II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2017

XV Международная
научно-техническая конференция

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

ОТ 2017

МАТЕРИАЛЫ ФОРУМА

20 – 24 ноября 2017 г., Казань

Министерство образования и науки РФ
Министерство информатизации и связи РТ
Академия наук Республики Татарстан
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. ТУПОЛЕВА-КАИ»
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
Уфимский государственный авиационный технический университет
ОАО «ТАИФ»
ОАО «ТАТТЕЛЕКОМ»
Казанское отделение Международной академии связи

Посвящается
85-летнему юбилею КНИТУ-КАИ,
65-летнему юбилею ИРЭТ (РТФ)

II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2017

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ ОТТ-2017

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Казань, 20 – 24 ноября 2017 г.

Казань 2017

УДК 621.391
ББК 32.811
Н 34

Н 34 **II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2017. Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2017:** материалы XV Международной научно-технической конференции. Казань, 20 – 24 ноября 2017 года. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2017. – 248 с.
ISBN 978-5-7579-2252-2 (отд.кн.)
ISBN 978-5-7579-2251-5

Представлены материалы докладов по актуальным проблемам и достижениям в области передачи и обработки информации, перспективным инфокоммуникационным технологиям оптического диапазона. Отражены перспективы технологий оптических и квантовых систем телекоммуникаций, обработки оптических сигналов и изображений; вопросы применения оптических компонент в волоконно-оптических линиях связи и информационно-измерительных системах. Рассматриваются вопросы развития радиофотонных систем, проблемы квантовой и дифракционной оптики, квантовых вычислений. Предложены варианты сервисного обслуживания линий связи, а также решения проблем высшего и профессионального образования в области оптических инфокоммуникационных технологий.

Представленные материалы докладов охватывают широкий спектр научных направлений и их использование будет способствовать развитию отрасли информатизации и связи Российской Федерации, Поволжского региона и Республики Татарстан, вузовской науки, расширения связей между ведущими отечественными и зарубежными образовательными, научными и производственными центрами в области оптических технологий телекоммуникаций.

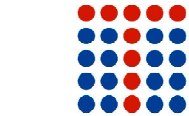
Редакционная коллегия: ***Андреев В.А.,*** д.т.н., профессор, ***Бурдин В.А.,*** д.т.н., профессор; ***Бурдин А.В.,*** д.т.н., профессор; ***Султанов А.Х.***; д.т.н., профессор; ***Морозов О.Г.,*** д.т.н., профессор; ***Мишин Д.В.,*** д.т.н., профессор; ***Горячкин О.В.,*** д.т.н., профессор; ***Росляков А.В.,*** д.т.н., профессор; ***Багманов В.Х.,*** д.т.н., профессор; ***Виноградова И. Л,*** д.т.н., профессор; ***Надеев А.Ф.***, д.ф.-м.н., профессор; ***Моисеев С.А.,*** д.ф.-м.н., профессор, ***Афанасьев В.В.,*** д.т.н., профессор; ***Ильин Г.И.,*** д.т.н., профессор; ***Морозов Г.А.,*** д.т.н., профессор; ***Польский Ю.Е.***, д.ф.-м.н., профессор; ***Седельников Ю.Е.***, д.т.н., профессор; ***Нуреев И.И.,*** д.т.н., доцент; ***Казанский Н.Л.,*** д.ф.-м.н., профессор; ***Раевский А.С.,*** д.ф.-м.н., профессор; ***Рябова Н.В.,*** д.ф.-м.н., профессор; ***Лукин А.В.,*** д.т.н., профессор

Ответственные секретари оргкомитета: ***Коробков А.А.***, к.т.н., доцент; ***Василец А.А.***, м.т.т., аспирант

ISBN 978-5-7579-2252-2 (отд.кн.)
ISBN 978-5-7579-2251-5

© Авторы, перечисленные в содержании, 2017
© Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017

СПОНСОРЫ ФОРУМА



ТАТТЕЛЕКОМ
Работаем на родной земле!

СЕКЦИЯ 3

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

УДК 004.896

ПРИМЕНЕНИЕ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ВОЕННОЙ ИНДУСТРИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Чекалин С.Д., Мезенцева Е.М.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

По всему миру в истории человечества всегда присутствует опасность. Будь то войны, несчастные случаи или одна из современных угроз – работа на опасном промышленном предприятии. Так или иначе и в тех, и в других случаях гибнут люди. Конечно есть случаи, когда удается выжить и отделаться парой шрамов, но нередки потери конечностей или получение огромной дозы радиации. Всё это подвергает людей опасности и снижает уровень жизни на земле. Всё это лишает кого-то родных и близких. Люди всю историю человечества борются за земли, технологии, свою независимость, нацию или отстаивают свою точку зрения, религию. На этих войнах погибали и погибают тысячи тысяч и миллионы людей.

В данном докладе я предлагаю идею снижения уровня смертности людей на промышленных предприятиях и в войнах. Предлагается использовать технологии из игровой индустрии, которая так или иначе затронула жизнь каждого из нас. В данном случае предлагается использовать технологию очков виртуальной реальности и камер захвата движений – Kinect и контроллеры Move. Эта технология не планируется как полностью автономная система, там также будут задействованы люди, но лишь дистанционно. Сами же роботы будут иметь различную друг от друга комплектацию.

Именно поэтому планируется реализация специализированного софта, который будет объединять работу VR-очков, камер захвата Kinect и контроллеров Move, затем при помощи данного софта будет осуществляться приём сигналов с оборудования, то есть движения оператора, их конвертация в сигналы для робота и дальнейшая передача сигналов роботу и их исполнение.

Основные возможности разрабатываемого ПО:

• Полное управление робота человеком, без какой-либо возможности автономной работы, чтобы исключить поломки в работе возможного искусственного интеллекта, что конечно же приведет такого робота в неисправность;

• Сильное понижение уровня смертности людей на промышленных предприятиях и в горячих военных точках;

• Разведка территории возможного радиоактивного излучения, что может понизить риск облучения людей радиоактивными волнами;

• Полное снижение уровня риска радиоактивного облучения на промышленных предприятиях использующие радиоактивные вещества;

• Удалённое управление роботом;

• Индикация и вывод данных на интерфейс очков оператора об уровне радиации в локации, где находится робот;

• Разбор возможных завалов зданий, под которыми могут быть люди;

Для реализации данной идеи планируется использовать оборудование типа VRочки, камеры захвата Kinect и контроллеры Move. Были выбраны камеры именно Kinect, из-за их принципа работы в виде разброса определенного числа точек и за счёт фиксирования изменения положения точек идёт захват движения оператора. На VRочки в свою очередь будет передаваться изображение с камеры робота. Камера на роботе будет иметь угол обзора равный 360 градусов.Контроллеры Moveиспользуются в игровой индустрии для движения робота в пространстве или использования оружия атаки. Также данные контроллеры можно использовать в качестве управления конечностями робота.

Данная идея уникальна от ныне разрабатываемых тем, что:

• Полное отсутствие автономности робота;

• Удаленное управление роботом;

• Использование инстинктов человека при управлении роботом, основываясь на получаемых оператором с робота звуков на звуковую гарнитуру и видео на очки виртуальной реальности;

Также эта идея имеет потенциал в расширении:

• Добавление нейроинтерфейса, что даст альтернативу в управлении роботом при помощи сигналов идущих непосредственно из мозга сразу роботу;

• Добавление тепловизорной камеры;

• Добавление индикаторов, определяющих нахождение в воздухе того или иного вещества, что позволит определять весь спектр веществ и позволит определить уровень безопасности локации;

Но как и у каждой технологии, данная идея имеет свои проблемы. Проблематика этой идеи на данном этапе заключается в следующем:

• Низкий уровень развития искусственного интеллекта;

• Отсутствие защиты робота в горячих точках военных действий от гранат ЭМИ, что может вывести из строя робота и привести его в непригодность на поле боя;

• Полное отсутствие прозрачного защитного материала, что сможет защитить камеру, микрофоны и динамики на роботе от взрывов гранат или падения тяжелых конструкций на предприятиях.

• Отсутствие развития искусственного интеллекта в области самозащиты, чтобы исключить возможность перехвата управления роботом дистанционно;

• Отсутствие развития искусственного интеллекта, что мог бы защитить себя не только на уровне защитных протоколов связи,но и на уровне физическом, дабы различить врага от своего в момент непредвиденного отключения оператора от робота и предпринять действия по устранению врага;

Что касается комплектации роботов, то данная технология имеет целый спектр применения, роботы будут отличаться не только комплектацией, но и строением. К примеру робот-солдат, будет менее поворотлив в силу своего прочного корпуса, когда робот-разведчик

и робот-работник будут служить в частности в узко проходимых локациях и будут более поворотливы. Ниже приведены следующие комплектации:

Робот-солдат:

• Прочный корпус от тяжелых ракетных ударов;

• Сверхпрочный прозрачный материал для защиты микрофонов, динамиков и камеры робота;

• Защита от ударов гранат ЭМИ;

• Орудия атаки, для устранения врага;

• Сканеры радиоактивного и других излучений;

Робот-разведчик:

• Не имеет особо прочного корпуса;

• Не имеет орудия атаки;

• Не имеет защиты от ударов гранат ЭМИ;

• Не имеет защиты для микрофонов, динамиков, камеры;

• Сканеры радиоактивного излучения;

Робот-работник:

• Имеет прочный корпус в случае обрушения конструкций промышленного предприятия во время аварии;

• Имеет защиту для микрофонов, динамиков и камер;

• Имеет сканеры радиоактивного излучения и индикаторы, для определения химического состава воздуха;

• Не имеет орудия атаки;

USE OFVR-TECHNOLOGIES IN WAR AND INDUSTRY

Chekalin S.D., Mezentseva E.M.

Described an idea of using hybrid of VR and robots. The tasks for creating software has been set. Described methods of using robots in other areas of people's lives.

УДК 004.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УЗЛОВ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Хуснуллин В.И., Глушак Е.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время распределенные системы все шире входят в нашу жизнь. Одним из направлений современных распределенных систем являются беспроводные сенсорные сети.

Беспроводная сенсорная сеть – это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала [1]. Причем область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

Беспроводные сенсорные сети (БСС) получили большое развитие в последнее время. Самым первым требованием к БСС является их автономность, для выполнения которого нужно уменьшить энергопотребление каждого узла. Для решения этой проблемы пользуются следующими методами [2]:

– определение и оптимизация времени включения передачи;

– предварительная обработка и уменьшение объема данных, которые нужны для передачи;

– многозвенная передача, а именно: отправка сообщений через промежуточные узлы вместо прямой передачи.

Устройства, которые не имеют внутренних источников питания, будут получать энергию прямо из окружающей среды. Многие такие устройства снабжены солнечными батареями, другие преобразуют в электроэнергию механические колебания [3]. С беспроводными устройствами ZigBee наиболее перспективным представляется использование энергии радиоволн. Но для разных типов узлов БСС, имеющих или не имеющих источник питания, актуально повышение его энергоэффективности. Для решения поставленной задачи нужно про-

вести ряд исследований по анализу энергопотребления узла и маршрутизатора БСС. Также можно провести оптимизацию работы приемо-передатчика и предварительную обработку данных на узле сети. Работа одного энергоцикла для узла сети показана на рис. 1.

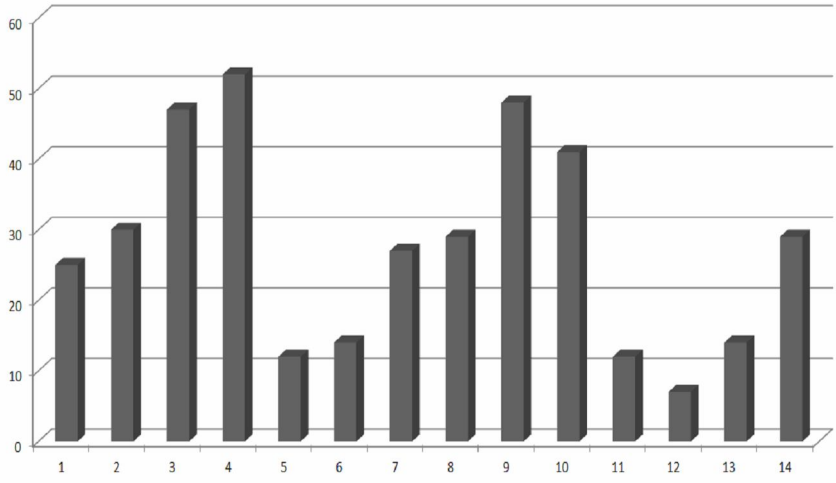


Рис. 1. Энергопотребление узла в программе OMNeT++

Видим, что главная часть энергии тратится на прием, прослушивание и передачу данных, но только не на обработку или сохранение данных.

Исследуем различные подходы по снижению энергопотребления [4, 5]:

1) главным моментом энергоэффективных сетевых операций будет возможность поместить больше узлов в спящий режим, непосредственно для увеличения продолжительности их работы от батареи. Когда сенсорный узел находится в активном состоянии, он может перейти в режим сна (ожидания), позволяющий ему снизить потребление энергии. Сенсорный узел переходит в данный режим между сеансами приема/передачи данных. Все режимы состоят из циклов, а каждый цикл будет состоять из периодов сна и периодов прослушивания. Максимальные затраты энергии будут на передаче

и приеме данных. А именно, одним из вариантов снижения энергопотребления будет переход датчика из активного режима в режим сна, когда потребление энергии будет минимально.

2) в сенсорных сетях с применением технологии ZigBee возможно сжатие информации перед ее отправкой. При этом уменьшается время передачи данных, само устройство уменьшает время своего пребывания в эфире и, естественно, расходует меньшее количества энергии на передачу пакета данных. Для непосредственного сжатия необходимы кодеки. Использование кодеков позволяет уменьшить потребление энергии за счет сжатия передаваемой информации. Минимизация объема транслируемых данных приведет к уменьшению энергопотребления.

3) количество затраченной энергии аналогично будет зависеть от выбранной сетевой топологии. Энергия тратится больше в ячейковой топологии за счет того, что каждый узел сети выходит на связь чаще, и, следовательно, в рабочем состоянии оно находится больше.

Подведем итоги, что самые малые затраты энергии происходят при использовании топологий «звезда» или «кластерное дерево», потому что в этих топологиях координаторы непосредственно подключены к стационарной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интелекутальные беспроводные сенсорные сети MeshLogic [Электронный ресурс] / Компания «МешЛоджик». – Режим доступа: http://www.meshlogic.ru – 26.08.2017 г. – Загл. с экрана.

2. *Баскаков С.* Оценка энергопотребления беспроводных узлов в сетях MeshLogic [Текст] / С. Баскаков // Беспроводные технологии. – 2010. – № 1. – С. 28-31.

3. *Киреев А.О.* Распределенная система энергетического мониторинга беспроводных сенсорных сетей [Текст] / А.О. Киреев, А.В. Светлов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 60-65.

4. *Краморенко Е.Г.* Понижение энергопотребления сенсорных сетей за счет предварительной компрессии данных [Текст]: матер.

к IV Всеукр. науч.-техн. конф. / Е.Г. Краморенко, М.В. Привалов // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг 2013. – Донецк, ДонНТУ, 2013. – С. 364-369.

5. *Власова В.А*. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей [Текст] / В.А. Власова, А.Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 9 (57). – С. 13-17.

STUDY OF ENERGY CONSUMPTION OF NODES IN WIRELESS SENSOR NETWORK

Khusnullin V.I., Glushak E.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Wireless sensor networks have received great development in recent years. These networks are composed of many tiny nodes, equipped with low-power receiver-transmitter, microprocessor and sensor, can link together global computer networks and the physical world. Because of its ability to self-organization, autonomy, and fault tolerance of such networks are actively used in security systems and military applications. Successful application of wireless sensor networks in medicine to monitor the health associated with the development of biological sensors compatible with the integrated circuits sensor nodes. The report presents the simulation results of BSS, schedule the packet transmission in the network, conclusions and recommendations.

УДК 621.396.74

ВЫБОР ПРОГРАММЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Соболев Ю.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Беспроводная сенсорная сеть – это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала [1].

В работе было проведено исследование различных программ для моделирования беспроводных сенсорных сетей.

NS-2 является одной из известных систем моделирования дискретных событий для сенсорных сетей [1]. В настоящее время NS-2 активно поддерживается и используется в научных исследованиях, так как легко расширяема и основана на открытом исходном коде. Для мобильных сенсорных сетей, симулятор имеет поддержку стандартов 802.11 и 802.15.4 типа беспроводного MAC. Последний является более подходящим для сенсорных сетей, поскольку он включает в себя несколько основных моделей энергопотребления и более близок к тем, которые используются в общих сенсорных узлах.

NS-2 не имеет возможности моделирования в режиме ОС реального времени или приложения задержки выполнения кода. Но задержки в MAC и на уровне беспроводного канала связи могут быть определены. Симулятору не хватает модели приложений и снабжения протоколов, аппаратных моделей и поддержки сенсорных сетей. Имеющееся же обеспечение существенно отличается от используемого в сенсорных узлах. Большое количество общедоступных расширений и активный процесс разработки симулятора повышает риск ошибок и неточных или неправильных результатов моделирования. Чтобы избежать этого, NS-2 содержит список проверенных имитационных моделей на своем сайте [2].

Симулятор Cooja – симулятор сети, для операционной системы (ОС) Contiki, специально разработанный для беспроводных сенсорных сетей, позволяющий проверить разрабатываемую сеть до ее непосредственной реализации.

Устройства с Contiki часто функционируют в качестве узлов крупных беспроводных сетей. Разработка и отладка программного обеспечения для таких сетей является трудоемкой задачей. COOJA – стимулятор сетевых процессов Contiki упрощает данную процедуру, предоставляя функции моделирования устройств и сетей [2]. Моделируемый узел в COOJA имеет три основных свойства: данные в памяти, тип узла и его комплектующие. Тип узла определяет общие свойства для узлов.

Например, узлы одного типа запускают единый программный код на одинаковой моделируемой аппаратной архитектуре. Одной из отличительных особенностей COOJA от других симуляторов (NS2, TOSSIM) является то, что COOJA позволяет одновременно контролировать три различных уровня: сетевой уровень, уровень операционной системы и уровень инструкций машинных кодов. COOJA может выполнять программы Contiki двумя различными способами: либо как скомпилированный код прямо на хосте CPU, либо запуск на эмуляторе микропроцессора TIMSP430.

COOJA может моделировать и операционную систему TinyOS и радио обмен пакетами между эмулированными узлами и узлами на основе Java.

TOSSIM является разработкой Калифорнийского университета, но, в отличие от NS, TOSSIM работает за счет подмены компонентов TinyOS и, следовательно, позволяет проводить моделирование только сетей на базе TinyOS. Его плюсом является тесная интеграция с операционной системой, что позволяет моделировать не только передачу пакетов по сети, но и работу аппаратной части узла БСС.

В состав эмулятора TOSSIM входят следующие элементы:

– средство встраивания самого тестируемого приложения TinyOS в структуру эмулятора;

– очередь событий;

– набор программных компонентов, которые заменяют соответствующие аппаратные компоненты реальных мотов;

– механизмы описания моделей радиоканалов и аналого-цифровых преобразователей (ADC);

– средства связи, предоставляющие возможность внешним программам взаимодействовать с эмулятором.

Начальная топология сети задается в виде ориентированного графа, где узлы располагаются в вершинах графа, а дуги графа отвечают за качество связи между узлами. Значения, расположенные в дугах графа, соответствуют вероятности ошибки при передаче данных. Топология сети задается в виде текстового файла. Для генерации пакетов данных сначала необходимо определить функцию, формирующую сообщение и обертывающую сообщение в пакет. Созданный таким образом пакет генерирует событие.

OMNeT++ представляет собой систему моделирования на основе дискретных событий. Система моделирования в основном поддерживает стандартные проводные и беспроводные сети IP коммуникаций, но существуют также некоторые расширения для БСС [2]. Как и NS-2, OMNeT ++ является известной системой, расширяемой и поддерживаемой сообществом своих пользователей, которые также создают расширения для моделирования БСС. OMNeT++ использует язык C ++ для имитационных моделей. Имитационные модели в совокупности с языком высокого уровня NED собираются в крупные компоненты и представляют собой большие системы. Симулятор имеет графические инструменты для создания моделей и оценки результатов в режиме реального времени.

Отметим, что OMNeT++ обеспечивает лучшие характеристики для тех параметров, которые будут исследованы в дальнейшей работе. К примеру, показатели значения пропускной способности у OMNeT++ лучше, нежели в других программах. Проанализировав симуляторы, в том числе их исходный код, обнаружены различия в реализации, т. е. невозможно воспроизводить сценарий моделирования одного симулятора в другом. В соответствии с полученными сведениями после анализа нескольких программ, можно сказать, что OMNeT++ обеспечивает наивысшие характеристики, но только в определенные отрезки времени. Если же требуется получить более стабильную характеристику, то следует использовать NS-2.

Программа OMNeT++ имеет несложный для освоения интерфейс, бесплатна для использования в академических целях, в ней реализованы основные функции сетевого уровня ZigBee. Исходя из ее преимуществ по сравнению с другими программами, несложно отметить, что полностью подходит для моделирования и исследования беспроводной сенсорной сети. Для дальнейшей работы по моделированию БСС будет выбрана программа OMNeT++.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 4-е изд. – 2010. – 943 с.

2. *Галкин П.В.* Адекватность моделей беспроводных сенсорных сетей в средах имитационного моделирования / П.В. Галкин, А.С. Борисенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4, № 9 (64). – С. 52-55.

THE CHOICE OF THE PROGRAM FOR THE SIMULATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

Sobolev U.V.

(Povolzhskiy state University of telecommunications and Informatics)

Wireless sensor network (WSN) has received great development in recent years. These networks are composed of many tiny nodes, equipped with low-power receiver-transmitter, microprocessor and sensor, can link together global computer networks and the physical world. The concept of wireless sensor networks attracts attention of many scientists, research institutes and commercial organizations which provides a large flow of scientific papers on the subject. Great interest in the study of such systems due to the wide possibilities of application of sensor networks. Wireless sensor networks, in particular, can be used to predict hardware failures in aerospace systems and building automation systems. Because of its ability to self-organization, autonomy, and fault tolerance of such networks are actively used in security systems and military applications.

УДК 004.5

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ: ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Киреев М.О., Глушак Е.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Беспроводная сеть датчиков (WSN) – это сотни небольших недорогих узлов, которые имеют ограничения в памяти, энергии и мощности обработки. В этой конкретной форме сетей несколько проблем состоят в изучении каждого узла. Недавние достижения в области беспроводной связи и электроники позволили внедрить недорогие маломощные и многофункциональные датчики, которые невелики по размеру и обмениваются данными в двух словах. Дешевые, интеллектуальные датчики, подключенные через беспроводные каналы и развернутые в огромных количествах, предоставляют беспрецедентные возможности для мониторинга и контроля домов, городов и окружающей среды.

Кроме того, сетевые датчики используют широкий спектр приложений в области обороны, создавая новые возможности для разведки и наблюдения и различных тактических приложений. Возможность самолокализации может быть весьма желательным признаком беспроводных сенсорных сетей. В приложениях для мониторинга окружающей среды, например, наблюдение за пожаром в кустах, мониторинг качества воды и точное сельское хозяйство, данные измерений бессмысленны, не владея знаниями о месте размещения из того места, где получены данные. Более того, оценка местоположения может включать в себя множество приложений, например управление запасами, транспорт, обнаружение вторжений, мониторинг дорожного движения, мониторинг состояния здоровья, разведку и наблюдение. Со всеми достижениями в области миниатюризации и интеграции сенсорных и коммуникационных технологий уже разра-

ботаны широкомасштабные беспроводные сенсорные сети с использованием большого количества недорогих и маломощных датчиков. В беспроводной сенсорной сети много денег крошечных датчиков с батарейным питанием разбросаны по всей физической области. Каждый датчик в сети датчиков собирает данные, например, с учетом вибрации, температуры, излучения вместе с другими факторами окружающей среды [1]. Беспроводная сенсорная сеть (WSN) включает в себя сотни и большое количество маломощных многофункциональных сенсорных узлов, работающих в автономном окружении и обладающих возможностями определения, вычисления и связи.

Существенным для разных частей узла, несомненно, являются сенсорный блок, АЦП (аналого-цифровой преобразователь), ЦП (C.P.U.), электрический блок, а также блок связи. Узлы датчиков – это микроэлектромеханические системы (MEMS), которые создают измеримую реакцию на общее изменение в некоторой пригодности, такой как температура и давление. Узлы датчиков определяют или измеряют физические данные в контролируемой области. Постоянный аналоговый сигнал, воспринимаемый датчиками, оцифровывается аналого-цифровым преобразователем и отправляется контроллерам для большей обработки. Узлы датчиков имеют малый размер, потребляют чрезвычайно низкую энергию, работают с высокой объемной плотностью и будут автономными и адаптивными к окружающей среде. Беспроводные сенсорные сети особенно интересны в опасных или удаленных средах или каждый раз, когда необходимо развертывать множество узлов датчиков. Проблема локализации важна там, где у нее есть неопределенность в отношении некоторого позиционирования. Если сеть датчиков используется для контроля температуры внутри здания, вполне возможно, что мы можем знать точное местоположение узла. Однако, если сеть датчиков используется для контроля температуры внутри удаленного леса, узлы могут быть развернуты с самолета, а точное местоположение, исходящее от всего датчика, может быть неизвестно. Эффективный алгоритм локализации может затем использовать всю доступную информацию через мотыги для вычисления каждой из позиций [2]. Ключевая характеристика любой беспроводной сети датчиков включает в себя:

1) ограничения энергопотребления для узлов, использующих батареи или сбор энергии;

2) устойчивость узлов;

3) мобильность узлов;

4) неоднородность узлов;

5) масштабируемость в больших масштабах;

6) возможность выдерживать суровые условия окружающей среды;

7) простота использования;

8) конструкция поперечного слоя.

У беспроводных сенсорных сетей есть как преимущества, так и недостатки. Рассмотрим основные преимущества БСС:

1) сетевые настройки могут быть выполнены без постоянной инфраструктуры;

2) внедрение в труднодоступные места(море, горы, глубокие леса);

3) гибкость;

4) ценообразование внедрения дешево;

5) избегание большого количества проводки;

6) он может вместить новые устройства в любое время;

7) доступ к нему возможен с помощью централизованного монитора.

Недостатки беспроводных сенсорных сетей можно суммировать следующим образом [2]:

1)менее безопасно, поскольку хакеры могут войти в точку доступа и получить всю информацию;

2) более низкая скорость по сравнению с проводной сетью;

3) более сложная конфигурация по сравнению с проводной сетью;

4) воздействие окружающей среды (стены, микроволновая печь, большие расстояния из-за затухания сигнала и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Levis F.L.*Wireless Sensor Networks1/ F.L. Levis // Associate Director for Research Head, Advanced Controls, Sensors, and MEMS

Group Automation and Robotics Research Institute The University of Texas at Arlington 7300 Jack Newell Blvd. SFt. Worth – Texas 76118-7115.

2. *David Clark*. Wireless Sensor Networks / The Morgan Kaufmann Series in Networking Series Editor// David Clark, M.I.T., Feng Zhao, Leonidas J. Guibas Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier.

INVESTIGATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS: ADJUST APPLICATIONS, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Kireev M.O., Glushak E.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Recent advances in semiconductor, networking and material technology lead to the widespread deployment of large-scale wireless sensor networks (WSNs). Together, these technologies combined to make the new WSN of the new generation much different from wireless networks, developed and deployed 5-10 years ago. Today's modern WSNs have lower deployment and maintenance costs, longer and more durable. They find their way in numerous applications in our homes, workplaces and beyond, bringing new sources of information, control and convenience into our personal and professional lives. The report surveyed wireless networks, examined the applications, advantages and disadvantages of wireless sensor networks.

УДК 519.223.41

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ИСКАЖЕНИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛАХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Сумарокова О.В., Глушак Е.В., Киреев М.О.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Беспроводной канал вводит важные ограничения для производительности WSN. Проще говоря, беспроводной канал играет важную роль в определении расстояния, на которое сообщение может передаваться от узла датчика, и вероятности успешного приема сообщения на каком-либо узле приемника. Передача сообщений осуществляется электромагнитной волной, передаваемой антенной узла отправителя. Мощность электромагнитных волн принимается на антенне приемного узла, искаженной и ослабленной из-за беспроводного распространения, которое подвержено нескольким внешним факторам. В результате мощность волн может быть настолько ослаблена, что волновой сигнал не может быть правильно обнаружен в приемном узле. Более конкретно, сигнал передаваемой волны подвергается ослаблению при движении по беспроводному каналу через канал распространения от передатчика к приемному узлу.

Эффект этих аттенюаций обычно называют замиранием. При распространении свободного пространства, а именно распространении волнового сигнала от передатчика на приемник без какого-либо препятствия между ними, волновой сигнал поступает на приемник с постоянной ослабленной мощностью из-за «потерь в тракте», что мы увидим позже. Однако, когда сигнал встречает препятствия на пути распространения от передатчика к приемнику или сигнал отражается на препятствиях или отражателях, затухание уже не является постоянным и следует более сложному закону из-за физики беспроводного канала. Здесь сигнал отражается, дифрагируется и рассеивается от объектов, которые присутствуют на пути. Каждый путь может иметь

различную величину затухания, задержки и затухания. Комбинация этих разных путей называется многолучевым замиранием или многолучевым распространением. В приемнике сигналы волн, поступающие от разных отражений, могут конструктивно или разрушаться, что приводит к случайным и быстрым колебаниям принимаемой мощности на приемной антенне, особенно при движении приемника или передатчика.

Из-за эффекта Допплера эта ситуация также вызывает распространение сигнала в частотной области, что означает, что передаваемый волновой сигнал предлагает некоторую несущую частоту, поступающую по сдвинутым частотам. Стохастический характер беспроводного канала является фактором, который сильно влияет на распространение сигнала, создавая временную среду. Все эти эффекты приводят к ошибочному расшифровке передаваемой беспроводной волны на антенне приемного узла. Это часто называют «ошибками беспроводного канала». Понимание эффектов ошибок беспроводного канала может быть выполнено с помощью математического моделирования ослаблений, которые передают передаваемые сигналы по каналу. Поскольку неблагоприятные последствия этих ошибок влияют на каждый протокол в WSN, рассмотрение влияния беспроводного канала имеет важное значение в WSN [1].

Беспроводной канал искажает сигналы, передаваемые с узла передатчика. Причину этого искажения можно разделить на четыре основных явления:

Затухание. Этот термин относится к уменьшению плотности мощности (затухания) электромагнитной волны при ее распространении в пространстве в зависимости от расстояния.Затухание сигнала ограничивает расстояние передачи информации, так как оно пропорционально расстоянию, пройденному волной над пространством.

Отражение и преломление. Когда сигнальная волна падает на границу между двумя различными типами материалов, определенная часть волны поглощается материалом, тогда как другая фракция отскакивает от поверхности, что называется отражением. В зависимости от свойств двух материалов на границе может также распространяться определенная часть волны, которая называется преломле-

нием. Отражение и преломление обычно наблюдаются на земле или стенах здания, как показано на рис. 1, *а*. В более общем плане эти явления возникают в случае препятствования объектам с большими размерами по сравнению с длиной волны. В результате сигнал, принятый на антенне узла приемника, может исчезать на основе конструктивных или разрушительных эффектов множества принятых волн.

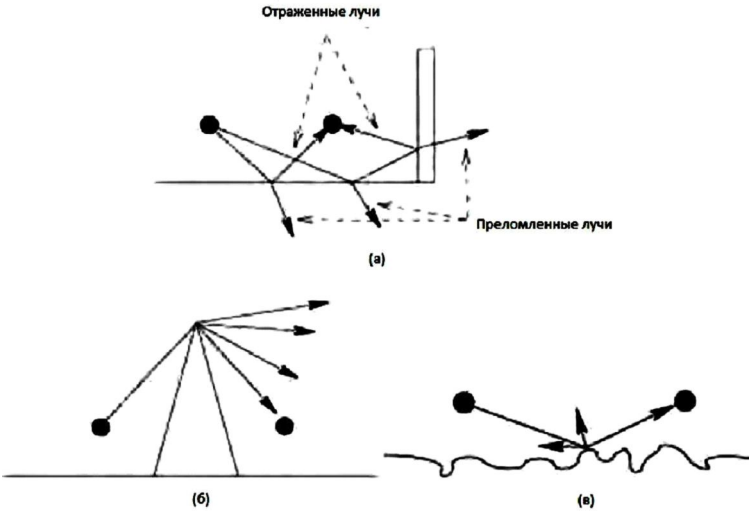


Рис. 1. Явления распространения сигналов по беспроводному каналу

Дифракция. Термин относится к явлениям, которые возникают, когда электромагнитная волна распространяется через острые края, такие как вершина горы или здание или поверхности с неровностями. Как показано на рис. 1, *б*, это приводит к тому, что острый край действует как источник, где генерируются новые вторичные волны, приводящие к изгибу волн вокруг и за препятствием. По сути, исходная сила сигнала распределяется по новым генерируемым волнам.

Рассеяние. Сигнальные волны обычно не сталкиваются с препятствиями с идеальными границами. Вместо этого, когда сигнальная волна падает на шероховатую поверхность, она рассеивается в случайных направлениях, как показано на рис. 1, *в*. Это явление так-

же встречается в случае радиоволны, проходящей через среду, содержащую многие небольшие (по сравнению с длиной волны) объекты, которые влияют на распространение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Akyildiz I.F. and Vuran M.C*. Wireless Sensor Networks.Wiley, 2010.

ANALYSIS OF PHYSICAL SOURCES OF DISTORTION IN WIRELESS CHANNELS OF SENSOR NETWORKS

Sumarokova O.V., Glushak E.V., Kireev M.O.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Sensor nodes offer a powerful combination of distributed sensing, computation and communication. The increasing capabilities of these tiny sensor nodes, which include reading, data processing and data transfer, allow WSN to be implemented on the basis of the joint efforts of a number of other sensory nodes. They provide a wide range of applications and at the same time offer numerous problems due to their features, especially the tight energy limitations to which sensitive nodes are usually exposed. The wireless channel distorts signals transmitted from the transmitter assembly. The report discusses the main phenomena of the distortion of the wireless channel sensory networks.

УДК 004.416.6

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «ЭЛЕКТРОННЫЙ ЭКСКУРСОВОД» ПОД ОС ANDROID

Кузина Э.А., Мезенцева Е.М.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Летом 2018 года город Самару ожидает событие мировой важности: Чемпионат Мира 2018, что повлечет за собой тысячи туристов со всей планеты. В связи с этим представляется необходимым наличие такого инструмента, который позволял бы гостям города самостоятельно, бесплатно и просто ознакомиться с главными достопримечательностями, причем не посредством прочтения текстовой информации, которую можно беспрепятственно найти на любом сайте с фото сопровождением, а посредством прослушивания полноценной экскурсии в записи живого человека.

Таким образом, для удовлетворения указанной потребности планируется реализовать приложение «Электронный экскурсовод», которое позволит выполнять функции навигации по достопримечательностям города Самары, а также возможность прослушивания информации.

Для создания предложенного ПО необходимо определить этапы работы, отражающие задачи, решение которых потребуется для реализации:

1. Анализ существующих аналогов продукта;
2. Разработка требований к приложению на основе результатов первого этапа;
3. Дизайн;
4. Разработка самого ПО, она же – кодирование;
5. Тестирование на основе предъявленных требований;
6. Подготовка продукта к эксплуатации – устранение выявленных на предыдущем этапе ошибок.

К любому программному продукту должны быть предъявлены требования, определяющие функции, которые он должен выполнять,

и возможности, которые он должен предоставлять пользователю, а также нефункциональные свойства, определяющие меру оценки качества разработки. Приведем требования, то есть задачи, поставленные перед нашим ПО. Приложение должно позволять (функциональные требования):

• выбирать экскурсию и прокладывать маршрут до неё;

• сопровождать пользователя до места назначения, в том числе с помощью аудио-оповещений;

• последовательно, с ориентацией на местоположение пользователя, проводить аудио-экскурсии;

• начинать ближайшую экскурсию;

• находить экскурсию из ближайших к текущему местонахождению туриста;

• находить любую экскурсию в городе из списка с расположением по релевантности;

Приложение должно обладать (нефункциональные требования):

• удобством использования - дружественным интерфейсом пользователя, обеспечивающим человеку максимально удобное, интуитивно понятное взаимодействие с программой;

• точностью определения геолокации;

• автономностью – независимостью функционирования системы от внешнего окружения;

• надёжностью – адекватным поведением в нештатных ситуациях;

• производительностью;

• расширяемостью – возможностью добавления новых функций при появлении новых функциональных требований.

В связи с описанными требованиями приведём основные возможности разрабатываемого приложения:

• аудио-экскурсии по достопримечательностям города Самары;

• GPS-сопровождение туриста: как добраться до места назначения (аудио-навигация);

• автоматическое воспроизведение экскурсии при достижении необходимого местоположения;

• отображение экскурсий по дальности от текущего местоположения пользователя при использовании функции «найти ближайшую экскурсию»;

• поиск экскурсии по названию достопримечательности, отображение списка экскурсий, отсортированных по релевантности;

• полностью автономная работа.

Для разработки приложения планируется использовать следующие инструменты: объектно-ориентированный высокоуровневый язык программирования Java, карты GoogleMaps для реализации навигации по городу, IDEAndroidStudio.

Особенность разрабатываемого приложения по сравнению с существующими аналогами состоит в следующем:

• бесплатный доступ ко всем имеющимся экскурсиям;

• отсутствие необходимости постоянного подключения к интернету;

• постоянный мониторинг местонахождения пользователя, что позволит улучшить позиционирование и использовать функцию «ближайшая экскурсия»;

• помощь в навигации к необходимому пункту остановки;

• аудио-сопровождение с ориентацией на местоположение пользователя;

• относительная уникальность города, выбранного для создания подобных экскурсий, в связи с тем, что Самара была найдена лишь в одном из многих аналогичных приложений.

Также приложение имеет огромный потенциал в расширении, что повышает его ценность и полезность, по следующим функциям:

• локализация – расширение языковой базы: перевод всего приложения на другие языки, в первую очередь, английский, в том числе и экскурсий – озвучивание переводчиками;

• добавление всех крупных городов России, а впоследствии и мелких, а также наиболее востребованных точек мира за рубежом;

• возможность работы через соединение с интернетом ввиду большого количества информации, которая в перспективе будет необходима для скачивания, что позволит приложению занимать меньше информационного объема;

• работа приложения на платформе iOS;

• возможность загрузки экскурсий заранее для сохранения возможности автономной работы приложения.

DEVELOPMENT OF THE ELECTRONIC GUIDE MOBILE APPLICATION UNDER ANDROID OS

Kuzina E.A., Mezentseva E.M.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In theses, the android-application «The electronic guide» is considered. The relevance of a subject is proved, features of the developed application had been shown. The main functionality and additional functions for potential extension is given.

МОДЕЛЬ РЕЛЕЕВСКОГО РАДИОКАНАЛА С ДОППЛЕРОВСКИМ РАССЕЯНИЕМ И НАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННОЙ НА МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Елисеев С.Н.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Каналы мобильной связи для пользователей двигающихся с высокой скоростью, требуют создания усложнунных моделей радиоканалов для адекватного отображения условий распространения сигналов в них. Спектральная плотность мощности (СПМ) Допплера это ключевой элемент в описании каналов мобильной связи. Методами ЦОС, как неоднократно отмечалось многими авторами, процессы такого вида целесообразно рассматривать как авторегрессионный скользящего среднего (АРМА) прноцесс. Требуемая СПМ мыжет быть получена на выходе рекурсивного цифрового фильтра (ЦФ), на входе которого действует $n(t)$ – белый гауссовский шум с равномерной СПМ $S_n(f) = N_0$. Детали синтеза соответствующих ЦФ рассмотрены в [1, 2]. В данной работе рассмотрена модель, в которой учтено влияние направленных свойств приумных антенн, выражающийся в деформации (пространственной фильтрации) функции СПМ релеевских каналов с допплеровским рассеянием.

Релеевские замирания описывают поведение огибающей гауссовского процесса с 0-средним, соответствующего $p(\theta)$ закону распределения углов прихода сигналов. $S(f)$ – СПМ, как установлено в [3] имеет вид:

$$S(f) = ((G(\theta)p(\theta) + G(-\theta)p(-\theta))\left| d\theta \right| , \qquad (1)$$

где $G(.)$ – характеристика направленности коэффициента усиления приумной антенны мобильного пользователя. Поскольку допплеровская частота f связана с падающей под углом θ волной соотношением:

$$f = f_{D\cos}(\theta), \qquad (2)$$

где f_D – максимальное значение частоты Допплера, получаем соотношение:

$$\left|df\right| = f_D \left|\sin\left[\left(\theta\right)d\theta\right| = \sqrt{f_D^2}\right] - f^2\left|d\theta\right|. \qquad (2a)$$

Следовательно для случая изотропного рассеивания) $p(\theta) = 1/2\pi$ и получаем известное выражение для СПМ (спектр Джейка) [3], которое с учетом (1) для направленной антенны принимает вид:

$$S(f) = G_{\text{чет}}(\theta)/2\pi\sqrt{f_D^2 - f^2}\,. \qquad (3)$$

Большинство практически используемых антенн мобильных устройств имеют вид чётных функций, то в (3) можно использовать саму характеристику направленности $G(\theta)$ в виде кардиоиды:

$$G(\theta) = K\cos^2(\theta). \qquad (4)$$

В результате из (1) с учетом (2) и (3), а также используя тождества $y = \cos(\arccos(x)) = x$ и $\cos^2(\theta) = 1/2(\cos(2\theta)+1)$ приходим к выражению для СПМ:

$$S(f) = (f/f_D + 1/2)/2\pi\sqrt{f_D^2 - f^2}\,. \qquad (5)$$

Таким образом реализация АРМА модели СПМ учитывающей направленные свойства приёмной антенны (в частности в азимутальной плоскости) целесообразна в виде ЦФ, частотная характеристика которого $H(e^{j\omega})$ связана с СПМ следующим образом:

$$S(f) \cong H(e^{j\omega})\cdot H(e^{-j\omega}). \qquad (6)$$

Реализацию РЦФ достаточно высокого порядка V удобно выполнять в виде каскадногосоединения звеньев 2-го порядка, дискретизированного с частотой f_d. Значения частотной характеристики которого $H(e^{j\omega})$ аппроксимирует СПМ АРМА модели (5) в диапазоне $|f| \le f_D$ и стремится к 0 вне этого диапазона.

При замене в выражении (4) степени 2 на более высокую степень 2θ получаем более выраженные направленные свойства антенны или при переходе к антенным решеткам с характеристиками вида:

$$G_{\text{ар}}(\theta) = G(\theta)F(\theta), \qquad (7)$$

где $G(\theta)$ имеет вид кардиоиды (4), а $F(\theta)$ множитель фазированной антенной решётки вида $\sin(n\theta)/n\theta$. Поэтому целесообразно, в свою очередь факторизовать $H(e^{j\omega})$ на два сомножителя характеризующие 1) направленные свойства антенны; 2) СПМ, обусловленную законом распределения углов прихода принимаемого сигнала. Решение задачи синтеза соответствующих ЦФ моделирующих $H(e^{j\omega})$ в том чис-

ле при неизотропном рассеивании приведено в [2]. Порядок ЦФ V_0 оценивается по методике [4]:

$$V_0 = 1{,}078 \times \lg\left[\frac{2}{\delta_2\sqrt{\delta_1}}\right] \times \lg\left[\frac{4\sin(2\pi f_D)}{\pi\Delta f}\right], \qquad (8)$$

где δ_2 – допустимая величина сигнала в полосе затухания;

δ_1 – допустимая величина пульсаций сигнала в полосе пропускания;

Δf – ширина нормированной переходной полосы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Alimohammad A., Fard S.F., Cockburn B.F.* Accurate Simulation of Nonisotropic Fading Channels with Arbitrary Temporal Correlation. IET Communications. Vol. 6, no. 5, 2012. Pp. 557-564.

2. *Елисеев С.Н., Песоцкий П.В*. Моделирование радиоканалов с релеевскими замираниями и неизотропным спектром допплеровского рассеивания. Инфокоммуникационные технологии. – Т. 14, № 1, 2016. – С. 82-88.

3. *Jakes W.C.* Microwave mobile communication. New York: IEEEPRESS,1993. – P. 645.

4. *Bellanger M.* Traitementnumerique du signal. 8-e edition, DUNOD, 2006. – P. 447.

MODEL RALEIGH DOPPLER SPREADIG CHANNEL WITH DIRECTIONAL ANTENNA ON MOBILE UNIT

Eliseev S.N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The proposed ARMA model of channel with Doppler power spectral density take account directional property of antenna on mobile unit. The assessment order of DSP IIR filter implements this model.

УДК 621.396.74

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Минаев А.Л., Глушак Е.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

МТС и ННКС проводили испытания радиорелейной станции на сети МТС в пригородах Петербурга и в Ленинградской области. Система iPASOLINK EX работает в нелицензируемом E-диапазоне (частоты 71-86 ГГц) миллиметровых радиоволн. Расстояние между тремя радиорелейными станциями составило от 3 км до 8 км, тестирование проходило в сложных погодных условиях и завершилось успешно. Оно продемонстрировало отличные показатели работы, а также высокую скорость передачи в сложных погодных условиях. Систематически проводится модернизация сетей, применяется оборудование более высокой пропускной способности. Один из возможных вариантов такой модернизации - внедрение радиорелейного оборудования, обладающего улучшенными техническими характеристиками, как в случае с iPASOLINK EX. В Северо-Западном регионе МТС сотрудничает с NEC более 15 лет. Радиорелейные станции эффективно применять в местах, где прокладка оптического кабеля затруднена или невозможна – возле водоемов, в парках, на железной дороге или в горах. Радиорелейки обеспечивают емкость транспортной сети, сопоставимую с емкостью кабеля. Кроме того, организация РРЛ требует меньше затрат, чем прокладка ВОЛС или использование спутниковых каналов. Протестированная оператором iPASOLINK EX компактна и весит 3 кг, легко устанавливается на крыше или трубе без дополнительных креплений. Оборудование сохраняет работоспособность при температуре от –55 °С до +55 °С, а также в условиях «холодного старта». Новая модель серии iPASOLINK EX, позволяющая обеспечить пропускную способность сети до 10 Гбит/с, используется на сети оператора связи в России впервые. Вместе с МТС интерес

к новой системе в России проявили несколько компаний, среди которых и другие операторы связи. Пятое поколение мобильных сетей – 5G – обещает стать особенно прорывным. Именно благодаря ему интернет вещей, беспилотные авто и виртуальная реальность перейдут со страниц технологических медиа в нашу повседневную жизнь [1].

В докладе проведен обзорный анализ беспроводных технологий и систем мобильной связи, который поможет в дальнейшей работе при проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс COMNEWS «МТС испытала возможности РРЛ», 2017 г. Режим доступа: [http://www.comnews.ru/node/106194] – свободный.

WIRELESS TECHNOLOGIES AND MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

Minaev A.L., Glushak E.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

«Mobile TeleSystems» and «Neva Communication Systems» successfully tested three 10-Mbps ether-relay stations on the network in the suburbs of St. Petersburg and the Leningrad Region. These stations have already started working on the MTS network, and in the plans of the operator – to introduce in the region about 60 similar sets. Manufacturers of equipment predict the future growth in demand for radio relay stations from the Russian mobile operators against the backdrop of the evolution of LTE networks and the introduction of 5G technology, since the deployment of a radio relay link is cheaper and faster than the construction of a fiber-optic communication line.

УДК 004.5

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА «УМНЫЙ» ДОМ НА ОСНОВЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сафиуллин Р.М., Глушак Е.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Умный дом – это область, в которой целый ряд компаний предлагают инновационные устройства и услуги. Некоторые из этих услуг требуют высокой пропускной способности, для чего более пригоден в использовании Wi-Fi, в тоже время в других используются датчики с автономным питанием, и для них желательно использовать маломощные беспроводные ячеистые сети [1]. Главным компонентом умной системы является контроллер, который объединяет датчики и сенсоры и сосредотачивает и в одном месте, а так же обеспечивает связь, благодаря которой человек может управлять разными элементами системы [2]. Следом идет программное обеспечение. В качестве программного обеспечения можно использовать компьютер, либо роутер, либо приборную панель. Аналогично осуществлять управление можно и с планшета или смартфона, если, конечно, система будет поддерживать Wi-Fi или GSM с помощью операционных систем Android или iOS, либо просто по SMS.

В работе были исследованы беспроводные технологии на примере «умного» дома. Проведен анализ сети беспроводного доступа Wi-Fi, Wi-MAX и др. При выборе оборудования для реализации проекта умного дома было отдано предпочтение в пользу компании ablog.ru. Обоснование выбора осуществлялось с учетом: технических характеристик, возможности применения, стоимости и так далее. Был рассмотрен способ построения сети беспроводного доступа с установлением шести точек доступа. Выявили, что Bluetooth имеет стандартные протоколы прикладного уровня и они предназначены для связи телефонов и ПК, а не для устройств умного дома. Протокол ZigBee чаще используется в «умных» домах. Во-первых, данный стан-

дарт позволяет реализовывать датчики с низким энергопотреблением. Во-вторых, ZigBee поддерживает ячеистую топологию сети, при которой отдельные компоненты могут выступать в качестве посредника, передающего сигнал от одного устройства к другому. Стандарт Wi-Fi используется практически в каждом умном доме. Он применяется для того, чтобы сопрягать смартфон или планшет с уже готовой автоматизированной системой. В работе реализован умный дом своими руками. Показано на примерах, что лучше выбирать не одну технологию, а несколько.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сопер М.Э*. Практические советы и решения по созданию «Умного дома» / Сопер М. Э. – М.: НТ Пресс, 2007. – 432 с.

2. *Тесля Е.А*. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире / Е.А. Тесля. – СПб, 2008. – 224 с.

IMPLEMENTATION OF THE PROJECT SMART HOME BASED ON WIRELESS TECHNOLOGIES

Safiullin R.M., Glushak E.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Was studied wireless technology in «smart» homes. The analysis of the network of wireless access Wi-Fi, Wi-MAX etc. When selecting equipment for the implementation of «smart house» project was preferred in favor of the company ab-log.ru. The rationale for our choice was based on: technical characteristics, possible applications, cost, and so on. It was considered the way to build a wireless access network with the establishment of six access points.

УДК 621.396

К ВОПРОСУ О СПОСОБАХ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Никитин М.Л., Копысов А.Н., Хворенков В.В.

(ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова)

Рассмотрены методы расширения спектра сигналов, применимые для создания физического и канального уровня сетей связи при проектировании и создании сетей и систем мобильной связи, например групп беспилотных летательных аппаратов. Рассматриваемые методы применимы в широкополосных сигналах с прямым расширением спектра псевдослучайной последовательностью, путем замены фазовой манипуляции на биортогональные вейвлет функции, с использованием сигнального вектора, а также произведения биортогональной вейвлет функции с сигналом линейной частотной модуляции. Рассмотренные сигналы могут применяться для расширения спектра уже существующих широкополосных конструкций, в которых применена фазовая манипуляция, при этом структура сигнала не требует изменений.

Исследование и разработка способов повышения помехоустойчивости сигналов является актуальной задачей, что, в свою очередь, позволяет использовать для их передачи менее мощного передатчика и достигать лучшей энергетической скрытности сигнала при сохранении качества связи. Одним из факторов, влияющих на помехоустойчивость, можно назвать увеличение базы сигнала, которая определяется произведением ширины полосы сигнала и его длительности. При этом повышение помехоустойчивости прямо пропорционально увеличению ширины полосы сигнала.

Целью данной статьи является выбор способа расширения спектра, позволяющего существенно повысить помехоустойчивость сигнала и сохранить качество связи при снижении энергетических затрат при их передаче.

При этом поставлены следующие задачи достижения цели:

– Сравнение способов расширения спектра с точки зрения увеличения помехоустойчивости;

– Выбор способа расширения спектра для использования в сигнально-кодовых конструкциях;

– Оценка перспективы использования выбранного способа расширения спектра, при дальнейшем увеличении помехоустойчивости;

Одним из подходов рассмотрения методов повышения помехоустойчивости может быть способ, состоящий в сравнении величины расширения спектра. При этом ожидается, что расширение спектра в N раз приведет к повышению помехоустойчивости соответственно в N раз. Данное предположение подтверждается экспериментальными данными в работе [1].

Анализ величины расширения спектра, используя методы, приведенные в работах [2, 3], предполагает увеличение полосы сигнала в 7 и более раз по сравнению с использованием фазовой манипуляции для модуляции сигнала.

В частности, известен способ формирования фазоманипулированных сигналов в помехозащищенных системах, в котором используются кодовые бинарные псевдослучайные последовательности (ПСП) для модуляции несущей частоты. При этом элементу последовательности с нулевым значением соответствует отрезок синусоидального колебания с начальной фазой равной нулю градусов, а элементу со значением «1» соответствует отрезок синусоидального колебания с начальной фазой 180 градусов.

Данный метод применен в работах [1, 4] для формирования помехоустойчивых сигнальных конструкций, где для передачи информации использовался алфавит ПСП. Недостатком данного способа является использование в качестве модулирующего сигнала фазовой манипуляции, не оптимальной с точки зрения энергетической эффективности. В работе [5] предложен способ повышения помехоустойчивости сигнала путем увеличения ширины полосы сигнала за счет применения для модуляции ПСП биортогональных вейвлет-функций (БВФ), что позволяет расширить спектр сигнала в 3,5 раза относительно фазовой манипуляции. Недостат-

ком такого метода является ограничение ширины частотного диапазона за счет фиксированной длительности БВФ и сравнительно низкая энергетическая эффективность БВФ из-за больших флуктуаций их амплитуды.

В следующих работах предложены способы модуляции ПСП, позволяющие увеличить ширину полосы сигнала в 2 раза по сравнению с методом модуляции БВФ. Так в работе [2] предложен способ модуляции псевдослучайной последовательности с использованием сигнального вектора, выбранного из набора собственных векторов матрицы, а в работе [3] предложен способ модуляции ПСП, используя произведение БВФ с сигналом линейной частотной модуляции (ЛЧМ).

Таким образом могут быть сделаны следующие выводы:

– Модуляция ПСП БВФ с ЛЧМ вместо двоичной фазовой манипуляции применительно к работам [1, 4] позволяет, не изменяя структуру сигнала, увеличить его полосу в 7 и более раз;

– Увеличение полосы сигнала приведет к увеличению его помехоустойчивости, а также улучшению энергетической эффективности;

– Лучшая помехоустойчивость сигнала позволит уменьшить мощность передатчика без ухудшения качества передачи относительно сигнальной конструкции с фазовой манипуляцией.

– Полученные результаты имеют теоретическое и практическое значение для построения систем цифровой передачи информации и организации КВ-УКВ радиосвязи в труднодоступных зонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы синтеза составных частотно-временных сигналов *Никитин М.Л., Копысов А.Н., Хворенков В.В., Богданов А.А., Жидяев А.В.* Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. 2015. № 3(67). – С. 93-97.

2. Пат. 2579759 Российская федерация, МПК H04K1/00. Способ формирования помехоустойчивых широкополосных сигналов.

Жиляков Е.Г., Белов С.П., Ушаков Д.И. Старовойт И.А.; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» № 2015110495/07, заявл. 25.03.2015; опубл. 10.04.2016.

3. Пат. 2578677 Российская федерация, МПК H04L27/22. Способ формирования помехоустойчивых радиосигналов. Дворников С.В., Дворников С.С., Кислицина Е.К. и др.; Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства Обороны Российской Федерации № 2014147282/07, заявл. 24.11.2014; опубл. 27.03.2016.

4. Оценка помехоустойчивости широкополосных сигналов, построенных на базе фазоманипулированных частотно-временных сигналов. *Никитин М.Л., Копысов А.Н., Марков М.М.* В сборнике: измерения, контроль и диагностика – 2014. Сборник материалов III всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Главный редактор В.В. Муравьев. – 2014. – С. 218-223.

5. Пат. 2412551 Российская федерация, МПК H04L27/18. Способ формирования помехоустойчивых сигналов. Анжина В.А., Кузовников А.В., Кухтин В.К. и др.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» № 2009105963/09, заявл. 19.02.2009; опубл. 20.02.2011.

THE QUESTIONS OF METHODS OF IMPROVEMENT OF INTERFERENCE RESISTANCE OF WIDEBAND SIGNALS

Nikitin M.L., Kopysov A.N., Khvorenkov V.V.

The methods of spread spectrum of signal are considered. They are used to design physical and link layer of mobile telecommunication

network, such as groups of pilotless planes. The methods are applicable to broadband signals with DSSS technology, if we replace PSK with biorthogonal wavelet functions, which use a signal vector. Also we can use the product of a biorthogonal wavelet function with a chirp-signal to replace PSK.The signals considered can be used to expand the spectrum of already existing broadband structures, where phase shift keying is applied. And the signal structure does not require any changes.

УДК 303.094.7

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ZIGBEE

Архипов П.А., Росляков А.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные сенсорные сети предназначены для использования в системах сбора данных и управления. В настоящее время стоимость компонентов сенсорных сетей достаточно велика, чтобы иметь возможность построить сеть значительных размеров для научных исследований.

Для полноценной проверки работы беспроводной сенсорной сети с большим количеством узлов разумно применять средства имитационного моделирования. Имитационное моделирование строится на основе математической модели, которая аппроксимирует свойства и поведение исследуемой сети и позволяет решать задачи по оптимизации и ее управлению. Имитационной является математическая модель, реализованная как программное обеспечение для компьютера и использующая специальные или стандартные языки программирования. При построении подобной модели сети связи могут использоваться как статические, так и динамические модели.

Под статическими понимаются модели, используемые для исследования состояния сети в заданные моменты времени, например, аналитические методы расчета из теории массового обслуживания, а под динамическими – дискретные стохастические модели, например, процессы генерации заявок или процессы их обслуживания. Однако имитационное моделирование не может учесть всех аспектов реальной моделируемой системы. Всегда вводятся предположения, позволяющие упростить и, как следствие, ускорить вычислительный расчёт.

Сегодня для решения задач имитационного моделирования сетей связи существует достаточно широкий спектр программных

средств: от библиотек функций для стандартных компиляторов до специализированных языков программирования.

Из разработанных на данный момент имитационных средств моделирования сетей можно выделить NS-3, OMNET++ 5.1 (Castalia), OPNET Modeler 15 (Open-ZB), NetSim v10. Каждая среда имеет свои особенности. Например, у NS-3 большое количество разработчиков, т.к. она является свободным программным обеспечением. В среде моделирования OMNeT++ 5.1 можно смоделировать физические процессы, данные о которых собираются в узлах. NetSim v10 – коммерческий симулятор, по причине низкой стоимости при достаточном функционале использующийся в более чем 250 университетах мира.

MODERN SOLUTIONS FOR SIMULATION OF ZIGBEE NETWORKS

Arkhipov P.A., Roslyakov A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Modern wireless sensor networks are designed for use in data acquisition and management systems. At present, the cost of the components of sensor networks is large enough to be able to build a large network (starting from CAN) for scientific research and practical use. To fully verify the operation of a wireless sensor network with a large number of nodes, it is reasonable to use simulation tools. From the currently developed simulation tools for network modeling, we can distinguish NS-3, OMNET ++ 5.1 (Castalia), OPNET Modeler 15 (Open-ZB), NetSim v10. Each environment has its own characteristics. The author's interest in studying the features of imitation modeling of sensor networks ZigBee is not only theoretical, but also practical. Knowing the specifics of the modeling tools, you can explore sensor networks without conducting full-scale experiments.

УДК 004.057.4

ТИПОЛОГИЯ ПРОТОКОЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СЕТЯХ МЕЖМАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Архипова О.Н.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Ведущие аналитики мира предсказывают мощный глобальный рост сферы M2M. M2M (Межмашинное взаимодействие, Machine-to-Machine) – общее название технологий, которые позволяют приборам обмениваться информацией друг с другом. Это могут быть проводные и беспроводные системы мониторинга датчиков или каких-либо параметров устройств (влажность, показатель веса, габариты и т.п.). К примеру, банкоматы или платёжные терминалы могут автоматически передавать информацию по GSM-сетям, а также если у них закончилась чековая бумага или наличность, или же наоборот, что наличности слишком много и требуется приезд инкассаторов. M2M также активно используется в системах безопасности и охраны, вендинге, системах здравоохранения, промышленных телеметрических системах.

Одним из важных моментов являются протоколы взаимодействия. Устройства должны устанавливать друг с другом связь. Затем нужно собрать и передать данные с этих устройств в серверную инфраструктуру. Эта серверная инфраструктура должна совместно использовать данные, имея возможность передавать данные после анализа либо обратно устройствам, либо людям. Можно выделить несколько протоколов для решения таких задач в этой инфраструктуре – AMQP, MQTT, DDS, XMPP.

Данные протоколы получили широкое распространение. Есть минимум 8 вариантов реализации каждого из них. Фактически, все четыре вышеперечисленных протокола представляют собой протоколы «Интернета вещей» реального времени с публикацией/подпиской, которые способны соединять тысячи устройств, так как на верх-

нем уровне они схожи. На самом деле эти протоколы очень разные. Современная сеть Интернет поддерживает огромное количество протоколов. Сеть M2M будет поддерживать их ещё больше.

Можно утверждать, что ключевые особенности протоколов зависят от их предполагаемого применения. Использование данных между устройствами в корне отличается от сбора данных на устройстве. Например, включение освещения (XMPP) совершенно отличается от создания энергии (DDS), контроля линии передачи (MQTT) и анализа потребления энергии в центре обработки данных (AMQP). В связи с этим к выбору «правильного» протокола для каждого конкретного случая надо подходить основательно, и объективно взвешивать все положительные и отрицательные их свойства.

TYPOLOGY OF PROTOCOLS, APPLIED IN M2M NETWORKS

Arkhipova O.N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Presently, the world is experiencing a powerful global growth in the M2M sphere. M2M (Machine-to-Machine) is a technology that allows devices to exchange information with each other. This can be a wired or wireless sensor monitoring system or any device parameters (humidity, weight, dimensions, etc.). M2M is actively used in security and security systems, vending, healthcare systems, industrial telemetry systems. An important part of M2M are communication protocols. Devices must communicate with each other. Then you need to collect and transfer data from these devices to the server infrastructure. This server infrastructure must share data, having the ability to transfer data after analysis or back to devices or people. The author's report has the task of the importance of classifying M2M protocols, such as AMQP, MQTT, DDS, XMPP.

УДК 621.396.49

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ IP-СЕТЕЙ СВЯЗИ

Козлов С.В., Спирина Е.А.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Для реализации метода комплексной оптимизации IP сетей связи с внутрисистемными помехами [1] необходимо разработать процедуру частотно-территориального планирования (ЧТП) с использованием объединенного вектора параметров сети, задачей которой является уменьшение влияния внутрисистемных помех в сети связи. Согласно [1] процедура ЧТП была разбита на два этапа: статический и динамический. В данной работе рассматривается этап статического планирования.

Задачей статического планирования является обеспечение доставки требуемого объема данных $\vec{I}^{\max}$ по IP сети связи, разворачиваемой на обслуживаемой территории S^{net}, за счет изменения вектора параметров статического планирования $\vec{\mathbf{V}}^{ps}$.

Так как в качестве критерия обеспечения доставки $\vec{I}^{\max}$ в работе [1] рассматривается нагрузка на сеть A^{net}, то задача статического планирования сводится к минимизации нагрузки на сеть:

$$\vec{\mathbf{V}}^{ps} = \arg\min_{\left\langle \vec{\mathbf{V}}'^{ps} \right\rangle} \left\{ A^{net}\left(I^{\max}, \vec{\mathbf{V}}'^{ps} \right) \right\}, \qquad (1)$$

где $\vec{\mathbf{V}}'^{ps}$ – вектор управляемых переменных.

Выполнение этапа статического планирования делится на две части: построение сети начального приближения, которая подробно рассмотрена в [2], и оптимизация параметров сети, рассмотрению которой посвящена эта работа.

При использовании метода комплексной оптимизации IP сетей связи с внутрисистемными помехами [1] нагрузка на сеть A^{net} может быть определена только при совместном рассмотрении этапов анализа процедур маршрутизации и приема, а также этапа динамического ЧТП.

Для решения поставленной задачи необходимо знать расположение узлов доступа, имеющих случайное положение в области S^{net}. Рассмотрим наихудший случай, когда узлы доступа расположены в точках с наименьшим уровнем сигнала и оказывают наибольшую нагрузку на сеть. Далее для выбранных мест расположения промежуточных узлов и узлов доступа в процедуре ЧТП рассчитываются потери при распространении радиоволн между всеми узлами, в процедуре маршрутизации на основе $\vec{\mathbf{V}}^{ps}$ формируется множество допустимых маршрутов $\{\mathbf{w}\}$, в процедуре приема осуществляется выбор алгоритма приема, исходя из условия обеспечения максимальной скорости передачи данных и рассчитываются скорости передачи данных, на основе которых в процедуре маршрутизации проводится вычисление реального объема доставляемых данных и нагрузки на сеть A^{net} при доставке $\vec{I}^{\max}$.

Далее с использованием методов циклического покоординатного спуска и динамического программирования проводится проводиться оптимизация вектора параметров $\vec{\mathbf{V}}^{ps}$

При значении A^{net} меньшем допустимого формируется частотно-территориальный план IP сети связи и объединенный вектор параметров $\vec{\mathbf{V}}^{u}$. На этом этап статического планирования сети завершается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Спирина Е.А.* Метод комплексной оптимизации IP-сетей связи с внутрисистемными помехами. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы». – 2017. – № 2 (34). – С. 6-18.

2. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование: учебное пособие для вузов / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с.: ил.

THE FREQUENCY-TERRITORIAL PLANNING PROCEDURE DESIGN FOR IP-COMMUNICATION NETWORKS INTEGRATED OPTIMIZATION METHOD

Kozlov S.V., Spirina E.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Paper describes IP networks parameters optimization with frequency-territorial procedure using network parameters united vector on integrated optimization method static planning stage in communication networks with intra-system interference.

УДК 621.396.49

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-R P.1238 ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ WI-FI СЕТЕЙ СВЯЗИ

Аминова Р.Р., Фазылов Л.И.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Необходимой информацией при планировании Wi-Fi сетей связи являются данные о потерях при распространении радиоволн внутри помещений. Они могут быть получены на основе рекомендации МСЭ-R P.1238.

Согласно этой рекомендации потери при распространении радиоволн рассчитываются по формуле:

$$L = 20 \cdot \lg(f) + N \cdot \lg(d) + L_f(n) - 28, \qquad (1)$$

где d – расстояние разнесения (м) между базовой станцией и переносным терминалом; f – частота (МГц); N – дистанционный коэффициент потерь мощности; $L_f(n)$ – коэффициент потерь за счет прохождения сигнала через пол (дБ); n– количество препятствий на пути прохождения сигнала.

Существует несколько версий этой рекомендации, отличающихся определением коэффициента $L_f(n)$. В рекомендации МСЭ-R P.1238-5 [1] для диапазона частот 1,8-2 ГГц коэффициент $L_f(n)$ предлагается рассчитывать по формуле:

$$L_f(n) = 15 + 4 \cdot (n - 1). \qquad (2)$$

В рекомендации МСЭ-R P.1238-8 [2] коэффициент $L_f(n)$ считается постоянным и равным 14дБ.

При увеличении количества препятствий разница в версиях рекомендации приводит к существенному отличию значений коэффициента $L_f(n)$, а, следовательно, и потерь при распространении радиоволн.

Для анализа эффективности применения рекомендации МСЭ-R P.1238 были проведены экспериментальные исследования потерь при распространении радиоволн в офисном помещении в диапазоне частот 2.4 ГГц. Средние значения коэффициента $L_f(n)$ для различного количества препятствий, полученных на основе экспериментальных данных и определённых на основе обеих версий рекомендации, приведены в таблице:

Количество препятствий	Эксперимент	МСЭ-R P.1238-5	МСЭ-R P.1238-8
1	11	15	14
2	14	19	14
3	13	23	14
4	12	27	14

С учетом среднеквадратического отклонения экспериментальных значений коэффициента $L_f(n)$ в 5дБ можно считать, что значение $L_f(n)$ не зависит от количества препятствий, что соответствует версии рекомендации МСЭ-R P.1238-8. Анализ полученных данных показал, что для снижения среднеквадратического отклонения необходимо также учитывать угол падения луча и диаграмму направленности антенной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендация МСЭ-R P.1238-5 «Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зоновых радиосетей в частотном диапазоне 900 МГц – 100 ГГц». Электронная публикация.

2. Рекомендация МСЭ-R P.1238-8 «Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зоновых радиосетей в частотном диапазоне 300 МГц – 100 ГГц». Электронная публикация. Женева, 2016 г.

THE EFFICIENCY ANALYSIS OF ITU-R P.1238 RECOMMENDATION FOR WI-FI NETWORKS PLANNING

Aminova R.R., Fazylov L.I.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Based on the experimental studies of the loss ratio dependence due to the signal passage through the floor (walls) from ITU-R P.1238 Recommendation, it is concluded that it is weakly dependent on the number of obstacles, which corresponds to the version of ITU-R P.1238-8 Recommendation. Obtained data analysis showed that for standard deviation decreasing it is necessary to consider beam incidence angle and antenna system radiation pattern.

УДК 51-76, 612.171.1

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАЗЛИЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АРИТМИЙ ПО АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

Щербакова Т.Ф., Горохов С.Н., Ермошин Д.К.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

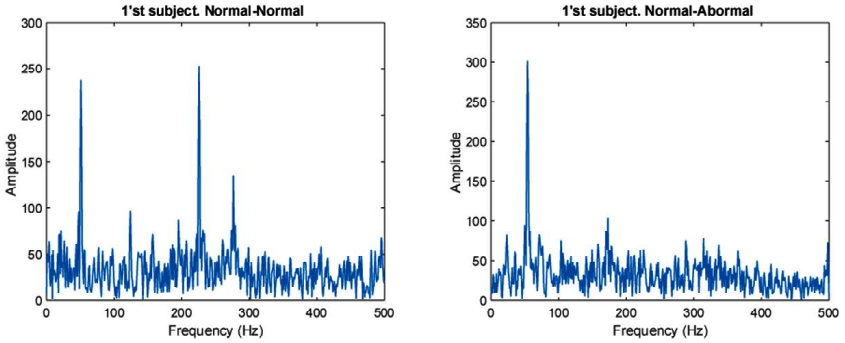
В связи с быстро развивающимися, в последнее время, системами беспроводной связи появилась возможность создавать дешевые и современные медико-диагностические приборы, которые, в свою очередь, позволяют автоматически выявлять сердечные паталогии с высокой степенью достоверности.

В данной работе был предложен альтернативный способ идентификации желудочковых аритмий - анализ фазовогои амплитудногоспектров ЭКС. Для анализа были взяты сигналы базы данных ресурса PhysioNet. [1]

Сначала необходимо было выделить нормальные и паталогические кардиоциклы. На рис. 1 во временной области представлены нормальный-нормальный (*а*) и нормальный-патологический-кардиоциклы (*б*) пациента с преждевременным сокращением желудочков сердца. Для сигналов, было выполнено быстрое преобразование Фурье (БПФ) и рассмотрен фазовый спектр. Далее снова был применено БПФ, чтобы получить амплитудный спектр фазового спектра ЭКС – рис. 1 Для определения критерия идентификации аритмии было предложено использовать отношение мощностей низкочастотной части к высокочастотной. Низкочастотный диапазон было предложено взять от 0 до 150 Гц, а высокочастотный от 150 до 500 Гц.

Реальный сигнал пациента (тригеминия) в виде отношений мощностей НЧ к ВЧ представляет рис. 2. Было предложено применить порог, соответствующий 50 % от столбца с максимальной мощ-

ностью. Если эта линия детектирует пропуск после двух пересечений, то система обнаружит тригеминальный ритм, иначе ритмбигеминальный.



а *б*

Рис. 1. Амплитудный спектр фазового спектра ЭКС:
а – нормальный-нормальный; *б* – нормальный-патологический.

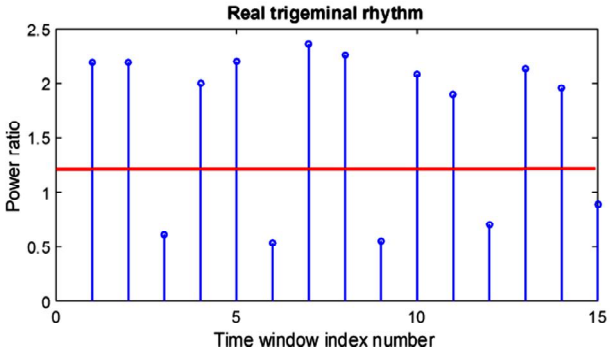


Рис. 2. Тригеминальный ритм

Для принятия решения о применимости спектрального анализа ЭКС по амплитудному и фазовому спектру требуется дополнительные исследования для различных видов аритмий. Исследование и разработка методов обнаружения и различения различных видов аритмий по спектральному методу анализа ЭКС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горохов С.Н., Галимзянов Э.Р.* Корреляционный метод обработки электрокардиосигнала для построения устройства анализа аритмий // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – Часть 3. – №8. – С. 36-38

THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHODS OF DETECTING AND DISTINGUISHING DIFFERENT TYPES OF ARRHYTHMIAS FOR THE ANALYSIS OF ELECTRO CARDIO

Scherbakova T.F.,Gorohov S.N., Ermoschin D.K.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The article presents an electrocardiogram signal analysis method for use in portable arrhythmia detectors. The selection of spectrum values for differentiating between normal and abnormal QRS complexes of the electrocardiogram signal is described. Sample spectra for various QRS complexes of real life signals are given. The article discusses an experimental selection of the borderline frequencies between high-frequency and low-frequency portions of the spectrum for a variety of cases.

УДК 621.396.93

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SUPERWI-FIB СЕТИ VANET НА АВТОМАГИСТРАЛЯХ

Елисеев С.Н.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Телекоммуникационную основу создаваемых интеллектуальных транспортных сетей автодорожного движения в ближайшей перспективе должны составлять самоорганизующиеся децентрализованные сети –VANET, для которых выделена полоса частот 70 Мгц в диапазоне 5,9 Ггц, предназначенная для работы систем радиосвязи ближнего действия [1, 2].

По причине малой длины волны (порядка 5 см) и малой высоты подвеса антенн на большинстве автомобилей (*А*), препятствиями для связи между *А* источником сообщений и *А* приемником сообщений, блокирующими радиоканал «линии прямой видимости» (ЛПВ), могут быть другие автомобили находящиеся между ними. На начальных этапах создания сетей VANET влияние на характеристики радиоканала *А*-препятствий игнорировалось. Между тем результаты экспериментов показали [3, 4], что даже одиночный грузовой автомобиль может уменьшить мощность принимаемого сигнала более чем на 20дБ и блокировать на трассе ЛПВ до 50 % времени. В этих же работах отмечалось, что сигнальная компонента ЛПВ, при её наличии в составе принимаемого сигнала, имеет мощность на порядок выше чем у других компонент (рефракции и дифракции). В качестве мер борьбы с обструкцией сигналов препятствиями на ЛПВ передатчик-приемник предлагается использовать ретрансляцию сигналов устройствами придорожной инфраструктуры сети VANET [2], антенны которых имеют более высокую подвеску на специальных мачтах. Однако эти устройства имеют немалую стоимость порядка 15 тысяч долларов и определённые ограничения по их расположению.

В данной работе предлагается, в качестве альтернативной меры, использование технологии когнитивного радио диапазона дециметровых волн: «белых пятен ТВ вещания». В работе [4D] предлагается использовать эту технологию для трансляции важных сообщений VANET о безопасности дорожного движения в условиях перекрёстков городов, на которых здания высотной застройки нарушают устойчивую связь в VANET. Разработанный стандарт IEEE802.11af, определяющий характеристики устройств и систем когнитивного радио локального масштаба, часто именуют стандартом SuperWi-Fi, чтобы подчеркнуть его отличие с одной стороны от других стандартов 802.11и, с другой стороны от стандарта когнитивного радио регионального масштаба 802.22. На физическом уровне принципы построения сигналов 802.11af подобны принципам стандарта 802.11p, применяемого в VANET, но полоса канала равная 5-8 Мгц примерно вдвое меньше полосы10Мгц в 802.11p.

Поскольку основные различия в характеристиках прохожденения сигналов для этих двух стандартов обусловлены отличиями в распространении между дециметровыми (400-800 Мгц для ТВ вещания) и сантиметровыми (5,9 Ггц для радиосвязи ближнего радиуса действия для VANET)волнами, то можно ожидать, что и в условиях автомагистралей использование устройств и систем стандарта SuperWi-Fi будет эффективным средством борьбы с негативным воздействием А-препятствий на показатели надёжности передачи сообщений в сети VANET.

В работе [3] показано, что высота A, а следовательно и высота подвеса антенны подчиняются нормальному закону распределения. Откуда легко видеть, что вероятность сохранения ЛПВ для автомобилей A_i и A_j передатчика и приёмника, между которыми один А потенциальное препятствие может быть выражена как:

$$(\text{ЛПВ}|h_i, h_j = 1 - Q(h - \mu/\sigma),$$

где Q – это функция Маркума; μ – средняя высота препятствия; σ – стандартное отклонение высоты препятствия; h – эффективная высота ЛПВ над препятствием равная:

$$h = \{(h_i - h_j)d_n/d\} + h_i - 0{,}6R_f + h_a,$$

где h_i, h_j, h_a – соответственно высота i- и j-го А и высота подвеса антенны;

d_n, d – соответственно расстояние передатчик- препятствие и расстояние предатчик-приёмник;
R_f – радиус эллипсоида первой зоны Френеля, равный:

$$R_f = \sqrt{\lambda d_n}\left(d - d_n\right)/d\ .$$

Длина волны л при переходе в ТВ диапазон увеличивается и увеличивает радиус эллипсоида первой зоны Френеля в 2,7-3,9 раза, что даёт увеличение P(ЛПВ $|h_i, h_j$) и уменьшение дополнительного затухания на препятствии примерно на 10 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жанказиев С.В*. Интеллектуальные транспортные системы. – М.: МАДИ, 2016, 216 с.

2. *Dinesh M., Deshmukh M*. Challenges in VANET, IntJourn. ETMAS, 2014. – Vol. 2, № 7. – Pp. 77-88.

3. *Boban M., Vindoza T., Ferreira M., Tonguz O*. Impact of vehicles as obstacles in VANET. IEEE J. of Selected Areas in Comm. Vol. 29, № 1, 2011. Pp. 15-27.

4. *Lim J-H., Naito K., Yun J-H., Gerla M*. Reliable Safety Message Dessimination NLOS Intersection using TVWS. IEEE Trans.on Mobile Computing, May, 2017. Pp. 1-14.

ISING SUPER WI-FI IN VANET ON HIGHWAYS

Eliseev S.N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Improvement of reliability of transmission messages in VANET on highways due conjuct using devices of standard cognitive radio Super Wi-Fi with DSRC devices. The main result is increase probability of LOS links in TVWS diapason.

УДК 621.396

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Евтухова Е.С., Егорова Е.А., Демин Р.А.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Важным в процессе изучения трафика сети является разработка корректной модели источника трафика, в настоящее время это особенно актуально для сенсорных сетей.

Нами был произведен эксперимент по построению сенсорной сети [1] на реальном оборудовании российской компании «МешЛоджик» [2]. Результаты на данной программе показали, что размер пакетов является фиксированным.

В основном модели современного трафика определяются моделями на основе on-off процессов с распределениями периодов, описываемыми РТХ (распределения с тяжелыми хвостами), такими как Парето и Вейбулла с определенными значениями параметров.

Исследования показывают, что традиционные модели трафика, например, в виде on-off процесса, могут отличаться от реальных потоков [3, 4], а это значит, что необходимы новые подходы при разработке моделей трафика и более детальное изучение статистической структуры трафика сенсорных сетей.

Так же важным при разработке и исследовании любой сети является оценка параметров QoS (Quality of service – качество обслуживания). Исследование влияния различных сетевых алгоритмов обработки по поддержанию QoS на структуру и параметры качества обработки позволяет реализовать программа ns2. В качестве фрагмента сети, моделируемой в ns2, выбрана схема, которая организована таким образом, чтобы имитировать ситуации в реальной сети.

Мы задействовали двенадцать узлов с различными координатами, которые в ходе эксперимента производили хаотичное движение. В качестве исходного потока задавался трафик различного типа: FTP,

CBR, on-off поток с экспоненциальным распределением on и off периодов, on-off с распределением Парето и реальный трафик, собранный в результате эксперимента.

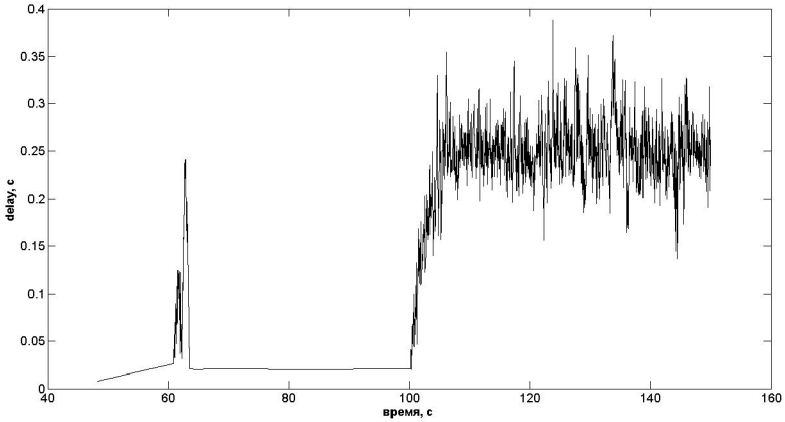


Рис. 1. Изменение задержки пакетов реального трафика в процессе моделирования

Анализ результатов показал, что у трафика on-off с распределением Парето, значения основных параметров QoS максимально приближены к значениям реального трафика. Что подтверждается другими исследованиями [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recommendation ITU-T Y.3042: Smart ubiquitous networks – Smart traffic control and resource management functions. – режим доступа: http://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=11916&lang=en

2. Беспроводные модули MeshLogic. Руководство пользователя // URL: http://www.meshlogic.ru/data/MLM_Manual.pdf

3. *Буранова М.А., Сычева О.И., Ермолаев С.Ю.* Исследование статистических характеристик трафика сенсорной сети. Сборник: Проблемы передачи информации в инфокоммуникационных системах сборник докладов и тезисов VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 23-26.

4. *Выборнова А.И.* Модели беспроводных сенсорных сетей для различных применений. Электросвязь. 2013. № 1. С. 24-27.

RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF THE SENSOR NETWORK

Evtukhova E.S., Egorova E.A., Demin R.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the processing of various types of traffic in the sensor network. A simulation model of the sensor network in the NS2 environment was developed; Analysis of QoS parameter values for different types of traffic was performed; determined the type of traffic, as close to real traffic.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ SON

Жданов Р.Р., Усенко Ю.О., Федорова А.А.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Являясь неотъемлемой частью LTE-сети, технология самоорганизующихся сетей SON способна значительно снизить операционные расходы операторов связи с помощью автоматизации процессов планирования, развертывания, оптимизации и управления сетью.

Сеть с постоянно меняющимся числом и составом пользователей и услуг, напоминает живой организм, который необходимо постоянно поддерживать. Для решения этой задачи, а также для оптимизации и восстановления работы сетей связи и сокращения времени обработки инцидентов, которые являются неотъемлемой частью крупной сети связи создана технология самоорганизующихся сетей SON (self-organizingnetwork).

Самоорганизующиеся сети – это умные сети, способные самостоятельно оценить качество функционирования каждого своего элемента и настроить свою работу оптимальным образом. Данная технология создана, в основном, для мобильных сетей связи и сейчас широко используется операторами связи. SON состоит из нескольких модулей: один отвечает за оптимизацию соседних сот, второй – за оптимизацию покрытия, третий – за оптимизацию параметров, четвертый – за динамическое распределение нагрузки, пятый – за автоматическое восстановление системы. Искусственный разум SON готов одновременно справляться с целой серией важных задач – интеллектуально изменять параметры сети, эффективно управлять ее емкостью и покрытием, подстраивать ее поведение под меняющиеся потребности того или иного участка, а главное – адаптировать сеть к часам наибольшей нагрузки, массовым мероприятиям и мигрирующему трафику [1].

Сети на базе LTE и LTE-Advanced являются первыми сотовыми технологиями, которые обеспечивают преимущество благодаря этому усовершенствованию. SON внедряется в различные архитектуры, включая распределенную, централизованную и гибридную, и подразделяется на три функциональные категории: самонастройка, самооптимизация и самовосстановление.

В идеале базовая станция или сота, которая подлежит добавлению в механизм развертывания существующей сети, должна настраиваться самостоятельно в соответствии с принципом автоматического конфигурирования (самонастройки). Параметры, обычно настраиваемые вручную сетевым оператором, должны задаваться автоматически на базе измеряемых условий радиосвязи, а уже развернутые базовые станции – оптимизироваться автоматически посредством адаптации параметров в соответствии с нагрузкой на сеть и ее производительностью (самооптимизации). Функция самовосстановления предназначена для преодоления временных проблем с производительностью системы, например, перебоя в работе оборудования.

Одной из первых стандартизированных функций SON, относящихся к категории самонастройки, является автоматическое управление взаимодействием между соседними сотами ANR (autoneighborrelation — автоматическое обнаружение соседних сот) с поддержкой технологии inter-radioaccess, автоматизированный контроль сеансов, автоматизированная система выявления сбоев в сотах, а также отслеживание изменений в сети SON и функции управления пользователем. ANR посредством автоматического управления взаимодействием между соседними сотами существенно уменьшает время, необходимое для настройки базовой станции. ANR опирается на способность мобильного терминала сообщать о сотах, которые обнаружены, но не являются частью списка соседей, передаваемого сетью LTE[2].

Решения SON повышают эффективность эксплуатации существующих сетей за счет автоматического конфигурирования сети для балансирования нагрузки мобильного трафика и минимизации необходимости в выездных тестированиях. Кроме того, за счет компенси-

рующих функций и самовосстановления минимизируются перерывы в работе сети для конечных пользователей [3]. Таким образом, параметры качества услуг (QoS) являются также самоопределяющимися и оптимизирующимися в автономном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственный разум SON // Электронный ресурс: http:// our2015.mts.ru/ru/telecommunication.html

2. SON – самоорганизующиеся сети // Электронный ресурс: https:/ /www.rohde-schwarz.com/ru/solutions/wireless-communications/lte/in-focus/self-organizing-networks_229096.html

3. Самоорганизующиеся сети LTE // Электронный ресурс: http: // mskit.ru/news/n77678/

УДК 681.3.06:621.396.93

СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА LPS

Штанько Н.Н.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время существует множество технических решений задачи определения местоположения физического объекта в пространстве [1], которые объединяются под единым термином – системы позиционирования. Все системы позиционирования можно разделить на два класса: глобальные системы позиционирования и локальные, работающие на ограниченной территории.

В последнее десятилетие широкое распространение получили системы глобального позиционирования, такие как GSM, GPS и ГЛОНАСС. К их основным преимуществам можно отнести большую площадь позиционирования (определения местоположения на открытой местности) и достаточно высокую точность (до 2 метров – системы GPS и ГЛОНАСС, до 150 метров – системы GSM) [1].

Однако недостатки, имеющиеся в перечисленных технологиях, не позволяют каждой из них стать универсальной системой для поиска объекта в произвольной локации. К таким недостаткам относятся:

– закрытость данных (крайне ограниченная возможность их получения от государственных и коммерческих структур, которым принадлежат системы);

– слабый сигнал приема систем глобального позиционирования внутри зданий и сооружений (торговые центры, подземные парковки, метро и т.п.) в связи с низким уровнем помехоустойчивости.

Указанные недостатки отсутствуют в системах локального позиционирования (LPS – Local Positioning Systems), а преимущества становятся очевидными в случае необходимости построения систем локации и связи в пределах ограниченной территории, но с высокой точностью, порядка 1-2 метров [2].

Под системой позиционирования в настоящей работе понимается автоматизированная система, обеспечивающая позиционирование объекта в локальной системе координат с отображением его позиции на плане контролируемой территории, оснащенной необходимой инфраструктурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникин А.В*. Определение местоположения мобильного объекта с помощью приемопередатчиков nanoLOC фирмы Nanotron // Беспроводные технологии. – 2007. – № 3. – С. 38-41.

2. Исследование возможности локального позиционирования в беспроводных сетях IEEE 802.15.4 / А.В. Поникар, О.В. Евсеев, В.Е. Анциперов, Г.К. Мансуров // Материалы IV Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 29 ноября – 3 декабря 2010 г. – М., 2010. – С. 914-918.

LPS SYSTEM OF LOCAL POSITIONING OF THE LPS OBJECT

Shtanko N.N.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article presents the advantages and disadvantages of global positioning systems GSM i GLONASS. The noted shortcomings are solved in the systems of local positioning LPS. The main two approaches to the design and application of such systems.

УДК 681.3.06:621.396.93

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА

Штанько Н.Н.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

При проектировании систем локального позиционирования объекта можно выделить два подхода:

– система строится на основе необходимого дополнительного оборудования;

– система опирается на элементы существующей инфраструктуры, основной задачей которой не является позиционирование.

Методы первой группы требуют развертывания на территории, на которой предполагается осуществлять позиционирование объектов, отдельнойсети приемопередатчиков, осуществляющих связь с носимыми объектами портативными метками или их аналогами.

Более рациональным является использование для позиционирования уже существующего оборудования, именно поэтому в последнее время широкое распространение получили системы позиционирования объектов на основе беспроводной сети Wi-Fi, основной задачей которой является обеспечение передачи данных.

Передача данных осуществляется с помощью радиосигналов, частоты которых зависят от стандарта беспроводной сети. Каждый сигнал несет позиционно зависимую информацию, которую возможно использовать для оценки местоположения объекта.

В последние годы системы локального позиционирования нашли применение в самых разных отраслях и сферах деятельности:

– на промышленных предприятиях для оптимизации работы складов;

– на роботизированном производстве, в крупных медицинских учреждениях;

– в роли навигационной системы по торговым центрам и промышленным предприятиям;

– в маркетинговых исследованиях на основе информации о перемещениях пользователя для более точного анализа рыночной корзины.

Помимо этого, системы позиционирования могут найти широкое применение и в сфере безопасности: анализ трафика публичной сети Wi-Fi на предмет наличия в нем противоправной информации (террористическая пропаганда, антиправительственные лозунги, организация несанкционированных митингов и т. п.) вместе с возможностью отслеживания источника его возникновения.

MAIN APPROACHES TO DESIGNING SYSTEMS OF LOCAL POSITIONING OF THE OBJECT

Shtanko N.N.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article presents the advantages and disadvantages of global positioning systems. The noted shortcomings are solved in the systems of local positioning LPS. The main two approaches to the design and application of such systems.

УДК 681.3.06:621.396.93

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ПОМЕЩЕНИИ

Штанько Н.Н.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время наиболее широкой популярностью пользуются автоматизированные системы контроля и управления доступом, основанные на применении карт или ключей, прикладываемых к считывателю, располагающемуся около входа в помещение или в контролируемую зону. Считыватель передает информацию о приложенной карте или ключе в базу данных, после чего программное обеспечение принимает решение, о, например, открытии или блокировки двери, или турникета, и передает его на исполнительный механизм.

Такие системы, однако, обладают рядом существенных недостатков. Наиболее важно, не предоставляется четкая система контроля: по одной карте может пройти несколько человек. Этот недостаток частично устраняется системой видеонаблюдения, но это связано с дополнительными расходами, и, помимо этого, создаёт психологический дискомфорт у сотрудников.

Система, позволяющая в режиме реального времени определять координаты сотрудника в помещении делает возможным создание намного более гибкой системы контроля: помещение может разбиваться на множество виртуальных зон, и для определения попадания в них контролируемых объектов не требуется преграждающих устройств.

Одной из возможных областей применения этой системы является определение уровня качества работы сотрудников - возможность в любой момент получить отчёт за определённый период о количестве времени, проведённом конкретным сотрудником за своим рабочим местом. Также есть возможность решить проблему обеспечения

безопасности при работе в производственных или иных помещениях с автоматизированными процессами, например, в ситуации, когда при случайном попадании человека в опасную зону, в которой не должно быть людей во время технологического процесса, должна производиться экстренная остановка работы оборудования.

PROBLEMS OF DETERMINING THE LOCATION OF THE OBJECT IN THE ROOM

Shtanko N.N.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article deals with actual problems of locating an object in a room that exist today.

УДК 681.3.06:621.396.93

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ЛОКАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Штанько Н.Н.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Основную задачу, для решения которой проектируется автоматизированная система позиционирования, можно в формализованном виде представить следующим образом. Имеется объект позиционирования О – мобильное устройство, снабженное Wi-Fi адаптером, причем к О предъявляется единственное требование – Wi-Fi адаптер должен быть активен (не обязательно подключен к сети). В пределах некоторой заранее определенной зоны *Z* (локальная система координат на плоскости) развернута инфраструктура wi-fi, представляющая собой совокупность точек доступа APi, i:1..*n*, где *n* – количество точек доступа, при чем в любой точке *Z* величина отношения «сигнал/шум» для каждой из APi, i:1..*n* больше единицы. Параметры объекта позиционирования О (модель устройства, производитель, MAC-адрес, технические характеристики) заранее не известны, равно как и время и/или траектория появления и движения на плоскости *Z*. APi (x, y) – координаты *i*-й точки доступа в локальной системе координат неизменны и заранее известны. Основная задача автоматизированной системы позиционирования – выдавать в режиме реального времени (с предопределенным интервалом времени *t*) координаты О в системе координат *Z*.

Универсальность автоматизированной системы, которая сможет решить сформулированную выше задачу, заложена в отсутствии ограничений на мобильный объект идентификации – именно такой принцип оправдан современной тенденцией развития беспроводных сетей и рынка мобильных устройств и только при такой постановке задачи подобная система может представлять не только научный, но и коммерческий (прикладной) интерес.

Предложенная формализация задачи локальной идентификации по технологии Wi-Fi поднимает целый ряд научных и технических задач, требующих следующих решений:

– совмещения функционала точки доступа Wi-Fi для одновременного позиционирования объекта и обеспечения обмена пакетами с внешними сетями;

– совмещения методов идентификации AOA, TOA и RSS для повышения точности без искусственного удорожания беспроводной инфраструктуры;

– выбора оптимального варианта размещения точек доступа.

FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF LOCAL IDENTIFICATION

Shtanko N.N.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article proposes the problem of local identification and the ways of its solution.

УДК 681.3.06:621.396.93

ПУТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ПОМЕЩЕНИИ

Штанько Н.Н.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время существует множество видов систем позиционирования, основанные на технологии GPS (Global Positioning System) или на использовании возможностей сетей GSM.

Как правило, подобного рода системы используются для определения местоположения в пределах больших территорий (городов, областей) и не имеют возможности определять координаты объекта с высокой точностью. Кроме того, если применять данные алгоритмы для позиционирования в пределах помещений, то в этом случае в силу малой удалённости источников от приёмников разница в приходе сигнала будет настолько мала, что определить её практически невозможно. Поэтому принципы работы таких систем не могут использоваться для решения нашей задачи - определения местоположения объекта в помещении.

Одним из параметров, которые позволяют определять расстояние от источника до приемника радиосигнала, является амплитуда сигнала в месте приёма (показатель RSSI). Измерять его имеет возможность даже самые простые и недорогие современные устройства-приёмники радиосигнала. Данный параметр не используют в системах глобального позиционирования для измерения удалённости от объекта в силу сильной зависимости мощности дошедшего сигнала от множества внешних факторов (отражение от зданий, сооружений, изменение температуры, влажности, давления и др.). Но в задаче позиционирования объекта в помещении, где расстояния между приёмником и источником сравнительно малы, небольшое количество преграждающих элементов и стабильные климатические условия, этой параметр может дать вполне адекватную оценку расстояния до объекта.

Таким образом, основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что решением задачи определения местоположения объекта в помещении может являться создание внутриобъектовой системы локального позиционирования, вычисляющей координаты объекта исходя из определяемых сетью радиоприёмников значений мощности радиосигналов (уровней RSSI), пришедших от связанного с объектом источника.

WAYS OF SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINING THE LOCATION OF THE OBJECT IN THE ROOM

Shtanko N.N.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article considers ways of solving the problem of determining the location of an object in a room. The solution of the problem of locating an object in a room can be the creation of an in-site local positioning system.

УДК 681.3.06:621.396.93

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Штанько Н.Н.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

При выборе методов определения местоположения объекта в проектируемой автоматизируемой используются методы, наиболее часто применяемые на практике:

1) метод идентификации объекта на основе ближайшей точки доступа;

2) метод идентификации объекта с помощью модели распространения сигнала;

3) метод идентификации объекта по радиокарте.

Метод (1) прост в реализации и отличается низкой вычислительной сложностью, однако погрешности при его использовании могут достигать дальности трансляции сигнала объектом идентификации (в помещении до 100 метров).

Метод (2) требует детального построения модели распространения сигнала для среды распространения радиоволн и для каждой точки доступа, что в конечном счете не гарантирует обеспечения достаточной точности измерений в результате возникновения в помещении таких эффектов, как затухание, отражение и интерференция радиоволн. Моделирование эффектов такого рода для произвольной зоны идентификации представляется сложной вычислительной задачей. Алгоритм приемлем к использованию при глобальной идентификации в GPS/ГЛОНАСС и сотовых сетях, где не столь значительно проявляется влияние помех на позиционно зависимые параметры сигнала.

Метод (3) обеспечивает определение местоположения абонента даже в условиях сложной помеховой обстановки в связи с исполь-

зованием базы данных измерений мощности передаваемого сигнала, предварительно выполненных в определенных точках пространства (точки калибровки).

WAYS OF SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINING THE LOCATION OF THE OBJECT IN THE ROOM

Shtanko N.N.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article considers ways of solving the problem of determining the location of an object in a room. The solution of the problem of locating an object in a room can be the creation of an in-site local positioning system.

УДК 681.3.06:621.396.93

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ЛОКАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Штанько Н.Н.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В ходе исследования были проведены следующие эксперименты.

1. *Эксперимент 1. Определение зависимости модели адаптера на результаты локального позиционирования.*

Для определения мощности сигнала различных мобильных устройств в качестве экспериментальных образцов было выбрано пять устройств с WLAN-интерфейсами: ноутбук, нетбук, два смартфона и планшет. Для выбранных устройств были произведены замеры мощности принимаемого от них сигнала в одних и тех же точках радиокарты.

Проведенный эксперимент подтвердил влияние модели беспроводного адаптера как минимум на одну позиционно зависимую характеристику сигнала – мощность. В связи с этим целесообразным является условное установление определенного диапазона мощности сигнала (возможно, полученного эмпирическим путем), который будет являться универсальным для всех мобильных устройств в данных условиях решения задачи позиционирования при создании автоматизированной системы позиционирования.

2. *Эксперимент 2. Определение зависимости результатов позиционирования от конкретного экземпляра точки доступа Wi-Fi одной и той же модели.*

Для развертывания системы позиционирования недостаточно использование одной точки доступа, поэтому возникает проблема синхронного измерения мощности принимаемого сигнала от нескольких точек доступа. Был проведен эксперимент по измерению мощности сигнала Wi-Fi одного и того же мобильного устройства двумя точками доступа аналогичной модели. Построенные линии трендов позволяют сделать вывод о возможности пренебречь разницей в чувствительности идентичных точек доступа при проведении замеров.

3. *Эксперимент 3. Определение оптимального времени калибровки.*

На этапе калибровки для определения наиболее оптимального интервала времени, необходимого для измерения точной мощности принимаемого сигнала, было посчитано среднее отклонение средних значений мощности сигнала на интервале от эталонной модели зависимости мощности сигнала от расстояния.

Основываясь на полученных результатах среднего отклонения, оптимальное время калибровки, в течение которое возможно получить приемлемый по достоверности уровень мощности сигнала, составляет 60 секунд.

EXPERIMENTAL IMPLEMENTATION OF THE PROBLEM OF LOCAL IDENTIFICATION

Shtanko N.N.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article presents experiments that allow solving the problem of local identification.

УДК 621.396.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО СМЕЩЕННОГО ЕМ-АЛГОРИТМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ НЕГАУССОВОЙ ПОМЕХИ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Яушев С.Т., Файзуллин Р.Р.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Представлены результаты моделирования ЕМ-алгоритма совместно с алгоритмами определения оптимального числа кластеров и их центроидов, для оценки параметров негауссовой помехи в системах связи с подвижными объектами (ССПО).

На вход приемника [1] в каждый момент времени t поступает реализация входного сигнала $s(t)$, $t \in [0, T_c]$, которая после дискретизации представляется вектором отсчетов $\overline{s} = \{s_1, s_2 ... s_k\}$.

Вектор $\overline{s}$ имеет распределение вероятности, заданное смесью гауссовых распределений:

$$\omega\left(\overline{s}, \overline{\theta}\right) = \sum_{k=1}^{K} q_k \mathcal{N}\left(x_n \mid \mu_k, \Sigma_k\right). \qquad (1)$$

В режиме отсутствия абонентского трафика в приемниках многопользовательского детектирования CDMA систем производится оценка параметров полигауссовой смеси (1.1) с помощью ЕМ-алгоритма [2].

Сравнительный анализ алгоритмов показал, что применение смещенного адаптивного ЕМ-алгоритма совместно с алгоритмом «Method Elbow», при ограниченном числе циклов, позволяет получить наивысшую точность, при умеренной скорости выполнения.

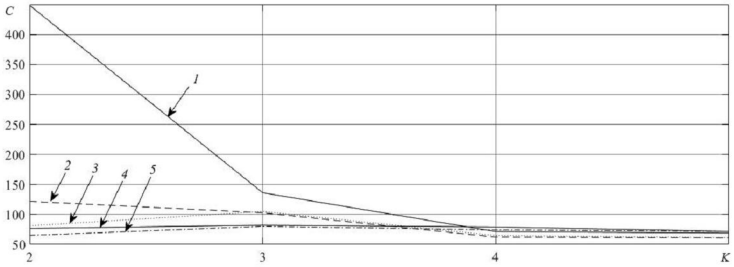


Рис. 1. Зависимость среднего числа циклов до сходимости от количества кластеров в исходной выборке $C(K)$: *1* – ЕМ-алгоритм с фиксированным числом компонент K_{EM} = 3; *2* – адаптивный ЕМ-алгоритм совместно с Калгоритмом «Method Elbow»; *3* – адаптивный ЕМ-алгоритм совместно с алгоритмом «Average Silhouette»; *4* – адаптивный смещенный ЕМ-алгоритм совместно с алгоритмом «Method Elbow»; *5* – адаптивный смещенный ЕМ-алгоритм совместно с алгоритмом « Average Silhouette»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Надеев А.Ф., Подкурков И.А.* Адаптивная оценка параметров распределения негауссовских помех на основе применения ЕМ-алгоритма и его модификаций // Нелинейный мир. 2015. №8. Т.13. С.64-72.

2. *Файзуллин Р.Р., Кадушкин В.В., Зарипов Р.Ф.* Полигауссовый алгоритм совместной демодуляции-декодирования в каналах мобильных систем связи //Нелинейный мир. 2015. №8. Т.13. С. 4-9.

THE SIMULATION OF THE SHIFT ADAPTIVE EM-ALGORITHM FOR ESTIMATING THE PARAMETERS OF THE NON-GAUSSIAN INTERFERENCE IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

Yaushev S.T., Faizullin R.R.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

There is simulation data of the EM-algorithm in cooperation with the algorithms of determining the optimal number of clusters and their centroids for estimating parameters of the non-Gaussian interference in mobile communication systems.

УДК 621.376

ПРОЕКТ 5GNOW

Степанова Н.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

LTE и его эволюция LTE-A стандартизированы через партнерский проект 3-го поколения (3GPP) [2]. Предусмотренная диверсификация сочетания сервисов и устройств будущего телекоммуникационного комплекса и связанное с этим расширение пространства требований [2] требуют революционного шага. Этот шаг с 4G до 5G, ожидаемый в целях проекта 5GNOW, подразумевает падение уровня обратной совместимости. Новые сигналы и использование унифицированного каркаса смесью синхронного и асинхронного трафика являются основным строительным блоком для поддержки этих целей. Проект 5GNOW оценивает преимущества, полученные при использовании новых технологий 5GNOW, и, таким образом, будет генерировать технические выводы, которые определяют решения по изменению поколения.

Индустрия беспроводной связи в целом должна сформировать консенсус по кандидатам на технологию для стандартизации 5G. С этой целью 5GNOW находится в тесном контакте с Европейским исследовательским проектом METIS [3], с тем чтобы широко распространить результаты 5GNOW на промышленность и научное сообщество. Обнадеживающие результаты, 5GNOW и METIS достигли до сих пор, закладывают основу для возникновения 5G инфраструктурные проекты PPP [4].

Эти проекты, основанные на накопленном ноу-хау 5GNOW, руководствуясь концепциями системы METIS, затем смогут непосредственно работать в направлении предварительной стандартизации. 3GPP релиз 14, начиная с 2016 года – первая платформа для создания элемента исследования, ориентированного на новый воздушный интерфейс.

В данном проекте представлены подходы приемопередатчика 5GNOW и структуры кадра вместе с промежуточными результатами работы. Промежуточные результаты 5GNOW заложили основу для разработки нового воздушного интерфейса 5G за пределами LTE-A, который отвечает разнообразным потребностям будущих приложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.3gpp.org

2. *Wunder G., Jung P., Kasparick M., Wild T., Schaich F., Chen Y., Brink S.T., Gaspar I., Michailow N., Festag A., Mendes L., Cassiau N., Ktenas D., Dryjanski M., Pietrzyk S., Eged B., Vago P., Wiedmann F.* 5GNOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications. Communications Magazine, IEEE, vol. 52, no. 2. – Pp. 97,105, February 2014

3. http://www.metis2020.com

4. [11] http://5g-ppp.eu/

5GNOW PROJECT

Stepanova N.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

LTE and its evolution LTE-A are standardized via the 3 rd generation partnership project (3GPP). The foreseen diversification of the service and device-class mix of future telecommunications and the related expansion of the requirement space require a revolutionary step. This step from 4G to 5G, anticipated in the 5GNOW project goals, implies a backward compatibility drop.

УДК 621.376

КОГНИТИВНОЕ РАДИО – ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Степанова Н.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В последние годы мультимедийные беспроводные приложения быстро растут, и эта тенденция будет продолжаться и в будущем. Большой спрос на радиочастотный спектр не позволит разместить новые беспроводные приложения. Однако недавние исследования показали, что большая часть назначенного радиочастотного спектра недоиспользуется.

Когнитивное радио [1] рассматривается как перспективная технология для решения парадокса дефицита спектра и недостаточного использования спектра. В когнитивном радиовещании процесс определения спектра обнаруживает неиспользуемые сегменты спектра. Эти сегменты будут использоваться оптимально без вредных помех для лицензированных пользователей (пользователей, имеющих правовую лицензию на спектр). Эта технология называется пулом спектра [2]. При объединении спектра в качестве схемы передачи основной полосы используется мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM). Познание реализуется путем аннулирования тех поднесущих, которые создают помехи для лицензированных пользователей. Остальные частотные сегменты будут использоваться оптимально с помощью когнитивного радио. Дополнительным преимуществом OFDM является повторное использование модуля FFT для зондирования спектра. Однако из-за прямоугольного окна во временной области система OFDM имеет большие боковые лепестки, которые вызывают помехи соседним полосам.

Предлагается два способа уменьшения помех для лицензированного пользователя: деактивация большего количества поднесущих рядом с лицензированной системой или применение непрямо-

угольных окон для уменьшения утечки спектра. Оба метода уменьшают помехи за счет эффективности пропускной способности. Более того, эти два метода не рассматривали проблемы внедрения системы. Поэтому указание состоит в том, что другие схемы с несколькими несущими могут быть интересными кандидатами для когнитивного радио [3].

Модуляция банка фильтров, называемая фильтрованным мультитоном (FMT) [4], была применена к высокоскоростной цифровой технологии абонентской линии для обеспечения высокоуровневой спектральной защиты в подканалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mitola J., Cognitive III.* Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio, PhD Thesis, Royal Institute of Technology,Sweden, May. 2000.

2. *Weiss T.A.and Jondral F.K.* Spectrum pooling: An innovative strategy for the enhancement of spectrum efficiency," IEEE Commun. Mag., Mar.2004

3. Amini P., Kempter R., Chen R-R., Lin L. and Farhang-Boroujeny B. Filter bank multitone: A candidate for physical layer of Cognitive Radio. SDR Forum Technical Conference, 2005. USA.

COGNITIVE RADIO IS A PROMISING TECHNOLOGY

Stepanova N.V.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

Cognitive Radio is considered as a promising technology to address the paradox of spectrum scarcity and spectrum under-utilization. In Cognitive Radio, a spectrum sensing process locates the unused spectrum segments in a targeted spectrum pool.

УДК 004.415

МОНИТОРИНГ ОШИБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТОВОГО АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ КОМПАНИИ TELE2

Усинов В.Р., Котиков К.В., Ахметшина Э.Г.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время почти все инфраструктуры зависят от компьютеров и соответствующего для их целей программного обеспечения. Программы достигают огромных размеров, а их функционал становится незаменимым. Большинство технологий в плане компьютерной науки пришли с запада, в связи с этим большинство разработанных программ идет именно оттуда. Однако, отечественный производитель не стоит на месте и разрабатывает множество программ. Эти программы объединяются для удобства в огромные кластеры. Кластер не всегда обладает всем желаемым функционалом и для этого создаются вспомогательные программы, которые облегчают процесс взаимодействия между программами и человеком.

Данная программа разработана для внесения удобства и своевременного устранения ошибок при работе с системой программного обеспечения оператора сотовой связи TELE2. В ходе работы со стороны программного обеспечения оператора создается лог-файл с важной информацией в виде: оповещений, предупреждений, ошибок. Однако, при критических ситуациях в виде ошибок нет никаких оповещений о том, что они произошли, кроме записи в этот самый лог-файл. Наша программа отслеживает появление этих ошибок в лог-файле и в случае выявления подобных оповещает оператора ПК по средствам WindowsForms, а также звукового сигнала. В дальнейшем он предпринимает какие-либо действия для устранения возникшей проблемы.

Программа обладает графическим интерфейсом по средствам WindowsForms. Благодаря ему достигается удобство и плавность в использовании.

Для работы программы необходимо указать:

1. Путь до рабочей папки.

2. Таймер, по истечении которого будет выполнятся запрос на контроллер базовой станции и последующий анализ полученного лог-файла.

3. Максимально допустимый размер лог-файла(в килобайтах).

Данные настройки сохраняются на ПК и при новом запуске программы буду загружены.

После применения всех настроек и запуска программы она сворачивается в системный трей до выявления ошибки либо до того момента, пока сам пользователь не решит развернуть её.

Во время работы через определенное время, указанное в таймере, выполняется файл NSN.bat, запускающий исполняемый файл TST10.exe с определенными параметрами, который отправляет запрос на базовую станцию и записывает полученные данные в лог-файл. Данные программы предоставлены от Tele2, и наша программа только запускает их.

При условии, что размер лог-файла превысит максимально допустимый размер, указанный пользователем, то файл будет очищен.

Оповещение об ошибке выводится в новый поток, чтобы оно не останавливало работу программы, т.е. таймер сразу же начинает отсчет.

Если сигнатура была найдена в определенной строке, то в дальнейшем эта строка игнорируется, чтобы одна и та же ошибка не была зафиксирована вновь при следующей проверке:

– Упрощает процесс работы;

– Снижает время нахождение ошибок;

– Повышает надежность работы.

УДК 621.396.6

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИГАУССОВОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНОГО ЕМ-АЛГОРИТМА В НЕГАУССОВСКИХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Фатыхов М.М, Зарипов Р.Ф., Файзуллин Р.Р.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Современный этап развития сетей связи с подвижными объектами характеризуется стремительным внедрением новых технологий и средств эффективной передачи информации по широкополосным каналам связи, но приводит к резкому усложнению сигнально-помеховой обстановки в оперативной зоне пространства систем телекоммуникации.

В работе представлен анализ эффективности применения ЕМ-алгоритма для полигауссового (ПГ) приемника. Моделирование и получение результатов производилось в специализированной программе для моделирования алгоритмов обработки сигналов в мобильных системах связи, которое разрабатывается группой авторов и имеет свидетельство на программу ЭВМ.

Получены результаты оценки эффективности при следующих типах шумов и помех, действующих в канале связи:

– аддитивный белый гауссовский шум и цветной шум;

– быстрые, медленные замирания канала;

– помехи вызывающие межсимвольные искажения;

– внутрисистемные помехи;

– хаотические импульсные помехи;

– канал связи, содержащий разнохарактерные сигнально-помеховые комплексы.

Разработанный модуль «ЕМ-алгоритма» для программы моделирования дополнительно снабжен программным модулем, определяющим оптимальное число кластеров с использованием алгорит-

мов «Method Elbow» и «Average silhouette». Для случаев использования ЕМ-алгоритма с поиском оптимального числа кластеров были получены результаты эффективности работы ПГ-приемника в широком диапазоне варьируемых параметров сигналов и помех.

В работе также представлены результаты анализа требуемой мощности в зависимости от количества помеховых компонент в нормализованном виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Файзуллин Р.Р., Кадушкин В.В., Зарипов Р.Ф.* Полигауссовый алгоритм совместной демодуляции-декодирования в каналах мобильных систем связи //Нелинейный мир, 2015. – № 8. – Т. 13. – С. 4-9.

2. *Файзуллин Р.Р., Щербаков Г.И., Фатыхов М.М., Инсаров А.Ю.* Полигауссовский алгоритм различения-декодирования многоэлементных сигналов // Нелинейный мир, 2017. – № 1. – Т. 15. – С. 47-53.

3. *Надеев А.Ф., Подкурков И.А.* Адаптивная оценка параметров распределения негауссовских помех на основе применения ЕМ-алгоритма и его модификаций // Нелинейный мир, 2015. – № 8. – Т. 13. С. 64-72.

4. Свидетельство № 2017615223. Программа для моделирования алгоритмов обработки сигналов в мобильных системах связи / Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (RU). - № 2017612066 ; заявл. 14.03.2017 ; зарегистр. 05.05.2017.

POLY-GAUSSIAN SIGNAL PROCESSING ALGORITHM USING AN EM-ALGORITHM EFFICIENCY FOR NON-GAUSSIAN CHANNELS ANALYSIS

Fatykhov M.M., Zaripov R.F., Faizullin R.R.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In this thesis EM-algorithm application for poly-Gaussian algorithm efficiency analysis is presented.

УДК 621.37

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ЗАМКНУТОМ ПОМЕЩЕНИИ

Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А.***

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Были рассмотрены такие методы определения координат: Метод ближайшей ячейки; Метод амплитуды сигнала; Метод угла прибытия сигнала; Метод распознавания шаблонов.

Сложив все плюсы и минусы рассмотренных методов, был разработан метод анализа приходящих временных меток сигнала основанный на методе трилатерации.

Для рассмотрения метода определения координат на основе анализа приходящих временных меток сигнала была взята идеальная модель комнаты (Рис.2.1) размерами 5 метров в длину, 3 метра в ширину и 3,5 метра в высоту. Эти параметры были выбраны для будущей реализации данного проекта, так как есть подходящее помещение для тестирования, доработки и реализации всего комплекса беспроводной зарядки.

Активно обсуждаются принципы фокусировки в рамках третьей МНТК(международная молодежная научно-техническая конференция)[1].Свойства сфокусированных антенных решеток рассмотрены в [2-6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного техно-

логического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

2. *Vedenkin D.A*. Control of parameters of large aperture antenna arrays with using the overflight method and principles of virtual focused apertures/ D.A. Vedenkin., V.I. Klassen., Y.ESedelnikov//Нелинейный-мир, 2017. – Т. 15. – № 1. – С. 32-36.

3. *Vedenkin D.A*. Antennas, focused in the near radiated field zone. features and technical application / O.V. Potapova, Y.E. Sedelnikov // Всборнике: 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT-2013. – С. 560-565.

4. *Веденькин Д.А.* Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // Глобальный научный потенциал. 2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

5. *Веденькин Д.А.* Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников.// Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 40-46.

6. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. – Т. 10. – № 5. – С. 36.

ANALYSISOFMODERNPOSITIONINGMETHODS

Akulinin D.M.,Gimadiev D.I., Yulusheva A.I.

Supervisor – ***Vedenkin D.A***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Such methods of determining the coordinates were considered: the method of the nearest cell; Method of signal amplitude; Method of signal arrival angle; Pattern recognition method.

УДК 621.37

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 1. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А.***

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Был разработан метод определения координат на основеанализа приходящих временных меток сигнала, который в свою очередь, базируется на методе трилатерации.

Поиск объекта будет осуществляться определением положения путём построения на местности системы смежных треугольников, в которых измеряются длины их сторон, то есть по принципу трилатерации.

Для того чтобы определить координаты точки на местности, необходимо знать координаты не менее трех точек, а также расстояния до них. Далее, используя систему уравнений трех сфер, можно найти точку их пересечения, которая и будет соответствовать искомой точке.Пересечение минимум трех окружностей, радиусом которых является время пути сигнала, дает точное положение объекта в двухмерном пространстве. При добавлении четвертого передатчика, можно либо уточнить, либо определить координаты искомой точки в трехмерном пространстве

Активно обсуждаются принципы фокусировки в рамках третьей МНТК(международная молодежная научно-техническая конференция)[1].Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [2-5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

2. *Vedenkin D.A*. Control of parameters of large aperture antenna arrays with using the overflight method and principles of virtual focused apertures/ D.A. Vedenkin., V.I. Klassen., Y.ESedelnikov//Нелинейный мир. – 2017. – Т. 15. – № 1. – С. 32-36.

3. *Vedenkin D.A*. Antennas, focused in the near radiated field zone. features and technical application / O.V. Potapova, Y.E. Sedelnikov // Всборнике: 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. – С. 560-565.

4. *Веденькин Д.А.* Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников // Глобальный научный потенциал. 2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

5. *Веденькин Д.А.* Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2007. – Т. 10. – № 5. – С. 36.

DEFINITION OF THE COORDINATE OF THE RECEIVING-TRANSMITTING DEVICE IN THE CLOSED SPACE

Akulinin D.M.,Gimadiev D.I., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

A method for determining the coordinates was developed on the basis of an analysis of the incoming signal timestamps, which in turn is based on the trilateration method.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ В ЗАДАЧЕ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 1. ПРОБЛЕМАТИКА ПЛАНАРНЫХ АНТЕНН

Гимадиев Д.И., Акулинин Д.М., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А***.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Рассматривается проблематика планарных антенн в задаче реализации беспроводного зарядного устройства.

Современные ПА являются резонансными устройствами, электрические размеры которых соизмеримы с длиной волны. Особенностью ПА является наличие острых кромок металлических проводников, вблизи которых наблюдается концентрация токов, увеличивающая потери в металле. Это предъявляет жёсткие требования к точности компьютерной модели, которая должна адекватно описать сложное распределение поля в окрестности таких кромок. Поэтому правильный выбор способа учёта потерь и точная настройка системы проектирования обеспечивают необходимую точность решения электродинамической задачи для ПА.

Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [1-3]. Технические приложения с применением сфокусированной антенной решетки рассмотрены в работах [4]. Активно обсуждались принципы фокусировки в рамках третьей МНТК ПРЭФЖС-2016[5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

2. *Веденькин Д.А*. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников.// Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 40-46.

3. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2007. – Т. 10. – № 5. – С. 36.

4. *Веденькин Д.А*. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 1 (29). – С. 18-31.

5. *Веденькин Д.А*. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

DEVELOPMENT OF THE PLANAR ANTENNA IN THE PROBLEM OF REALIZATION OF THE WIRELESS CHARGER

Gimadiev D.I., Akulinin D.M., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A***.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The perspective of planar antennas in the task of implementation of the wireless accumulator rectifier is considered.

УДК 621.37

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКА В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А.***

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Была разработана математическая модель основанная на методе анализа приходящих временных меток сигнала, который в свою очередь, базируется на методе трилатерации.

Для того чтобы определить координаты точки на местности, необходимо знать координаты не менее трех точек, а также расстояния до них. Далее, используя систему уравнений трех сфер, можно найти точку их пересечения, которая и будет соответствовать искомой точке.

Результатом расчетов являются координаты четырех точек, путем сравнения выбираются две идентичные или приблизительно схожие координаты.

Главное требование можно определить так: между тремя точками доступа и устройством желательна прямая видимость.

Прямая видимость между точками нужна в первую очередь для измерения длины пути сигнала (посредством подсчета временной задержки. При использовании Wi-Fi сетей в помещении мы всегда имеем дело с переотражениями. Более того, все основные технологии стандартов IEEE используют в своей основе именно этот эффект, без которого работают хуже.

Технические приложения с применением сфокусированной антенной решетки рассмотрены в работах [1-3] В настоящее время ведутся работы над применением широкополосных сигналов, некоторые результаты рассмотрены в [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 1 (29). – С. 18-31.

2. *Веденькин Д.А*. Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля / Д.А. Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 4 (32). – С. 22-29.

3. *Веденькин Д.А*. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток / Ю.Е. Седельников // Наука и бизнес: пути развития. – 2013.– № 10 (28). – С. 56-59.

4. *Vedenkin D.A*. Antenna arrays focused on broadband signals / D.A. Vedenkin, Y.E Sedelnikov,A.R. Nasybullin//Journal of Telecommunications and Information Technology. – 2016. – T. 2016. – № 2. – C. 95-102

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE COORDINATE OF A RECEIVER-TRANSMITTER IN A CLOSED SPACE

Akulinin D.M.,Gimadiev D.I., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

A mathematical model was developed based on the method of analyzing incoming signal timesteps, which in turn is based on the trilateration method. The results of the calculations are the coordinates of four points, by comparing two identical or approximately similar coordinates are selected.

УДК 621.37

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКА

Акулинин Д.М. Гимадиев Д.И. Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А.***

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

При анализе погрешности были рассмотрены различные расположения устройства, и, благодаря разработанной математической модели и программному пакету Microsoft office 365 Excel, построены графики зависимости осей координат от увеличения времени обработки сигнала. Для каждой оси была просчитана своя погрешность.

Так же при анализе реультатовбыло выявлено следующее ограничение:

– Четыре излучателя должны создавать две плоскости. Их формируют две тройки излучателей, которые, в свою очередь, не должны находиться на одной линии.

При решении задачи определения координат устройства в замкнутом пространстве были решены следующие подзадачи:

– создание математической модели для поиска устройства внутри заданного помещения;

– по результатам математического моделирования была оценена возможность определения координат устройства и проанализированы погрешности определения координат.

Технические приложения с применением сфокусированной антенной решетки рассмотрены в работах [1-3] В настоящее время ведутся работы над применением широкополосных сигналов, некоторые результаты рассмотрены в [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельни-

ков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 1 (29). – С. 18-31.

2. *Веденькин Д.А.* Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля / Д.А. Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, 2016. – № 4 (32). – С. 22-29.

3. *Веденькин Д.А*. Свойства объемных случайных антенных решеток, сфокусированных в зоне ближнего излученного поля / Седельников Ю.Е., Насыбуллин А.Р., Рябова Н.В., Иванов В.А.// Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2015. – № 12. – С. 30-34.

4. *Веденькин Д.А* Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток / Ю.Е. Седельников // Наука и бизнес: пути развития, 2013. – № 10 (28). – С. 56-59.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE COORDINATE OF THE RECEIVER-TRANSMITTER

Akulinin D.M.,Gimadiev D.I., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

When analyzing the error, various positions of the device were considered, and, thanks to the developed mathematical model and the Microsoft Office 365 Excel software package, graphs of the dependence of the coordinate axes (x, y, z) on the increase in signal processing time were plotted. For each axis, its own error was calculated.

УДК 621.37

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЕЛЕНГАЦИИ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ WI-FI УСТРОЙСТВ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Акулинин Д.М. Гимадиев Д.И. Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А.***

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Были рассмотрены различные виды пеленгации, проведен анализ и сделаны выводы на основе полученных результатов. Так же была проведена работа по разработке метода пеленгации, и математической модели, которая в свою очередь была протестирована при различных условиях. В итоге сделаны окончательные выводы по перспективам развития пеленгации приемо-передающих Wi-Fiустройств в замкнутом пространстве.

Задавшись качеством оценки координат с учетом погрешности в 10 см (проработанная фокусировка электромагнитного излучения и диаграмма направленности планарной антенны позволяет допускать заданную погрешность), требуемая погрешность времени составила ± 300 пикосекунд. Следующим шагом будет поиск и подбор подходящего оборудования, а именно: счетчик временных интервалов и так же тактовый генератор с интервалом, аналогично интервалу счетчика.

Активно обсуждаются принципы фокусировки в рамках третьей МНТК(международная молодежная научно-техническая конференция)[1].Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [2-5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Се-

дельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

2. *Vedenkin D.A*. Control of parameters of large aperture antenna arrays with using the overflight method and principles of virtual focused apertures/ D.A. Vedenkin., V.I. Klassen., Y.ESedelnikov//Нелинейный мир. – 2017. – Т. 15. – № 1. – С. 32-36.

3. *Vedenkin D.A*. Antennas, focused in the near radiated field zone. features and technical application / O.V. Potapova, Y.E. Sedelnikov // Всборнике: 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013. – С. 560-565.

4. *Веденькин Д.А.* Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

5. *Веденькин Д.А*. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 40-46.

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF PELENGAGE OF RECEIVING-TRANSMITTING WI-FI DEVICES IN THE CLOSED SPACE

Akulinin D.M.,Gimadiev D.I., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Various types of direction finding were examined, analysis was carried out and conclusions were drawn on the basis of the results obtained. Also, work was done on the development of the direction finding method, and a mathematical model, which in turn was tested under different conditions.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ В ЗАДАЧЕ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 2. ВЫБОР АНТЕННЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА

Гимадиев Д.И., Акулинин Д.М., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Произведен анализ литературы, связанный с антеннами, подходящих для реализации беспроводного зарядного устройства.

Антеннами называются устройства, излучающие и принимающие электромагнитные волны. Антенна является составной частью радиолокационных, телевизионных, связных и ряда других радиоэлектронных средств и в значительной степени определяет их технические характеристики.

Для реализации задачи беспроводного зарядного устройства необходимо использовать планарную антенну, так как необходимо было разработать антенну, которая будет работать на частоте 2.4-2.5 ГГц, слабо выступающую за пределы устройства и имеющую диаграмму направленности близкую к ненаправленной полусфере.

Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [1-2]. Активно обсуждались принципы фокусировки в рамках третьей МНТК ПРЭФЖС-2016[3]. В настоящее время ведутся работы над применением широкополосных сигналов, некоторые результаты рассмотрены в докладах [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

2. *Веденькин Д.А*. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. – Т. 11.– № 4. С.– 40-46.

3. *Веденькин Д.А*. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

4. *Веденькин Д.А*. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу / Веденькин Д.А, Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Т. 18. – № 3-1. – С. 23-30.

DEVELOPMENT OF THE PLANAR ANTENNA IN THE PROBLEM OF REALIZATION OF THE WIRELESS CHARGER

Gimadiev D.I., Akulinin D.M., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The analysis of literature connected to antennas, suitable for implementation of the wireless accumulator rectifier is made.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ В ЗАДАЧЕ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Гимадиев Д.И., Акулинин Д.М., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А***.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Разработана математическая модель планарной антенны, рассчитаны характеристики согласования и диаграммы направленности.

Для разработки модели планарной антенны воспользуемся программным обеспечением CST STUDIO SUITE Student Edition.

В данной статье была разработана модель планарной антенны, рассчитаны размеры, характеристики согласования и диаграммы направленности.

Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [1-2]. Технические приложения с применением сфокусированной антенной решетки рассмотрены в работах [3-4]. Активно обсуждались принципы фокусировки в рамках третьей МНТК ПРЭФЖС-2016 [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

2. *Веденькин Д.А*. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 40-46.

3. *Веденькин Д.А*. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 1 (29). – С. 18-31.

4. *Веденькин Д.А*. Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля / Д.А.Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 4 (32). – С. 22-29.

5. *Веденькин Д.А*. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

DEVELOPMENT OF THE PLANAR ANTENNA IN THE PROBLEM OF REALIZATION OF THE WIRELESS CHARGER

Gimadiev D.I., Akulinin D.M., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Tthe mathematical model of the planar antenna is developed, characteristics of coordination and the direction characteristic are calculated.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ В ЗАДАЧЕ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. Часть 4. ВИДЫ ОПТИМИЗАЦИЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ

Гимадиев Д.И., Акулинин Д.М., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А***.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Рассмотрены виды существующих методов оптимизаций, оптимизирована модель планарной антенны.

Существуют несколько методов математической оптимизации: градиентный метод, метод параллельных касательных, метод сопряженных градиентов, метод покоординатного спуска.

В данной статье приведена оптимальная модель планарной антенны, рассчитаны оптимальные размеры, характеристики согласования и диаграммы направленности.

Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [1-3]. Технические приложения с применением сфокусированной антенной решетки рассмотрены в работах [4]. Активно обсуждались принципы фокусировки в рамках третьей МНТК ПРЭФЖС-2016 [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников. // Глобальный научный потенциал. –2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

2. *Веденькин Д.А.* Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппа-

ратов / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников// Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 40-46.

3. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2007. – Т. 10. – № 5. –С. 36.

4. *Веденькин Д.А*. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 1 (29). –С. 18-31.

5. *Веденькин Д.А*. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

DEVELOPMENT OF THE PLANAR ANTENNA IN THE PROBLEM OF REALIZATION OF THE WIRELESS CHARGER

Gimadiev D.I., Akulinin D.M., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

((Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Types of the existing methods of optimization are considered, the model of the planar antenna is optimized.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ В ЗАДАЧЕ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. Часть 5. ЗАДЕЛ НА БУДУЩЕЕ

Гимадиев Д.И., Акулинин Д.М., Юлушева А.И.
Научный руководитель – ***Веденькин Д.А.***

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Произведен анализ полученных результатов моделирования, поставлены задачи на дальнейшее улучшение модели планарной антенны в задаче реализации беспроводного зарядного устройства.

Были рассмотрены конструкции планарных антенн, выбраны размеры элементов. Произведен расчет формы антенны и характеристик. Разработана модель планарной антенны. Выбрали плоскую планарную антенну, так как необходимо было разработать антенну, которая будет работать на частоте 2.4-2.5 ГГц, слабо выступающую за пределы устройства и имеющую диаграмму направленности близкую к ненаправленной полусфере.

В дальнейшем также необходимо будет учесть влияние электромагнитного излучения на человека. Также необходимо будет рассмотреть другие виды антенн для реализации данной задачи, к примеру антенну Вивальди.

Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [1-2]. Активно обсуждались принципы фокусировки в рамках третьей МНТК ПРЭФЖС-2016 [4].В настоящее время ведутся работы над применением широкополосных сигналов, некоторые результаты рассмотрены в докладе [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин Д.А*. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Д.А. Веденькин,

Ю.Е. Седельников // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 10 (31). – С. 86-88.

2. *Веденькин Д.А*. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 40-46.

3. *Веденькин Д.А.* Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2016. – № 2 (30). – С. 90-99.

4. *Веденькин Д.А.* Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Т. 18. – № 3-1. – С. 23-30.

DEVELOPMENT OF THE PLANAR ANTENNA IN THE PROBLEM OF REALIZATION OF THE WIRELESS CHARGER

Gimadiev D.I., Akulinin D.M., Yulusheva A.I.
Supervisor – ***Vedenkin D.A.***

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The analysis of the received results of simulation is made, the tasks on further improving of model of the planar antenna in the task of implementation of the wireless accumulator rectifier are set.

УДК 654.078

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ 4-5G НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА BIG DATA

Фадеев В.А., Гайсин А.К.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Большие данные (Big Data) на сегодняшний день становятся неотъемлемой частью телекоммуникаций.

В русле сетей мобильной связи четвертого и пятого поколений мы можем выделить основные направления по применению методов обработки больших данных такие, как обработка принимаемых сигналов в Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) системах, обработка сигнальных потоков D2D (Device-to-Device) технологии, приложения, связанные с M2M (Machine-to-Machine) инструментами (например, «Интернет вещей») и динамическая оптимизация качества предоставляемых услуг (QoS – Quality of Service) [1].

Рассматривая методы оптимизации QoS, стоит отметить, что по данному направлению уже ведется ряд исследований по выявлению корреляций между поведением пользователя и сетевым трафиком [2]. Разработки направлены на частичный или полный переход от долговременного планирования сети к динамически оптимизируемым структурам, что входит в концепции самоорганизующихся сетей (SON - Self-Organizing Networks) и оптимального распределения ресурсов.

Процессы, связанные с обработкой больших данных в мобильных сетях, можно условно разделить на четыре большие группы: сбор, хранение, анализ данных и оптимизация сети. Сбором могут быть заняты такие элементы сети, как абонентское оборудование (UE – User Equipment), сеть радиодоступа (RAN – Radio Access Network), ядро сети (CN – Core Network) и провайдеры Интернет-сервисов [2]. Проблемы хранения данных включают в себя также проблематику пропускной способности, т.к. для быстрого доступа необходимы вы-

сокопроизводительные инструменты. Область анализа данных предполагает применение эффективных алгоритмов машинного и глубокого обучения.

С понятиями оптимизации QoS связана оптимизация ключевых показателей эффективности (KPI – Key Performance Indicator). В данном случае одним из наиболее популярных методов по обработке данных выступает нейронная сеть (NN – Neural Network), которая должная, основываясь на тренировочной выборке, оценивать QoS, что является отправной точкой для дальнейшей оптимизации сети. Главными преимуществами такого подхода являются высокая производительность и адаптивность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gao Y., Ao H.* Review of Wireless Big Data in 5G: From Physical Layer to Application Layer, 2nd IEEE International Conference on Computer and Communication, 2016

2. *Zheng K., Yang Z., Zhang K., Chatzimisios P., Yang K., Xian W.* Big Data-Driven Optimization forMobile Networks toward 5G, IEEE, 2016

3. *Pierucci L., Micheli D.* Neural Network for Quality of Experience Estimation in Mobile Communication Networks, IEEE, 2016

METHODS OF ESTIMATION OF QOS IN 4-5G MOBILE NETWORKS BASED ON BIG DATA ANALYSIS

Fadeev V.A., Gaysin A.K.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The main problems and features of Big Data analysis are observed in this paper. The main directions was described corresponding to trends of future communication networks.

УДК 621.391.8

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЮДЖЕТА ОПТИЧЕСКОГО МЕЖСПУТНИКОГО КАНАЛА CUBESAT

Гибалина З.С., Фадеев В.А.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Тенденция к миниатюризации актуальна для области космических технологий, ярким примером служат микроспутники формата CubeSat. В ходе данной работы производится оценка энергетического бюджета оптической межспутниковой линии связи. Для расчетов мы принимаем некоторые исходные параметры: переданная мощность равна 1 Вт, расстояние между спутниками – 100 км, длина волны 1550 нм, скорость передачи – 10^6 бит/с. Типовые параметры выбраны согласно [1]. Если используется PIN-фотодиод, то мы имеем дополнительный шум на усилителе, и на приемнике мы должны принять как минимум 10000 фотонов на бит, а для APD (лавинного) фотодиода нам требуется как минимум 1000 фотонов [2]. Минимальная требуемая принимаемая мощность рассчитывается следующим образом:

$$P_{req} = \frac{E_{b,req}}{T_b} = N_{ph} h f R_b , \qquad (1)$$

где $R_b = 1/\tau_b$ это скорость передачи; N_{ph} – количество фотонов; h – постоянная Планка; f – несущая частота оптического сигнала. Принимая мощность рассчитывается по формуле:

$$P_{rx} = \frac{A_{rx}}{2\pi R^2}\left(1 - \frac{\ln 2}{\ln\left(\cos\theta_{div}\right)}\right) P_{tx} , \qquad (2)$$

где $A_{rx} = \pi / 4 d_{rx}^2$ – это область приема и усиление приемника, которые зависят от диаметра приемника d_{rx}; R – расстояние между спут-

никами; θ_{div} – угол отклонения луча (угловая ширина луча); P_{tx} – мощность передатчика.

На рис. 1 показаны зависимости требуемой и принимаемой мощностей. Первичная оценка показывает теоретическую возможность применения оптического межспутникого канала.

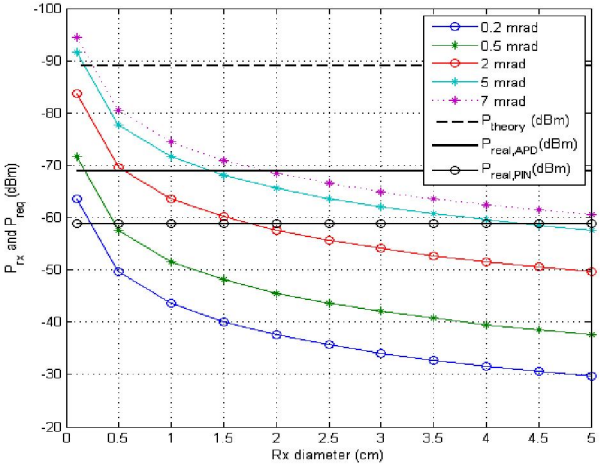


Рис. 1. P_{rx} и $P_{rx,\ req}$, дБм – теоретический
и реалистичный пределы для PIN и APD)
в зависимости от диаметра и угловой шириной угла (мрад)
при P_{tx} = 30 дБм

Дальнейшие работы в данном направлении связаны с анализом возможных решений практической реализации данного канала связи в микроспутниковых системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. QB50 project https://www.qb50.eu (дата обращения 1.09.2017)

2. *Personick S.D.* Optical detectors and receivers, Journal of Lightwave technology, Vol. 26, No. 9, May 1, 2008.

3. *Wolf M., Kress D.* Short-range wireless infrared transmission: the link budget compared to RF, IEEE, 2003.

ESTIMATION OF THE ENERGY BUDGET OF THE CUBESAT OPTICAL INTER-SATELLITE CHANNEL

Gibalina Z.S., Fadeev V.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The typical inter-satellite link budget for optical case was considered. Based on primary estimation prospective of this type of communications for CubeSats can be discussed.

УДК 621.396.673

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ «УМНЫЕ ДОРОГИ»

Халилова А.А., Абдрахманова Г.И.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Современные достижения в области науки и техники привели к появлению такого понятия, как «Умные дороги», которые светятся в темноте, предупреждают о появлении опасности, отслеживают состояние трафика и реагируют на возникшие проблемы.

В октябре 2012 года в Голландии был предложен проект, согласно которому освещение осуществляют дорожная разметка, выполненная из люминесцентной краски, и светодиоды, получающие питание от ветра [1], а фонари работают лишь при приближении транспортного средства. В случае возникновения риска появления гололеда на трассе прорисовываются «снежинки».

Проект Solar Roadways [2] предполагает замену дорожного покрытия на солнечные батареи, накрытые прозрачным сверхпрочным материалом на основе стекла, способным выдерживать постоянную транспортную нагрузку. В [3] представлен проект «Lybra» («подземное питание»), согласно которому осуществляется преобразование кинетической энергии, полученной от колес автомобилей, в электрическую. С августа 2015 года в Великобритании ведутся испытания технологий беспроводной зарядки электрических и гибридных автомобилей прямо во время движения [4]. Аналогичные индукционные дороги используются в Южной Корее (г. Куми), где городские автобусы курсируют по специальному маршруту протяженностью порядка 25 км, используя только энергию, получаемую «из-под земли».

В [5] описываются дороги, по которым будут ездить машины без водителей на основе технологии DSRC на частоте 5,9 ГГц, выделенной FCC. Протокол DSRC объединяет беспроводные технологии и RFID, чтобы транспортные средства получали сообщения с придорожных датчиков на расстоянии около 1000 м. DSRC может инфор-

мировать других водителей, уменьшая вероятность аварии, и запускать автоматическую систему торможения. DSRC. В [6] описываются детекторы СВЧ-устройств, установленные на дорогах, также известные как MVDS, которые работают в лицензированных микроволновых радиочастотных диапазонах и предоставляют данные о трафике: скорость, объем, классификация и размещение транспортного средства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дергунов С.А., Орехов С.А., Кулешов И.В. К вопросам внедрения «умных магистралей» // Оренбург: Вестник Оренбургского государственного университета, 2015. – № 5 (180). – 132-136 с.

2. Популярная механика. URL: http://www.popmech.ru (дата обращения: 10.0.2017).

3. Дорожные технологии и материалы. URL: http://www.roadtm.com/ (дата обращения 10.03.2017).

4. *Бородина Е.С.* Состояние и перспективы развития дорожного строительства России и Зарубежья. Перспектива. Сборник статей молодых ученых № 16. Ч. 1. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – 277 с.

5. *Chuck Gates*. Smart roads: Driving technology accelerates // Chuck Gates – Deseret News Utah. – 2010. – P 7.

6. *Arturo Espinosa*. Wavetronix High Definition Microwave Vehicle Detector (MVDS) // Arturo Espinosa – Proprietary Product Certification Justification MEMORANDUM. 2015. P 3.

«SMART HIGHWAY» TECHNOLOGIES REVIEW

Khalilova A.A., Abdrakhmanova G.I.

(Ufa state aviation technical university)

Different technologies, which are proposed to be used in «Smart highway» projects, are described in the paper. They are mostly intended on providing security, energy and resources saving and environmental care.

УДК 621.376.9

МЕТОД ЧАСТОТНОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ СШП СИГНАЛА СО СКАЧКООБРАЗНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТНЫХ ПОЛОС

Грахова Е.П.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Предлагаемый метод частотного манипулирования относится к методам спектральной модуляции сверхширокополосного (СШП) сигнала и основан на использовании частотных полос спектральной маски Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ), характеризующихся максимальной разрешенной мощностью. Данный метод реализуется за счет использования особой схемы кодирования символов сообщения, согласно которой они разносятся по трем непересекающимся частотным интервалам внутри маски ГКРЧ. При этом размер символа сообщения может достигать трех бит, в случае использования помехоустойчивого сверточного кодирования с внесением памяти.

Использованная схема помехоустойчивого кодирования (рис. 1) формирует битовую последовательность, в которой не встречается комбинация бит «11». В результате, сигнал на выходе кодера характеризуется наличием всего четырех возможных позиций для модуляции данных: «000», «001», «010», «100».

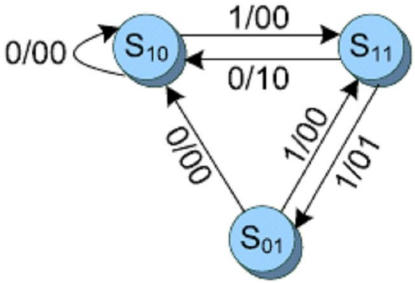


Рис. 1. Диаграмма Маркова для помехоустойчивого кодирования сигнала

Модулирующие радиоимпульсы формируются на основе импульса формы оптического солитона (ОС), путем скачкообразного изменения его центральной частоты, в соответствии с центральными частотами полос внутри маски ГКРЧ.

Сигнал на выходе кодера модулируется, согласно следующей разработанной схеме: при поступлении символа «000», в канал связи передается ноль; в случае символа «001» на выходе формируется ОС с центральной частотой первого окна маски; для символа «010» на выходе формируется ОС с центральной частотой второго окна маски; для символа «100» формируется ОС с центральной частотой третьего окна маски.

Метод демодуляции данных для предложенного метода основан на спектральном анализе символов принимаемого сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jurado-Navas, A. Garrido-Balsells J.M. et al.* Rate-Adaptive Signalling Schemes Treated as Runlength-Limited Sequences for Atmospheric Free-Space Optical Communications // IEEE Proceedings of ACIT, 2010. – Pp. 307-312.

2. *Grakhova E., Rommel S.* Pulse shaping for high data rate ultra-wideband wireless transmission under the Russian spectral emission mask // International Journal of Communication Systems, 2017, e3388. – Pp. 1-10. DOI 10.1002/dac.3388.

FSK FOR UWB SIGNALS WITH ABRUPT REDISTRIBUTION OF FREQUENCY BANKS

Grakhova E.P.

(Ufa state aviation technical university)

FSK method for UWB signals restricted by the SCRF spectral mask is proposed based on the central frequency control of optical soliton pulses in accordance with new symbol coding scheme.

УДК 621.391.26

МОНИТОРИНГ СИГНАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ GSM НА БАЗЕ RTL-SDR

Морозов А.С., Гайсин А.К.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Мониторинг состояния сети является ключевой задачей для операторов связи, которая позволяет анализировать параметры загрузки оборудования, качество предоставляемых услуг, предотвращать сбои и обеспечивать заданный уровень обслуживания конечного пользователя. В конечном итоге, вся полученная информация используется для оптимизации и повышения производительности сети.

Одним из способов измерения параметров качества обслуживания служат анализаторы протоколов. Они способны с высокой скоростью захватывать трафик на различных сетевых интерфейсах [1]. В исследовании производилось сканирование радиоинтерфейса стеи стандарта GSM с помощью SDR приемника RLT-SDR.

RTL-SDR – это доступное USB устройство, которое принимает сигналы в диапазоне 24 – 1750 МГц и полосой пропускания от 250кГц до 3МГц. Первоначально оно использовалось в качестве DVB-T тюнера, но при помощи замены программного обеспечения данное устройство может быть использовано для приема сигналов различных систем связи [2].

Целью работы служит исследование возможности применения RTL-SDR в совокупности с открытым программным обеспечением, как средства мониторинга параметров качества обслуживания сети GSM.

Методика исследования заключается в проведении эксперимента по захвату сообщений управления передаваемых по нисходящей линии связи и их декодирование (преобразование кода к форме удобной для непосредственного использования [3]).

Для проведения эксперимента использовался компьютер на базе ОС Linux с установленным программным обеспечением (GNURadio и Wireshark) для обработки и декодирования информации, получаемой с радиоинтерфейса приемником RTL-SDR.

В ходе эксперимента удалось захватить и декодировать следующие виды сообщений: Paging Request, Immediate Assignment и System Information. Все они передаются в общем (CCCH) или широковещательном (BCCH) каналах управления. Команды выделенных каналов управления (SDCCH) для конкретной мобильной станции возможно декодировать только, зная ключ шифрования текущей сессии устройства.

Захваченные сообщения позволяют получить следующую информацию о сети:

• Вид канала, доступ к которому будет обеспечен для мобильного терминала в режиме ожидания;

• Получение устройством доступа к выделенному каналу SDCCH с указанием рабочего таймслота (изменение конфигурации канала);

• Список несущих абсолютных радиочастотных номеров канала (ARFCN) для мониторинга мобильной станцией внутри соты;

• Список ARFCN в соседних сотах, в том числе и UTRAN;

• Различная информация о соте (идентификатор зоны местоположения, уникальный идентификатор базовой станции).

В результате эксперимента удалось принять и декодировать команды, передаваемые в общих, широковещательных и частично в выделенных каналах управления. Т.к. информация по выделенным каналам связи в основном передается в зашифрованном виде, декодирования команд протокола сигнальных сообщений является затруднительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems/ David Soldani, Man Li, Renaud Cuny. – Chichester, England, UK. 2006. – 1-3, 370 с.

2. Software Defined Radio using MATLAB® & Simulink® and the RTL-SDR/ Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee. – Glasgow, Scotland, UK. 2015. – 3 c.

3. *Марков А.А*. Введение в теорию кодирования. – М.: Наука, 1982. – 192 с.

MONITORING OF MOBILE NETWORK SIGNALING MESSAGES BASED ON THE RTL-SDR

Morozov A., Gaysin A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

This article explores the possibility of using RTL-SDR in monitoring GSM signal traffic. The results of capturing downlink control messages are shown and described.

УДК 621.391.26

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ GSM НА БАЗЕ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ OpenBTS

Морозов А.С., Гайсин А.К.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Современные программно-определяемые радиосистемы позволяют создавать основные элементы сети стандарта GSM и обеспечивать взаимодействие с сетями общего пользования. Причём стоимость реализации данной сети будет определяться стоимостью аппаратной части SDR приёмника. Это позволяет проводить имитационное моделирование сети в лабораторных условиях. В работе рассмотрен способ реализации такой модели на основе открытого программного обеспечения OpenBTS.

OpenBTS – это Unix приложение, которое использует программно-определаяемую радиосистему для предоставления радиоинтерфейса стандартному GSM телефону и применяет SIP-коммутатор для обеспечения соединения вызовов с внешними фиксированными сетями связи [1].

Имитационное моделирование сети GSM проводилось для изучения возможности контроля качества обслуживания на основе анализа сигнальных сообщений при различных сценариях работы сети.

В качестве программно-определяемой радиосистемы использовалось NI-USRP 2920. На начальном этапе была настроена возможность взаимодействия USRP с системой через LAN.

Далее было установлено программное обеспечение OpenBTS, Asterisk, SIPAuthServe и SMQueue. Asterisk – это VoIP коммутатор, отвечающий за обработку запросов SIP и соединение абонентов друг с другом.

SIPAuthServe является приложением, которое обрабатывает запросы SIP REGISTER, которые генерирует OpenBTS, когда телефон пытается подключиться к мобильной сети.

SMQueue – это приложение, которое обрабатывает запросы SIP MESSAGE, которые генерирует OpenBTS, когда телефон отправляет SMS [2].

Для корректной работы системы необходимо произвести конфигурацию OpenBTS, которая заключается в выборе рабочей полосы частот, ARFCN и занесении IMSI и Call ID в регистр пользователей. После данных действий удалось успешно пройти аутентификацию в сети, произвести вызовы между двумя мобильными станциями, между программным SIP телефоном и МС, а также отправку SMS – сообщений между пользователями.

В результате была построена GSM сеть, которая позволяет получить полный доступ к сигнальному потоку сообщений, между базовой станцией и мобильным устройством. Мониторинг сообщений может производиться как сканированием радиоинтерфейса с помощью RTL-SDR, так и непосредственным захватом трафика с проводного подключения к USRP.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. OpenBTS Docomentations: OpenBTS wiki Режим доступа: http://openbts.org/wiki/

2. Getting Started with OpenBTS / Michael Iedema – United States of America.2015. – 12, 13 с.

BUILDING A GSM NETWORK BASED ON THE OPEN SOURCE SOFTWARE OPENBTS

Morozov A.S., Gaysin A.K.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

This article describes the possible use, construction and configuration of the GSM network based on the OpenBTS. As a result, we received an individual GSM network, with the ability to monitor a specific procedure from start to finish.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Бакиров Р.Р., Рахимов Д.Р.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Ортогональное частотное разделение каналов

OFDM – одна из разновидностей частотного мультиплексирования, в котором единственный канал использует кратные поднесущие на смежных частотах. Кроме того, поднесущие в системе OFDM накладываются, чтобы увеличить спектральную эффективность. Обычно, перекрытие на соседние каналы может вызывать взаимную интерференцию. Однако поднесущие в системе OFDM точно ортогональны друг другу, поэтому они накладываются без интерференции. В результате системы OFDM позволяют увеличить спектральную эффективность, не вызывая интерференции в соседних каналах.

Задача синхронизации

Сегодня в виду широкого использования данной технологии OFDMпри передаче информации, задача синхронизации продолжает оставаться актуальной. OFDM имеет сильную зависимость к качеству синхронизации символов и величине смещения несущей частоты. За годы исследований в данном направлении было предложено множество подходов, как оценивать синхронизацию и частотное смещение. Наиболее популярным из используемых алгоритмов является метод предложенный Шмидлом.

Метод Шмидла

Предложенная Шмидлом форма обучающего символа во временной области состоит из двух идентичных элементов обучающей последовательности.

Используя свойство периодичности обучающих символов, вычисляется метрика принятия решения как отношение корреляции P(n) двух соседних обучающих символов к мощности одного обучающего символа R(n).

$$M(n) = \frac{|P(n)|^2}{(R(n))^2};$$

$$P(n) = \sum_{m=0}^{L-1} (r(n+m+L) \cdot r^*(n+m));$$

$$R(n) = \sum_{m=0}^{L-1} |r(n+m+L)|^2.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Timothy M.* Schmidl and Donald C.Cox, “Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM,” IEEE Trans. Commun., vol. 45, no. 12, pp. 1613–1621, December 1997.

2. *Guo Yi, Liu Gang and Ge Jianhua*. A Novel Time and Frequency Synchronization Scheme for OFDM Systems.

SYNCHRONIZATIONIN SYSTEMS WITH ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIP LEXING

Bakirov R.R., Rakhimov D.R.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Synchronization of OFDM signals is considered by the method proposed by T. Schmidl and D. Cox. A comparisonofthis synchronization method with other methods used in OFDM is given. The analysis and synthesis of frequency and time synchronization algorithms for OFDM signals is performed. The results of experimental studies were obtained in LabViewprogramm.

СОВРЕМЕННЫЕ ФОРМАТЫ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

Асаад Я.И., Рахимов Д.Р.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

FBMC

FBMC означает метод частотного мультиплексирования с множеством несущих, использующий банк частотных фильтров.Вместо фильтрации всей полосы, как в случае OFDM, FBMC осуществляет фильтрацию отдельно каждой поднесущей, специальнымузкополосным фильтром с длинной по временной импульсной характеристикой. Это даёт нам возможность регулировать внеполосное излучение каждой поднесущей, что позволяет увеличить общую спектральную эффективность, при сохранении высокой скорости передачи данных.

Для FBMC требуетсявыполнение только условия ортогональностисоседнихподнесущих, при этом не требуетналичия циклического префикса у сигнала.

UF-OFDM

В технологии UFMC сигнал разбивается на несколько группподнесущих, которые затем фильтруются (несколько поднесущих в одном банке фильтровобрабатываютсясовместно). Фильтрация в UF-OFDM обеспечивает дополнительную гибкость системы связи, это дает нам возможность улучшить показатель внеполосного излучения системы, тем самымулучшить общую спектральную эффективность.

Технология UF-OFDM, обладает наибольшей эффективностью при обмене небольшими сообщениями. Поэтому многие исследователи рассматривают её как одного из возможных кандидатов для систем мобильной связи пятого поколения (5G)наравне с OFDM, FBMC, CP-OFDM. Основной особенностью 5Gявляются небольшие размеры пакетов, низкиевеличины отклика, низкое энергопотребление.

Также UF-OFDM, благодаря использованию модуляции QAMи ортогональности поднесущих, обеспечивает полную поддержку технологии MIMO, в отличии например от технологииFBMC.

GFDM

GFDM представляет собой гибкую технологию передачи на основе передачи данных с использованием нескольких несущих, которая имеет много общего с OFDM. Основное различие заключается в том, что поднесущие не ортогональны друг другу.

GFDM – это система с несколькими несущими, которая основывается на классической фильтрации сигналов. Также как и в OFDMдля уменьшения влияния многолучевого распространения сигнала используется циклический префикс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEEE article: 5G Air Interface Design based on Universal Filtered (UF-)OFDM by Thorsten Wild, Frank Schaich, Yejian Chen

2. IEEE article: GFDM – Generalized Frequency Division Multiplexing by Gerhard Fettweis, Marco Krondorf and Steffen Bittner

THE NEW WAVEFORMS FOR FUTURE RADIO SYSTEMS

Asaad Y.I., Rakhimov D.R

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

New types of waveforms will be playing an important role in the development of 5th generation (5G) and future wireless communication systems. In the article the future waveforms with high spectral efficiencyfor radio systems (FBMC, UF-OFDM, GFDM) are identified, which is the most probable candidates of waveforms for high speed data transmit regime in 5G. Also, the information about the convenient waveform is presented.

УДК 621.391

ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ СИГНАЛЬНО-ПОМЕХОВОГО КОМПЛЕКСА НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИЕМНИКОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Чабдаров Ш.М., Алексеев А.В., Зарипов Р.Ф., Фатыхов М.М., Семенов В.Ю., Осама Диб

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Излагается развитие представленных ранее на конференции «ПТиТТ-2008» материалов доклада [1] в части методов и путей обеспечения «схемотехничности алгоритмов» обработки случайных процессов, наблюдаемых в приемниках при действии сигнально-помеховых комплексов (СПК) со случайными составами при всевозможных флуктуациях входящих в эти комплексы сигналов, внешних аддитивных и мультипликативных помех на фоне внутриаппаратурных шумов и возмущающих воздействий.

Актуальность и содержательные аспекты понятия «схемотехничность алгоритма» как результатов системо-схемотехнической фазы с их влиянием на весь процесс разработки и вектор комплексной технологичности системы подробно излагаются в докладе, но из-за лимита текста тезисов представлены здесь фрагментом структурной схемы этого процесса и списком публикаций.

Тезисно акцентируем внимание на том, что синтез функционально оптимальных по помехоустойчивости алгоритмов на основе универсально единообразных моделей всевозможных по ТЗ сигнально-помеховых комплексов в радиолиниях и приемных трактах средств системы, принципиально приводя к структурам типовых многоканальных радиотехнических устройств, позволяет ранжировать эти каналы по возрастающей сложности с одновременным снижением вероятности их необходимости в алгоритме, что зависит от вероятностных свойств состава и компонент СПК при том, что схемотехничность

алгоритма в комплексной технологичности приемного тракта зависит, в частности, и от функциональности, и от сложности, и от относительной необходимости каждого канала.

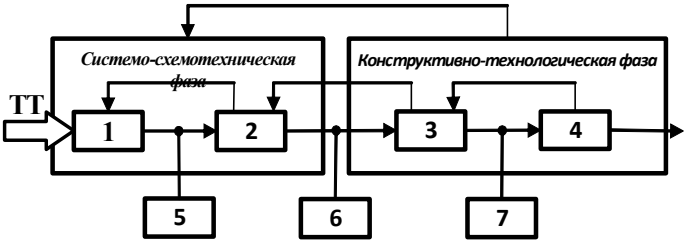


Рис. 1. Фрагмент структурной схемы процесса проектирования РЭА:
1 – синтез алгоритмов; *2* – разработка схем; *3* – разработка конструкций;
4 – разработка технологий; *5* – расчет схемотехничностей алгоритмов;
6 – расчет конструктивностей схем; *7* – расчет технологичностей конструкции

Это приводит ко множеству алгоритмов, в разной степени квазиоптимальных по функциональности, но с противоположной тенденцией квазиоптимальности по другим скалярным параметрам схемотехничности, порождая множество разноконструктивных схем.

Подчеркнем, что необходимые оценки схемотехничности в части функциональности возможны только при наличии универсально-единообразных форм и моделей всевозможных СПК и методик определения функциональности алгоритмов и соответствующих схем. Эти и другие положения доклада иллюстрируются примерами притиповых СПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.В., Чабдаров Ш.М.* Показатели информационных и материальных технологий в комплексной технологичности средств телекоммуникаций. IX Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникации». Сб. науч. тр. – Казань. КГТУ им. А.Н. Туполева, 2008.

2. *Чабдаров Ш.М.* Методические проблемы формирования понятий и методов обеспечения технологичности в комплексе «Радиосистема – схема – конструкция – технология». Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-методической конференции «Актуальные проблемы совершенствования подготовки специалистов авиационного профиля». – МАИ, 1984.

3. *Чабдаров Ш.М., Феоктистов А.Ю., Файзуллин Р.Р.* Методы и математические модели единого системо- и схемо-конструкторско-технологического подхода к разработке радиоаппаратуры. Радиопромышленность. – № 4. – 1991.

4. *Алексеев А.В., Застела М.Ю., Сафонов В.Л., Чабдаров Ш.М.* Основы технологичности и конструктивности изделий радиоэлектроники: учебное пособие // под ред. М.Ю. Застела. – Казань, ЗАО «Новое знание», 2012 – 144 с.

SIGNAL-INTERFERENCE COMBINATION DETERMINING INFLUENCE ON TELECOMMUNICATION RECIEVER PRODUCIBILITY

Alexeev A.V., Zaripov R.F., Fatykhov M.M., Semenov V.Yu., Osama Deeb, Chabdarov Sh.M.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In this thesis,stochastic processes (with random composition of all sorts of signals, external additive and multiplicative interferences fluctuation against the background of internal noise and perturbation action) processing “algorithm circuitry” provision methods and ways evolution is shown.

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Рахимов Д.Р., Надеев А.Ф.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Системы передачи данных на основе ортогонального частотного метода мультиплексирования каналов (на англ. OFDM) стали широко распространены сегодня для обеспечения высокоскоростного доступа мобильных терминалов. Особенностью систем на основе OFDM является использование множества поднесущих, которые взаимно ортогональны, для параллельной передачи информации. Длительность символа для системы на основе OFDM больше, чем в случае использования традиционной последовательной системы передачи, при условии одинаковой скорости данных. Это является одной из причин слабого влияния эффектов многолучёвого распространения на качество передачи информации в системах с OFDM.

Процедура синхронизации является одним из этапов в последовательности обработки сигнала, который требует особого внимания при разработке системы связи.В настоящее время активно ведутся работы по созданию модификаций OFDM, при этом исследователи стараются найти способы упрощения процедуры синхронизации при сохранении её эффективности. Среди широко используемых алгоритмов синхронизации стоит отметить 3 основных – алгоритм Шмидла (Schmidl T.M., Cox D.C. Robust frequency and timing synchronization for OFDM), Ван Де Бека (Jan-Jaapvan de Beek, Magnus Sandell, Per Ola Börjesson, ML Estimation of Time and Frequency Offsetin OFDM Systems) и Минна (H. Minn, M. Zeng, and V.K. Bhargava «On Timing Offset Estimationfor OFDM Systems).

Целью исследования является сравнение качества работы каждого из алгоритмов синхронизации при различных типах каналов передачи, наличии негауссовских помех и сторонних сигналов.Резуль-

таты исследования позволят лучше понять внутренниепроцессы происходящие в приёмнике при воздействии негауссовских помех и несистемных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Надеев А.Ф., Рахимов Д.Р., Зульхарнеев Р.Р.* Полигауссовский алгоритм различения сигналов на фоне негауссовских помех. Нелинейный мир. – Т. 12 – № 10. – 2014.

2. *Надеев А.Ф., Рахимов Д.Р., Щербаков Г.И.* Полигауссов алгоритм обработки OFDM-сигналов: Сборник трудов конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций-2014».

THE ANALYSIS OF SYNCHRONIZATION ALGORITHMS TO THE INTERFERENCE IMMUNITY FOR OFDM BASED SYSTEMS

Rakhimov D.R., Nadeev A.F.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Today, systems based on parallel transmission techniques are widely used. OFDM, that stands for Orthogonal Frequency Division Multiplexing, one of the frequently used methods, that allow transmit data in multiple streams. Among many challenges, the implementation of synchronization is one of the most important for overall effectivenessof communication system.

The work is about comparison of synchronization algorithms for OFDM based communication systems. We consider three frequently used algorithm under different communication channel conditions.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДОФОКУСИРОВКИ ОБЛУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Рахимов Д.Р., Надеев А.Ф.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Сегодня в околоземном пространстве функционируют сотни телекоммуникационных спутников. Среди них выделяется часть, расположенная на геостационарной орбите, которая обеспечивает телевещание. При этом из-за значительной удалённости спутника от поверхности земли (36000 км) на космическом аппарате устанавливают раскрывающиеся параболические антенныбольшого диаметра (10 и более метров), которые могут обеспечить требуемый коэффициент усиления сигнала (20-45дБ). Однако в процессе эксплуатации, поверхность антенны может деформироваться вследствие нагрева от солнечных лучей. Изменение профиля антенны от расчётного приводит к увеличению уровня боковых лепестков. Различают три вида деформаций: систематические, связанные с искривлением разных сегментов антенны, периодические, связанные с расположением несущих конструкций антенны, и случайные, связанные с изменениями небольших участков антенны.

Для устранения влияния деформаций рефлектора антенны на эффективность передачи радиосигналов используют антенную решётку, которая располагается рядом с фазовым центром параболической антенны.Каждый отдельный луч формируется с помощью семи элементного кластера излучателей. В процессе работы алгоритма, осуществляется анализ сигналов с наземных радиомаяков, для оценки искажений рефлектора. После оценки, осуществляется подстройка фазовых соотношений между сигналами, входящими в состав кластера для компенсации.

Для отработки функционирования алгоритма, был разработан программно-аппаратный комплекс, который базируется на инструментарии по разработке программно-определяемых радиосистем от компании National Instruments. Он состоит из 8-ми портового вектор-

ного анализатора сигналов NIPXIe 5663E, 8ми портового векторного генератора сигналов NIPXIe 5673 и программного обеспечения написанного в среде Lab View, которое реализует алгоритм оценки величины деформации и компенсации её величины с помощью подстройки фазовых соотношений между сигналами, формируемыми антенной решёткой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Надеев А.Ф., Чабдаров Ш.М., Хуснутдинов Т.М., Рахимов Д.Р., Зульхарнеев Р.Р.* Разработка прототипа маячкового ответчика системы вторичной радиолокации на базе технологии программно-определяемого радио. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – № 2-2. – 2013. – С. 148-153.

2. *Надеев А.Ф., Кузеев Р.Р., Рахимов Д.Р., Зульхарнеев Р.Р., Подкурков И.В., Титоренко Д.В., Ерофеев В.И.* Комлекс моделирования программно-определяемых радиосистем. Сборник трудов конференции «Нигматуллинские Чтения-2013». – С. 143-146.

THE HARDWARE IMPLEMENTATION OF THE PATTERN DISTORTION COMPENSATION ALGORITHM

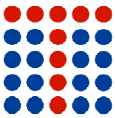
Rakhimov D.R., Nadeev A.F.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In convenient spasebased communication systems, large foldable parabolic antennas are used. They suffer from deformations due to sun radiation.

The work describes the design of software-hardware complex for evaluation of the algorithm that estimate and compensate the influence of reflector deformations.

СПОНСОРЫ ФОРУМА



ТАТТЕЛЕКОМ
Работаем на родной земле!

ИНФОКОМ-ЛТД
РОССИЯ | САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ROHDE&SCHWARZ

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

FIBERTOOL
ГРУППА КОМПАНИЙ

NATIONAL INSTRUMENTS

Лифс

МТС

ОЭС
СПЕЦПОСТАВКА

СЕКЦИЯ 1

ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.39

АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕТИ PON

Росляков А.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Экологические аспекты являются одним из четырех целевых сегментов, учитываемых при разработке концепции будущих сетей (Future Networks) [1], активно разрабатываемой Международным союзом электросвязи (МСЭ) [2].Вклад телекоммуникационных технологий в снижение негативного воздействия будущих сетей на окружающую среду может быть реализован, прежде всего, через энергосбережение [3,4,5].Эталонная модель измерения энергопотребления будущих сетей представлена в Рекомендации МСЭ-Т Y.3022 [6]. Одной из перспективных сетей проводного доступа для построения сетей будущего является технология пассивной оптической сети PON (Passive Optical Network). Сеть PON содержит один оптический линейный терминал OLT (Optical Line Terminal), устанавливаемый на стороне станции, и несколько оптических сетевых устройств ONU (Optical Network Unit), устанавливаемых у пользователей. Оптические волокна и оптические сплиттеры пассивные и они не учитываются при оценке энергопотребления PON. Поэтому потребляемая PON энергия E_{PON} является суммой энергопотребления OLT E_{OLT} и всех ONT, входящих в состав сети $\sum_i E_{\text{ONU},i}$ (рис. 1).

Рассмотрим сеть PON с мультиплексированием с временным разделением каналов (TDM-PON), которая имеет свои осо-

бенности при измерении энергопотребления. В системе TDM-PON терминал OLT имеет передатчик OLT-Tx, приемник OLT-Rx и общий модуль OLT-CM. Эти компоненты OLT всегда включены, поэтому энергопотребление всеми компонентами OLT в TDM-PON равно [3, 6]:

$$E_{\text{OLT}}^{\text{TDM}} = \sum_{0}^{T} \left\{ P_{\text{OLT-CM}} + P_{\text{OLT-T}_\text{x}} \left(\rho_{\text{DL}}, n \right) + P_{\text{OLT-R}_\text{x}} \left(\rho_{\text{UL}}, n \right) \right\}, \qquad (1)$$

где – потребляемая мощность общим модулем OLT; $P_{\text{OLT-T}_\text{x}} \left(\rho_{\text{DL}}, n \right)$ – потребляемая мощность передатчиком OLT; $P_{\text{OLT-R}_\text{x}} \left(\rho_{\text{UL}}, n \right)$ – потребляемая мощность приемником OLT; ρ_{DL} – нагрузка вниз DL (Down Link) к устройству ONU; ρ_{UL} – нагрузка вверх UL (Up Link) от устройства ONU; n – число ONU, обслуживаемых OLT; T – время измерения.

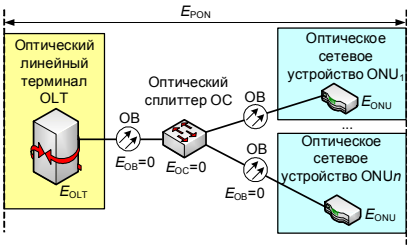


Рис. 1 – Обобщенная модель PON для измерения энергопотребления

Из формулы (1) видно, что энергопотребление OLT зависит от нагрузки к устройствам и от устройств ONU, а также от их количества, подключенных к OLT.

ONU также имеет передатчик ONU-Tx, приемник ONU-Rx и общий модуль ONU-CM. Так как эти компоненты ONU всегда включены, то общее энергопотребление ONU равно [3, 6]:

$$E_{\text{ONU}}^{\text{TDM}} = \sum_{0}^{T} \left\{ P_{\text{ONU-CM}} + P_{\text{ONU-T}_\text{x}} \left(\rho_{\text{UL}} \right) + P_{\text{ONU-R}_\text{x}} \left(\rho_{\text{DL}} \right) \right\}. \qquad (2)$$

Из (2) видно, что мощность, потребляемая передатчиком ONU, зависит от нагрузки из сети к пользователю, а мощность, потребляемая приемником ONU, зависит от трафика от пользователя в сеть. Для экономии энергопотребления в ONU МСЭ-Т предлагает использовать два режима сна: дремлющий режим и режим циклического сна [5].

В дремлющем режиме ONU выключает свой передатчик и держит всегда включенным приемник. Потребление энергии ONU в дремлющем режиме равно [6]:

$$E_{\text{ONU-Dose}}^{\text{TDM}} = \sum_{0}^{T} \left\{ P_{\text{ONU-R}_\text{X}} + P_{\text{ONU-CM}} + P_{\text{ONU-T}_\text{X}} \left(\rho_{\text{UL}}, l_{\text{size}}, s_{\text{Doze}} \right) \right\}, \quad (3)$$

где l_{size} – размер пакетов; s_{Doze} – состояние дремлющего режима.

В режиме циклического сна ONU периодически просыпается, включив как передатчик, так и приемник, чтобы проверить, имеется ли трафик на передачу или прием. Энергопотребление ONU в режиме циклического сна равно [6]:

$$E_{\text{ONU-CycleSleep}}^{\text{TDM}} = \sum_{0}^{T} \left\{ P_{\text{CM}} + P_{\text{T}_\text{X}} \left(\rho_{\text{UL}}, l_{\text{size}}, T_s, s_{\text{CycleSleep}} \right) \right\} + \\ + P_{\text{R}_\text{X}} \left(\rho_{\text{UL}}, l_{\text{size}}, T_s, s_{\text{CycleSleep}} \right),$$

где T_s – длина интервала сна.

Произведена оценка энергопотребления в сети TDM-PON на базе оборудования компании Eltex. В качестве OLT выбран мультисервисный узел доступа и агрегации MA4000-PX, предназначенный для построения сетей доступа GPON. В состав MA4000-PX входят два модуля управления и коммутации PP4X и до 16 модулей PLC8, каждый из которых поддерживает до 8 интерфейсов GPON 2,5 Гбит/с. К каждому модулю PLC8 можно подключить максимально 512 ONU. В качестве ONU выбраны абонентские терминалы ONT NTP. Результаты анализа показали, что при средней загрузке энергопотребление сети GPON может быть снижено до 30 % при использовании дремлющего режима и до 50 % в режиме циклического сна (рис. 2).

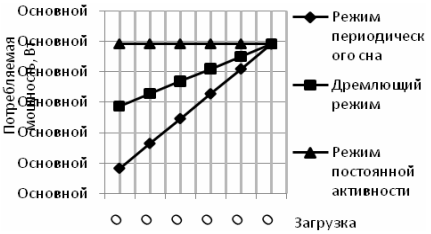


Рис. 2 – Энергопотребление сети GPON при различных режимах работы

При этом необходимо учитывать, что при этих режимах возможны дополнительные задержки при передаче трафика, так как необходимо время для перевода ONU из режима дремлющего или циклического сна в активный режим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Росляков, А.В.* Будущие сети (Future Networks) / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин. – Самара: ПГУТИ, 2015.

2. Recommendation ITU-T Y.3001: Future Networks: Objectives and design goals (05/2011).

3. *Росляков, А.В.* Оценка энергопотребления будущих сетей // Электросвязь. 2016. №8. С. 44-51.

4. *Росляков, А.В*. Оценка энергоэффективности будущих сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – Вып. 3 (11). – С. 54–64.

5. Recommendation ITU-T Y.3021: Framework of energy saving for future networks (01/2012).

6. Recommendation ITU-T Y.3022: Measuring energy in networks (08/2013).

POWER CONSUMPTION ANALYSIS OF PON

Roslyakov A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

One of the main goals of Future Networks is to reduce energy consumption for their operation through the use of various energy-saving technologies. The most important components of current and Future Networks are Passive Optical Networks (PON), which are widely used for the construction of broadband access networks. The article describes the method of measuring the power consumption of PON equipment with time division multiplexing TDM-PON channels, based on the materials of the Recommendations ITU-T Y.3021 and Y.3022. Evaluation of potential energy savings performed for the GPON-based OLT and ONU Eltex Russian company equipment using dose mode and cyclic sleep mode. The results of the analysis showed that the power consumption of the GPON network can be reduced to 30 % when using the sleep mode and up to 50 % in the cyclic sleep mode with an average network load.

УДК 654.09

ПРИМЕНЕНИЕ WHISPERING GALLERY MODES В ОПТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЯХ

Гизатулин А.Р.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Whispering gallery modes (WGM, моды шепчущей галереи) – это специфические «резонансы» или собственные моды, распространяющиеся по кольцевой траектории вокруг полости благодаря непрерывному полному внутреннему отражению от поверхности резонатора и соблюдению условия резонанса. Электромагнитные моды шепчущей галереи обладают многими уникальными свойствами, такими как сверхвысокая добротность, малый пространственный объем мод, малые размеры резонаторов, поддерживающих их, и возможность возбуждения этих мод на оптических и телекоммуникационных длинах волн. Благодаря этому возможен широкий спектр приложений, в частности, для разработки активных и пассивных устройств полностью оптических сетей (AON).

Свойства резонаторов мод шепчущей галереи напрямую зависят от их геометрии, а также от свойств материала (например, показателя преломления), из которого они изготовлены. В виду минимальных потерь на отражение и низкого затухания, такие резонаторы могут иметь, как уже говорилось выше, очень высокую добротность $Q = \lambda / \Delta\lambda$ (где λ есть центральная резонансная длина волны, а $\Delta\lambda$ – диапазон (окрестность) резонансных длин волн) вплоть до 10^{11} в отличие от максимальной добротности в 10^5 для лучших резонаторов Фабри-Перо (например, показана теоретическая добротность 10^5 для идеального резонатора Фабри-Перо без потерь, которая, однако, уменьшается до $Q > 2000$ при использовании реальных диэлектриков). Такие значения добротности WGM-резонаторов обусловливают очень высокую плотность энергии (порядка ГВт/см^2) и очень узкую резонансную полосу частот (менее 100 кГц при 1550 нм). По-

добные свойства делают WGM-резонаторы весьма привлекательными для использования в лазерах, оптической и радиочастотной связи (в частности, в технологии RoF), квантовой оптике и датчиках. Наиболее интересные приложения WGM-резонаторов включают в себя: фильтры в волоконно-оптической связи, исследование нелинейных оптических эффектов и генерация (оптических) частотных гребней; лазеры со сверхнизким порогом; перестраиваемые связанные резонаторные оптические волноводы (СВЧ-диапазон) для фотонных интегральных схем. Также отметим потенциальную возможность применения WGM-резонаторов при построении систем связи с модовым мультиплексированием на основе вихревых мод, поскольку данные резонаторы приводят к возникновению момента импульса света, связанного с вращением поля. Применительно к AON на основе рассмотренных резонаторов возможна разработка широкого спектра компонентов, например фильтров, сплиттеров (частотно-селективных), циркуляторов, переключателей и т.д.

Исследование проводится при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания образовательных организаций высшего образования № 8.5701.2017/БЧ.

APPLICATION OF WHISPERING GALLERY MODES IN OPTICAL COMMUNICATIONS

Gizatulin A.R.

(UFA State Aviation Technical University)

In this paper whispering gallery modes (WGM) and corresponding resonators are briefly described and considered. Applications of these modes especially in the field of optical communications are also reviewed.

УДК 621.391

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЕКСИКОГРАФИЧЕСКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ КОДОВ

Гладких А.А., Мишин Д.В., Чилихин Н.Ю.

(Ульяновский государственный технический университет, ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Оптоволоконные системы передачи данных являются основой обеспечения глобальной коммуникации современного общества. Высокая пропускная способность и низкий уровень помех являются основными преимуществами указанного класса систем связи. Тем не менее, в оптоволоконных системах передачи данных имеются ряд мешающих факторов, возникающих в силу временной эксплуатации, так и в силу особенностей используемого оптоволоконного кабеля. Для компенсации подобных проявлений необходимо использовать современные помехоустойчивые коды и их методы декодирования [1]. Новым направлением развития теории помехоустойчивого кодирования являются полярные коды и лексикографический способ их декодирования. Основными преимуществами полярных кодов являются, способность достигать пропускной способности двоично-симметричного канала связи, высокая адаптация под задачи конечного пользователя, приемлемый уровень корректирующей способности [2]. В основе лексикографического подхода лежит метод кластеризации пространства разрешенных кодовых комбинаций. Технология разбиения на кластеры или лексикографического упорядочения пространства разрешенных кодовых комбинаций двоичных блоковых помехоустойчивых кодов реализует неалгебраический подход к процедуре обработки кодовых векторов приемником. Источник информации работает в поле элементов из $GF\left(2^k\right)$, где $k \in N$ – число разрядов в комбинации безызбыточного кода. После прохождения канального

кодера, который содержит порождающую матрицу $G_{k\times n}$, происходит формирование на его выходе последовательности длины $n > k$. Групповой код $C_{n,k}$ над полем элементов из $GF\left(2^n\right)$ считается заданным в рамках описанной операции. Исходя из свойств вложенности двоичных полей степени расширения n и менее, комбинации любого кода $C_{n,k}$ могут быть разбиты на кластеры с уникальными номерами ϕ_s. Следовательно, происходит лексикографическое упорядочивание, где $1 \le \varphi \le k$ – число двоичных разрядов, определяющих номер кластера, а s – принятая система счисления. Тогда $C_{n,k} = \left\{\{c_0\},\{c_1\},...,\left\{c_{2^\varphi-1}\right\}\right\}$, где $\{c_i\}$ – множество комбинаций из $C_{n,k}$, принадлежащих кластеру с номером $\varphi_s = i$, где $i = \overline{0,2^\varphi - 1}$ [1]. В новых условиях все комбинации кода содержат три непересекающихся между собой по символам кодового вектора части: $\langle\phi\rangle$ – сочетание любых произвольно выбранных разрядов кодовой комбинации, обозначающих номер ϕ_s кластера, $\langle k-\varphi\rangle$ – любые разряды кодового вектора, представляющие индикатор эквивалентности кода, $\langle n-k\rangle$ – другие, не используемые в процедуре кластеризации и не обязательно избыточные разряды. В работах [1,3-5] описываются и доказываются следующие свойства подобного разбиения. В групповом коде $C_{n,k}$ все кластеры $\{c_i\}$ могут быть разбиты на два типа. К первому типу относится единственный кластер, содержащий единичный элемент аддитивной абелевой группы $\{c_{i=0}\} = \left\{0, c_{0,2^0},...,c_{0,2^{k-\varphi}-1}\right\}$. В таком кластере все элементы, относящиеся к группе $\langle\varphi\rangle$, равны нулю. Ко второму типу относятся кластеры с номерами $i \ne 0$. Кластер $\{c_{i=0}\}$ является базовым.

Проведенные имитационные модели показывает, что в области низких значений отношения сигнал/шум, кластерное или лексикографическое декодирование имеет энергетический выигрыш (1 ÷ 1,5 дБ) в сравнении с классическими схемами декодирования [1,6]. В результате исследований показана возможность декодирования полярных кодов на основе кластерного разбиения пространства разрешенных

кодовых векторов и обработки их в системе только базового кластера, а также целесообразность применения полярных кодов в качестве основы помехозащищенности для оптических систем связи. Малозатратный метод перестановочного декодирования с точки зрения временной задержки обработки информационного потока позволяет компенсировать групповые задержки транспортный сетей, построенных на базе оптического волокна. Простота и гибкость управления пропускной способностью за счет применения расстояния Бхаттария полностью удовлетворяют потребности, как конечного пользователя, так и сети в целом для адаптивного менеджмента инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладких А.А.* Методы эффективного декодирования избыточных кодов и их современные приложения / А.А. Гладких, Р.В. Климов, Н.Ю. Чилихин // Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 258 с.

2. *Arikan E.* Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels, IEEE Transactions on Information Theory, 2009. – № 7 (55). – Pp. 3051–3073.

3. Унификация алгоритмов декодирования избыточных кодов в системе интегрированных информационно-управляющих комплексов / А.А. Гладких, Н.Ю. Чилихин, С.М. Наместников, Д.В. Ганин // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 1 (39). – С. 13–20.

4. *Чилихин Н.Ю.* Эффективное декодирование кодов Рида-Маллера и полярных кодов на основе кластерного подхода // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем: сб. науч. тр. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – Вып. 9. – С. 79–82.

5. *Гладких А.А.* Эффективное декодирование двоичных блоковых кодов / А.А. Гладких, Н.Ю. Чилихин // Труды XV Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций». – Казань, 2014. – Т. 1. – С. 71–73.

6. *Карташеский В.Г.* Прием кодированных сигналов в каналах с памятью / В.Г. Карташевский, Д.В.Мишин // Радио и связь. – 2004. – 238 С.

IMPROVING EFFICIENCY OF FIBER OPTIC COMMUNICATION SYSTEMS WITH THE USE OF LEXICOGRAPHIC DECODING OF POLAR CODES

Gladkikh A.A., Mishin D.V., Chilikhin N.Y.

(Ulyanovsk State Technical University, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The fiber optic communication systems are the basis for ensuring global communication of the modern society. High bandwidth and low noise are the main advantages of the indicated class of communication systems. Nevertheless, fiber optic communication systems have a series of confounding factors arising because of the temporary operation, and due to the used fiber optic cable. To compensate for such manifestations it is necessary to use modern error-correcting codes and their decoding methods. In the work proposed to use polar codes and the lexicographic method of decoding. The main advantages of polar codes are the ability to achieve bandwidth, binary symmetric channel of communication, high adaptation to the end-user and acceptable level of correcting capabilities. In the based lexicographic approach is the method of clustering of the space of allowed codewords. Technology of division clusters or lexicographic ordering of the space of allowed codewords of error-correcting binary block codes implements non-algebraic approach to the processing of code vectors of the receiver, allowing to reduce the computation cost and to provide energy gain.

УДК 778.534.19

MULTI-VIEW 3D DISPLAY

Petrov N.I., Sokolov Yu.M., Khromov M.N., Storozheva A.L.

(Scientific and technological center of unique instrumentation of RAS)

There are different types of the real 3D display systems, including multi-view, holographic and integral imaging methods [1, 2]. Integral imaging 3D display is one of the promising displays that provide different perspectives according to viewing direction. Integral imaging is the most simple and suitable method of creating real 3D image.

In this paper the glassless multi-view projection display system that combines the modules of capturing three-dimensional objects, image processing (creation of 3D files) and display screen with holographic diffuser is presented. Multi-projector system is designed and 3D images on 30-inch screen are demonstrated.

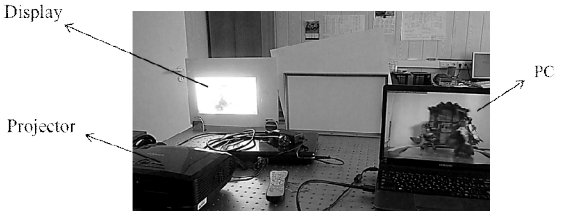


Figure. Display system

Optical design of display screen (lenticular array [3] and directional diffusers) and the algorithm for creation of 3D digital files taking into account the characteristics of the display screen and DLP matrix of projectors allow the 3D systems, which are superior in characteristics (view angle, depth and absence of the discomfort for viewers) in compare to the conventional stereoscopic 3D displays, to be developed. The additional viewpoints, i.e. motion parallax give the necessary perception set of the 3D-scenes perspectives and have the property of «looking around» an object.

Proposed displays have a wide range of potential applications including 3D TVs and projection systems, mobile phones, as well as the systems for videoconference and medical applications.

The financial support of this research by the Russian Science Foundation (project No. 17-19-01461) is highly appreciated.

REFERENCES

1. *Geng Jason*. Three-dimensional display technologies // Advances in Optics and Photonics, 2013. – Vol. 5. – P. 456–535.

2. *Lee J.-H., Park J., Nam D., Choi S.Y., Park D.S., and Kim C.Y.* Optimal projector configuration design for 300-Mpixel multi-projection 3D display // Optics Express, 2013. – Vol. 21. – P. 26820–26835.

3. *Petrov N.I., Petrova G.N.* Diffraction of partially-coherent light beams by microlens arrays // Optics Express, 2017. – Vol. 25. – № 19. – P. 22545–22564.

ПОЛИРАКУРСНЫЙ 3Д ДИСПЛЕЙ

Петров Н.И., Соколов Ю.М., Хромов М.Н., Сторожева А.Л.

(Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН)

Предложена многоракурсная 3Д изображающая система для получения интегральных изображений, состоящая из модуля записи изображений трехмерных объектов, цифровой обработки (создание 3Д файлов) и экрана для воспроизводства изображения. Разработаны проекционная система и экран, проведена демонстрация 3Д дисплея.

УДК 621.391

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В ДАТЧИКАХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Яблочкин К.А., Дашков М.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университете телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время распределенный контроль акустических и вибрационных воздействий находит широкое применение в таких приложениях, как спектральная (акустическая) скважинная шумометрия, мониторинг нефтегазовых скважин, системы охраны и мониторинга трубопроводов, системы охраны периметра, контроль состояния инженерных сооружений и т.д. При этом наиболее перспективными, а для ряда задач и единственно возможными, являются системы на основе распределенных волоконно-оптических акустических датчиков. Применение в качестве чувствительного элемента оптического волокна позволяет обеспечить значительную протяженность, высокую разрешающую способность, высокую чувствительность, широкий диапазон регистрируемых колебаний. Существенным преимуществом подобных систем, является низкая восприимчивость оптического волокна к внешним электромагнитным воздействиям. Однако высокая стоимость одномодовых систем ограничивает их массовое применение. В тоже время можно отметить перспективность применения сенсоров с маломодовым режимом распространения сигнала в оптическом волокне, обладающих более высокой избирательной чувствительностью при многофакторном воздействии, а так же лучшей экономической эффективностью [1-7]. В данной работе представлены результаты проведенных исследований зависимости поляризационных характеристик сигнала обратного рассеяния в оптическом волокне, работающем в маломодовом режиме, при внешних акустических воздействиях для повышения метрологических и эксплуатационных характеристик датчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Layton M.R., Bucaro J.A.* Optical fiber acoustic sensor utilizing mode-mode interference, Applied Optics. – 1979. – Vol. 18. – № 5. – P. 666–670.

2. *Kumar A. et al.* A fiber-optic temperature sensor based on LP01-LP02 mode interference. Optical Fiber Technology, 2000. – Vol. 6. № 1. – P. 83–90.

3. *Li E.B. et al*. Fiber-optic temperature sensor based on interference of selective higher-order modes. Applied Physics Letters. – 2006. – Vol. 89. – № 9. – P. 091119-091119-3.

4. *Котов О.И., Чапало И.Е.* Локализация внешнего воздействия в распределенном межмодовом волоконном интерферометре. Письма в ЖТФ, 2015. – Т. 41, в. 23. – С. 54–60.

5. *Li An*. Few-mode fiber based optical sensors, Optics Express, 2015. – Vol. 23. – № 2. – P. 1139–1150.

6. *Wu H. et al.* Few-mode fiber based distributed curvature sensor through quasi-single-mode Brillouin frequency shift. Optics Letters, 2016. – Vol. 41. – № 7. – P. 1514–1517.

7. *Wang M. et al*. Few-mode fiber based Raman distributed temperature sensing. Optics Express, 2017. – Vol. 25. – № 5. – P. 4907–4916.

APPLICATION OF FEW-MODE OPTICAL FIBERS IN ACOUSTIC SENSORS

Yablochkin K.A., Dashkov M.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper the results of application of few-mode optical fibers in acoustic sensors is represented.

УДК 621.391

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО СЕТИ ШПД ОТ ГЕОМЕТРИИ РАЙОНА ЗАСТРОЙКИ

Яблочкин К.А., Чеховских Е.С.

(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университете телекоммуникаций и информатики»)

В настоящее время на сетях широкополосного абонентского доступа (ШПД) появляются и получают всё более широкое распространение новые высокоскоростные услуги связи, а также повышается качество традиционных услуг [1]. Происходит постепенная интеграция всех мультимедийных услуг связи в одном физическом канале с применением волоконно-оптических технологий. При широкополосном подключении предоставляется сразу нескольких видов информации (передача данных, речи и видео) в виде специальных пакетов услуг для абонентов. Волоконно-оптические сети доступа практически не имеют ограничений по скорости передачи, но из-за высокой стоимости строительных работ, приемо-передающего оборудования и линейно-кабельных сооружений необходимо учитывать экономическую целесообразность применения выбранных оптических технологий. В подобных условиях операторы начинают строительство своих сетей в новых регионах точечно, рассчитывая на окупаемость инвестиций в долгосрочной перспективе. В работе проведен анализ зависимости капитальных затрат на строительство сети ШПД от геометрии района застройки для наиболее эффективного использования финансовых ресурсов компании [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов: в 2-х томах. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / А.В. Бурдин [и др.]; ред. В.А. Андреев. [7-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Горячая линия - Телеком, 2010. – Т. 2. – 424 с.

2. *Бурдин, В.А.* Методическое пособие по курсовому проектированию «Технико-экономические показатели широкополосных сетей доступа» / В.А. Бурдин и др. – Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2014. – 87 с.

THE COST ANALYSIS OF THE BROADBAND NETWORK FROM THE DISTRICT GEOMETRY

Yablochkin K.A., Chekhovskikh E.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper the cost analysis of building a broadband network from the district geometry for the most effective use of finance is represented.

УДК 004.056; 681.335

СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ НИЗКОСКОРОСТНОГО АКУСТО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Бурдин В.А., Губарева О.Ю.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Предложен способ симплексной передачи данных по оптическому волокну кабельной линии, заключающийся в том, что оптическое излучение от источника когерентного оптического излучения вводят в оптическое волокно волоконно-оптического кабеля. При этом, оптическое излучение от источника когерентного оптического излучения перед вводом в оптическое волокно модулируют по фазе сигналом с постоянным периодом, а распространяющийся по оптическому волокну сигнал принимают фазочувствительным когерентным приемником на дальнем конце кабельной линии. На локальном участке кабельной линии передаваемым по организуемому акусто-оптическому каналу акусто-вибрационным сигналом от передатчика, расположенного на некотором расстоянии от волоконно-оптического кабеля, воздействуют через волоконно-оптический кабель на оптическое волокно. В результате модулируют полезным сигналом по фазе распространяющееся в оптическом волокне оптическое излучение вибро-акустическим сигналом, и принимают модулированное оптическое излучение фазочувствительным когерентным приемником, с помощью которого выделяют полезный сигнал.

METHOD OF ORGANIZATION OF ACOUSTO-OPTICAL CHANNEL FOR A LOW-SPEED DATA TRANSMISSION

Burdin V.A., Gubareva O.Y.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The method for simplex data transmission over an optical fiber of a cable line is proposed. This method consists in that optical radiation

from a laser is introduced into an optical fiber of a cable. This optical radiation from the coherent optical radiation source is modulated in phase before the input to the optical fiber by a signal with constant period. At the local section of the cable line, an acousto-vibrational signal transmitted from the transmitter located at some distance from the fiber-optic cable transmitted through the organized acoustic-optical channel is acted through the fiber optic cable to the optical fiber. As a result, the optical signal propagating in the optical fiber is modulated with a vibro-acoustic signal. The modulated optical radiation is received by a phase-sensitive coherent receiver. By means of phase-sensitive coherent receiver a useful signal is extracted.

УДК 004.7

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БОРТОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Андреев В.А., Бурдин В.А., Бурдин А.В., Дмитриев Е.В., Телешевский С.Г., Шустанов В.Ю.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе рассматривается модульный принцип построения оборудования, который по сравнению с традиционными подходами обеспечивает повышение надежности бортовых волоконно-оптических систем передачи данных за счет реализации следующих положений.

Отказ от специализированных микросхем и шины TelecomBUS. Связь между составными частями сетевого элемента осуществляется посредством оптических волокон в последовательном коде. Более перспективно применение открытой оптической связи.

Модульный подход. Сетевой элемент состоит из нескольких конструктивно законченных и функционально самостоятельных компонентов (модулей), что обеспечивает возможность масштабирования в соответствии с требованием потребителя. Каждый модуль может быть с легкостью исключен из одного сетевого элемента и включен в другой сетевой элемент.

Открытая архитектура. Каждый сетевой элемент оборудования состоит из линейного модуля и нескольких трибутарных модулей. Заменой программы линейного модуля и установкой определенных трибутарных модулей можно трансформировать один и тот же сетевой элемент оборудования для решения самых различных задач с минимальными издержками.

Объединение коммутации пакетов и коммутации каналов способом инкапсулирования протокола пакетов протокола Ethernet (методом конкатенации) и практически любых других протоколов, по специальным алгоритмам в структуру синхронной системы переда-

чи, что позволяет применять методы маршрутизации пакетов внутри синхронных систем, что решает проблемы загрузки каналов передаваемыми пакетами, передачи пакетов и другого контента с минимальной задержкой по времени и без потерь пакетов и кадров.

Все эти положения позволяют существенно уменьшить число слоев печатных плат, снизить вероятность включения несанкционированного программного обеспечения, контролировать и управлять качеством передачи информации и, тем самым, существенно повысить надежность функционирования бортовых волоконно-оптических систем передачи данных. Возможности реализации данных положений демонстрируются на примере аппаратуры МСТО.

METHODS OF INCREASING THE RELIABILITY OF FIBER OPTIC ON-BOARD SYSTEMS FOR DATA TRANSMISSION

Andreev V.A., Burdin V.A., Bourdine A.V., Dmitriev E.V., Teleshevsky S.G., Shustanov V.Y.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The modular principle of equipment design is considered. It in comparison with traditional approaches due to the implementation of a number of provisions, allows to significantly reduce the number of layers of printed circuit boards, reduce the probability of unauthorized software inclusion, and control the quality of information transmission, thereby, significantly improve the reliability of on-board fiber optic data transmission systems. The possibilities for implementing these provisions are demonstrated using the example of MSTO equipment.

УДК 004.056

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Бурдин В.А., Губарева О.Ю.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Защитаконфиденциальной информации (КИ) безусловна важна. Практически в любой крупной компании существуют комнаты для переговоров, а в государственных учреждениях режимные помещения и хранилища данных носителей сведений, составляющих государственную тайну.Для защиты,которых первоначально необходимо выделить каналы утечки КИ, которые как правило зависят от их конструктивных особенностей. Затем определяться со способами и средствами защиты информации (ЗИ).

В настоящее время злоумышленники активно осваивают акусто-опто-волоконный канал утечки речевой КИ, возникновение которого как правилосвязано с возможностью создания акустического контакта с оптическим кабелем (ОК) как непреднамеренно при монтаже и эксплуатации, так и злонамеренно нарушителем.Известны способы нейтрализации воздействия акустических полей на ОК путем специальной звукоизолирующей оболочки волокна и кабеля, которая понижает влияние вибраций и звука на параметры света в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), однако, это не обеспечивает полной защиты. Известны способы нейтрализации локального влияния акустических полей на ОК путем включения в ВОЛС специального оборудования, восстанавливающего параметры световых импульсов в ней – повторители, регенераторы сигналов.Использование специального и/или активного оборудования само несет опасность формирования утечки, что требует специального обслуживания, размещения рядом с защищаемым помещением в специальном шкафу, регламентированных проверок функционирования и т.д. А также тре-

бует специальной защиты от утечки по побочным электромагнитным излучениям и наводкам.В своей работе авторы предлагают устройство ЗИ, которое работает по следующему принципу: на ОВ устанавливается источник акусто-вибрационных колебаний на частотах акустических шумов различного спектра или специально обработанной речи, который создает колебания, распространяемые по протяженному элементу, обеспечивающему распространение акустических и вибрационных колебаний. Эти колебания вследствие жесткой связи протяженного элемента, обеспечивающего распространение акустических и вибрационных колебаний, с конструкцией ОК вдоль всей длины выделенного помещения передаются на ОВ и модулируют проходящие по ОВ в обоих направлениях потоки света на частотах акустических шумов различного спектра или специально обработанной речи на всей длине защищаемого помещения. Предлагаемый способ за счет распределенного акусто-вибрационного воздействия на ОК по всей длине защищаемого помещения создает зашумление для сигналов утечки со всех участков ОК, проходящего вдоль помещения, что обеспечивает повышение степени нейтрализации каналов утечки речевой КИ через ВОЛС.

PROTECTION MEHOD SECURITY LEAKAGE VOICE INFORMATION IN FIBER-OPTIK LINK

Burdin V.A., Gubareva O.Yu.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report describes the device for protecting security leakage voice information in fiber-optik link generate jitter on a frequencies of acousto-vibration and acoustic noises of various spectra or specially processed speech.

УДК 004.421.5

ФОРМИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНОЙ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Веденькин Д.А., Епов А.Э.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Согласно [1], системы использующие линейные преобразования хорошо изучены и в современных криптографических системах шифрования используется линейные преобразования совместно с нелинейными функциями. Создана модель канала связи, где закрытый канал организован на основе системы с открытым ключом, а шифрование данных осуществляется с использованием системы с динамически изменяемыми параметрами генераторов. Таким образом, устройства обмениваться сообщениями, которые шифруются с помощью псевдослучайных последовательностей, формируемые генераторами. Начальные параметры генераторов установлены на основе общего секрета, переданного на этапе установки связи. Данная система является развитием системы, представленной в [2].

В таблице, цифра в первом столбце указывает номер приёмопередающего устройства, второй столбец указывает на то какое сообщение необходимо передать. Третий столбец на то какой вид сообщение имеет в момент передачи по каналу. В четвёртом столбце перечислены дешифрованные сообщений, которые были получены от противоположного приёмопередающего устройства. В пятом столбце записана информация о состоянии регистров сдвига в генераторе с обратной связью, где число показывает номер выхода регистра сдвига используемого в момент шифрования передаваемого сообщения. После того, как сообщение было передано состояние регистров сдвига динамически изменяться, что отображено в пятом столбце.

Таблица

Результаты работы тестовой модели

Номер п/п	Переданное сообщение	Сообщение в канале	Полученное сообщение	Состояние генератора
1	11010101	01100100	11010101	2.4.5.7.
2	11010101	10001111	11010101	1.3.4.8.
1	11110000	10100011	00001111	1.2.4.6.7.
2	00001111	00100110	11110000	1.3.5.6.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брюс Шнайер.* Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. 2-е издание. Изд-во Триумф, 2002.

2. *Веденькин Д.А., Епов А.Э.* Создание ПСП на основе динамической обратной связи для использования в системе передачи информации. АКТО-2016 сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2-х томах. Казань, 2016. – С. 388–393.

A CREATION OF DISCRETE PSEUDORANDOM SEQUENCE BASED ON A SYSTEM WITH DYNAMIC FEEDBACK

Vedenkin D.A., Epov A.E.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

This paper describes a hybrid model public key encryption system, which transmits information on the channel, converting it using generators operating in different modes.

УДК 004.421.5

АНАЛИЗ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, ФОРМИРУЕМОЙ ГЕНЕРАТОРОМ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

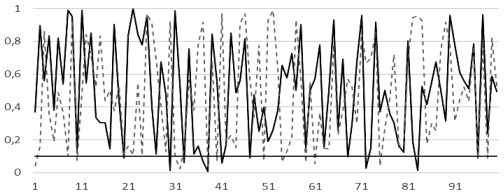
Веденькин Д.А., Епов А.Э.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

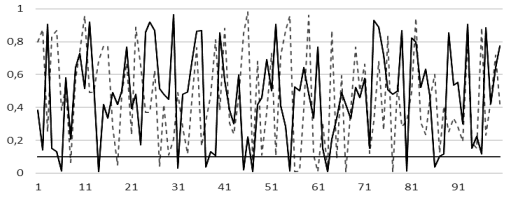
На рис.1, представлена псевдослучайная последовательность (ПСП), формируемая тестовой моделью канала связи. В канале связи для шифрования сообщений используются ПСП, получаемая от генераторов с динамической обратной связью, т.е. во время работы происходит изменение регистров сдвига, из которых состоят генераторы. От работы генераторов, зависит качество криптографической системы, поэтому анализ статистических свойств формируемой ПСП являться важной задачей создания защищенного канала связи.

Рис. 1. Формируемая ПСП

Из гистограммы не всегда возможно определить качество полученной ПСП. Поэтому используются оценочные тесты, на рис. 2 параметры получены после теста, основанного на поиске совпадения перекрывающихся и неперекрывающихся шаблонов. Тест проводился согласно [1], частичное описание данных тестов приведено в [2]. В результате получаем значения, часть которых представлена в виде графика, штриховая линия принадлежат эталонной ПСП, а сплошная формируемой.



а



б

Рис. 2. Зависимость p значения от количества тестов; тест на совпадение, *а* – неперекрывающихся шаблонов; *б* – перекрывающийся шаблонов

Предполагая, что формируемая ПСП является случайной, установим на уровень 0.1 границу принятия решения по критерию P-value. Как видно из рис. 2, сплошная линия чаще пересекает границу, поэтому требуются дополнительный анализ с помощью дополнительных тестов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications. /URL: https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-22/rev-1a/final.

2. *Карпов А.В., Туктарова И. Р., Смоляков А.Д.* Имитационная компьютерная модель криптографической системы, основанная на генераторах М-последовательности / А.В. Карпов, И.Р. Туктарова, А.Д. Смоляков. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 30 с.

ANALYSIS OF A PSEUDO-RANDOM SEQUENCE GENERATED BY A GENERATOR WITH DYNAMIC FEEDBACK

Vedenkin D.A., Epov A.E.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

This work describes a test model for analysis of pseudo random sequences, which generated by dynamic feedback.

УДК 535.8:621.37:681.7.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ НА ИСТОЧНИК ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА И УПРАВЛЕНИЕ ЛУЧОМ ЛИНЕЙНОЙ ФАР В РАДИОФОТОННОМ ДИАГРАММОФОРМИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

Иванов С.И., Лавров А.П., Саенко И.И.

(ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

Рассмотрена возможность реализации дополнительной функции определения направления на источник широкополосного излучения в радиофотонном диаграммоформирующем устройств (ДФУ) для широкополосной линейной фазированной антенной решетки (ФАР). Среди различных схем построения радиофотонного ДФУ для линейной ФАР, реализующих для управления лучом принцип true-time-delay, нами была выбрана и реализована в макете схема с применением компонентов аналоговых волоконно-оптических линий передачи СВЧ сигналов, использованием плотного волнового мультиплексирования – технологии DWDM с шагом 100 ГГц по частоте, и хроматической дисперсии в оптическом волокне для формирования межканальных временных задержек [1]. Достоинством подобной схемы является и то, что в ней, при небольшой модификации, одновременно с формированием диаграммы ФАР может быть реализована и функция пеленгатора для широкополосных источников сигнала [2]. Эта задача решается путем формирования радиофотонного трансверсального фильтра при спектральной обработке сигналов с двух элементов ФАР, задержанных друг относительно друга на оптической несущей в фотонном тракте. Измеряемые частоты подавления сигнала в формируемом режекторном фильтре однозначно связаны с взаимной задержкой сигналов с элементов ФАР и, следовательно, с углом падения на антенну приходящего излучения. Получаемые данные о пеленге соответствующих сигналов могут быть использованы для селективного выбора лучей путем управления задержками в формирователе

задержек радиофотонного ДФУ. В докладе приведены некоторые результаты построения макета радиофотонного ДФУ и его тестирования в комплексе с 5-элементной линейной приемной ФАР при работе в мгновенном диапазоне частот 5...18 ГГц, а также результаты измерения характеристик радиофотонного режекторного фильтра и сответствующих оценок задержек сигналов в каналах ДФУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ivanov S.I., Lavrov A.P., Saenko I.I.* Application of Microwave Photonics Components for Ultra wideband Antenna Array Beam forming // LNCS, 2015. – Vol. 9870. – P. 670–679.

2. *Vidal B., Piqueras M.A., Marti J.* Direction-of-Arrival Estimation of Broadband Microwave Signals in Phased Array Antennas Using Photonic Techniques // J. of Light wave Technology, 2006. – Vol. 24 (7). – P. 2741–2745.

ESTIMATION OF BROADBAND SIGNAL DIRECTION-OF-ARRIVAL AND BEAM STEERING OF LINEAR PAA IN RADIO PHOTONIC BEAMFORMING DEVICE

Ivanov S.I., Lavrov A.P., Saenko I.I.

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

The possibility to further estimate direction-of-arrival of broadband microwave signals in addition to beam steering in phased array antenna combined with photonic beam former arrangement is considered. Some results of photonic beam former model testing are reported including measurements of 5-element microwave linear phased array antenna far-field patterns and direction-of-arrival estimates based on measurement of designed radio photonic transversal filter notch frequencies.

УДК 621.391.6

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МОДОВОЙ ДИСПЕРСИИ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА DP-QPSK

Жарков А.Д., Поминов М.А.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

На современных оптических транспортных сетях широкое применение получили когерентные волоконно-оптические системы передачи с поляризационным уплотнением и квадратурным фазовым форматом DP-QPSK. На качество передачи подобных систем существенное влияние оказывает поляризационная модовая дисперсия (ПМД) оптического волокна (ОВ).

Процесс распространения оптического сигнала в ОВ с учетом дисперсионных и нелинейных эффектов, а также с учетом влияния ПМД описывается системой связанных нелинейных уравнений Шредингера [1]

$$i\frac{\partial \boldsymbol{A}}{\partial z} + b\Sigma\boldsymbol{A} + ib'\Sigma\frac{\partial \boldsymbol{A}}{\partial t} - \frac{1}{2}\beta''\frac{\partial^2 \boldsymbol{A}}{\partial t^2} + n_2 k_0\left[\left|\boldsymbol{A}\right|^2\boldsymbol{A} - \frac{1}{3}\left(\boldsymbol{A}^*\sigma_2\boldsymbol{A}\right)\sigma_2\boldsymbol{A}\right] = 0,$$

где $\boldsymbol{A}$ – вектор-столбец с элементами A_1 и A_2, представляющими комплексные огибающие двух поляризационных мод; $b = \left(\beta_1 - \beta_2\right)/2$ – параметр двулучепреломления ОВ, определяющий разность постоянных распространения мод; $b' = \left(\beta_1' - \beta_2'\right)/2$ – удельная групповая задержка, определяемая первой производной постоянных распространения; β'' – дисперсия групповых скоростей. Матрица $\Sigma = \sigma_3\cos(\Theta) + \sigma_1\sin(\Theta)$ описывает случайные вариации угла поворота Θ главных оптических осей сегментов ОВ.

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},\ \sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},\ \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix},\ \sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

При численном моделировании учитывались случайные изменения ориентации осей Θ и величины двулучепреломления. Для этого каждый шаг вычислений, определяемый степенью влияния дисперсионных и нелинейных эффектов, разбивается на несколько интервалов и значение Θ на n-ом интервале определяется как

$$\Theta_n = \Theta_{n-1} + \frac{\pi}{2}(1-2\eta)C,$$

где η – случайная величина, равномерно распределенная на интервале $[0,1]$; C – постоянная, описывающая корреляциию между значениями Θ на соседних интервалах.

В работе представлены результаты оценки влияния вариации поляризационных характеристик оптического тракта на качество передачи сигнала формата DP-QPSK.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Marcuse D., Menyuk C.R., Wai P.K.A.* Application of the Manakov-PMD Equation to Studies of Signal Propagation in Optical Fibers With Randomly Varying Birefringence // Journal of Light wave Technology, 1997. – Vol. 15. – P. 1735–1746.

IMPACT OF POLARIZATION MODE DISPERSION ON PERFORMANCE OF DP-QPSK SYSTEM

Zharkov A.D., Pominov M.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper the simulation of DP-QPSK signal propagation in optical fiber taking into account polarization mode dispersion was carried out. The influence of polarization characteristics variations on system performance was estimated.

УДК 535.51

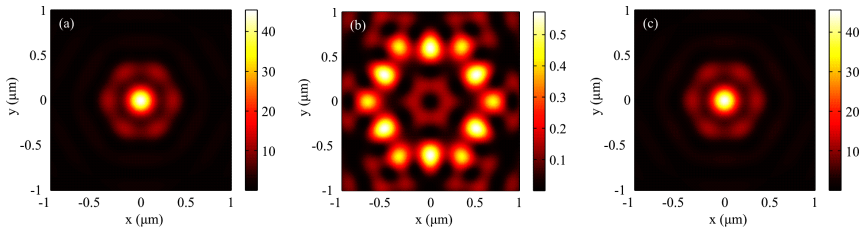
КОМПАКТНАЯ ФОКУСИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ С АЗИМУТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Стафеев С.С.

(Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Цилиндрические векторные пучки (пучки, в которых направление поляризации имеет радиальную симметрию) в оптике в настоящий момент активно изучаются [1]. При этом в последнее время отмечен рост к исследованию фокусировки азимутально и радиально поляризованных оптических вихрей [2].

В данной работе было оценено влияние секторности азимутально поляризованного оптического вихря на результаты фокусировки. Моделирование выполнялось с помощью формул Ричардса-Вольфа. Считалось, что азимутально поляризованный свет с длиной волны 532 нм проходит через секторную фазовую пластинку после чего фокусируется зонной пластинкой Френеля с числовой апертурой NA = 0,95. На рисунке показано распределение интенсивности в фокусе при фокусировке пучка, состоящего из шести секторов.



а *б* *в*

Рисунок. Распределение в фокусном пятне интенсивности и отдельных составляющих интенсивности: I_r (*а*), I_z (*б*), I (*в*), при фокусировке 6 секторного азимутального пучка, прошедшего 6-секторную СФП

Моделирование показало, что секторно-поляризованный пучок, прошедший через секторную спиральную фазовую пластинку (СФП) в отличие от идеального азимутально поляризованного оптического вихря содержит продольную компоненту напряженности электрического поля. Хотя вклад ее в формирование фокуса мал – для 6-секторного пучка максимум поперечной компоненты примерно в 80 раз превышает максимум продольной. Было показано, что при фокусировке 6-секторного пучка расхождения в размерах фокусного пятна по полуспаду интенсивности, вызванные асимметрией, не превышают $0{,}001\lambda$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zhan Q.* Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications // Adv. Opt. Photon., 2009. – Vol. 1. – P. 1–57.

2. *Qin F., Huang K., Wu J., Jiao J., Luo X., Qiu C., Hong M.* Shaping a Subwavelength Needle with Ultra-long Focal Length by Focusing Azimuthally Polarized Light // Scientific Reports, 2015. – Vol. 5. – P. 09977.

SUBWAVELENGTH FOCUSING OF AZIMUTHALLY POLARIZED OPTICAL VORTEX

Stafeev S.S.

(Crystallography and Photonics of the Russian Academy of Sciences)

The tight focusing of a quasi-cylindrical optical vortex with azimuthal polarization and a wavelength of 532 nm using a Fresnel zone plate with a numerical aperture of NA = 0.95 was numerically investigated. It is shown that the focal spot produced by a beam with six sectors does not differ from the ideally azimuthally polarized optical vortex.

УДК 629.783

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ В СИСТЕМАХ RADIO-OVER-FIBER

Воронкова А.В., Воронков Г.С.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Развитие широкополосного доступа для различных сервисов, таких как системы удаленного управления, телемеханики, телемедицины и т.п., на территории Российской Федерации затрудняется значительной площадью территорий. В этих условиях способом обеспечения доступа к перечисленным выше услугам оказывается спутниковая связь. Для наземного сегмента спутниковой коммуникации перспективным выглядит применение технологии Radio-over-Fiber. В наземном сегменте сети спутниковых коммуникаций необходимо обеспечить максимальную защиту сообщений от считывания и каналов от несанкционированного доступа при передаче критически важных данных или сигналов управления. Существуют методы обеспечения информационной безопасности сетей связи, основанные на криптографии, защищающие непосредственно данные. В работе предлагается реализовать дополнительную защиту каналов связи на физическом уровне за счёт применения технологии Radio-over-Fiber и формирования оптических сигналов с управляемой время-частотной характеристикой [1].

Предлагается обеспечить физическую защиту канала связи за счёт использования технологии Radio-over-Fiber с передачей по волоконно-оптической линии связи сигналов с управляемой время-частотной характеристикой (чирпированием сигналов). При использовании предлагаемого метода сигнал, передаваемый по волоконно-оптической линии связи, преднамеренно искажается так, чтобы злоумышленник, получивший доступ к среде распространения (кабелю), не смог принять передаваемый сигнал ни одним из классических методов. Внесение искажений именно во время-частотную характеристику также

затруднит процесс детектирования сигнала – для приёмника, не имеющего информации об алгоритме искажения, принятый сигнал будет оценён как подвергшийся сильному дисперсионному искажению и не подлежащий восстановлению. Для корректного приёма и обработки передаваемого сигнала необходимо провести операцию восстановления, обратную операции искажения, что невозможно без знания алгоритма изменения сигнала. Можно говорить о том, что преднамеренное искажение формы сигнала за счёт управления его время-частотными характеристиками определяет своего рода маску сигнала. Использование этой маски по сути является дополнительным способом верификации абонента в системе связи. В процессе исследования описанных выше вопросов предлагается разработать структурные решения для формирования и приема сигнала с управляемой время-частотной характеристикой и разработать имитационные модели предлагаемых схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Andrianova A.V.* Corrective chirp adding for minimizing distortion in Radio-over-Fiber system fiber optic line / A.V. Andrianova, G.S. Voronkov, A.Kh. Sultanov, I.L. Vinogradova // 2017 IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2017). – 2017. – P. 1–6

INFORMATION SECURITY INCREASING ON PHYSICAL LEVEL IN RADIO-OVER-FIBER SYSTEMS

Voronkova A.V., Voronkov G.S.

(Ufa State Aviation Technical University)

Information security increasing methods in Radio-over-Fiber systems are described in the paper. It is suggested to transmit signal with controlled time-frequency characteristic. Distortion adding in time-frequency characteristic will complicate signal detection process. Thus, even having access to the signal propagation environment, it will be impossible to decode the information.

УДК 535.42

ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ ГАУССОВЫ ВИХРИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Котляр В.В.[1,2], Ковалёв А.А.[1,2], Порфирьев А.П.[1,2]

([1]Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, [2]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

Рассмотрен эллиптический оптический вихрь, внедрённый в гауссов пучок:

$$E(x,y,z=0)=(\alpha x+iy)^n \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2w^2}\right), \qquad (1)$$

где w – радиус перетяжки Гауссова пучка; n – топологический заряд оптического вихря; α – безразмерный параметр, задающий эллиптичность изолированного нуля интенсивности.

Получены явные замкнутые выражения для комплексной амплитуды и нормированного орбитального углового момента (ОУМ) такого пучка:

$$\frac{J_z}{W}=n\frac{P_{n-1}(s)}{P_n(s)}, \qquad (2)$$

где $s=\left(1+\alpha^2\right)\Big/(2\alpha)$, а $P_n(s)$ – полином Лежандра.

Из (2) следует, что эллиптический гауссовый вихрь (ЭГВ) обладает дробным ОУМ, что может использоваться для шифрования при использовании пучков Гаусса с эллиптическим оптическим вихрем в качестве носителей данных при беспроводной передаче информации. Максимальное значение ОУМ, равное топологическому заряду обычного гауссова вихря n, достигается при отсутствии эллиптичности у вихря. При распространении в свободном пространстве

большая ось эллипса интенсивности в сечении пучка вращается и поворачивается на 90 градусов от начальной плоскости до фокальной плоскости сферической линзы. На большой оси эллипса интенсивности находятся *n* нулей интенсивности ЭГВ, расстояние между которыми меняется как при распространении пучка, так и при изменении степени эллиптичности.

ELLIPTIC GAUSSIAN VORTICES WITH CONTROLLED ORBITAL ANGULAR MOMENTUM FOR WIRELESS INFORMATION TRANSMISSION

Kotlyar V.V.[1,2], Kovalev A.A.[1,2], Porfirev A.P.[1,2]

([1]Image Processing Systems Institute of the RAS – Branch of the FSRC «Crystallography and Photonics», [2]S.P. Korolyov Samara National Research University)

УДК 629.783

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ POWER-OVER-FIBER ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИНЫ БЕЗРЕГЕНЕРАЦИОННОГО УЧАСТКА «ПРИЕМНАЯ АНТЕННА – ЦЕНТРАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ» В СИСТЕМАХ RADIO-OVER-FIBER

Воронкова А.В., Воронков Г.С.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Применение технологии Radio-over-Fiber (RoF) позволяет обеспечить всем абонентам услуги широкополосного доступа. Системы RoF с простой и недорогой организацией базовой станции позволяют сократить стоимость подключения абонентов к сети Интернет. Для минимизации искажений и увеличения длины безрегенерационного участка в таких системах было предложено вносить корректирующий чирп с помощью модулятора Маха-Цендера (ММЦ) за счёт плавного изменения его рабочей точки [1]. Однако, данная задача была решена для участка «Центральная станция – Передающая антенна». Ввиду необходимости управления ММЦ электрическим напряжением, внесение чирпа в оптический сигнал на участке от антенны до центральной станции (при приёме радиосигнала) затруднительно (прокладка дополнительных проводников для питания ММЦ противоречит идеологии RoF).

Для решения задачи удалённого управления рабочей точкой ММЦ предлагается использовать технологию Power-over-Fiber (PoF). Она используется для дистанционного питания электрических устройств с помощью волоконно-оптической линии связи [2, 3]. Системы PoF работают по следующему принципу: источник оптического излучения высокой мощности (HPOS) генерирует излучение, которое в фотоэлектрическом конверте преобразуется в электрическое напряжение. Источники HPOS работают на длине волны 800, 950, 1050 и 1480 нм. Таким образом электрическое напряжение может переда-

ваться по волоконно-оптической линии связи совместно с полезным сигналом.

Использование технологии PoF позволит применять для внесения корректирующего чирпа как на приёме, так и на передаче одно и то же устройство, что упростит и унифицирует схемотехнические решения при производстве устройств RoF.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Andrianova A.V.* Corrective chirp adding for minimizing distortion in Radio-over-Fiber system fiber optic line / A.V. Andrianova, G.S. Voronkov, A. Kh. Sultanov, I.L. Vinogradova // 2017 IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2017). – 2017. – P. 1–6.

2. *Rosolem J.B.* Power-Over-Fiber applications for telecommunications and for electric utilities. Optical Fiber and Wireless Communications / J.B. Rosolem. – In Tech. – 2017. – P. 255–278.

3. *Matsuura M.* 60 W power-over-fiber feed using double-clad fibers for radio-over-fiber systems with optically powered remote antenna units / Matsuura M., Furugori H., Sato J. // Optics Letters. – 2015. – Vol. 40 (23). – P. 5598–5601.

POWER-OVER-FIBER TECHNOLOGY FOR INCREASING THE REGENERATION SECTION LENGTH «RECEIVING ANTENNA - CENTRAL STATION» IN RADIO-OVER-FIBER SYSTEMS

Voronkova A.V., Voronkov G.S.

(Ufa State Aviation Technical University)

The use of Power-over-Fiber technology for increasing the regeneration section length «Receiving antenna – Central station» is suggested in the paper. It is suggested to increase the regeneration section length by adding corrective chirp with Mach-Zehnder modulator. It is suggested to use Power-over-Fiber technology for transmitting bias voltage to modulator control input.

УДК 654.027.1

НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ С МОДОВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ

Кутлуяров Р.В., Любопытов В.С., Багманов В.Х., Султанов А.Х.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Технология модового уплотнения каналов на сегодня является одним из самых перспективных способов повышения пропускной способности волоконно-оптических систем передачи. На длине волны 850 нм волокно G.652 поддерживает распространение трех мод, на длине волны около 1550 нм модовое уплотнение может быть организовано с использованием специального волокна с увеличенным диаметром сердцевины. Основной проблемой при организации таких систем является линейное смешение мод [1]. Оно может быть скомпенсировано, однако нелинейные искажения в кварцевых волокнах могут существенно снижать эффективность линейных компенсаторов.

В данной работе рассматривается влияние линейного смешения мод на нелинейные искажения сигналов, вызываемые керровскими нелинейностями. Для этого численно решалась система обобщенных связанных нелинейных уравнений шредингеровского типа, учитывающих хроматическую дисперсию, Керр-нелинейности и линейное смешение мод [2]. Рассматривается волокно G.652 при передаче трех мод на 850 нм и волокно со ступенчатым профилем показателя преломления, поддерживающее распространение пяти мод на длине волны 1550 нм. При этом подразумевается, что линейное смешение вызвано, в первую очередь, изгибами волокна.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что в случае одновременной передачи модовых сигналов равной мощности с линейным кодированием NRZ сильное линейное смешение приводит

к увеличению нелинейных искажений для обоих типов волокон. При слабом смешении влияние линейного смешения на нелинейные искажения также наблюдалось, но было существенно слабее. При этом в случае передачи пяти мод эффект выражен намного слабее и не для всего диапазона мощностей, что, очевидно, обусловлено сложным характером обмена энергии между модовыми каналами высших порядков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ho K.-P., Kahn J.M.* Mode coupling and its Impact on spatially multiplexed systems, in Optical Fiber Telecommunications VIB: Systems and Networks, I. P. Kaminow, T. Li and A.E. Willner, Eds. // CA: Elsevier, 2013.

2. *Poletti F., Horak P.* Description of ultrashort pulse propagation in multimode optical fibers // J. Opt. Soc. Am. B., 2008. – Vol. 25 (10). – P. 1645–1654.

NONLINEAR SIGNAL DISTORTIONS IN THE MODE DIVISION MULTIPLEXING SYSTEMS

Kutluyarov R.V., Lyubopytov V.S., Bagmanov V.Kh., Sultanov A.Kh.

(Ufa State Aviation Technical University)

This paper is focused on the influence of the linear mode coupling on the nonlinear signal distortions caused by Kerr nonlinearities. Simulation of the few-mode fiber transmission shows that strong linear coupling lead to sufficient increasing of nonlinear impairments for all the simulated cases. In the regime of weak mode coupling nonlinear impairments of higher-order modes demonstrate different behavior depending on the total number of mode channels and signal power.

СЕКЦИЯ 2

ПАССИВНЫЕ И АКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 535.4

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЧКОВ ГАУССА-ЭРМИТА С ВНЕДРЁННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ВИХРЕМ В ПАРАБОЛИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Устинов А.В.

(Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Вихревыми называют лазерные пучки с вихревой фазовой особенностью [1]. Среди них моды Лагерра-Гаусса и Бесселя. Моды Эрмита-Гаусса (ЭГ) и пучки Эйри не являются вихревыми, но их суперпозиции можно в них преобразовать [2]. Оптические вихри, в частности, используются как носители при оптической передаче информации. *При этом моды ЭГ с внедрённой в них вихревой фазой не рассматривались.* В докладе исследуются именно они. Особое внимание уделяется наличию фазовых особенностей в зависимости от индексов моды ЭГ и номера вихря.

Изучаемые пучки описываются уравнением:

$$E_{nms}(x,y) = \exp\left(-\left(x^2+y^2\right)\Big/2\sigma^2\right)\cdot H_n(x/\sigma)\cdot H_m(y/\sigma)(x+iy)^s. \quad (1)$$

Вихревые пучки при распространении в однородной среде и прохождении через линзы сохраняют вихревую особенность и нуль на оптической оси [1]. Но в анизотропных средах [3] или при астигматических преобразованиях осевая симметрия теряется, и нуль на оси может исчезнуть. Так как пучок (1) не обладает осевой симметрией, то он может претерпевать аналогичные изменения.

Выясним, будет ли в плоскости фокуса на оси нулевое значение. Это определяется значением интеграла от $\cos^p t \cdot \sin^q t \cdot e^{ist}$, так как отдельный член в (1) имеет вид $C \cdot A(r) x^p y^q (x+iy)^s$ (числа p, q, s – целые неотрицательные). Условия нуля амплитуды на оси:

$$q = 0\text{: } (s > p) \text{ или } (p + s \text{ – нечётное});\qquad (2)$$

$$p = 0\text{: } (s > q) \text{ или } (q + s \text{ – нечётное});\qquad (3)$$

$$p > 0 \text{ и } q > 0\text{: } (s > p + q) \text{ или } (p + q + s \text{ – нечётное});\qquad (4)$$

$$s = 0\text{: } p \text{ или } q \text{ – нечётное}.\qquad (5)$$

Условия (2) и (3) получаются из (4) как частные случаи. Но (2), (3) и (5) не только достаточные, но и *необходимые*. В то же время условие (4) только *достаточное*. Для анализа можно взять *одно* слагаемое *наибольшей* степени, хотя это даёт только *достаточные* условия нуля амплитуды.

Численное моделирование распределения в *фокальной плоскости* для пучков (1) привело к следующим выводам. При $s = 0$ распределения подобны исходным функциям и имеют бинарную фазу. При $s = 1$ вместо сингулярных линий формируются вихри первого порядка. Результаты при $s = 2$ показывают различие между достаточным условием и необходимым для $n = 2$, $m = 2$, $s = 2$. Различие проявляется дважды: слагаемое с наибольшей степенью даёт нуль, хотя $n + m + s = 6$ – чётное. Кроме того, здесь *не все слагаемые многочлена дают нуль*, а сумма равна нулю. Таким образом, теоретические рассуждения согласуются с результатами расчёта. Нулевое значение на оси для таких пучков *может не сохраняться* при прохождении через сферическую линзу.

Также проведено моделирование изменения поля (1) при дробном преобразовании Фурье [4], которое описывает распространение пучка через параксиальную линзовую систему и параболическое оптическое волокно. Рассмотрение картины прохождения поля приводит к следующему выводу. При отсутствии вихревой фазы структура пучка сохраняется на всём протяжении его распространения с точностью до масштаба. Иначе структура изменяется, и распределение

в фокальной плоскости качественно отличается от входного. То есть, пучок обладает модовыми свойствами только без внедрения вихревой фазы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Coullet P., Gil G., and Rocca F.* Optical vortices, Opt. Commun. – 1989. 73. – P. 403–408.

2. *Abramochkin E.G. and Volostnikov V.G.* Beam transfor-mation and nontransformed beams, Opt. Commun. – 1991. 83. – P. 123–135.

3. *Khonina S.N., Paranin V.D., Ustinov A.V., Krasnov A.P.* Astigmatic transformation of Bessel beams in a uniaxial crystal, Optica Applicata, 2016. – Vol. XLVI. – № 1. – P. 5–18.

4. *Alieva T., Bastiaans M.J., Calvo M.L.* Fractional transforms in optical information processing, J. Appl. Signal Proc. – 2005. 10. – P. 1–22.

УДК 535.421

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОТ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЁТОК, НАНЕСЁННЫХ НА ПРОИЗВОЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Харитонов С.И.[1,2], Казанский Н.Л.[1,2], Горностай А.В.[1,2], Стрелков Ю.С.[1,2]

([1]ФГАОУ ВПО Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, [2]Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФГУ ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

В настоящее время отсутствует методика численного исследования работы дифракционной решётки, выполненной на произвольной поверхности. Данная работа посвящена описанию процесса отражения светового поля от поверхности с микрорельефом с помощью метода Кирхгофа.

Суть подхода, рассмотренного в данной работе, состоит в том, что волновое поле (в общем случае с негладким волновым фронтом) в области ДОЭ, нанесенного на криволинейную поверхность, представляется в виде суперпозиции полей с гладкими волновыми фронтами. Это позволяет применить для расчета соответствующих интегралов асимптотические методы, что упрощает вычисления.

Для проверки теоретических результатов была рассмотрена дифракция на решетке, нанесенной на сферическую поверхность. В рамках параксиального приближения были получены аналитические формулы для распределения энергии в области фокусировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mouroulis P.* Convex grating types for concentric imaging spectrometers / P. Mouroulis, D.W. Wilson, P.D. Maker, R.E. Muller // Applied Optics. – 1998. – Vol. 37 (31). – P. 7200–7208.

2. *Загрубский А.А.* Спектральные приборы / А.А. Загрубский, Н.М. Цыганенко, А.П. Чернова. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2007. – 76 с.

3. *Hutley M.C.* Diffraction Gratings / M.C. Hutley – N.Y.: Academic Press Inc. Publishers, 1982. – 150 p.

4. *Борн М.* Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф; пер. с англ. – Изд. 2-е, испр. – М.: Наука, 1973. – 345 с.

MODELING THE REFLECTION OF ELECTROMAGNETIC WAVES AT DIFFRACTION GRATINGS APPLIED ON A FREEFORM SURFACE

***Kharitonov S.I.*[1,2], *Kazansky N.L.*[1,2], *Gornostay A.V.*[1,2], *Strelkov Yu.S.*[1,2]**

([1]Samara National Research University, [2]Image Processing Systems Institute of the RAS – Branch of the «Crystallography and Photonics»)

We describe mathematical tools that enable the reflection of light at a diffraction grating applied on a freeform surface to be modeled. To address the problem, we use an analog of the Kirchhoff's method. By way of illustration, reflection at a diffraction grating applied on a spherical surface is analyzed. To enable the modeling of such systems, the software was developed and numerical study was conducted. The feasibility to generalize the results onto freeform diffractive optical elements is studied.

AN APPROACH TO DEVELOPING A FABRY-PEROT FILTER BY A SINGLE FABRICATION STEP FOR GAS SENSING APPLICATIONS

Butt M.A.[1], Strelkov Yu.S.[1,2]

([1]Samara National Research University,
[2]Image Processing Systems Institute of the RAS –
Branch of the «Crystallography and Photonics»)

In the comprehensive term, an optical filter is a device which is purposefully used in the modification of the spectral intensity distribution or the state of polarization of the electromagnetic radiation incident on it. The change in the spectral intensity distribution may/may not depend on the wavelength. The filter may perform in transmission, reflection or both. Filters can be based on many different physical phenomena such as absorption, refraction, interference, diffraction, scattering and polarization [1, 2, 3]. In case of interference filter, several multilayer thin films are deposited on a transparent/partially transparent substrate. Both the multilayer and the substrate contribute to the overall performance of the filter. For sensor applications, a multifaceted optical interference filter is required which can consist of hundreds of discrete alternating layers of high and low refractive index materials. The fabrication of these filters can be costly subject to the deposition times and limited yield.

In this work, we have proposed a technique which will permit these filters to be deposited as a single printable layer for use in fiber optic and waveguide sensors systems. The construction of such filters turns the layer stack assembly on its one side. All the layers of a specific material are deposited at the same time. That transforms the layer thickness into line thickness and is determined by patterning the filters using photolithography which results in the formation of a complex filter design with high volume and low individual component cost. Mid-IR band contains absorption peaks for a large range of trace gases, such as CO, CO_2, NO, N_2O, NO_2, NH_3, H_2O and CH_4 [4, 5]. These gases have strong absorbance in the mid-IR > 2.5 μm spectral region due to their fundamental rotational and vibrational transitions. To use this filter for gas sensing applications,

we modeled a carbon monoxide (CO) sensor design using an FP filter where the air is used as a low index layer. CO is a deadly, colourless, odourless, and tasteless gas. The FP filter designed at the central wavelength of 4670 nm which corresponds to the absorption line of CO in mid-IR. As CO highly absorbs at this wavelength, the performance of the matched reflectors is obstructed by the existence of this gas. The band-pass transmission declines as a function of CO gas concentration. A reference filter should be used to standardize the open air filter for temperature and pressure. The transmission spectra of the FP filter in mid- IR region shows a characteristic peak with a maximum of 90 % at 4670 nm as shown in figure. This work was supported by Russian Academy of Sciences (Project number No. 0026-2015-0116).

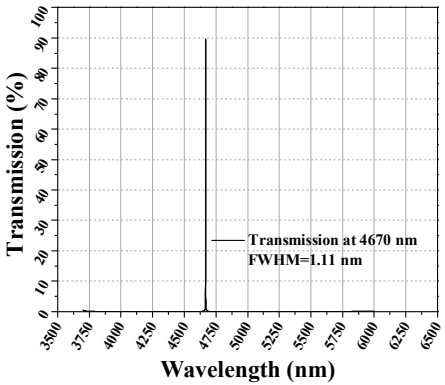


Figure. Transmission spectrum of 20 layers TiO_2/air FP filter modeled at 4670 nm absorption line of CO

REFERENCES

1. *Kazanskiy N.L., Serafimovich P.G., Popov S.B., Khonina S.N.* Using guided-mode resonance to design nano-optical spectral transmission filters // Computer Optics, 2010. – Vol. 34(2). – 162–168.

2. *Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Khonina S.N., Volotovskiy S.G., Strelkov Yu.S.* Simulation of hyperspectrometer on spectral linear variable filters // Computer Optics, 2014. – Vol. 38 (2). – 256–270.

3. *Butt M.A., Fomchenkov S.A., Ullah A., Habib M., Ali R.Z.* Modelling of multilayer dielectric filters based on TiO_2/SiO_2 and TiO_2/MgF_2 for fluorescence microscopy imaging // Computer Optics, 2016. – Vol. 40. – 674–678.

4. *Stewart G., Jin W., Culshaw B.* Prospects for fibre-optic evanescent-field gas sensors using absorption in the near-infrared // Sens. Actuators B: Chem., 1997. – Vol. 38. – 42–47.

5. *Siebert R., Muller J.* Infrared integrated optical evanescent field sensor for gas analysis Part I: system design // Sens. Actuators A: Phys., 2005. – Vol. 119. – 138–149.

УДК 621.391.82

REDUCTION OF MODAL NOISE IN LOCAL AREA NETWORK

Petrov N.I.

(Scientific and technological center of unique instrumentation of RAS)

Multi-mode fibers (MMF) are widely used for data transmission in local and storage area networks (LANs) as well as in high-speed in-house networks and (super) computer interconnects. Radio over fiber (RoF) systems using MMFs and plastic optical fibers (POFs) have received much attention for use in high-speed wireless communication, since they can simplify remote antenna stations in high-capacity optical fiber-based feeder networks. When these fibers are used in RoF systems modal noise is a serious problem [1]. It causes signal distortion because of misalignment at fiber connections.

In this paper the method is proposed which is based on the finding that modal noise reduction in fiber optic systems can be realized based on mode profiles matching by using a coupler between two different optical fibers. A significant reduction of modal noise can be achieved if the coupler with a gradient parameter defined from the condition for perfect alignment of modes of the first and second fibers is used. Modal noise caused by the imperfect connections between different fibers and light sources may be characterized by the ratio of average power in an output fiber to its variance, and it may be determined as a signal-to-noise ratio (SNR) by the following way [2]:

$$\frac{S}{N} = \frac{\overline{\eta}}{\sigma(\eta)}, \quad \sigma(\eta) = \left[\left\langle \eta^2 \right\rangle - \left\langle \eta \right\rangle^2 \right]^{1/2}, \qquad (1)$$

where $\eta = P_2 / P_1$ is the coupling efficiency between the waveguides and P_1 and P_2 are the powers in the first and second waveguides, accordingly. Simulation results are presented in Figure.

The coupling efficiency is given by the coupling integrals between the modes of the first and second waveguides, the mode group delays

between the modes, and the spectral density of the light source. The Hermite-Gauss and Laguerre-Gauss functions are the modes for graded-index planar waveguide and cylindrical fiber, accordingly.

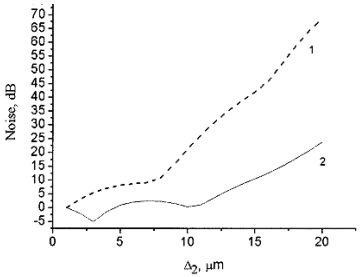


Figure. Noise as function of a displacement between the fibers:
1 – without coupler between fibers; 2 – with coupler

REFERENCES

1. *Matsuura M., Furukawa R., Matsumoto Y., Inoue A., and Koike Y.* Evaluation of modal noise in graded-index silica and plastic optical fiber links for radio over multimode fiber systems // Optics Express 22, 2014. – P. 6562–6568.

2. *Krivoshlykov S.G., Petrov N.I., Sissakian I.N.* Influence of the coherency of radiation on the modal noise in irregular multimode waveguides // Kratkie soobscheniya po fizike FIAN, 1985. – № 10. – P. 3–7.

УМЕНЬШЕНИЕ МОДОВОГО ШУМА В ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Петров Н.И.

(Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН)

Предлагается способ уменьшения модового шума на стыках с помощью согласующих стыковочных узлов между волноводами. Показано, что при выполнении условия согласования возможно полное подавление модового шума, обусловленного стыком.

УДК 621.372.8

REVIVAL EFFECT IN OPTICAL WAVEGUIDES

Petrov N.I.

(Scientific and technological center of unique instrumentation of RAS)

Remote focusing of light via mode interference in optical waveguide is demonstrated using exact analytical solutions of the wave equation [1-3]. Strong focusing of a light beam occurs at extremely long distances and this repeats periodically with distance. High efficiency transfer of a strongly focused subwavelength spot through optical waveguide over large distances takes place with a period of revival. Simulated intensity distributions of a focused light beam and focusing efficiency (power in a central spot/total power) are presented. Far-field super-resolution imaging capabilities of a graded-index waveguide are analyzed.

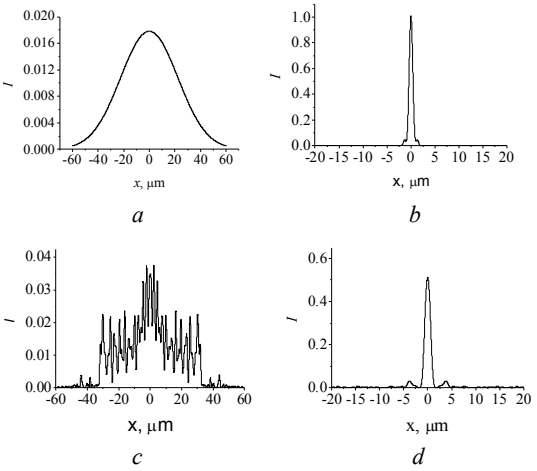


Figure. Intensity profiles at different distances from the input plane of waveguide: $a - z = 0$; $b - z = 330{,}7$ mm; $c - z = 2107{,}6$ mm; $d - z = 2128$ mm

In summary, the tight focusing of light occurs at extremely long distances due to the revival effect caused by mode interference. The transfer

of subwavelength focused spots in the graded-index medium is demonstrated. Super-oscillatory hot-spots can be generated in a far-field without the use of the evanescent waves. The far-field super-resolution imaging capabilities of a graded-index waveguide are shown. This can be used to detect the super-resolution information in the far-field. Results obtained may be of great importance in biology and medicine, optical recording and microscopy, and could be exploited in various applications such as novel endoscopes, sensors and imaging systems.

The financial support of this research by the Russian Science Foundation (project № 17-19-01461) is highly appreciated.

REFERENCES

1. *Petrov N.I.* Macroscopic quantum effects for classical light // Phys. Rev. A 90, 043814 (2014).

2. *Petrov N.I.* Remote focusing of a light beam // Laser Physics Letters 13, 015101 (2016).

3. *Petrov N.I.* Vector Laguerre–Gauss beams with polarization-orbital angular momentum entanglement in a graded-index medium // J. Opt. Soc. Am. A 33, 1363–1369 (2016).

ЭФФЕКТ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ

Петров Н.И.

(Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН)

В настоящей работе теоретически продемонстрирована возможность удаленной фокусировки света в среде с градиентным профилем показателя преломления вследствие эффекта возобновления, обусловленного интерференцией мод волновода. Показано, что сильно сфокусированный пучок света может быть эффективно передан по оптическому волноводу на большие расстояния с периодом возобновления.

УДК 778.534.19

ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ И ОБЪЕДИНЕНИЯ ПУЧКОВ СВЕТА

Петров Н.И., Хромов М.Н., Данилов В.А., Сторожева А.Л., Соколов Ю.М.

(Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН)

Оптические элементы для объединения и разделения различных пучков света на цветовые составляющие широко используются для обработки изображения в изображающих системах, проекционных дисплеях [1-3], и т.д. В цветных микропроекционных устройствах для объединения пучков света обычно используются дихроичные и поляризующие зеркала, Х-кубы и дифракционные решетки [1, 2]. Высокоэффективные и компактные объединители пучков требуются для встраивания лазерных проекционных модулей в мобильные телефоны, смартфоны и т.д.

В [4] высокоэффективный субволновой дифракционный объединитель пучков, работающий в видимом спектральном диапазоне, был разработан, изготовлен и продемонстрирован. Такое устройство объединяет пучки красного, зеленого и синего цветов в один выходной световой пучок.

В настоящей работе рассмотрен призматический метод для объединения (совмещения) пучков различного цвета. Оптический элемент для совмещения пучков состоит из оптического материала кубической формы с множеством призм на гранях куба. Полное внутреннее отражение на сторонах этих призм и преломление падающих пучков используются для перенаправления их в одном направлении. Вычисления с помощью пакета программ Zemax показали, что высокая оптическая эффективность и хорошее качество выходного пучка может быть достигнуто с использованием недорогих оптических материалов и технологий изготовления.

В отличие от традиционных оптических элементов (призм и дифракционных решеток), рассмотренные элементы обладают рядом преимуществ. Они обладают высокой оптической эффективностью, просты в использовании и могут быть изготовлены с использованием недорогих оптических материалов и технологий.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17- 19- 01461).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dammann H.* Color separation gratings // Applied Optics. – 1978. – Vol. 17. – P. 2273–2279.

2. *Farn M.W., Stern M.B., Veldkamp W.B., and Medeiros S.S.* Color separation by use of binary optics // Optics Letters. – 1993. – Vol. 18. – P. 1214–1216.

3. *Petrov N.I.* Frustrated-total-internal-reflection-based thin-film color separator // Optics Letters. – 2007. – Vol. 32. – № 18. – P. 2744–2746.

4. *Petrov N.I., Nikitin V.G., Danilov V.A., Popov V.V., and Usievich B.A.* Subwavelength diffractive color beam combiner // Applied Optics. – 2014. – Vol. 53. – P. 5740–5744.

COLOR BEAM SPLITTERS AND COMBINERS

Petrov N. I., Khromov M.N., Danilov V.A., Storozheva A.L., Sokolov Yu.M.

(Scientific and technological center of unique instrumentation of RAS)

Beam combiners and splitters based on the frustrated total internal reflection, diffraction and refraction effects of light beams are considered. New high efficiency prismatic beam combiner consisting of uniform material is proposed.

УДК 681.7.068.3

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МИНИТРАНШЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛП В РОССИИ

Никулина Т.Г.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

За рубежом уже длительное время применяется технология строительства волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) при которой оптические кабели (ОК) прокладываются в пакетных микротрубках в обочине или непосредственно в полотне автодороги. Такая технология обладает следующими преимуществами в сравнении с традиционной прокладкой ОК непосредственно в грунт в полосе отвода автодорог:

- повышение скорости строительства ВОЛП, за счет быстрого решения вопросов согласования с собственниками земли (в случает минитраншейной технологии собственником является только Министерство транспорта Российской Федерации);
- снижение затрат на строительство и эксплуатацию ВОЛП;
- увеличение оперативности устранения повреждений ВОЛП (за счет круглогодичной доступности кабеля и решения всех вопросов с быстрым поиском трассы прохождения ВОЛП);
- резко снижается вероятность повреждения ВОЛП сторонними организациями;
- минимальное задействование земельных ресурсов под строительство ВОЛП.

Перечисленные достоинства делают эту технологию привлекательной и для применения в России, однако при этом возникает ряд вопросов требующих решения. В докладе представлен обзор особенностей минитраншейной технологии строительства ВОЛП согласно зарубежным нормативным документам и рассмотрены вопросы применения этой технологии в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ITU-T L.153/L.48. Mini-trench installation technique. 2003 Series L: Construction, installation and protection of cables and other elements of utside plant; Recommendation L.48 was prepared by ITU-T Study Group 6 (2001-2004) and approved under the WTSA Resolution 1 procedure on 29 March 2003. – P. 16.

2. ITU-T L.154/L.49. Micro-trench installation technique. 2003 Series L: Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant; Recommendation L.49 was approved by ITU-T Study Group 6 (2001-2004) under the ITU-T Recommendation A.8 procedure on 29 March 2003. – P. 14.

3. *Цым А.Ю., Иванов И.А.* ТМК – инновационная технология модернизации российской информационной инфраструктуры // Фотон-Экспресс. – 2011. – № 2.

QUESTION OF APPLICATION OF MINI-TRENCH INSTALLATION TECHNIQUE OF THE FIBER OPTIC TRANSMISSION LINE IN RUSSIA

Nikulina T.G.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In the paper, the issues of fiber optic transmission line installation on the Mini-trench technology are considered. Also the questions of application of this technology in Russia are considered.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВОГО ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА

***Казанский Н.Л.*[1,2], *Морозов А.А.*[1,2], *Никоноров А.В.*[1,2], *Петров М.В.*[1,2], *Подлипнов В.В.*[1,2], *Скиданов Р.В.*[1,2], *Фурсов В.А.*[1,2]**

([1]Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, [2] ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

Актуальность темы исследований определяется тем, что использование гиперспектральной информации позволяет обнаружить многие объекты и явления, незаметные на обычных цветных изображениях [1]. Коллективом авторов доклада предложен и запатентован [2-3] ряд оптических схем изображающих гиперспектрометров, предназначенных для размещения на малых космических и беспилотных летательных аппаратах. При этом массогабаритные характеристики и энергопотребление разработанных гиперспектрометров на несколько порядков меньше летающих сейчас российских образцов, а результаты моделирования [4-5] показали, что по разрешению и ширине спектрального диапазона они превосходит лучшие мировые аналоги.

В 2017 году изготвлены два макета-демонстратора гиперспектральных камер видимого диапазона. Один – на основе схемы Оффнера [2, 5], второй – на основе дифракционной решетки с плавно меняющейся высотой штрихов [3-4]. Оба макета изготовлены в корпусе из композитного материала с практически нулевым коэффициентом теплового расширения. Калибровка макетов была проведена с помощью перестраиваемого лазера и продемонстрировала хорошее качество восстановления спектра. Работоспособность макета с нашим программным обеспечением была экспериментально подтверждена путем плавного перемещения перед объективом гиперспектрометра фотографии поверхности Земли, имитирующего полет космического летательного аппарата. В докладе будут представлены результаты

экспериментальных исследований в форме отфильтрованных слоев гиперкуба, содержащего спектрально-пространственные данные [1].

Созданное для тематической обработки гиперспектральной информации программное обеспечение не только учитывает специфику данных, получаемых с конкретных макетов, но и основано на развитии методов сегментации, предназначенных для построения модели местности и выявления на ней подозрительных участков с возможными типами растений или химических загрязнений. Летом этого года созданные нами макеты-демонстраторы прошли полевые испытания в сельскохозяйственном НИИ Ростовской области. При проведении эксперимента анализировались виды сельхозкультур, влажность, условия освещения. По спектральным признакам удалось добиться устойчивого автоматического распознавания ряда сельхозкультур, а также отличать растения на влажных участках почвы от растений на сухих участках почвы, требующих полива.

Таким образом, результаты моделирования и экспериментального исследования разработанных гиперспетрометров демонстрируют их преимущества по разрешению перед зарубежными и российскими аналогами и возможность расширения спектрального диапазона с охватом инфракрасной области спектра. Это является основой для создания ультракомпактных гиперспектрометров, пригодных для использования как на малых космических и беспилотных летательных аппаратах, так и на поверхности Земли (сканирование при размещении на штативе).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 16-29-09528, 16-29-11744, 17-29-03112.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективные информационные технологии дистанционного зондирования Земли // Под редакцией В.А. Сойфера. – Самара: Новая техника, 2015. – 255 с.

2. *Скиданов Р.В., Казанский Н.Л., Харитонов С.И.* Изображающий гиперспектрометр // Евразийский патент на изобретение № 024777. Патент опубликован 31.10.2016, бюл. № 10.

3. *Скиданов Р.В., Казанский Н.Л., Моисеев О.Ю.* Изображающий гиперспектрометр на основе дифракционной решетки с переменной высотой штрихов // Евразийский патент на изобретение № 024759. Патент опубликован 31.10.2016, бюл. № 10.

4. *Скиданов Р.В., Морозов А.А.* Гиперспектрометр на основе дифракционной решетки с переменной высотой штрихов // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований, 2015. – № 4 (88). – С. 89–95.

5. *Расторгуев А.А., Харитонов С.И., Казанский Н.Л.* Моделирование распределения освещённости в плоскости регистратора космического гиперспектрометра, основанного на схеме Оффнера // Компьютерная оптика, 2017. – Т. 41. – № 3. – С. 399–405.

УДК 681.7.068

ИССЛЕДОВАНИЕ «КАБЕЛЬНЫХ» МЕЖМОДОВЫХ СВЯЗЕЙ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Бурдин В.А., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

«Кабельные» межмодовые связи в оптических волокнах кабеля обусловлены нерегулярностями световодов, обусловленными конструкцией оптического кабеля. такие нерегулярности, в первую очередь, вызваны изгибами оптических волокон на строительной длине кабеля из-за избыточной длины оптического волокна в кабеле. В статье представлен анализ экспериментальных данных по избыточной длине волокон в кабелях. Приведены результаты экспериментальных исследований изменений радиуса изгиба волокон в кабеле вдоль строительной длины кабеля и полученные на их основе оценки параметров мод световода. Представлены данные измерений косвенными методами распределений по длине кабеля межмодовых связей, обусловленных изменениями кривизны оптического волокна вдоль длины кабеля.

INVESTIGATION OF «CABLE» COUPLING OF MODES IN OPTICAL FIBERS

Burdin V.A., Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

«Cable» coupling of modes in optical fibers of a cable are caused by irregularities of lightguide, caused by the design of an optical cable. Such irregularities are primarily caused by bends of optical fibers on the delivery length of the cable due to the excess fiber length in the cable. The article presents an analysis of experimental data on the exces fiber length in cables. There are presented the results of

experimental investigations of the changes in the radius of fiber bending along the cable length and on their basis the obtained estimates of the parameters of the light guide modes. The data of measurements by indirect methods of distributions along the cable length of modes coupling due to changes in the curvature of the optical fiber along the length of the cable are presented.

УДК 681.7.068

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ВНУТРИВОЛОКОННЫХ МЕЖМОДОВЫХ СВЯЗЕЙ

Бурдин В.А., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Как известно, линейная связь мод в световодах обусловлена его нерегулярностями [1]. Внутриволоконные нерегулярности – это нерегулярности на строительных длинах оптического кабеля. Волоконные нерегулярности – это нерегулярности оптического волокна, связанные с допусками на его геометрические характеристики, флюктуациями показателя преломления по длине волокна и т.п. В докладе представлены результаты сравнения профилей показателя преломления, измеренных на заготовках многомодовых оптических волокон и на длине полученных из них образцов оптического волокна. Приведены результаты анализа изменений параметров профиля показателя преломления в сечении многомодового волоконного световода и вдоль его длины. На основе данных о флюктуациях профиля показателя преломления по длине многомодового оптического волокна получены оценки внутриволоконных связей мод. По результатам анализа выдвинуто предположение, что наиболее существенное значение в формировании внутриволоконных межмодовых связей имеют флюктуации диаметра сердцевины волоконного световода вдоль его длины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Снайдер А., Лав Дж.* Теория оптических волноводов // – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ESTIMATES OF INTRA FIBER COUPLING OF LIGHTGUIDE MODES

Burdin V.A., Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of comparison of refractive index profiles measured on preforms of multimode optical fibers and on the length of optical fiber samples obtained from them. The results of analysis of the parameters of the profile of the refractive index in the cross section of a multimode fiber and along its length are presented. Based on the data on the fluctuations of the refractive index profile along the length of the multimode optical fiber, estimates of the intra fiber coupling of the modes are obtained. Based on the results of the analysis, it has been suggested that the fluctuations in the diameter of the core of a fiber light guide along its length are the most significant in the formation of intra fiber coupling of modes.

УДК 681.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ГРАДИЕНТНОЙ ЛИНЗЫ НА ОСНОВЕ АСТИГМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПУЧКА БЕССЕЛЯ

Карпеев С.В., Паранин В.Д.

(Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Апробирован метод исследования двулучепреломления механически свободных градиентных параболических линз на основе астигматического преобразования пучка Бесселя 0-го порядка. Отмечены особенности юстировки оптической схемы и приведены практические рекомендации по выбору ее элементов. На примере четвертьволновой линзы экспериментально показана возможность надежного измерения оптической разности хода не хуже $0{,}05\,\lambda_0$. Подтверждено существенное отличие двулучепреломления градиентных оптических линз в центральной и краевой областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Alferov S.V.* Study of polarization properties of fiber-optics probes with use of a binary phase plate / S.V. Alferov, S.N. Khonina, S.V. Karpeev // JOSA A. – 2014. – Vol. 31 (4). – P. 244.

2. *Rouke J.L.* Birefringence measurements in gradient-index rod lenses / J.L. Rouke, D.T. Moore // Applied Optics. – 1999. – Vol. 38 (31). – P. 6574–80.

3. *Camacho J.* Polarization optics of GRIN lenses / J.Camacho, D.Tentori // J. Opt. A: Pure Applied Optics. – 2001. – Vol. 3. – P. 89–95.

4. *Хонина С.Н.* Исследование поляризационного преобразования и взаимодействия обыкновенного и необыкновенного пучков в непараксиальном режиме / С.Н. Хонина, В.Д. Паранин, С.В. Кар-

пеев, А.А. Морозов // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38 (4). – С. 598–605.

5. *Khonina S.N.* Implementation of ordinary and extraordinary beams interference by application of diffractive optical elements / S.N. Khonina, S.V. Karpeev, A.A. Morozov, V.D. Paranin // Journal of Modern Optics. – 2016. – Vol. 63 (13). – P. 1239–47.

6. *Khonina S.N.* Astigmatic transformation of Bessel beams in a uniaxial crystal / S.N. Khonina, V.D. Paranin, A.V. Ustinov, A.P.Krasnov / / Optica Applicata. – 2016. – Vol. 46 (1). – P. 5–18.

7. *Paranin V.D.* Diffractive polarization illuminator for a two-axis fiber-optic angle sensor / V.D. Paranin, S.N. Khonina // Proc. of SPIE. – 2017. – Vol. 10342. – P. 1034216.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BIREFRINGENCE OF THE PARABOLIC GRADIENT LENS ON THE BASIS OF ASTIGMATIC TRANSFORMATION OF THE BESSEL BEAM

Karpeev S.V., Paranin V.D.

(Image Processing Systems Institute of RAS, – Branch of the FSRC «Crystallography and Photonics» RAS)

The method of investigation has been used to test a birefringence of mechanically free gradient parabolic lenses based on the astigmatic transformation of the 0-order Bessel beam. The features of the alignment of the optical circuit and the adoption of practical recommendations for the selection of its elements are noted. An example of a quarter-pitch lens has shown experimentally the possibility of reliable measurement of the optical path difference $\sim 0{,}05\,\lambda_0$. A confirmed significant difference between the two-beam intelligence of gradient optical lenses in the central and edge regions.

УДК 681.7.068

ПРОГНОЗ СТЫКОВЫХ МЕЖМОДОВЫХ СВЯЗЕЙ НА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Бурдин В.А., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Связь мод в сварных соединениях оптических волокон обусловлена, в первую очередь, разбросом параметров мод сращиваемых оптических волокон. В докладе приводится полученные экспериментально статистики разницы значений радиуса пятна фундаментальной моды одномодовых оптических волокон, соединяемых в кабельных муфтах. На основе этих статистик делается попытка прогноза связей мод на стыках оптических волокон кабельной линии. Рассматриваются методы экспериментальных исследований связей мод в соединениях маломодовых и многомодовых оптических волокон. Формулируются задачи исследований.

FORECAST OF MODES COUPLING IN JOINTINGS OF FIBERS ON LINES OF FIBER OPTIC CABLE

Burdin V.A., Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The coupling of modes in joints of optical fibers is due, first of all, to the differents of the modes parameters of fibers in joints. The report gives the experimentally obtained statistics of the difference in the spot radius of the fundamental mode of jointed single-mode optical fibers in cable closure. On the basis of these statistics, an attempt is made to forecast the coupling of modes at the joints of optical fibers of the cable line. Methods for experimental studies of mode coupling in few-mode and multimode optical fibers are considered. The problems of investigation are formulated.

УДК 621.389:681.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ МОДОВОГО МУЛЬТИПЛЕКСОРА

Андреев В.А., Бурдин В.А., Бурдин А.В., Кузнецов А.А., Морозов О.Г., Турзанов С.А., Фасхутдинов Л.М., Юдаков А.М.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В [1] предложено простое устройство для разделения мод на основе оптических ответвевителей на планарных световодах в исполнении «on-chip». В данной работе предлагается подобное устройство, но в волоконном исполнении. Как показали испытания образцов, такая технология позволяет получать простые и недорогие устройства с вполне удовлетворительными параметрами при 2-3 одномодовых выводах. Основной недостаток устройства – существенное увеличение габаритов и ухудшение селективных свойств при увеличении числа одномодовых портов.

В работе представлено описание конструкции устройства, приведены методики и данные измерений, результаты их обработки. Показано, что для рассмотренной конструкции устройства разделения мод, базирующейся на технологии сварного волоконно-оптического ответвителя, может быть подобрана эквивалентная конструкция на основе технологии «photonic lantern».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ding Y., et al.* On-chip two-mode division multiplexing using tapered directional coupler-based mode multiplexer and demultiplexer // Optics Express 21(8), 2013. – P. 10376–10382.

RESULTS OF THE TESTING OF THE EQUIVALENT SCHEME OF THE MODE DIVIDING

Andreev V.A., Burdin V.A., Bourdine A.V., Kuznetzov A.A., Morozov O.G., Turzanov S.A., Faskhutdinov L.M., Yudakov A.M.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In this paper, a simple device for separating modes based on fused fiber optic couplers is proposed. As the tests of samples showed, this technology allows to obtain simple and inexpensive devices with satisfactory parameters with 2-3 single mode ports.

The paper describes the design of the device, gives the methods and data of measurements, the results of their processing. It is shown that for the considered design of the mode dividing device based on the technology of a fused fiber optic coupler, an equivalent design based on the «photonic lantern» technology can be selected.

УДК 535.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ЗАТУХАЮЩИХ ПОЛЕЙ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ОПТОВОЛОКОННОГО ТЕЙПЕРА И СУБВОЛНОВОГО ДИФРАКЦИОННОГО АКСИКОНА

Савельев Д.А., Дегтярев С.А., Хонина С.Н.

(Институт систем обработки изображений – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Численно с помощью метода FDTD исследованы дифракционные картины вихревых затухающих полей, образованные в ближней зоне оптоволоконного тейпера и субволнового дифракционного аксикона.

Простейший конический диэлектрический зонд представляет собой часть оптического волокна, конически удлиненного с одной стороны [1]. Угол вершины таких конических конусов намного меньше, чем полный угол внутреннего отражения [1]. Конические зонды с малыми углами вершин также широко используются в ближнепольной оптике [2, 3].

Исследования по затухающим полям вызывают интерес благодаря потенциальным приложениям и их применению в таких областях как оптическая микроскопия ближнего поля, запись с высокой плотностью, субволновая литография [4]. В частности, в [5] было показано значение затухающих волн при фокусировке поля в фокальное пятно значительно меньше дифракционного предела.

В данной работе мы исследуем формирование вихревых затухающих пучков при круговой поляризации с помощью бинарного дифракционного аксикона с периодом меньше длины волны и оптоволоконным тейпером в 3D модели. Числовая апертура аксикона варьировалась от 0,95 до 2,0. Для численного моделирования дифракции рассматриваемого лазерного излучения используется метод конечных разностей во временной области (FDTD) с использованием высокопроизводительных вычислений.

Результаты расчетов показали, что при увеличении NA аксикона наблюдается сокращение длины формирования затуха-

ющего пучка при усилении продольной компоненты электрического поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zhu B., Stiens J., Matvejev V., Vounckx R.* Inexpensive and easy fabrication of multi-mode tapered dielectric circular probes at millimeter wave frequencies //Progress In Electromagnetics Research. – 2012. – Т. 126. – С. 237–254.

2. *Choo H. et al.* Nanofocusing in a metal-insulator-metal gap plasmon waveguide with a three-dimensional linear taper //Nature Photonics. – 2012. – Т. 6. – №. 12. – С. 838–844.

3. *Khonina S., Degtyarev S., Savelyev D., Ustinov A.* Focused, evanescent, hollow, and collimated beams formed by microaxicons with different conical angles // Optics Express. – 2017. – V. 25(16). – P. 19052–19064.

4. *Zhan Q.* Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications //Advances in Optics and Photonics. – 2009. – Т. 1. – №. 1. – С. 1–57.

5. *Merlin R.* Radiation less electromagnetic interference: evanescent-field lenses and perfect focusing //Science. – 2007. – Т. 317. – №. 5840. – С. 927–929.

INVESTIGATION OF VORTEX EVANESCENT FIELDS IN THE NEAR ZONE OF FIBER TAPER AND THE SUBWAVELENGTH DIFFRACTIVE AXICON

Savelyev D.A., Degtyarev S.A., Khonina S.N.

(Image Processing Systems Institute – Branch of the Federal Scientific Research Centre «Crystallography and Photonics» of Russian Academy of Sciences)

Numerically, diffraction patterns of vortex-damped fields formed using the FDTD method in the near zone of an optical fiber taper and a subwavelength diffraction ax icon were investigated.

УДК 537.86: 538.956: 517.958

БЕГУЩИЕ И МОДУЛИРОВАННЫЕ ВОЛНЫ В ДЛИННОЙ ЛИНИИ С СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ КОНДЕНСАТОРАМИ

Агаларов А.М.[1], Потапов А.А.[2], Ракуть И.В.[3], Рассадин А.Э.[4]

([1]Институт физики им. Х.И. Амирханова ДНЦ РАН,
[2]Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
[3]НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
[4] Нижегородское математическое общество)

В настоящее время междисциплинарное научное направление «интегрированные сегнетоэлектрики» весьма интересно для развития отечественной электронной промышленности, потому что в его рамках обсуждается производство интегральных схем, в которых сегнетоэлектрический элемент является системообразующим, то есть позволяет выстраивать на его основе целые линейки устройств различного назначения [1]. Особенно важным является исследование однородных цепочек с сегнетоэлектрическими фрагментами.

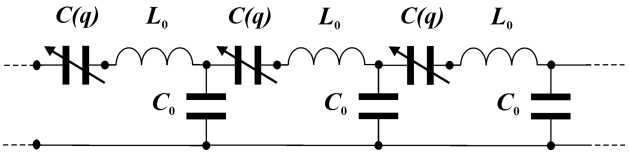


Рисунок. Цепочка с сегнетоэлектрическими конденсаторами

В данном докладе рассмотрена цепочка, электрическая схема которой представлена на рисунке. При большом числе таких конденсаторов в цепочке она может быть описана как длинная линия, безграничная в обе стороны, причём поведение безразмерного заряда $Q(x,t)$

в этой линии описывается следующим нелинейным уравнением Клейна-Гордона-Фока:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + Q + Q^3 = 0. \qquad (1)$$

Уравнение (1) имеет периодическое автомодельное решение, выражающееся через эллиптическую функцию Якоби, на основе которого в рамках теории Уизема описано распространение нелинейных модулированных волн в этой системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воротилов К.А., Мухортов В.М., Потапов А.А., Ракуть И.В., Рассадин А.Э., Сигов А.С.* Интегрированные сегнетоэлектрические устройства для нового поколения отечественных систем обработки и передачи информации // Издательство «Радиотехника» – в печати.

TRAVELLING AND MODULATED WAVES IN LONG TRANSMISSION LINE WITH FERROELECTRIC CAPACITORS

Agalarov A.M.[1], Potapov A.A.[2], Rakut I.V.[3], Rassadin A.E.[4]

([1]Institute of Physics named after H.I. Amirkhanov, Dagestan Scientific Centre of RAS,
[2]Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS,
[3]Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
[4]Nizhny Novgorod Mathematical Society)

In the report integrated ferroelectric device namely homogeneous circuit with ferroelectric capacitors has been considered. Under the great number of such capacitors in the circuit in the framework of the Witham theory propagation of nonlinear modulated waves in this system has been described.

УДК 621.395.73

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ОКЛСТ НА ЗАО «СОКК»

Косова А.Л.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе приводятся результаты измерения удлинения оптического волокна при испытании оптического кабеля на стойкость к растягивающей нагрузке. Проведение испытаний на стойкость к растягивающей нагрузке оптических волокон кабеля выполняется измерителем удлинения ИД-2-3 и оптическим рефлектометром ОР-2-2.

Получены величины удлинения кабеля и оптических волокон четырех модулей при значениях прикладываемых нагрузок от 500 Н до 4000 Н.

Показано, что допустимая растягивающая нагрузка кабеля соответствует заявленной 2,7 кН и имеет запас по прочности порядка 1,3. Значения коэффициента затухания ОВ кабеля остаются в пределах допустимых значений, зависимости коэффициента затухания кабеля от величины прикладываемой нагрузки не наблюдается.

METROLOGY SUPPLY OF ACCEPTED TEST PROCEDURES OF THE OKLST OPTICAL CABLE IN THE ZAO «SOKK»

Kosova A.L.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper, the results of measuring the elongation of an optical fiber during the testing of an optical cable are given.

УДК 681.7.068

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИЩЕННОГО НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА

Бурдин А.В., Губарева О.Ю., Пашин С.С., Зайцев А.Ю., Никулина Т.В., Петров Л.А., Родина А.Е.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе предложен альтернативный способ реализации защищенного на физическом уровне канала передачи конфиденциальной информации (КИ) сегмента «первая/последняя миля» внутрикорпоративной сети. Данное решение базируется на применении в соединительных кабельных линиях специализированных кварцевых оптических волокон (ОВ), функционирующих в маломодовом режиме передачи сигнала. Геометрия таких ОВ остается традиционной и представляет собой классическую коаксиальную конструкцию: сердцевина, окруженная одной внешней сплошной оболочкой. При этом специализированная форма профиля показателя преломления ОВ обеспечивает усиленное проявление эффекта дифференциальной модовой задержки (ДМЗ) заданного характера. В результате это ОВ на всем протяжении линии является шифратором, а форма его специализированного профиля показателя преломления выполняет роль ключа. Таким образом, транслируемый сильно искаженный за счет ДМЗ трафик становится невозможно разобрать без соответствующего дешифратора, который может представлять собой либо также второе ОВ со специализированной формой профиля показателя преломления, соответствующего ОВ-«ключу», либо устройство электронной компенсации ДМЗ, адаптированное на рассматриваемый случай. В качестве второй дополнительной степени защиты канала передачи КИ предлагается использовать элементы технологии модового

мультиплексирования. Данное решение предполагает использование только одного определенного канала модовой составляющей заданного порядка (или группу мод) для передачи полезного информационного сигнала, который меняется в течение заданного интервала времени по соответствующему алгоритму с передачей закрытого ключа по закрытому каналу. В работе представлены варианты конфигурации построения линейного тракта волоконно-оптической линии передачи на основе предлагаемых крипто-волокон и смены селективного модового канала. Сформулированы ключевые задачи, решение которых необходимо для разработки научно-технических основ организации защищенного на физическом уровне канала передачи КИ на основе предлагаемого подхода, в том числе, математического аппарата для решения обратной задачи синтеза специализированной формы профилей показателя преломления, обеспечивающих заданное управление ДМЗ «ключей и «дешифраторов», а также моделирования процессов распространения оптических сигналов, возбуждаемых когерентными источниками оптического излучения по ОВ с увеличенным диаметром сердцевины в маломодовом режиме, адаптированных на рассматриваемый случай.

SECURE DATA TRANSMISSION CHANNEL PROTECTED OVER PHYSICAL LAYER BASED ON SPECIAL FIBER OPTIC LINK

Burdin A.V., Gubareva O.Yu., Pashin S.S., Zaitsev A.Yu., Nikulina T.V., Petrov L.A., Rodina A.E.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

We present alternative method for implementation of secure data transmission channel protected over physical layer for the «first/last mile» segment of intra-corporate network by specialized fiber optic link. Proposed solution is based on application of operating in a few-mode laser-based regime multimode optical fibers with special refractive index profile providing optical pulse strong uniquely

distortions due to differential mode delay effect that allows to consider those optical fibers as «encryptor». This work presents configurations of proposed «crypto-fiber» optic link as well as list of problems which solutions are required for design, development and implementation of presented approach.

УДК 535.8:621.37:681.7.06

РАДИОФОТОННОЕ ДИАГРАММОФОРМИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛИНЕЙНОЙ ФАР С ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЧИРПИРОВАННОЙ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКОЙ

Иванов С.И.[1], Лавров А.П.[1], Саенко И.И.[1], Бессольцев С.А.[1], Вольф А.А.[2], Достовалов А.В.[2]

([1]ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, [2]Институт автоматики и электрометрии СО РАН)

Представлены результаты разработки 6-ти канального радиофотонного диаграммоформирующего устройства (ДФУ) на базе компонентов волоконно-оптических линий передач с внешней модуляцией по радиочастоте в диапазоне 0,1 - 20 ГГц. Линии передачи имеют 100 ГГц межканальный интервал частот оптических излучателей согласно сетке ITU в С-диапазоне. ДФУ работает с широкополосной линейной фазированной антенной решеткой. Диаграммоформирование выполняется введением межканальных временных задержек при прохождении модулированного оптического излучения по чирпированной волоконной решетке Брэгга (ЧВБР) [1], работающей на отражение во всем рабочем спектральном диапазоне 6-ти канального ДФУ. ЧВБР длиной 2 см была создана поточечной записью фемтосекундным лазером через полимерную оболочку волокна. Приведены результаты измерения S-параметров 6-ти каналов ДФУ, которые показали высокую линейность зависимости межканальных временных задержек от длины волны излучения на входе ЧВБР. Полученные результаты позволили синтезировать диаграмму направленности (ДН) линейной ФАР с применением исследуемого ДФУ. Рассчитаны основные характеристики ДН, проведено сравнение с результатами, полученными для радиофотонного ДФУ с формированием временных задержек за счет дисперсии одномодового волокна [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Corral J.L., Marti J., Santos A., Fuster J.M., Capmany J., Pastor D., Cole M.J., Laming R.I.* Continuously variable true time delay optical feeder for phased array antenna employing chirped fiber gratings / / IEEE Trans. on MTT, 1997. – Vol. 45. – P. 1531–1536.

2. *Ivanov S.I., Lavrov A.P., Saenko I.I.* Application of Microwave Photonics Components for Ultrawideband Antenna Array Beamforming / / LNCS, 2016. – Vol. 9870. – P. 670–679.

MICROWAVE PHOTONIC BEAMFORMING SYSTEM WITH BROADBAND CHIRPED FIBER BRAGG GRATING FOR PHASED ARRAY ANTENNA

Ivanov S.I.[1], Lavrov A.P.[1], Saenko I.I.[1], Bessoltsev S.A.[1], Wolf A.A.[2], Dostovalov A.V.[2]

([1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, [2] Institute of Automation and Electrometry of RAS)

The results of the development of a 6-channel microwave beam forming system (BFS) for phased array antenna are presented. BFS incorporate components of analogue fiber-optic transmission links with external modulation in RF range 0.1-20 GHz. 6 optical carriers are separated with 100 GHz step (ITU grid, DWDM standard in C-band). The beam forming is realized by introducing inter-channel time delays when RF modulated optical carriers interact with chirped fiber Bragg grating (FBG) in reflection mode, throughout the total operating spectral range of 6-channel BFS (6x100 GHz). The used FBG has 2 cm length. The results of measuring the S-parameters of BFS 6 channels are given, which enable to synthesize the far-field pattern of the phased array antenna with photonic BFS under investigation.

УДК 681.2.08

РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Дашков М.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Распределенный контроль вибрационных воздействий на основе оптического волокна в настоящее время является перспективной технологией для реализации систем охраны периметра и протяженных объектов, систем акустического мониторинга нефтегазовых скважин и т.д. Для решения данных задач получили применение различные реализации когерентного рефлектометра [1-3].

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования распределенного датчика вибрации на базе разработанной в ФГБОУ ВО ПГУТИ системы мониторинга оптического кабеля СМОК. Структурная схема экспериментальной установки приведена на рисунке.

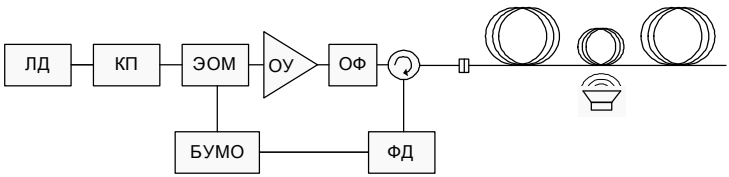


Рисунок. Схема экспериментальной установки

В качестве источника излучения используется полупроводниковый лазерный диод (ЛД) с длиной волны 1550,9 нм и шириной спектра менее 1 МГц. Для формирования зондирующих оптических импульсов используется электрооптический модулятор Маха-Цандера (ЭОМ). Для увеличения мощности зондирующих импульсов используется эрбиевый оптический усилитель (ОУ) и для фильтрации шу-

мов усиленного спонтанного излучения применяется оптический фильтр (ОФ). Сигнал обратного рассеяния фиксируется лавинным фотодиодом (ФД) и далее электрический сигнал обрабатывается в блоке управления и математической обработки (БУМО). В качестве чувствительного элемента использовалось стандартное одномодовое оптическое волокно (ОВ) участок которого подвергался вибрационным воздействиям.

В результате обработки полученных характеристики обратного рассеяния была продемонстрирована возможность выявления и локализации вибрационных воздействий при использовании модифицированной схемы стандартной системы мониторинга оптического кабеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Juљkaitis R. et al.* Interferometry with Rayleigh backscattering in a single-mode optical fiber // Optics Letters, 1994. – Vol. 19. – № 3. – P. 225–227.

2. *Горшков Б.Г. и др*. Распределенный датчик внешнего воздействия на основе фазочувствительного волоконного рефлектометра // Квантовая электроника, 2006. – Т. 36. – С. 963–965.

DISTRIBUTED FIBER-OPTIC VIBRATION SENSOR

Dashkov M.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper the realization of distributed fiber-optic vibration sensor based on modified remote test fiber system is considered. The results of experimental approbation of developed scheme and processing algorithm are represented.

УДК 621.3.095.1

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА ПОЛЯРИЗАЦИИ

Дашков М.В., Щербакова К.А.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время устройства для управления поляризацией оптического излучения (контроллеры поляризации) находят широкое применение в различных устройствах: измерительные комплексах для тестирования волоконно-оптических компонент, системы опроса волоконно-оптических датчиков различного назначения, волоконные лазеры, поляризационная рефлектометрия и т.д.

Для ряда приложений требуются расширенные возможности по управлению контроллером поляризации. Данная работа посвящена разработке устройства управления трех-секционным волоконно-оптическим контроллером поляризации.

Разрабатываемое устройство должно позволить программно устанавливать требуемое состояние поляризации на выходе, работать в режиме изменения состояния поляризации по заданному закону или варьировать состояния поляризации случайным образом.

Используемый в работе контроллер поляризации представляет собой каскад из трех перестраиваемых волновых пластин в волоконном исполнении, управляемых током. Для разработки алгоритма управления была разработана математическая модель контроллера на основе матриц Джонса. При этом каждая секция описывается произведением матрицы поворота и матрицы Джонса для задерживающей пластины [1]. Для установки требуемого состояния поляризации рассчитываются требуемые значения фазовой задержки волновых пластин и определяются параметры управляющих сигналов.

При разработке алгоритма необходимо учитывать особенности оптических и электрических передаточных характеристик волокон-

но-оптического контроллера поляризации. С этой целью были проведены экспериментальные измерения зависимости наведенной фазовой задержки волновых пластин от силы тока и определены оптические параметры передачи.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, (грант УМНИК №0033314).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ярив А., Юх П.* Оптические волны в кристаллах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 616 с.

DEVELOPMENT OF CONTROL UNIT FOR FIBER OPTICAL POLARIZATION CONTROLLER

Dashkov M.V., Scherbakova K.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper the method of development of control unit for fiber optical polarization controller is considered. The mathematical model of three stage polarization controller based on Jones matricies and algorithm of management are represented.

УДК 681.2.08

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

Дашков М.В., Хазиев И.Л.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Волоконно-оптические датчики на основе явления комбинационного (рамановского) рассеяния в настоящее время находят широкое применение для распределенного контроля температуры в нефтегазодобывающей и энергетической промышленности, а также в системах обнаружения возгораний. Принцип работы основан на импульсном зондировании оптического волокна и измерении интенсивности обратно-рассеянного излучения анти-стоксовой компоненты, имеющей существенную зависимость от температуры Для исключения влияния на результат измерений вариаций мощности зондирующего сигнала и/или изменений затухания в оптическом тракте на практике получил применение подход, заключающийся в определении отношения мощности анти-стоксовой компоненты к стоксовой или к мощности потока обратного рэлеевского рассеяния [1].

Для формулирования требований к оптическим компонентам системы опроса и определения температурной чувствительности рассмотрена модель сигналов обратного рассеяния в оптическом волокне [2]:

$$P_{rayl}(z) = P_0 W K_{bs} \exp(-2\alpha z); \quad (1)$$

$$P_s(z) = P_0 W \Gamma_s N_s \exp\left(-\left(\alpha + \alpha_s\right) z\right); \quad (2)$$

$$P_{as}(z) = P_0 W \Gamma_{as} N_{as} \exp\left(-\left(\alpha + \alpha_{as}\right) z\right); \quad (3)$$

где P_0 – пиковая мощность оптического импульса; W – пространственная длительность импульса; K_{bs} – коэффициент рэлеевского рассея-

ния; Γ_s, Γ_{as} – коэффициент захвата стоксовой и анти-стоксовой компонент; N_s, N_{as} – количество фононов для стоксовой и антистоксовой компоненты, согласно статистике Бозе-Эйнштейна; α, α_s, α_{as} – коэффициент затухания зондирующего сигнала, стоксовой и анти-стоксовой компонент.

При определении требований к компонентам схемы и погрешностей измерения температуры учитывались шумы фотоприемного устройства.

В докладе представлены результаты моделирования для различных параметров зондирующих импульсов и используемых сенсорных волокон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bolognini G., Hartog A*. Raman-based fibre sensors: Trends and applications // Optical Fiber Technology, 2013. – Vol. 19. – № 6. – P. 678–688.

2. *Farahani M.A., Gogolla T*. Spontaneous Raman scattering in optical fibers with modulated probe light for distributed temperature Raman remote sensing // Journal of Lightwave Technology, 1999. – Vol. 17. – № 8. –P. 1379–1391.

THE MODEL OF RAMAN DISTRIBUTED TEMPERATURE SENSOR

Dashkov M.V., Haziev I.L.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper the model of back-scattered signal in optical fiber taking into account Raman scattering was represented. The required parameters of components and temperature sensitivity for Raman distributed sensor were defined.

УДК 621.37, 535.8

РЕАЛИЗАЦИЯ УМНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ СИГНАЛОВ СВЧ ДИАПАЗОНА МЕТОДАМИ РАДИОФОТОНИКИ

Палачев М.А., Раевский А.С., Бирюков В.В., Грачев В.А., Лобин С.Г.

(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)

В настоящее время наиболее широкое применение находят умножители частоты, выполненные на основе диодов, поскольку они обладают невысоким уровнем шумов при достаточно хорошем быстродействии. Но существует и множество других типов умножителей частоты. Весьма перспективными, а главное принципиально новыми являются умножители частоты, построенные с использованием волоконно-оптической линии задержки (ВОЛЗ) с внешним электрооптическим модулятором (ЭОМ). В таких устройствах эффективное умножение частоты реализуется при определенном положении рабочей точки на модуляционной характеристике (МХ) модулятора.

Важной и основной задачей при рассмотрении умножителей частоты на базе ЭОМ представляется экспериментальное исследование МХ используемого модулятора, причем осуществить это исследование можно с помощью двух подходов: прямого и косвенного. В случае прямого измерения определяют уровень оптической мощности на выходе ЭОМ при изменении напряжение смещения, поданного на модулятор. Второй подход заключается в анализе уровня первой гармоники в выходном спектре ВОЛЗ, так же при изменении напряжения смещения, поданного на модулятор. С помощью обоих методов были определены полуволновое напряжение смещения модулятора и участки с максимальной нелинейностью характеристики, кроме того установлено, что исследуемый модулятор имеет встроенный сдвиг фаз.

Подав на порт смещения модулятора напряжение, необходимое для вывода рабочей точки на нелинейный участок характеристики, была снята зависимость уровня мощности первых двух гармоник от мощности входного ВЧ-сигнала и показано, что таким образом осуществляется двукратное умножение частоты входного сигнала. С ростом мощности модулирующего сигнала вторая гармоника возрастает линейно, а первая подавлена и находится на уровне шумов измерительного устройства, но при этом наблюдается дрейф рабочей точки модулятора. Также продемонстрированно как меняется оптическая мощность на выходе модулятора при изменении мощности модулирующего сигнала.

Уровни первых двух гармоник и коэффициент преобразования во вторую гармонику рассчитаны теоретически при изменениях одного и фиксации двух из трех параметров: напряжения смещения, уровня мощности модулирующего сигнала, уровня мощности оптического излучения. Теоретически и экспериментально определен коэффициент передачи, рассматриваемой ВОЛЗ.

Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ №17-19-01628.

IMPLEMENTATION OF FREQUENCY MULTIPLIER OF MICROWAVE SIGNALS RANGE BY RADIO PHOTONICS METHODS

Raevskii A.S., Biryukov V.V., Grachev V.A., Lobin S.G., Palachev M.A.

(Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev)

This paper presents the results of a theoretical study of a fiber-optic delay line with an electro-optical modulator. On the basis of this line, radio-photon generators and frequency converters of microwave signals are performed. The results of experimental studies of such radio-photon devices are also given in this paper. The results of experimental and theoretical studies of a broadband radio-photon microwave frequency doubler are also given.

УДК 536.11

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ФОКУСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Гарипов М.М., Кузнецов Д.И., Мальцев А.А.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Перспективным оптическим компонентом волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) является линза Вуда, позволяющая заменить оптические фокусирующие 3D-системы систем ВОЛС на планарные, высокотехнологичные и предельно компактные фокусирующие 2D-системы. Наиболее «ярким», в т. ч. и в оптическом смысле, примером является замена полусферической пластиковой линзы светодиода (LED) на планарную систему, позволяющую получить выигрыш в массогабаритах не менее чем в 2 раза, и, кроме того, значительно увеличивается мощность светодиода, поскольку улучшаются условия теплоотдачи (пластмасса является эффективным теплоизолятором).

Самый значимый недостаток дифракционной оптики – потеря примерно 50 % светового потока – устраняется следующим образом: фактически конструктивно исполняются 2 линзы Вуда (ЛВ) – активная ЛВ и пассивная ЛВ. Активная ЛВ изготавливается в виде концентрических светоизлучающих полупроводниковых элементов (возможности и разрешающая способность современных полупроводниковых ИС позволяют их реализовать), причем таким образом, чтобы световой поток не перекрывался непрозрачными элементами пассивной ЛВ. Поэтому потери мощности светового излучения сведены к минимуму, кроме того отсутствует нагрев непрозрачных структур дифракционной оптики со стороны источника света, что позволяет увеличить рассеиваемую мощность LED. Потери оптического потока можно минимизировать и за счет изготовления непрозрачных эле-

ментов пассивной ЛВ из прозрачной пластмассы с использованием эффекта полного внутреннего отражения («углов Брюстера»), что позволяет полностью отказаться от необходимости нанесения металлизации при изготовлении пассивной ЛВ.

Фактически имеем две дифракционные линзы, работающие согласованно, что позволяет компенсировать другой недостаток дифракционной оптики – необходимость достаточно большого диаметра. В данном случае диаметр может совпадать с диаметром LED.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замена полусферической пластиковой линзы светодиода (LED) на планарную систему позволяет получить выигрыш в массогабаритах не менее чем в 2 раза и, кроме того, значительно увеличивается мощность светодиода, поскольку резко улучшаются условия теплоотдачи (пластмасса является эффективным теплоизолятором). Фактически конструктивно исполняются 2 согласованные линзы Вуда (ЛВ) – активная ЛВ и пассивная ЛВ. Поэтому потери мощности светового излучения сведены к минимуму, кроме того отсутствует нагрев непрозрачных структур дифракционной оптики со стороны источника света, что позволяет увеличить рассеиваемую мощность LED и уменьшить диаметр LED. Предложенная методика исследования ЛВ позволяет получить картина светового поля на экране, измерить фокусные расстояния для различных длин волн монохроматического света, сравнить данные измерений с известными теоретическими формулами и внедрить результаты работы в современную модель светодиода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гарипов М.М., Юнусов Р.Ф.* Исследование свойств линзы Вуда. Электронное научно-практическое периодическое издание «Современные научные исследования и разработки», 2017. – № 3 (11). – С. 335–340.

PERSPECTIVE OPTICAL COMPONENTS OF FOCUSING SYSTEM-FIBER-OPTICAL COMMUNICATION LINES

Garipov M.M., Kuznetsov D.I., Maltsev A.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Replacing the hemispherical plastic lens of the led (LED) on the planar system allows you to gain in size not less than 2 times and, in addition, significantly increases the power of the led as dramatically improving the conditions of heat transfer. In fact, structurally coordinated turns 2 lenses wood (LP) – active LP and passive LP. Therefore, the power loss of light is minimized, in addition there is no heating of the opaque structures diffractive optics from the light source, which allows to increase power dissipation and reduce the LED diameter LED

УДК 535 (035)

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АКТИВНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ ДЛЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ

Пушкарёва А.В., Кузнецов Д.И., Мальцев А.А.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Лазерный диод является перспективными оптическим компонентам активным для высоконадежных и защитных систем. Одной из таких систем является электронный замок.

Выделяют несколько разновидностей электронного замка: механический, электронных и цифровой. Это изобретение используется для защиты объектов от несанкционированного доступа. Но наибольшей популярностью у покупателей пользуется высоконадежный цифровой замок, спроектированный на базе микроконтроллера. Но, как и многие электронный устройства при прекращении подачи электричества защитная система работать не будет. В этом случае рассматривают вариант портативного питания устройства.

В данной работе я подробнее рассмотрю применение лазерного диода в данной защитной системе.

В статичном режиме работы лазерный диод будет передавать сигнал приемнику – фотодиоду. Если происходит разрыв луча, но при этом не набирается заданная комбинация, микроконтроллер включает сирену, дверь при этом остается закрытой. Это может произойти если постороннее лицо проникло в помещение например через окно.

При правильно набранной комбинации заданного кода дверь будет открываться автоматически, так как лазерный диод будет прекращать передавать сигнал фотодиоду без срабатывания сирены. Данный замок работает на прерывание. Лазерный диод в этой конструкции выполняет функцию передатчика сигнала.

Но есть и минусы у данной высоконадежной защитной системы, так как лазерный диод не совсем безопасен для людей. Для бе-

зопасности пользователей лазерное излучение разделили на несколько классов. Считается, что классы 1 и 2 безопасны для человека, хотя в инструкциях есть четкие упоминания о том, что лазерный луч может стать причиной травмы глаз: даже, если человек находится на большом расстоянии от источника излучения, когда лазерный луч уже и не видно. Всегда, настоятельно рекомендуется устанавливать лазерный диод на отметке, которая находится выше уровня глаз, чтобы избежать неприятных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по лазерам. Под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. радио, 1978. – Т. 1.

2. *Евсеев А.Н.* Электронные устройства для дома. – М.: Радио и связь, 1994.

3. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники. – М.: Мир, 2003.

4. *Стальная М.И., Еремочкин С.Ю.* Электрооборудование малых урбанических форм: Электронное издание. ООО «МЦ ЭОР», 2016.

A PROMISING ACTIVE OPTICAL COMPONENT FOR HIGHLY RELIABLE SYSTEMS

Pushkareva A.V., Kuznetsov D.I., Maltsev A.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Fiber optics, in demand at one time as a means of solving communication problems, is now increasingly used in other directions, for example, when creating new unconventional technological processes. The article considers such an active optical component of fiber optics as a laser radiation.

УДК 681.7.062

ФОРМИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННО ИЗМЕНЯЕМЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МОЩНОСТИ

Мурзин С.П.[1], Казанский Н.Л.[1,2]

([1]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
[2]Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ), способные трансформировать волновой фронт определенным образом, с высокой эффективностью могут применяться в системах записи и считывании информации, а также её передачи в оптическом диапазоне. В состав таких систем должны входить оптические компоненты, позволяющие изменять во времени форму лазерного луча и распределение интенсивности излучения. Это возможно осуществить за счет изменения пространственного положения ДОЭ – фокусатора излучения. Особенностью является то, что оптический элемент, выполненный в виде отражающей пластины и преобразующий излучение в отрезок прямой линии, устанавливается с возможностью вращения вокруг центральной нормали к его поверхности.

Определены закономерности перераспределения мощности лазерного излучения при изменении пространственного положения ДОЭ. При повороте на угол φ фокусное расстояние оптического элемента уменьшается на величину Δf, а длина фокального отрезка L увеличивается. Получены выражения, описывающие функциональную связь $\Delta f / f(\varphi)$ и $L(\varphi)$ при $f = 1$ м. Угол поворота светового пятна в фокальной плоскости φ_1 определяется уравнением:

$$\varphi_1 = 0{,}0814\varphi^5 - 0{,}6394\varphi^4 + 1{,}964\varphi^3 - 2{,}942\varphi^2 + 2{,}757\varphi + 0{,}0044. \quad (1)$$

Измерение пространственного распределения интенсивности в лазерном пятне проводилось на CO_2-технологическом оборудовании ЛК-1300 «Хебр-1А». По результатам экспериментальных исследований построены графики изменения положения фокуса, угла поворота φ_1 и длины фокального отрезка L, а также максимальной интенсивности излучения в фокальном пятне $q_{\max}$ в зависимости от угла поворота φ оптического элемента при $L_0 = 12 \cdot 10^{-3}$ м, $f = 1$ м, $R_\Phi = 14 \cdot 10^{-3}$ м.

Установлены закономерности перераспределения мощности сформированного лазерного излучения, а также изменения фокусного расстояния и длины фокального отрезка при изменении пространственного положения ДОЭ. При повороте на угол φ-оптического элемента происходит поворот светового пятна в фокальной плоскости на угол φ_1, перераспределение мощности в фокальном отрезке и уменьшение средней величины ее плотности. Увеличивается длина фокального отрезка, а также изменяется положение фокальной плоскости.

Определено, что при повороте ДОЭ на угол $\varphi = 90°$ в фокусе оптического элемента плотность мощности в центре уменьшается в 1,95 раза, длина фокального отрезка L плавно увеличивается в диапазоне значений $L \approx (11{,}8...25{,}6) \cdot 10^{-3}$ м, т.е. в 2,2 раза, а фокусное расстояние уменьшается до $f = 0{,}5$ м.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволяют осуществить формирование лазерного излучения с целенаправленно изменяемым пространственным распределением мощности с помощью ДОЭ – фокусаторов излучения. Перераспределение мощности излучения в фокальной плоскости достигается изменением пространственного положения оптического элемента.

УДК 681.7.068

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОЛИНЗЫ НА ТОРЦЕ КВАРЦЕВОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

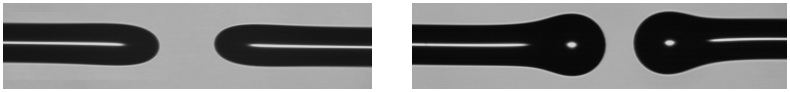
Карпцов И.А., Карташов М.Ю., Евтушенко А.С., Бурдин А.В., Казаков В.С., Егоров В.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В данной работе представлены результаты экспериментальной апробации методики формирования прецизионной градиентной микролинзы на торце телекоммуникационного оптического волокна (ОВ) с помощью комплекта полевого сварочного аппарата Ericsson FSU-975, в базовый состав программного обеспечения которого входит штатная программа № 9 [1], предполагающая одновременный нагрев и тяжение ОВ. Таким образом, в зоне обжига осуществляется сужение световода вплоть до его разрыва на два отдельных «зауженных» световода. На втором этапе программы выполняется обжиг торцов этих подготовленных ОВ, благодаря которому и реализуется формирование микролинзы полусферической формы [1]. В свою очередь, на основании результатов серии проведенных экспериментальных тестов опытным путем было выявлено, что для формирования сферической линзы необходимо провести повторную процедуру сварки подготовленных «зауженных» ОВ. Геометрические параметры полученной микролинзы предлагается определять с помощью ранее разработанной методики оценивания геометрических параметров макроструктурных дефектов ОВ на базе анализа видеоизображения зоны обжига, выводимого на дисплей сварочного аппарата [2].

В качестве примера, на рис. 1 приведены пилотные образцы полусферической и сферической микролинз, сформированных с помощью предложенной методики на торцах телекоммуникационных одномодовых ОВ рек. ITU-T G.652. Так, в данном случае радиус

полусферической линзы (рисунок, *а*) составил 53,5 мкм, а сферической (рисунок, *б*) – 96,0 мкм.



а *б*

Рисунок. Пилотные образцы микролинз: *а* – полусферические; *б* – сферичекие

Анализ полученных результатов демонстрирует потенциальные возможности использования предложенной методики для решения задачи формирования прецизионных микролинз с заданными геометрическими и оптическими параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ericsson FSU-975. Руководство пользователя: Пер. с англ. – Ericsson, 2001. – 76 с.

2. *Андреев В.А. и др*. Разработка методики формирования прецизионных макродефектов в структуре кварцевых волоконных световодов // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – № 1. – С. 18–29.

RESULTS OF EXPERIMENTAL APPROBATION FOR METHODICS FORMATION OF MICRO-LENSED ON THE QUARTZ GRADIENT OPTICAL FIBER

Karptsov I.A., Kartashov M.Yu., Evtushenko A.S., Bourdine A.V., Kazakov V.S., Egorov V.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This work presents results of experimental approbation of method for graded microlens formation over ITU-T Rec.G.652 optical fiber core end by field commercial fusion splicer kit.

УДК 681.7.068

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ СРАЩИВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО И КВАРЦЕВОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАНОГО ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С ПОМОЩЬЮ ШТАТНОГО КОМПЛЕКТА ПОЛЕВОГО СВАРОЧНОГО АППАРАТА

Кармолин А.С., Папе А.В., Субботская А.Ю., Евтушенко А.С., Минаева А.Ю., Дашков М.В., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе представлены результаты экспериментальной апробации методики сращивания традиционных кварцевых телекоммуникационных оптических волокон (ОВ) ратифицированных рекомендаций ITU-T и микроструктурированного волоконного световода (MCF) гексагональной конфигурации и диаметром 215 мкм по оболочке, фотография торца которого представлена на рис. 1.

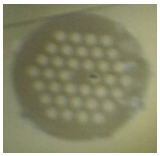


Рис. 1. Торец MCF

Рис. 2. 3D-поверхности зоны обжига

На первом этапе сварное соединение было предложено реализовать с помощью комплекта полевого сварочного аппарата Ericsson FSU-975 по штатной программе №4 «ММ – ММ» для сращивания многомодовых ОВ, осуществляющей упрощенную юстировку торцов волокон из-за сильного разброса диаметров соединяемых световодов. Факт возможности прохождения оптического излучения через

полученное сварное соединение на данном этапе фиксировался с помощью визуального дефектоскопа.

а *б*

Рис. 3. Фотография (*а*) и тепловое изображение (*б*) зоны обжига сварного соединения многомодового ОВ кат. ОМ2+ и MCF

В качестве примера на рис. 3 представлены фотография и тепловое изображение сварного соединения многомодового ОВ кат. ОМ2+ и MCF, выводимые на дисплей сварочного аппарата, а также восстановленной на их основе 3D-поверхности зоны обжига (рис. 2). Анализ полученных результатов демонстрирует потенциальные возможности использования предложенной методики для решения задачи выполнения сварного соединения ОВ традиционной конструкции и MCF описанной выше конфигурации.

EXPERIMENTAL APPROBATION OF METHOD FOR FUSION SPLICING OF TELECOMMUNICATION AND MICROSTRUCTIRE OPTICAL FIBERS BY COMMERCIAL FUSION SPLICER FIELD KIT

Karmolin A.S., Pape A.V., Subbotskaya A.Yu., Evtushenko A.S., Minaeva A.Yu., Dashkov M.V., Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

We present results of experimental approbation of method for splicing of conventional silica telecommunication optical fibers and microstructured optical fiber with cladding diameter 215 mm and hexagonal geometry by field commercial fusion splicer kit Ericsson FSU-975.

УДК 681.7.068

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ КАСКАДОВ ПРЕЦИЗИОННЫХ МАКРОДЕФЕКТОВ ЗАДАННОЙ КОНФИГУРАЦИИ В СТРУКТУРЕ КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Евтушенко А.С., Соколов Е.Д., Казаков В.С., Барашкин А.Ю. Моргунков А.В., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе представлены результаты экспериментальной апробации методики формирования каскадов прецизионных макродефектов типа «бочка» и «перетяжка» в структуре кварцевых волоконных световодов. Предложенный подход базируется на разработанной ранее методике записи перечисленных выше одиночных прецизионных дефектов в кварцевых оптических волокнах [1] с помощью штатного комплекта полевого сварочного аппарата Ericsson FSU-975 [2].

Очевидно, что при переходе к записи заданной последовательности однотипных или разнотипных дефектов в ОВ возникает задача оценивания минимально допустимого расстояния между ними, при котором не нарушается целостность этих соседних дефектов. В качестве примера на рисунке представлен каскад «бочек» с разными интервалами без и, наоборот, с нарушением геометрии.

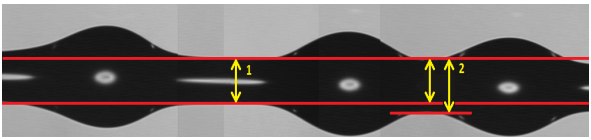


Рисунок. Примеры последовательно записанных дефектов типа «бочка» без нарушения геометрии соседнего образца (№ 1) и с нарушением (№ 2)

Для этой цели предварительно была проведена серия экспериментальной записи однотипных двухэлементных каскадов с поэтапным уменьшением интервала между ними, значением которого также определялось на базе ранее разработанной методики оценивания геометрических параметров ОВ по видеоизображению в зоне обжига, выводимого на дисплей сварочного аппарата, подробно изложенной в публикации [1]. Анализ полученных результатов показал, что для «бочек» деформация структуры дефекта при записи каскада происходит на интервалах менее 1200 мкм, в то время как для «перетяжек» минимальное допустимое расстояние составляет всего 200 мкм. Это позволило далее перейти к формированию каскадов более сложной конфигурации с увеличенным числом дефектов, которые также представлены в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В.А. и др.* Разработка методики формирования прецизионных макродефектов в структуре кварцевых волоконных световодов // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – № 1. – С. 18–29.

2. Ericsson FSU-975. Руководство пользователя: Пер. с англ. – Ericsson, 2001. – 76 с.

RESULTS OF EXPERIMENTAL APPROBATION OF METHOD FOR CASCADE FORMATION OF PRECISION MICRODEFECTS IN SILICA OPTICAL FIBERS

Evtushenko A.S., Sokolov E.D., Kazakov V.S., Barashkin A.Yu., Morgunkov A.V., Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This work presents results of experimental approbation of method for cascade formation of precision microdefects «taper» and «up-taper» in conventional telecommunication silica optical fibers.

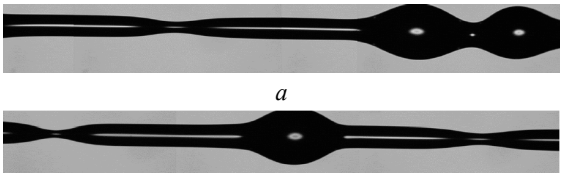
УДК 681.7.068

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ КАСКАДОВ ПРЕЦИЗИОННЫХ МАКРОДЕФЕКТОВ, ЗАПИСАННЫХ В СТРУКТУРЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Соколов Е.Д., Евтушенко А.С., Казаков В.С., Барашкин А.Ю., Моргунков А.В., Гаврюшин С.А., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе представлены результаты экспериментального исследования вносимых потерь трехэлементных каскадов одно- и разнотипных прецизионных макроструктурных дефектов типа «бочка» и «перетяжка» в различной конфигурации и последовательности, которые были предварительно сформированы в отрезках многомодовых оптических волокон (ОВ) кат. ОМ2+/ОМ3 с применением ранее разработанной методики нанесения одиночных макродефектов перечисленных типов, подробно описанной в [1].



а

б

Рисунок. Примеры каскадов трехэлементных разнотипных макроструктурыных дефектов: *а* – перетяжка–бочка–бочка; *б* – перетяжка–бочка–перетяжка

Для этой цели сформированные образцы каскадов заданной конфигурации с помощью сварочного аппарата подключались между двумя катушками строительных длин многомодовых ОВ примерно

по 400 м каждая, оконцованных пигтейлами FC/PC. Это позволило непосредственно провести измерения вносимых потерь исследуемых каскадов методом обратного рассеяния во временной области с помощью оптического рефлектометра, результаты которых преставлены в данной работе.

Согласно полученным данным, максимальные потери, соответствуют конфигурации «перетяжка–бочка–бочка». Для данного трехэлементного каскада каскада значение указанного параметра достигало 7 дБ. В свою очередь, минимальные потери соответствуют конфигурации «перетяжка– бочка–перетяжка» и составляют 1,05 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В.А. и др*. Разработка методики формирования прецизионных макродефектов в структуре кварцевых волоконных световодов // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – №1. – С. 18–29.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF INSERTION LOSS OF PRECISION MACROSTRUCTURE DEFECT CASCADES WRITTEN IN TELECOMMUNICATION OPTICAL FIBERS

Sokolov E.D., Evtushenko A.S., Kazakov V.S., Barashkin A.Yu., Morgunkov A.V., Gavryushin S.A., Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

We present results of experimental researches of insertion loss at various configuration cascades of precision microstructure defects «taper» and «up-taper» preliminary written in silica telecommunication optical fibers.

УДК 681.7.068

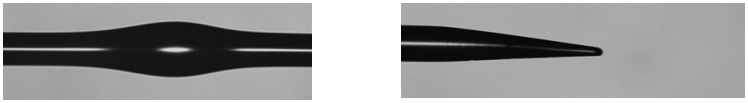
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ФОКОНА НА ТОРЦЕ КВАРЦЕВОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА

Карташов М.Ю., Карпцов И.А., Евтушенко А.С., Казаков В.С., Егоров В.В., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В данной работе представлены результаты экспериментальной апробации методики формирования прецизионного фокона на торце телекоммуникационного оптического волокна (ОВ) с помощью комплекта полевого сварочного аппарата Ericsson FSU-975 [1].

На первом этапе на основе ранее разработанной методики нанесения одиночных прецизионных макродефектов, подробно описанной в [2], в отрезке ОВ формируется «бочка» (рисунок, *а*). Далее осуществляется запуск программы № 9 [1], предполагающей одновременный нагрев и тяжение ОВ. В результате в зоне обжига осуществляется сужение световода вплоть до его разрыва на два отдельных «зауженных» световода со сформированными фоконами. Затем при необходимости осуществляется повторный обжиг торцов этих подготовленных ОВ, благодаря чему происходит сглаживание торца фокона, что фактически можно рассматривать как формирование микролинзы (рисунок, *б*). Геометрические параметры полученной микролинзы предлагается определять с помощью ранее разработанной методики оценивания геометрических параметров макроструктурных дефектов ОВ на базе анализа видеоизображения зоны обжига, выводимого на дисплей сварочного аппарата [2]. В качестве примера, на рисунке приведен пилотный образец фокона с микролинзой, сформированный на торце телекоммуникационного одномодового ОВ рек. ITU-T G.652. В данном случае диаметр линзы фокона составил 30 мкм, что фактически соответствует уменьшению диаметра ОВ по оболочке более чем в 30 раз.



а *б*

Рисунок. Пилтный образец фокона на торце кваоцевого ОВ:
а – 1-й этап нанесения «бочки»; *б* – окончание 3-го этапа: фокон со сформировнной на торце микролинзой

Анализ полученных результатов демонстрирует потенциальные возможности использования предложенной методики для решения задачи формирования прецизионных фоконов с микролинзой торце и заданными геометрическими и оптическими параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ericsson FSU-975. Руководство пользователя: Пер. с англ. – Ericsson, 2001. – 76 с.

2. *Андреев В.А. и др.* Разработка методики формирования прецизионных макродефектов в структуре кварцевых волоконных световодов // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – № 1. – С. 18–29.

RESULTS OF EXPERIMENTAL APPROBATION OF METHOD FOR FOCON FORMATION OVER SILICA OPTICAL FIBER CORE END

Kartashov M.Yu., Karptsov I.A., Evtushenko A.S., Kazakov V.S., Egorov V.V., Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This work presents results of experimental approbation of method for focon with micro-lens formation over ITU-T Rec.G.652 optical fiber core end by field commercial fusion splicer kit Ericsson FSU-975.

УДК 621.373.826

КВАЗИ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СХЕМА РЕГИСТРАЦИИ ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ОТКЛИКА МАЛОМОДОВОГО ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Минаева А.Ю., Евтушенко А.С., Казаков В.С., Карпцов И.А., Кужаев А.М., Труханов П.С., Крохин П.В., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе представлены экспериментальные исследования потенциальных возможностей модификации квази-интерферометрической схемы (КИС) регистрации внешних механических воздействий на базе многомодовых оптических волокон (ММ ОВ), функционирующих в маломодовом режим при возбужении когерентным источником излучения.

Здесь, в отличие от базовой конфигурации КИС, представленной в [1], плечи интерефероментра были реализованы из двух компонентов – катушки ММ ОВ кат. ОМ2 протяженностью порядка 500 м с сильным проявлением дифференциальной модовой задержки (ДМЗ) и бухты этого же ММ ОВ, выполняющей функции распределенного сенсора (рисунок). Для этой модификации схемы была проведена серия тестов, ориентированных на исследования слабых механических воздействий 2...20 Н, в зависимости от степени приложенного воздействия, результаты которых представлены в данной работе.

Анализ полученных данных динамики искажения формы импульсного отклика сигнала относительно опорной, как с точки зрения изменения задержки, так и нормированной амплитуды периферийного максимума относительно главного, показал, что предложенная модификация обеспечивает возможность регистрации приложенного воздействия при одновременной идентификации плеча квази-интерферометра, на которое это воздействие было оказано.

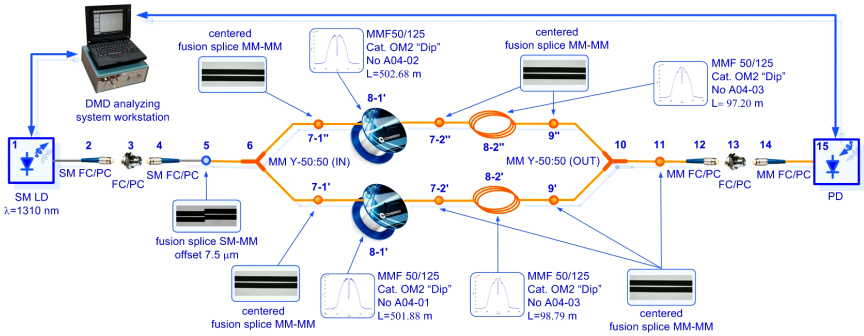


Рисунок. Модификация базовой конфигурации:
КИС с двухкомпонентными плечами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kafarova A.M. et al.* Quasi-interferometric scheme improved by fiber Bragg grating for detection of outer mechanical stress influence on distributed sensor being silica multimode optical fiber operating in a few-mode regime // Proceedings of SPIE. – 2016. – Vol. 9807. – P. 98070K-1 – 98070K-13.

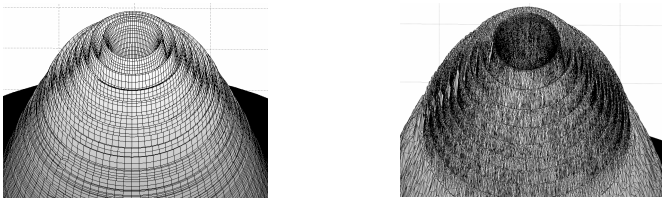
УДК 681.7.068

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ СЕЛЕКТИВНОГО МОДОВОГО СОСТАВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ МНОГОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Бурдин А.В.[1], Дельмухаметов О.Р.[2]

([1]ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
[2]ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

В данной работе представлены результаты расчета параметров передачи отдельных направляемых мод заданного порядка, распространяющихся в промышленных образцах кварцевых градиентных многомодовых оптических волокнах (ММ ОВ). Рассматривались несимметричные ММ ОВ кат. ОМ2 с габаритным провалом профиля в центре сердцевины и сильными флуктуациями показателя преломления.



а *б*

Рисунок. Фрагмент реконструкции 3D-структуры центральной области сердцевины промышленного образца ММ ОВ: *а* – интерполяция данных протокола измерения профиля на нерегулярной координатной сетке; *б* – наложение адаптивной нерегулярной треугольной сетки после процедры триангуляризации

Расчет параметров передачи мод ОВ проводился с помощью ранее разработанной модификации строгого метода смешанных конечных элементов (МСКЭ), адаптированного на случай анализа ОВ

с увеличенным диаметром сердцевины [1]. Реконструкция 3D-структуры исследуемого промышленного образца осуществлялась по данным протоколов измерения профиля показателя преломления, представляющих собой массивы значений [n] в радиальных сечениях ОВ в условных плоскостях «X» и «Y». Предложено решение по корректному восстановлению искомой структуры ОВ, с учетом ограниченного набора данных. Это позволило далее перейти к процедуре формирования переменной адаптивной треугольной сетки представления анализируемого ОВ для последующего расчета нормированной постоянной распространения направляемых мод заданного порядка с помощью МСКЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bourdine A.V., Delmukhametov O.R.* Calculation of transmission parameters of the launched higher-order modes based on the combination of a modified Gaussian approximation and a finite element method // Telecommunications and Radio Engineering. – 2013. – Vol. 72 (2). – P. 111–123.

PROBLEMS OF COMPUTING OF SELECTED MODE STAFF PARAMETERS PROPAGATING IN REAL MULTIMODE OPTICAL FIBERS

Bourdine A.V.[1], Delmukhametov O.R.[2]

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
[2]Ufa State Aviation Technical University)

We present results of computing of selected mode staff parameters propagating over sample of the "worst case" of real asymmetric silica multimode optical fiber corresponding to OM2 Cat. with great dip of refractive index profile and strong refractive index fluctuations in the fiber core center.

УДК 681.7.068

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКЛ-КАРТИНЫ С ВЫХОДА ТОРЦА ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА С ПОМОЩЬЮ ШТАТНОГО КОМПЛЕКТА ВИДЕОДИАГНОСТИКИ ТОРЦОВ ФЕРРУЛ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КОННЕКТОРОВ

Кармолин А.С., Карпцов И.А., Карташов М.Ю., Мифтахова А.А., Соколов Е.Д., Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе предложена простая методика измерения спекл-картины с выхода торца тестируемого оптического волокна (ОВ) с помощью полевого комплекта системы видеодиагностики торцов феррул волоконно-оптических коннекторов Westover FBP-SE01-HD-2. Обобщенная структурная схема приведена на рисунке. Здесь предварительно сколотое тестируемое ОВ вводится в полый (без клеевого заполнения) оголовник коннектора 3М ЕрохуФ ST, феррул которого далее подключается через соответствующую оправку к системе видеодиагностики. Вторая сторона ОВ подваривалась к пигтейлу, подключенному к когерентному источнику непрерывного излучения FOD 2112 (λ = 1310 нм). В результате обеспечивается вывод изображения торцов коннектора и введенного «подсвеченного» лазером ОВ непосредственно на монитор с последующим занесением в память ПЭВМ.

Далее полученное изображение подвергается соответствующей цифровой обработке, в результате которой, например, моджно выделить контуры свечения поля излучения с выхода сердцевины ОВ, в ряде случаев – идентифицировать модовый состав, а также провести оценку диаметра пятна моды (ДПМ).

В работе представлены результаты измерения спекл-картины как традиционных многомодовых и одномодовых ОВ с последующей оценкой ДПМ, так и микроструктурированного ОВ, отрезков с

записанными одиночными прецизионными макроструктурными дефектами и их каскадов заданной конфигурации, и ОВ с предварительно сформированными на их торцах микролинз и фоконов.

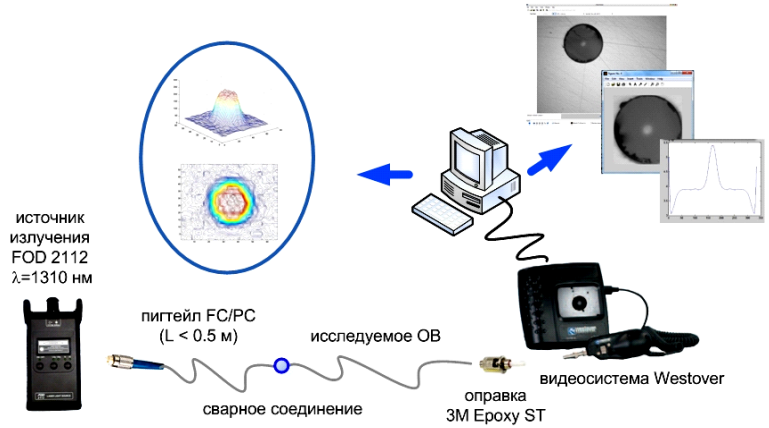


Рисунок. Структурная схема экспериментальной установки

METHOD FOR SPECKLE MEASUREMENT FROM THE TESTED OPTICAL FIBER CORE END BASED ON COMMERCIAL FIELD VIDEO FIBER INSPECTION SYSTEM KIT

Karmolin A.S., Karptsov I.A., Kartashov M.Yu., Miftahova A.A., Sokolov E.D., Bourdine A.V.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

We propose simple method for speckle measurement based on commercial video fiber inspection kit with following image processing. Some results of speckle measurements proceed for conventional multimode fibers as well as microstructure fiber and optical fiber with formed micro-lenses are presented.

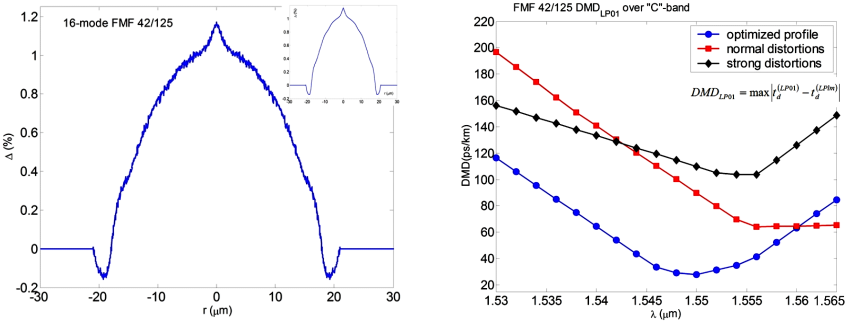
УДК 681.7.068

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ГРАДИЕНТНОГО ПРОФИЛЯ МАЛОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ДЕГРАДАЦИЮ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДОВОЙ ЗАДЕРЖКИ

Бурдин А.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния локальных флуктуаций показателя преломления относительно ранее полученной [1] оптимизированной формы профиля 16-модового оптического волокна (ОВ) 42/125 с уменьшенной дифференциальной модовой задержкой (ДМЗ) в «С»-диапазоне длин волн.



а *б*

Рисунок. 16-модовое ОВ с уменьшенной ДМЗ в «С»-диапазоне длин волн: *а* – оптимизированный градиентный профиль ОВ с наложением сильных локальных флуктуаций показателя преломления; *б* – спектральные кривые ДМЗ в «С»-диапазоне длин волн для оптимизированной и с учетом разной степени проявления искажений формы профиля ОВ

Для этой цели на основании статистического анализа протоколов серии измерений профилей показателя преломления промышленных образцов многомодовых ОВ кат. ОМ2+/ОМ3 было выявлено, что флуктуации показателя преломления хорошо описываются с помощью нормального закона распределения, процесс подбора параметра которого также представлен в данной работе. Результаты расчета кривых спектральных характеристик ДМЗ, построенные в «С»-диапазоне длин волн, для оптимального профиля, профиля с «нормальными» флуктуациями и, соответственно, профиля с «сильным» проявлением локальных биений показателя преломления (рисунок, *а*) приведены на рисунке, *б*. Полученные результаты показали, что даже в условиях аномально «сильных» локальных флуктуаций показателя преломления значение ДМЗ не превышает 200 пс/км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Andreev V.A., Bourdine A.V., Burdin V.A., Evtushenko A.S., Halikov R.H.* Design of low DMD few-mode optical fibers with extremely enlarged core diameter providing nonlinearity suppression for operating over «C»-band central region // Proceedings of SPIE. – Vol. 10342. – 2016. – P. 1034207-1–1034207-8.

RESULTS OF RESEARCH OF GRADED REFRACTIVE INDEX PROFILE LOCAL FLUCTUATIONS INFLUENCE ON DIFFERENTIAL MODE DELAY SPECTRAL CHARACTERICTIC DEGRADATION

Bourdine A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This work is concerned with research of influence of 16-mode optical fiber 42/125 graded refractive index profile local fluctuations corresponding to both real and the «worst case» optical fibers influence on differential mode delay spectral curve degradation in comparison with optimized profile form.

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТКЛИКОВ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК БРЭГГА, ЗАПИСАННЫХ НА МНОГОМОДОВЫХ СВЕТОВОДАХ С НАНЕСЕННЫМИ МАКРОСТРУКТУРНЫМИ ДЕФЕКТАМИ

Евтушенко А.С.[1], Казаков В.С.[1], Минаева А.Ю.[1], Прапорщиков Д.Е[1]., Василец А.А.[2], Андреев В.А.[1], Бурдин В.А.[1], Морозов О.Г.[2], Бурдин А.В.[1]

([1]ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
[2]ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В работе представлены результаты экспериментальные измерений спектрального отклика маломодового оптического сигнала при его распространении в протяженном многомодовом оптическом волокне (ОВ), возбуждаемого когерентным источником оптического излучения, и дополненного отрезком также многомодовых ОВ с записанными волоконными решеткой Брэгга (ВРБ) поверх или в непосредственной близости от предварительно сформированного в структуре этого ОВ прецизионного макродефекта типа «бочка» или «перетяжка». Структурная схема измерительной установки представлена на рисунке.

Ввод сигнала с выхода источника реализуется с помощью одномодового согласующего световода «4», соединяемого со входом многомодового ОВ сенсора «6» с сильным осевым смещением «5», обеспечивающим поступление сигнала с выхода одномодового ОВ порта циркулятора в периферийную зону сердцевины данного многомодового ОВ. Кроме того ВРБ «8» подключается к выходу ОВ «6» также с аналогичным существенным радиальным рассогласованием «7», что в целом обеспечивает возбуждение дополнительного ограниченного числа мод высших порядков.

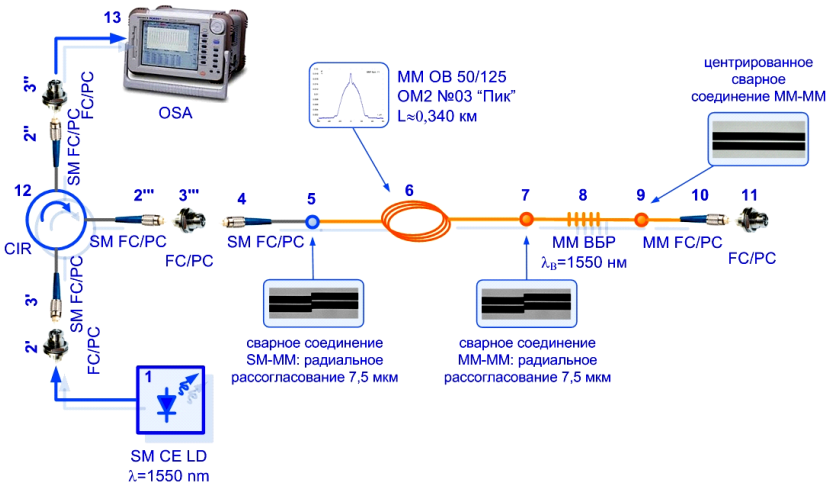


Рисунок. Структурная схема измерения спектрального отклика ВРБ

QUASI-INTERFEROMETRIC SCHEME FOR DETECTION OF OUTER MECHANICAL STRESS BASED ON ANALYSIS OF THE RESPONSE OF A FEW-MODE OPTICAL SIGNAL

Evtushenko A.S.[1], Kazakov V.S.[1], Minaeva A.Yu., Praporshchikiv D.E.[1], Vasilets A.A.[2], Andreev V.A.[1], Burdin V.A.[1], Morozov O.G.[2], Bourdine A.V.[1]

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

We present results of spectral response measurements of fiber Bragg grating written over or near precision microstructure defects «taper» or «up-taper» formed in multimode optical fibers under laser source excitation.

УДК 681.128.56

УПРАВЛЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ СРЕДСТВАМИ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ В ДИАПАЗОНЕ 200 МГЦ

Виноградова И.Л., Султанов А.Х., Воронкова А.В., Мешков И.К., Абдрахманова Г.И., Грахова Е.П., Воронков Г.С.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Работа посвящена экспериментальной апробации метода управления лепестком радиоизлучения в полосе частот »200 МГц с центральной несущей 2,4 ГГц с применением разработанного волоконно-оптического интерференционного устройства.

Получены предварительные результаты экспериментальной апробации метода управления лепестком радиоизлучения в полосе частот ≈200 МГц с центральной несущей 2,4 ГГц с применением разработанного волоконно-оптического интерференционного устройства [1], рисунок.

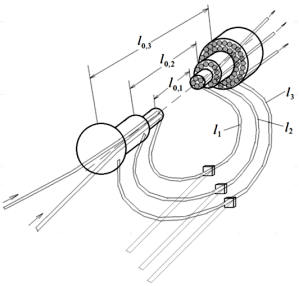


Рисунок. Схема оптоволоконного устройства управления; длины l_1, l_2 и l_3 ответственны за радио-под-диапазоны

Полоса частот радиосигнала была разбита на три под-диапазона приблизительно по 68…70 МГц, что составляло 7…7,2 % от зна-

чения несущей частоты. При моделировании предполагалось, что в каждом под-диапазоне радиоизлучение является квазимонохроматическим, и может управляться выделенной световодной линией задержки. Последняя была реализована одним из дополнительных световодных каналов интерференционного устройства управления, в каждый из которых был встроен пьезоэлектрический элемент (ПЭ) вариации показателя преломления световодов. Элементы ПЭ располагались на отдельной электронной плате и управлялись напряжением, подаваемым от стабилизированного 3-х канального источника напряжения. В каждом из под-диапазонов использовалась выделенная группа радиоизлучения. Установлено, что подобным образом может быть изменено расположение широкополосного радиолепестка; существенного влияния радиоэлементов при этом не выявлено.

Работы выполнены при поддержке Мин. образования и науки РФ в рамках базовой части ГЗ, № 240/8.5623.2017/ВУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройство для разветвления и чирпирования оптических сигналов / А.Х. Султанов, И.Л. Виноградова, И.К. Мешков, А.В. Андрианова, Г.И. Абдрахманова, Е.П. Грахова, А.А. Ишмияров, А.Р. Зайнуллин, Р.Ю. Чириков // Патент РФ на полезную модель № 163995 от 29.07.2016; МПК G02B 6/28.

MANAGEMENT OF BROADBAND RADIO EMISSION BY FIBER OPTICS IN THE 200 MHZ RANGE

Vinogradova I.L., Sultanov A.KH., Voronkova A.V., Meshkov I.K., Abdrakhmanova G.I., Grakhova E.P., Voronkov G.S.

(Ufa State Aviation Technical University)

The work is devoted to the experimental approbation of the control method of the radio-frequency lobe in the frequency band»200 MHz with the central carrier of 2.4 GHz using the developed fiber-optic interference device.

УДК 681.128.56

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕФЕКТОВ-ВКРАПЛЕНИЙ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ СВЧ-РАДИОТЕХНИКИ

Виноградова И.Л., Султанов А.Х., Виноградов С.Л., Воронкова А.В., Янтилина Л.З., Сарваров А., Воронков Г.С., Абдрахманова Г.И., Салихов А.И.

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет)

Работа посвящена построению метода анализа распределенных дефектов стальных трубопроводов высокочастотными радиотехническими и оптическими средствами внутритубной диагностики.

В настоящее время весьма актуальной является внутритрубная диагностика стальных трубопроводов различного диаметра, начиная с ∅ 300 мм. Это обуславливает необходимость разработки компактных и высоко быстродействующих устройств. Предложен метод и устройство диагностики дефекта КРН (коррозийное растрескивание под напряжением), рисунок, основанные на применении сферического радиоизлучающего устройства в широкополосном диапазоне радиоволн, переносимого перекачиваемым продуктом (газом).

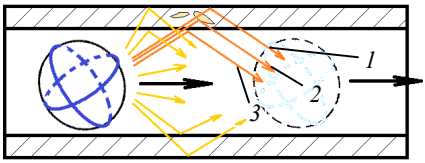


Рисунок. Схема диагностики дефекта КРН (вкрапления в стенке трубы):
1 – радиоволна, отраженная от внешней стенки; *2* – отраженная от дефекта;
3 – отраженная от внутренней стенки

В процессе своего движения устройство также принимает излученные ранее радиоволны, и анализирует задержки сигналов, выз-

ванных отражением от различных точек/областей стенки трубы. По наличию промежуточной отраженной волны и ее задержке можно сделать вывод/оценку о наличии КРН в стенке трубопровода, по ее ослаблению – о возможном характере дефекта на поверхности (внутренней или внешней) трубопровода. Сферические диагностические средства являются перспективными средствами контроля в рассматриваемом приложении [1] и могут успешно применяться не только в нефтегазовой, но и других отраслях промышленности (ЖКХ, атомная промышленность и др.).

Работы выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, заявка №17-48-020104.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Construction of a Geometry Tool for Pipelines 100–300 mm in Diameter Based on a Fiber-Optic Sensor/ Sultanov A.K., Vinogradova I.L., Vinogradov S.L., Yantilina L.Z., Lyubopytov V.S. // Measurement Techniques, 2016. – 58 (10). – P. 1113.

DEVICE FOR ANALYSIS OF DEFECTS-INLETS OF STEEL PIPELINES BY METHOD OF MICROWAVE RADIO ENGINEERING

Vinogradova I.L., Sultanov A.Kh., Vinogradov S.V., Voronkova A.V., Yantilina L.Z., Sarvarov A., Voronkov G.S., Abdrakhmanova G.I., Salikhov A.I.

(Ufa State Aviation Technical University)

The work is devoted to the construction of a method for analyzing the distributed defects of steel pipelines by high-frequency radio engineering and optical means of intra-dental diagnostics.

УДК 621.43

PROSPECTS OF INTRODUCING THE MOBILE AEROACOUSTIC TECHNOLOGIES FOR THE ECOLOGICAL MONITORING OF AVIATION GAS-TURBINE ENGINE

Vinogradov V.Yu., Morozov O.G.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In the article is examined the problem of the introduction of mobile aeroacoustic and aeroopticheskikh technologies with the development of the integrated system of the ecologically safe monitoring of aviation gas-turbine engine.

The modern state of environment requires from modern everybody of careful to her relation, because the increase of production capacities in a country will result in the sharp increase of harmful extras of different character, that negatively and in the flow of great while operate on a man. It is the main task of maintenance of life, and health of population, if we are the developed country. For these purposes it is necessary to create independent ecological posts which would assume functions of control of the OS parameters and in parallel with ecological support of projects in everyone the separate considered case of control of ecological safety of the air enterprise the letting-out production from reliability and environmental friendliness at each enterprise life and health of the transported citizens depends. Application of mobile and stationary posts of the fiber-optical complexes would allow to control in real time a complex of various aero acoustic and gas dynamic parameters on character and possibility of their use both for diagnostics of aviation GTD , and for environmental monitoring of GTD. The authors approached into the dense the solution of the problem of introducing the new aeroacoustic technologies in the complex both into the transport system and over the long term into the aviation enterprises, or v to any specific object to which it is possible to select the complex of

the measured parameters which they will control, monitor it, diagnose, also, as far as possible to introduce correctives and to issue recommendation.

The measurement of gas flows plays very important role in machine building, monitoring of environment, control of industrial processes,, biotechnology, and also in chemistry and medicine. Sounding flows with the aid of the technology, utilized in the micro-electromechanical system (MEMS) it has many advantages in comparison with their traditionally utilized large-scale analogs, such as anemometers, turbine, Pitot tube [1].

The optical method showed the efficiency. A fiber Bragg lattice (VBR) it promises device for multimetering deformation, stress, and it is also applicable for the detection of acoustic flaws.

Sound pressure is measured as modulation of the central wavelength of VBR . Distributions of pressure and speed on the consoles received as a result of action of a stream in the channel paid off by method of final elements. In this case background noise is intercepted and more accurately are determined nonuniformities in the noise structure of the jet stream in the nozzle edge, than with the use of microphones [2,3,4].

Development of methods and facilities of aerooptical diagnostics as independent direction for the ecological monitoring, on the basis of application of the single field of of fiber-optic sensors allowing to execute control of parameters on optimal algorithms will promote informing of the measured fields of different ecological and special parameters.

REFERENCES

1. *Morozov O.G.* Unified field of interconnected sensors in control systems security settings of high-speed vehicles//Bulletin of KSTU, 1997. – № 4. – C. 27–31.

2. *Vinogradov V.Yu*. Morozov O.G. Patent for utility model. Russia, 2013. – № 126454.

3. *Vinogradov V.Y*. Diagnostics of technical condition of gas turbine engines by acoustic and gas dynamic parameters – Kazan: Izd. Cauldron. State. Tech. University press, 2004. – 176 p.

4. Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010 23-27 August 2010, Sydney, Australia Optical Fibre Bragg Gratings for Acoustic Sensors Graham Wild and Steven Hinckley.

УДК 535.42

ANALYSIS OF DIELECTRIC CIRCULAR CYLINDER LIGHT SPOT NARROWING BY WHISPERING GALLERY MODES AND INFLUENCE OF MATERIAL ABSORPTION

Kozlov D.A., Kozlova E.S., Kotlyar V.V.

(Image Processing Systems Institute – Branch of the Federal Scientific Research Centre «Crystallography and Photonics» of the Russian Academy of Sciences, Samara National Research University)

We present an analysis of the influence of whispering gallery modes on the sub wavelength focusing by a dielectric cylinder using an analytical solution to the diffraction problem on a cylinder, as well as influence of material absorption on the mentioned phenomenon. The results show that the light spot formed by a dielectric cylinder can be narrowed to a focal spot with the width of 0,155 of the wavelength (fig. 1). Taking into account the material absorption leads to a substantial weakening of the whispering gallery modes and their influence on the light focusing.

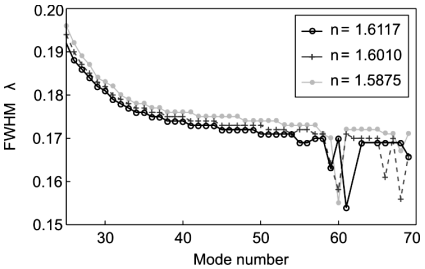


Fig. 1. Dependence of the transverse FWHM of focal spot on the excited in the cylinder mode number

The figure 1 shows that the minimal size of the focal spot $(0{,}155 \pm 0{,}001)$ λ can be achieved while focusing the 60-th resonant mode ($n = 1{,}5875$) by the cylinder with radius of $R = 6{,}63186178877\,\lambda$ $\left(\Delta R = 4{,}0 \cdot 10^{-10}\lambda\right)$. This

result exceeds previously presented minimum of 0,22 λ [1] for an ideal non-absorbing material.

Our solution also supports absorption, and materials with absorption were analyzed in the context of light focusing capabilities. Papers on optical properties of polyester suggest absorption approx. $1{,}0 \cdot 10^{-3} - 2{,}5 \cdot 10^{-3}$, however, doped materials possibly reduce absorption to $2{,}73 \cdot 10^{-7}$ [2]. Figure 2 shows the value of FWHM (transverse dimension of a focal spot) calculated for various modes. It can be seen from figure 2 that increasing of absorption leads to substantial decreasing of FWHM of focal spot at the cylinder boundary for numbers of the modes larger than 40.

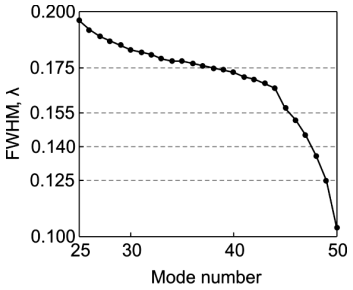


Fig. 2. The value of FWHM as function of generated mode number for $k = 2{,}73 \cdot 10^{-7}$

REFERENCES

1. *Kozlov D.A., Kotlyar V.V.* Resonant laser focus light by uniformity dielectric microcylinder // Computer Optics, 2014. – 38 (3).

2. *Kanuchova, Z., Baratta, G.A., Gorozzo, M., Strazzulla, G.* Space weathering of asteroidal surfaces. Influence on the UV-Vis spectra // Astronomy & Astrophysics, 2010. – 517 (A60).

УДК 621.383

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНЫХ ВОЛОКОННЫХ СТРУКТУР ПРИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ

Сахабутдинов А.Ж., Морозов О.Г., Нуреев И.И.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

С подобными задачами мы столкнулись при анализе контура ВРМБ и волоконных брэгговских решеток (ВБР) симметричными двухчастотными излучениями, расположенными внутри их контуров. При этом использовался узкополосный анализ по амплитуде или фазе огибающей биений его составляющих на разностной частоте зондирующего излучения. Основную долю погрешности при этом составляла погрешность от не до конца подавленной составляющей исходного одночастотного излучения, из которого получено симметричное двухчастотное [1-3].

Таким образом, задача полигармонического зондирования контура ВРМБ является не двух-, а трехчастотной, в которой необходимо учесть влияние третьей, «паразитной» составляющей, которой является не до конца подавленная боковая частота или несущая. Решение указанной частной задачи позволит модернизировать и совершенствовать метрологические характеристики радиофотонных систем анализа лоренцевских контуров ВРМБ и гауссовых контуров ВБР.

Такое уточнение типа контуров абсолютно необходимо, потому что представленные в докладе аналитические выкладки работают только при известной форме контура. Преобразуем указанную выше задачу в более общую – задачу трехчастотного зондирования контуров ВРМБ и ВРБ. Из ранее опубликованных нами работ [3] известно, что двухчастотные методы лишь при определенных условиях позволяют получить информацию о направлении сдвига центральной час-

тоты. Для устранения неопределенности должны использоваться зондирующие сигналы с большим числом составляющих.

Решая систему нелинейных уравнений, зная форму контура – его АЧХ и ФЧХ, можно раздельно определить амплитуды $A1$, $A2$, $A3$, частотный сдвиг контура от его центральной частоты, долю погрешности, вносимую в результат измерений от боковой составляющей и несущей зондирующего излучения, не до конца подавленных в процессе получения двухчастотного симметричного или однополосного зондирующего излучения.

Работа выполнена при поддержке МОН РФ в рамках государственного задания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2017-2019 годы (программа «Асимметрия», задание 8.6872.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Морозов О.Г. и др*. Измерение мгновенной частоты с помощью двухчастотного зондирования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. – № 4. – С. 146–149.

2. *Морозов О.Г. и др*. Определение характеристик спектра усиления Мандельштама – Бриллюэна с помощью двухчастотного зондирующего излучения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2012. – Т. 15. – № 3. – С. 95–100.

3. *Сахабутдинов А.Ж. и др.* Процедура решения задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры // Нелинейный мир. – 2015. – Т. 13. – № 8. – С. 32–38.

ANALYSIS OF RESONANT FIBER STRUCTURES CHARACTERISTICS MEASUREMENT ERRORS WITH POLYGARMONIC SENSING

Sakhabutdinov A.Zh., Morozov OG, Nureev I.I.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The problem of polyharmonic probing of the SMBS contour is not two, but three-frequency, in which it is necessary to take into account

the influence of the third, «parasitic» component, which is not completely suppressed lateral frequency or carrier. The solution of this particular problem will make it possible to modernize and improve the metrological characteristics of the radiophotonic analysis systems of the Lorentzian SMBS contours and the Gaussian contours of the FBG.

УДК 621.383

КАТЕТЕР ДЛЯ МАНОМЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОТИПНЫХ ВОЛОКОННЫХ РЕШЕТОК БРЭГГА С ДВУМЯ РАЗНЫМИ ФАЗОВЫМ π-СДВИГАМИ

Пуртов В.В., Нуреев И.И., Аглиуллин А.Ф., Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Артемьев В.И.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Использование катетеров с встроенными в них волоконно-оптическими датчиками (ВОД), состоящими из одной или нескольких волоконных брэгговских решеток (ВБР), активно входит в практику манометрии высокого разрешения (МВР) с [1].

Минимизация количества типов ВБР, задействованных для обслуживания физического уровня измерений [2-4], является одной из важных задач при проектировании катетера. Для минимизации могут быть использованы структуры, содержащие однотипные датчики. Двухчастотное зондирующее излучение используется последнее время для этих целей. В каждом канале может быть установлено до 5-15 однотипных ВБР. Дальнейшее удешевление системы возможно при отказе от использования двухчастотного зондирующего излучения, полученного с помощью электрооптического модулятора, а его формирования из излучения широкополосного источника непосредственно внутри ВБР путем использования двух симметричных фазовых π-сдвигов, что рассматривается в настоящем докладе.

На рисунке представлены спектральные характеристики ВБР с двойным симметричным фазовым сдвигом. Дискриминирующими параметром может являться ширина волнового разноса $\Delta\lambda$ [5].

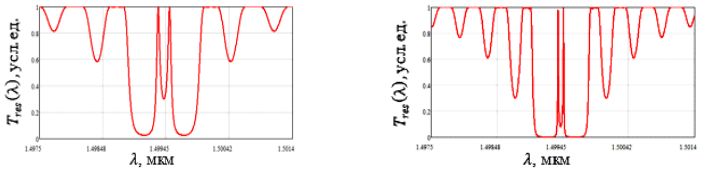


Рисунок. ВБР с двумя фазовыми π-сдвигами (разные $\Delta\lambda$)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пуртов В.В. и др.* Катетер для манометрии высокого разрешения на основе однотипных волоконных решеток Брэгга // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 4. – С. 92–95.

2. *Куревин В.В. и др.* Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга // Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – Т. 7. – № 3. – С. 46–52.

3. *Куприянов В.Г. и др*. Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 4-4. – С. 1087–1091.

4. *Садыков И.Р. и др*. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // Труды МАИ. – 2012. – № 61. – С. 18.

5. *Мисбахов Р.Ш*. Волоконные брэгговские решетки с двумя фазовыми сдвигами как чувствительный элемент и инструмент мультиплексирования сенсорных сетей / Мисбахов Р.Ш., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др. // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/ n3y2017/4343/.

CATHETER FOR HIGH-RESOLUTION MANOMETRY BASED ON ONE TYPE FIBER BRAGG GRATINGS WITH DIFFERENT TWO PHASE π-SHIFTS

Purtov V.V., Nureyev I.I., Agliullin A.F., Sarvarova L.M., Tyazhelova A.A., Artemiev V.I.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Further reduction in the cost of the catheter for high-resolution manometry is possible if the use of two-frequency probing radiation obtained with the help of an electro-optical modulator is refused, and its formation from the radiation of a broadband source directly inside the FBG is realized by using two symmetric phase-shifts, as discussed in this report .

УДК 621.383

РАЗВИТИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Сахбиев Т.Р., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж., Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Артемьев В.И.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Во время роста тонких оптических пленок изменение коэффициента пропускания или отражательная способность на выбранной длине волны измеряются с высокой точностью. Условие отсечки слоя связано с точками поворота и поэтому связано с оптической толщиной. Вариации коэффициента преломления компенсируются, что делает этот метод мониторинга очень надёжным в производственной среде. Для многослойных систем ошибки, сделанные во время осаждения слоя, компенсируются в последующих слоях. Однако в некоторых случаях может происходить накопление ошибок.

Рассмотрение современного состояния работ по созданию полигармонических методов зондирования ВБР (которые можно выбрать за аналог тонкопленочного многослойного фильтра), обеспечивающих низкую стоимость и простоту реализации интеррогации и мультиплексирования решеток при прецизионных измерениях их спектральных характеристик, показало, что малое количество публикаций, в которых решены лишь частные вопросы, посвященные данной тематике, не позволяет обоснованно подойти к выбору путей улучшения основных характеристик систем мониторинга. Среди указанных выше методов особо следует выделить методы двухчастотного симметричного зондирования ВБР с дифференциальной обработкой и обработкой по огибающей [1-5].

При этом следует учесть особенности взаимодействия двухчастотного излучения с контуром пленки, с одной стороны квазигармонический характер двухчастотного сигнала, с другой векторный характер его огибающей при изменении соотношения амплитуд его составляющих на выходе. В докладе рассмотрены трех и пятичастотные методы, позволяющие устранить некоторую неоднозначность измерений, возникающую при использовании двухчастотных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Морозов О.Г., Ильин Г.И.* Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2014. – № 1 (20). – С. 6–42.

2. *Куприянов В.Г. и др.* Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 4. – С. 200–204.

3. *Морозов О.Г. и др*. Синтез двухчастотного излучения и его применение в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. – Т. 13. – № 3. – С. 84–91.

4. *Морозов О.Г.* Амплитудно-фазовое преобразование частоты в системах временной и частотной рефлектометрии волоконно-оптических информационных и измерительных сетей // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2004. – Т. 7. – № 1. – С. 63–67.

5. *Морозов О.Г. и др*. Амплитудно-фазовые методы формирования зондирующих излучений для систем анализа волоконно-оптических структур // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2007. – Т. 10. – № 3. – С. 119–124.

DEVELOPMENT OF MONOCHROMATIC METHODS FOR OPTICAL COATINGS MONITORING

Sakhbiev T.R., Nureev I.I., Sakhabutdinov A.Zh., Sarvarova L.M., Tyazhelova A.A., Artemiev V.I.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

During the growth of thin optical films, the change in transmittance or reflectivity at a selected wavelength is measured with high accuracy. The report considers three and five-frequency methods for optical coatings monitoring methods, which allow to eliminate some ambiguity of the measurements arising when using two-frequency methods.

УДК 621.383

РАДИОФОТОННЫЕ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЕ МНОГОСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Нуреев И.И., Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В решении ряда важнейших социальных и научно-технических проблем мирового развития радиофотоника играет одну из главных ролей [1, 2]. Эффективность радиофотонных методов определяется, с одной стороны, широкой полосой, высокой скоростью, эффективностью и помехозащищенностью обработки радиочастотных сигналов в оптическом диапазоне, а с другой – возможностью линейного или нелинейного преобразования комплексного спектра изменяющихся параметров оптического поля в радиочастотное электрическое. Наглядным примером радиофотонных систем первого класса являются телекоммуникационные волоконно-оптические системы, системы «радио-по-волокну» и др., в которых на оптической несущей передаются, обрабатываются и принимаются цифровые и аналоговые информационные сигналы в полосе частот 10, 40, а теперь уже и 100 ГГц.

К радиофотонным системам второго класса следует отнести волоконно-оптические информационно-измерительные системы: векторные и скалярные анализаторы оптических сетей, бриллюэновские рефлектометры, СВЧ-спектрометры и т.д.

Ключевым элементом систем радиофотоники, определяющим качественно их преимущества, а количественно метрологические характеристики, является подсистема формирования модулированного лазерного излучения, обеспечивающая как перенос радиосигнала в оптический диапазон (например, с целью передачи информации в телекоммуникационных системах), так и формирование полигармонического оптического сигнала с разностными частотами, лежащими в радиодиапазоне(например, для генерации зондирующих излучений в информационно-измерительных системах) [3, 4]. При этом, как

правило, используются не дорогостоящие и сложные широкополосные или сканирующие в широком диапазоне лазеры либо отдельный набор лазеров, а более простые и дешевые одномодовые лазеры с внутренней модуляцией или синхронизацией мод либо одночастотные лазеры с внешней модуляцией на основе электрооптических модуляторов с рабочим диапазоном частот до 100 ГГц амплитудного, фазового, амплитудно-фазового и поляризационного типов.

С развитием телекоммуникационных и информационно-измерительных систем неразрывно связаны развитие техники сенсорных волоконно-оптических систем и применение в них волоконно-оптических датчиков (ВОД), строящихся на базе волоконных брэгговских решеток и структур (ВБС), в частности гауссовских и чирпированных ВБР, ВБР с фазовым р-сдвигом, структур типа интерферометр Фабри–Перо (ИФП) на базе двух ВБР и т.д. ВБР, в свою очередь, является ключевым элементом указанных выше систем.

Однако радиофотонные методы интеррогации данного типа ВОД не нашли широкого применения в сенсорных системах, что объясняется устоявшимся в них подходом к использованию полностью оптических спектральных технологий опроса датчиков с широкополосными лазерами и высокой стоимостью создания и использования известного сканирующего радиофотонного измерительного оборудования [5].

В трех частях доклада предпринята попытка раскрыть основные проблемы области развития радиофотонных полигармонических систем интеррогации комплексированных ВОД, построенных на основе ВБР, и найти их общее или частные решения [6-19].

В первой части рассмотрены проблемы современных волоконно-оптических сенсорных сетей, ограничения систем интеррогации ВБР, обоснованы преимущества их построения на основе радиофотонных и полигармонических методов зондирования.

Во второй части будут развиты положения единого поля комплексированных ВОД с включением в него однотипных ВБР, объединенных в группу, определены требования к системам интеррогации последних, представлены принципы синтеза одиночных ВБР со специальной формой спектра для линеаризации характеристик измери-

тельного преобразования, а также будут приведены основные принципы их калибровки в случае комплексированных измерений.

В третьей части будут определены требования к построению нового класса радиофотонных систем – полигармонических систем интеррогации комплексированных ВОД, описаны преимущества их использования в системах охраны периметра, систем климатических испытаний, мониторинга пассивных оптических сетей связи, контроля параметров электрических двигателей и машин, а также в приложениях для смежных областей науки и техники (например, аналитической спектрометрии газов, лидарных измерениях и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Capmany J.* Microwave photonic signal processing // Journal ofLightwave Technologies. – 2013. – Vol. 31. – № 4. – P. 571–586.

2. *Minasian R.A., Chan E.H.W., Yi X.* Microwave photonic signal processing // Optics Express. – 2013. – Vol. 21. – № 19. – P. 22918–22936.

3. *Морозов О.Г., Ильин Г.И.* Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2014. – № 1 (20). – С. 6–42.

4. *Morozov O.G., Il'in G.I., Morozov G.A. et al.* External amplitude-phase modulation of laser radiation for generation of microwave frequency carriers and optical poly-harmonic signals: an overview // Proc. SPIE. – 2016. – Vol. 9807. – P. 980711.

5. *Yao J.P.* Microwave photonics for high-resolution and high-speed interrogation of fiber Bragg grating sensors // Fiber and Integrated Optics. – 2015. – Vol. 34. – P. 230–242.

6. *Куприянов В.Г., Морозов О.Г., Садыков И.Р. и др.* Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13. – № 4-4. – С. 1087–1091.

7. *Алюшина С.Г., Денисенко П.Е., Морозов О.Г. и др.* Волоконные решетки Брэгга с фазированной структурой в распределен-

ных информационно-измерительных системах // Нелинейный мир. – 2011. – Т. 9. – № 8. – С. 522–528.

8. *Куревин В.В., Морозов О.Г., Просвирин В.П. и др.* Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга // Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – Т. 7. – № 3. – С. 46–52.

9. *Сарварова Л.М., Колесников В.Ю., Куликов В.А. и др*. Комплексный подход к решению задач сетевого мониторинга бортовых систем и устройств электроснабжения транспортных средств на основе волоконно-оптических технологий [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. URL: scienceeducation.ru/120-16540 (дата обращения: 24.09.2017).

10. *Морозов О.Г., Кузнецов А.А., Нуреев И.И. и др*. Щетка как интеллектуальный узел электродвигателя [Электронный ресурс] //Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3525 (дата обращения: 24.07.2017).

11. *Морозов О.Г., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж. и др.* Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2013. – № 2 (18). – С. 73–79.

12. *Куприянов В.Г., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др.* Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 4. – С. 200–204.

13. *Нуреев И.И*. Постановка задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры // Нелинейный мир. – 2015. – Т. 13. – № 8. – С. 26–31.

14. *Сахабутдинов А.Ж., Салахов Д.Ф., Нуреев И.И. и др*. Процедура решения задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры // Нелинейный мир. – 2015. – Т. 13. – № 8. – С. 32–38.

15. *Нуреев И.И*. Радиофотонные амплитудно-фазовые методы интеррогации комплексированных датчиков на основе волоконных решеток Брэгга [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона.

– 2016. – № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3581 (дата обращения: 24.02.2017).

16. *Морозов О.Г., Нуреев И.И., Алюшина С.Г.* Полигармонические методы определения температуры на абонентских узлах пассивных оптических сетей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – Т. 1. – № 2. – С. 77–81.

17. *Казаров В.А., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др.* Комплексированный волоконно-оптический датчик контроля рабочих характеристик аккумулятора // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 62–64.

18. *Нуреев И.И.* Сенсорные пассивные оптические сети и ключевые вопросы применения в них волоконных брэгговских решеток [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3605 (дата обращения: 24.02.2017).

19. *Сахабутдинов А.Ж., Нуреев И.И., Морозов О.Г.* Уточнение положения центральной длины волны ВБР в условиях плохого соотношения сигнал – шум // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Т. 18. – № 3-2. – С. 98–102.

RADIOPHOTONIC POLYGAROMONIC MULTI-SENSOR SYSTEMS

Nureyev I.I., Morozov O.G., Sakhabutdinov A.Zh.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In the report, an attempt was made to reveal the main problems in the field of the development of radio-photonic polyharmonic systems for the interrogation of complex fiber optic sensors built on the basis of FBG and to find their general or particular solutions.

УДК 621.372

ОПТОВОЛОКНО КАК ЛИНЕЙНАЯ ОДНОМЕРНАЯ СИСТЕМА С ЧАСТОТНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ

Иванов В.А.[1], Иванов Д.В.[1], Рябова Н.В.[1], Рябова М.И.[2], Чернов А.А.[1], Овчинников В.В.[1]

([1] ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет,
[2] ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

Оптоволокно, как среду распространения оптических импульсов можно представить в виде линейной одномерной системы (ЛОС), задав ее частотную (ЧХ) $H(\omega)$ и импульсную (ИХ) $h(\tau)$ характеристики, связанные прямым и обратным преобразованием Фурье:

$$H(\omega) = H_0(\omega)\exp\left[-j\varphi(\omega)\right],\ h(\tau) = F\left[H(\omega)\right].$$

Пусть ИХ чирпирована и задана $|\tau| \le \frac{T}{2}$. Тогда

$$h(\tau) = h_0 \exp\left[j\tfrac{\dot{\omega}}{2}\tau^2 \right].$$

При $\dot{\omega}T^2 >> 1$ для ЧХ можно получить формулу:

$$H(\omega) \approx h_0\sqrt{\frac{2\pi}{\dot{\omega}}}\exp\left[-j\frac{1}{2}\frac{1}{\dot{\omega}}\omega^2\right]\cdot\exp j\frac{\pi}{4}$$
$$\text{при } |\omega| \le \frac{\dot{\omega}T}{2} = \frac{\Omega_{ch}}{2}. \qquad (1)$$

Обратная задача имеет место, задана ЧХ на полосе частот Ω_{ch} со средней частотой $\overline{\omega}$. Пусть ее можно записать в виде:

$$H_0(\omega) \approx H_0(\overline{\omega}),$$
$$\varphi(\overline{\omega}+\Omega) \approx \varphi(\overline{\omega}) + \varphi'(\overline{\omega})\cdot\Omega + \frac{1}{2}\varphi''(\overline{\omega})\cdot\Omega^2. \qquad (2)$$

ДХ ЛОС:

$$\tau_g(\bar{\omega}+\Omega)=\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}=\tau_g(\bar{\omega})+\varphi''(\bar{\omega})\cdot\Omega=$$
$$=\tau_g(\bar{\omega})+\tau'_{\omega}(\bar{\omega})\cdot\Omega. \qquad (3)$$

Для ЧХ на интервале Ω_{ch} будем иметь

$$H(\bar{\omega}+\Omega)\approx H_0\exp\left[-j\frac{\varphi''(\bar{\omega})}{2}\Omega^2\right] \text{ при } |\omega|\le\frac{\Omega_{ch}}{2}. \qquad (4)$$

Тогда для ИХ при $\Omega_{ch}T_{ef}>>1$ получим:

$$h(\tau)\approx\frac{H_0}{\sqrt{2\pi\varphi''(\bar{\omega})}}\exp\left[-j\frac{1}{2\varphi''(\bar{\omega})}\tau^2\right]\exp\left[-j\frac{\pi}{4}\right] \text{ при } |\tau|\le\frac{T_{ef}}{2}. \qquad (5)$$

Таким образом, ИХ имеет чирпирование со скоростью $\dot{\omega}=1/\varphi''(\bar{\omega})$ и длительность $T_{ef}=\varphi''(\bar{\omega})\cdot\Omega_{ch}=\tau'_{\omega}(\bar{\omega})\cdot\Omega_{ch}$. Ее амплитуда равна $h_0=H_0/\sqrt{2\pi\varphi''(\bar{\omega})}=H_0/\sqrt{2\pi\tau'_{\omega}(\bar{\omega})}$. Поскольку величина $\tau'_{\omega}(\bar{\omega})$ является угловым коэффициентом ДХ, то равенства $T_{ef}=\tau'_{\omega}(\bar{\omega})\cdot\Omega_{ch}$ и $h_0=H_0/\sqrt{2\pi\tau'_{\omega}(\bar{\omega})}$ являются результатом отображения ЧХ на ИХ. Используя этот результат, в работе исследованы эффекты дисперсии третьего порядка при кусочно-линейной аппроксимации ДХ.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 16-07-00210; № 17-07-01590; гранта министерства образования и науки РФ: № 3.4074.2017/ПЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ryabova M.I.* A compression of light pulse in an optical fiber / M.I. Ryabova, V.A. Ivanov, D.V. Ivanov, N.V. Ryabova, A.A. Chernov // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 14. – 2014. – С. 953305.

OPTICAL FIBER AS A LINEAR ONE-DIMENSIONAL SYSTEM WITH FREQUENCY DISPERSION

Ivanov V.A.[1], Ivanov D.V.[1], Ryabova N.V.[1], Ryabova M.I.[2], Chernov A.A.[1], Ovchinnikov V.V.[1]

([1]Volga State University of Technology,
[2]Moscow State Technical University named after Bauman)

Fundamental results were obtained for the effects of second-order phase dispersion in terms of transform the frequency response in the impulse response based on the linear model of dispersion characteristic (DC), which allows to analyze the effects of third-order dispersion using piecewise linear approximation of DC.

УДК 621.372

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ИСКАЖЕНИЯ СИГНАЛОВ ЭФФЕКТА ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ДИСПЕРСИИ

Иванов В.А.[1], Иванов Д.В.[1], Рябова Н.В.[1], Рябова М.И.[2], Чернов А.А.[1], Иванова Н.В.[1]

([1] ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет, [2] ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

В среде могут возбуждаться две моды с противоположной круговой поляризацией и малыми задержками. В этом случае импульсы мод не разрешаются и интерферируют между собой. Для исследований поляризационной интерференции можно использовать гибридный подход, когда распространение в среде заменяется прохождением сигнала в некоторой линейной системе. Характеристики такой системы могут быть получены на основе решения соответствующих физических задач или измерены в эксперименте. В настоящей работе рассмотрены подходы и результаты исследования влияния на искажения эффекта поляризационной интерференции при условии частотной дисперсии фазы второго прядка. Анализировалось влияние этого эффекта на детерминированный сомножитель импульсной характеристики $h(\tau)$ путем оценки поляризационной полосы когерентности линейной системы с ограниченной полосой пропускания.

Поляризационная интерференция описывалась дисперсионными характеристиками (ДХ) двух мод. Рассматривался случай их пересечения. В окрестности точки пересечения ДХ круговых мод мы представили в линейном виде с разными угловыми коэффициентами в виде $\tau_{1,2} = \overline{\tau}_{1,2} \pm \left|\overline{s}_{1,2}\right| F$, где $\overline{s}_{1,2}$ – наклон частотной зависимости задержки в точке $f = \overline{f}$, $\overline{\tau}_{1,2}$ – групповое запаздывание в этой точке.

Выражение $\tau_{1,2}(f) = d\varphi_{1,2}/d\omega = d\varphi_{1,2}/2\pi df$ представляет собой дифференциальное уравнение для фазы. В точке пересечения двух компонент $\overline{\tau}_1 = \overline{\tau}_2$ решение уравнения преобразуется к виду $\tilde{B}_k = \sqrt{1/\left(2\left(|s_1| + |s_2|\right)\right)}$.

Таким образом, поляризационная полоса когерентности для пересекающихся ДХ вдвое превышает эту полосу когерентности в случае параллельных ДХ.

Этот результат позволяет сформулировать методику оценки поляризационной полосы когерентности на случай пересекающихся ДХ. Она будет заключаться в том, что:

1) на краях полосы пропускания определяется задержка между круговыми компонентами;

2) по этой задержке находится полоса когерентности для случая параллельных зависимостей, затем она удваивается.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 17-07-00799; № 16-37-60068; гранта министерства образования и науки РФ: № 8.2817.2017/ПЧ.

RESEARCH OF INFLUENCE ON THE DISTORTION OF SIGNALS OF THE EFFECT OF POLARIZATION DISPERSION

Ivanov V.A.[1], Ivanov D.V.[1], Ryabova N.V.[1], Ryabova M.I.[2], Chernov A.A.[1], Ivanova N.V.[1]

([1]Volga State University of Technology, [2]Moscow State Technical University named after Bauman)

Studies of the polarization coherence band for the cases of intersecting and non-suppressing magnetoionic components are carried out.

УДК 681.785.6

ЭФФЕКТ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В ВБР

Фасхутдинов Л.М., Нуреев И.И., Морозов О.Г., Кузнецов А.А., Василец А.А., Фархутдинов Р.В., Мансуров А.В.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В процессе записи ВБР, воздействию ультрафиолетового пучка подвергается, как правило, только одна сторона волокна. В результате, наведенное изменение показателя преломления в сердцевине оказывается неоднородным – плавно уменьшается по мере удаления от ультрафиолетового пучка. Эта неоднородность приводит к появления в Брэгговской решетке фотоиндуцированного двулучепреломления.

Эффективные показатели преломления при этом описываются соотношениями:

$$n_{eff,x} = n_{eff} + \frac{\Delta n}{2}, \tag{1}$$

$$n_{eff,y} = n_{eff} - \frac{\Delta n}{2}, \tag{2}$$

где Δn – показатель двулучепреломления.

Зависимость длины волны от величины двулучепреломления можно выразить соотношением:

$$\lambda_{x(y)} = 2\left(n_{eff,x(y)} + \delta n\right)\Lambda, \tag{3}$$

где Λ – период ВБР; n_{eff} – эффективный показатель преломления волокна; δn – коэффициент модуляции сердцевины.

У данного эффекта есть еще две особенности: фотоиндуцированное двулучепреломление приводит к возникновению поляризационных потерь (PDL) и дифференциальной групповой задержки (DGD).

В прямоугольной системе координат, при условии, что ее оси совпадают с осями основных мод ВБР, вектор Джонса (J) записывается в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} E_{t,x} \\ E_{t,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x & 0 \\ 0 & t_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{i,x} \\ E_{i,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x E_{i,x} \\ t_y E_{i,y} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $t_{x(y)}$ – коэффициент передачи ВБР для осей $x(y)$, соответственно; $\left(E_{i,x} E_{i,y}\right)$ – вектор Джонса для входного сигнала:

$$\begin{pmatrix} E_{i,x} \\ E_{i,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_x e^{j\xi_x} \\ M_y e^{j\xi_y} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

В выражении (5) $M_{x(y)}$ и $\xi_{x(y)}$ – амплитуда и фаза входного сигнала, соответственно. $t_{x(y)}$ находится из теории связных мод:

$$t_{x(y)} = \frac{j\alpha_{x(y)}}{\sigma_{x(y)} \sin\left(\alpha_{x(y)} L\right) + j\alpha_{x(y)} \cosh\left(\alpha_{x(y)} L\right)}, \quad (6)$$

Вызванное двулучепреломлением PDL описывается следующим соотношением:

$$PDL(\lambda) = 10 \cdot \lg\left(\frac{T_{\max}(\lambda)}{T_{\min}(\lambda)}\right), \quad (7)$$

где $T_{\max}$ и $T_{\min}$ – максимальная и минимальная переданная мощность.

DGD описывается следующим соотношением:

$$DGD(\lambda) = \left|\tau_x(\lambda) - \tau_y(\lambda)\right|, \quad (8)$$

где $\tau_{x(y)}$ – производное от фазы $t_{x(y)}$.

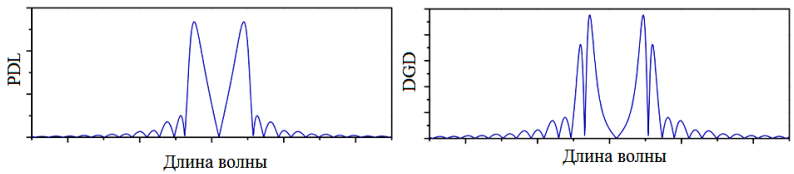


Рисунок. Зависимость PDL и DGD от длины волны ВБР

EFFECT OF BIREFRINGENCE ON THE FBG

Faskhutdinov L.M., Nureev I.I., Morozov O.G., Kuznetsov A.A., Vasilets A.A., Farhutdinov R.V., Mansurov A.V.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In this paper, we give the equations that allow us to estimate the influence of the birefringence induced by ultraviolet on the characteristics of FBG.

УДК 681.785.6

МОДУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Фасхутдинов Л.М., Нуреев И.И., Морозов О.Г., Кузнецов А.А., Василец А.А., Фархутдинов Р.В., Мансуров А.В.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Рассмотрим метод измерения оптической поляризации с использованием модуляционного преобразования. Данный метод основан на сравнении фазы модулирующего радиочастотного сигнала и выходного, после электрооптического преобразования, информационного сигнала. Схема представлена на рисунке.

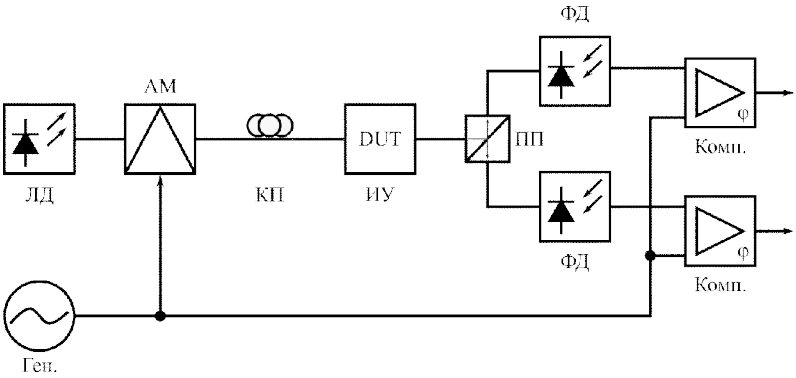


Рисунок. Схема измерения ПМД с помощью сравнения фазы модулирующего и информационного сигналов

В устройстве используется перестраиваемый источник излучения ЛД. Модулирующий сигнал с генератора (Ген.) подается на электрооптический амплитудный модулятор и компаратор (Комп.), в котором производится сравнение фазы и амплитуды модулирующего и информационного сигналов по каждой из поляризаций.

Амплитудный модулятор работает в режиме с подавлением несущей, обеспечивая на выходе две спектральные составляющие с разносом по длине волны равным:

$$\Delta\lambda = 2 \cdot \frac{\lambda_0^2 \cdot f_m}{c}. \quad (1)$$

Частотный разнос боковых составляющих влияет на разрешающую способность устройства. Диапазон измерения DGD можно приближенно оценить:

$$\Delta\tau = \frac{\phi \cdot 10^3}{360 \cdot f_m}, \quad (2)$$

где ϕ – разрешающая способность фазового компаратора.

Непосредственно групповая задержка в общем случае оценивается схожей формулой:

$$\tau = \frac{\Delta\varphi}{360 \cdot f_m}, \quad (3)$$

где $\Delta\varphi$ – разность фаз на компараторе.

Для более точной оценки применяется множество разнообразных техник: вводится сканирование по длине волны источника излучения; поляризационное сканирование изменением угла контроллера поляризации; сканирование изменением радиочастоты и, как следствие, разноса боковых составляющих; сканирование смещением фазы модулирующего сигнала.

POLARIZATION MEASUREMENT METHOD BASED ON MODULATION OF OPTICAL CARRIER

Faskhutdinov L.M., Nureev I.I., Morozov O.G., Kuznetsov A.A., Vasilets A.A., Farhutdinov R.V., Mansurov A.V.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In this report, a method for measuring polarization in an optical fiber using modulation with carrier suppression is considered.

СЕКЦИЯ 3

ОБРАБОТКА ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

УДК 621.396.677; 621.397.671

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ТОКОВ, ВОЗБУЖДАЮЩИХ СТОХАСТИЧЕСКИЙ АПЕРТУРНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ

Маслов О.Н., Шаталов И.С.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Относительно простые по конструкции апертурные случайные антенны (АСА) с большим трудом поддаются моделированию методами и средствами статистической теории антенн (СТА) [1-2]. Причинами этого являются, во-первых, сложность структурирования и формализации возникающих электродинамических и математических задач. Во-вторых, неоднозначность онтологической модели ситуации (ОМС), которая возникает ввиду неопределенности (неточности, неадекватности, недостоверности) знаний (аксиологических и верифицированных) лиц, принимающих решения (ЛПР) о конфигурации и рабочих характеристиках АСА [3]. В-третьих, некорректность использования при анализе процесса возбуждения АСА моделей сигналов и электромагнитных полей (ЭМП), традиционных для СТА. В-четвертых, отсутствие профессионального программного обеспечения, необходимого для исследования АСА методом статистического имитационного моделирования (СИМ) с применением компьютерной версии метода Монте-Карло (ММК) [4-5].

Фундаментом ОМС в СТА является проблема изучения случайных ошибок (амплитудных, фазовых, временных, частотных, геометрических) [2]. Однако при моделировании АСА на первый план выхо-

дит неопределенность знаний ЛПР о том, какая совокупность источников ЭМП формирует сигнал, возбуждающий АСА, какие у него параметры и динамические свойства. Хотя у разных ЛПР по этому поводу могут быть разные субъективные суждения и представления, нет оснований утверждать, что базовым элементом АСА, по аналогии с теорией обычных апертурных антенн (рупорных, зеркальных и т.п.), является элементарный излучатель Гюйгенса. С учетом неопределенности знаний ЛПР об условиях возбуждения АСА логично считать, что источник возбуждения может создавать ЭМП, в составе которого присутствуют все шесть комплексных амплитуд ортогональных составляющих (ОС) векторов напряженности электрического поля (далее для краткости *E*-поля): в декартовых координатах $E_{X;Y;Z}$; и магнитного *H*-поля: $H_{X;Y;Z}$ [6-7]. Традиционная схема дальнейшего анализа (типа «если … то…») при таком подходе неприменима. Но зато удается смоделировать важный эффект: стохастическое комбинирование ОС в процессе работы АСА, который в СТА аналогов не имеет. Это принципиально новый динамический фактор и новая неопределенность, неустранимая аналитическим или экспериментальным методами – но с которой успешно справляются СИМ и ММК.

Базовым элементом АСА является триадный элементарный излучатель (ТЭИ), который состоит из виртуальных электрических вибраторов с длинами $l^{E}_{X;Y;Z}$ и виртуальных магнитных вибраторов с длинами $l^{M}_{X;Y;Z}$ в декартовой системе координат *x*; *y*; *z*. Характеристики ТЭИ делятся на две части: относящиеся к *E*-полю и *H*-полю, каждая из ортогональных составляющих (ОС) которых в гармоническом режиме может быть представлена двумя квадратурными компонентами: действительной и мнимой. Таким образом, данные СИМ (сначала исходные, затем промежуточные и выходные), в общем случае представляют собой массивы 12 случайных числовых величин, характеризующих ЭМП АСА. Это означает замену элемента Гюйгенса на ТЭИ с элементами $l^{Э}_{X;Y;Z}$ и $l^{M}_{X;Y;Z}$, коммутируемыми в процессе работы АСА случайным образом и ведет к необходимости комбинировать при помощи ММК $8 \times 8 - 1 = 63$ сочетаний $l^{Э}_{X;Y;Z}$ и $l^{M}_{X;Y;Z}$, так как случай их одновременного отсутствия в составе

СИМ-модели исключается. Неопределенность знаний о динамике работы АСА при этом моделируется путем случайного выбора элементов ТЭИ $l^{Э}_{X;Y;Z}$ и $l^{M}_{X;Y;Z}$ при помощи технологии ММК, неопределенность условий возбуждения учитывается параметрами токов, возбуждающих их. Для сигнала возбуждения АСА с дискретизированным энергетическим спектром найдены комплексные амплитуды виртуальных токов, возбуждающих ТЭИ на частоте ω_k. Эти виртуальные токи могут быть связаны с ОС векторов реального поля источников КИ-сигнала, возбуждающего АСА: $\dot{E}^{A}_{X;Y;Z}$ и $\dot{H}^{A}_{X;Y;Z}$, характеристики которых на частоте ω_k могут быть определены, например, экспериментальным путем.

Плотности эквивалентных электрического и магнитного токов $\vec{j}_{Э;M}$ на поверхности АСА следуют из векторных произведений нормали $\vec{n}_A$ к данной поверхности на векторы *H*-поля и *E*-поля, присутствующие на ней. Направления нормали $\vec{n}_A$ для обеих триад можно задать двумя способами: считая ее положение относительно векторов *H*-поля и *E*-поля фиксированным или предполагая его случайным – что соответствует максимально возможной неопределенности знаний ЛПР. Рассматривались два варианта моделирования стохастических факторов СИМ: в виде равномерного закона на основании принципа безразличия и по нормальному (гауссовскому с фиксированной дисперсией) в условиях применимости центральной предельной теоремы теории вероятностей [2]. Представлены гистограммы распределения токов, полученные в соответствии со стандартной методикой СИМ и ММК [2] при числе «разыгрываний» $N = 10^3$ и 10^4. Результаты СИМ показывают, во-первых, что токи $\dot{I}_{Э;M}$ во всех рассмотренных случаях следует считать комплексными случайными величинами, то есть использовать их традиционное для СТА представление с применением амплитудных и фазовых ошибок [1-3 и др.]. Во-вторых, что используемые в СТА одномодовые (одновершинные) вероятностные законы можно использовать при моделировании виртуальных токов, возбуждающих ТЭИ – поскольку для широкого круга исходных условий другие модели по результатам СИМ не встречались и в реальных условиях маловероятны. В-третьих, что самая

трудная ситуация, с точки зрения неопределенности знаний ЛПР, соответствует принципу безразличия (поскольку в условиях применимости предельных теорем теории вероятностей, разброс ошибок существенно меньше. Это подтверждает правомерность разыгрывания случайных ошибок при проведении СИМ по равномерному закону [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shifrin Y.S.* Statistical Antenna Theory. Boulder: Co Golem Press, 1971. – 370 p. (In Russian: Шифрин Я.С. Вопросы статистической теории антенн. М.: Сов. радио, 1970. – 384 с.)

2. *Маслов О.Н.* Случайные антенны: теория и практика. Самара: Изд-во ПГУТИ-ОФОРТ, 2013. – 480 с. // URL: http://eis.psuti.ru/images/ books/sluch ant (д.о. 01.03.2017).

3. *Маслов О.Н.* Онтологические принципы развития статистической теории антенн // Антенны. – 2015. – № 4. – С. 15-25.

4. *Маслов О.Н.* Триадно-кластерный метод анализа и моделирования случайных антенн // Электросвязь. – 2016. – № 10. – С. 69–74.

5. *Алышев Ю.В., Маслов О.Н., Раков А.С., Рябушкин А.В.* Исследование случайных антенн методом статистического имитационного моделирования // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 7. – С. 3–41.

6. *Маслов О.Н.* Теория случайных антенн: атрибуты и отличительные признаки // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12. – №4. – С. 16–24.

7. *Маслов О.Н., Раков А.С.* Направленные свойства линейной случайной антенны с учетом корреляционной связи между ошибками // Антенны. – 2010. – № 3. – С. 54–62.

SIMULATION OF EQUIVALENT CURRENTS EXCITING A STOCHASTIC RADIATOR

Maslov O.N., Shatalov I.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The problem of simulating statistical characteristics of the electromagnetic field exciting stochastic aperture radiator by using statistical simulation and Monte Carlo group of methods is considered in a general case. The histograms of excitation currents distribution of triad elementary radiator are obtained. The possibility of applying single-mode probabilistic laws to simulate virtual excitation currents of a triad radiator is proved.

УДК 519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СХЕМЫ ЧУА

Афанасьев В.В., Аль Хуссейн А.Н.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Применение динамического хаоса для формирования новых носителей информации является перспективным направлениям развития систем оптической связи, при этом эффективным средством формирования псевдослучайных сигналов с заданными вероятностными и статистическими характеристиками служат дискретно-нелинейные радиоэлектронные системы с хаотической динамикой [1]. Перспективным направлением развития систем оптической связи с использованием эффектов динамического хаоса являются системы передачи информации на основе переключения хаотических режимов дискретно-нелинейных систем с хаотической динамикой [2]. Отладка и оптимизация такого вида систем передачи информации с использованием динамического хаоса требует разработки и исследования адекватных моделей приемо-передающих узлов и модулей системы передачи данных с переключением хаотических режимов дискретно-нелинейных систем [3] .

Цель работы – разработка и исследование моделей приемо-передающих узлов и модулей системы оптической связи с переключением хаотических режимов дискретно-нелинейных систем.

В работе проведено компьютерное моделирование в среде MatLab модулей, предназначенных для формирования псевдослучайных сигналов и их последующую обработку в системе передачи данных с переключением хаотических режимов дискретно-нелинейных систем: генераторов многомерных хаотических сигналов на базе системы Чуа, блоков задания начальных условий схемы Чуа, передающего и приемного блоков системы оптической связи на основе мето-

да переключения хаотических режимов дискретно-нелинейных систем. Проведено компьютерное моделирование генераторов трехмерных псевдослучайных сигналов на основе дискретно-нелинейной динамической системы Чуа, исследованы особенности переключения хаотических режимов данного типа систем с динамическим хаосом.

В разработанной модели генератора хаотических сигналов заложена возможность изменение как параметров самой нелинейной системы Чуа, так и изменения начальных условий динамической системы при формировании сигналов. В модели приемного блока системы передачи данных с переключением хаотических режимов дискретно-нелинейных систем, принимаемый сигнал разделяется на 2 канала, в каждом из которых сигнал проходит через сумматор, на второй вход которого подаются выходные сигналы одного из двух генераторов хаотического сигнала, соответствующих передаваемым сигналам. На вход каждого из генераторов хаотического сигнала, со встроенной управляемой базы данных начальных условий, поступают значения начальных условий 3-D сигналов системы с динамическим хаосом, а также задается временной интервал их изменения. После обработки сигналов в блоке сравнения формируются выходные сигналы, соответствующие приему сигналов «1» или «0». При проведении моделирования приемо-передающих модулей системы оптической связи с переключением хаотических режимов дискретно-нелинейных систем, проводился сравнительный анализ передаваемого и принимаемого сигналов с численной оценкой их параметров и характеристик.

Модель генератора хаотических сигналов позволяет исследовать влияние изменения начальных условий на работу системы передачи даны, оценивать влияние расхождения параметров и характеристик переключаемых дискретно-нелинейных систем Чуа на достоверность передачи информации, обосновывать периодичность смены значений начальных условий 3-D сигналов системы с динамическим хаосом.

Получены результаты оценки влияния отношения сигнал/шум на скорость передачи информации в моделируемой системе связи. Показана эффективность конфиденциальной цифровой передачи дан-

ных методом переключения хаотических режимов дискретно-нелинейных систем Чуа. Разработанные модели приемо-передающих блоков системы оптической связи с переключением хаотических режимов дискретно-нелинейных систем, дают возможность варьировать параметры передаваемого сигнала, изменять скорость передачи данных по каналу связи, и оценивать число правильно принятых битов передаваемой информации при различных отношений сигнал/шум в канале связи.

Проведено сопоставление подходов к управлению параметрами и характеристиками псевдослучайных сигналов, формируемых на основе схем Чуа, с использованием управляющих инерционных и квазирезонансных воздействий на параметры порождающих систем. Проанализирован метод построения системы оптической связи на базе передачи информации с переключением хаотических режимов управляемых дискретно-нелинейных схем Чуа. При помощи выполненного моделирование проведена оценка возможного количества ошибок при изменении сигнально-помеховой обстановки в системе оптической связи с переключением хаотических режимов. Путем компьютерного моделирования проведено исследование устройств формирования и обработки псевдослучайных сигналов, формируемых на основе управляемых дискретно-нелинейных систем Чуа. Обоснованы инженерные рекомендации по выбору параметров дискретно-нелинейных систем Чуа при построении системы оптической связи с переключением хаотических режимов.

Таким образом, разработанные модели приемо-передающих узлов и модулей позволяют проводить оптимизацию параметров системы оптической связи с переключением хаотических режимов дискретно-нелинейных систем на базе схем Чуа с динамическим хаосом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. – 252 с.

2. *Аль Хуссейн А.Н., Афанасьев В.В.* Особенности систем связи с переключением хаотических режимов динамических систем / Научная сессия ТУСУР–2017: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, 10-12 мая 2017 г.: в 8 частях. – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 6. – С. 59–61.

3. *Аль Хуссейн А.Н., Афанасьев В.В.* Особенности оптических систем связи с переключением хаотических режимов динамических систем / Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2017. Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Казань, 12-14 апреля 2017 г.) / под ред. О.Г. Морозова. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. – С. 373–375.

SIMULATION OF SUBSYSTEMS OF OPTIC COMMUNICATION LINES WITH CHUA CHAOTIC MODES SWITCHING

Afanasiev V.V., AL Hussein A.N.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The subsystems modeling of optic communication lines with chaotic modes switching are investigated. The computer MatLab modeling of Chua generators chaotic signals, data transmitter, data receiver with switching of chaotic modes are conducted. The investigation of data transmitting system with switching of chaotic modes considering noise disturbance, changing of initial conditions, and control of data rate speeding are carried out.

УДК 519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ С ХАОТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКОЙ НА ОСНОВЕ СХЕМ ЛОРЕНЦА

Афанасьев В.В., Ясир Х.А.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Совершенствование систем оптической связи с хаотической маскировкой сигналов является одним из перспективных направлений развития систем передачи информации с использованием эффектов динамического хаоса [1]. Функционирование системы связи с хаотической маскировкой неразрывно связано с формированием на основе эффектов динамического хаоса шумоподобных сигналов с повторяющимися вероятностными и статистическими характеристиками [2]. Вид формируемых псевдослучайных сигналов хаотической маскировки полностью определяется начальными условиями и параметрами порождающей нелинейной динамической системы [3]. Эффективными источниками псевдослучайных маскирующих сигналов являются радиоэлектронные управляемые нелинейные системы с хаотической динамикой. Обоснование и выработка инженерных рекомендаций по выбору параметров и характеристик систем передачи информации с хаотической маскировкой сигналов, на основе использования динамического хаоса, требует разработки и исследования адекватных моделей узлов системы связи с хаотической маскировкой [4].

Цель работы состоит в разработке и исследовании моделей основных узлов системы оптической связи с формированием сигналов хаотической маскировки при помощи радиоэлектронных управляемых нелинейных систем с динамическим хаосом.

Хаотическое маскирование основано на добавление информационного сигнала к хаотическому несущему сигналу при передаче

информации, с последующим вычитанием маскирующего сигнала при приеме [1]. На основе проведенного аналитического обзора обоснован выбор нелинейной системы Лоренца с динамическим хаосом в качестве системы, порождающей маскирующие сигналы. В работе определены условия обеспечения синхронизации исходной и зависимой систем Лоренца за требуемый интервал времени. Для определения набора начальных условий динамических систем, порождающих маскирующие сигналы, и рекомендуемых к применению в инженерной практике, проведено моделирование процессов формирования псевдослучайных сигналов в среде MatLab, обоснованы рекомендации по выбору массива данных, определяющих возможные наборы начальных условий трех переменных системы Лоренца, минимизирующих переходные процессы в системе при формировании сигналов.

Проведено исследование влияния выбора параметров b, r и σ нелинейной динамической системы Лоренца, на маскирующий хаотический сигнал. Для симуляции информационного сигнала используется бинарный генератор Бернулли. В модели предусмотрено возможность вариации скорости передачи информации по каналу связи, а также изменения вероятностных характеристик маскирующего сигнала. Увеличение скорости передачи сообщений достигается путем повышения пропускной способности с помощью одновременной передачи сообщений по нескольким каналам, с использованием многоканальной системы связи. Для используемой модели Matlab Simulink (R2017a) это соответствует формированию на выходе бинарного генератора Бернулли вектора-матрицы из N-элементов, где N – число каналов в модели многоканальной системы передачи информации с хаотической маскировкой. Количество элементов матрицы на выходе бинарного генератора Бернулли задается параметром Samples per frame. На основе разработанной модели получена оценка зависимости уровня ошибок в системе связи от соотношения сигнал/шум (Q), для различного числа N, представленная в таблице.

Результаты моделирования показали, что система связи с формированием сигналов хаотической маскировки при помощи радиоэлектронных управляемых нелинейных систем с динамическим хао-

сом обладает хорошей помехоустойчивостью. В то же время, одним из путей оптимизации системы связи с хаотической маскировкой является снижение уровня ошибок при помощи помехоустойчивого кодирования информационного сообщения до наложения хаотического маскирующего сигнала, что обеспечивает возможность обнаружения и исправления ошибочных битов на приемной стороне.

Зависимость *W* от соотношения сигнал/шум *Q* и числа *N*

Сигнал/шум (Q), дБ	Относительное число W ошибочно принятых битов информации			
	$N = 1$	$N = 2$	$N = 4$	$N = 8$
20	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068
15	0,016	0,016	0,023	0,016
10	0,057	0,078	0,078	0,047
5	0,172	0,156	0,156	0,133

В работе исследованы особенности применения основных методов помехоустойчивого кодирования в системе связи с хаотической маскировкой. На основании моделирования узлов систем связи получена оценка возможного снижения уровня ошибок в системах с хаотической маскировкой с использованием помехоустойчивого кодирования сообщения. В качестве оптимального корректирующего кода предлагается использовать код Боуза-Чоудхури-Хоквингема. Использование помехоустойчивого кодирования целесообразно при Q ниже 16 дБ, использование кода Хемминга позволяет при $Q = 2$ дБ уменьшить уровень ошибки на 6…8 %, а использование кода БЧХ – на 7…11 % по сравнению с передачей информацией в системе с хаотической маскировкой без использования помехоустойчивого кодирования, что указывает на целесообразность применения помехоустойчивого кодирования в системе связи с хаотической маскировкой.

Таким образом, разработанные модели основных узлов системы связи с хаотической маскировкой сигналов дают возможность проводить исследование и оптимизацию параметров системы связи с формированием сигналов хаотической маскировки при помощи радиоэлектронных управляемых нелинейных систем Лоренца с динамическим хаосом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. – М.: Физмалит, 2002. – 252 с.

2. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Многомерные негармонические спектры в диагностике управляемых формирователей псевдослучайных сигналов на основе систем с динамическим хаосом. // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Т. 12. – № 2. – С. 9–13.

3. *Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е.* Формирователи двоичных псевдослучайных сигналов на основе управляемых систем Лоренца и Чуа // Телекоммуникации. – 2012. – № 12. – С. 26–30.

4. *Ясир Х.А., Научный рук. Афанасьев В.В.* Особенности оптических систем связи с хаотической маскировкой сигналов / Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2017. Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Казань, 12-14 апреля 2017 г.) / под ред. О.Г. Морозова. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. – С. 380–383.

SIMULATION OF NODES OF OPTIC COMMUNICATION SYSTEM WITH LORENZ CHAOTIC MASKING

AfanasievV.V., Yasir H.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The simulating of pseudorandom signal drivers for optic communication system with chaotic masking is considered. The estimations of nodes parameters of communication system on the accuracy characteristics of signal transmission in optic communication systems with Lorenz chaotic masking are obtained.

УДК 681.518.5

ОБРАБОТКА МНОГОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ В АЛГОРИТМЕ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ СКАНЕРОВ

Диязитдинов Р.Р.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Триангуляционные профильные сканеры формируют двумерное изображение контура объекта и используются в различных наукоемких отраслях промышленного производства. Принципы работы сканера (см. рис. 1) представлены в работе [1].

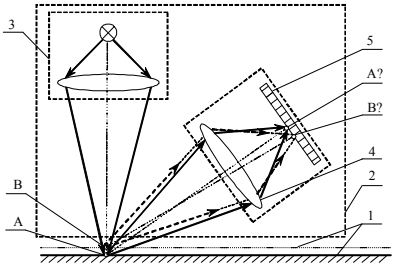
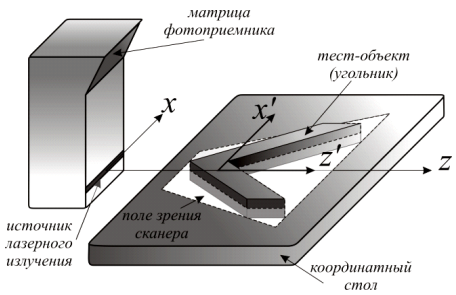


Рис. 1. Принцип измерения в триангуляционном сканере:
1 – контролируемая поверхность; 2 – измерительный преобразователь;
3 – источник излучения 4 – оптическая система; 5 – фотоприемник; A, B – точки на поверхности; A′, B′ – изображения точек A и B, на фотоприемнике

Как можно видеть из рисунка, плоскость измерения располагается под углом к плоскости фотоприемника, что является источником искажения перспективы снимаемого видеоизображения. Вторым источником искажений являются естественные аберрации оптических систем, обусловленные изготовлением. Линеаризация триангуляционного сканера направлена на определение способа преобразования измеренных координат объекта в метрические координаты.

Технология линеаризации состоит из следующих этапов: получение исходных данных, определение координат реперных точек, определение координат измеренных точек, соответствующих реперным, по данным сканера, определение операторов для преобразования межу ними.

Установка получения исходных данных показана на рис. 2.



– оси x, z описывают систему координат поля измерения сканера;
– оси x', z' описывают направления, вдоль которых происходит перемещение координатного стола;
– ось x параллельна оси x';
– ось z параллельна оси z'

Рис. 2. Установка линеаризации триангуляционного сканера

PROCESSING MULTIDIMENSIONAL OPTICAL VIDEO SURVEILLANCE SIGNALS FOR TRIANGULATION SCANNER LINEARIZATION ALGORITHM

Diyazitdinov R.R.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article was described some features of processing multidimensional optical signals for triangulation scanner linearization algorithm. Exactly: the obtainment source data technique, the measurement of coordinate defining points by physical position of test object, the measurement of «no-linearization» coordinate points by profile of triangulation scanner, the rating of the operator transformation from «no-linearization» points coordinate to defining points coordinate.

УДК 004.932

ВЫДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Ляшева С.А., Медведев М.В., Шлеймович М.П.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В настоящее время активно развиваются и внедряются технологии машинного зрения, базирующиеся на методах обработки изображений [1, 2].

В данной работе рассматривается один из подходов к преобразованию изображений с целю выделения контуров на них, который базируется на вычислении энергетических признаков вейвлет-преобразования, что, в свою очередь, связано со следующим равенством:

$$\sum_{k=0}^{N-1}\sum_{l=0}^{N-1} f_{k,l}^2 = \sum_{m=0}^{2^{j0}-1}\sum_{n=0}^{2^{j0}-1} LL_{j0,m,n}^2 + \sum_{j=j_0}^{J-1}\sum_{m=0}^{2^j-1}\sum_{n=0}^{2^j-1} LH_{j,m,n}^2 + \\ + \sum_{j=j_0}^{J-1}\sum_{m=0}^{2^j-1}\sum_{n=0}^{2^j-1} HL_{j,m,n}^2 + \sum_{j=j_0}^{J-1}\sum_{m=0}^{2^j-1}\sum_{n=0}^{2^j-1} HH_{j,m,n}^2, \qquad (1)$$

где $f_{k,l}$ – яркость точки изображений; $LL_{j,m,n}$, $LH_{j,m,n}$, $HL_{j,m,n}$, $HH_{j,m,n}$ – вейвлет-коэффициенты. Суммы в правой части равенства (1) показывают вклад коэффициентов различных уровней в общую энергию изображения на различных масштабах. Этот вклад позволяет получить оценки энергии каждой точки изображения. Если при этом исключить аппроксимирующие вейвлет-коэффициенты $LL_{j,m,n}$, то можно оценить значимость перепадов яркостей между областями на изображениях.

В общей форме алгоритм выделения контуров на изображении с применением энергетических признаков вейвлет-преобразования имеет вид:

1. Выполнить вейвлет-преобразование до уровня j_0;

2. Положить:

$$w^2_{j_0-1,m,n} = 0; \quad (2)$$

3. Последовательно для $j = j_0, \ldots, J-1$, где $J = \log_2 N$, $m = 0, 1, \ldots, 2^{j+1} - 1$, $n = 0, 1, \ldots, 2^{j+1} - 1$ вычислить оценки энергии, связанные с коэффициентами вейвлет-преобразования:

$$w^2_{j,m,n} = w^2_{j-1,m,n} + LH^2_{j,m/2,n/2} + HL^2_{j,m/2,n/2} + HH^2_{j,m/2,n/2}; \quad (3)$$

4. Выполнить бинаризацию полученного весового изображения с заданным порогом;

5. Выполнить утончение контуров.

Применение приведенного алгоритма позволяет получить процедуру выделения контуров, устойчивую к различным условиям регистрации изображений.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 2.1724.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lyasheva S.A., Medvedev M.V., Shleimovich M.P.* Terrain object recognition in unmanned aerial vehicle control system, Russian Aeronautics. – 2014. – Vol. 57 (3). – P. 303–306.

2. *Shleymovich, M.P., Medvedev, M.V., Lyasheva, S.A.* Image analysis in unmanned aerial vehicle on-board system for objects detection and recognition with the help of energy characteristics based on wavelet transform. Proceedings of SPIE. – 2017. – Vol. 10342.

CONTOURS DETECTION USING ENERGY CHARACTERISTICS OF WAVELET TRANSFORM IMAGE

Lyasheva S.A., Medvedev M.V., Shleimovich M.P.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

In this paper one of the approaches of the image transform for contours detection based on energy characteristics of the wavelet transform calculation is considered.

УДК 621.391.63

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИНХРОНИЗАЦИИ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА

Киселев В.Н.[1], Мишин Д.В.[2], Пашинцев В.П.[3], Чипига А.Ф.[3]

([1]ОАО «Ангстрем»,
[2]ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
[3]Северо-Кавказский федеральный университет)

Интенсивное развитие цифровых сетей связи проявило проблему тактовой сетевой синхронизации. Основным следствием влияния синхронизации на параметры каналов цифровых систем передачи являются проскальзывания, которые состоят в повторении или исключении группы символов двоичных битов в результате различия между скоростями считывания и записи в буферной памяти передающей и приемной части аппаратуры передачи. Таким образом, проскальзывания приводят к потерям информации или ее дублированию.

Разрешение этой проблемы привело к созданию системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС). Система тактовой сетевой синхронизации сети связи общего пользования опирается на ТСС базовой сети, которая способна обеспечить синхронизацией надлежащего качества все цифровые сети, взаимодействующие с сетью связи общего пользования России. В результате присоединения сети ТСС оператора связи к базовой сети долговременное отклонение тактовой частоты от номинала в синхронном режиме на его сети должно быть не хуже, чем $\pm 10^{-11}$. Иными словами, во взаимодействующих цифровых системах обеспечивается стабильность частоты генераторов на уровне атомных стандартов (рубидиевый, цезиевый, водородный).

Обострение проблемы синхронизации следует ожидать в территориально локализованных корпоративных цифровых сетях связи

при потере ими соединения с базовой сетью ТСС. Альтернативными источниками сигналов синхронизации могут быть автономные хронирующие источники (сетевые таймеры, использующие различные эталоны времени и частоты), а также спутниковые системы радионавигации и позиционирования (ГЛОНАСС, GPS), транслирующие сигналы точного времени. В этом случае, актуальна задача оценки влияния погрешностей синхронизации на помехоустойчивость цифрового приемника.

Оценим влияние погрешностей синхронизации на помехоустойчивость приема оптических сигналов с модуляцией по интенсивности (амплитудной модуляции излучения оптического передатчика). Будем полагать, что оптический приемник работает в режиме счета фотоэлектронов, т.е. нагрузка фотодетектора имеет прямоугольную импульсную характеристику и эмитируемые электроны просто подсчитываются в течение фиксированного интервала времени. Тогда процесс отсчета фотоэлектронов подчиняется закону Пуассона [1], т.е.

$$P_k(\Lambda) = \left(\Lambda^k / k!\right) e^{-\Lambda},$$

где $\Lambda = \Lambda_s$ – соответствует сигнальному отсчету фотоэлектронов в течение одного бита информации T, с; $\Lambda = \Lambda_n$ – соответствует шумовому отсчету фотоэлектронов на интервале T, с.

Известно [2], что при точном определении границ временного интервала оптимальный приемник реализует решение задачи различения двух гипотез. Оптимальный порог при этом равен

$$k_{n1} = \Lambda_s / \ln\left[1 + \left(\Lambda_s / \Lambda_n\right)\right]. \qquad (1)$$

Положим теперь, что в ВОСП имеет место ошибка временного интервала (ОВИ) $|\Delta|$, которой соответствует относительная погрешность (неточность) синхронизации $\delta = |\Delta| / T$. В результате этого в сигнальном отсчете может содержаться только часть энергии сигнала, а другая его часть будет содержаться в отсчете соседнего тактового интервала.

По мере роста неточности синхронизации δ средняя вероятность ошибки различения сигналов будет возрастать и описывается выражением [2]

$$P_{er1}(\Lambda_s,\Lambda_n,\delta)=0,25\left(\sum_{k=0}^{k_{n1}}\gamma(k,k_{n1})\frac{(\Lambda_s+\Lambda_n)^k}{k!}e^{-(\Lambda_s+\Lambda_n)}+\right.$$

$$\left.+\sum_{k=k_{n1}}^{\infty}\gamma(k,k_{n1})\frac{\Lambda_n{}^k}{k!}e^{-\Lambda_n}\right)+0,25\left(\sum_{k=0}^{k_{n1}}\gamma(k,k_{n1})\frac{\left[(1-\delta)\Lambda_s+\Lambda_n\right]^k}{k!}\times\right.$$

$$\left.\times e^{-\left[(1-\delta)\Lambda_s+\Lambda_n\right]}+\sum_{k=k_{n1}}^{\infty}\gamma(k,k_{n1})\frac{(\delta\Lambda_s+\Lambda_n)^k}{k!}e^{-(\delta\Lambda_s+\Lambda_n)}\right), \qquad (2)$$

где k_{n1} – пороговый отсчет электронов, определяемый выражением (1).

Выражение (2) не дает оценку минимальной вероятности ошибки, а значит, не является характеристикой потенциальной помехоустойчивости оптического приемника при неидеальной синхронизации. Действительно, при вычислении частных вероятностей ошибок (сумм в формуле (8)) используется фиксированный пороговый отсчет электронов k_{n1}, соответствующий случаю идеальной синхронизации $(\delta=0)$.

С другой стороны, при неидеальной синхронизации $(\delta\neq 0)$ изменение статистик влечет изменение оптимального порогового отсчета электронов. Этот оптимальный порог при неидеальной синхронизации можно определить в виде

$$k_{n2}=(1-2\delta)\Lambda_s\Big/\ln\frac{(1-\delta)\Lambda_s+\Lambda_n}{\delta\Lambda_s+\Lambda_n}. \qquad (3)$$

Для оценки потенциальной помехоустойчивости оптического приемника с учетом погрешности синхронизации уточним формулу (2),

заменив пороговый отсчет k_{n1} на k_{n2}. Тогда средняя вероятность ошибки будет равна

$$P_{er2}\left(\Lambda_s,\Lambda_n,\delta\right)=0,25\times$$
$$\times\left(\sum_{k=0}^{k_{n2}}\gamma\left(k,k_{n2}\right)\frac{\left(\Lambda_s+\Lambda_n\right)^k}{k!}e^{-\left(\Lambda_s+\Lambda_n\right)}+\left(1-\sum_{k=0}^{k_{n2}}\gamma\left(k,k_{n2}\right)\frac{{\Lambda_n}^k}{k!}e^{-\Lambda_n}\right)\right)+$$
$$+0,25\left(\sum_{k=0}^{k_{n2}}\gamma\left(k,k_{n2}\right)\frac{\left[(1-\delta)\Lambda_s+\Lambda_n\right]^k}{k!}e^{-\left[(1-\delta)\Lambda_s+\Lambda_n\right]}+\right.$$
$$\left.+\left(1-\sum_{k=0}^{k_{n2}}\gamma\left(k,k_{n2}\right)\frac{\left(\delta\Lambda_s+\Lambda_n\right)^k}{k!}e^{-\left(\delta\Lambda_s+\Lambda_n\right)}\right)\right). \qquad (4)$$

Результаты сравнительного расчета средней вероятности по формулам (2) и (4) показывает, что при фиксированном пороге k_{n1} в условиях неидеальной синхронизации, особенно при приеме мощных сигналов, средняя вероятность ошибки существенно больше, чем при регулируемом пороге k_{n2}. Регулировка порога переводит приемник в оптимальный режим различения двоичных сигналов, а полученная при этом средняя вероятность ошибки является характеристикой потенциальной помехоустойчивости оптического приемника с учетом погрешности синхронизации.

Таким образом, получено выражение для оптимального порогового отсчета электронов и уточнена формула оценки потенциально достижимой средней вероятности ошибки при различении двоичных сигналов оптическим приемником с учетом погрешности синхронизации. Показано, что ошибка временного интервала переводит приемник в субоптимальный режим. Это и объясняет существенный рост вероятности ошибки, который в большей степени обусловлен ошибками при передаче «нулей» из-за заниженного порогового отсчета k_{n1}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шереметьев А.Г.* Статистическая теория лазерной связи // – М.: «Связь», 1971. – 264 с.

2. *Гальярди Р.М., Карп Ш.* Оптическая связь: пер. с англ. / Под ред. А.Г. шереметьева // – М.: «Связь», 1978. – 424 с.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SYNCHRONIZATION ERRORS ON THE NOISE IMMUNITY OF THE OPTICAL RECEIVER

Kiselev V.N.[1], Mishin D.V.[2], Pashintsev, V.P.[3], Chipiga A.F.[3]

([1]JSC «Angstrom»,
[2]Volga state University of telecommunications and Informatics,
[3]Северо-Caucasian Federal University)

The resulting expression for the optimal threshold starting electrons and refined the formula for the estimation of potentially achievable average probability of error when distinguishing between a binary signal by an optical receiver with an error of synchronization. It is shown that the error of the time interval switches the receiver in a suboptimal mode. This explains the substantial increase of error probability, which is largely due to errors in transmission «zeros» due to the low threshold count. The results allow us to determine the conditions for the exchange of synchronization errors on the power of the optical signal at a given average error probability, and to substantiate the tolerances on accuracy of maintenance of the synchronism in time and to set the optimal threshold of the decisive device of the receiver.

УДК 621.391.63

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКОНА ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Киселев В.Н.[1], Мишин Д.В.[2], Пашинцев В.П.[3], Чипига А.Ф.[3]

([1]ОАО «Ангстрем»,
[2]ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
[3]Северо-Кавказский федеральный университет)

Важнейшим фактором обеспечения устойчивости функционирования волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) на объектах с повышенным уровнем механических воздействий, в том числе и вибрации, является увеличение надежности функционирования элементов линейного тракта. Прежде всего, это относится к оптическому волокну (ОВ). Одним из способов повышения надежности является резервирование световодов в оптическом кабеле. При этом центральной является задача прогнозирования технического состояния действующего и резервного ОВ [1].

Признаком, указывающих на деградацию ОВ, является развитие зародышевых и образование новых микротрещин под воздействием механических напряжений, прикладываемых к световоду. Исследования прочности световодов показывают, что процесс развития микротрещин в кварцевых волокнах с типовыми характеристиками в пределах оболочки относительно долговременный. При достижении критической глубины этот процесс приобретает лавинообразный характер и приводит к обрыву ОВ [2]. Таким образом, существует возможность прогнозировать техническое состояние ОВ, которая реализуется вероятностными методами анализа параметров плотности распределения вероятностей коэффициента передачи.

Цель доклада состоит в решении задачи статистического анализа коэффициента передачи ОВ при воздействии предельных нагрузок и получении плотности распределения его вероятностей, учиты-

вающей параметры световода и случайный характер механических напряжений.

Будем полагать что, малые изменения механического напряжения приводят к пропорциональному приращению затухания в оболочке ОВ. Известно, что вероятность достижения микротрещиной критической глубины (по сути, вероятность обрыва волокна) подчинена распределению Вейбулла [2]. Тогда, при единичном механическом воздействии плотность распределения вероятностей (ПРВ) затухания можно так же представить распределением Вейбулла

$$\omega(\alpha) = s \cdot D \cdot \alpha^{s-1} \cdot e^{-D \cdot \alpha^{s}}, \qquad (1)$$

где s – параметр распределения, определяемый технологией вытяжки световода; $D = L^{1-s}\alpha_1^{-s}$ – нормирующий коэффициент, который зависит от числа зародышевых микротрещин L и затухания α_1 на одной микротрещине, имеющей предельную глубину.

Пространственная протяженность ВОСП и особенности ее эксплуатации в условиях повышенной вибрации определяет случайный характер и многократность образования микротрещин. В этом случае общее затухание будет равно сумме потерь, возникающих при каждом воздействии, приводящем к образованию микротрещин предельной глубины

$$\alpha = \sum_{i=0}^{I} \alpha_i ,$$

где α_i – потери при однократном воздействии, характеризующиеся ПРВ (1); I – случайное число механических воздействий.

Процессы типа $\alpha = \sum_{i=0}^{I} \alpha_i$ определяются как «случайные блуждания» [3]. Определение соответствующей ПРВ требует ввести ряд допущений относительно распределения вероятностей числа механических воздействий. Очевидно, что случайный процесс I является целочисленным. Кроме того, положим, что он характеризуется ординарностью, стационарностью и независимостью приращений. Эти допущения позволяют описать число механических воздействий на

ОВ в процессе эксплуатации дискретным распределением вероятностей Пуассона со средним значением $\bar{I}$:

$$p(I,\bar{I}) = \left(\bar{I} \Big/ I\ ! \right) e^{-\bar{I}}. \qquad (2)$$

Характеристическую функцию процесса $\alpha = \sum_{i=0}^{I} \alpha_i$ определим как [3]

$$\Phi_I(j\omega) = \exp\left\{ \bar{I} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D^{-\frac{k}{s}}}{k!} (j\omega)^k \Gamma\left(1 + \frac{k}{s}\right) \right\} = \exp\left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\chi_k}{k!} (j\omega)^k \right\}, \qquad (3)$$

где $\Gamma(x)$ – гамма - функция; χ_k – семиинварианты k-го порядка.

Из (3) очевидно, что семиинварианты k-го порядка ПРВ общего затухания будут равны

$$\chi_k = \bar{I}\, D^{-(k/s)} \Gamma\left[1 + (k/s)\right]. \qquad (4)$$

Таким образом, решена задача определения моментов искомой ПРВ. Наиболее точное описание распределения вероятностей определяет измерение бесконечного числа моментов, что неконструктивно с практической стороны. Далее воспользуемся аппроксимацией ПРВ в виде ряда. Так как в пассивном линейном тракте ВОСП затухание является положительной величиной, то применим аппроксимацию ПРВ в виде ряда по полиномам Лагерра [3]

$$\omega_I(y) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \cdot e^{-y} \cdot y^{\delta} \cdot L_n^{(\delta)}(y), \qquad (5)$$

где b_n – коэффициенты ряда; $L_n^{(\delta)}$ – полиномы Лагерра; $y = \alpha / \beta$; $\beta = \chi_2 / \chi_1$; $\delta = \chi_1^2 / \chi_2$.

При небольшом числе механических воздействий и соответствующем выборе параметров полиномов Лагерра (когда второй и

третий коэффициенты будут равны нулю) ПРВ затухания можно представить только первым слагаемым в виде

$$\omega_I(\alpha) = \frac{1}{\beta \cdot \Gamma(\delta+1)} \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\delta} e^{-\frac{\alpha}{\beta}}. \qquad (6)$$

При вычислении квантилей интегрального закона распределения вероятностей применение приближения (6) приводит к ошибке не более 2 дБ.

ПРВ коэффициента передачи ОВ n получим в результате нелинейного преобразования вида $\alpha = -\ln(n)$ относительно распределения (6). Воспользовавшись известной методикой [3], получим

$$\omega_i(n) = \omega_I(\alpha) \cdot \left|\frac{dn}{d\alpha}\right| = \frac{1}{\beta^{\delta+1}\Gamma(\delta+1)} \ln^{\delta}\frac{1}{n} \cdot n^{\frac{1}{\beta}-1}. \qquad (7)$$

Анализ (7) показывает, что по мере роста среднего числа микротрещин экстремум ПРВ смещается из области значений, близких к 1 в область малых значений коэффициента передачи оболочки ОВ. Это хорошо согласуется с физическими представлениями о влиянии микротрещин на величину потерь.

Таким образом, получено аналитическое выражение для плотности распределения вероятностей коэффициента передачи оптического волокна ВОСП, эксплуатируемой в условиях механических воздействий. Видно, что плотность распределения вероятностей чувствительна к количеству микротрещин и затуханию на каждой из них, а так же учитывает технологические особенности оптического волокна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Е.Б.* Техническая диагностика волоконно-оптических систем передачи // Итоги науки и техники. Сер. Связь, – М.: ВИНИТИ, 1990. – Т. 6.

2. *Бухтиарова Т.В. и др.* Прочность и долговечность волоконно-оптических световодов // Итоги науки и техники. Сер. Связь. – М.: ВИНИТИ, 1991. Т. 8.

3. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника // – М.: Радио и связь, 1983.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SYNCHRONIZATION ERRORS ON THE NOISE IMMUNITY OF THE OPTICAL RECEIVER

Kiselev V.N.[1], Mishin D.V.[2], Pashintsev, V.P.[3], Chipiga A.F.[3]

([1]JSC «Angstrom»,
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
[3]Северо-Caucasian Federal University)

The resulting expression for the optimal threshold starting electrons and refined the formula for the estimation of potentially achievable average probability of error when distinguishing between a binary signal by an optical receiver with an error of synchronization. It is shown that the error of the time interval switches the receiver in a suboptimal mode. This explains the substantial increase of error probability, which is largely due to errors in transmission «zeros» due to the low threshold count. The results allow us to determine the conditions for the exchange of synchronization errors on the power of the optical signal at a given average error probability, and to substantiate the tolerances on accuracy of maintenance of the synchronism in time and to set the optimal threshold of the decisive device of the receiver.

УДК 621.391.63

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА РАЗЛИЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С УЧЕТОМ ИХ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

Киселев В.Н.[1], Мишин Д.В.[2], Пашинцев В.П.[3], Чипига А.Ф.[3]

([1]ОАО «Ангстрем», [2]ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [3]Северо-Кавказский федеральный университет)

В настоящее время развитие волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) характеризуется увеличением широкополосности и протяженности линий связи. Отмеченные тенденции носят противоречивый характер. С одной стороны увеличение скорости передачи информации сопровождается снижением энергетического потенциала ВОСП до 35-40 дБ. С другой, увеличение дальности связи, применение оптических усилителей и др. ведет к увеличению динамического диапазона (ДД) оптических сигналов до 50 дБ и более. Ослабление этого противоречия обеспечивается увеличением энергетического потенциала и оптимизацией линейного тракта ВОСП. Реализация систем с увеличенным энергетическим потенциалом ограничена малым (20-40 дБ) динамическим диапазоном оптического приемного устройства (ДДП) [1]. Это ограничение ослабляется минимизацией динамического диапазона сигнала (ДДС) и оптимизацией алгоритма обработки сигналов с большим ДДС (соизмеримым и превышающем ДДП). Целью доклада является синтез оптимального алгоритма различения оптических сигналов с учетом их динамического диапазона и анализ ограничений, налагаемых динамическим диапазоном оптического приемного устройства.

В процессе решения поставленной задачи полагалось, что структурная схема оптического приемника (приемного оптического

модуля – ПРОМ) частично задана и содержит фотодетектор, идеальный интегрирующий фильтр, нелинейный усилитель. С учетом известных статистических моделей каналов связи со случайными параметрами [2, 3] и особенностей решаемой задачи случайные флуктуации огибающей оптического сигнала на входе ПРОМ описаны m – распределением Накагами. Процесс на выходе фотодетектора описан условно-пуассоновским распределением вероятностей отсчетов электронов [3]. электронный усилитель в схеме ПРОМ ограничивает процесс фотодетектирования тепловым шумом, который аппроксимируется распределением Гаусса. Показано, что в этих условиях плотность распределения вероятностей (ПРВ) тока сигнала на выходе фотодетектора соответствует гамма – распределению.

Для решения задачи синтеза с учета ДДС необходимо соотнести его величину с параметрами статистической модели сигнала (моментами ПРВ). С этой целью принято положение, что цена ошибок приемника из-за блокировки сигналами большого уровня равна цене ошибок при регистрации «слабых» сигналов. ДДС определен как область уровней сигнала, ограниченную равными вероятностями P_0 превышения максимальной $x_{\max}$ и не превышения минимальной $x_{\min}$ величины. Приближенное выражение для ДДС получено в виде

$$D_S = 10\lg\frac{x_{\max}}{x_{\min}} \approx 10\lg\frac{m}{v}\ln\frac{m}{v}, \qquad (1)$$

где $v = \sqrt[m]{mP_0\Gamma(m)}$.

Из анализа (1) видно, что ДДС монотонно связан с параметром m и контролируется порядком вероятности P_0, которая выбирается соответственно допустимой вероятности ошибки. Показано, что полученная статистическая модель ПРВ тока сигнала на выходе фотодетектора при типовых значениях параметра m пригодна для описания сигналов с динамическим диапазоном, соответствующим критическим условиям эксплуатации ВОСП.

Для учета ДДП в работе применена кусочно-линейная аппроксимация амплитудной характеристики усилителя. Тогда ПРВ смеси сигнала и шума на выходе нелинейного ПРОМ можно получить в виде

$$P_{NS}(j)=\left(\frac{m}{\sqrt{2}h_0}\right)^m\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_N^2}}\exp\left(-\frac{j^2}{2\sigma_N^2}\right)\Psi\left(\frac{m}{2},\frac{1}{2};\frac{1}{2}\left(\frac{m}{h_0}-\frac{j}{\sigma_N}\right)^2\right)+$$

$$+\frac{\Gamma\left(m,\frac{mD_r}{h_0}\right)}{\Gamma(m)\sqrt{2\pi\sigma_N^2}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{j}{\sigma_N}-D_r\right)^2\right], \qquad (2)$$

где m – параметр распределения Накагами; h_0 – отношение сигнал/шум (ОСШ); σ_N^2 – дисперсия шума; $\Gamma(m\,x)$ – неполная гамма-функция; $D_r = j_{\text{н}}/\sigma_N$ – ДДП; $j_{\text{н}}$ – ток насыщения усилителя.

Анализ ПРВ (2) показывает, что она имеет бимодальный характер. Вторая мода обусловлена вторым слагаемым, вес которого определяется ДДС, средним отношением сигнал-шум и убывает по мере роста ДДП.

Задача синтеза формулируется следующим образом: для двоичной системы связи найти оптимальную по критерию Байеса решающую функцию, обеспечивающую минимизацию средней вероятности ошибки различения сигналов с большим ДДС на выходе ПРОМ. Найти субоптимальные алгоритмы, обеспечивающие реализацию оптического приемного устройства в широком динамическом диапазоне уровней входных сигналов.

Известно [3], что оптимальный алгоритм различения сигналов следует из сравнения с единичным порогом отношения правдоподобия, соответствующего двум гипотезам относительно смеси сигнала и шума J. Первая гипотеза соответствует передаче единичного символа и представляется ПРВ (2). Вторая гипотеза соответствует передаче нулевого символа и представляется ПРВ шумового тока.

При идеальном интегрировании при однократном отсчете достаточная статистика представляется одномерными ПРВ и отношение правдоподобия равно

$$L_m(J)=\frac{P_{NS}(J)}{P_N(J)}=\left(\frac{m}{\sqrt{2}h_0}\right)^m \Psi\left(\frac{m}{2},\frac{1}{2};\frac{1}{2}\left(\frac{m}{h_0}-\frac{J}{\sigma_N}\right)^2\right)+$$

$$+\frac{\Gamma\left(m,\frac{mD_r}{h_0}\right)}{\Gamma(m)}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(D_r^2-\frac{2JD_r}{\sigma_N}\right)\right)\begin{matrix}>\\<\end{matrix}1. \qquad (3)$$

Из (3) следует, что синтезируемый алгоритм содержит два аддитивных канала, в которых осуществляется нелинейная обработка отсчета выходного тока ПРОМ. Весовые коэффициенты каналов и характер нелинейной обработки определяются первым моментом ПРВ сигнала (средним отношением сигнал/шум), вторым и четвертым моментами ПРВ огибающей оптического сигнала (параметром m). Вес первого канала значителен для малых ДДС и убывает по мере роста ОСШ, что соответствует известным положениям статистической теории связи [3]. Вес второго канала увеличивается по мере роста ОСШ и зависит от соотношения ДДС и ДДП.

Средняя вероятность ошибки оценивается взвешенной суммой вероятностей ошибок первого и второго рода и определяется выражением вида

$$P_{\text{ош}}=\frac{1}{2}\times$$

$$\times\left\{\frac{1}{2}erfc\left(\frac{q_n}{\sqrt{2}}\right)+\left(\frac{m}{h_0\sqrt{2}}\right)^m\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(m)_k}{2k!}\Gamma\left[\begin{matrix}k+1\\k+2;\end{matrix}\quad\frac{m+1+k}{2}\right]\left(-\frac{q_n}{\sqrt{2}}\right)^{k+1}\right\}, \qquad (4)$$

где $q_n=J_n/\sigma_N$ – оптимальный порог. Можно показать, что допустима аппроксимация q_n выражением

$$q_n=0{,}5\left(1+\sqrt{m}\lg h_0\right).$$

Результаты расчета средней вероятности ошибки различения сигналов с ДДС от 100 до 0 дБ (при $m \to \infty$) показывают, что потенциально достижимая вероятность ошибки ограничивается ДДП.

Отношение сигнал/шум имеет некоторое оптимальное значение hopt, при котором существует минимум средней вероятности ошибки. Расчет показывает, что существующие ПРОМ с ДДП $20 \div 30$ дБ эффективны для традиционных условий, когда огибающая сигнала считается известной, замирания отсутствуют $(m \to \infty)$, а детектирование ограничено тепловым шумом.

Результаты синтеза оптимального алгоритма различения сигналов и анализа его эффективности позволяют сделать ряд выводов относительно принципов построения оптического приемного устройства. Приемник должен реализовать двухканальную нелинейную обработку отсчетов выходного тока ПРОМ. Для такой обработки в схему необходимо включить блок оценки первых четырех моментов ПРВ огибающей оптического сигнала. распределенная система АРУ должна поддерживать уровень сигнала, соответствующий оптимальному отношению сигнал/шум.

При реализации схемы с изменяемым порогом регулировочная характеристика должна иметь логарифмический характер и при больших уровнях сигнала ограничивается половиной ДДП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Визель А.А., Вороненко В.П.* Волоконно-оптические системы связи // Итоги науки и техники. Сер. Связь. – М.: ВИНИТИ, 1990. – Т. 6. – С. 3–72.

2. *Мусьяков М.П., Миценко И.Д., Ванеев Г.Г.* Проблемы ближней лазерной локации: Учебное пособие для втузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 295 с.

3. *Гальярди Р.М., Карп Ш.* Оптическая связь: Пер. с англ. // Под ред. А.Г. Шереметьева. – М.: Связь. – 1978. – 424 с.

SYNTHESIS OF THE OPTIMAL ALGORITHM DISTINGUISHING THE OPTICAL SIGNALS BASED ON THEIR DYNAMIC RANGE

Kiselev V.N.[1], Mishin D.V.[2], Pashintsev, V.P.[3], Chipiga A.F.[3]

([1]JSC «Angstrom», [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [3]Северо-Caucasian Federal University)

Solved problems of statistical analysis of the model of the receiving optical module when detecting a random optical signal and optimal synthesis of algorithm of discernment for a binary communications system. The envelope of the intensity of the optical field is described by the nakagami distribution. Received conditional Poisson distribution of counts of photoelectrons and its asymptotic approximation in the limit of the detection process is thermal noise. In the statistical model of mixture of signal and noise at the output of the reception tion of the optical module takes into account the dynamic range of the optical signal. Synthesis Bayesian discrimination algorithm takes into account the restrictions specified structure of the receiving optical module. Estimated average error probability of distinguishing signals.

УДК 621.396.96

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МНОГОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В MIMO-СИСТЕМАХ СВЯЗИ

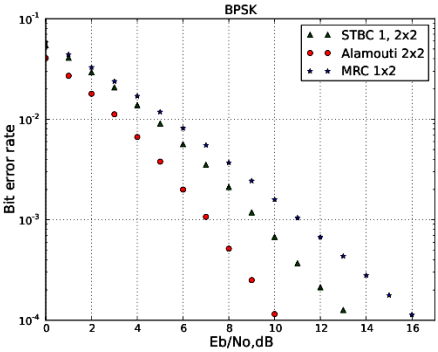
Березовский А.А., Горячкин О.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы MIMO с пространственно-временным кодированием уже широко применяются в беспроводных локальных сетях, в сетях мобильной связи [1]. Рассмотрим стационарную MIMO-систему с M передающими и N приемными антеннами (элементами антенны). Свойства канала, соединяющего m-й передающий элемент с n-м приемным элементом, описывается в общем случае моделью полосового канала с соответствующей импульсной характеристикой $h_{m,n}(\tau)$. Для оптимальной демодуляции сигналов на приеме необходимо знание характеристик MIMO-канала, для чего можно применить технику слепой [2], либо технику тестирования канала испытательным импульсом. В данной работе мы рассмотрим задачу слепой идентификации и выравнивания стационарного MIMO-канала связи с временным рассеянием в подканалах. В системе MIMO с пространственно-временным кодированием информационные символы на передающей стороне разделяются на блоки из Q символов, которые излучаются через M передающих антенн за K временных интервалов. Пространственно-временной код представляют в виде матрицы, в которой строки соответствуют номерам передающих антенн, а столбцы – временным интервалам передачи символов. Мы рассмотрим применение для построения систем связи неортогонального пространственно-временного кода с повторением. Матрица такого кода является циклической

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} s_1 & s_M & \cdots & s_2 \\ s_2 & s_1 & & s_3 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ s_M & s_{M-1} & \cdots & s_1 \end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Скорость этого кода $R=1$. Он позволяет записать модель MIMO-системы в виде многомерной SIMO-системы, описываемой многомерной дискретной циклической сверткой, и использовать соответствующие алгоритмы идентификации. Величину потерь помехоустойчивости при выборе данного способа кодирования можно оценить по графику, полученному в условиях релеевских замираний в подканалах, гауссовском белом шуме и модуляции BPSK.



Таким образом, предлагаемый пространственно-временной код с повторением имеет вполне конкурентные характеристики помехоустойчивости для реализации в современных MIMO-системах связи, и позволяет использовать эффективные алгоритмы слепой оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б.* Технология MIMO: принципы и алгоритмы. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014. – 242 с.

2. *Горячкин О.В.* Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. – М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.

IDENTIFICATION OF MULTIDIMENSIONAL SIGNALS AND ITS APPLICATION IN MIMO-COMMUNICATION SYSTEMS

Berezovsky A.A., Goryachkin O.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract: The MIMO communication system based on the use of redundant spatial encoding, performed by cyclic enumeration of transmission channels, is presented. For this system it is proposed to write a mathematical model of one-dimensional MIMO channel in the form of a multidimensional SIMO channel. The conditions of blind channel identifiability for this model are formulated. For the blind identification of the multi-dimensional SIMO channel, it is proposed to use the cross-relations method in polynomial interpretation.

УДК 004.932

АЛГОРИТМ ПОИСКА И ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТА ИНТЕРЕСА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Куляс О.Л., Лошкарев А.С.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одним из основных этапов в работе автоматизированных систем видеорегистрации является этап выделения объекта интереса на сложном изображении. Применительно к системам контроля транспортных потоков объектами интереса являются номера госрегистрации. Использование алгоритма, при котором объектом интереса является номерная пластина, рассматриваемая как связная замкнутая область переднего плана с заданными размерами, часто приводит к ошибкам. Как показали результаты моделирования необходимость морфологических операций для формирования замкнутой области значительно увеличивает вычислительные затраты.

Предлагаемый алгоритм основан на поиске не номерной пластины, а непосредственно символов госномера, которые затем используются для локализации местоположения номерной пластины на изображении. При этом каждый символ рассматривается как связная область, описываемая вектором 1x4 с размерами и координатами одного из углов прямоугольника вокруг нее.

Алгоритм включает следующие шаги:

1) На бинарном изображении отыскиваются все связные области переднего плана высотой не менее 25 пикселов, отношение ширины к высоте которых лежит в диапазоне 1…2,5. Эти области являются претендентами на области содержащие символы.

2) Дескрипторы всех претендентов в виде векторов 1x4 сохраняются в массив структур.

3) Поскольку найденные области могут содержать посторонние объекты, производится фильтрация найденных претендентов с целью локализации положения номерной пластины. При этом в каче-

стве критериев отнесения претендента к символу являются близость взаимного расположения символов госномера и их количество.

4) После того как найдена цепочка из 8-ми близко расположенных областей-претендентов, формируется прямоугольная маска с размерами несколько превышающими размеры номерной пластины, Эта маска используется для вырезания изображения номерной пластины из исходного полутонового изображения.

Результаты работы алгоритма представлены на рисунке.

Рисунок. Бинарное изображение с выделенными областями-претендентами и локализованная номерная пластина

ALGORITHM FOR SEARCHING AND LOCATING AN OBJECT OF INTEREST IN THE IMAGE

Kulyas O.L., Loshkarev A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The algorithm selects the plate with the image of license plate numbers on a complex background. At the first stage, the candidate areas for symbols are found. At the second stage, a mask is formed to extract the number plate.

Keywords: license plate recognition, image descriptor, region of interest.

УДК 004.932

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОРОГОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Куляс О.Л., Лошкарев А.С.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Пороговая сегментация является одним из способов разделения полутонового изображения на два класса – объекты переднего плана и фон. Основной проблемой при реализации качественного порогового разделения является автоматический выбор порога бинаризации T, который в общем случае можно описать функцией

$$T = T\left(x, y, p(x, y), f\right),$$

где x, y – координаты пикселов изображения f, а $p(x, y)$ – некоторая локальная яркостная характеристика пиксела изображения f с координатами (x, y) [1] .

Бинарное изображение $g(x, y)$, получаемое в результате пороговой обработки, определяется как

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, \text{ если } f(x, y) > T; \\ 0, \text{ если } f(x, y) \le T. \end{cases} \quad (1)$$

Авторами произведена классификация существующих алгоритмов бинаризации и моделирование основных из них с целью оценки применимости для работы с реальными изображениями. Показано, что глобальные алгоритмы (итерационный, Otsu) [1, 2] хорошо работают на изображениях, гистограммы яркости которых содержат две хорошо разделенных моды (рис. 1).

Когда изображение искажено шумами или имеет неравномерный фон его гистограмма размывается и принимает вид одномодовой (рис. 2). В этих случаях следует использовать адаптивные ал-

горитмы, порог в которых вычисляется на основе локальных свойств некоторой окрестности пикселов. В качестве таких свойств чаще всего применяют локальную среднюю яркость m_{xy} и стандартное отклонение D_{xy}. Тогда значение порога для каждого пиксела изображения можно записать в виде

$$T = am_{xy} + bD_{xy}. \qquad (2)$$

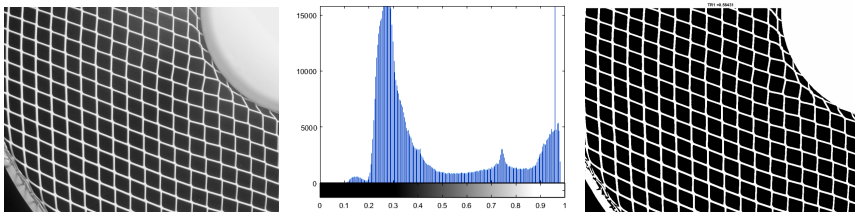


Рис. 1. Глобальная бинаризация по методу Otsu с $T = 0{,}5843$

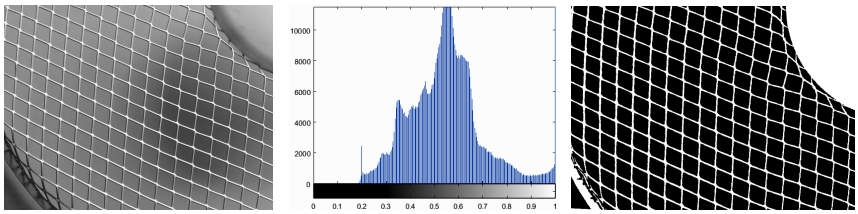


Рис. 2. Адаптивная бинаризация в соответствии с алгоритмом (2)

Размеры локальных областей и коэффициенты a и b в зависимости от вида изображения могут меняться в достаточно широких пределах рекомендуемых авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.

2. *Шапиро Л.* Компьютерное зрение [Текст] / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.

ANALYSIS OF ALGORITHMS OF AUTOMATIC THRESHOLD SEGMENTATION OF IMAGES

Kulyas O.L., Loshkarev A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The results of simulation of threshold segmentation algorithms for real images are considered. The rules for selecting local parameters for adaptive algorithms are formulated.

Keywords: image, threshold segmentation, adaptive algorithms

УДК 004.021

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕГМЕНТАЦИИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Лиманова Н.И., Атаев С.Г.

ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Развитие и доступность средств получения снимков компьютерной томографии (КТ) привела к активным разработкам в области совершенствования систем компьютерной диагностики. Их назначение состоит в осуществлении обработки информации со снимков КТ, её анализа и представления в удобном для восприятия виде.

В настоящее время в медицинских диагностических центрах для выявления границ патологических образований небольших размеров на снимках компьютерной томографии широко применяется контрастирование. Например, компьютерная томография придаточных пазух носа с контрастированием выполняется после обычного (бесконтрастного) сканирования. Это исследование необходимо для дифференцирования образований придаточных пазух – неопластического поражения, кист или полипозных разрастаний. Однако проведение томографического исследования с контрастом имеет ряд противопоказаний (таких, например, как непереносимость йода и почечная недостаточность). Сеанс диагностики с применением контрастирования стоит в среднем на 40 % дороже, и предписания к его использованию выдаются после сеанса обычного томографического сканирования. Таким образом, необходимость дополнительного исследования значительно удорожает процесс диагностики. Статья рассматривает возможность использования разработанного метода обработки информации с использованием сегментации слоев томографических снимков для определения патологических образований. Метод позволяет автоматизировать параметризацию малых анатомических объектов томографических снимков (таких, например, как верхнече-

люстные пазухи), занимающих лишь ограниченную часть снимка, при проведении сеансов томографии без применения контрастирования.

Набор слоёв многослойного томографического снимка позволяет получить исчерпывающие данные о внутреннем строении объекта в пространстве. На сегодняшний день существует ряд методов улучшения визуализации снимков КТ и реконструкции 3D-моделей изучаемого объекта. Это позволяет упростить чтение снимков, но не приводит к автоматизированному подсчету параметров исследуемых объектов. Другие известные методы интерпретируют слои снимка по-отдельности. Примером такого подхода является классификация лёгочных узлов на доброкачественные и злокачественные. Это оправдано в тех случаях, когда выполняется классификация объектов, то есть определяются их качественные признаки принадлежности к какому-либо типу. Для малых объектов, занимающих небольшую часть снимка, указанные выше способы автоматизированной обработки являются неприменимыми. Поэтому в статье предложен метод обработки снимков КТ, определяющий границы исследуемого объекта и проводящий последующий анализ пикселов, относящихся к исследуемой области.

Послойная структура томографических снимков дает возможность специалистам получать большой объем информации об объектах, изображённых на снимках. Для решения задачи параметризации объекта необходима комплексная информация о его строении, для получения которой требуется анализировать в совокупности все слои, содержащие изображение данного объекта. В работе разработанный метод программной параметризации объектов рассмотрен на примере задачи исследования верхнечелюстных пазух. Задача параметризации какого-либо объекта, отображённого на снимке, решается в два этапа: сначала выполняется сегментация слоёв снимка КТ с целью определения границ исследуемого объекта, затем совокупность пикселов, относящихся к исследуемому объекту, анализируется для определения его параметров.

Каждый слой проекции томограммы даёт точное значение плотности ткани, отображаемой соответствующими пикселами на снимке, которые имеют градации цвета от светлых до тёмных оттенков

серого. Чем светлее оттенок серого, тем плотнее ткань в пределах пиксела. Таким образом, информация совокупности вокселов (воксел – аналог пиксела для трёхмерного пространства: область, проецирующая на пиксел томографического среза), относящихся к целевому объекту снимка, даёт исчерпывающие сведения о свойствах объекта в каждой точке пространства и делает возможным их дальнейший анализ и исследование.

Функционирование предложенного метода сегментации снимков и определения границ исследуемого объекта начинается с загрузки в программу пользователем упорядоченных слоёв томографического снимка и выбора объекта путем указания любой точки, принадлежащей исследуемому объекту. В программу необходимо ввести также значение толщины среза слоев и указать граничное значение яркости пикселов, либо указать ограничение по плотности для пикселов объекта, которое послужит критерием проверки принадлежности пикселов выбранному объекту.

В список пикселов на данном слое, относящихся к целевому объекту, добавляется стартовый пиксел. В дальнейшем каждый из пикселов на границе целевой области сравнивается с максимальным значением яркости для пикселов, относящихся к исследуемому объекту. Если его яркость меньше заданного значения, он добавляется к группе пикселов, относящихся к объекту, после чего происходит рассмотрение смежных с ним пикселов. Иначе он добавляется к группе пикселов к границе объекта, и не участвует в дальнейшем расширении области. Результатом работы описанного метода сегментации слоёв снимка КТ является информация о совокупности пикселов на срезах КТ, принадлежащих исследуемому объекту, которая позволяет проводить детальный анализ объекта по снимку и определять его параметры, такие как объём, выборочная несмещенная дисперсия для распределения значений его плотности, послойные площади и объёмы. Программная реализация разработанного метода позволяет также получить гистограмму распределения плотностей исследуемого образования, которая свидетельствует о наличии или отсутствии патологии внутри полости или в исследуемом образовании и о характере выявленной патологии.

Применение разработанного метода позволяет автоматизировать процесс определения патологических образований при помощи сегментации снимков КТ. Визуализация гистограммы плотности даёт сведения о характере тканей исследуемого объекта, а выборочная несмещённая дисперсия плотности свидетельствует о степени неоднородности внутреннего строения объекта.

THE INFORMATION PROCESSING METHOD WITH USE OF COMPUTED TOMOGRAPHY SHOTS SEGMENTATION

Limanova N.I., Ataev S.G.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Nowadays the multi-layer computed tomography (CT) shots with contrast dye, used for detection of small pathological regions are widespread in medical clinics. Although, computed tomography study with contrast dye use has contraindications and is much more expensive for patients than study without use of dye. This article proposes the information processing method based on segmentation of multi-layer CT (without dye use), which allows automated detection of pathological growths. The developed method gives the opportunity to calculate the parameters of small objects (such as maxillary sinuses), which occupy only small part of CT layer, with high accuracy.

УДК 535.42

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ С ДРОБНЫМ ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ ЧЕРЕЗ СЛУЧАЙНУЮ ОПТИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Кириленко М.С., Хонина С.Н., Казанский Н.Л.

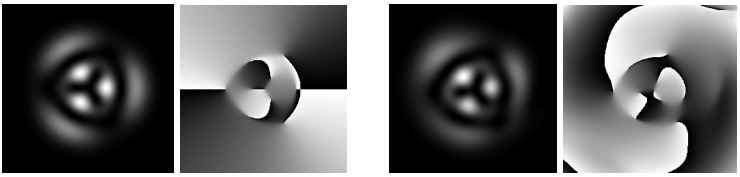
(Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Несмотря на множество проблем передачи данных в свободном пространстве (изменения температуры, дождь, облака, газы, аэрозоли), излучение света всё ещё остаётся исключительным быстрым и ёмким носителем информации. Поэтому большинство усилий сосредоточено на поиске возможностей для преодоления негативных эффектов турбулентной атмосферы.

Особый интерес для мультиплексирования каналов передачи данных представляют вихревые пучки, которые обладают оптическим угловым моментом (ОУМ) и бесконечным числом возможных квантовых состояний [1, 2].

В данной работе рассматривается моделирование распространения лазерных вихревых пучков с дробным орбитальным угловым моментом в случайной среде, основанном на расширенном принципе Гюйгенса-Френеля. Генерация случайного поля с Гауссовой корреляционной функцией и распространение случайного оптического поля осуществляется с помощью быстрого преобразования Фурье [3]. В процессе моделирования главной характеристикой сохранения пучка является топологический заряд вихря, который оценивается с помощью весовых коэффициентов различных порядков, рассчитываемых для анализируемого пучка.

На рисунке представлен результат прохождения суперпозиции двух пучков Лагерра-Гаусса с топологическими зарядами $m_1 = 1$ и $m_2 = -2$ через среду со случайными неоднородностями.



а *б*

Рисунок. Интенсивность и фаза исходного поля (*а*)
и его прохождения через случайную среду (*б*)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Soifer V.A., Korotkova O., Khonina S.N., Shchepakina E.A.* Vortex beams in turbulent media: review // Computer Optics, 40 (5), 2016. – P. 605–624.

2. *Soskin M.S., Vasnetsov M.V.* Singular optics // Prog. Opt, 42, 2011. – P. 219–276.

3. *Porfirev A.P., Kirilenko M.S., Khonina S.N., Skidanov R.V., Soifer V.A.* Study of propagation of vortex beams in aerosol optical medium // Applied Optics, 56 (11), 2017. – P. E8–E15.

SIMULATION OF OPTICAL FRACTIONAL-ORDER VORTEX BEAM TRANSFER THROUGH THE OPTICAL RANDOM MEDIA

Kirilenko M.S., Khonina S.N., Kazanskiy N.L.

(Image Processing Systems Institute – Branch of the Federal Scientific Research Centre «Crystallography and Photonics» of Russian Academy of Sciences)

The simulation of the propagation of laser vortex beams with a fractional orbital angular momentum in a random medium based on the extended Huygens-Fresnel principle was considered in this paper. The superposition of the Laguerre-Gaussian modes transferring through a random media was performed.

УДК 535.42

СРАВНИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОКУСИРОВКИ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Краснов С.В.[1], Харитонов С.И.[2]

([1]Самарский университет,
[2]Институт систем обработки изображений РАН –
филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Фокусировка коротких импульсных пучков [1-7] используется в различных приложениях, таких как лазерная резка, спектроскопия, а также оптическое манипулирование.

Фокальное пятно коротких импульсов значительно уменьшается в соответствии с предыдущими исследованиями сверхкоротких скалярных импульсов [4] и радиально поляризованных пучков [1], что подтверждает вывод о том, что уменьшение фокального пятна обусловлено увеличением полосы пропускания с более высокими частотами, доминирующими в спектре.

Для описания ультракоротких импульсов использовались разные модели. В нескольких работах используется сложная модель источника с потенциалом Герца [1, 2]. В другом подходе используется векторный и скалярный потенциалы для вывода аналитических выражений для полей сверхкоротких лазерных импульсов [3]. Было обнаружено, что суперпозиция различных частотных гауссовых пучков дает тот же результат, что и дифференциальный подход [5].

Однако, было показано, что спектральное распределение Гаусса не может быть применено в случае ультракоротких импульсов [3]. Пуассоновские импульсы, в отличие от гауссовских, позволяют избежать отрицательных частотных составляющих.

В данной работе выполнено сравнительное моделирование фокусировки Гауссова и Пуассонова импульсов фемтосекундной длительности с использованием метода FDTD.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *April A.* Ultrashort, strongly focused laser pulses in free space. In Coherence and Ultrashort Pulse Laser Emission, F.J. Duarte, ed. (InTech, 2010). – P. 355–382.

2. *Wong L.J., Kòrtner F.X., Johnson S.G.* Improved beam waist formula for ultrashort, tightly-focused linearly, radially, and azimuthally polarized laser pulses in free space. Opt. Lett. 39, 2014. – P. 1258–1261.

3. *Li X., Salamin Y.I., Hatsagortsyan K.Z., and Keitel C.H.* Fields of an ultrashort tightly focused laser pulse. J. Opt. Soc. Am. B 33, 2016. – P. 405.

4. *Feng S and Winful H.G.* Spatiotemporal structure of isodiffracting ultrashort electromagnetic pulses. Phys. Rev. E 61, 2000. – P. 862–873.

5. *Porras M.A.* Nonsinusoidal few-cycle pulsed light beams in free space. J. Opt. Soc. Am. B 16, 1999. – P. 1468.

6. *Khonina S.N. and Golub I.* Ultrafast rotating dipole or propeller-shaped patterns: subwavelength shaping of a beam of light on a femtosecond timescale. Opt. Lett. 41, 2016. – P. 1605–1607.

7. *Khonina S.N. and Golub I.* Time behavior of focused vector beams. J. Opt. Soc. Am. A 33, 2016. – P. 1948.

COMPARATIVE MODELING OF FOCUSING OF FEMTOSECOND PULSES

Krasnov S.V. [1]***, Kharitonov S.I.*** [2]

([1]Samara University,
Image Processing Systems Institute – Branch of the Federal
[2]Scientific Research Centre «Crystallography and Photonics»
of Russian Academy of Sciences)

The comparative modeling of focusing of femtosecond Gaussian and Poissonian pulses was presented in this paper. Poissonian shape pulses, as opposed to the Gaussian-shaped ones, allow to avoid negative frequency components.

УДК 519.16+620.178.3+ 735.29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЙ КОНТРОЛИРУЕМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Абульханов С.Р.[1], Казанский Н. Л.[1,2]

([1]Самарский университет,
[2]Институт систем обработки изображений РАН –
филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

При усталостном нагружении оптических волокон и других изделий на фрагментах поверхности изменяется уровень и характер микронеровностей полированной поверхности. Это обстоятельство было зафиксировано многими исследованиями [1-5]. Торец волокна может быть полированным или сформирован сколом, при этом возникает разный характер и уровень микронеровностей.

Мы рассматривали черно-белое растровое изображение размерами 377×1872 пикселя, полученное с увеличением поверхности волокна, позволяющим хорошо различить микронеровности. Нашей задачей является анализ изменений, возникших на изображении поверхности после нагрузки. Оценка прямой разности двух матриц, описывающих изображения до и после нагрузки, оказалась малоинформативной. В докладе предложен метод наглядной визуальной демонстрации разницы между изображениями поверхности до и после нагрузки. Для этого анализа используются последовательности некоторого количества ($k = 5; 6; 7; 8; 9$) пикселей вдоль строки или вдоль столбца. Количество пикселей в такой последовательности мы рассматривали как число информационных символов (k) циклического кода [6]. Выделенные нами последовательности пикселей со свойством цикличности вместо 256-ти градаций использовали 5; 6; 7; 8; 8 различных градаций серого цвета. Таким образом мы рассматривали конечные поля $\mathbb{F}_q$ мощностью $q = 5; 6; 7; 8; 8$. Нами установлено, что для фиксации изменений микронеровностей на изображении шероховатых поверхностей целесообразно использовать циклические коды с наибольшим количеством информационных символов k, но

для нашего изображения исходной поверхности циклов с количеством пикселей, большим 9, не обнаружено.

В докладе будет описана процедура вычисления порождающего полинома для изображения поверхности до и после нагрузки.

В соответствии с работой [6] мы определили циклические коды для фиксированной мощности конечного поля q, а также для различных длин кода и количеств информационных символов k. Оценка количества циклических кодов на выходе канала осуществлялась с помощью решения задачи «о рюкзаке» [6]. Мы отбирали коды на выходе канала, имеющие наибольшее расстояние Хемминга по отношению к одноименным кодам на входе канала одного из рассматриваемых полей $\mathbb{F}_q$. Для визуализации изменений шероховатости поверхности образца нами использовалась графическая реализация полинома, соответствующего циклическому коду, с помощью задачи об упаковке [7] (рис. 1).

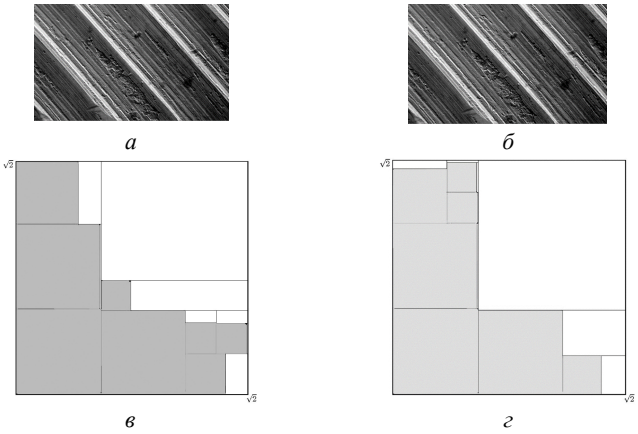


Рисунок. Визуализация циклического кода (8, 4) на одной из последовательности пикселей в строке с элементами поля $\mathbb{F}_q$: *а* – изображение шероховатой поверхности образца до усталостных испытаний; *б* – визуализация циклического кода до испытания усталостного образца; *б* – визуализация циклического кода перед раскрытием усталостной трещины на образце

На рисунке *а*, *б* видно, что визуально изменения шероховатости на поверхности образца не фиксируются. На рисунке *в*, *г* показаны квадраты площадью 2, в которые упаковываются квадраты, каждый

из которых по площади равен одному из нормированных коэффициентов порождающего полинома (приведенных к интервалу [0, 1]). При этом разница рисунков *в* и *г* (в отличие от разницы между рисунков *а* и *б*) очень наглядна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Климонтович Ю.Л.* Энтропия и информация открытых систем // Успехи физических наук. – 1999. – 42. – С. 375–384.

2. *Шанявский А.А.* Масштабные уровни процессов усталости металлов. Физическая мезомеханика. – 2014. – 17 (6). – С. 87–89.

3. *Gupta S, Ray A., Keller E.* Symbolic time series analysis of ultrasonic data for early detection of fatigue damage // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2007. – 21. – P. 866–884.

4. *Sharan Singh D, Gupta S, Ray A.* Symbolic dynamic analysis of surface deformation during fatigue crack initiation // Meas. Sci. Technol. – 2010. – 21. – P. 043003 (7pp).

5. *Jha D.K., Singh D.S., Gupta S., Ray A.* Fractal analysis of crack initiation in polycrystalline alloys using surface interferometry // Europhysics Letters. – 2012. – 98. – P. 44006 (pp6).

6. *Зяблицева Л.В., Корабельщикова С.Ю., Чесноков А.И.* Линейные коды, исправляющие ошибки, и алгоритмы их подсчёта // Эвристические алгоритмы и распределённые вычисления, 2014. – 1 (3). – С. 47–59.

7. *Kazanskiy N.L., Kuznetsov M.G.* The necessary bound of rectangle's square for packing into this any system of five and more than five finite quantity squares with total area 1 // Procedia Engineering, 2017. – Vol. 201. – P. 801–805.

THE USING CYCLIC CODES FOR THE ANALYSIS OF CHANGES ON THE MONITORED IMAGE

Abulkhanov S.R.[1], Kazanskyi N.L.[1,2]

([1]Samara National Research University,
[2] Image Processing Systems Institute of RAS –
Branch of the FSRC «Crystallography and Photonics» RAS)

УДК 520.2.062 + 520.2.03

ЛАЗЕРНО-ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ И ЮСТИРОВКИ СОСТАВНОГО ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА ТЕЛЕСКОПА

Лукин А.В.[1], Мельников А.Н.[1], Скочилов А.Ф.[1], Пышнов В.Н.[2]

([1]АО «НПО «ГИПО»,
[2]Астрокосмический центр ФИ РАН)

Параболическое составное главное зеркало (СГЗ) телескопа «Миллиметрон» (уравнение рабочей поверхности СГЗ $y^2 = 9600x$, диаметр 10 м) состоит из четырёх типов отдельных панелей, каждая из которых устанавливается на подвижных опорах-актуаторах. Разработка конструкции панелей и технологий их прецизионного изготовления из высокомодульного цианат-эфирного углепластика в течение ряда лет выполняется в Астрокосмическом центре Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (АКЦ ФИАН).

Следует отметить, что вследствие чрезвычайно высокой асферичности и крутизны формы СГЗ телескопа «Миллиметрон» для осуществления «полноразмерного» лазерно-голографического контроля [1] панелей его крайних ярусов необходимы слишком большие голограммы. Так, например, для контроля панелей 4-го яруса потребовалась бы голограмма двухметрового светового диаметра, изготовление которой в настоящее время практически невозможно. В данной статье предлагается альтернативное техническое решение этой проблемы, а именно, контролировать точность взаиморасположения панелей СГЗ с использованием лишь отдельных сравнительно узких зон этих панелей вблизи их краёв, что позволит осуществить этот контроль сборки и юстировки с помощью синтезированных голограмм существенно меньшего размера.

Предлагается при сборке и юстировке СГЗ для контроля процесса позиционирования панелей каждого яруса использовать отдель-

ную отражательную осевую синтезированную голограмму. Всего их потребуется четыре.

Представляется целесообразным на начальных этапах процессов сборки и юстировки СГЗ телескопа, когда отклонения от расчётных значений фактического положения образующих его рабочую поверхность панелей наиболее велики, контроль осуществлять в дальнем инфракрасном спектральном диапазоне. Подходящие для этих целей лазеры и системы регистрации инфракрасных изображений имеются, а отражательные бинарные синтезированные голограммы можно без особых трудностей изготовить на любую заданную лазерную длину волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ларионов Н.П., Лукин А.В., Мустафин К.С.* Искусственная голограмма как оптический компенсатор // Оптика и спектроскопия. – 1972. – Т. 32. – Вып. 2. – С. 396–399.

LASER-HOLOGRAPHIC CONTROL OF ASSEMBLING AND ADJUSTMENT PROCESSES OF THE MAIN MIRROR OF THE TELESCOPE

Lukin A.V.[1], Melnikov A.N.[1], Skochilov A.F.[1], Pyshnov V.N.[2]

([1]JSC «NPO «GIPO», [2] Astro Space Center of the RAS)

Based on the use of axial synthesized holograms and coherent properties of laser radiation sources, it is proposed to control the assembly and alignment of elements of the composite mirrors of telescopes. Using the example of the composite main mirror of the «Millimetron» telescope, the carbon-plastic panels of which form four ring-shaped layers, the possibility of detecting a deviation from the set position of each of the 24 identical panels of one level is considered, and also sign and the magnitude of errors in the interposition of panels of neighboring tiers near the places of their «dockings».

СЕКЦИЯ 4

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, КОНТРОЛЬ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

УДК 621.372.8

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ, ПРОЛОЖЕННЫХ В ОБОЧИНУ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Воронков А.А., Андреев Р.В.

(ФГОБУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современная технология строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) с оптическим кабелем связи (ОКС), проложенным минитраншейным способом в обочину автомобильных дорог регламентируется международным стандартом международного союза электросвязи в области телекоммуникаций МСЭ-Т (ITU-T L.153/L.48. Mini-trench installation technique). Однако при использовании этой технологии в каждой конкретной стране разработан и применяется свой собственный стандарт, учитывающий специфику строительства ВОЛП по данной технологии на территории конкретной страны [1].

Применение минитраншейной технологии прокладки ОКС в обочину автомобильных дорог на территории Российской Федерации требует учета специфики (так же, как это учитывается и при применении данной технологии за рубежом в каждой конкретной стране):

- климатических условий России (более суровый климат, больший диапазон воздействующих температур, большая глубина промерзания грунта);

- особенностей эксплуатации Российских автодорог, в том числе специфики и сроков выполнения ремонта дорожного покрытия, проведения капитального ремонта автодорог.

При этом необходимо учитывать, что в процессе технической эксплуатации транспортных многоканальных коммуникаций (ТМК), проложенных в обочину автомобильных дорог, входящие в состав данной системы компоненты подвергаются механическим, температурным и геофизическим воздействиям. При этом возможны повреждения ТМК и проложенного оптического кабеля, нарушение герметичности ТМК приводит к заполнению трубопроводов водой, грязью, заиливанию на значительных участках, что лишает ВОЛП всех преимуществ в виде возможности дополнительной прокладки или замены ОКС [2].

Своевременное обнаружение и устранение негерметичности ТМК позволяет избежать неблагоприятных последствий и снизить расходы на техническую эксплуатацию ВОЛП.

На практике же техническое обслуживание ТМК зачастую не осуществляется, а состояние трубопроводов выявляется при выполнении работ с ОК, что существенно снижает надежность функционирования ВОЛП.

Для повышения надежности функционирования ОКС, проложенных в ТМК предлагается способ контроля негерметичности трубопроводов. Реализация данного метода предполагает мониторинг герметичности трубопроводов с использованием системы контроля герметичности стыков ТМК, закачки в трубопроводы воздуха и контроль герметичности трубопроводов на протяженных участках. Это позволит повысить надежность и качество эксплуатации ВОЛП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по приёмке в эксплуатацию линейных сооружений ВОЛП в ПВП кабелеводах и составлению исполнительной документации на сдаваемые линейные сооружения. – М., 2016. – 38 с.

2. *Киушов А.В.* Технология ЗПТ. Теория и практика.- Lightwave RE, 2015. – № 3. – С. 36–41.

УДК 621.311 : 621.315

СПЕЦИФИКА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Бурдин В.А., Нижгородов А.О., Никулина Т.Г.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе рассматриваются основные особенности и проблемы строительства и эксплуатации волоконно-оптических кабельных линий нефтепроводной структуры Западной Сибири. Сложные геологические и климатические условия, а также специфика строительства трубопроводной системы не могли не отразится на реализации строительства технологических волоконно-оптических кабельных линий. Суровые природные условия не только предъявляют специфические требования к используемой технике, кабелю и кабельной арматуре, но и требуют особых подходов в вопросах выполнения санитарных норм и обеспечения максимально возможного комфорта людей. Сложнейшие геологические условия, отсутствие инфраструктуры, перепад температур ставит задачи внедрения новых технологий организации строительства волоконно-оптических линий связи для последующего достижения максимально возможного срока эксплуатации кабелей связи. Необходимость выполнения работ в экстремальных условиях (низкая отрицательная температура, высокая скорость ветра и при этом работы на высоте на опорах) приводит к ужесточению требований ко всем составляющим технологического процесса: специфические требования предъявляются к технике и оборудованию, повышаются требования к кабельной продукции и кабельной арматуре, ужесточаются допуски на выполнение технологических операций, существенно возрастает роль человеческого фактора, значительно увеличивается цена ошибки. Все это определило особую роль контроля качества выполнения работ. В докладе показано, что одной из

основных проблем при строительстве и эксплуатации волоконно-оптических линий передачи в экстремальных условиях Севера является отсутствие относительно недорогих полевых средств измерений для оценивания состояния оптического кабеля. Это не позволяет эффективно контролировать качество выполнения работ по прокладке и монтажу оптического кабеля в условиях, когда вероятность ошибки велика. Подобные средства измерений могут быть реализованы на основе BOTDR или POTDR. И в том и в другом случае требуется разработка недорого полевого прибора. При этом, POTDR потенциально позволяет создать более универсальный прибор.

SPECIFICITY OF INSTALLATION AND EXPLOITATION OF FIBER-OPTIC CABLE COMMUNICATION LINES UNDER THE CONDITIONS OF THE NORTH OF RUSSIA

Burdin V.A., Nizhgorodov A.O., Nikulina T.G.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper considers the main features and problems of installation and operation of fiber-optic cable links of the oil-transmission structures of north of Russia. The necessity to perform works under extreme conditions has determined the special role of quality control. In the paper shows that one of the main problems of the employment of fiber-optic links in the extreme conditions of the North is the lack of relatively inexpensive field instruments for estimating the suitability of the optical cable. Such measuring instruments can be implemented on the basis of BOTDR or POTDR. In both cases, development of an inexpensive field device is required. But POTDR potentially allows you to create a more versatile device.

УДК 681.7.068.3:536.02

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КРИВИЗНЫ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ПО ДЛИНЕ КАБЕЛЯ

Бурдин В.А., Нижгородов А.О., Никулина Т.Г.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

До недавнего времени измерения распределений кривизны оптических волокон в модульных трубках в строительной длине оптического кабеля представляли интерес как с точки зрения исследования потерь в оптических волокнах в кабеле, так и с точки зрения оценивания качества изготовления строительной длины кабеля в целом. И если с внедрением оптических волокон нечувствительных к изгибам для исследований затухания оптических волокон в кабеле эта задача стала неактуальна, то для оценивания качества кабеля ее актуальность возросла. Во-первых, не потеряла актуальности задача определения механических напряжений в оптическом волокне на изгибах. А во-вторых, с внедрением пространственного мультиплексирования для кабелей с маломодовыми и многомодовыми волокнами требуется контроль межмодовых связей, одна из составляющих которых определяется степенью равномерности распределений кривизны оптических волокон в кабеле на строительной длине.

В данной работе рассматривается метод [1], базирующийся на измерениях поляризационных характеристик обратного рассеяния оптического волокна при положительной и низкой отрицательной температурах. Метод применим для всех типов одномодовых оптических волокон. В докладе представлены результаты апробации метода и приводятся оценки его адекватности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурдин В.А.* Способ измерения избыточной длины оптического волокна в оптическом модуле оптического кабеля в процессе климатических испытаний// RU 2562141, БИ №25, 2015.

METHOD OF MEASUREMENT OF OPTICAL FIBER CURVATURE DISTRIBUTION ALONG CABLE LENGTH

Burdin V.A., Nizhgorodov A.O., Nikulina T.G.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper, we consider the method, based on measurements of the polarization characteristics of backscattering of an optical fiber at positive and low negative temperatures. The method is applicable for all types of single-mode optical fibers. The report presents the results of approbation of the method and provides an assessment of its adequacy.

УДК 621.315

ТРАССОПОИСКОВЫЙ МЕТОД ДЛЯ ПОЛНОСТЬЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Бурдин В.А., Дашков М.В., Дмитриев Е.В.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одним из важных преимуществ применения оптических кабелей на сетях связи является возможность использования полностью диэлектрических конструкций кабелей. Однако отсутствие в кабеле металлических элементов исключает применение для поиска трассы подземных кабелей и локализации повреждений оптических волокон в них индукционного метода, нашедшего широкое применение благодаря своей простоте и точности [1]. Отсутствие методов локализации диэлектрических кабелей существенно усложняет эксплуатацию кабельных сооружений без металлических элементов, в частности, полностью диэлектрических оптических кабелей в подземных защитных полимерных трубопроводах. тезисов доклада.

В данной работе предлагается способ, базирующийся на совместном использовании локального акустического воздействия и фазочувствительного рефлектометра, высокая чувствительность которого к акустическим воздействиям на оптическое волокно позволяет существенно снизить мощность источника акустических воздействий и сделать его малогабаритным. Совмещение традиционной и фазочувствительной рефлектометрии, рабочего места, оборудованного оптическими рефлектометрами, соединенного каналом связи с малогабаритным источником акустических колебаний, позволяет реализовать эффективный поиск трассы прокладки и локализацию повреждений оптических волокон для полностью диэлектрического кабеля. В докладе представлено описание способа и результаты его апробации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гроднев И.И. и др.* Линии связи// Радио и связь, 1995. – 489 с.

METHOD OF TRACE LOCALIZATION FOR A FULLY DIELECTRIC OPTICAL CABLE

Burdin V.A., Dashkov M.V., Dmitriev E.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper, we propose a method based on the combined use of a local acoustic influence and a phase-sensitive optical time domain reflectometer, whose high sensitivity to acoustic influences on the optical fiber makes it possible to significantly reduce the power of the acoustic source and make it smaller. The combination of traditional and phase-sensitive reflectometry and connection by a communication channel a optical reflectometers of workstation to source of acoustic oscillations, makes it possible to realize an effective search for the cable trace and optical fiber damages for a fully dielectric cable. The present paper describes the method and the results of its approbation.

УДК 681.7.068.3:536.02

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КРИВИЗНЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В КАБЕЛЯХ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Бурдин В.А., Бурдин А.В., Казаков В.С., Нижгородов А.О., Хомченко А.С.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В предлагаемой работе представлены результаты исследований статистических характеристик распределений кривизны оптического волокна на строительной длине кабеля модульной конструкции. Другими словами, распределений кривизны оптического волокна в модульных трубках на строитель-ной длине кабеля. Измерения распределений кривизны оптического волокна на строительной длине кабеля выполнялись в процессе климатических испытаний строительных длин кабеля модульной конструкции косвенными методами, представленными в работах [1-3]. В докладе описываются условия испытаний строительной длины кабеля, методы измерений и алгоритмы расчета распределения избыточной длины оптического волокна по данным, полученным в процессе испытаний. Приводятся полученные оценки среднего и среднеквадратического отклонения, показателя Херста. Представлены результаты проверки гипотез о законе распределения, результаты вычислений автокорреляционных функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Burdin V.A*. Methods of optical fiber curvature measurement on loose-tube opti-cal cable delivery length// SPIE Proceedings 9807, 2016. – P. 98071A-1 – 98071A-7.

2. *Бурдин В.А.* Способ измерения избыточной длины оптического волокна в оптическом модуле оптического кабеля в процессе климатических испытаний// RU 2562141, БИ № 25, 2015.

3. *Burdin V.A.* The method for a measurement of the excess fiber length on the ca-ble delivery length by using the polarization reflectometry/ / SPIE Proceedings 10342, 2017. – P. 10342-1E -1 – 10342-1E -8.

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF CURVATURE DISTRIBUTIONS OF OPTICAL FIBERS IN LOOSE-TUBE OPTICAL CABLES

Burdin V.A., Bourdine A.V., Kazakov B.S., Nizhgorodov A.O., Chomchenko A.C.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of investigation of the statistical characteristics of optical fiber curvature distributions on the delivery length of a loose-tube cable. Measurements of the distribution of the optical fiber curvature along the cable length were carried out by indirect methods in the process of climatic testing of the cable delivery length. The paper describes the test conditions, measurement methods and algorithms for calculating the distribution of the excess fiber length of the optical fiber from the data obtained during the test. The obtained estimates of the mean and standard deviation, the Hurst index, are given. The results of testing hypotheses on the distribution law, the results of calculations of autocorrelation functions are presented.

УДК 681.7.068

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА И СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТОРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ФЕРРУЛ КОННЕКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Пашин С.С.[1], Гиниатуллина А.М.[2], Жуков А.Е.[1], Бурдин А.В.[1]

([1]ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики), [2]ФГБОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния загрязнения торцевой поверхности феррул волоконно-оптических коннекторов на параметры передачи разъемного соединения – вносимые потери и коэффициент отражения. За основу была использована ранее разработанная методика, подробно изложенная в [1, 2]. В этих же публикациях было продемонстрировано отсутствие прямой зависимости указанных параметров волоконно-оптических разъемных соединений от суммарной площади загрязнения в пределах той или иной выделенной зоны торца феррула коннектора. Здесь также тестировались «протяженные» ОВ – катушки длинной не менее 400 м (для возможности проведения измерений поисленных параметров передачи соединения с помощью оптического рефлектометра обратного рассеяния (OTDR)), оконцованные пигтейлами соответствующего типа. Оценка степени и площади загрязнения торцевой поверхности феррула перед выполнением разъемного соединения реализовывалась с помощью комплекта видеодиагностики Westover, в состав которого входят видеощуп FBP P-5000 и программное обеспечение FiberCheck2д , ориентированное на проведение теста чистоты феррула на уровне «Pass/Fail» в соответствие с ратифицированным стандартом IEC 61300-3-35. В данной работе приведены результаты сопоставления полученных в ходе проведенных

измерений данных, сгруппированные по следующим признакам: 1) близкие значения общей площади загрязнения: потери / тесты зон «АВС»; 2) близкие значения вносимых потерь: площадь загрязнения / тесты зон «АВС»; 3) близкие значения коэффициента отражения: площадь загрязнения / тесты зон «АВС».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурдин А.В., Гиниатулина А.М., Пашин С.С., Жуков А.Е., Хоркуш В.В.* Исследование влияния площади загрязнения торцевой поверхности феррул коннектора на параметры передачи разъемного соединения оптических волокон XIV Международная НК «Оптические технологии в телекоммуникациях-2016», г. Самара, 22–24 ноября 2016. С. 122 –123.

2. *Гиниатуллина А.М., Пашин С.С., Хоркуш В.В.* Исследование влияния площади загрязнения торцевой поверхности феррул коннектора на коэффициент отражения однотипных разъемных соединений оптических волокон // IV Международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2017», г. Казань, КНИТУ-КАИ, 12 – 14 апреля 2017. С. 425 – 429.

RESEARCH OF FIBER OPTIC CONNECTOR FERRULE AREA CONTAMINATION FORM AND ORDER INFLUENCE ON THE CONNECTION PARAMETERS

Pashin S.S.[1], Giniatullina A.M.[2], Zhukov A.E.[1], Bourdine A.V.[1]

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
[2]Samara University)

This work is concerned with research of fiber optic connector ferrule area contamination (its form and order) influence on the optical fiber connection transmission parameters – insertion loss and reflection.

УДК 621.315.2

ИСПЫТАНИЕ СТОЙКОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН КОМБИНИРОВАННОГО КАБЕЛЯ К РАСТЯГИВАЮЩЕЙ И РАЗДАВЛИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКАМ

Андреев В.А., Гаврюшин С.А., Попов Б.В., Попов В.Б.

(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Идея разработки кабеля связи, объединяющего в своей конструкции цепи различного назначения не нова. Она реализуется в производстве комбинированных кабелей ведущими мировыми производителями кабельных изделий. В ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания» разработан и выпускается по техническим условиям ТУ 3587-010-43925010-2013 комбинированный кабель местной связи с оптическими волокнами (ОВ) и медными жилами. Кабели связи вообще и комбинированные в частности, применяемые на объектах технологической связи газовой, нефтяной, перерабатывающей промышленности, а также на объектах других отраслей должный обладать высокой надежностью и стойкостью к механическим нагрузкам, возникающих при их прокладке.

В работе рассматриваются вопросы стойкости ОВ комбинированного кабеля марки КСППг-1х4х1,2+12ОВ-2,7 к воздействию растягивающих и раздавливающих нагрузок, которые неизбежно возникают при их прокладке. Испытания проводились в заводских условиях. Допустимая растягивающая нагрузка кабеля определяется, во первых, материалами силовых элементов – их модулем упругости и сечением, во-вторых окном растяжения-сжатия–допустимым диапазоном удлинения и сжатия оптического кабеля, в котором коэффициент затухания ОВ кабеля не изменяется. В пределах окна растяжения-сжатия ОВ не испытывают механических воздействий, благодаря чему и сохраняется неизменным коэффициент затухания. Обычно конструкции кабелей связи допускают удлинение-сжатие 0,2–0,6 %. Благодаря наличию окна растяжения-сжатия кабель может работать при низкой темпера-

туре, когда происходит сжатие кабеля, и выдерживать растягивающие нагрузки, которые сопровождаются удлинением кабеля [1,2].

В исследуемом комбинированном кабеле имеются три оптических модуля, в каждом из которых расположены по четыре ОВ (SMF-28 Ultra), скрученных вместе с изолированными медными жилами вокруг силового элемента. Оптические волокно на испытуемом образце кабеля соединялись шлейфом общей длиной 696 м. Стойкость кабеля к растягивающей и раздавливающей нагрузкам проверялась по результатам изменения затухания ОВ. Результаты проведенных испытаний будут представлены в докладе.

Анализ результатов испытаний, позволяет сделать вывод о том, что в ОВ оптических модулей в комбинированном кабеле местной связи при допустимых значениях растягивающей и раздавливающей нагрузок приращение затухания не превышает допустимых значение 0,05 дБ и находится в пределах погрешности измерения применяемого рефлектометра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сандалов А.* Оценка качества оптических кабелей. Затухание и относительное удлинение волокна // Первая миля, 2015. – № 3. – С. 68–73.

2. *Марьенков А.А., Гринштейн М.Л., Каменская Е.А., Деков В.Н.* Измерения удлинения оптического волокна при испытании оптического кабеля на стойкость к растягивающей нагрузке // Lightwave RE, 2003. – № 2. – С. 38–41.

TESTING OF RESISTANCE OF OPTICAL FIBERS OF THE COMBINED CABLE TO THE TENSILE AND CRUSHING LOADS

Andreev V. A., Gavryushin S.A., Popov B.V., Popov V.B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines the resistance of optical fibers of the combined cable to the tensile and crushing loads.

СЕКЦИЯ 5

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

УДК 621.317:615.471

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Можгинский В.Л.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В учебной лаборатории «Многоканальные телекоммуникационные системы» Института радиоэлектроники и телекоммуникаций КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева имеются четыре оптических мультиплексора синхронной цифровой иерархии уровня STM1 (два SMS150 производства фирмы NEC и два СММ155 производства ОАО «Морион»). Для обучения студентов работе с мультиплексорами созданы лабораторные комплексы и разработаны лабораторные практикумы.

Лабораторный комплекс для изучения оптического мультиплексора SMS150 содержит:

- две стойки ETS V, в которые установлены полки SMS-150V;
- две кроссовые стойки EN8778, в которые установлены кроссовые панели EN8778JA, EN8778GD и EN8778DA;
- оптический кабель, соединяющий две кроссовые стойки EN8778, расположенные в разных концах учебной лаборатории.
- анализатор потоков Victor2042 для проведения измерений.

Кроссовые панели EN8778JA представляют собой по сути магистральный оптический кросс и предназначены для концевой заделки оптических магистральных кабелей (сварные соединения оптических волокон магистральных кабелей с оптическими шнурами типа «pigtail», подключение оптического кабеля емкостью до 48 оп-

тических волокон). Кроссовые панели EN8778GD представляют собой станционный оптический кросс и предназначены для коммутации оптических шнуров типа «pigtail» от панелей кроссовых EN8778JA и оптических шнуров типа «patchcord» (10 адаптеров оптических соединителей типа FC/FC). Кроссовые панели EN8778DA представляют собой станционный электрический кросс и предназначены для концевой заделки, соединения и коммутации цепей симметричных кабелей для передачи цифровых сигналов со скоростью 2 Мбит/с (подключение до 16 пар проводников с диаметром жилы 0,4мм (накруткой)).

В полках SMS-150V в области интерфейсов составляющих сигналов устанавливаются различные интерфейсные блоки. Блок 2M(соединён с кроссовыми панелями EN8778DA) принимает двадцать один сигнал 2048 Кбит/с и мультиплексирует их в один сигнал TUG-3. При демультиплексировании происходит обратное обращение этого процесса. Блоки STM1o (оптический интерфейс STM-1 соединён с кроссовыми панелями EN8778GD) группируются вместе для обеспечения резервирования 1+1. Если один из работающих блоков выходит из строя, то сигнал STM-1, обрабатываемый этим блоком, направляется на резервный блок. В оптических блоках используется функция автоматического гашения лазера (ALS), которая отключает выходной оптический сигнал блока при выявлении разрыва в линии передачи.

Лабораторный комплекс для изучения оптического мультиплексора СММ155 размещён в телекоммуникационном шкафу и содержит:

- оптический мультиплексор СММ-11;
- оптический мультиплексор СММ-01;
- электрический и оптический кроссы;
- анализатор потоков Victor2042 для проведения измерений.

Блоки СММ-11 и СММ-01 в составе аппаратуры СММ-155 используются для построения транспортных сетей на основе принципов синхронной цифровой иерархии по волоконно-оптическим кабелям на любых участках ВСС РФ от магистральных до местных сетей в качестве синхронного транспортного модуля первого уровня STM-1.

THE OPTICAL SYSTEM OF THE SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY IN LABORATORY

Mozhginskiy V.L.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Considered the equipment of the training laboratory «Multichannel telecommunication systems» equipment optical systems of synchronous digital hierarchy level STM1

УДК 159.9.072

СОВРЕМЕННЫЕ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ МОТИВАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКИХ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Матвеева Т.Ю., Осадчий И.С., Хуснутдинова М.Н.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Инновационный характер процесса образования в современном обществе ориентирован на компетентностный подход, который определяет не только постановку целей, но и формирует перечень необходимых качеств и характеристик для осуществления эффективной профессиональной деятельности и поведения специалиста. Проблемой большинства выпускников вузов остается неумение эффективно применять полученные знания и навыки в решении поставленных задач, что может свидетельствовать о не достижении уровня компетентности, необходимого для успешного вхождения в профессиональную деятельность. Исследованию различных аспектов компетентностного подхода в образовании посвящены работы В.А. Болотова, Дж. Равена, А.В. Хуторского и др. Процесс обучения необходимо организовать так, чтобы обеспечить готовность выпускника находить решения профессиональных задач и обеспечивать требуемые стандарты профессионального поведения в реальной деятельности. Особое место в системе подготовки специалистов должны занимать современные психолого-педагогические технологии, которые являются действенными составляющими инновационного процесса в образовании.

Среди современных психолого-педагогических технологий можно выделить как методики интерактивного обучения, так и методики ускоренного обучения (групповое обучение, обучающие де-

ловые игры и т.д.). Важное место в структуре психолого-педагогических технологий занимают модели обучающих игр: лексические (направленные на развитие коммуникативных компетенций), сюжетно-ролевые, специальные тренинги, а также имитационные игры (позволяющие сформировать определенные профессиональные навыки). Психолого-педагогические технологии способствуют повышению мотивации у студентов, а, следовательно, влияют и на качество обучения.

Проведенное исследование (2016 год) позволило не только изучить профессиональную деятельность специалистов по оптическим системам, а также разработать и реализовать интерактивные образовательные технологии (как средство формирования коммуникативной компетенции) (Матвеева Т.Ю., Осадчий И.С., Хуснутдинова М.Н.). Исследования (2017 год) подтверждают, что эффективность и успешность решения профессиональных задач будущих специалистов в области оптико-волоконных систем связи зависит от мотивационных компонентов, среди которых мотивы, установки и ценностное отношение к труду.

В деятельности преподавателей высшей школы все более актуальными являются подходы к реализации эффективных методов обучения, обеспечивающих качество подготовки будущих специалистов. Одним из важных признаков активных методов является мотивация, оказывающая не только эмоциональное воздействие на студентов, но и вызывающая и поддерживающая профессиональный интерес, способствующий формированию профессиональных и общепрофессиональных компетенций.

В рамках учебного курса «Психологии» и деятельности «Школы лидерства» в 2016/17 учебном году проведено исследование среди студентов направления «оптические системы и связи» по изучению мотивационных аспектов, социально-психологических установок, уровня притязаний, а также их влиянию на успешность решения профессиональных задач.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Проведенный корреляционный анализ позволил выявить два центральных компонента в мотивационной структуре у студентов –

это мотивация к избеганию неудач (44,4 %) и низкая установка на труд (37,4 %):

• мотивация к избеганию неудач у студентов определяет успешность решения, как интеллектуальных, так и профессиональных задач.

Повышение показателей мотивации к избеганию неудач снижает интерес у студентов ($\rho \le 0,01$) к процессу обучения, которые начинают плохо ориентироваться в выборе оптимальных для решения профессиональных задач ($\rho \le 0,01$). Студенты с высокой мотивацией к избеганию неудач стараются меньше рисковать ($\rho \le 0,01$), у них низкая установка на привлекательность труда ($\rho \le 0,01$), низкая результативность ($\rho \le 0,01$).

3. Установка на труд не оказывает влияния на успешность решения профессиональных задач, но влияет на мотивационные компоненты в структуре личности студента:

• по результатам исследования были выделены две группы: студенты с высокой ориентацией на труд (5,9 %) и студенты, для которых труд не является привлекательным (37,4 %).

4. 47,8 % студентов успешно решают задачи среднего уровня сложности, не стремясь улучшить свои достижения и перейти к более трудным целям.

5. 95,5 % обучающихся имеют дисгармонию в биполярной шкале «труд-свобода»: для студентов труд – это непривлекательно, а свобода – это ценность:

• процесс обучения и профессиональной подготовки требует осознания студентами ценности труда.

6. Социально-психологическая установка на «процесс» определяет, насколько процессуальная направленность на профессиональную деятельность препятствует результативности:

• студенты ориентированы на процесс будущей деятельности, на содержание процесса, но избегают рутинной работы, а результаты достижения зависят от возможных препятствий и неудач в процессе профессиональной подготовки.

Проведенное исследование и его результаты были учтены при разработке сюжетно-ролевых игр, специальных тренингов, а также

имитационных игр (позволяют сформировать определенные профессиональные навыки).

Разработана программа реализации психолого-педагогических образовательных технологий (на базе «Школы лидерства» КНИТУ-КАИ), направленная на повышение мотивации студентов к успеху и снижение мотивации к избеганию неудач.

Данная программа будет способствовать достижению уровня компетентности специалистов в области оптико-волоконных систем связи, необходимого для успешного вхождения в профессиональную деятельность.

MODERN PSYCHO-PEDAGOGICAL TECHNOLOGIES AS A MEANS OF FORMING MOTIVATION IN TRAINING SPECIALISTS IN THE FIELD OF OPTICAL AND FIBER-OPTIC COMMUNICATION SYSTEMS

Matveeva T.Yu., Osadchiy I.S., Khusnutdinova M.N.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The issues of training specialists in the field of optical communication in the part of forming motivational components of professional competences (including motives-installations, attitudes to work, etc.) are considered. Psychological and pedagogical technologies are proposed as a tool of formation.

УДК 372.862

ПРОМЫШЛЕННОЕ ИЗДЕЛИЕ КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ СТУДЕНТОВ

Идиатуллов З.Р.

(ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Специалисты, участвующие в проектировании изделий, сталкиваются с проблемой соотношения между количеством знаний необходимых для создания объекта и физическими возможностями их освоения. В пределе, для исчерпывающе полного описания, необходимо бесконечно большое количество знаний. Это невозможно осуществить физически, и не имеет практической ценности во времени, так как время работы над проектом также будет стремиться к бесконечности. Поэтому на практике при анализе и сравнении вариантов изделий существует желание ограничиться таким количеством знаний, которое позволит осуществить проектирование при минимальных или приемлемых затратах времени.

При подготовке и проведении практических занятий у студентов преподаватель сталкивается с аналогичной проблемой. С одной стороны количество наименований промышленных изделий, их видов составляет значительную величину. С другой стороны, студенты имеют ограниченное время учебного занятия для анализа с целью выбора наилучшего промышленного изделия при решении конкретных задач.

Многие решения по изделию не могут приниматься только лишь на основе выполнения требований технического задания, поскольку не будут эффективно учитывать кооперативные возможности всех лиц, заинтересованных в созданиях и реализации планов, связанных с изделием.

В докладе рассматриваются возможности достижение планируемого качества, которые закладываются в чертежах и других кон-

структорских документах. Рассматривается общий подход к формированию знаний об изделии в виде системы дискретных критериев, образующих векторное поле решений. Представлены образцы графической интерпретации системы критериев. Рассмотрены принципы построения системы критериев для анализа качества документов. Рассматриваются вопросы индивидуального анализа решений с помощью высказывания суждений и построения балльных шкал количественных оценок этих суждений. Предложен спектральный подход к расстановке приоритетов критериев. Показана целесообразность использования закономерностей гармонических рядов для их расстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Идиатуллов З.Р.* Промышленное изделие как объект исследования на практических занятиях менеджеров и экономистов // Международная НПК АКТО-2014. Казань, 2014. – Т. 3. – С. 481–483.

INDUSTRIAL PRODUCT AS AN OBJECT OF STUDY FOR PRACTICAL TRAINING OF STUDENTS

Idiatullov Z.R.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Students as designers have the problem of the correlation between the amount of knowledge needed to create an object and the physical capabilities of their development. For a complete description of the object, you need an infinitely large amount of knowledge. This can not be done physically, and has no practical value, since the time of work on the project will be endless. Therefore, in practice, when analyzing and comparing product variants, designers have a desire to limit themselves to such a quantity of knowledge that will allow them to design for a minimum or acceptable time.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Росляков А.В. Анализ энергопотребления сети PON 7
Гизатулин А.Р. Применение whispering gallery modes в оптических коммуникациях 12
Гладких А.А., Мишин Д.В., Чилихин Н.Ю. Повышение эффективности оптических систем передачи данных с применением лексикографического декодирования полярных кодов 14
Petrov N.I., Sokolov Yu.M., Khromov M.N., Storozheva A.L. Multi-view 3D display 18
Яблочкин К.А., Дашков М.В. Применение маломодовых оптических волокон в датчиках акустических воздействий 20
Яблочкин К.А., Чеховских Е.С. Анализ зависимости капитальных затрат на строительство сети ШПД от геометрии района застройки 22
Бурдин В.А., Губарева О.Ю. Способ организации низкоскоростного акусто-оптического канала передачи данных 24
Андреев В.А., Бурдин В.А., Бурдин А.В., Дмитриев Е.В., Телешевский С.Г., Шустанов В.Ю. Способы повышения надежности бортовых волоконно-оптических систем передачи данных 26
Бурдин В.А., Губарева О.Ю. Способ защиты от утечки конфиденциальной речевой информации в волоконно-оптических линиях связи 28
Веденькин Д.А., Епов А.Э. Формирование дискретной псевдослучайной последовательности на основе системы с динамической обратной связью 30

Веденькин Д.А., Епов А.Э. Анализ псевдослучайной последовательности, формируемой генератором с динамической обратной связью 32
Иванов С.И., Лавров А.П., Саенко И.И. Определение направления на источник широкополосного сигнала и управление лучом линейной фар в радиофотонном диаграммоформирующем устройстве 35
Жарков А.Д., Поминов М.А. Анализ влияния поляризационной модовой дисперсии на качество передачи сигнала DP-QPSK 37
Стафеев С.С. Компактная фокусировка оптических вихрей с азимутальной поляризацией 39
Воронкова А.В., Воронков Г.С. Повышение информационной безопасности на физическом уровне в системах Radio-over-Fiber ... 41
Котляр В.В., Ковалёв А.А., Порфирьев А.П. Эллиптические гауссовы вихри с управляемым орбитальным угловым моментом для беспроводной передачи информации 43
Воронкова А.В., Воронков Г.С. Применение технологии Power-over-Fiber для увеличения длины безрегенерационного участка «приемная антенна – центральная станция» в системах Radio-over-Fiber 45
Кутлуяров Р.В., Любопытов В.С., Багманов В.Х., Султанов А.Х. Нелинейные искажения сигналов в системах передачи с модовым уплотнением каналов 47

Секция 2. ПАССИВНЫЕ И АКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Устинов А.В. Анализ распространения пучков Гаусса-Эрмита с внедрённым оптическим вихрем в параболическом волокне 51
Харитонов С.И., Казанский Н.Л., Горностай А.В., Стрелков Ю.С. Моделирование отражения электромагнитных волн от дифракционных решёток, нанесённых на произвольную поверхность 54
Butt M.A., Strelkov Yu.S. An approach to developing a Fabry-Perot filter by a single fabrication step for gas sensing applications 56

Petrov N.I. Reduction of modal noise in local area network 59
Petrov N.I. Revival effect in optical waveguides 61
Петров Н.И., Хромов М.Н., Данилов В.А., Сторожева А.Л., Соколов Ю.М. Оптические элементы для разделения и объединения пучков света 63
Никулина Т.Г. К вопросу о применении минитраншейной технологии строительства ВОЛП в России 65
Казанский Н.Л., Морозов А.А., Никоноров А.В., Петров М.В., Подлипнов В.В., Скиданов Р.В., Фурсов В.А. Экспериментальное исследование оптических характеристик бортового гиперспектрометра 67
Бурдин В.А., Бурдин А.В. Исследование «кабельных» межмодовых связей в оптических волокнах 70
Бурдин В.А., Бурдин А.В. Теоретические и экспериментальные оценки внутриволоконных межмодовых связей 72
Карпеев С.В., Паранин В.Д. Экспериментальное исследование двулучепреломления параболической градиентной линзы на основе астигматического преобразования пучка Бесселя 74
Бурдин В.А., Бурдин А.В. Прогноз стыковых межмодовых связей на волоконно-оптических кабельных линиях 76
Андреев В.А., Бурдин В.А., Бурдин А.В., Кузнецов А.А., Морозов О.Г., Турзанов С.А., Фасхутдинов Л.М., Юдаков А.М. Результаты тестирования эквивалентной схемы модового мультиплексора 77
Савельев Д.А., Дегтярев С.А., Хонина С.Н. Исследование вихревых затухающих полей в ближней зоне оптоволоконного тейпера и субволнового дифракционного аксикона 79
Агаларов А.М., Потапов А.А., Ракуть И.В., Рассадин А.Э. Бегущие и модулированные волны в длинной линии с сегнетоэлектрическими конденсаторами 81
Косова А.Л. Метрологическое обеспечение приемо-сдаточных испытаний оптического кабеля ОКЛСТ на ЗАО «СОКК» 83
Бурдин А.В., Губарева О.Ю., Пашин С.С., Зайцев А.Ю., Никулина Т.В., Петров Л.А., Родина А.Е. Организация защищенного на физическом уровне канала передачи конфиденциаль-

ной информации на базе специализированного волоконно-оптического линейного тракта 84
Иванов С.И., Лавров А.П., Саенко И.И., Бессольцев С.А., Вольф А.А., Достовалов А.В. Радиофотонное диаграммоформирующее устройство для линейной фар с широкополосной чирпированной волоконной брэгговской решеткой 87
Дашков М.В. Распределенный волоконно-оптический датчик вибрационных воздействий 89
Дашков М.В., Щербакова К.А. Разработка управляемого волоконно-оптического контроллера поляризации 91
Дашков М.В., Хазиев И.Л. Модель распределенного датчика температуры на основе комбинационного рассеяния 93
Палачев М.А., Раевский А.С., Бирюков В.В., Грачев В.А., Лобин С.Г. Реализация умножителя частоты сигналов свч диапазона методами радиофотоники 95
Гарипов М.М., Кузнецов Д.И., Мальцев А.А. Перспективные оптические компоненты фокусирующих систем волоконно-оптичских линий связи 97
Пушкарёва А.В., Кузнецов Д.И., Мальцев А.А. Перспективный активный оптический компонент для высоконадежных защитных систем 100
Мурзин С.П., Казанский Н.Л. Формирование лазерного излучения с целенаправленно изменяемым пространственным распределением мощности 102
Карпцов И.А., Карташов М.Ю., Евтушенко А.С., Бурдин А.В., Казаков В.С., Егоров В.В. Результаты экспериментальной апробации методики формирования микролинзы на торце кварцевого оптического волокна 104
Кармолин А.С., Папе А.В., Субботская А.Ю., Евтушенко А.С., Минаева А.Ю., Дашков М.В., Бурдин А.В. Экспериментальная апробация реализации методики сращивания телекоммуникационного и кварцевого микроструктурированого оптических волокон с помощью штатного комплекта полевого сварочного аппарата 106

Евтушенко А.С., Соколов Е.Д., Казаков В.С., Барашкин А.Ю. Моргунков А.В., Бурдин А.В. Экспериментальная апробация методики формирования каскадов прецизионных макродефектов заданной конфигурации в структуре кварцевых волоконных световодов 108
Соколов Е.Д., Евтушенко А.С., Казаков В.С., Барашкин А.Ю., Моргунков А.В., Гаврюшин С.А., Бурдин А.В. Экспериментальные исследования вносимых потерь каскадов прецизионных макродефектов, записанных в структуре телекоммуникационных оптических волокон 110
Карташов М.Ю., Карпцов И.А., Евтушенко А.С., Казаков В.С., Егоров В.В., Бурдин А.В. Результаты экспериментальной апробации методики формирования фокона на торце кварцевого волоконного световода 112
Минаева А.Ю., Евтушенко А.С., Казаков В.С., Карпцов И.А., Кужаев А.М., Труханов П.С., Крохин П.В., Бурдин А.В. Квазиинтерферометрическая схема регистрации внешних механических воздействий на основе анализа отклика маломодового оптического сигнала 114
Бурдин А.В., Дельмухаметов О.Р. Проблемы расчета параметров передачи селективного модового состава промышленных образцов многомодовых оптических волокон 116
Кармолин А.С., Карпцов И.А., Карташов М.Ю., Мифтахова А.А., Соколов Е.Д., Бурдин А.В. Разработка методики измерения спекл-картины с выхода торца оптического волокна с помощью штатного комплекта видеодиагностики торцов феррул волоконно-оптических коннекторов 118
Бурдин А.В. Результаты исследования влияния локальных флуктуаций показателя преломления градиентного профиля маломодовых оптических волокон на деградацию спектральной характеристики дифференциальной модовой задержки 120
Евтушенко А.С., Казаков В.С., Минаева А.Ю., Прапорщиков Д.Е., Василец А.А., Андреев В.А., Бурдин В.А., Морозов О.Г., Бурдин А.В. Исследование спектральных откликов волоконных решеток брэгга, записанных на многомодовых световодах с нанесенными макроструктурными дефектами 122

Виноградова И.Л., Султанов А.Х., Воронкова А.В., Мешков И.К., Абдрахманова Г.И., Грахова Е.П., Воронков Г.С. Управление широкополосным радиоизлучением средствами волоконной оптики в диапазоне 200 МГц 124
Виноградова И.Л., Султанов А.Х., Виноградов С.Л., Воронкова А.В., Янтилина Л.З., Сарваров А., Воронков Г.С., Абдрахманова Г.И., Салихов А.И. Устройство для анализа дефектов-вкраплений стальных трубопроводов методом свч-радиотехники 126
Vinogradov V.Yu., Morozov O.G. Prospects of introducing the mobile aeroacoustic technologies for the ecological monitoring of aviation gas-turbine engine 128
Kozlov D.A., Kozlova E.S., Kotlyar V.V. Analysis of dielectric circular cylinder light spot narrowing by whispering gallery modes and influence of material absorption 130
Сахабутдинов А.Ж., Морозов О.Г., Нуреев И.И. Анализ погрешностей измерения характеристик резонансных волоконных структур при полигармоническом зондировании 132
Пуртов В.В., Нуреев И.И., Аглиуллин А.Ф., Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Артемьев В.И. Катетер для манометрии высокого разрешения на основе однотипных волоконных решеток брэгга с двумя разными фазовым π-сдвигами 135
Сахбиев Т.Р., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж., Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Артемьев В.И. Развитие монохроматических методов мониторинга оптических покрытий 138
Нуреев И.И., Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж. Радиофотонные полигармонические многосенсорные системы 140
Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В., Рябова М.И., Чернов А.А., Овчинников В.В. Оптоволокно как линейная одномерная система с частотной дисперсией 145
Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В., Рябова М.И., Чернов А.А., Иванова Н.В. Исследование влияния на искажения сигналов эффекта поляризационной дисперсии 148
Фасхутдинов Л.М., Нуреев И.И., Морозов О.Г., Кузнецов А.А., Василец А.А., Фархутдинов Р.В., Мансуров А.В. Эффект двулучепреломления в ВБР 150

Фасхутдинов Л.М., Нуреев И.И., Морозов О.Г., Кузнецов А.А., Василец А.А., Фархутдинов Р.В., Мансуров А.В. Модуляционный метод измерения поляризации 153

Секция 3. ОБРАБОТКА ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Маслов О.Н., Шаталов И.С. Моделирование эквивалентных токов, возбуждающих стохастический апертурный излучатель ... 157
Афанасьев В.В., Аль хуссейн А.Н. Моделирование модулей системы оптической связи с переключением хаотических режимов схемы Чуа 162
Афанасьев В.В., Ясир Х.А. Моделирование узлов системы оптической связи с хаотической маскировкой на основе схем Лоренца 166
Диязитдинов Р.Р. Обработка многомерных оптических сигналов видеоизображений в алгоритме линеаризации триангуляционных сканеров 170
Ляшева С.А., Медведев М.В., Шлеймович М.П. Выделение контуров на изображении с применением энергетических признаков вейвлет-преобразования 172
Киселев В.Н., Мишин Д.В., Пашинцев В.П., Чипига А.Ф. Анализ влияния погрешностей синхронизации на помехоустойчивость оптического приемника 174
Киселев В.Н., Мишин Д.В., Пашинцев В.П., Чипига А.Ф. Вероятностная модель коэффициента передачи оптического волокона при механических воздействиях 179
Киселев В.Н., Мишин Д.В., Пашинцев В.П., Чипига А.Ф. Синтез оптимального алгоритма различения оптических сигналов с учетом их динамического диапазона 184
Березовский А.А., Горячкин О.В. Идентификация многомерных сигналов и ее применение в mimo-системах связи 190
Куляс О.Л., Лошкарев А.С. Алгоритм поиска и локализации объекта интереса на изображении 193
Куляс О.Л., Лошкарев А.С. Анализ алгоритмов автоматической пороговой сегментации изображений 195

Лиманова Н.И., Атаев С.Г. Об одном методе обработки информации с использованием сегментации томографических снимков ... 198
Кириленко М.С., Хонина С.Н., Казанский Н.Л. Моделирование прохождения вихревых пучков с дробным орбитальным угловым моментом через случайную оптическую среду 202
Краснов С.В., Харитонов С.И. Сравнительное моделирование фокусировки фемтосекундных импульсов 204
Абульханов С.Р., Казанский Н.Л. Использование циклических кодов для анализа изменений контролируемого изображения 206
Лукин А.В., Мельников А.Н., Скочилов А.Ф., Пышнов В.Н. Лазерно-голографический контроль процессов сборки и юстировки составного главного зеркала телескопа 209

Секция 4. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, КОНТРОЛЬ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Воронков А.А., Андреев Р.В. Контроль состояния оптических кабелей связи, проложенных в обочину автомобильных дорог 213
Бурдин В.А., Нижгородов А.О., Никулина Т.Г. Специфика строительства и эксплуатации волоконно-оптических кабельных линий связи в условиях крайнего севера 215
Бурдин В.А., Нижгородов А.О., Никулина Т.Г. Метод измерений распределений кривизны оптического волокна по длине кабеля 217
Бурдин В.А., Дашков М.В., Дмитриев Е.В. Трассопоисковый метод для полностью диэлектрического оптического кабеля 219
Бурдин В.А., Бурдин А.В., Казаков В.С., Нижгородов А.О., Хомченко А.С. Статистические характеристики распределений кривизны оптических волокон в кабелях модульной конструкции .. 221
Пашин С.С., Гиниатуллина А.М., Жуков А.Е., Бурдин А.В. Исследование влияния характера и степени загрязнения торцевой поверхности феррул коннекторов на параметры передачи разъемных соединений оптических волокон 223
Андреев В.А., Гаврюшин С.А., Попов Б.В., Попов В.Б. Испытание стойкости оптических волокон комбинированного кабеля к растягивающей и раздавливающей нагрузкам 225

Секция 5. ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Можгинский В.Л. Оптические системы синхронной цифровой иерархии в учебной лаборатории 229
Матвеева Т.Ю., Осадчий И.С., Хуснутдинова М.Н. Современные психолого-педагогические технологии как средство формирования мотивации при подготовке специалистов в области оптических и волоконно-оптических систем связи 232
Идиатуллов З.Р. Промышленное изделие как объект исследования на практических занятиях студентов 236

II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2017

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ ОТТ-2017

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Казань, 20 – 24 ноября 2017 г.

Статьи воспроизводятся с оригиналов, представленных авторами, и Издатель не несет ответственности за содержание статей.
Ответственный секретарь: Коробков А.А.

Ответственный за выпуск В.Н. Милёхин
Компьютерная верстка – А.А. Золина

Подписано в печать 20.11.17.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 14,41. Тираж 200 экз. Заказ Б 75.

Издательство КНИТУ-КАИ
420111, Казань, К. Маркса, 10

ISBN 978-5-7579-2252-9 (отд.кн.)