетраэдральная сетка с параметрами исходя из заданной точности	Четырехгранные конечные элементы; криволинейные элементы; смешанный порядок элементов
Элементы встроенных библиотек	Модели сосредоточенных и распределенных элементов	500	600
	Компоненты различных производителей	Ок. 150 тыс.	Ок. 150 тыс.
Опции высокопроизводительных вычислений	Распределение вычисления (без дополнительной лицензии за каждую ЭВМ)	+	+
	Кластерные (доменные) вычисления	+	+
	Многопроцессорные вычисления	+	+
Работа в частотной области		+	+
Работа во временной области		+	-

В МО пользователям предоставлены широкие возможности разработки ВЧ, СВЧ, КВЧ радиоэлектронных средств различного назначения и принципов их реализации. На микрополосковых, копланарных и полосковых типах линий, расположенных в одном или двух слоях можно использовать готовые библиотечные элементы схем. Более сложные схемы можно конструировать самостоятельно. Этому пакету программ доступны многие инженерные расчеты, как по собственноручному построению схем, так и по их автоматическому синтезу. Программа способна сама синтезировать простейшие фильтры Баттерворта, Чебышева, Бесселя. Продукт МО предоставляет удобное место, не покидая которого можно спроектировать конструкцию устройства, рассчитать её различные частотные и вольтамперные характеристики, а также промоделировать работу устройств в составе системы и определить её системные характеристики. Программа позволяет получить не только электрические характеристики, такие как АЧХ, ФЧХ, ГВЗ, затухание, коэффициент отражения входа/выхода, КСВН входа/выхода, но и картину распределения токов на поверхностях проводников и электромагнитного поля в диэлектрике. Параметры геометрии проводников в этой среде проектирования моделируются с учётом электрических параметров подложек и потерь в проводниках и в диэлектриках. Возможностями программного продукта МО являются: интерактивный ввод принципиальных схем и топологических описаний; моделирование линейных и нелинейных схем; электромагнитное моделирование; проверка соответствия схемы её топологическому описанию, а также контроль топологии на удовлетворение технологических ограничений; и др.

Единая среда проектирования радиоэлектронных средств (РЭС) разработана фирмой Applied Wave Research (AWR) [1]. Фирма назвала её AWR Design Environment (AWR Среда Дизайна). Освоение пакета программ AWR_DE или МО потребует от пользователя определенных усилий и времени на изучение технологий, предоставляемых средой проектирования AWR_DE для разработки реальных средств радиоэлектронного обеспечения связи, навигации, медицины и т. д. Современные версии МО содержат Visual System Simulator (VSS – Визуальный Симулятор Систем). Он тоже интегрирован в среду проектирования AWR_DE и предназначен для моделирования системных свойств радиоэлектронных цепей. VSS можно запустить как отдельную программу, либо вместе со всей программой МО. Использование VSS позволяет моделировать радиоканалы, шумы в них, находить вероятности ошибок и оценивать работу проектируемых радиоэлектронных устройств в составе тех или иных систем. Работа в среде проектирования AWR_DE можно проверить проект радиоэлектронного средства в составе системы, не покидая этой программы.

Весь пакет программ МО дает возможность моделировать процессы радиоэлектронных устройств и рассматривать различные аспекты их работы, схематику и функционирование в составе системы.

Данный программный продукт используется для проектирования фильтров, играющих важную роль в системах радиолокации, радионавигации, системах спутникового телевидения, спутниковой связи, и т. д.

Следующей из исследуемых программ является программа HFSS, разработанная американской компанией Ansoft и предназначенная для расчета параметров и моделирования электромагнитных полей в сложных СВЧ устройствах. Программное обеспечение включает программу черчения трехмерных объектов, программу расчета, включающую несколько методов решения граничных задач и постпроцессор для обработки и детального анализа полученных результатов. Процесс выполнения расчета полностью автоматизирован, пользователю необходимо задать геометрические параметры, свойства материалов и желаемый результат [2].

HFSS позволяет пользователю решать широкий круг задач. Для различных типов задач применяется один из четырех типов решения: Driven Modal (вычисляет многомодовые S параметры пассивных СВЧ структур типа микрополосковых линий, волноводов и других линий передачи), Driven Terminal (выбирается для вычисления S параметров многопортовой структуры, подключенной к нагрузкам), Eigenmode (предназначен для расчёта собственных волн или колебаний структуры), Transient (используется для трёхмерного полноволнового электромагнитного расчёта переходных процессов методом Галеркина (DGTD)); с его помощью инженеры могут исследовать приложения, связанные с ударным возбуждением, например, георадары (GPR), электростатический разряд, электромагнитную интерференцию и т. д).

Постпроцессор выполняет обработку данных после расчета поля. С его помощью можно вычислить различные характеристики: мощность рассеяния, поглощенная энергия, добротность, S -параметры и связанные с ними характеристики, абсолютные значения полей. Уникальные возможности заключаются в том, что поле можно анализировать во всевозможных сечениях, а также анимировать распределения полей, изменяя фазу возбуждающего генератора, что создает впечатление прохождения поля через структуру. Пользователи могут вращать структуру в реальном времени с мгновенными модификациями графиков. HFSS автоматически строит точную модель, соответствующую конкретной задаче.

Использование HFSS позволяет решать задачи расчёта радиочастотных и микроволновых устройств, исследовать электромагнитную совместимость, например, при разработке высокочастотных компонентов, применяемых в принимающих и передающих частях коммуникационных систем, радиолокационных системах, спутниках и сотовых телефонах. Кроме того, HFSS используется для расчёта электромагнитного взаимодействия между соединительными элементами, линиями электропередачи, переходными отверстиями печатных плат, а также для расчёта высокочастотных компонентов, применяемых в компьютерных серверах, устрой-

ствах хранения данных, мультимедийных персональных компьютерах, развлекательных и телекоммуникационных системах.

Так же стоит отметить возможности параметрического анализа и оптимизации. HFSS имеет мощный макрокомандный язык с возможностью автоматической записи и модификации. В качестве целевой функции при оптимизации могут использоваться как отдельные S -параметры, так и другие характеристики, включая диаграмму направленности. HFSS учитывает влияние корпуса приемника на излучающие свойства антенны [3]. Изменение размеров корпуса изменяет диаграмму направленности излучение и её поляризацию.

Среди возможностей HFSS можно отметить: периодические граничные условия, предназначенные для анализа антенных решеток; систему макросов, значительно расширяющую возможности программы; подпрограмму анализа собственных колебаний и волн; новые возможности визуализации результатов анализа, в частности, анимации картин поля, построение трехмерных диаграмм направленности и т. д.; адаптивный алгоритм решения электродинамических задач, обеспечивающий высокую эффективность моделирования сложных структур; возможность анализа многополюсников с многомодовыми портами; обширные базы данных по СВЧ материалам и СВЧ компонентам; возможность параметрического анализа и оптимизации параметров структуры [4].

Программы позволяют проанализировать, смоделировать и спроектировать разные виды фильтров, среди которых фильтры гауссовский, чебышёвские, эллиптические и др. Преимущество одной программы над другой неочевидно. Это говорит об уникальности каждой из представленных программ. Выбор программы должен зависеть от технического задания, которое необходимо выполнить.

Список используемых источников

1. Разевиг В. Д., Потапов Ю. В., Курушин А. А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / под ред. В. Д. Разевига. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 496 с.
2. Разевиг В. Д., Банков С. Е., Курушин А. А. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ – структур с помощью HFSS / под ред. В. Д. Разевига. М.: СОЛОН-Пресс, 2012, 216 с.
3. Банков С. Е., Курушин А. А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М.: ЗАО «РОДНИК», 2009. 245 с.
4. Банков С. Е., Курушин А. А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. М.: ЗАО «РОДНИК», 2008. 275 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Кубаловой А. Р.*

УДК 621.3, 53.07

Н. Ю. Сазоненко, А. Д. Сединин (студенты, СПбГУТ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ОТ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА И ГЕТЕРОДИНА В БАЗОВЫХ СХЕМАХ СМЕСИТЕЛЕЙ

Перемножители сигналов (смесители) находят широкое применение в устройствах связи и в системах управления. В данном исследовании подобраны режимы работы схем смесителей и проведено моделирование в программе компьютерного моделирования электрических цепей MICRO CAP 9. Получены спектральные характеристики выходного колебания при разных уровнях входного сигнала, проведен сравнительный анализ спектрального состава выходного колебания. Зафиксировано, что схема смесителя на основе диодной схемы обладают лучшей линейностью преобразования, чем схема, выполненная на основе каскада на токовых зеркалах, даже если величине входного сигнала больше.

перемножитель, смеситель, спектр, токовое зеркало, транзистор, транзисторный каскад.

При разработке современных электронных устройств различного назначения, включая радиотехнику, измерительные приборы и медицинскую технику, существует значительная потребность в усилительных и преобразовательных устройствах, сочетающие высокие энергетические характеристики с низким уровнем интермодуляционных искажений. Эта потребность определяется необходимостью плотного размещения каналов в частотном диапазоне, чтобы передавать постоянно возрастающие объемы информации и работать с сигналом определенной частоты.

Поэтому к устройствам микроэлектроники предъявляются жесткие требования по линейности перемножения сигнала, что обусловлено появлением интермодуляционных искажений в результате взаимодействия совокупности входных сигналов разной частоты на нелинейных элементах смесителя. Одним из основных методов решения этой проблемы служит подбор уровней сигнала и гетеродина на нелинейных элементах, что приводит к понижению уровня спектральных компонентов, которых не содержится в исходном сигнале, подаваемого на вход устройства, то есть комбинационных составляющих порядка выше второго, до приемлемых значений. Таким образом, подбор наилучших параметров перемножителей и режимов работы его нелинейных элементов дает возможность обеспечить высокую точность измерений и чувствительность.

Целью данной работы является получение спектральных характеристик схем перемножителей сигналов на биполярных структурах и сравни-

тельный анализ линейности перемножения с использованием единого подхода, математического аппарата и критериев оценки.

Объектом исследования являются базовые схемы на основе p - n -перехода (диодной схемы) и каскада на токовом зеркале с генератором напряжения и генератором тока в качестве источника сигнала [1, 2], которые могут использоваться как отдельно, так и служить основой для проектирования более сложных схем перемножителей сигналов – например, балансных и кольцевых схем [3, 4].

Для получения спектральных характеристик выходного сигнала и проведения сравнительного анализа линейности указанных схем, использовалась среда компьютерного моделирования MICRO CAP версии 9 [5]. Она предоставляет возможность проводить исследования спектра различных структур смесителей в широком динамическом диапазоне, используя встроенную базу электронных компонентов.

В качестве критерия линейности работы перемножителей сигналов выбран относительный уровень комбинационных составляющих порядка выше второго, который определяли как

$$f_{\text{вых}} = f_{\text{сигн}} + f_{\text{гет}}.$$

Четные порядки не рассматривались, поскольку они хорошо компенсируются балансировкой схемы (т. е. использованием балансных, кольцевых и двойных кольцевых схем смесителей). На рис. 1 представлен спектр сигнала с интермодуляционными составляющими (ИМИ) второго и третьего порядка [6].

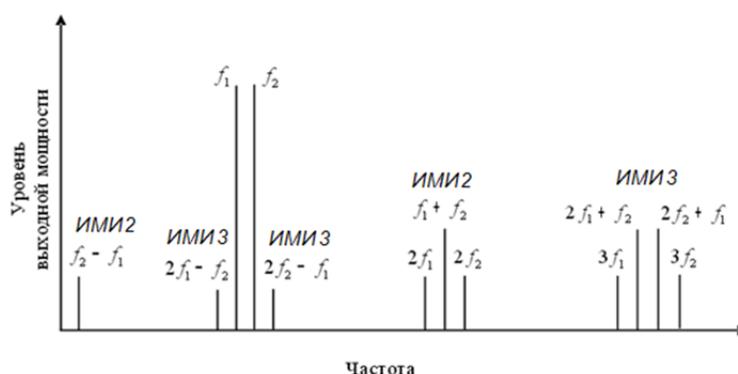


Рис. 1. Спектр сигнала с интермодуляционными искажениями 2-го (ИМИ2) и 3-го (ИМИ3) порядка

В ходе исследования были подобраны параметры схем и режимы работы, с помощью которых был получен на выходе заданный уровень сигнала и коэффициент передачи, абсолютное значение которого вычисляли по формуле:

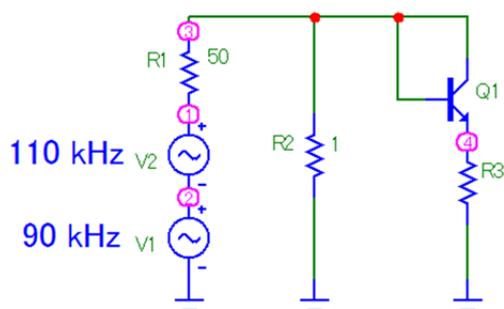
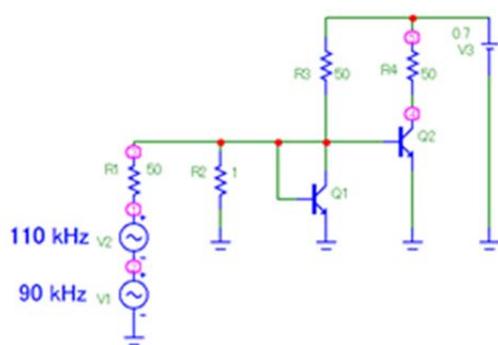


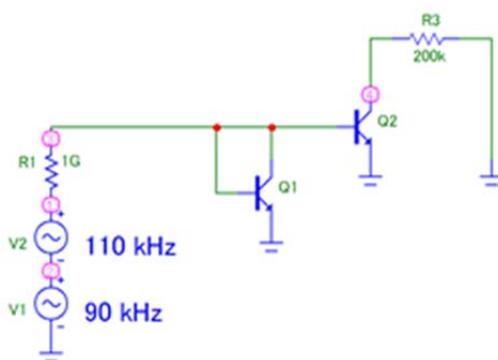
Рис. 2. Смеситель на основе диодной схемы, смоделированный в программе MICRO CAP 9

чили значение абсолютного коэффициента передачи каскада равным 0.21 (-13,5 дБ). Такая же работа была проделана и со схемами на биполярных транзисторах.

Были получены спектральные характеристики выходного сигнала и зависимости уровня выходного сигнала от вида источника сигнала – генератор тока и генератора напряжения. Зависимости уровней комбинационных составляющих выходного сигнала от уровня сигнала, подаваемого на вход перемножителя сигналов, представлены на рис. 4.



а)



б)

Рис. 3. Смесители на основе каскада на токовом зеркале с генератором напряжения (а) и генератором тока на входе (б), смоделированные в программе MICRO CAP 9

$$K = U_{\text{Вых } 20 \text{ кГц}} / U_{\text{Базы } 90 \text{ кГц}}, \text{ т. е. } K = U(4) / U(3)$$

Схемы, которые являлись объектами исследования, представлены на рис. 2 и рис. 3. В работе были получены спектральные характеристики данных схем.

Сначала на вход диодной схемы подавалось напряжение сигнала $U(3)$ свыше 40 мВ. В результате были подобраны уровни входного сигнала 1 мВ и гетеродина 50 мВ, при которых полу-

чили значение абсолютного коэффициента передачи каскада равным 0.21 (-13,5 дБ). Такая же работа была проделана и со схемами на биполярных транзисторах. Были получены спектральные характеристики выходного сигнала и зависимости уровня выходного сигнала от вида источника сигнала – генератор тока и генератора напряжения. Зависимости уровней комбинационных составляющих выходного сигнала от уровня сигнала, подаваемого на вход перемножителя сигналов, представлены на рис. 4.

Таким образом, в ходе проведенного исследования подобраны параметры смесителей на основе диодной схемы и схемы каскада на токовых зеркалах с генератором напряжения и с генератором тока в качестве источника входного сигнала и гетеродина.

Из анализа спектров выходных сигналов получили, что базовая схема смесителя на основе диодной схемы обеспечивает меньший уровень комбинационных составляющих, что является определяющим в работе перемножителя сигналов.

В дальнейшем планируется исследовать влияние параметров гетеродина на спектральные характеристики рассмотренных схем смесителей, а также исследовать влияние изменения режимов работы элементов и введение в схемы цепей обратной связи.

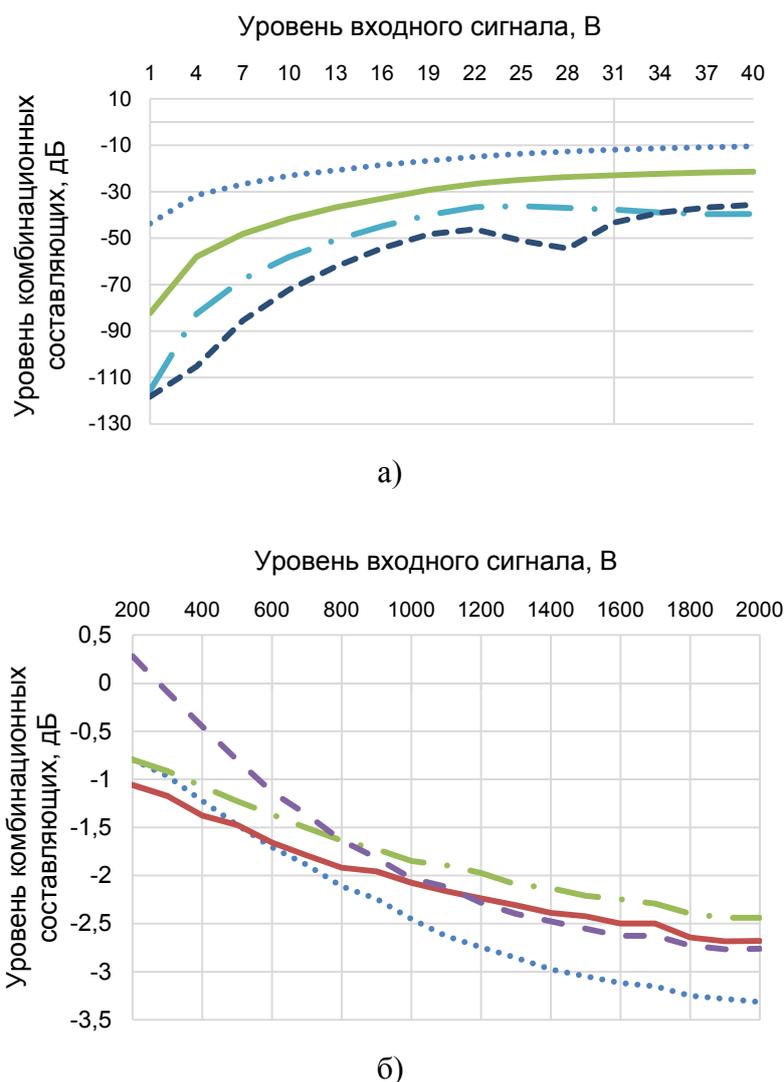


Рис. 4. Зависимости уровней комбинационных составляющих выходного сигнала от уровня сигнала, подаваемого на вход транзистора в диодной схеме (а) и на вход каскада на токовом зеркале с генератором тока (б), где 3-й порядок – пунктирная линия; 5-й порядок – сплошная линия; 7-й порядок – точка с штрихом; 9-й порядок – штриховая линия

Список используемых источников

1. Никитин Ю. А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот. Часть 1. Общие положения. Пассивный синтезатор частот: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2015. 100 с.
2. Никитин Ю. А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот: Часть 3. Элементы микроволновых синтезаторов. Аналоговая схемотехника: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2016. 91 с.
3. Фомин Н. Н., Буга Н. Н., Головин О. В. и др. Радиоприемные устройства: учебник для вузов / под редакцией Н. Н. Фомина. 3-е изд, стереотип. М.: Горячая линия–Телеком, 2007. 520 с.

4. Бобрешов А. М., Малежин М. И., Степкин В. А., Усков Г. К. Двойной балансный смеситель для перемножения сверхширокополосных импульсных сигналов // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. 2014. № 2. С. 5–13.

5. Копысов А. Н., Зайцева Е. М. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств в среде Micro-Cap: метод. указания к лабораторным работам. Ижевск, 2013. 66 с.

6. Поляков А. Е., Стрыгин Л. В. Методика измерения IP2 и IP3 двухтонового сигнала // Труды МФТИ. 2012. № 2. С. 54–63.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Юровой В. А.*

УДК 621.3, 602, 53.06

Н. Ю. Сазоненко, П. В. Шаповалова (студенты, СПбГУТ)

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕТОПРИЕМНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Развитие технологий производства полупроводниковой электроники непосредственно влияет на увеличение точности измерений и расширение возможностей лабораторного оборудования с использованием светоприёмных устройств, применяемого, в том числе и для осуществления различных биохимических исследований. В работе рассмотрены преимущества и недостатки ряда экспонетрических устройств, проведен анализ влияния особенностей конструкции устройств на рабочий диапазон регистрируемого излучения. Предложена схема экспонетрического устройства, в котором в качестве зарядного диода используется МОП-транзистор в диодном режиме.

светоприёмное устройство, МОП-транзистор, полупроводниковая технология, медицинская техника.

В настоящее время в различных исследованиях, которые активно применяются в электронике, медицине, криминалистике и экологии, широко используются спектральные методы определения структуры веществ, их качественного и количественного анализа [1, 2]. Это связано с тем, что методы спектрального анализа характеризуются достаточно высокой точностью измерений и скоростью их проведения, позволяют обнаружить элементы в сложном веществе, даже если их масса крайне мала, и относятся к неразрушающим методам. Принцип проведения спектрального анализа заключается в получении спектров излучения и поглощения различных веществ и их соединений. Для разработки и конструирования устройств регистрации излучения и поглощения веществ требуется использование светоприёмных устройств с высокой чувствительностью, так как интенсивность излучения от некоторых образцов весьма мала. Поэтому в конструкциях анализаторов спектра часто применяются фотоэлектронные

умножители (ФЭУ) [3, 4]. При попадании флуоресцентного излучения от исследуемого образца в ФЭУ происходит его усиление за счет явления вторичной электронной эмиссии. Такие устройства представляют собой относительно громоздкую конструкцию и требуют проведения настройки фокусировки, больших рабочих площадей для работы в широком диапазоне интенсивностей. Альтернативой ФЭУ является использование экспонетрических устройств, выполненных на основе интегральных схем усилителей. Такие схемотехнические решения в проектировании устройств для регистрации излучения оптического диапазона позволяют проводить исследования образцов малых объемов и низким уровнем интенсивности излучения.

С учетом вышесказанного целью данного исследования является разработка и конструирование устройства, обладающего высокой точностью регистрации измеряемого сигнала. Для этого был проведен сравнительный анализ различных технических и технологических решений проектирования экспонетрических устройств и влияния особенностей их конструкции на рабочий диапазон регистрируемого излучения, а так же возможностей их применения в медицинской технике и производстве полупроводниковой электроники.

В различных методах спектрального анализа используются источники оптического и инфракрасного диапазона излучения. В качестве фотоприёмника в большинстве устройств используют кремниевые структуры, что позволяет использовать интегральную технологию в производстве светоприёмных устройств. Например, при использовании полевых транзисторов в качестве управляемых светом емкостных элементов колебательного контура небольшое изменение емкости под действием света будет приводить к преобразованию в значительное изменение резонансной частоты колебательного контура (рис. 1) [5]. Такое решение позволяет увеличить чувствительность и точность определения освещенности.

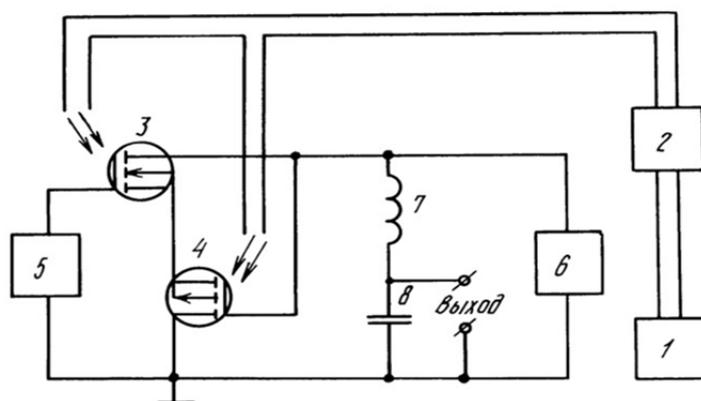


Рис. 1. Схема полупроводникового датчика освещенности

К удачным решениям конструирования приемников светового излучения можно отнести схему, представленную на рис. 2. В этой схеме используется управляемый делитель, резистивный делитель и последовательно соединенные детекторы сигнала и интегратора, чтобы обеспечить оптимальную чувствительность фотоприёмного устройства (ФПУ) при заданной внешней освещенности и возможность работы при сигналах источника когерентного излучения с мощностью от 10 нВт до 10^8 Вт [6].

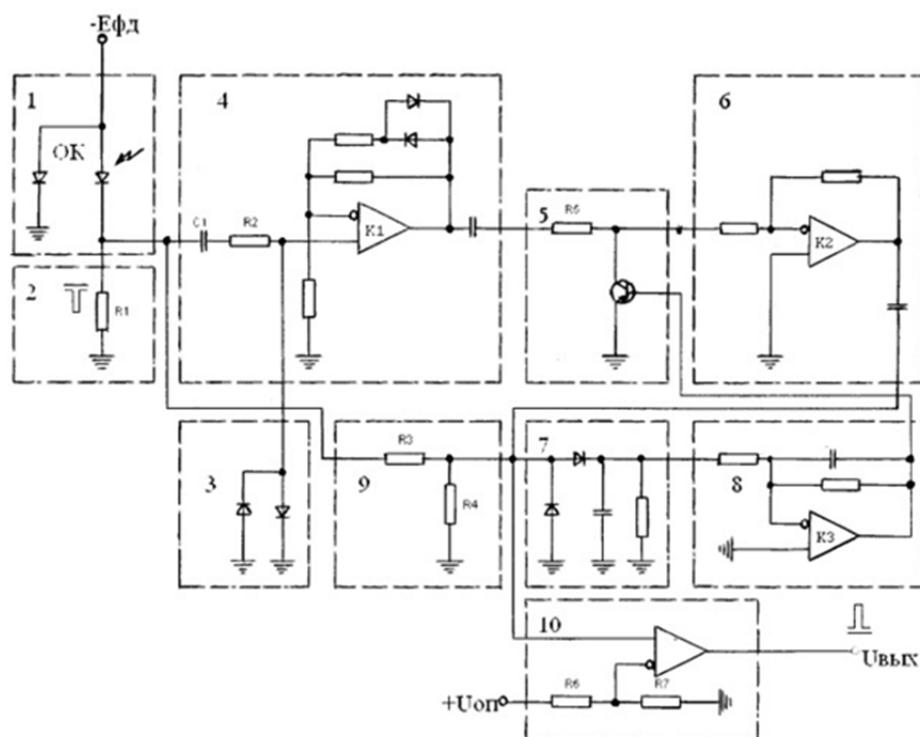


Рис. 2. Схема фотоприёмного устройства

Использование интегральной технологии в проектировании светоприёмного устройства получило применение в схеме КМДП-фотоприёмника [7]. Изобретение может быть использовано для создания фоточувствительных цифровых и аналоговых устройств. Особенностью данной схемы является выделение изменяющегося сигнала светоприёмного устройства за счёт реализации межкадрового вычитания. Это обеспечивается тем что, в схеме реализуется экстракция зарядов двух соседних кадров из канала фоточувствительного затвора.

Из проведённого анализа используемых схем светоприёмных устройств можно сделать вывод о том, что рассмотренные схемы выполнены с использованием полупроводниковой технологии, характеризуется хорошими параметрами по обеспечению высокой чувствительности и помехоустойчивостью. К общим недостаткам схем можно отнести относительно большие массогабаритные параметры, потребление электроэнергии в режиме покоя, использование большого количества навесных элементов. Поэтому предложена компактная маломощная светоприёмная схема, кото-

рая не имеет аналогов, актуальна и обладает высокой точностью при малом сигнале, что соответствует одному из основных требований к устройствам для измерения выдержки. Устройство расширяет рабочий диапазон регистрируемого излучения, практически не потребляет энергии в отсутствие светового сигнала и имеет малую температурную зависимость. В схеме используется МОП-транзистор с индуцированным каналом, в силу этого устройство с фотодиодом можно изготовить в одном кристалле по единой МОП-транзисторной технологии, благодаря чему значительно упрощается и удешевляется изготовление предлагаемого устройства.

Предложенная схема экспонетрического устройства состоит из полупроводникового фотодиода и накопительного конденсатора, соединенных в параллельную электрическую цепь. К этой цепи подключены пороговый элемент с триггером и источник питания. В качестве зарядного диода можно использовать фототранзистор, изготовленный по МОП-технологии и включенный в диодном или усилительном режиме. Такое решение упрощает конструкцию и технологию, что значительно удешевляет изготовление и настройку приёмной части анализаторов спектра, обеспечивая при этом возможность работы в широком диапазоне частот и интенсивности флуоресцентного излучения исследуемых образцов с возможностью регистрации очень слабых по интенсивности потоков.

Из результатов проведенного исследования получили, что в настоящее время активно ведутся разработки светоприёмных устройств различного назначения, которые изготавливаются на основе полупроводниковых структур с применением интегральных технологий. Установлено, что предложенная нами схема экспонетрического устройства удовлетворяет основным требованиям для ее использования в технике биохимических исследований и приборов для регистрации излучения оптического и инфракрасного диапазона. Для повышения точности регистрации измеряемого сигнала и изменения порога срабатывания устройства при его малой интенсивности возможно увеличение количества параллельно включенных МОП-транзисторов на входе устройства. Расчёт параметров схемы и разработка её топологии остается задачей для дальнейшей работы и подготовки дипломного проекта.

Список используемых источников

1. Ищенко А. А. Спектральные методы анализа. Учебное пособие. М.: Московский государственный университет тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, 2013. 167 с.
2. Левшин Л. В., Салецкий А. М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Молекулярная спектроскопия. М.: Издательство МГУ, 1994. 320 с.
3. Анисимова И. И., Глуховской Б. М. Фотоэлектронные умножители. М.: Сов.радио, 1974. Вып. 29. 64 с.
4. Жигарев А. А., Шамаева Г. Т. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 463 с.

5. Осадчук В. С., Осадчук Е. В., Осадчук А.В. Полупроводниковый датчик освещенности. Пат. 2086042 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Осадчук В.С., Осадчук Е. В., Осадчук А. В. – 94028635/25; заявл. 29.07.94; опубл. 27.07.97.

6. Семенов В.П., Зеленюк Ю.И., Червяков А.Н., Костяшкин Л.Н. Фотоприёмное устройство. Пат. 2231169 Российская Федерация патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие Государственный Рязанский приборный завод – Дочернее предприятие Федерального государственного унитарного предприятия "Российская самолетостроительная корпорация "МиГ". – 2002135292/28; заявл. 27.12.02; опубл. 20.06.04.

7. Шилин В. А., Скрылёв П. А., Стемпковский А. Л. Кмдп-фотоприемник. Пат. 2251760 Российская Федерация патентообладатели Шилин В. А., Скрылёв П. А., Стемпковский А. Л. – 2002121187/28; заявл. 05.08.02; опубл. 10.05.05.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом физико-математических наук, доцентом СПбГУТ Юровой В. А.

УДК 621.396.67

Э. Ю. Седышев (канд. техн. наук, доцент, СПбГУТ)

Л. А. Селиверстов (магистрант, СПбГУТ)

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СВЧ-ФИЛЬТРОВ НА КОПЛАНАРНЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ

Статья посвящена новому типу устройств частотной селекции микроволнового диапазона – эллиптическим резонаторам и устройствам на них. Описана методика и расчета устройства и его физическая реализация, а также проведение измерений.

эллиптические резонаторы, планарные резонаторы, микроволны, фильтры, частотная селекция, стабилизация частоты.

Данная статья ставит задачу перейти к практической реализации планарных кольцевых резонаторов для схем СВЧ, конечная цель – создание рабочего макета. Было предложено создать устройство, которое соответствует данным характеристикам:

- полоса пропускания 2–2,5 ГГц;
- полоса запираия 0–1,45 и 2,55 ГГц и выше;
- пульсации в ПП 0,2 дБ;
- ослабление в ПЗ не менее 20 дБ;
- $R_H = 50$ Ом.

Было решено использовать фильтр Чебышева 3-го порядка.

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_B * \omega_H}. \quad (1)$$

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_B * \omega_H}. \quad (2)$$

Сам фильтр представляет собой Т-образную цепь, расчет производится с помощью g-параметров, связанных с передаточной функцией фильтра.

$$g_k = \frac{4a_{k-1}a_k}{b_{k-1}g_{k-1}}, k = 2, 3, n \quad (3)$$

$$\beta = \ln[\coth(G_r/17,37)] \quad (4)$$

$$\psi = \sinh[\beta/2n] \quad (5)$$

$$a_k = \sin\left[\frac{(2k-1)\pi}{2n}\right] \quad (6)$$

$$b_k = \psi^2 + \sin(k\pi/n)^2 \quad (7)$$

С помощью g-параметров можно посчитать величину нормированных к нагрузке величин:

$$L_{1H} = L_{2H} = g_1/(\omega_B - \omega_H), \quad (8)$$

$$C_{1H} = C_{2H} = (\omega_B - \omega_H)/(\omega_0^2 g_1), \quad (9)$$

$$L_H = (\omega_B - \omega_H)/(\omega_0^2 g_2), \quad (10)$$

$$C_H = g_2/(\omega_B - \omega_H). \quad (11)$$

Следующим шагом является переход к ненормированным параметрам, согласованным с сопротивлением 50 Ом в соответствии с техническим заданием:

$$R_{ген} = R_H, \quad (12)$$

$$L_{1HH} = L_{1H} * 50, \quad (13)$$

$$C_{1HH} = \frac{C_{1H}}{50}. \quad (14)$$

Ключевой элемент – кольцо резонатора. Его радиус рассчитывается в соответствии с резонансной частотой.

$$R = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_{возд}}{\sqrt{\epsilon}} \quad (16)$$

$$\lambda_{возд} = \frac{c}{f_0} \quad (17)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{HH}*C_{HH}}} \quad (18)$$

Согласующая ёмкость создана в пространстве между линией ввода сигнала в резонатор и площадью кольца, которые выступают в роли обкладок. Зная требуемую ёмкость и диаметр подложки диэлектрика, а также значения эpsilon для диэлектрика, можно легко осуществить расчёт.

$$S = \frac{C \cdot d}{\epsilon \cdot \epsilon_0} \quad (19)$$

С формулой меандрической индуктивности чуть сложнее, она была выведена эмпирически. Известно значение L , которое требовалось получить; подбирая геометрические размеры меандра, удалось получить конструкцию, параметры которой близко соответствовали требующимся (15,53 нГн) (рис. 1).

$$L = (0,0026 * a_1^{0,0603} * h^{0,4429} * n_1^{0,954} * d^{0,606} * \omega_1^{-0,173}) * 10^3. \quad (20)$$

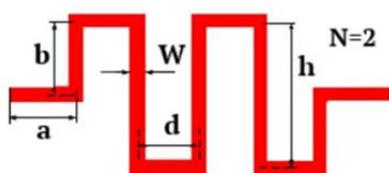


Рис. 1. Меандрическая индуктивность

На рис. 2 показана идеальная модель фильтра в программе RFSimm. Для элементов фильтра заданы рассчитанные описанным выше методом значения, получена передаточная характеристика, которая изображена слева. Схема представляет собой копланарную линию с введёнными в неё меандрическими индуктивностями (рис. 3, а). На обратной стороне находится резонатор (рис. 3, б). Ёмкостью связи является сам слой подложки, при этом его обкладками являются участки площади кольца резонатора и копланарной линии, расположенные одна над другой. Заземление центрального участка резонатора выполнено с помощью гальванического соединения. Радиус кольца и копланара соответствует ширине линии.

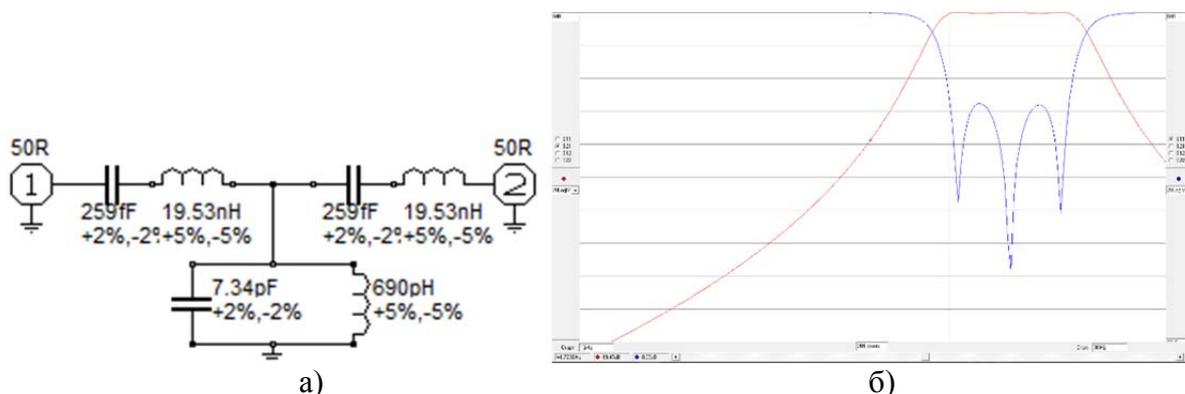


Рис. 2. Идеальная модель фильтра (а) и её передаточная характеристика (б)

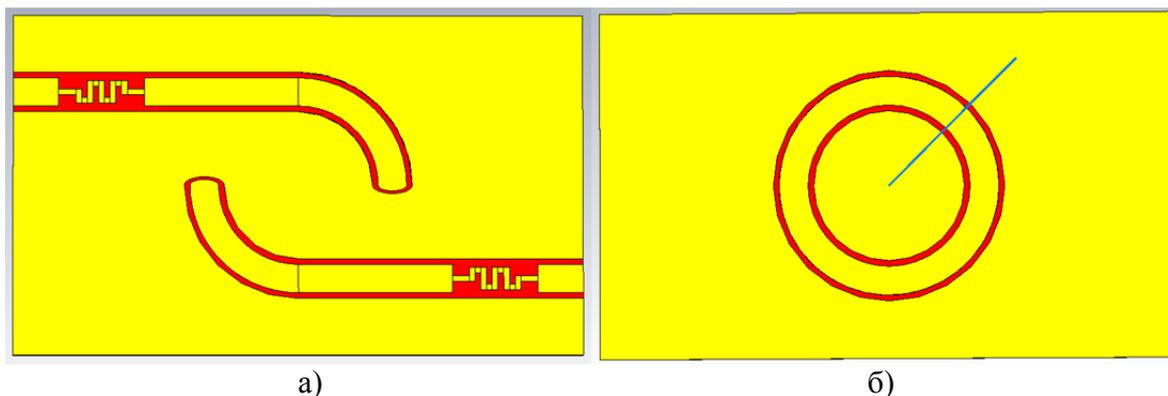


Рис. 3. Ввод и вывод сигнала в устройстве (а); кольцо резонатора (б)

Полученная передаточная характеристика близка к идеализированной, показанной на рис. 2б, однако возникают некоторые рассогласования и паразитные полосы ввиду несовершенства данной конструкции (рис. 4).

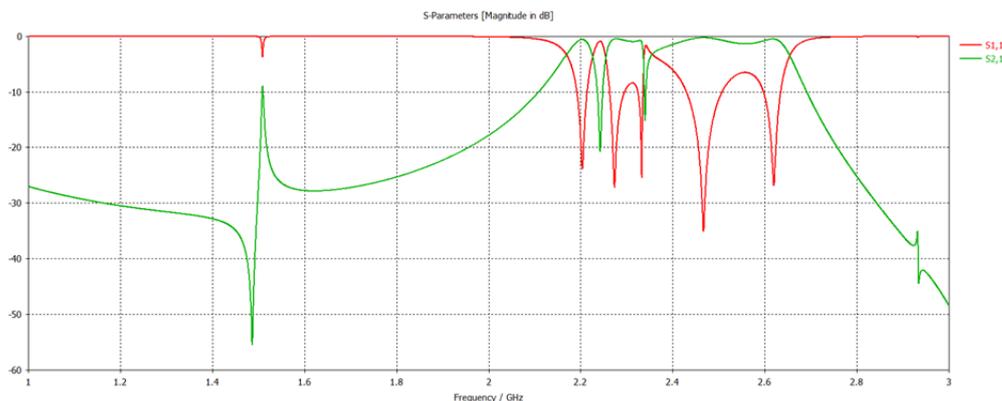


Рис. 4. Компьютерное моделирование полученной схемы

В соответствии с расчетными геометрическими величинами, было проведено приближенное макетное моделирование (см. рис. 5) и измерение полученного устройства (см. рис. 6).

Величина потерь составила порядка 15 дБ (см. рис. 6а), что чрезвычайно много для конечного устройства. Однако моделирование показало работоспособность устройства, а, следовательно, правильность заложенных в принцип его работы идей.

Вывод: макетирование продемонстрировало работоспособность конструкции. В заданной полосе частот возникает резонанс в соответствии с техническим заданием.

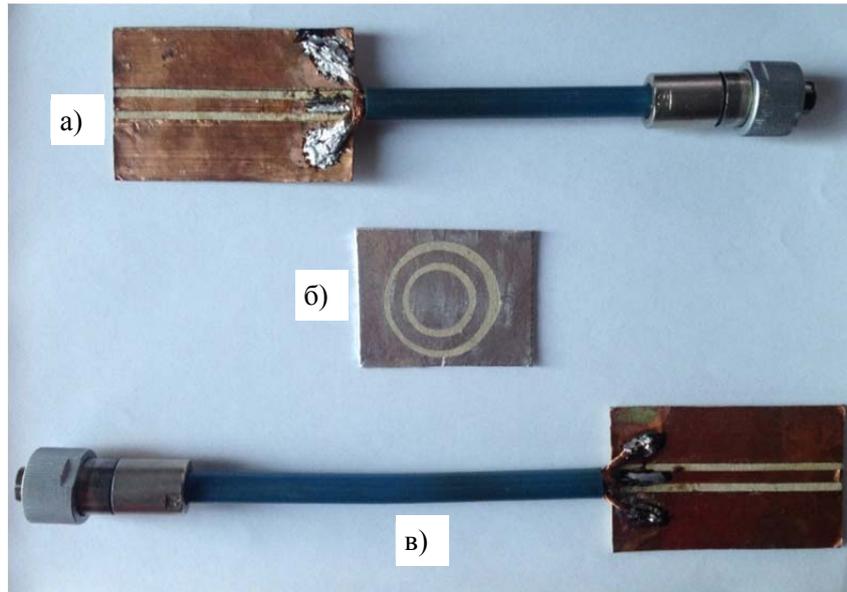


Рис. 5. а), в) переход коаксиал-копланар, с помощью которого осуществляется ввод и вывод сигнала; б) макет резонатора



Рис. 6. Процесс проведения измерений (а); АЧХ макета (б)

Список используемых источников

1. Фуско В. СВЧ Цепи. Анализ и автоматизированное проектирование / пер. с англ. А. А. Вольман, А. Д. Муравцова, М.: Радио и Связь, 1990. 288 с.
2. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / под ред. В. И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1982. 326 с.
3. Ханзел Г. Е. Справочник по расчёту фильтров / пер. с англ. В. А. Старостина, под ред. А. Е. Знаменского. М.: Советское радио, 1974. 288 с.
4. Седышев Э. Ю. Новые функциональные элементы схем СВЧ // 60 НТК ППС СПбГУТ. СПб.: СПбГУТ, 2008.

УДК 004.7

Е. В. Арсентьева, Н. А. Хмелляр (курсанты, ВАС им. С. М. Буденного)

ПРОТОКОЛ OPENFLOW КАК ОСНОВА ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

На сегодняшний день состояние телекоммуникационных сетей показывает, что возможности традиционных технологий близки к исчерпанию. Возможным вариантом решения возникающих проблем является переход на концепцию программно-конфигурируемых сетей. Данный подход предлагает разделить уровень управления и уровень передачи данных путем выноса функций управления на отдельное устройство (контроллер).

программно-конфигурируемые сети, ПКС, Software Defined Networks, SDN, OpenFlow сети связи специального назначения, СССН.

Первоочередными задачами сетей связи специального назначения является обеспечение устойчивой связи в интересах обороны страны, безопасности государства и его населения, органов государственного управления, как в мирное, так и в военное время. Для решения этих задачи необходимо, чтобы сети связи обладали достаточной пропускной способностью и производительностью.

На текущий момент выделяет две основные проблемы построения традиционных сетей специального назначения:

1) Резкий рост объемов передаваемого трафика. (Согласно исследованиям, в 2016 г. объем глобального интернет-трафика вырос более чем в четыре раза за период 2009–2016 гг. Основным фактором роста стал видеотрафик. К 2016 г. его доля превысила 60 % в глобальном пользовательском интернет-трафике¹. Похожая ситуация наблюдается и в сетях связи специального назначения, использование видеоконференцсвязи, передача видео беспилотными летательными аппаратами и многое другое, что требует визуализацию. Все это приводит к увеличению объемов передаваемого трафика и предъявляет новые требования к его передаче, а именно к маршрутизации, конфигурации сетей и управления потоками в ней.)

2) Усложнение управления сетью. (Сети строятся на базе устройств, которые постоянно усложняются, поскольку вынуждены поддерживать все большее количество протоколов.)

Одним из вариантов решения указанных выше проблем является переход на концепцию программно-конфигурируемых сетей.

Программно-конфигурируемая сеть (ПКС) – это новый подход к построению архитектуры сетей связи, при котором уровень управления

¹ <http://www.cisco.com/>

сеть и уровень передачи данных разделяются за счет переноса функций на отдельное центральное устройство, называемое контроллером [1, 2] (рис. 1).

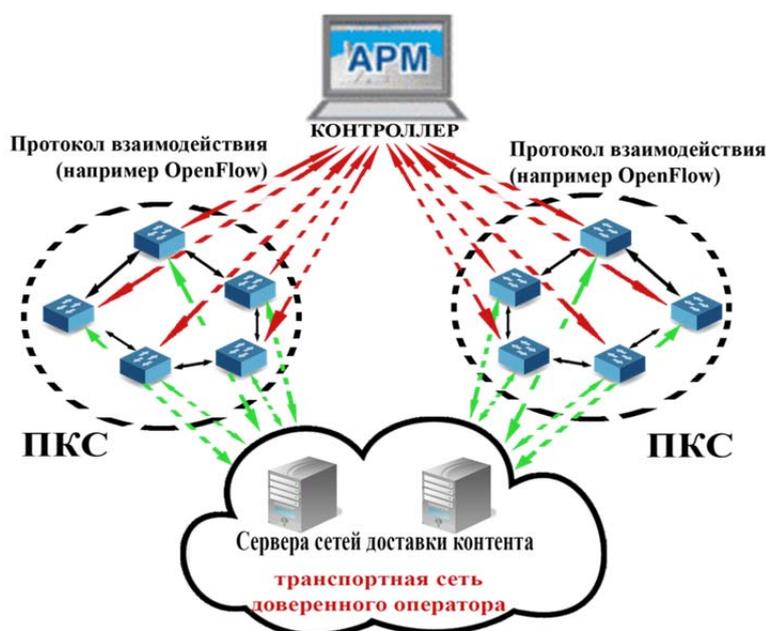


Рис. 1. Структура ПКС

В архитектуре ПКС выделяется три уровня (рис. 2):



Рис. 2. Архитектура ПКС

1) Инфраструктурный уровень, предоставляющий набор сетевых устройств (коммутаторов и каналов передачи данных);

2) Уровень управления, включающий в себя сетевую операционную систему с установленными поверх нее сетевыми приложениями, которые обеспечивают сетевые сервисы и программный интерфейс для управления сетевыми устройствами и сетью;

3) Уровень приложений для гибкого и эффективного управления сетью.

Основой концепции ПКС является:

1) Разделение процессов передачи и управления данными (за счет снятия с коммутаторов нагрузки по управлению данными эти устройства направят все свои мощности на ускорение перемещения трафика, что повысит производительность);

2) Единый, унифицированный, независимый от поставщика интерфейс между уровнем управления и уровнем передачи данных (при использовании протокола взаимодействия между сетевыми устройствами и программно-конфигурируемой сети решается проблема зависимости от сетевого оборудования какого-либо конкретного поставщика, поскольку используются общие абстракции для пересылки пакетов, которые сетевая операционная система использует для управления сетевыми коммутаторами);

3) Логически централизованное управление сетью, осуществляемое с помощью контроллера с установленной сетевой операционной системой и реализованными поверх сетевыми приложениями (логически-централизованное управление данными в сети предполагает вынесение всех функций управления сетью на отдельный физический сервер, называемый контроллером, который находится в ведении администратора сети).

В настоящее время ПКС строятся на базе специальных коммутаторов, реализующих только функции передачи данных, для управления которыми используют протоколы взаимодействия, например в настоящее время используется протокол OpenFlow.

OpenFlow – протокол управления процессом обработки данных, передающихся по транспортной сети коммутаторами.

Согласно концепции, взаимодействие контроллера и коммутаторов осуществляется посредством протокола OpenFlow. Таким образом устройства с поддержкой OpenFlow должны состоять из трех основных компонентов:

1) Одной (OpenFlow 1.0) или нескольких таблиц потоков (англ. Flow table), при этом каждая таблица потоков содержит набор записей о потоках или правила по их обработке (пересылке на конкретный порт, изменение пакета, пересылке по закрытому каналу на контроллер);

2) Безопасного канал (OpenFlow channel), обеспечивающего передачу служебной информации между коммутаторами с контроллером;

3) Поддержки протокола OpenFlow protocol, использующегося для управления и предоставляющего открытый и стандартизованный метод коммуникации коммутаторов и контроллером.

Контроллер используется для управления таблицами потоков коммутаторов, на основании которых принимается решение о передаче принятого пакета на конкретный порт коммутатора. Контроллер может добавлять, обновлять или удалять информацию в таблицах потоков, правила могут устанавливаться реактивно (в ответ на пришедший пакет) или проактивно (заранее, до прихода пакета). При приходе очередного пакета на коммутатор у него «вырезается» заголовок и для этой битовой строки в таблице потоков ищется соответствующее правило (потокные записи соответствуют пакетам в порядке приоритета, при этом выбираются первые совпадения в каждой таблице). Обработка пакета происходит по принципу конвейера.

Конвейер OpenFlow каждого коммутатора состоит из нескольких потоковых таблиц, каждая из которых состоит из нескольких потоковых записей.



Рис. 3. Конвейер OpenFlow коммутатора

Если для данного типа пакетов есть правило, то применяются соответствующие инструкции, если же для данного типа пакета правило не найдено, то результат будет зависеть от конфигурации коммутатора: пакет может быть перенаправлен в контроллер посредством OpenFlow канала, либо отброшен. Управление данными в OpenFlow осуществляется не на уровне отдельных пакетов, а на уровне их потоков. Центральный контроллер имеет точную информацию о структуре и топологии сети. Правило в коммутаторе OpenFlow устанавливается с участием контроллера только для первого пакета, а затем все остальные пакеты потока его используют. Это позволяет передавать по сети потоки данных, а не отдельные пакеты.

Таким образом, концепция ПКС для построения сетей связи специального назначения (СССН) является перспективным направлением в развитии сетевых технологий. Использование данного подхода позволит повысить производительность и масштабируемость сетей, упростить управления и снизить затраты на оборудование и сетевые приложения. Поэтому необходима дальнейшая оценка целесообразности и эффективности использования данного подхода в построении СССР как ПКС с учетом требований предъявляемых к достоверности, своевременности и безопасности связи, потому что на данный момент основными производителями сетевого оборудования являются западные вендоры (Cisco, Hewlett-Packard), что накладывает определенные трудности.

Список используемых источников

1. Красотин А. А., Алексеев И. В. Программно-конфигурируемые сети как этап эволюции сетевых технологий // Моделирование и анализ информационных систем. 2013. Т. 20, № 4. С. 120–124.
2. Долматов Е. А., Марченков А. А., Трубников Д. О., Шинкарев С. А. Особенности построения современных систем оперативно-технического управления инфокоммуникационной сетью специального назначения // Актуальные проблемы инфотеле-

коммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. СПб. : СПбГУТ, 2016. С. 221–225.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, ст. преподавателем ВАС им. С. М. Буденного
Шинкаревым С. А.*

УДК 621.396

А. С. Белоус, Г. О. Ершов, Г. М. Вархотов (студенты, СПбГУТ)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Основной целью данной статьи является разработка оригинального и несколько нетрадиционного подхода к исследованию телекоммуникационных систем с использованием математического аппарата тензорного анализа сетей. В статье представлены общие положения об анализе и элементах тензорной алгебры, описано применение структуры тензорной модели при помощи контурного, узлового или ортогонального “возбуждения” одномерной сети.

анализ, телекоммуникационные системы, структура, сеть.

Сложность морфологического построения, а также широкий спектр и разнородность решаемых системой функциональных задач, определили такой подход к моделированию телекоммуникационных систем (ТКС), при котором математическая модель может адекватно описать лишь некоторые основные закономерности системы, оставляя в стороне второстепенные факторы. Между тем некоторые из свойств и характеристик ТКС могут выступать как основными, так и второстепенными в зависимости от аспекта рассмотрения системы. Попытки целостного представления ТКС обычно сопровождаются использованием системы математических моделей, полученных на уровнях морфологического, функционального и информационного описания. При этом каждая из моделей, а также связанные с ней методы исследования отображают тот или иной аспект рассмотрения ТКС.

Единый подход к исследованию ТКС как сложной системе позволяют получить тензорные модели и методы анализа (синтеза). Тензорный анализ сетей, благодаря заложенным у него возможностям, представляет собой логическое средство описания реальных объектов в их многоаспектности и противоречивости. Тензорное представление имеет максимальную целостность, позволяя сконцентрировать основное внимание на самой системе вне зависимости от возможных координатных систем ее рассмотрения.

Важную роль в тензорном анализе играет понятие метрики и метрического тензора, который в каждой из частичных систем координат принимает вид фундаментальной матрицы.

Сумма (или разница) двух тензоров, которые имеют одинаковое число ковариантных и одинаковое число контравариантных индексов, представляет собой тензор того же типа и валентности, что и заданные тензоры. Тензор отображает инвариантный геометрический объект, координаты которого при преобразовании системы координат изменяются по линейному закону. Сами по себе тензоры в системной иерархии представляют собой следующий уровень абстракции, продолжая цепочку

СКАЛЯР → ВЕКТОР → МАТРИЦА → ТЕНЗОР → ЭКСТЕНСИВ,

где ЭКСТЕНСИВ – это геометрический объект с произвольными законами координатного превращения. Действительно, скалярной величиной можно количественно охарактеризовать лишь одно из многих свойств или характеристик системы. С помощью вектора можно оценить уже несколько характеристик системы. Матричные модели в дополнение к этому еще и помогут отследить влияние характеристик друг на друга, но только в рамках принятого аспекта рассмотрения системы. Тензорное же описание позволяет получить целостное представление о системе, ее характеристиках и свойствах в той или иной координатной системе ее рассмотрения [1].

В соответствии со свойствами тензора по его известным проекциям в одной системе координат (СК) можно получить проекции в других СК, если известны законы перехода от одной системы координат к другой. С точки зрения системологии, изменение системы координат может означать изменение аспекта рассмотрения исследуемой системы, а проекции тензора могут отображать величины показателей, которые характеризуют основные ее свойства в принятом для рассмотрения аспекте. При решении конкретных прикладных задач система координат практически всегда играет определяющую роль. Нередко, благодаря удачному выбору координатной системы, значительно упрощаются математические выкладки, соотношения приобретают необходимую наглядность, что заметно облегчает установление искомых закономерностей в свойствах исследуемых объектов.

Особенную актуальность при решении сетевых задач различной физической природы приобретают исследование американского ученого Г. Крона и его разработки в области тензорного анализа сетей и диакоптики, которые базировались на использовании инвариантных величин – тензоров, которые подобно каркасу связывают превращение структуры сложных систем. Аппарат тензорного анализа сетей, обосновываясь на понятиях и положениях классического тензорного исчисления и анализа, од-

новременно обобщает их и развивает для использования в анизотропном (дискретном) пространстве-структуре. Возможность совместного исследования структуры ТКС и протекающих в ней процессов представляется главным преимуществом тензорной методологии исследований, основанной на объединении возможностей дифференциальной геометрии с возможностями комбинаторной топологии.

В тензорном анализе сетей топологическое описание структуры моделируемой системы осуществляется с помощью p -сетей, которое отвечает топологическому пространству с «хорошими» свойствами соответствующей размерности. В случае описания структуры ТКС в рамках аппарата тензорного анализа с помощью одномерной сети, в зависимости от способа «возбуждения» может трактоваться как контурная, узловая или ортогональная.

В контурных сетях отправной точкой анализа является контур, в узловых – пары узлов, а в ортогональных сетях понятия контур и узловой пары используются совместно, дополняя друг друга. Через ортогональные свойства контуров относительно узловых пар ортогональная сеть и носит свое название. Отличительной чертой контурных и узловых сетей является обязательная однотипность «возбуждения» элементов сети. Для ортогональных сетей «возбуждение» может носить комбинированный характер, что позволяет рассматривать контурные и узловые сети как частные случаи проявления ортогональных сетей. Использование при топологическом описании системы того или другого типа сети во многом зависит от характера решаемой задачи и, в свою очередь, полностью определяет как способ функционального описания системы, так и метод расчета искомых параметров.

Методология тензорного подхода к анализу ТКС как сложной системы заключается в следующем [2]:

1) Геометризация системы: введения понятий пространства, систем координат и правил их преобразования.

2) Инвариантное представление уравнений поведения системы, её основных свойств и характеристик. Определения инвариантов, ковариантных и контравариантных величин.

3) Обоснование и выбор множества систем координат, в рамках которых возможно осуществить расчет искомых параметров ТКС.

Таким образом, предложена методика тензорного подхода к анализу ТКС при котором математическая модель описывает лишь некоторые основные закономерности системы, оставляя в стороне второстепенные факторы, а также в соответствии со свойствами тензора в одной системе координат (СК) можно получить проекции в других СК, если известны законы перехода от одной системы координат к другой.

Список используемых источников

1. Пасечников И. И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей. М.: Машиностроение-1, 2004. 216 с.
2. Петров А. Е. Тензорная методология в теории систем. М.: Радио и связь, 1985. 152 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Стахеевым И. Г.*

УДК 621.3

М. Д. Гевель (студентка, СПбГУТ)

**КРАТКИЙ ЭКСКУРС СТАНОВЛЕНИЯ
И РАЗВИТИЯ ТЕЛЕГРАФНОЙ СВЯЗИ**

Развитие производства промышленной продукции в результате промышленного переворота, громадное увеличение перевозок, развитие железнодорожного и водного транспорта настолько усилили потребность в быстрой связи между промышленными и торговыми центрами, что старые методы перестали удовлетворять возросшим потребностям в быстрой и безотказной связи. Внедрение телеграфа освободило коммуникации от пространственно-временных ограничений и произвело революцию в глобальной экономике и общественных отношениях. Телеграфия способствовала росту организованности на железных дорогах, объединила финансовые и товарные рынки, уменьшила стоимость передачи информации внутри и между предприятиями.

телеграф, семафор, электрический ток, факсимильная связь, средства коммуникации.

С незапамятных времён человечество пользовалось различными примитивными видами сигнализации и связи в целях сверхбыстрой передачи важной информации в тех случаях, когда по ряду причин традиционные виды почтовых сообщений не могли быть использованы. Огни, зажигаемые на возвышенных участках местности, или же дым от костров должен был оповестить о приближении врагов либо о грядущем стихийном бедствии. Этот способ до сих пор используется заблудившимися в тайге или туристами, испытывающими стихийное бедствие. Некоторые племена и народы использовали для этих целей определённые комбинации звуковых сигналов от ударных (барабаны) и духовых (охотничий рог) музыкальных инструментов, другие научились передавать определённые сообщения, манипулируя отражённым солнечным светом при помощи системы зеркал. В последнем случае система связи получила наименование «гелиограф», который является примитивным световым телеграфом.

В 1792 г. во Франции Клод Шапп создал систему передачи информации при помощи светового сигнала. Она получила название «оптический телеграф». В простейшем виде это была цепь типовых строений, расположенных в пределах видимости друг друга. На кровле строений размещались шесты с подвижными поперечинами – семафоры. Семафорами с помощью тросов управляли операторы, которые сидели внутри. Шапп создал специальную таблицу кодов, где каждой букве алфавита соответствовала фигура, образуемая семафором, в зависимости от положений поперечных брусьев относительно опорного шеста. Система Шаппа позволяла передавать сообщения на скорости два слова в минуту и быстро распространилась в Европе.

Несмотря на недостатки оптической телеграфии, заключающиеся главным образом в зависимости её от погоды, её активно использовали почти до середины XIX века, в Российской Федерации – до начала 1860-х гг. Своим блестящим победам Наполеон I обязан немало оптическому телеграфу, с помощью которого он имел возможность быстро передавать свои распоряжения на большие расстояния.

В московской Руси русским механиком-изобретателем Иваном Петровичем Кулибиным в 1794 г. была изобретена и построена «дальнеизвещающая машина», представлявшая собой оптический семафор, в котором он, помимо зеркал, использовал изобретенный им фонарь с отражающим зеркалом. Это позволяло строить промежуточные станции на больших расстояниях и использовать телеграф и днём, и ночью даже в небольшой туман. Рама семафора Кулибиным была использована Т-образная, французская, но им был придуман остроумный приводной механизм, двигавший раму, и новый упрощенный код. Кулибинский код сводился в таблицу, с помощью которой ускорялись передача и расшифровка сигналов. Развитие производства промышленной продукции в результате промышленного переворота, громадное увеличение перевозок товаров, полуфабрикатов и сырья, развитие механического парового железнодорожного и водного транспорта настолько усилили потребность в быстрой связи между промышленными и торговыми центрами, что старые методы перестали удовлетворять возросшим потребностям в быстрой, точной, безотказной связи.

Возможность использования для этой цели электрического тока, распространяющегося по проводам с колоссальной скоростью, была подмечена сразу же после изобретения итальянским физиком, химиком и физиологом Алессандро Вольтом в 1799 г. первого электрохимического генератора тока.

Одна из первых попыток создать средство связи с использованием электричества относится ко второй половине XVIII века, когда Лесаж в 1774 г. построил в Женеве электростатический телеграф. В 1798 г. испанский изобретатель Франциско де Сальва создал собственную конструк-

цию электростатического телеграфа. Позднее, в 1809 г. немецкий учёный Самуил Томас Земмеринг построил и испытал электрохимический телеграф на пузырьках газа.

Телеграф (др.-греч. τῆλε – «далеко» + γράφω – «пишу») в современном значении – средство передачи сигнала по проводам, радио или другим каналам электросвязи [1].

Первый электромагнитный телеграф создал российский учёный Павел Львович Шиллинг в 1832 г. Телеграф Шиллинга был смонтирован в виде клавиатуры с белыми и черными клавишами, нажимая на которые можно было передавать всю гамму сигналов. Павел Шиллинг также разработал оригинальный код, в котором каждой букве алфавита соответствовала определённая комбинация символов, которая могла проявляться чёрными и белыми кружками на телеграфном аппарате.

После Шиллинга электромагнитный метод передачи сигналов, как наиболее перспективный, был использован рядом других изобретателей. К примеру, электромагнитный телеграф был построен в Германии – Карлом Гауссом и Вильгельмом Вебером (1833), в Великобритании – Куком и Уитстоном (1837), а в США электромагнитный телеграф запатентовал Сэмюэл Морзе в 1840 г. Большой заслугой Морзе является изобретение телеграфного кода, где буквы алфавита были представлены комбинацией коротких и длинных сигналов – «точек» и «тире» (код Морзе).

В 1843 г. шотландский физик Александр Бейн продемонстрировал и запатентовал собственную конструкцию электрического телеграфа, которая позволяла передавать изображения по проводам. Аппарат Бейна считается первой примитивной факс-машиной.

В 1855 г. итальянский изобретатель Джованни Казелли создал аналогичное устройство, которое назвал пантелеграф и предложил его для коммерческого использования.

Аппарат Казелли передавал изображение текста, чертежа или рисунка, нарисованного на свинцовой фольге специальным изолирующим лаком. Контактный штифт скользил по этой совокупности перемежающихся участков с большой и малой электропроводностью, «считывая» элементы изображения. Передаваемый электрический сигнал записывался на приёмной стороне электрохимическим способом на увлажнённой бумаге, пропитанной раствором железосинеродистого калия.

Самые же совершенные из фототелеграфных аппаратов производили считывание изображения построчно фотоэлементом и световым пятном, которое обегало всю площадь оригинала. Световой поток воздействовал на фотоэлемент и преобразовывался им в электрический сигнал. По линии связи этот сигнал передавался на приёмный аппарат, в котором модулировался по интенсивности световой луч, обегая поверхность листа фотобумаги. После проявления фотобумаги на ней получалось изображение, являющееся копией передаваемого – фототелеграмма. Технология нашла

широкое применение в новостной фотожурналистике. В 1935 г. агентство «Ассошиэйтед Пресс» первым создало сеть корпунктов, оснащённых фототелеграфными аппаратами, способными передавать снимки на большие расстояния непосредственно с места событий. Советская «Фотохроника ТАСС» оснастила корпункты фототелеграфом в 1957 г., и переданные в центральный офис таким способом снимки подписывались «Телефото ТАСС» [2]. Технология господствовала в доставке изображений вплоть до середины 1980-х гг., когда появились первые фильм-сканеры и видеофотоаппараты, а за ними – цифровая фототехника.

Начиная с 1950-х гг. фототелеграф используется для передачи не только фототелеграмм. Ему находят применение в картографии, а также передают газетные полосы. В это же время развились другие методы записи изображения на приёмной стороне, помимо фотографического, а в качестве канала связи стали использоваться не только телеграфные, но и телефонные линии и радиосвязь. Поэтому ранее применявшийся термин «фототелеграфная связь» по рекомендации Международного консультативного комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ) в 1953 г. был заменён более общим - «Факсимильная связь» [3].

7 мая 1895 г. российский учёный Александр Степанович Попов на заседании Русского Физико-Химического Общества продемонстрировал прибор, названный им «грозоотметчик», который был предназначен для регистрации радиоволн, генерируемых грозовым фронтом. Этот прибор считается первым в мире радиоприёмным устройством, пригодным для реализации беспроводного телеграфа. В 1899 г. Попов сконструировал улучшенный вариант приёмника электромагнитных волн, где приём сигналов – кодом Морзе – осуществлялся на наушники оператора – радиста.

Радио (лат. Radio – излучаю, испускаю лучи) – разновидность беспроводной связи, при которой в качестве носителя сигнала используются радиоволны, свободно распространяемые в пространстве.

За рубежом техническая мысль в области беспроводной телеграфии также не стояла на месте. В 1896 г. в Великобритании итальянец Гульельмо Маркони подал патент «об улучшениях, произведённых в аппарате беспроводной телеграфии». Аппарат, представленный Маркони, в общих чертах повторял конструкцию Попова, многократно к тому времени описанную в европейских научно-популярных журналах.

В 1872 г. французский изобретатель Жан Бодо сконструировал телеграфный аппарат многократного действия, который имел возможность передавать по одному проводу два и более сообщения в одну сторону. Аппарат Бодо и созданные по его принципу получили название стартстопных. Кроме того, Бодо создал весьма удачный телеграфный код (Код Бодо), который впоследствии был воспринят повсеместно и получил наименование Международный телеграфный код № 1 (ITA1). В честь Бодо была названа единица скорости передачи информации – бод.

К 1930 г. была создана конструкция стартстопного телеграфного аппарата, оснащённого дисковым номеронабирателем телефонного типа. Этот тип телеграфного аппарата, в числе прочего, позволял персонифицировать абонентов телеграфной сети и осуществлять быстрое их соединение. Практически одновременно в Германии и Великобритании были созданы национальные сети абонентского телеграфа, получившие название Telex (TELEgraph + EXchange).

Несколько позже в США также была создана национальная сеть абонентского телеграфирования, подобная Telex, которая получила наименование TWX (Telegraph Wide area eXchange). Сети международного абонентского телеграфирования постоянно расширялись, и к 1970 г. глобальная сеть под названием «Сеть Телекс» (Telex network) объединяла абонентов более чем 100 стран мира.

Только в 1980-х гг., благодаря появлению на рынке недорогих и практичных факсимильных машин, сеть абонентского телеграфирования стала сдавать позиции в пользу факсимильной связи.

В наши дни возможности обмена сообщениями по сети Телекс сохранены во многом благодаря электронной почте.

Преимущества телеграфа как метода быстрой связи были быстро оценены по достоинству и привели к мысли соединить телеграфной связью отдельные континенты. В 40-х гг. XIX в. были найдены способы надежной изоляции телеграфного кабеля, и началась прокладка линий подводной связи.

Внедрение телеграфа освободило коммуникации от пространственно-временных ограничений и произвело революцию в глобальной экономике и общественных отношениях. К концу XIX столетия телеграф становится всё более распространенным средством связи для обычных людей. Телеграф отделил информацию от физического перемещения объектов.

Телеграфия способствовала росту организованности «на железных дорогах, объединила финансовые и товарные рынки, уменьшила стоимость (передачи) информации внутри и между предприятиями». Рост делового сектора подстегнул общество к дальнейшему расширению использования телеграфа.

Внедрение телеграфии в мировом масштабе изменило подход к сбору информации для новостных репортажей. Сообщения и информация теперь распространялись далеко и широко и телеграф потребовал введения языка «свободного от локальных региональных и нелитературных аспектов», что привело к развитию и стандартизации мирового медиа-языка.

Медиа язык – это направление, изучающее функционирование языка в медиасфере, или современной массовой коммуникации, представленной печатными, аудиовизуальными и сетевыми медиа. Это не что иное, как «Язык газеты», «Язык радио», «Язык СМИ», «Язык Интернета», т. е. умение квалифицированно использовать средства коммуникации.

Список используемых источников

1. Телеграф [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Телеграф>.
2. Советское фото. М.: Огонек, 1957. С. 77.
3. Факсимильная связь // Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1978. С. 354.

*Статья представлена научным руководителем,
старшим преподавателем СПбГУТ Осиповым Д. Л.*

УДК 004.386**М. А. Горбачева, В. М. Кажан, П. А. Чагин** (студенты, СПбГУТ)**ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ В УЧЕБНОМ ВОЕННОМ ЦЕНТРЕ**

В данной статье рассматривается идея разработки виртуального тренажёра в виде веб-приложения, что дает возможность использовать его практически на любом устройстве, которое имеет выход в интернет. Данная программа позволит имитировать решения, связанные с конфигурацией и проектированием сетей связи. Её применение несравнимо дешевле, чем использование реальной системы, и позволяет исключить возможные ошибки. Внедрение виртуального тренажера является актуальной задачей, решение которой будет востребовано, как в военных, так и в гражданских учебных заведениях.

виртуальный тренажер, сети связи специального назначения, сетевые модели, имитационное моделирование.

Главная задача войск связи Вооруженных Сил Российской Федерации – обеспечение надежного, устойчивого управления Вооруженными Силами в любых условиях обстановки. В армии инженеры-связисты отвечают за организацию и обеспечение управления войсками, именно поэтому подготовка кадров в области связи является важнейшим этапом развития связной отрасли в целом.

Институт военного образования в составе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича проводит обучение студентов в области специальных систем связи и готовит высококвалифицированные кадры с дальнейшим трудоустройством в ВС РФ.

Для обучения студентов на базе Института Военного образования создан и постоянно совершенствуется аппаратно-программный комплекс моделирования инфокоммуникационных технологий, представляющий собой

элемент сети связи, оборудованный рабочими местами для моделирования практических задач, оснащённых индивидуальными ПЭВМ, средствами телефонии, передачи видеoinформации, средствами сканирования информации, с возможностью их обработки и передачи по базовой сети, а также по локальной сети.

Для изучения аппаратно-программного комплекса предусмотрено 30 академических часов. Время, выделяемое на практическую работу, полностью соответствует учебному плану, что позволяет студентам получить определенный уровень подготовки. При этом, более детальное и подробное изучение оборудования позволит будущим военнослужащим приобрести высокий уровень знаний и навыков, необходимых специалисту в дальнейшем при работе на узле связи в ВС РФ.

Однако, для углубленного и более профессионального освоения техники для каждого студента необходим отдельный лабораторный стенд. Также для организации тактико-специальных занятий в составе подразделения для учащихся потребуются дополнительное оборудование, но такое решение является нерациональным и экономически невыгодным.

Таким образом, необходимо внедрение виртуального тренажера в процесс изучения мультисервисных сетей связи специального назначения (СССН). Данная программа позволит имитировать решения, связанные с конфигурацией и проектированием сетей связи. Её применение несравнимо дешевле, чем использование реальной системы, и позволяет исключить возможные ошибки. Внедрение виртуального тренажера является актуальной задачей, решение которой будет востребовано, как в военных, так и в гражданских учебных заведениях.

В данной научной работе рассматривается идея разработки виртуального тренажёра, его реализация в виде веб-приложения дает возможность работать практически на любом устройстве, которое имеет выход в интернет. Следовательно, отсутствует необходимость использования реального оборудования для изучения мультисервисных СССР и таким образом, появляется возможность обучаться удаленно. Так как виртуальный тренажёр реализован в виде веб-приложения, его установка не потребуется.

Для разработки программы основным языком программирования был выбран PHP (Hypertext Preprocessor). В совокупности с использованием базы данных MySQL (свободная реляционная система управления базами данных), он позволяет выполнять запуск пользовательских сценариев на стороне сервера, обрабатывать данные и выводить необходимую информацию на экран пользователя.

Структура программы основана на шаблоне проектирования (рис. 1) – MVC (Model-View-Controller) паттерн, который включает в себя:

- Модель (Model) – содержит логику приложения, методы выборки и обработки информации;

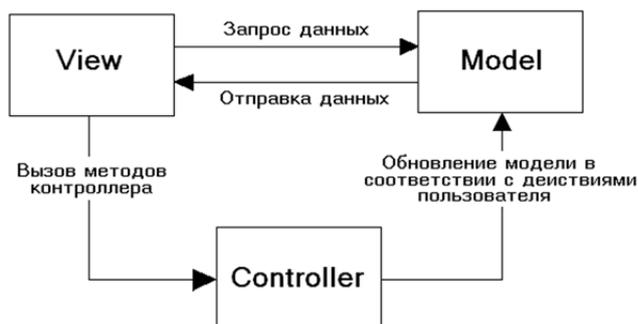


Рис. 1. Шаблон проектирования MVC

Возможности веб-приложения:

- проектировать сети любой сложности;
- проводить тестирование работоспособности сети;
- использование неограниченного количества устройств;
- настройка конфигурации оборудования.

Виртуальный тренажер носит обучающий характер, в нем организованы две группы: преподаватели (администраторы) и студенты (пользователи). Для каждой группы имеется свой отдельный интерфейс, имеющий функции, рассматриваемые ниже. На рис. 2а показан интерфейс, предназначенный для администратора.

У преподавателя есть возможность создавать и редактировать задания для студентов. При этом, он может предоставить доступ для определённых пользователей, по своему усмотрению. При создании учебного задания, преподаватель должен выбрать количество и тип оборудования, доступное пользователю (рис. 2б). После завершения выполнения упражнения, администратор получает в своём личном кабинете отчет о выполненной работе студентом.

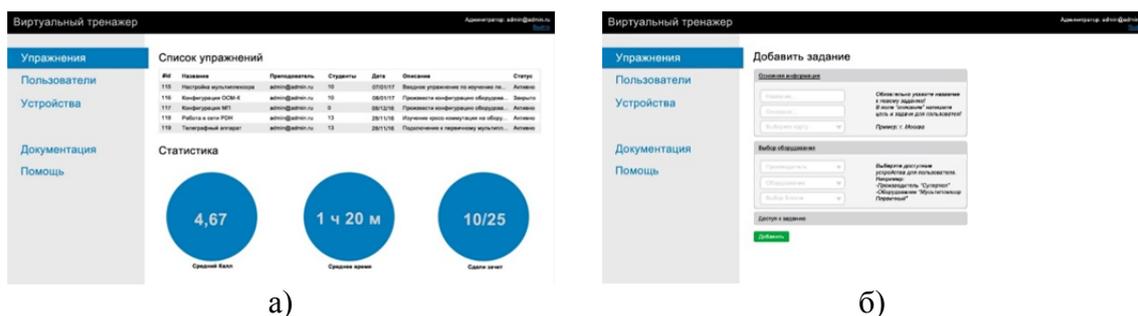


Рис. 2. Интерфейс администратора (а) и окно редактирования заданий преподавателем (б)

Для обучаемых предусмотрен отдельный интерфейс, который состоит из следующих частей:

- информационная панель;
- виртуальная среда для работы с оборудованием.

Информационная панель (рис. 3) предназначена для вывода на экран пользователя самой необходимой информации, включающей в себя список упражнений и документацию.

Документация содержит информацию необходимую для детального ознакомления с функциями оборудования СССН. Раздел «помощь» предназначен для решения возникающих вопросов о том, как работать с тренажером. Например, проблема с выполнением или формированием учебного задания.

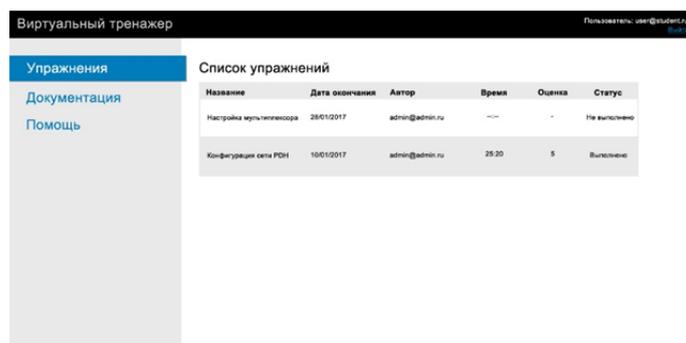


Рис. 3. Интерфейс пользователя. Информационная панель

Виртуальная среда для работы с оборудованием и настройки сети (рис. 4а) состоит из трех составляющих:

- схема сети;
- консоль управления;
- информационный блок.

Схема сети отображает устройства, доступные для выполнения конкретного задания, а также логические связи и соединения элементов сети. По усмотрению преподавателя, для отработки построения сетей в реальных условиях местности, имеется возможность загрузки карт. Главной функцией схемы сети является соединение устройств между собой, а также отдельный просмотр оборудования (рис. 4б).

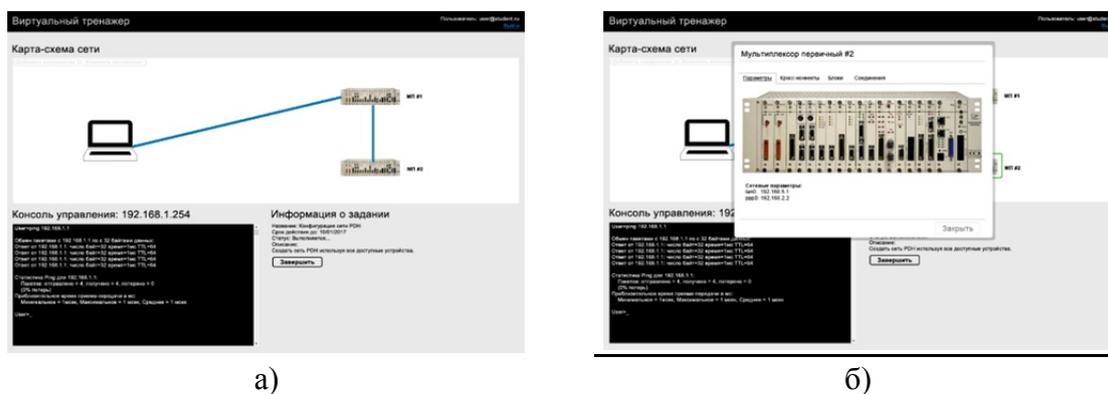


Рис. 4. Виртуальная среда для работы с оборудованием и настройки сети:
а) интерфейс пользователя; б) рабочее пространство

При детальном просмотре оборудования, имеются возможности:

- Просмотр сетевых и локальных интерфейсов устройства;
- Создание кросс-коннектов (только на оборудовании PDH);
- Контроль внешних соединений.

Консоль управления эмулирует работу командной строки управляющей станции. Студент имеет возможность без поддержки реального оборудования осуществить конфигурацию устройств и сети, что позволит ему приблизиться к реальным условиям работы оператора. Для настройки оборудования консоль управления поддерживает необходимый набор команд:

- ping – утилита для проверки целостности и качества соединений в сетях на основе TCP/IP;
- telnet – команда для удаленного управления устройством;
- netsh – позволяет локально или удаленно отображать и изменять параметры сети текущего устройства;
- route – отображение, редактирование таблицы сетевых маршрутов;
- специальные команды для управления отдельными устройствами.

Блок «Задание» предназначен для отображения текущей информации по выполнению конкретного учебного упражнения. После выполнения всех указанных действий, пользователь нажимает «Завершить» и в появившемся окне пишет отчет о проделанной работе.

Сейчас виртуальный тренажер находится на стадии разработки и тестирования. Ведутся работы по улучшению графического интерфейса. Планируется расширить функционал приложения путём использования таких современных средств программного обеспечения как Node.JS (программная платформа, превращающая JavaScript из узкоспециализированного языка в язык программирования общего назначения) и AngularJS (JavaScript фреймворк). По сравнению со связкой php+mysql, применение на веб-сервере Node.JS позволит в разы увеличить быстродействие приложения путем обработки множества запросов от пользователей в одном запущенном процессе. С использованием php напротив, в один момент времени может обрабатываться только один запрос [1]. С применением AngularJS и протокола websocket (протокол полнодуплексной связи поверх TCP-соединения, предназначенный для обмена сообщениями между браузером и веб-сервером в режиме реального времени) будет реализован режим работы для проведения тактико-специальных занятий в составе учебных групп, подразделений. Планируется виртуализация технологии SDN и расширения списка эмулированного оборудования [2].

Список используемых источников

1. ХабрХабр [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/140066/>.
2. Супертел [Электронный ресурс]. URL: <http://www.supertel.ru/omsd>.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Стахеевым И. Г.*

УДК 621.376

Ю. С. Гриценко, А. А. Дунаева (студенты, СПбГУТ)

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Для борьбы с побочным излучением и нелинейными искажениями на выходных каскадах передающего тракта, предлагается использовать спектрально-эффективные методы цифровой модуляции со специальной формой сигнала, такие как QPSK, T-OQPSK, FQPSK, GMSK.

цифровая модуляция, спектрально-эффективные методы, квадратурная фазовая манипуляция.

В системах связи с космическими аппаратами важную роль играет использование спектрально-эффективных видов цифровой модуляции. При работе от автономных источников питания появляется необходимость в наилучшем КПД передающих систем. В связи с этим, решено использовать полупроводниковые приборы в нелинейном режиме усиления, что приводит к паразитной амплитудно-фазовой модуляции, существенно расширяющей полосу частот. Именно для борьбы с побочным излучением и нелинейными искажениями на выходных каскадах передающего тракта, предлагается использовать спектрально-эффективные методы цифровой модуляции со специальной формой сигнала.

При анализе современных систем связи с космическими аппаратами, выявлен ряд спектрально-эффективных видов модуляции на основе QPSK.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) – квадратурная фазовая манипуляция. При квадратурной фазовой используется созвездие из четырёх точек, размещённых на равных расстояниях на окружности. Используя 4 фазы, в QPSK на символ приходится два бита. Анализ показывает, что скорость может быть увеличена в два раза относительно BPSK при той же полосе сигнала, либо оставить скорость прежней, но уменьшить полосу вдвое.

Хотя QPSK можно считать квадратурной манипуляцией (QAM-4), иногда её проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90° . При таком подходе чётные (нечётные) биты используются для модуляции синфазной составляющей I , а нечётные (чётные) – квадратурной составляющей несущей Q . Так как BPSK используется для обеих составляющих несущей, то они могут быть демодулированы независимо.

T-OQPSK (Trellis Offset Quadrature Phase Shift Keying) – квадратурная фазовая манипуляция со смещением квадратурного канала и решетчатым кодированием. В модуляции T-OQPSK используется то же самое сигналь-

ное кодирование, что и в QPSK. Отличие заключается в том, что перемещение от одного модуляционного состояния к другому (от одной точки в созвездии до другой) выполняется за два шага. Вначале, в тактовый момент в начале символа изменяется компонента I и после половины символа – компонента Q (или наоборот). Для этого квадратурные компоненты информационной последовательности $I(t)$ и $Q(t)$ смещаются во времени на длительность одного информационного элемента:

$$T_b = T_s/2.$$

Сам вид модуляции T-OQPSK не является спектрально эффективным, но на его основе получают другие виды нелинейной модуляции, за счёт внесения связей между квадратурной и синфазной составляющей комплексной огибающей радиосигнала. В зависимости от поставленной задачи выбирается вид необходимой манипуляции. В случае необходимости наибольшего подавления первых боковых лепестков спектральной плотности мощности предлагается использование GMSK-сигналов, при необходимости увеличения скорости спада внеполосного излучения предлагается использование FQPSK-сигналов.

При таком смещении компонентных сигналов каждое изменение фазы формируемого сигнала, по очереди производимое квадратурными сигналами, определяется лишь одним элементом исходной информационной последовательности, а не одновременно двумя (дйбитом), как при QPSK. В результате переходы фазы на 180° отсутствуют, так как каждый элемент исходной информационной последовательности, поступающий на вход модулятора синфазного или квадратурного канала, может вызвать изменение фазы лишь на 0 , $+90^\circ$ или -90° .

Резкие фазовые перемещения сигнальной точки при формировании сигнала T-OQPSK происходят вдвое чаще по сравнению с QPSK, так как компонентные сигналы не изменяются одновременно, но они не резкие.

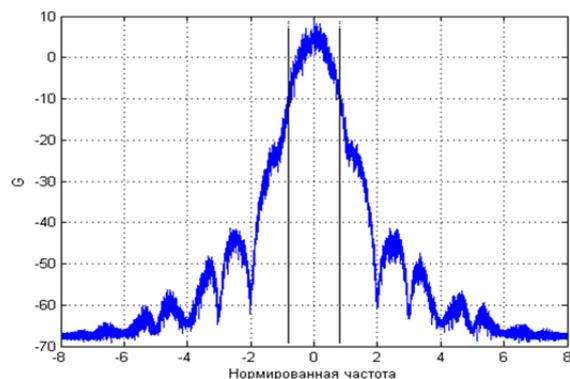


Рис. 1. Спектр плотности мощности FQPSK – сигнала

Другими словами, величина фазовых переходов является в T-OQPSK меньшей по сравнению с QPSK, но частота их вдвое больше.

FQPSK (Feher Quadrature Phase Shift Keying) – усовершенствованный метод модуляции Феера, с улучшенными характеристиками и повышенной пропускной способностью. Они используются в системах с расширением спектра путём программной перестройки рабочей частоты.

Спектр плотности мощности сигнала FQPSK приведён на рис. 1.

Отметим высокую скорость спада огибающей спектра и узкую занимаемую полосу частот. График приведён в логарифмическом масштабе к нормированной частоте. Структурная схема модулятора FQPSK представлена на рис. 2.

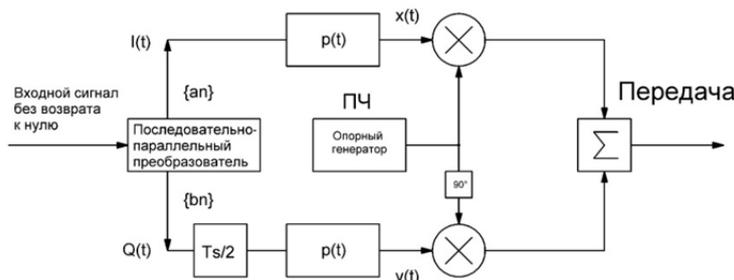


Рис. 2. Структурная схема модулятора FQPSK

Схема представляет собой обычную схему модулятора O-QPSK с элементом задержки в канале Q :

$$T_b = T_s/2.$$

Сигнал FQPSK на выходе маломощного жесткого ограничителя имеет постоянную огибающую. Этот ограничитель может быть сформирован либо на ПЧ, либо непосредственно на РЧ. С другой стороны, при прямом преобразовании низкочастотного сигнала в радиочастотный можно использовать обычный нелинейный усилитель.

Входная двоичная последовательность данных $\{a_n\}$ сначала преобразуется в две независимые последовательности символов $\{a_n\}$ и $\{b_n\}$ каналов I/Q , которые затем обрабатываются фильтром, определяющим форму импульса.

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) – гауссовская модуляция с минимальным частотным сдвигом. Используется в стандарте GSM, а также и в других стандартах. В системах с GMSK произведение BT_b определяет частоту среза предмодуляционного гауссовского фильтра. Значение произведения BT_b , равное 0,3, приведёт к более высокой спектральной эффективности по сравнению с $BT_b = 0,5$. Графики спектральной плотности мощности GMSK – сигналов приведены на рис. 3 и 4 соответственно. Необходимо отметить различную скорость спада огибающей спектральной плотности мощности при различных значениях BT_b .

Принципиальным преимуществом GMSK является высокий КПД и приемлемая помехоустойчивость. Возможна когерентная и некогерентная демодуляция GMSK. Однако на практике GMSK имеет и некоторые недостатки. Относительно широкий главный лепесток спектра приводит

к меньшей спектральной эффективности по сравнению с QPSK. Имеет меньшую помехоустойчивость относительно FQPSK. При значении $BT_b = 0,3$ GMSK более чувствительна к системным не идеальностям, по сравнению с QPSK, что является ещё одним недостатком.

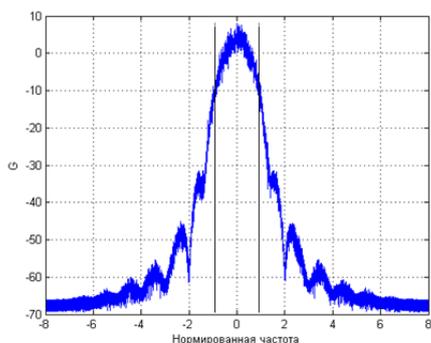


Рис. 3. СПИМ GMSK – сигнала при $BT_b = 0,3$

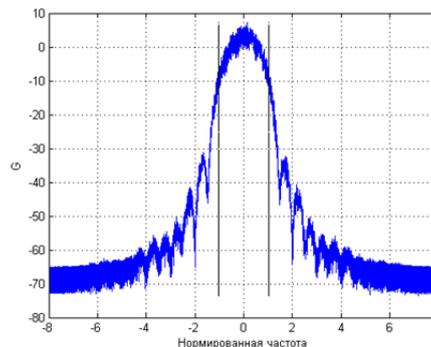


Рис. 4. СПИМ GMSK – сигнала при $BT_b = 0,5$

Структурная схема формирователя GMSK изображена на рис. 5.

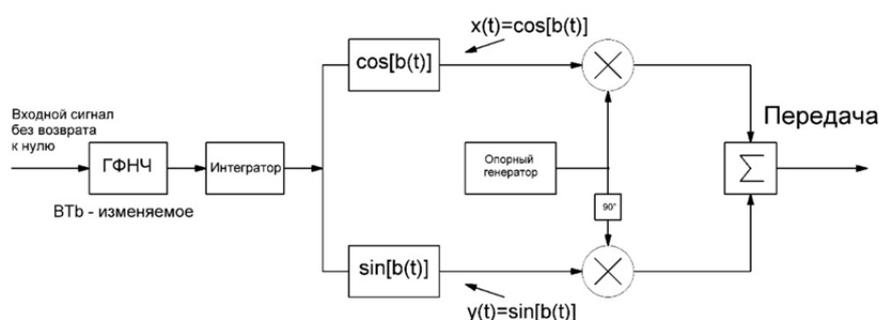


Рис. 5. Часто используемая схема модулятора GMSK

Постоянный или квазипостоянный уровень флуктуации огибающей данных радиосигналов обеспечивает высокую устойчивость к воздействию нелинейных искажений в оконечных каскадах передатчика, снижая мощность взаимных помех за счёт ограничения уровня внеполосного излучения [1, 2, 3].

Список используемых источников

1. Бибило П. Н. Основы языка VHDL. изд. 3, доп. М.: Издательство ЛКИ, 2007. 328 с.
2. Кириллов С. Н., Покровский П. С. Программно-управляемый формирователь радиосигналов с нелинейными видами модуляции // Нелинейный мир. 2013. Т. 11, № 3. С. 150–157.
3. Горобец А. И., Степаненко А. И., Коронкевич В. М. Справочник по конструированию РЭА (печатные узлы). К.: Техніка, 1985. 312 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, ст. преподавателем СПбГУТ Сагдеевым А. К.

УДК 654.01**В. М. Кажан, Ю. А. Фролова** (студенты, СПбГУТ)**HUAWEI ENSP**

В данной статье представлен обзор симулятора Huawei Enterprise Network Simulation Platform (eNSP) от компании Huawei Technologies Co. Ltd. Были проведены исследования для разных типов оборудования и топологий сетей. Выявлен ряд достоинств и недостатков в работе симулятора на платформе компании Huawei. Детально разобраны особенности программы. Показан пример моделирования сети и работы командных интерфейсов коммутационного оборудования. В статье приведены снимки экрана программы симулятора, также представлен сравнительный анализ с программным обеспечением других производителей.

сетевой симулятор, топология сети, Huawei eNSP, коммутатор.

Huawei является ведущим мировым поставщиком решений в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Решения, продукты и услуги Huawei используются более чем в 170 странах и регионах мира. С их помощью доступ к ИКТ получает более трети населения земного шара. Huawei принимает активное участие в деятельности более 300 организаций по стандартизации, отраслевых ассоциаций и сообществ разработчиков ПО с открытым исходным кодом. Совместно с партнерами работают над инновациями в таких быстро развивающихся направлениях, как облачные вычисления, программно-конфигурируемые сети (SDN), виртуализация сетевых функций (NFV) и 5G [1].

Рассмотрим, один из симуляторов этой компании.

Huawei eNSP – официальный и бесплатный симулятор от Huawei Enterprise Network Simulation Platform (eNSP) симулирует маршрутизаторы уровня Enterprise, коммутаторы и конечное оборудование. По своим функциональным возможностям данный программный инструмент близок к Cisco Packet Tracer, имеет понятный графический интерфейс, является полноценным сетевым симулятором.

Данный продукт распространяется совершенно бесплатно – достаточно зарегистрироваться на сайте и получить полный доступ ко всем компонентам программы. Huawei eNSP реализует огромное количество функций реального оборудования, по сути, только довольно специфические вещи в нём нельзя реализовать. В рассматриваемом сетевом планировщике доступны для планирования доступны сети, поддерживающие следующие технологии: MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol – протокол множественных связующих деревьев), RRPP (Rapid Ring Protection Protocol – протокол быстрой кольцевой защиты), SEP (Standard Evaluation Protocol – стандартный протокол оценки), BFD (Bidirectional Forwarding Detection – протокол быстрого обнаружения разрыва сессии), VRRP (Virtual Router

Redundancy Protocol – протокол резервирования виртуального маршрутизатора), различные IGP (Aninterior Gateway Protocol – протокол динамической маршрутизации внутреннего шлюза), GRE (Generic Routing Protocol – протокол общей инкапсуляция маршрутов, BGP (Border Gateway Protocol – протокол граничного шлюза), MPLS (Multi Protocol Label Switching – многопротокольная коммутация по меткам), L3VPN (Layer 3 Virtual Private Networks – протокол виртуальной частной сети сетевого уровня) [1].

Особенности программы. Моделирование:

- симулирует многие функции и возможности маршрутизаторов AR (Access Router – маршрутизаторы уровня доступа) и коммутаторов серии x7 компании Huawei;
- моделирует работу персональных компьютеров, концентраторов, облачных устройств и коммутаторов FR;
- имитирует функции конфигурирования устройства, что позволит изучить команды Huawei;
- позволяет моделировать крупномасштабные сети;
- использует реальные сетевые карты для подключения к реальным устройствам сети;
- имитирует захват пакетов на интерфейсе для наглядного воспроизведения процесса взаимодействия протоколов [2].

Процесс создания топологии сети в симуляторе eNSP состоит из следующих основных позиций и является интуитивно понятным и доступным для понимания специалистам из области связи:

- 1) Выбрать сетевые элементы из окна “Devices”.
- 2) Перетащить выбранные типовые элементы на рабочее поле.
- 3) Из поля “Connections” выбрать требуемый тип соединения (проводной, беспроводной и т. п.).
- 4) Связать сетевые элементы с помощью выбранного соединения [2].

После завершения создания топологии сети необходимо нажать кнопку в панели меню – “Start Simulation” для начала работы программы симулятора сети (рис. 1).

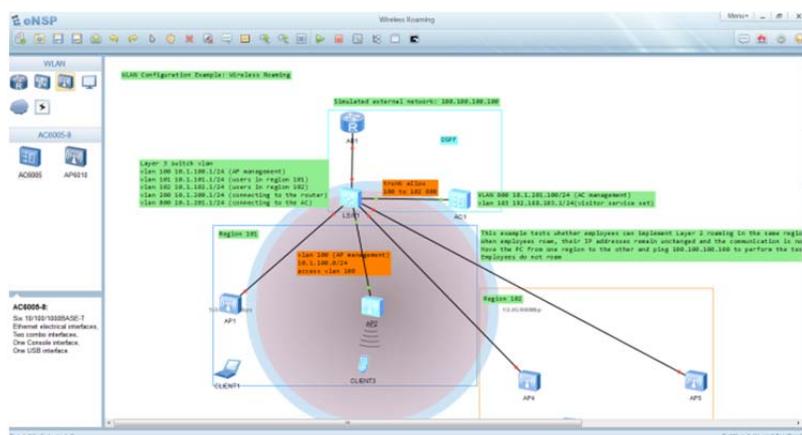


Рис. 1. Процесс создания топологии сети в симуляторе eNSP

После запуска симуляции можно автоматически или в ручном режиме присвоить сетевым элементам IP адреса и назначить параметры и типы соединений (рис. 2).

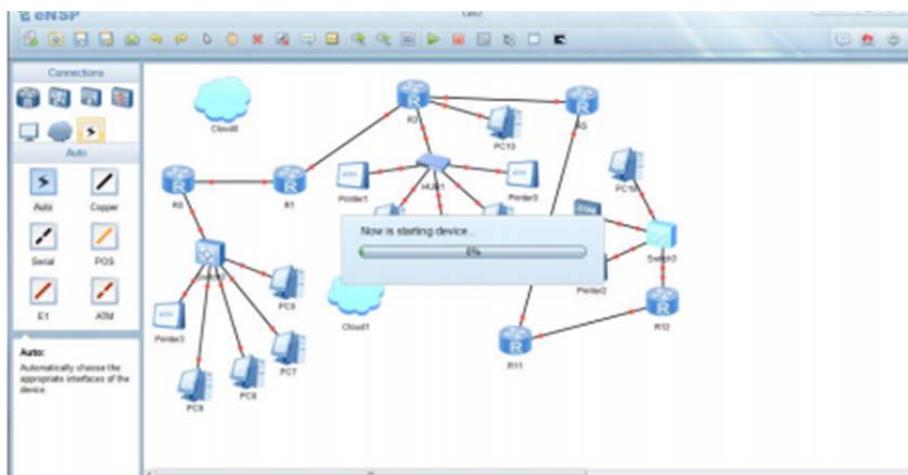


Рис. 2. Процесс подключения устройства в симуляторе eNSP

Для завершения симуляции работы сети и получения результатов симулирования необходимо нажать на кнопку в панели меню – “StopSimulation”. В зависимости от условий задания возможна автоматическая и ручная коммутации (рис. 3).

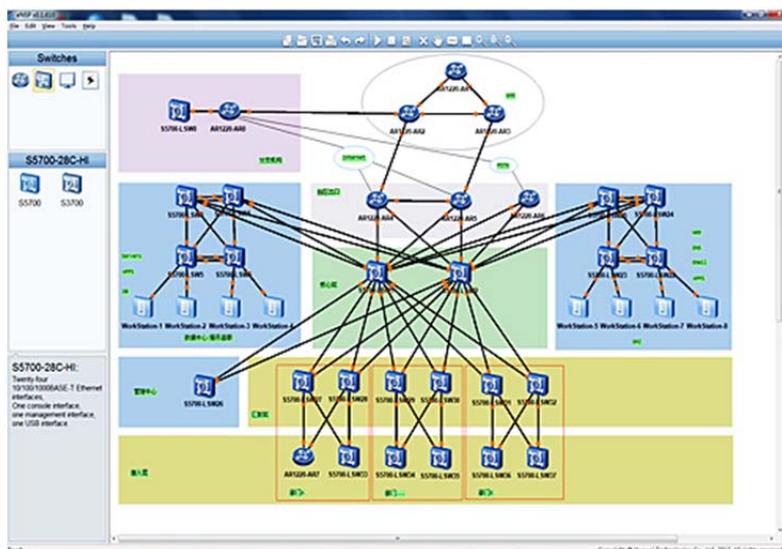


Рис. 3. Встроенный эмулятор сетевого оборудования

После создания топологии сети можно запустить эмулятор консольной командной строки сетевого элемента и изменить параметры и особенности настройки каждого из устройств в сети, а также посмотреть результат применения этих настроек на текущей модели сети (рис. 4.)

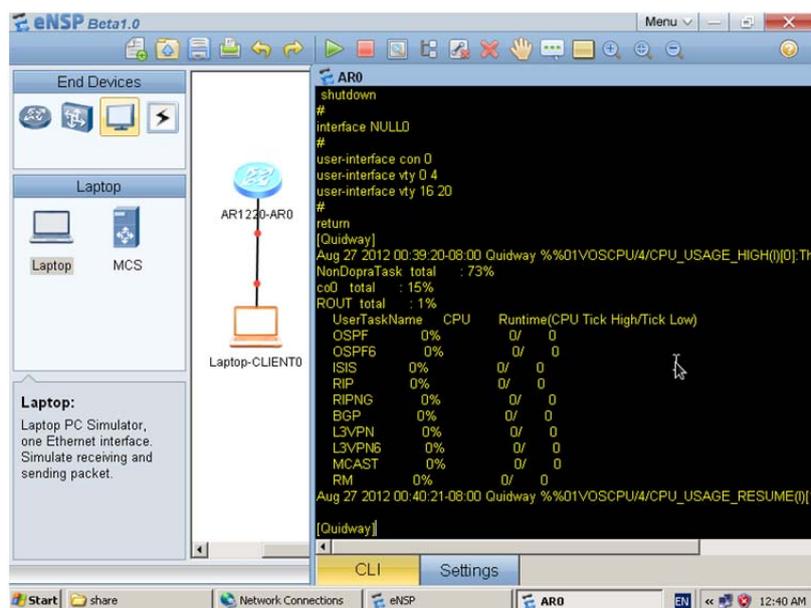


Рис. 4. Встроенный эмулятор маршрутизаторов и их интерфейса

Рассмотрим, в работе достоинства и недостатки системы имитационного моделирования сетей связи eNSP.

Достоинства:

- имеет понятный графический интерфейс;
- распространяется совершенно бесплатно;
- реализует огромное количество функций реального оборудования [3].

Недостатки:

- частые зависания программы;
- существуют естественные ограничения по средам передачи [3].

Список используемых источников

1. Huawei Россия [Электронный ресурс]. URL: <http://huawei-russia.ru>.
2. ХабрХабр блог компании Huawei [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/company/huawei/blog/313156/>.
3. Федотов Д. В. Обзор систем имитационного моделирования сетей связи // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. 2015. Т. 1. С. 349–355.

Статья предоставлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Стахеевым И. Г.

УДК 521

И. С. Климов (курсант, ВАС им. С. М. Буденного)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГНСС BEIDOU

В данной статье рассмотрено назначение, структура глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) Beidou и этапы ее развития, а также ее орбитальная группировка. Проанализирован состав орбитальной группировки на настоящий момент, приведены типы используемых космических аппаратов, их элементы орбит, сигналы, с которыми они работают. На примере невозмущенного кеплеровского движения, с введенными ограничениями, авторами предложен математический аппарат, для описания движения спутников китайской ГНСС вокруг Земли, который будет применен при разработке программы Orbital motion Beidou® ver.1.0.

глобальная навигационная спутниковая система, Beidou, навигационный космический аппарат, невозмущенное кеплеровское движение.

Идея создания китайской национальной региональной навигационной системы была предложена в 1983 г. Концепция системы, использующей два геостационарных космических аппарата, прошла экспериментальную проверку в 1989 г. Эксперимент проводился на базе двух связанных космических аппаратов, уже находившихся на орбите.

Первый этап создания системы Beidou был начат в 1994 г. В 2000 г. было запущено два геостационарных спутника: навигационный космический аппарат (НКА) Beidou-1A (30 октября 2000 г.) и Beidou-1B (20 декабря 2000 г.). Аппараты системы Beidou-1 построены на базе связанной геостационарной платформы. 15 декабря 2003 г. китайская система БЕЙДОУ первого поколения была сдана в эксплуатацию. Запуск третьего геостационарного спутника Beidou-1C в 2003 г. улучшил эксплуатационные характеристики системы [1].

Развитие системы Beidou *второго поколения* началось в 2004 г. К концу 2012 г. было запущено еще 14 спутников (5 геостационарных спутников, 5 спутников на наклонной геосинхронной орбите (ГСНО) и 4 спутника на средних орбитах), что позволило завершить развертывание орбитальной группировки. Beidou-2 была разработана по принципу совместимости с Beidou-1, что позволяло ей обеспечивать пользователей в странах Азиатско-тихоокеанского региона услугами определения местоположения, скорости, времени, широкодиапазонных дифференциальных поправок и отправки коротких сообщений [1].

Третий этап – это создание системы третьего поколения Beidou-3, начат в 2009 г. Основной целью является обеспечение к 2018 году основ-

ных услуг для пользователей, и завершение развертывания орбитальной группировки из 35 НКА, предназначенной для обеспечения услугами пользователей глобально к 2020 г. [1].

Космический сегмент Beidou представляет собой орбитальную группировку смешанного типа. Система Beidou включает в себя большее количество НКА на высоких орбитах, что позволяет увеличить характеристики в условиях ограниченной видимости. Это особенно актуально для решения навигационной задачи на низких широтах.

К 2020 г. орбитальная группировка Beidou будет состоять из 35 НКА (табл. 1) [1].

ТАБЛИЦА 1. Планируемая орбитальная группировка НКА ГНСС Beidou к 2020 г.

5 НКА на геостационарной орбите (ГСО)	точки	58,75° в.д., 80° в.д., 110,5° в.д., 140° в.д., 160° в.д.
	высота	35 786 км
27 НКА на средних круговых орбитах	количество плоскостей	3
	наклонение	55°
	высота	21 528 км
	период	12 ч 53 мин 24 с
3 НКА на наклонной геосинхронной орбите (ГСНО)	пересечение экватора подспутниковой трассой в точке 118° в.д.	
	наклонение	55°
	высота	35 786 км

Текущее состояние орбитальной группировки Beidou представлено в табл. 2 [1].

ТАБЛИЦА 2. Текущее состояние спутниковой группировки НКА ГНСС Beidou

НКА	Дата запуска	Орбита
Beidou G1	16/1/10	ГСО 140° в.д.
Beidou G3	2/6/10	ГСО 110,5° в.д.
Beidou IGSO1	31/7/10	ГСНО 118° в.д., наклонение 55°
BeidouG4	31/10/10	ГСО 160° в.д.
BeidouIGSO2	17/12/10	ГСНО 118° в.д., наклонение 55°
BeidouIGSO3	9/4/11	ГСНО 118° в.д., наклонение 55°
Beidou IGSO4	26/7/11	ГСНО 95° в.д., наклонение 55°
BeidouIGSO5	1/12/11	ГСНО 95° в.д., наклонение 55°
BeidouG5	24/2/12	ГСО 58,75° в.д.
BeidouM3	29/4/12	СВО период 12,89 часов

НКА	Дата запуска	Орбита
BeidouM4	29/4/12	СВО период 12,89 часов
BeidouM5	18/9/12	СВО период 12,89 часов
BeidouM6	18/9/12	СВО период 12,89 часов
BeidouG6	25/10/12	ГСО 80° в.д.
BeidouI1-S	30/3/15	ГСНО 118° в.д., наклонение 55°
BeidouM1-S	25/7/15	СВО период 12,89 часов
BeidouM2-S	25/7/15	СВО период 12,89 часов
BeidouI-2S	29/9/15	ГСНО 95° в.д., наклонение 55°
BeidouM3-S	2/1/16	СВО период 12,89 часов
BeidouIGSO6	29/3/16	ГСНО 95° в.д., наклонение 55°

В развитии орбитальной группировки ГНСС Beidou прослеживается две основные тенденции: расширение состава средневысотных сегментов группировки в целях улучшения глобальных характеристик этих систем в частности доступности и точности при сложных условиях навигации; создание сегментов на высоких орбитах в целях расширения функций ГНСС в интересах повышения точности и целостности на отдельных территориях [2].

Космические аппараты системы Beidou-2, находящейся в эксплуатации, передают сигналы B1 и B2, что позволяет предоставлять открытые бесплатные услуги. После запуска в 2015 году НКА нового поколения руководство программой Beidou сообщило об изменении структуры навигационного сигнала B1. Это направлено на обеспечение взаимодополняемости системы Beidou с ГНСС Galileo и GPS [2].

Если при определении траектории движения спутника подразумевают его движение под действием только силы притяжения Земли, с одним притягивающим центром в центре масс Земли, то такое движение называют невозмущенным или кеплеровым [3].

Для расчета координат НКА при невозмущенном движении необходимо знание элементов орбиты ИСЗ [3]:

- 1) Определяющих форму и размеры орбиты:
 - a – большая полуось эллиптической траектории движения НКА;
 - e – эксцентриситет орбиты.
- 2) Определяющих положение орбиты в пространстве:
 - Ω – долгота восходящего узла;
 - i – наклонение орбиты;
 - ω – аргумент перигея.

Для вычисления координат НКА (x, y, z) в геоцентрической инерциальной системе координат в небесной механике пользуются следующими формулами [3]:

$$M = n(t - t_0) + M_0; \quad (1)$$

$$E - e \sin E = M; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}; \quad (3)$$

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos v}; \quad (4)$$

$$u = v + \omega; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x &= r(\cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i), \\ y &= r(\cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i), \\ z &= r \sin u \sin i. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь M называется средней аномалией, E – эксцентрической аномалией, v – истинной аномалией, u – аргументом широты, а уравнение (2) – уравнением Кеплера.

Формулы (1)–(6) позволяют вычислить прямоугольные координаты НКА (x, y, z) для любого момента времени t , если известны элементы $a, e, i, \Omega, \omega, M_0$. Действительно, вычислив среднюю угловую скорость (среднее движение) $n = \sqrt{\mu/a^3}$ для любого момента t , по формуле (1) находим M . Далее, решив уравнение Кеплера (2), находим E , после чего по формулам (3)–(5) вычисляем последовательно v, r, u , а затем по формулам (6) x, y, z .

Алгоритм, представленный вышеприведенными формулами, требует пояснения. Движение космических аппаратов вокруг Земли происходит как по круговым, так и по эллиптическим орбитам. Для математического описания движения космических аппаратов по орбите применяются три вида аномалий:

E – эксцентрическая аномалия;

M – средняя аномалия;

v – истинная аномалия.

Эксцентрическая аномалия – параметр, используемый для выражения переменной длины радиус-вектора r . Геометрический смысл параметра E проиллюстрирован на рис. 1, где кроме эллиптической орбиты спутника приведена гипотетическая круговая орбита. На ней фиксируется точка H_1 , имеющая одинаковую со спутником абсциссу, и для этой точки определяется угловой параметр E [3].

Когда спутник движется по эллиптической орбите, его угловая скорость непостоянна и зависит от положения на орбите. Для вычислений удобнее использовать равномерное движение с постоянной угловой скоростью

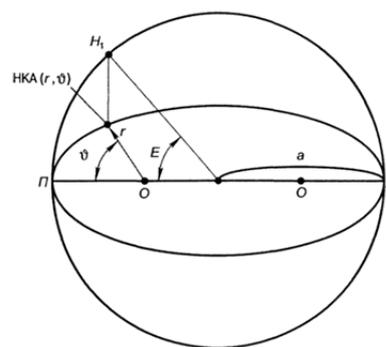


Рис. 1. Геометрический смысл аномалий

стью. С этой целью вводится угловой параметр M – средняя аномалия для момента времени t .

Средняя аномалия – угловое расстояние от перигея гипотетического тела (1), движущегося с постоянной угловой скоростью, равной среднему движению. Геометрический смысл параметра M состоит в том, что он характеризует гипотетическое положение спутника, равномерно движущегося по орбите с угловой скоростью, равной средней угловой скорости n [3].

Истинная аномалия – угол между линией, соединяющей текущее положение НКА с фокусом эллипса (см. рис. 1), в котором находится тело притяжения (Земля) и линией, соединяющей фокус эллипса с перигеем [3]. Истинная аномалия и эксцентрическая аномалия связаны между собой через (3).

Средняя и эксцентрическая аномалии связаны между собой через так называемое уравнение Кеплера (2).

При проектировании движения НКА ГНСС Beidou в работе, введем ограничение: движение НКА ГНСС Beidou происходит по круговым орбитам.

Поскольку $e = 0$, положение перигея не определено. Поэтому можно положить $\omega = 0$ и круговая орбита будет характеризоваться следующими элементами: a – радиус орбиты НКА, i – наклонение орбиты НКА, Ω – долгота восходящего узла НКА, M_0 – средняя аномалия в эпоху. Следовательно, имеем:

$$u = v = E = M. \quad (7)$$

Поэтому ранее приведенные формулы переходят в следующие:

$$M = n(t - t_0) + M_0; \quad (8)$$

$$x = a(\cos M \cos \Omega - \sin M \sin \Omega \cos i),$$

$$y = a(\cos M \sin \Omega + \sin M \cos \Omega \cos i), \quad (9)$$

$$z = a \sin M \sin i.$$

Подводя итог вышеизложенному, для получения количественных оценок прогнозируемой доступности и точности навигационно-временных определений в работе разработана математическая модель орбитального движения НКА ГНСС Beidou. В дальнейшей работе будет разработана программа «Orbital motion Beidou®ver.1.0». Данная программа позволит моделировать орбитальное движение НКА ГНСС Beidou, прогнозировать поведение составляющих геометрического фактора в зависимости от места положения наблюдателя на Земной поверхности и от количества действующих НКА.

Список используемых источников

1. Информационный бюллетень. Состояние и тенденции развития зарубежных средств спутниковой навигации. ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», ИАЦ координатно-временного и навигационного обеспечения, 2017.

2. Beidou Navigation Satellite System. Signal in space. Interface Control Document. Open service signal (Version 2.1). China Satellite Navigation Office. November 2016.

3. Дубошин Г. Н. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. М.: Наука, 1976. 864 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, старшим преподавателем ВАС им. С. М. Буденного Сальниковым Д. В.

УДК 621.373.7**Д. А. Кузнецов, П. О. Митрошина, А. А. Сёмин** (студенты, СПбГУТ)**СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА**

В статье рассмотрен состав основных устройств, применяющихся на станциях контроля радиочастотного ресурса. Дано краткое описание устройств и приведены примеры наиболее распространенных моделей. Рассмотрены принципы их функционирования и требования к ним, обусловленные задачами радиочастотного мониторинга.

электромагнитная совместимость, станции контроля, антенные системы, измерительные приемники, анализаторы спектра, пеленгаторы.

При мониторинге радиочастотного ресурса (РЧР) и анализе электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС) используются разнообразные средства измерений. Качество работы контрольных станций и успех решаемых задач по мониторингу РЧР напрямую зависит от состава технических средств станций, качества измерительных приборов и наличия современных дополнительных устройств. В данной статье будет проведен краткий обзор основных устройств, обеспечивающих проведение измерительных и мониторинговых работ в области ЭМС РЭС.

Основными устройствами, используемыми на станциях контроля, являются:

- антенные системы;
- измерительные приемники;
- анализаторы спектра;
- пеленгаторы.

Приемные измерительные антенны предназначены для извлечения из окружающей среды полезного сигнала и передачи его на вход измерительного приемника с одновременной минимизацией уровня шума и помех. Технические характеристики такой антенны регламентированы с определенными погрешностями.

При решении задачи предварительного анализа диапазона частот используют всенаправленные антенны. Для измерения параметров конкретного сигнала, особенно на частотах совместно используемых несколькими передатчиками, целесообразно использовать направленную антенну, которая либо подавляет сигналы с побочных направлений, либо усиливает сигнал с главного. При этом на станциях мониторинга устанавливается несколько таких антенн, работающих в различных диапазонах.

В зависимости от исследуемого диапазона частот на станциях радиоконтроля сегодня используются логопериодические антенны, антенные решетки и несколько видов зеркальных антенн.

Логопериодическая антенна (рис. 1) представляет собой горизонтально расположенный несущий стержень с установленными перпендикулярно к нему небольшими диполями.

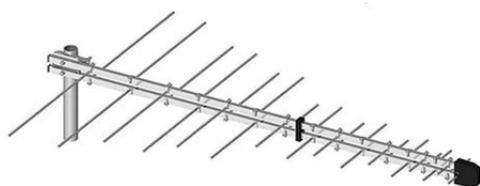


Рис. 1. Логопериодическая антенна

Длина диполей и расстояние между ними уменьшаются по логарифмическому закону. Применяется данный тип антенн в основном в дециметровом диапазоне. К преимуществам логопериодических антенн можно отнести простоту устройства, малую ветровую нагрузку и высокую надежность.

В то же время такая антенна обладает низким коэффициентом защитного действия (КЗД), что приводит к высокому уровню шума на входе приемника.

Антенная решетка – система одинаковых излучающих элементов, идентично ориентированных в пространстве. Вследствие значительных уровней промышленных и атмосферных ради шумов в ВЧ диапазоне обычно нет необходимости применения высокоэффективных приемных антенн, поэтому в этом диапазоне часто используют малогабаритные антенны, обладающие невысокой эффективностью.



Рис. 2. Рамочная антенна

Таковой является рамочная антенная решетка ВЧ-диапазона, каждый элемент которой представляет собой алюминиевую трубку с малой индуктивностью (рис. 2). Повышение коэффициента усиления и направленных свойств в такой системе достигается путем увеличения количества элементов. Главным преимуществом данного вида антенн является возможность немеханического изменения ориентации максимума диаграммы

направленных свойств в такой системе достигается путем увеличения количества элементов. Главным преимуществом данного вида антенн является возможность немеханического изменения ориентации максимума диаграммы

направленности, недостатком – сложность конструкции и, как следствие, высокая цена.

Зеркальные антенны (рис. 3) используются для достижения высокого усиления в диапазоне до 40 ГГц [1]. Коэффициент усиления такой антенны зависит от соотношения площади раскрыва антенны и длины волны, а также от коэффициента использования излучающей поверхности. Для обнаружения и наблюдения сигналов антенна устанавливается на платформе с приводом от электродвигателя, которая управляется дистанционно посредством блоков управления с различными режимами работы.



Рис. 3. Простейшая зеркальная антенна

Центральными элементами станции радиоконтроля являются измерительные радиоприемники – радиоприемники с нормированными метрологическими характеристиками (удовлетворяют требованиям МСЭ) измерения уровня и частоты сигнала (рис. 4). Основным назначением этих устройств является селективное измерение напряжения или мощности слабых сигналов [1].



Рис. 4. Измерительный приемник фирмы "Rode&Shwarz" [2]

Современные цифровые измерительные приемники обладают удобным графическим интерфейсом и множеством дополнительных функций, расширяющих возможности оператора по анализу электромагнитной обстановки и облегчающих его работу. Наиболее популярны сегодня приемники таких компаний как "Rhode&Shwarz", "TCI", "Icom", "AOR" и др. Стоит отметить, что для снижения стоимости станций радиоконтроля во многих странах (в том числе в России) вместо измерительных ОБЧ/УВЧ приемников используются сравнительно недорогие связные приемники, которые с успехом выполняют измерения, рекомендуемые справочником по радиоконтролю. Недостатком этих приемников по сравнению со специализированными является высокая вероятность возникновения нелинейных эффектов во входных каскадах при работе с высокими уровнями помех и сигналов.

Анализаторы спектра, как следует из названия, позволяют проанализировать распределение энергии электромагнитных колебаний в определенной полосе частот. Чаще всего они используются при расследовании помеховых ситуаций и инспекции. Современные анализаторы являются широкополосными, позволяя работать в полосе частот от десятков герц до нескольких гигагерц, и обладают широким динамическим диапазоном отображения амплитуды сигналов. По принципу действия выделяют анализаторы последовательного и параллельного типа.

Анализаторы последовательного типа (рис. 5) являются наиболее распространенными на станциях радиоконтроля. Принцип их действия состоит в сканировании полосы частот с помощью перестраиваемого гетеродина.

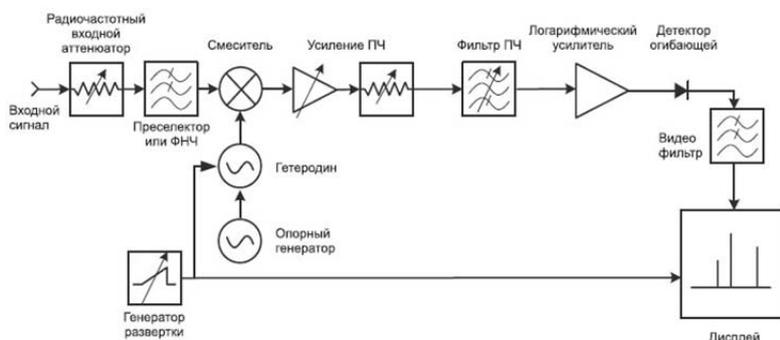


Рис. 5. Структурная схема анализатора спектра последовательного типа

Анализаторы параллельного типа (рис. 6) более быстры, но уступают последовательным в простоте и цене. Они содержат набор узкополосных фильтров, каждый из которых настроен на определенную частоту. При воздействии приемного сигнала на все фильтры, каждый из них выделяет составляющую спектра, соответствующую его настройке.

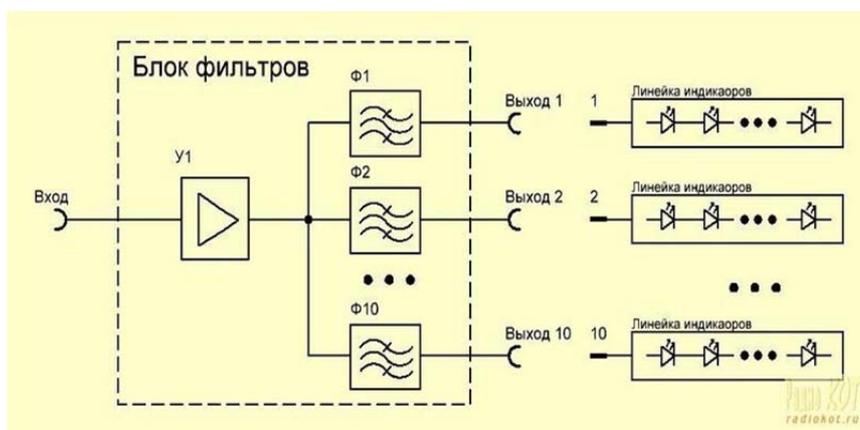


Рис. 6. Структурная схема анализатора спектра параллельного типа

Современные технологии позволяют совместить функции нескольких приборов в одном устройстве. Так сегодня все чаще можно встретить измерительные приемники с функцией широкополосного анализа исследуемого спектра (например, ESPI 7 9 кГц – 7 ГГц компании R&S).

Устройства пеленгации предназначены для определения направления прихода электромагнитной волны. Основными характеристиками пеленгаторов являются:

- точность пеленгования;
- чувствительность;

- разрешающая способность;
- диапазон рабочих частот.

Для оценки электромагнитной обстановки на частотах ниже 30 МГц

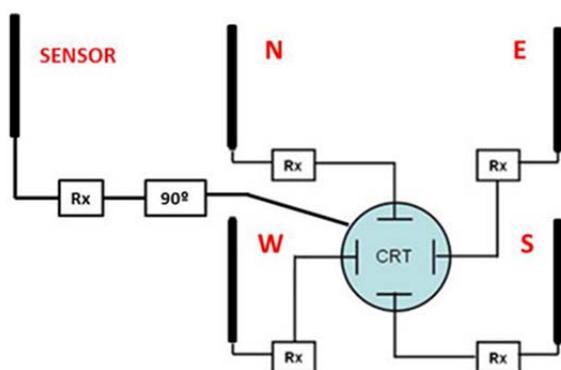


Рис. 7. Упрощенная схема пеленгатора Уотсона-Уатта

наиболее подходящими являются пеленгаторы, построенные по принципу Эдкока/Уотсона-Уатта (рис. 7). Они состоят из двух взаимно перпендикулярных рамки одной ненаправленной антенны. Результирующий уровень изменяется по закону синуса от направления на первой антенне и по закону косинуса на второй. Сигнал с третьей – ненаправленной антенны – фазируется таким образом, чтобы после прихода на управляющий

электрод отрицательным полупериодом гасить половину луча развертки, соответствующую ложному направлению.

На частотах свыше 30 МГц ведущие производители пеленгаторов предлагают исключительно амплитудно-фазовые интерферометры. Принцип работы – получение информации об амплитудах и фазах сигнала на элементах антенной решетки и сравнение их с матрицами амплитуд и фаз для различных углов прихода сигнала.

Рассмотренные выше устройства являются основными составляющими современной станции радиоконтроля. В зависимости от выполняемых задач, состав оборудования станции может дополняться вспомогательными устройствами. Кроме того, все чаще можно встретить станции на базе одной ЭВМ, в которой с помощью программных средств совмещены функции нескольких измерительных и тестовых устройств.

Список используемых источников

1. Харченко И. П. 13 лекций по регулированию и мониторингу использования радиочастотного ресурса. СПб. : Линк, 2008. 211 с.
2. Rohde & Schwarz [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rohde-schwarz.ru>.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, профессором СПбГУТ Проценко М. С.

УДК 37.022

Д. А. Кузнецов, П. О. Митрошина, А. А. Сёмин (студенты, СПбГУТ)

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ КАРТ

Проблема подготовки кадров для работы с техникой связи занимает особое место в педагогике. В данной статье рассмотрены психологические аспекты внимания и восприятия информации у обучающихся и предложен специальный метод обучения – Учебно-Тренировочные Карты.

военная связь, техника связи, методы обучения, концентрированное обучение, учебно-тренировочная карта, УТК.

В настоящее время на вооружении у Министерства Обороны РФ стоит большое количество различной техники связи. Учитывая, что срок службы солдата, проходящего военную службу по призыву, составляет 12 месяцев, преимущество отдается не только качественному, но и быстрому обучению работе с техникой связи. Таким образом, возможно сформулировать ряд особенностей подготовки специалистов в области военной связи:

- 1) Сокращение срока службы.
- 2) Снижение общего уровня образованности.
- 3) Необходимость повышения качества подготовки специалиста, снизив при этом время обучения.

Целью настоящей работы является исследование методического аппарата педагогической науки для выявления закономерностей формирования комплекта УТК по работе на технике связи.

Очевидно, что обучение работе на технике связи, требует не только теоретических знаний, очень важна и натренированность личного состава. Обучающийся должен, буквально, машинально выполнять действия. Не стоит списывать со счетов тот факт, что не все солдаты подойдут к занятиям ответственно, или же некоторым просто не хватит уровня образования в данной области, что не должно сказываться на уровне боевой подготовки экипажа. Так что военнослужащие должны выполнять поставленные задачи не обязательно вникая в глубины науки, а хотя бы просто машинально выполнять действия, необходимые для корректной работы радиостанции.

В традиционной подаче учебного материала применяются схемы-иллюстрации, содержащие объяснительно-наглядную информацию об объекте. Они представляют упрощённые, условные изображения технических устройств и технологических процессов, дающие представление об их структуре и взаимодействии отдельных частей.

Каждый день обучающийся сталкивается с огромным потоком новых знаний, ситуаций. Все это можно назвать информацией. Некоторые воспринимают, фильтруют и выбирают нужное из этого потока очень быстро, другим же для этого понадобится больше времени. Восприятие новой информации человеком во многом зависит от способа подачи этой информации. Итак, далее под термином «информация» будут подразумеваться новые факты, которые восприняты и поняты человеком, а также признаны полезными. В процессе переработки этих впервые полученных сведений люди получают определенные знания.

Так же важно обратить внимание и выделить из всего обилия информации нужную. Рассмотрим простой пример: на лекции в университете преподаватель дает студентам знания посредством рассказа. Одни обучающиеся записывают определенные факты, т. к. они вовремя идентифицировали полезную информацию, другие же продолжают слушать, даже не задумавшись о том, что только что промелькнула важная мысль. В психологии это объясняется термином «внимание». В научной психологии проблема внимания играет особую роль. Приверженцы когнитивной психологии описывают его как отдельную инстанцию и рассматривают как блок селекции информации, либо как специфическую превосходящую активность [1, 2]. И все-таки можно прийти к единому определению: внимание – осуществление отбора нужной информации, обеспечение избирательных программ действий и сохранение постоянного контроля за их протеканием [3].

Восприятие информации – воздействие объекта информации на органы чувств человека. Анализируя результат воздействия того или иного предмета на органы зрения, слуха, обоняния, вкуса и осязания, обучающийся получает представление о них. Таким образом, основа в процессе восприятия информации – пять органов чувств. Так же активно задействованы прошлый опыт человека и ранее полученные знания. Обращаясь к ним, можно отнести полученную информацию к уже известным явлениям или выделить из общей массы в отдельную категорию. Способы восприятия информации базируются на процессах, связанных с психикой человека:

- мышление (увидев явление, человек, начиная мыслить, осознает, с чем он столкнулся);
- речь (возможность назвать объект восприятия);
- чувства (вид реакций на предметы восприятия);
- воля (способность человека заставить себя сосредоточиться).

По этому параметру информацию можно разделить на следующие виды:

- **Текстовая.** Представляется в виде всевозможных символов, которые, сочетаясь друг с другом, позволяют получить слова, фразы.
- **Числовая.** Сведения, представленные числами и знаками.

- Звуковая. Это непосредственно устная речь, благодаря которой сведения от одного человека передаются другому.

- Графическая. Схемы, графики, рисунки и прочие изображения.

Восприятие и представление информации неразрывно связаны между собой. Каждый человек старается выбирать именно тот вариант подачи данных, который обеспечит наилучшее их понимание. Существует классификация информации по способу восприятия:

- визуальная;
- звуковая;
- тактильная;
- вкусовая;
- обонятельная.

Визуальная информация воспринимается с помощью глаз. Благодаря им в мозг человека поступают различные зрительные образы. На визуальную информацию приходится примерно 90 % полученных знаний, на звуковую – 9 %, на все остальные органы чувств – 1 %.

Несложно сделать вывод, что рационально отдать предпочтение видам обучения, которые делают упор на визуальное представление. Существует множество технологий наглядного обучения. Наиболее подходящей видится технология концентрированного обучения.

Концентрированное обучение – это специально организованный процесс обучения, предполагающий усвоение большего количества учебной информации без увеличения учебного времени за счёт изменения механизмов её усвоения, структуры информации, форм её предъявления и/или иного (отличного от традиционного) временного режима занятий [4].

Цели данной технологии – это:

- Сокращение разрыва между увеличением объёма учебной информации и ограниченностью времени обучения.
- Ускорение и интенсификация образовательного процесса за счёт сжатия (концентрации) информации.
- Применение различных видов предъявления информации (аудио-, видео-, кодированного).

Учебная деятельность применяет визуальные средства представления информации – схемы, диаграммы, графики, карты, чертежи.

Эффективное усвоение любых знаний предполагает использование системы визуальных, вербальных и других знаково-символических средств.

Цель применения знаково-символических средств – повысить вероятность сохранения в памяти информации.

Визуальные знаково-символические структуры являются оптимальным и эффективным средством концентрации знания для разнотипных людей, направлены на функциональное замещение объекта.

Достоинство технологии концентрированного обучения: происходит концентрация внимания на блоке учебного материала, формируется системное мышление, что способствует эффективному усвоению знаний.

Главный недостаток технологий концентрированного обучения в том, что в них мало учитывается специфика внимания обучающихся, а именно: невысокий уровень концентрации и устойчивости внимания, обусловленной особенностями функционирования их нервной системы.

Вывод. Ориентировочная основа действий представляет собой систему знаний, которая во многом определяет эффективность обучения. Она составляет основу при подготовке курсанта и проходит в процессе обучения соответствующие формы сокращения до постановки выполняемого действия на автоматизированный контроль. Когда же действие освоено обучающимся до автоматизма, ориентировочная основа действий в умственном плане сворачивается и принимает формы, которые не всегда поддаются самонаблюдению.

Цель достигается последовательным переходом обучающихся от одного указания к другому, с первого раза безошибочно выполняющих каждую операцию и действие в целом. *Это возможно при использовании обучающимися учебно-тренировочных карт (УТК).*

Таким образом, методикой, включающей в себя простоту, наглядность, визуализацию и тренировку является комплекс Учебно-тренировочных Карт (УТК).

Алгоритм разработки УТК.

- 1) Разработать систему знаков (символов), обозначающих действия:
 - ввод;
 - контроль;
 - переключение;
 - регулировка;
 - коммутация и др.
- 2) Последовательность использования техники связи (ТС):
 - включение (коммутация);
 - проверка;
 - ввод режима эксплуатации и др.
- 3) Анализ режимов работы:
 - 1 режим;
 - 2 режим;
 - 3 режим и др.
- 4) Разработка алгоритма настройки ТС в заданном режиме (во всех режимах).
- 5) Отображение алгоритмов в принятой системе знаков.
- 6) Апробация УТК на тестовой группе.
- 7) Анализ результатов тестовой группы.

8) Редакция УТК.

Для простого примера рассмотрим маломощную станцию Р-168-0,1.

1) Для упрощенного восприятия обучающимся учебного материала, введем условные обозначения к УТК:

- кнопка «Тон(-)» – ①;
- кнопка «ПРД+» – ②;
- кнопка «К(РЕЖ)» – ③.

2) Каждый режим работы будет описываться в блок-схеме, которые будут нумероваться и использоваться для описания следующих режимов работы радиостанции:

Например: ①.

3) Так же необходимо комментировать некоторые действия на УТК:

- При выборе номера канала, при помощи кнопки «К(РЕЖ)» в УТК будет уточнение до какого канала:
 - Например: [до 8], что означает переключать до 8 канала.
- При необходимости зажатия той или иной кнопки введем соответствующий комментарий с указанием времени зажатия:
 - Например: [3 сек.], что означает удерживать 3 секунды.

Фрагмент УТК Р-168-0,1 изображен на рисунке.



Рисунок. Фрагмент УТК Р-168-0,1

Список используемых источников

1. Величковский Б. М. Современная когнитивная психология. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1982. 336 с.

2. Дормашев Ю. Б., Романов В. Я. Психология внимания. М.: Тривола, 1995. 347 с.
3. Лурия А. Р. Основные проблемы нейролингвистики. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 253 с.
4. Селевко Г. К. Энциклопедия образовательных технологий. В 2 т. Т. 1. М.: НИИ школьных технологий, 2006. 816 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, профессором СПбГУТ Проценко М. С.*

УДК 621.391.883

М. А. Суранова (студентка, СПбГУТ)

ВЛИЯНИЕ ШУМОВ НА ОСЛАБЛЕНИЕ СИГНАЛА В КАНАЛЕ СВЯЗИ

Среда распространения, или электромагнитный тракт связи, соединяющий передатчик и приемник, называется каналом. Для передачи достоверной информации по цифровым каналам является отношение сигнал/шум.

шум, помехи, отношение сигнал/шум, ослабление, канал связи.

Коэффициент шума и чувствительность тесно связаны между собой. Для цифровых систем связи в качестве количественной меры надёжности часто используется коэффициент битовых ошибок (BER) $\frac{S(W)}{N(R)}$ или вероятность появления битовой ошибки $P(e)$ [2]. С коэффициентом шума коэффициент битовых ошибок связан нелинейно. Например, при постепенном уменьшении отношения сигнал/шум BER резко возрастает вблизи уровня шума, где 1 и 0 приобретают беспорядочный характер. Работоспособность системы характеризует коэффициент шума, а BER показывает, является ли система действующей или неработоспособной. E_b/N_0 – это мера нормиро-

ванного отношения сигнал/шум (SIN или SNR). Уменьшение SNR может происходить двумя способами:

- 1) Путем снижения мощности сигнала;
- 2) Посредством повышения мощности шума или мощности сигналов, интерферирующих с полезным сигналом [2].

Данные механизмы будем называть, соответственно, ослаблением и шумом. Ослабление происходит при поглощении, отклонении или отражении части сигнала при его прохождении к заданному приемнику; таким образом, часть переданной энергии не доходит до пункта назначения. Су-

существует несколько источников электрических шумов и интерференции, возникающих вследствие различных механизмов, – тепловой шум, галактический шум, атмосферные помехи, помехи от коммутирующих элементов и от других источников. На рисунке представлена блочная диаграмма спутникового канала связи с источниками возникновения шумов и ослабления сигнала. Ослабления сигнала показаны затененными, а источники шума – штрихованными прямоугольниками. Источники, ослабляющие сигнал и вносящие шум, представлены сетчатыми прямоугольниками. Ниже рассмотрены источники шумов и потерь (21 наименование) ухудшения качества передачи [3].

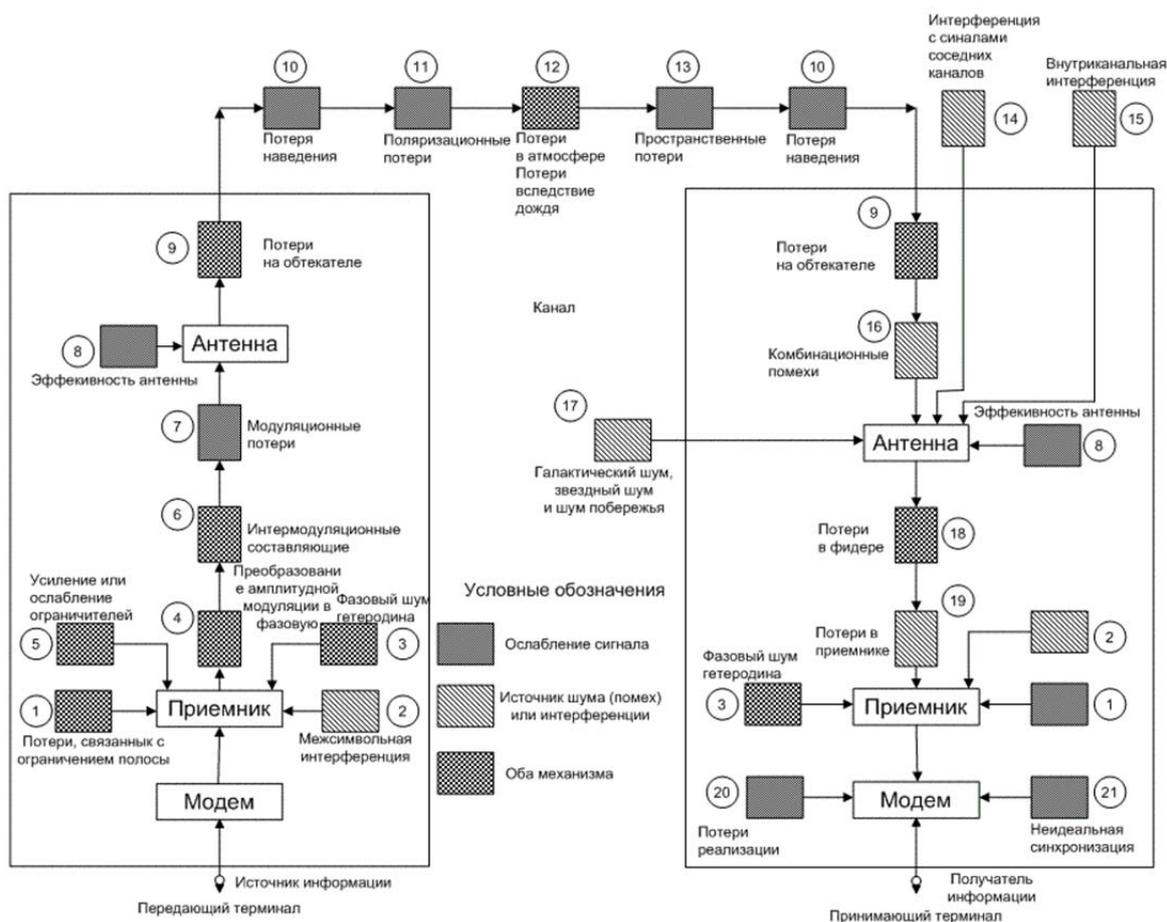


Рисунок. Блочная диаграмма спутникового канала связи с источниками возникновения шумов и ослабления сигнала

1) *Потери, связанные с ограничением полосы.* Для того чтобы передать сигнал по каналу связи выделяется или ограничивается по ширине полоса частот. Для этого в передающем устройстве используются фильтры. Всё это позволяет исключить интерференцию с сигналами других каналов или пользователей. Но подобная фильтрация уменьшает общее количество передаваемой энергии; результат – *ослабление сигнала*.

2) *Межсимвольная интерференция*. Искажения сигнала за счёт откликов на более ранние символы, которые могут проявлять себя как помехи. МСИ зависит от вида АЧХ и ФЧХ фильтров в тракте передаче, структуры и параметров кодовой последовательности

3) *Фазовый шум гетеродина*. При использовании в процессе смешения сигналов гетеродина, случайное смещение фазы добавляет к сигналу *фазовый шум*. При использовании в корреляционном приемнике опорного сигнала случайное смещение фазы может привести к уменьшению возможностей детектора, а, следовательно, к *ослаблению* сигнала. В передатчике случайное смещение фазы может привести к размыванию полосы выходного сигнала, которая затем будет ограничена выходным фильтром, что приведет к ослаблению сигнала [3].

4) *Преобразование амплитудной модуляции в фазовую*. При этом возникают дополнительные боковые полосы, что приводит к ослаблению сигнала.

5) *Усиление или ослабление на ограничителе*. Ограничитель с резким порогом может усилить более мощный из двух сигналов и подавить более слабый; это может привести как к *усилению*, так и к *ослаблению* сигнала

6) *Интермодуляционные составляющие, возникающие в результате взаимодействия нескольких несущих*. Когда несколько сигналов, которые передаются на разных несущих частотах, одновременно присутствуют в нелинейном устройстве, таком, например, как ЛБВ, может возникнуть мультипликативное взаимодействие между частотами несущих, что может привести к возникновению комбинационных сигналов суммарных и разностных частот. Перераспределение энергии между этими паразитными сигналами (интермодуляционные, или ИМ-составляющие) представляет потерю энергии сигнала. Кроме того, если эти ИМ-составляющие появляются в частотной области того или другого полезного сигнала, это приводит к повышению уровня *шума* для соответствующего сигнала.

7) *Модуляционные потери*. Полезной мощностью считается только та мощность, которая связана с сигналами, переносящими информацию. Достоверность передачи является функцией удельной энергии, приходящейся на один символ. Любая мощность, используемая для передачи несущей, отличной от той, что модулирует сигнал (символы), представляет *потери* модуляции

8) *Эффективность антенны*. Антенну можно определить как проводник, используемый для излучения или улавливания электромагнитной энергии из пространства. Для передачи сигнала радиочастотные электрические импульсы передатчика с помощью антенны преобразуются в электромагнитную энергию, которая излучается в окружающее *пространство*. Кроме того, они используются для фокусировки электромагнитной энергии в заданном направлении. Чем больше поверхность антенны, тем выше результирующая плотность мощности сигнала в заданном направле-

нии. Механизмы, приводящие к снижению эффективности (*уменьшению интенсивности сигнала*), называются убыванием амплитуды.

9) *Ослабление и шум на обтекателе*. Обтекатель – это специальная оболочка, применяемая для некоторых антенн в целях защиты от погодных воздействий. Обтекатель, находящийся на пути сигнала, будет рассеивать и поглощать некоторую энергию сигнала, что приведет к ослаблению *сигнала*

10) *Потеря наведения*. Данные потери имеют место только в том случае, когда передающая или принимающая антенна направлена неидеально.

11) *Поляризационные потери*. Поляризация электромагнитного поля определяется как направление в пространстве, вдоль которого лежат силовые линии поля, а поляризация антенны описывается поляризацией её поля излучения. При неверном согласовании передающей и принимающей антенн сигнал может *ослабляться*.

12) *Атмосферные помехи и шум атмосферы*. Атмосфера отвечает за ослабление сигнала, а также вносит нежелательные помехи. Молекулы кислорода и водяного пара излучают шум по всему спектру радиочастот. Часть этого шума, приходящаяся на полосу данной системы связи, ухудшает ее отношение сигнал/шум. Ливень является основной атмосферной причиной *ослабления* сигнала и основным фактором, вносящим *шум*. Чем он интенсивнее, тем большую энергию сигнала он поглотит. Кроме того, в дождливый день через луч антенны, направленный на приемник, проходит больше атмосферных шумов, чем в ясный день.

13) *Пространственные потери*. Интенсивность электрического поля, а следовательно, и интенсивность сигнала уменьшаются с расстоянием. Для канала спутниковой связи пространственные потери – это наибольшие потери, вызванные одним фактором, приводящим к *ослаблению* в системе (данный фактор отнесен к *ослаблению* сигнала, потому что не вся излучаемая энергия фокусируется на целевой принимающей антенне) [3].

14) *Помехи соседнего канала* эти помехи характеризуются нежелательными сигналами соседних каналов.

15) *Внутриканальная интерференция*. Данной *интерференцией* называется ухудшение качества, вызванное интерферирующими сигналами, которые появляются в полосы частот сигнала. Она может вноситься по-разному, например, посредством случайных передач, недостаточного разграничения вертикальной и горизонтальной поляризации или приема паразитных сигналов боковым лепестком антенны. Кроме того, Внутриканальная интерференция может вноситься другими пользователями данного спектра.

16) *Комбинационные помехи*. Интермодуляционные составляющие, происходят от сигналов с множественными несущими, взаимодействующими в нелинейном устройстве. Подобные составляющие иногда называются *активной взаимной модуляцией*; они могут либо приводить к потере

энергии сигнала, либо быть причиной внесения в канал шума. В данном пункте речь идет о *пассивной взаимной модуляции*; это явление вызывается взаимодействием сигналов с множественными несущими, имеющими нелинейные компоненты на выходе передатчика. Эти нелинейности обычно появляются на пересечении соединительных звеньев волноводов, корродированных поверхностях и поверхностях с плохим электрическим контактом. Электромагнитные поля значительной мощности, имеющие диодоподобную характеристику (рабочий потенциал), порождают мультипликативные составляющие, а, следовательно, – помехи. Если подобные помехи будут излучаться на близлежащую принимающую антенну, они могут серьезно ухудшить качество функционирования приемника [1].

17) *Галактический или космический шум, звездный шум и шум побережья*. Все небесные тела, такие как звезды и планеты, излучают энергию. Подобная энергия шума, поступающая в зону обзора антенны, отрицательно сказывается на отношении сигнал/шум.

18) *Потери в фидере*. Уровень принятого сигнала может быть крайне; следовательно, он может быть особенно чувствителен к воздействию шума. По этой причине в начале приемника находится область, где прилагаются значительные усилия, чтобы максимально снизить уровень шума, пока сигнал не будет в достаточной степени усилен. Волновод или кабель (фидер) между принимающей антенной и собственно приемником не только приводит к поглощению сигнала, но и вносит тепловой шум.

19) *(Собственный) шум приемника*. Это тепловой шум, который порождается приемником;

20) *Потери аппаратной реализации*. Эти потери представляют собой разность между теоретической эффективностью обнаружения и реальной, определяемой несовершенством системы: ошибками синхронизации, уходом частоты, конечными временами нарастания и спада сигналов и конечной арифметикой.

21) *Неидеальная синхронизация*. Если фаза несущей, фаза поднесущей и синхронизация символов организованы идеально, вероятность ошибки представляет собой однозначную функцию отношения E_b/N_0 . К сожалению, названные величины реализуются не идеально, что приводит к *потерям*.

Список используемых источников

1. Васильев К. К., Глушков В. А., Дормидонтов А. В., Нестеренко А. Г. Теория электрической связи: учебное пособие / под общ. ред. К. К. Васильева. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 452 с.

2. Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах. Заметки по применению 57-1 [Электронный ресурс] // Agilent Technologies. URL: <http://radiorf.ru/wp-content/uploads/2014/11/Osnovy-izmereniya-koeffitsienta-shumav-radiochastotnom-i-mikrovolnovom-diapazonah.pdf>.

3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2003. 1104 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, старшим преподавателем СПбГУТ Сагдеевым А. К.

УДК 621.3

А. А. Суюндукова (студентка, СПбГУТ)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПТОВОЛОКОННОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

В данной статье рассмотрены преимущества и недостатки оптоволоконной линии связи. Для более подробного рассмотрения изучаемого материала необходимо обратиться к краткой истории оптоволокна, изучить строение, виды и принцип передачи по оптоволоконной линии. К преимуществам относятся – дальность распространения и полоса пропускания, компактность, высокий срок эксплуатации, защита от несанкционированного доступа, а к недостаткам – высокая стоимость материалов, установки и эксплуатации.

оптоволокно, коаксиальный кабель, стеклянная нить, передача информации.

Оптоволокно – это продукт будущего, который в скором времени, возможно, станет главным средством передачи информации. Многие источники [1] утверждают, что благодаря оптоволокну происходит стремительное развитие коммуникации и именно из-за него Интернет занял пьедестал средств массовой информации. Возможно, все не так радужно, а значит, оптоволокно не идеальный материал и имеет недостатки. В статье рассмотрены преимущества и недостатки оптоволокна посредством аналитики – составлена сравнительная характеристика оптоволокна и коаксиального кабеля. В итоге нашелся ответ вопрос, что на сегодняшний день рациональней использовать в роли средства проводниковой связи.

История развития волоконно-оптической линии связи берет начало с середины XX столетия, однако волоконная оптика появилась гораздо раньше. В 1890 г. ученые Даниел Колладон и Жак Бабинетт продемонстрировали эксперимент с переменной направлением светового пучка путем преломления. В 20-х годах XX в. физики Кларенс Хаснелл и Джон Берд представили публике эксперимент, благодаря которому появилась возможность передачи изображения через оптические трубки. И лишь в 1952 г. Нариндер Сингх Капан (Индия) изобрел оптоволокно.

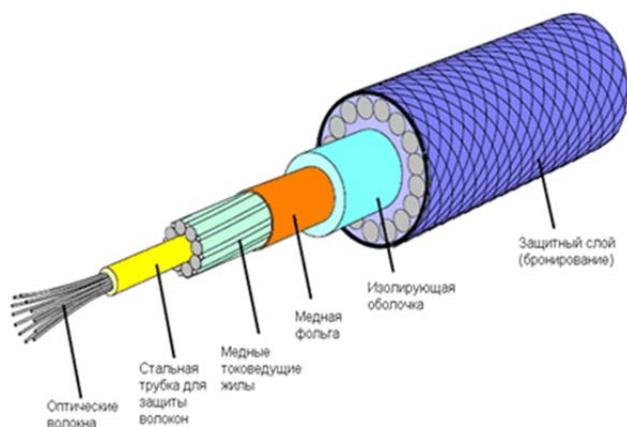


Рис. 1. Строение оптоволоконна

Строение оптоволоконна представляет собой тонкую стеклянную нить, закрученную пластиковым защитным слоем. Нить оптоволоконна состоит также из двух частей: внутренняя сердцевина и наружная оболочка (рис. 1).

Строение оптоволоконна схоже с коаксиальным электрическим кабелем, отличаясь лишь сердцевиной. У коаксиального кабеля – медь.

Принцип передачи информации: свет, введенный в стеклянную сердцевину, проходит в ней, многократно отражаясь от её границы с оболочкой. Метод носит название полного внутреннего отражения света от границы двух веществ с разными коэффициентами преломления (у стеклянной оболочки коэффициент преломления значительно ниже, чем у центрального волокна) (рис. 2).

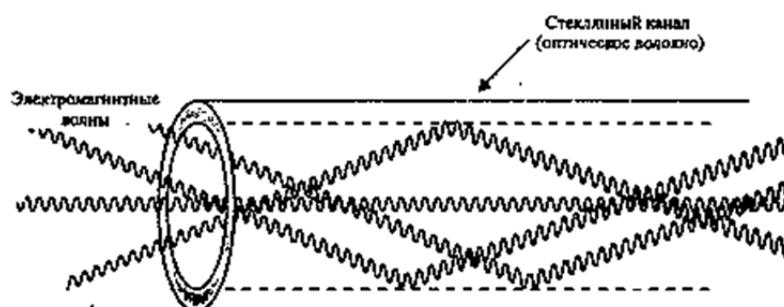


Рис. 2. Принцип передачи информации

Существуют два вида оптоволоконна: многомодовое и одномодовое. Внешне они практически неотличимы, но совершенно различаются в строении и применении. Многомодовое оптоволоконно имеет большую светопроводящую сердцевину (50–60 мкм). Применяется для прокладки сетей небольшой протяженности (до 1 км), поскольку происходит размывание формы импульса сигнала. Преимущество по сравнению с одномодовым волокном – стоимость эксплуатации. У одномодового оптоволоконна тонкая светопроводящая сердцевина (7–13 мкм), поэтому данное волокно используется на расстоянии в десятки, сотни километров.

Рассмотрим изучение преимуществ и недостатков оптоволоконна по сравнению с коаксиальным кабелем. На мой взгляд, первоочередным параметром, показывающим актуальность того или иного кабеля, является дальность распространения и полоса пропускания (табл.).

ТАБЛИЦА. Сравнение оптоволокна с коаксиальным кабелем

	ВОЛС (волоконно-оптическая линия связи)	Коаксиальный кабель
Полоса пропускания, МГц	1 014	300
Расстояние, м	200 000	800

Вторым немало важным преимуществом является компактность. Оптический кабель намного тоньше и легче, чем коаксиальный. Например, один оптоволоконный кабель может содержать 144 волокна, а 900-парный телефонный кабель диаметром 7,5 см, может быть заменен одним волокном с диаметром 0,1 см.

На оптоволоконные кабели совершенно не воздействуют электромагнитные помехи, радиочастотные помехи, молнии и скачки высокого напряжения. Они не зависимы от проблем ёмкостных или индуктивных сопряжений, а также не создают никаких электромагнитных или радиочастотных помех. Что нельзя сказать о кабельных линиях связи

Рабочие температуры для оптического волокна изменяются, но обычно они лежат в диапазоне от -40 до $+80$ °С. Таким образом, оптоволокно надежнее коаксиального.

Срок эксплуатации оптических линий связи составляет 25 лет, когда у коаксиальных – 10 лет. Компании по прокладке линий связи указывают на лёгкость в работе по прокладке, сращиванию и конфекционированию.

В век инновационных технологий, виртуальных преступлений, хакерства к немаловажному плюсу нельзя не отнести защиту от несанкционированного доступа. Информацию, передающуюся по ВОЛС практически невозможно перехватить кабельным способом.

В статье были представлены лишь основные преимущества волоконно-оптической линии связи. Кроме достоинств существует еще один, очень важный недостаток – стоимость элементов линии, её прокладки и эксплуатации.

Поэтому на данный момент на мировом рынке преобладает все-таки кабельные линии связи, поскольку они дешевле. Возможно, если ученые разработают аналоговое, более дешевое сырье для создания ВОЛС, оптоволокно вытеснит с рынка кабель.

Из-за высокой стоимости оптоволокно используется в локальных компьютерных сетях, в машиностроении, а также в производстве промышленного оборудования. Исходя из его плюсов, не трудно догадаться, что оптоволоконные линии востребованы там, где необходима надежная передача информации и ограничена прокладка кабелей в пространственном отношении.

Список используемых источников

1. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика. Теория и практика. М.: Кудиц-Образ, 2006. 320 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, старшим преподавателем СПбГУТ Сагдеевым А. К.

УДК 004.386**Ю. А. Фролова, П. А. Чагин** (студенты, СПбГУТ)**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПАНИИ «СУПЕРТЕЛ»
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В сетях связи специального назначения используется оборудование отечественного производства. Компания «Супертел» является одной из компаний, которая предоставляет свои услуги в сфере телекоммуникаций для удовлетворения потребностей государства. В данной статье рассматривается ПО (программное обеспечение) «Супертел-NMS» виртуальный тренажер, сети связи специального назначения «Супертел» для работы с оборудованием, а также управления и конфигурирования сетей.

сети связи специального назначения, виртуальный тренажер, программное обеспечение, «Супертел-NMS», сетевой элемент.

В сетях связи специального назначения (СССН) используется оборудование отечественного производства. Компания «Супертел» является одной из компаний, которая предоставляет свои услуги в сфере телекоммуникаций для удовлетворения потребностей государства. Для работы с оборудованием, а также управления и конфигурирования сетей, она предоставляет своё ПО (программное обеспечение) «Супертел-NMS» (см. рис. 1).

Программное обеспечение «Супертел-NMS» обеспечивает следующее возможности:

- 1) Управление конфигурацией сетевых элементов и сети связи;
- 2) Создание и редактирование схем сетей и подсетей связи;
- 3) Создание и конфигурирование сетевых элементов;
- 4) Создание трасс и коммутацию каналов;
- 5) Установка режимов работы блоков;
- 6) Установка порогов аварий;
- 7) Администрирование;
- 8) Восстановление данных;

- 9) Получение полного списка аварийных событий;
- 10) Отчет о действиях оператора;
- 11) Управление устранением неисправностей;
- 12) Обнаружение неисправности или ухудшения качества связи;
- 13) Локализацию аварий;
- 14) Регистрацию аварий;
- 15) Классификацию аварий по категориям важности;
- 16) Отображение полной информации об авариях;
- 17) Контроль технических характеристик;
- 18) Постоянный контроль работы всего оборудования;
- 19) Контроль по показателям ошибок в течение определенных временных интервалов;
- 20) Управление допуском в nms;
- 21) На основе полномочий и паролей;
- 22) Ведение журнала регистрации [1].

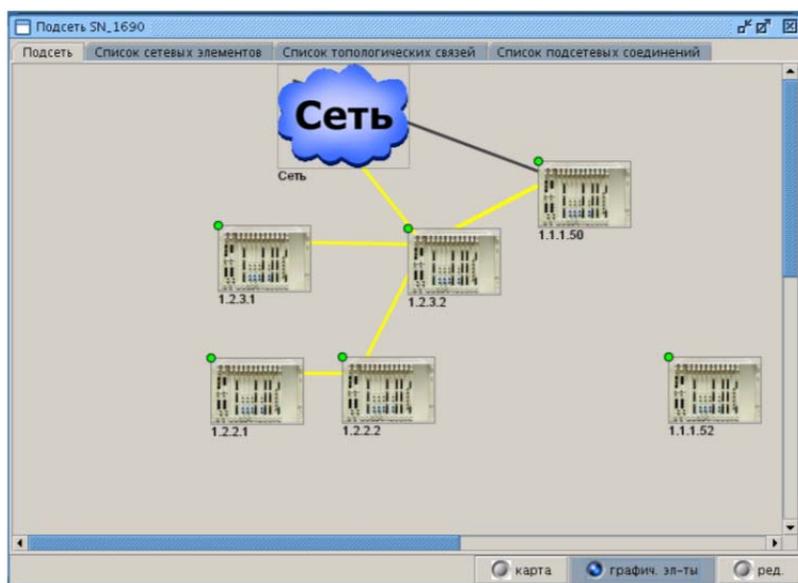


Рис. 1. Программа «Супертел-NMS»

Для работы в программе необходимо установить её на компьютер пользователя и подключиться к сети. Также, необходимо правильно установить сетевые параметры клиента (IP-адрес, маска сети, шлюз, таблица маршрутизации).

В «Супертел-NMS v2» для управления системой связи реализована многоуровневая система доступа [2]. Каждая группа пользователей имеет определённые разрешения и ограничения на действия в программе.

Администратор системы – обеспечивает управление режимом работы системы и регистрацией пользователей. Имеет доступ к ресурсам сети на уровне пользователя (только на чтение). Только администратор системы

определяет и может изменять в процессе работы пароль для каждого пользователя, составляет и редактирует список персонала.

Администратор сети – обеспечивает управление всеми ресурсами сети и любыми режимами работы оборудования.

Оператор – обеспечивает управление ресурсами сети на уровне топологических связей, подсетевых соединений и компонентных портов оборудования.

Пользователь – имеет право на просмотр состава и состояния ресурсов сети, просмотр и регистрацию неисправностей (аварий).

Удаленный пользователь – имеет право на:

- управление включением/отключением/созданием/удалением тех подсетевых соединений (трасс), использование и управление, которыми ему разрешено;

- просмотр статистики в местах окончания подсетевых соединений;
- контроль состояния компонентного интерфейса, через который передается трафик, наблюдение за которым ему разрешено [2].

Суперпользователь имеет допуск ко всем пунктам и разделам систем.

Данная многоуровневая система доступа позволяет:

- обеспечить защиту информации;
- распределить задачи по настройке и поддержанию работоспособности сети между обслуживающим персоналом;
- обучать специалистов на реально работающей сети [2].

Для обучения персонала и специалистов к работе с системой управления «Супертел-NMS v2» и оборудованием ОАО «Супертел» дополнительно разработана программа «Тренажёр». Она позволяет не только изучать оборудование производства ОАО «Супертел» (МП, КЦС, СМ-1/4, СМВВ-1М, МКСС, ОСМ-К), но и эмулировать работу самих устройств. Совместное использование программ «Супертел-NMS v2» и «Тренажёр» позволяет создать виртуальную сеть PDH и SDH с неограниченным количеством устройств, что в свою очередь позволяет упростить процесс обучения.

Уникальность данного программного обеспечения в том, что оно позволяет выполнить полную эмуляцию блоков устройств (см. рис. 2), тем самым, даёт возможность работать совместно с программой «Супертел-NMS» 2-й и 3-й версии. Также, предусмотрен автоматический контроль состояния сети, соединительных линий и трасс. На выбор оператора предусмотрена автоматическая прокладка трасс по определенным критериям.

Существенным недостатком ПО «Тренажер» является сложность настройки конфигурационных файлов эмуляции устройств и топологий сети. Она заключается в том, что перед началом работы требуется установка на компьютер пользователя программы «Супертел-NMS» и сопутствующих программ. Также, необходимо выделить отдельный сервер с запущенной программой «Тренажер», которая выполняет роль эмуляции оборудо-

вания. Администратор вручную устанавливает сетевые параметры устройств, делая запись в конфигурационный файл с помощью xml-разметки. Данная настройка заключается в присвоение каждому типу оборудования доступный диапазон IP-адресов и другие сетевые параметры. Из-за этого, пользователь не имеет возможность гибко изменять настройки устройства в полном объеме. Следовательно, работа с консолью оборудования в ПО «Тренажер» невозможна.

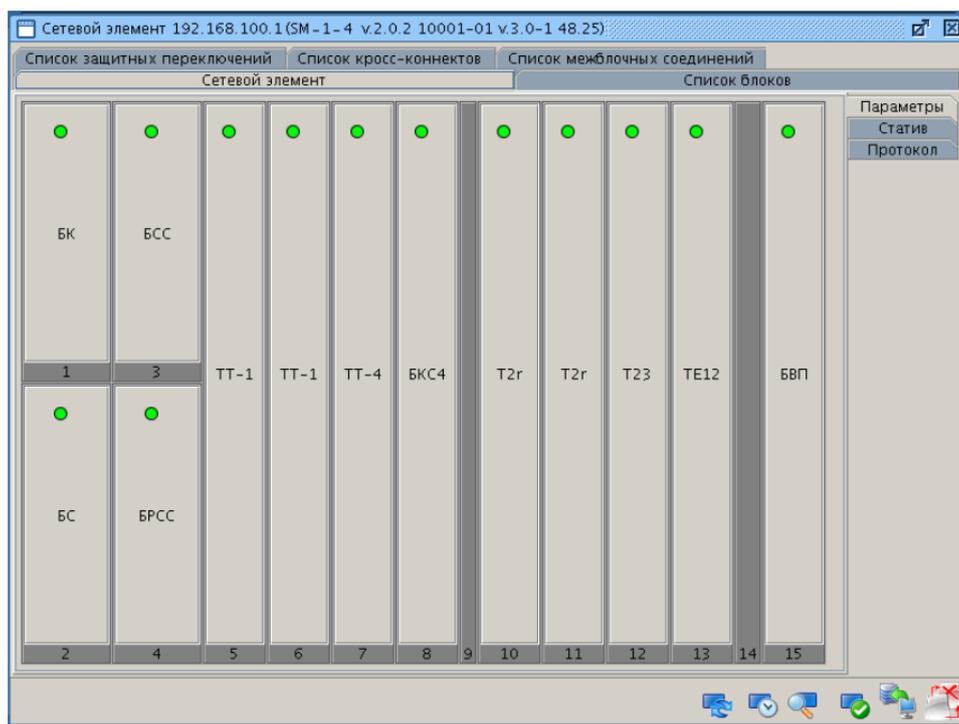


Рис. 2. Управление сетевым элементом

Список используемых источников

1. Супертел [Электронный ресурс]. URL: <http://www.supertel.ru/supertelnms/> э
2. Супертел [Электронный ресурс]. Программное обеспечение сетевой системы управления аппаратурой электросвязи «Супертел-NMS v2». Управление системой. Руководство оператора. 2017. ТАИЦ.00011-01 34 01. С. 62–69. URL: <ftp://ftp.supertel.ru/pub/NMSv2/doc/00011-34-01-333.pdf>.

*Статья предоставлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Стахеевым И. Г.*

УДК 621.396.67

С. О. Широков (студент, СПбГУТ)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ АНТЕННЫ

В работе приведена методика оценки эффективности подземной антенны в однородной безграничной проводящей среде с учетом конструкции плеча симметричного вибратора, а также для разных видов синфазных систем проводников.

подземная антенна, коэффициент усиления.

Подземная антенна (ПА) – это антенное устройство, расположенное под поверхностью земли и предназначенное для излучения или приема радиоволн (рис. 1).

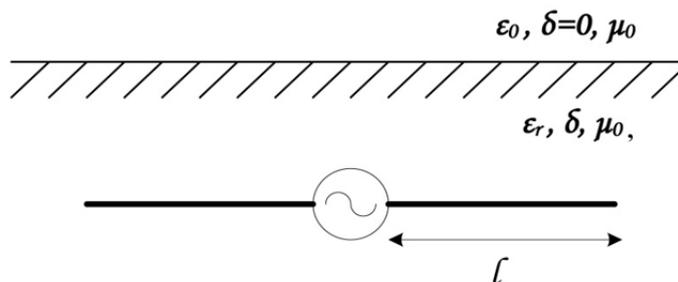


Рис. 1. Симметричная подземная антенна

Далее представлена методика оценки эффективности ПА в однородной безграничной проводящей среде с учетом конструкции плеча симметричного вибратора.

КУ ПА в общем виде определяется выражением [1, с. 55]:

$$Ga = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \operatorname{Re}(\sqrt{\epsilon_r'})^2, \quad (1)$$

где A – эффективная площадь антенны, определяемая выражением (2), $\epsilon_r' = \epsilon_r - i 60\sigma \lambda$ – относительная комплексная диэлектрическая проницаемость среды заложения антенны.

$$A = \frac{30 \pi |l_{\text{да}}|^2}{R_a \operatorname{Re}\sqrt{\epsilon_r'}}, \quad (2)$$

где $R_a = \operatorname{Re}Z_a$ – активное сопротивление ПА, где Z_a – полное сопротивление для разомкнутого проводника определяется выражением (3), $l_{\text{да}}$ – действующая длина антенны, рассчитывается согласно выражения (4).

$$Z_a = 2\rho \operatorname{cthy} l, \quad (3)$$

$$l_{\text{да}} = \frac{2}{\gamma} \operatorname{th} \frac{\gamma l}{2}. \quad (4)$$

Выражения (1)–(4) позволяют оценить основные параметры ПА. Вторичные волновые параметры: волновое сопротивление и γ -постоянная распространения, определяются для каждого вида конструкции в отдельности.

Для цилиндрического проводника (рис. 2а) кругового сечения радиуса a в безграничной проводящей среде:

$$\begin{aligned} \gamma &= ik = im\sqrt{\varepsilon_r}, \\ \rho &\approx -\frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \left(\frac{ika\chi}{2} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

где k – волновое число в проводящей среде, m – волновое число в свободном пространстве, $\chi = e^C = 1,781$, где C – постоянная Эйлера.

Для проводника эллиптического сечения (см. рис. 2в) с полуосями a и b :

$$\rho \approx -\frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \left(\frac{ik(a+b)\chi}{4} \right).$$

Постоянная распространения γ определяется выражением (5).

Волновое сопротивление пластинчатого проводника (рис. 2б) шириной d :

$$\rho \approx -\frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \left(\frac{ikd\chi}{8} \right).$$

Постоянная распространения γ также определяется выражением (5).

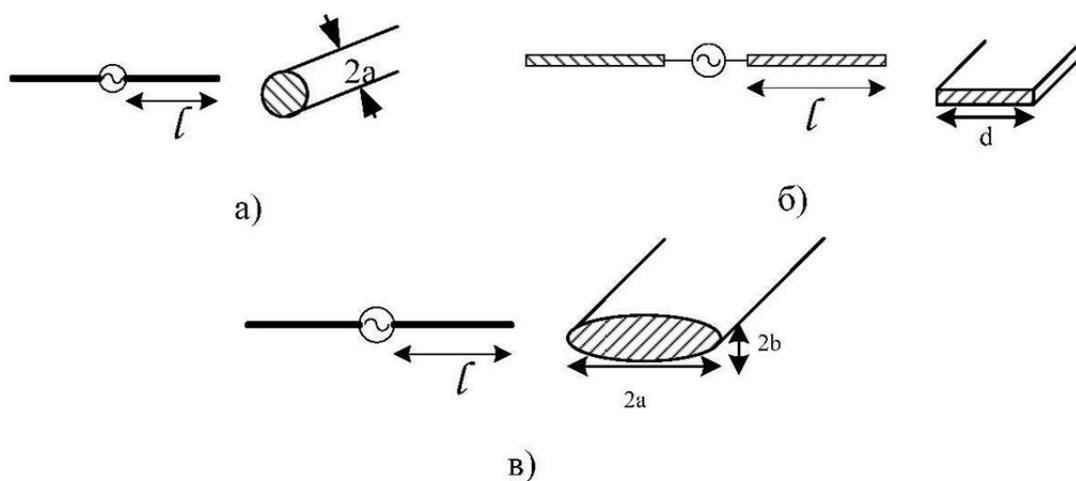


Рис. 2. Проводники: а) цилиндрический, б) пластинчатый, в) эллиптического сечения

Волновые параметры синфазной системы проводников, расположенных либо в плоскости (рис. 3а), либо по образующей цилиндра (рис. 3б) определяются аналогично определению γ и ρ уединенных проводников, но радиус проводника (радиус изоляции) заменяется его эквивалентным значением, которое вычисляется выражениями (9) и (10):

$$d_э = \frac{nd}{4} \sqrt[n]{\frac{4a}{d}}, \quad (9)$$

для n -проводников, расположенных в плоскости на расстоянии d друг от друга (см. рис. 3а).

$$a_э = R \sqrt[n]{\frac{an}{R}}, \quad (10)$$

для n -проводников, расположенных по образующей цилиндра радиуса R (см. рис. 3б).

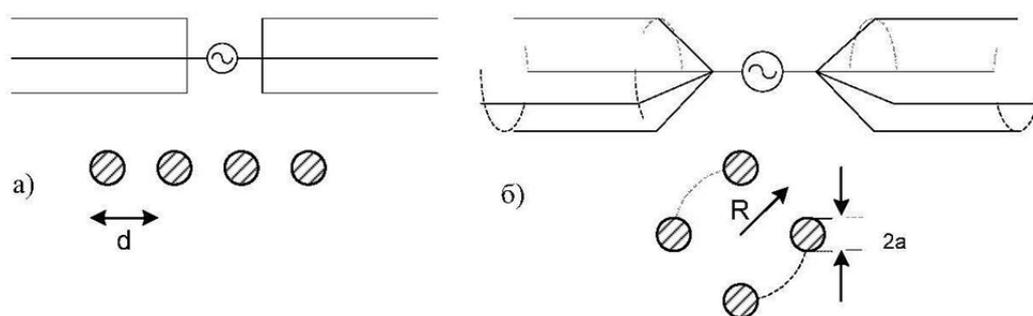


Рис. 3. Проводники, расположенные в плоскости (а) и по образующей цилиндра (б)

Волновые параметры цилиндрического проводника в однослойной изоляции с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ'_{r1} , помещенного в однородную изотропную среду с относительной комплексной проницаемостью ϵ'_{r2} (рис. 4а), в зависимости от электрической длины плеча $\beta l = \left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right) 60\sigma_2\lambda$, определяются следующими выражениями [1, с. 64]: при $\beta l < (\pi/2... \pi)$:

$$\gamma = ik_2 \sqrt{\left(\ln \frac{l}{a_1} - 1\right) \left(\ln \frac{a_2}{a_1} + \ln \frac{l}{a_2} - 1\right)^{-1}},$$

$$\rho = \frac{60}{\sqrt{\epsilon'_{r2}}} \sqrt{\left(\ln \frac{l}{a_1} - 1\right) \left(\ln \frac{a_2}{a_1} + \frac{\epsilon'_{r2}}{\epsilon'_{r1}} \left(\ln \frac{l}{a_2} - 1\right)\right)},$$

где a_2 – радиус изоляции, a_1 – радиус проводника.

При $\beta l > (\pi/2 \dots \pi)$:

$$\gamma = ik\sqrt{\varepsilon'_{r2}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 a_1 \chi}{2}\right) \left(\ln \frac{ik_2 a_2 \chi}{2} - \frac{\varepsilon'_{r2}}{\varepsilon'_{r1}} \ln \frac{a_2}{a_1}\right)^{-1}},$$

$$\rho = -\frac{60}{\sqrt{\varepsilon'_{r2}}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 a_1 \chi}{2}\right) \left(\ln \frac{ik_2 a_2 \chi}{2} - \frac{\varepsilon'_{r2}}{\varepsilon'_{r1}} \ln \frac{a_2}{a_1}\right)}.$$

Благодаря уменьшению концентрации радиальной компоненты электрического поля вблизи поверхности проводника потери в окружающей его полупроводящей среде снижаются. Усиление, КПД антенны из изолированного провода растет примерно пропорционально логарифму его радиуса. Для дальнейшего снижения потерь в непосредственной близости от проводника его целесообразно окружить диэлектрической оболочкой [2, с. 154].

Волновые параметры пластинчатого проводника ширины d в однослойной изоляции с относительной диэлектрической проницаемостью ε'_{r1} , помещенного в однородную изотропную среду с относительной комплексной проницаемостью ε'_{r2} (см. рис. 4б) [3, с. 107].

$$\gamma = ik\sqrt{\varepsilon'_{r2}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 d \chi}{8}\right) \left(\ln \frac{ik_2 (a+b) \chi}{4} - \frac{\varepsilon'_{r2}}{\varepsilon'_{r1}} \ln \frac{2(a+b)}{d}\right)^{-1}},$$

$$\rho = -\frac{60}{\sqrt{\varepsilon'_{r2}}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 d \chi}{8}\right) \left(\ln \frac{ik_2 (a+b) \chi}{4} - \frac{\varepsilon'_{r2}}{\varepsilon'_{r1}} \ln \frac{2(a+b)}{d}\right)}.$$

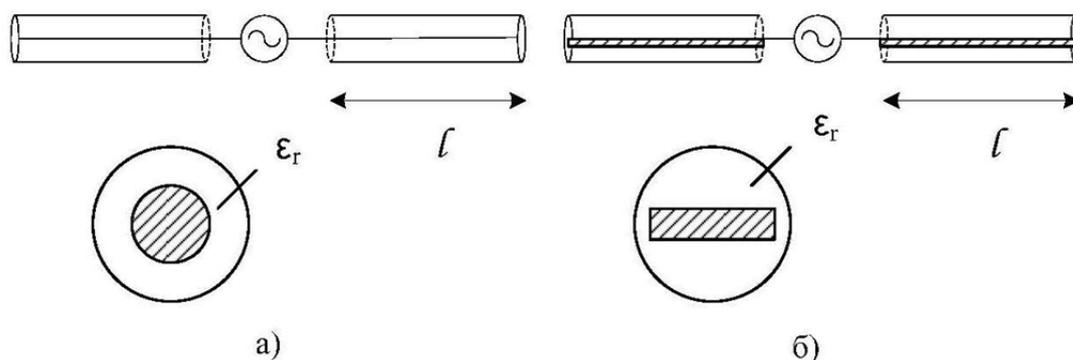


Рис. 4. Подземная антенна с цилиндрическим проводником в изоляции (а) и с пластинчатым проводником (б)

Волновые параметры для синфазной системы, выполненной в виде проводников по образующей цилиндра, в однослойной изоляции с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ'_{r1} , помещенного в однородную изотропную среду с относительной комплексной проницаемостью ϵ'_{r2} (рис. 5а) [1, с. 68]:

$$\gamma = ik\sqrt{\epsilon'_{r2}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 a_{1\phi} \chi}{2}\right) \left(\ln \frac{ik_2 a_{2\phi} \chi}{2} - \frac{\epsilon'_{r2}}{\epsilon'_{r1}} \ln \frac{a_{2\phi}}{a_{1\phi}}\right)^{-1}},$$

$$\rho = -\frac{60}{\sqrt{\epsilon'_{r2}}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 a_{1\phi} \chi}{2}\right) \left(\ln \frac{ik_2 a_{2\phi} \chi}{2} - \frac{\epsilon'_{r2}}{\epsilon'_{r1}} \ln \frac{a_{2\phi}}{a_{1\phi}}\right)},$$

где $a_{2\phi}$ и $a_{1\phi}$ определяются выражением (10).

Для синфазной системы, выполненной в виде проводников, расположенных в плоскости (рис. 5б) [1, с. 73]:

$$\gamma = ik\sqrt{\epsilon'_{r2}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 d_3 \chi}{8}\right) \left(\ln \frac{ik_2 (a+b) \chi}{4} - \frac{\epsilon'_{r2}}{\epsilon'_{r1}} \ln \frac{2(a+b)}{d_3}\right)^{-1}},$$

$$\rho = -\frac{60}{\sqrt{\epsilon'_{r2}}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 d_3 \chi}{8}\right) \left(\ln \frac{ik_2 (a+b) \chi}{4} - \frac{\epsilon'_{r2}}{\epsilon'_{r1}} \ln \frac{2(a+b)}{d_3}\right)},$$

где d_3 определяется выражением (9).

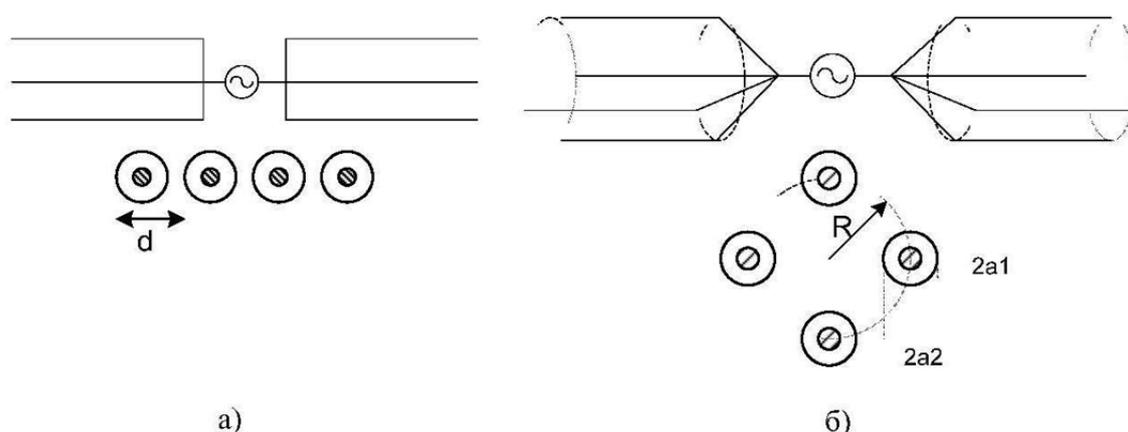


Рис. 5. Проводники, расположенные в плоскости, в изоляции (а) и по образующему цилиндру (б)

Данная методика позволяет рассчитать КУ ПА для различных конструкций плеча ПА, что позволяет оценить, какая из рассмотренных будет

иметь лучшие характеристики при использовании ПА в различных средах и с различными параметрами в реальных условиях заложения.

Список используемых источников

1. Каменев В. В., Сосунов Б. В., Проценко М. С., Щербаков Д. С. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства / под ред. В. В. Каменева. СПб.: ВАС, 2007. 260 с.
2. Сосунов Б. В., Филиппов В. В. Основы расчета подземных антенн. Л.: ВАС, 1990, 82 с.
3. Кинг Р., Смит Г. Антенны в материальных средах / пер. с англ. М.: Мир, 1984. 824 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Проценко М. С.

УДК 621.396.67

С. О. Широков (студент, СПбГУТ)

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ АНТЕНН ОТ КОНСТРУКЦИИ ПЛЕЧА

В работе проведен анализ функционирования подземных антенн для воздушных радиолиний. Рассмотрены основные виды конструкции плеча подземной антенны. Проведен анализ зависимости коэффициента усиления подземной антенны от длины плеча.

подземная антенна, коэффициент усиления.

Подземная антенна (ПА) – это антенное устройство, расположенное под поверхностью земли и предназначенное для излучения или приема радиоволн (рис. 1).

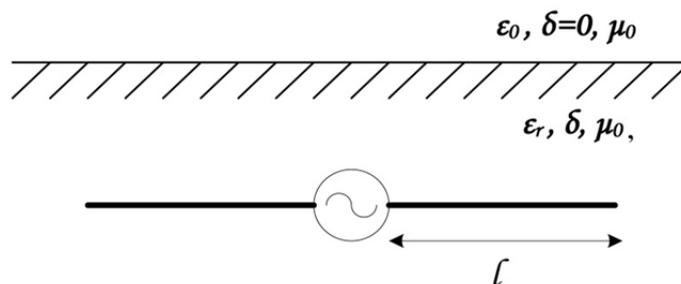


Рис. 1. Симметричная подземная антенна

Плечо ПА может быть выполнено в виде различных конструкций, в работе рассмотрены: цилиндрический проводник радиуса a (рис. 2а), пластинчатый проводник ширины d (рис. 2б) и проводник эллиптического сечения с полуосями a и b (рис. 2в).

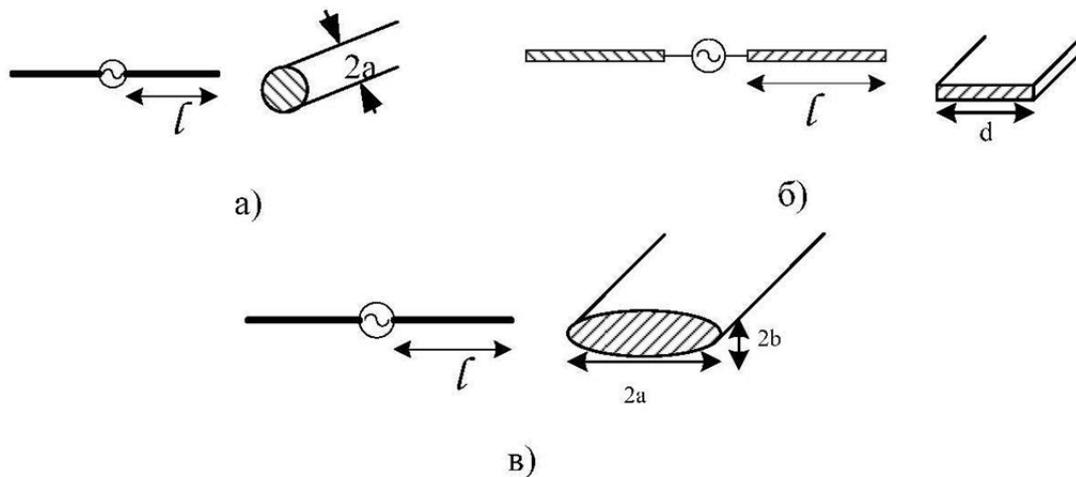


Рис. 2. Проводники: а) цилиндрический, б) пластинчатый, в) эллиптического сечения

Для снижения воздействия факторов (расположение ПА в диссипативной среде, потери в ближней зоне проводимости), влияющих на эффективность подземных антенн и увеличения КУ в работе рассмотрены следующий метод: непосредственное окружение проводника, посредством изоляции (рис. 3) [2, с. 67].

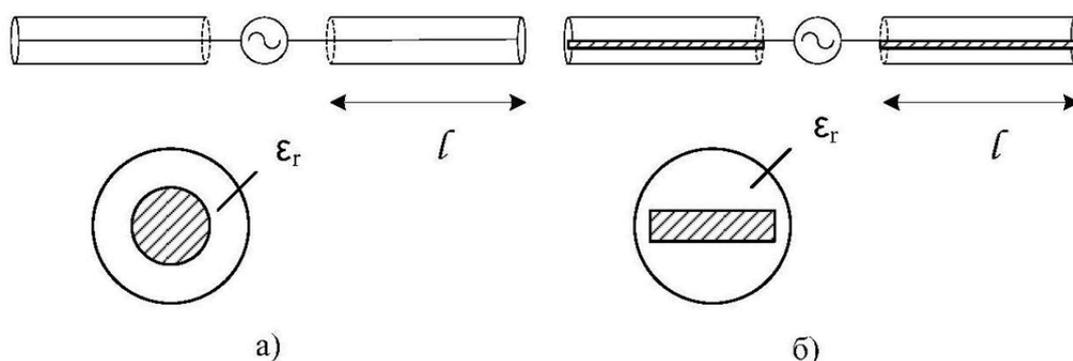


Рис.3. Подземная антенна с цилиндрическим проводником в изоляции (а) и с пластинчатым проводником (б)

Для повышения эффективности и КУ ПА применяют синфазные системы проводников, расположенных либо в плоскости (рис. 4а), либо по образующей цилиндра (рис. 4б).

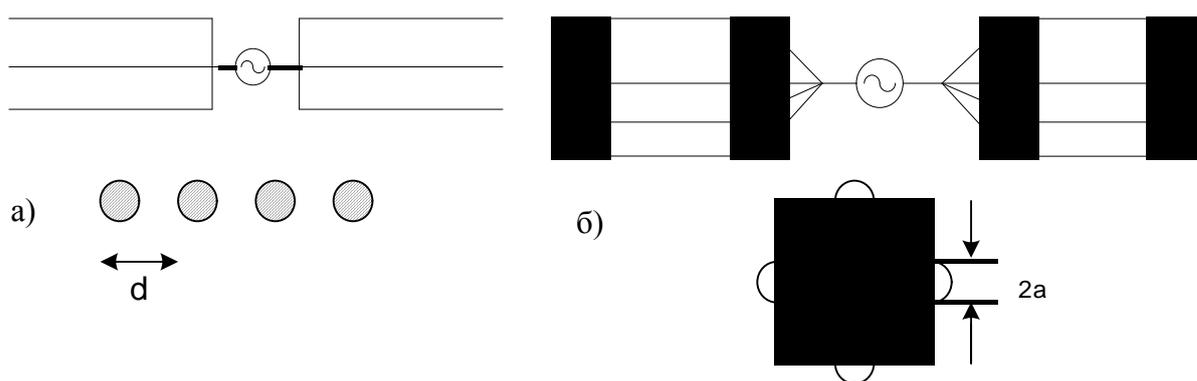


Рис. 4. Проводники, расположенные в плоскости (а) и по образующему цилиндру (б)

Для повышения эффективности синфазных систем их также помещают в изоляцию, что способствует улучшению функционирования ПА и повышению КУ [2, с. 69].

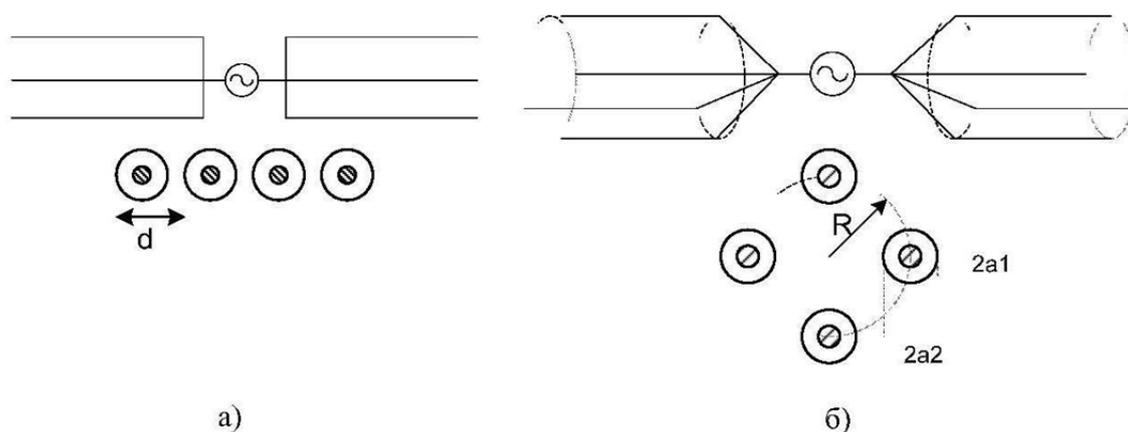


Рис. 5. Проводники, расположенные в плоскости, в изоляции (а) и по образующему цилиндру (б)

Далее проведен анализ использования ПА в сильно проводящих почвах ($\epsilon_r = 20$, $\sigma = 10^{-1}$ см/м), средне проводящих почвах ($\epsilon_r = 10$, $\sigma = 10^{-2}$ см/м) и слабо проводящих почвах ($\epsilon_r = 4$, $\sigma = 10^{-3}$ см/м) [1, с. 102].

На первом графике (рис. 6) представлена зависимость КУ от длины плеча классических проводников, находящиеся в средне проводящей почве, цилиндрический проводника радиус $a = 0,001$ м, пластинчатого проводника диаметром $d = 0,01$ м и эллиптического проводника с радиусом полуосей $a = 0,015$ м и $b = 0,05$ м на длине волны $\lambda = 10, 30, 100$ м.

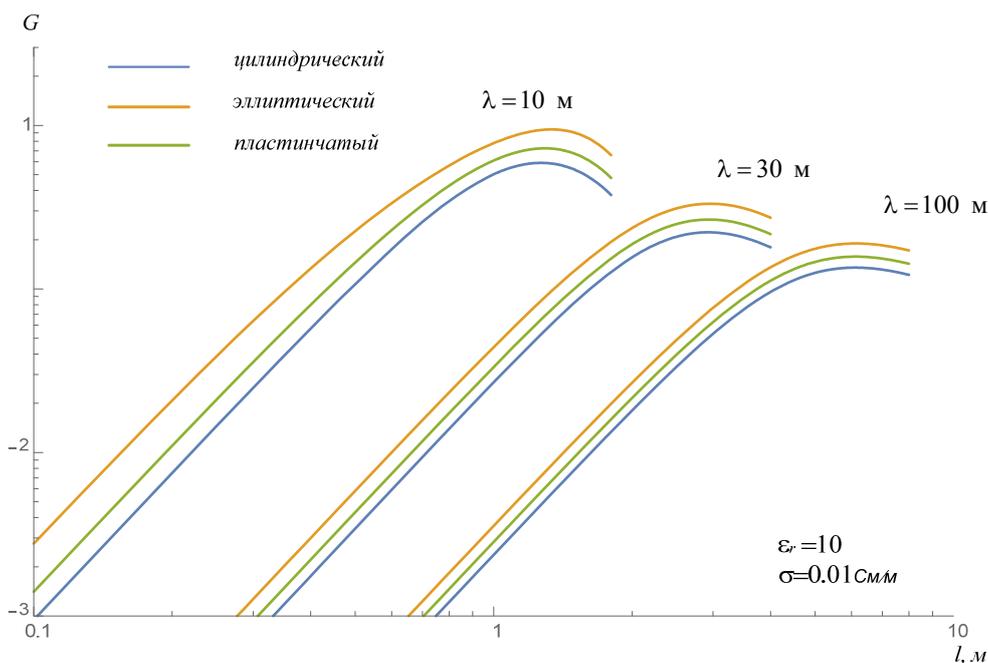


Рис. 6. Рафик зависимости КУ ПА от длины плеча для длин волн 10, 30, 100 м

Как видно из графика (см. рис. 6) наилучшими характеристиками обладает эллиптический проводник. Как бы то ни было, ПА, выполненные из неизолированного проводника, не находят практического применения ввиду их крайне низкой эффективности. КУ таких антенн в сотни раз меньше, чем у вибраторов, расположенных в воздухе.

Рассмотрим на графике на (см. рис. 8), во сколько раз надо увеличить диаметр изоляции, чтобы увидеть реальный выигрыш КУ для ПА, при условии, что ПА, радиусом $a = 0,001$ м находящаяся в средне проводящей почве при длине волны $\lambda = 30$ м.

Далее рассмотрено насколько целесообразно использование синфазных систем (будем рассматривать проводники, расположенные по образующей цилиндра) и сравним КУ такой системы с цилиндрическим проводником и с цилиндрическим проводниками в изоляции.

На графике (рис. 7) приведено сравнение КУ ПА, выполненной из классического цилиндрического проводника радиуса $a_1 = 0,01$ м, цилиндрического проводника в изоляции с радиусом изоляции $a_2 = 0,07$ м, и синфазной системы из четырёх проводников радиуса $a = 0,01$ м, находящихся по образующей цилиндра с радиусом $R = 1$ м, а также синфазную систему выполненную из четырёх изолированных проводников, с радиусом изоляции $a = 0,07$ м, расположенные по образующей цилиндра с радиусом $R = 1$ м.

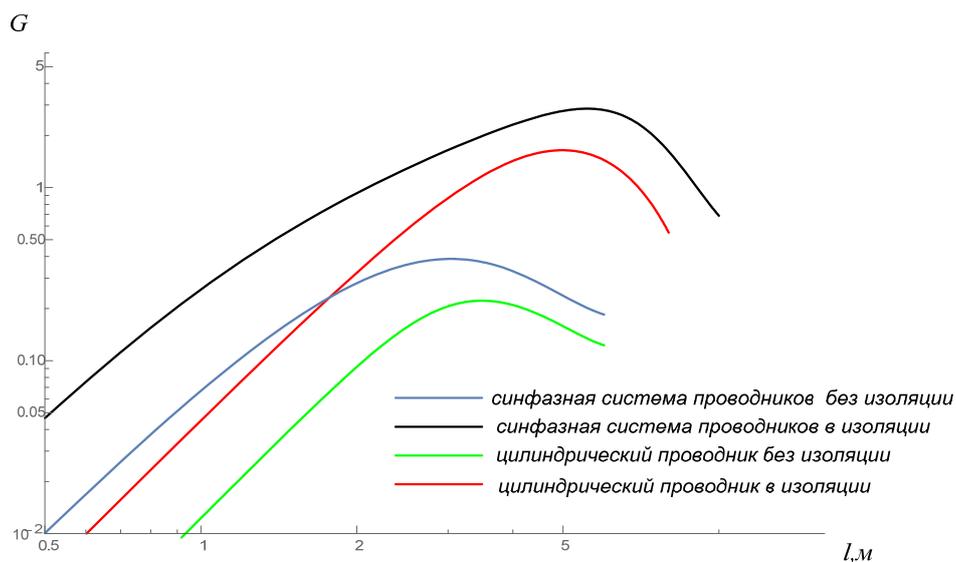


Рис. 7. КУ ПА, выполненные из различных конструкций

По данным графика (рис. 7), видно, что использование синфазных систем дает качественное увеличение КУ ПА. По данным графика определено, что наилучшими свойствами обладает синфазная система проводников, помещенных в изоляцию, диаметр которой в несколько раз превышает диаметр провода.

Далее проведен анализ трёх видов почв: сильно проводящие ($\epsilon_r = 20$, $\sigma = 10^{-1}$ см/м), средне проводящие ($\epsilon_r = 10$, $\sigma = 10^{-2}$ см/м) и слабо проводящие ($\epsilon_r = 4$, $\sigma = 10^{-3}$ см/м), влияние свойств данных почв рассмотрены на графике (рис. 8).

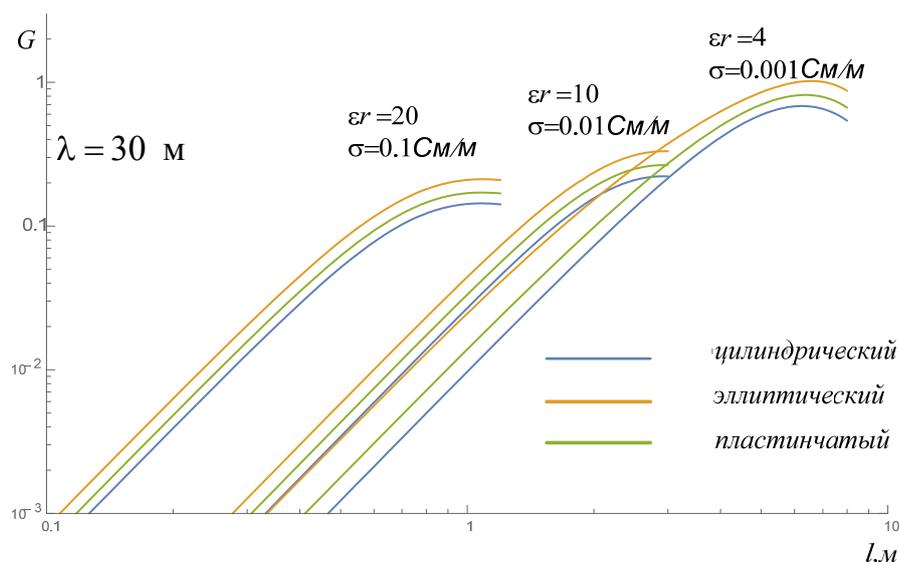


Рис. 8. КУ ПА в сильно, средне и слабо проводящих средах

На графике (см. рис. 8) видно, что при заложении в сильно проводящей среде КУ имеет наименьшее значение, это обусловлено большими потерями в ближней зоне полупроводящей среды.

В результате проведенной работы, основываясь на полученных графиках, сделан вывод том, что наиболее практичным и экономически эффективным является конструкция ПА, выполненная из эллиптического проводника, расположенном в изоляцию, диаметр которого в 3–4 раза и более раз превышает диаметр проводника, а для получения наибольшего КУ возможно использовать синфазные системы из проводников, находящихся в изоляции.

Список используемых источников

1. Каменев В. В., Сосунов Б. В., Проценко М. С., Щербаков Д. С. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства / под ред. В. В. Каменева. СПб.: ВАС, 2007. 260 с.

2. Сосунов Б. В., Филиппов В. В. Основы расчета подземных антенн. Л.: ВАС, 1990. 82 с.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом СПбГУТ Проценко М. С.*

УДК 535.8

И. Г. Штеренберг (кандидат политических наук, профессор СПбГУТ)

К. И. Стахеев, К. С. Безбородова (студенты, СПбГУТ)

РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТИ ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ

В данной статье рассматривается влияние атмосферных явлений на атмосферно-оптический канал связи. Приведены расчеты среднего значения коэффициента передачи мощности принимаемого сигнала атмосферно-оптического канала связи вследствие блужданий лазерного пучка в турбулентной среде. Представлены расчеты среднего значения коэффициента передачи мощности принимаемого сигнала вследствие замираний.

атмосферно-оптический канал, турбулентность, лазерный пучок, флуктуация, размытие, замирание.

Атмосферно-оптический канал (АОК) связи очень сильно подвержен влиянию метеорологических условий (туман, снег, дождь и т. д.). Также известно, что на АОК оказывает влияние атмосфера, такие факторы, как влажность, атмосферное давление и состав атмосферы (процентное содер-

жание молекул кислорода, азота, углекислого газа и т. д.), которые влияют на работоспособность АОК не менее значительно, чем снег или туман. Например, молекулярный состав атмосферы имеет существенное значение, так как молекулы могут создать узкие линии или целые полосы поглощения в рабочем спектре излучения системы до 80–90 % и более. Таким образом, при определенных условиях атмосфера, оставаясь прозрачной в видимом спектре, и в то же самое время может оказаться непрозрачной в конкретном участке инфракрасного спектра.

Кроме этого в атмосфере мы можем наблюдать такое явление как турбулентность, заключающееся в том, что, обычно, при увеличении скорости течения жидкости или газа в среде самопроизвольно образуются многочисленные нелинейные фрактальные волны, обычные и линейные различных размеров, без наличия внешних, случайных, возмущающих среду сил и/или при их присутствии. Для АОК наличие в атмосфере этого явления вызывает расширение и блуждание лазерного пучка (ЛП), флуктуации его интенсивности, а также нарушает пространственную и временную когерентность поля оптической волны.

Расширение луча и перемещение его центра тяжести, как правило, превышает величину дифракционной расходимости луча лазера в свободном пространстве, и приводят к уменьшению средней мощности сигнала на входе приемника АОЛС. Если эффективный радиус передающей аппаратуры a , то радиус пучка за счёт дифракционной расходимости на расстоянии L в свободном пространстве:

$$a_g = a[(1 - a_2 \cdot L)^2 + (a_1 \cdot L)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{\lambda}{\pi a^2}, \quad a_2 = \frac{1}{F_\Phi}, \quad (2)$$

где F_Φ – радиус кривизны фазового фронта гауссового ЛП в центре излучающей аппаратуры.

Среднеквадратическое значение радиуса пучка a_3 с учетом дифракции и увеличения пучка в турбулентной атмосфере в общем случае не выражается через элементарные функции, однако в [1] получены приближенные выражения для следующих условий:

при $0,39C_n^2 k^2 L l_0^{5/3} \gg 1$

$$\langle a_3^2 \rangle \cong a^2[(1 - a_2 \cdot L)^2 + (a_1 \cdot L)^2] + 4,38C_n^2 l_0^{-1/3} L^3 \quad (3)$$

при $0,39C_n^2 k^2 L l_0^{5/3} \ll 1$

$$\langle a_3^2 \rangle \cong a^2 [(1 - a_2 \cdot L)^2 + (a_1 \cdot L)^2] + \frac{4L}{k^2 p_k^2}, \quad (4)$$

где $p_k = (0,546k^2 C_n^2 L)^{-3/5}$.

Следовательно среднее значение коэффициента передачи $m_{ТБ}$ мощности принимаемого сигнала из-за блужданий луча в турбулентной среде:

$$m_{ТБ} = \frac{a_g^2}{\langle a_3^2 \rangle}, \quad (5)$$

где скобки означают среднее значение a_3^2 .

В результате отклонений луча от оси приемо-передающей пары (ППП) появляются флуктуации принимаемой мощности, поэтому изменяется коэффициент передачи T_B . Если отклонения пучка от оси подчиняются закону Рэлея ($m_x = m_y = 0$, $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$), то:

$$W(p_M) = \frac{p_M}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{p_M^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

$$W(p_B) = \frac{2}{a_B m_{ТБ}} \left(\frac{T_B}{m_{ТБ}}\right)^{\frac{2}{a-1}} \quad (7)$$

$$a_B = \frac{\sigma_a^2}{\gamma^2} \quad (8)$$

$$\gamma \cong \exp\left[0,12 \left(\frac{a_{прм}}{a_3}\right)^2\right], \quad (9)$$

где $a_{прм}$ – радиус приемной аппаратуры.

Помимо размытия и блуждания пучка турбулентность вызывает флуктуации амплитуды и фазы внутри пучка, которые обуславливают замирание сигнала. При использовании наиболее физически обоснованной феноменологической модели распространения оптических волн в [2, 3] было получено выражение для плотности распределения флуктуации интенсивности принимаемого поля в виде:

$$W(T_3) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{T_1} m_{T_2}}} \int_0^\infty \frac{1}{T_1} \exp\left[-\frac{(\ln T_1 - m_{T_1})^2}{2\sigma_{T_1}^2} - \frac{T_3 + T_1}{m_{T_2}}\right] I_0\left(\frac{2\sqrt{T_3 T_1}}{m_{T_2}}\right) dT_3, \quad (10)$$

где σ_T , m_T , m_{T_1} – параметры распределения, значки 1 и 2 относятся соответственно к 1-й и 2-й составляющим поля.

Асимптотики распределения (10) для слабых и сильных флуктуаций представляются соответственно:

$$W(T_3) \cong \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{T_1}T_3}} \exp\left[-\frac{(\ln T_3 - m_{T_1})^2}{2\sigma_{T_1}^2}\right], \text{ при } T_3 \gg m_{T_2}, \quad (11)$$

$$W(T_3) \cong \frac{1}{m_{T_3}} \exp\left[-\frac{T_3}{m_{T_2}}\right], \text{ при } T_3 \ll m_{T_2}, \quad (12)$$

где в (12) $m_{T_3} = m_{T_2}$.

Надо отметить, что распределения (10) переходит в экспоненциальное (12) лишь в случае очень сильных флуктуаций интенсивности, когда универсальный параметр $\beta_0^2 = 0,308C_\varepsilon^2 k^{7/6} L^{11/6}$, характеризующий степень турбулентности на трассе, много больше единицы. Для случая же когда $\beta_0^2 \cong 1$ (насыщенные флуктуации) в [2, 3] при самых общих предположениях было получено:

$$W(T_3) \cong \frac{2\eta^{\frac{\eta+1}{2}}}{\Gamma(\eta)} \left(\frac{T_3}{m_{T_3}}\right)^{\frac{\eta-1}{2}} K_{\eta-1} \left(2\sqrt{\eta \frac{T_3}{m_{T_3}}}\right), \quad (13)$$

где η – параметр формы распределения, K_ν – функция Макдональда.

Если $\eta \rightarrow \infty$, то используя асимптотику функций K_ν , имеем $W(T_3) \cong \exp(-T_3)$, т. е. вновь приходим к экспоненциальной зависимости, как и в (12).

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что на атмосферно-оптический канал, при передаче данных, большое влияние оказывает среда в которой и происходит обмен информацией, так для расчета среднего значения коэффициента передачи мощности можно использовать формулы из данной статьи. Проведя расчеты, мы получаем среднее значение передачи мощности принимаемого сигнала вследствие блужданий ЛП в турбулентной среде и среднее значение передачи мощности принимаемого сигнала вследствие замираний в атмосферно-оптическом канале.

Список используемых источников

1. Гумбинас А. Ю., Милютин Е. Р. Статистическая теория атмосферного канала оптических информационных систем. М.: Радио и связь, 2002. 254 с.