

Moscow Institute of Physics and Technology (Russia),  
Tsinghua University, Beijing (China), Montenegro University (UCG)  
and PhysTech Union (Russia)



IV International Conference  
«Engineering & Telecommunication –  
En&T 2017»

# Book of Abstracts

November 29–30, 2017

Moscow/Phystechpark  
MIPT  
2017

УДК 004.82+621.39  
ББК 32.318+32.94(06)  
М43

IV International Conference «Engineering & Telecommunication En&T 2017».  
November 29–30, 2017. Book of Abstracts.  
Moscow/Dolgoprudny: MIPT, 2017. 220 p.

Конференция En&T посвящена вопросам, связанным с последними инновационными достижениями в области телекоммуникационных, информационных и вычислительных технологий, разработки современных систем радиолокации и радиосвязи, и проводится при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и IEEE.

Editors: E. Pavlyukova, L. Uzhinskaya, Z. Suroyegina

All rights reserved

© Federal State Autonomous Educational  
Institution of Higher Education «Moscow  
Institute of Physics and Technology  
(State University)», 2017

ISBN 978-5-7417-0638-1



9 785741 706381

## **Руководящие органы конференции En&T 2017**

**29-30 ноября 2017 г. Москва/«Физтехпарк»**

### **Организаторы конференции**

Московский физико-технический институт (Россия),

Университет Цинхуа (Китай)

Университет Черногории (UCG) (Черногория)

Физтех-Союз (Россия)

### **Организационный комитет**

Гаричев Сергей, д.т.н., МФТИ (Россия)

Ужинская Людмила, к.т.н., МФТИ (Россия)

Шишлов Александр, к.т.н., ПАО «Радиофизика», МФТИ, (Россия)

### **Программный комитет**

Дворкович Александр, проф. МФТИ, (Россия)

Ужинский Игорь, проф. Сколтех., (США)

Гуляев Юрий, академик РАН, ИРЭ РАН, (Россия)

Брукнер Эли, проф., IEEE AESS, (США)

Стасопулос Костас, директор VIII региона IEEE (2016), (Кипр)

Ванг Джинтао, проф., Tsinghua University, (Китай)

Стоянович Радован, проф., UCG, (Черногория)

Ишаи Поль Бен, проф. Hebrew University of Jerusalem, (Израиль)

Черных Андрей, проф., CICESE, (Мексика)

Ваиш Абишек, проф., ИИТ-А, (Индия)

Соболевский Андрей, проф., ИППИ РАН, МФТИ, (Россия)

Скобелев Сергей, д.ф.-м.н., ПАО «Радиофизика», МФТИ, (Россия)

Шишлов Александр, к.т.н., ПАО «Радиофизика», МФТИ, (Россия)

Ляхов Андрей, д.т.н., ИППИ им. А.А. Харкевича РАН, МФТИ, (Россия)

Калошин Вадим, д.т.н., проф., ИРЭ РАН, МФТИ, (Россия)

Дроздов, Александр проф., МФТИ, (Россия)

Павлюкова Елена, Секретарь Российского научного радиосоюза, (Россия)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Четвертая международная конференция «Инжиниринг и телекоммуникации – En&T 2017» продолжает традицию проведения конференций по актуальным и стратегически важным направлениям в области телекоммуникационных, информационных и вычислительных технологий.

En&T 2017, как и в предыдущие годы, получила поддержку Международной ассоциации специалистов в области техники, разработки стандартов по радиоэлектронике, электротехнике и аппаратному обеспечению вычислительных систем и сетей – IEEE, а также Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

Тематика докладов конференции представляет интерес для специалистов, работающих в областях, связанных с функционированием телекоммуникационных сетей, защитой информации и сетевым кодированием, мультимедийными сервисами и технологией передачи мультимедийной информации, системами связи и радиолокации, технологиями цифрового производства, системами поддержки принятия решений, применением вычислительных технологий и систем для решения биомедицинских и образовательных задач.

Высокий уровень представленных участниками конференции материалов подтвержден решением международных экспертов, отобравших 34 доклада для публикации в сборнике трудов конференции, изданном IEEE. Труды размещены в электронной библиотеке Xplore и включены в базы данных Scopus и Web of Science.

Оргкомитет выражает благодарность руководству МФТИ за поддержку конференции, базовым предприятиям школы ФРКТ, Московской секции ED/MTT/AESS. Особая благодарность, заслуженному профессору AESS IEEE, выдающемуся разработчику радиолокационных систем Эли Брукнеру, за проявленный к конференции интерес, выступление с пленарным докладом и организацию Круглого стола на тему «Прорывные технологии в сканирующих аэрокосмических, наземных и морских радиоэлектронных системах», главному конструктору ПАО «Радиофизика» С.А. Топчиеву за организацию круглого стола и секции «Системы радиолокации и радио-

связи», главному редактору журнала «Антенны» д.т.н. Курочкину А.П. и главному редактору журнала «Технологии и средства связи» к.т.н. Анпилову В.Р. за выступления на заседании Круглого стола и публикации о конференции En&T-2017 в ведущих российских журналах.

*Председатель Организационного комитета En&T 2017  
Проректор по исследованиям и разработкам МФТИ  
Лауреат Премии Правительства России, д.т.н., проф. Сергей Гаричев*

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'S. Garichev', written in a cursive style.

## СЕКЦИЯ 1

# ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Бородин М.А., Рыбкин А.С., Уривский А.В., к.ф.-м.н.,  
ОАО «Инфотекс», г. Москва*

### **ОБ УСЛОВНЫХ ВЕРОЯТНОСТЯХ ВЫХОДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГПСЧ, ОСНОВАННЫХ НА ПОДСТАНОВКАХ**

В работе описывается несколько генераторов псевдослучайных чисел, основанных на блочных шифрах с длинами блоков  $n$  и/или  $2n$  бит, работающих в режиме счетчика. Часть генераторов ранее исследовались в работах [1, 2], часть предложена впервые. Предлагаются идеализированные модели данных генераторов, в которых блочные шифры, использующие независимые случайные ключи, рассматриваются как независимые случайные подстановки на соответствующем множестве. Проводится сравнение качества выходных последовательностей этих идеализированных моделей.

Существует множество критериев для сравнения качества выходных последовательностей генераторов. Одним из критериев выступает «близость» границ условных вероятностей выходных символов при заданном префиксе к равновероятному значению  $1/N$ , где  $N$  – множество значений выходных символов. Однако не всегда понятно, как правильно определить понятие «близости».

В работе посчитаны упомянутые границы условных вероятностей для каждого из рассматриваемых генераторов. Показано, что для некоторых из предложенных генераторов по нижней границе условной вероятности оказывается лучше один генератор, а по верхней границе лучшим оказывается другой. Для снятия этой неопределенности рассматривается критерий равномерной секретности ключа [3]. Для генератора этот критерий можно представить в следующем виде. Пусть  $p_i$ , где  $i = 1, \dots, N$ , – распределение

условной вероятности появления заданных символов при известном префиксе для генератора, выдающего  $n$ -битные символы. Обозначим  $N = 2^n$  и зафиксируем достаточно малое значение  $0 < \gamma < 1$ . Тогда генератор будет удовлетворять критерию равномерной секретности, если для него верно неравенство

$$\max_{i=1, \dots, N} \left| p_i - \frac{1}{N} \right| \leq \gamma.$$

Сравнение предложенных генераторов по этому критерию показало, что лучшим является генератор, в котором выходной символ формируется как усечение результата побитового сложения элементов двух разных подстановок. Для всех генераторов были вычислены максимально допустимые длины выходной последовательности для прохождения критерия равномерной секретности ключа с заданной  $0 < \gamma < 1$ . Еще одним результатом стал тот факт, что увеличение длины блока шифра, также, как и использование функции усечения, улучшает равномерность выходной последовательности генератора.

На практике часто используются и другие критерии, например, энтропийный и критерий расстояния по вариации [3]. Критерий расстояния по вариации уровня  $\gamma > 0$  определяет близость распределения вероятностей  $p_i$ , где  $i = 1, \dots, N$ , к равновероятному распределению неравенством

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left| p_i - \frac{1}{N} \right| \leq \gamma.$$

В работе в качестве иллюстрирующего примера приводятся условные распределения двух генераторов. При сравнении этих генераторов по критерию равномерной секретности ключа и близости границ условных вероятностей лучшим оказывается один генератор, а по критерию расстояния по вариации лучшим оказывается другой генератор. Таким образом, для сравнения качества выходных последовательностей генераторов может оказаться недостаточно руководствоваться только одним критерием, следовательно, необходим способ сравнения самих критериев между собой.

### Литература

1. Urivskiy, A. Rybkin, and M. Borodin, «On some properties of PRNGs based on block ciphers in counter mode», Electronic Notes in Discrete Mathematics, vol. 57, pp. 211-218, March 2017.
2. Urivskiy, «On unpredictability of PRNGs based on multiple block ciphers», Problems of Redundancy in Information and Control Systems (REDUNDANCY), 2016 XV International Symposium.
3. Arbekov, «Criteria of key security», Mat. Vopr. Kriptogr., vol. 7, issue 1, pp. 39-56, 2016 (in Russian).

*Боярова Е.В., Ефименко Г.А.,  
Высшая школа системного инжиниринга МФТИ, г. Долгопрудный*

### **ВЫПУСКНИКИ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ «ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ ИНЖИНИРИНГ» ВШСИ МФТИ КАК АГЕНТЫ ИЗМЕНЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ**

На рубеже 20 и 21 веков современным российским компаниям, чтобы быть конкурентноспособными, необходимо поощрять новшества, экспериментирование и предприимчивость, соответствовать стандартам и уровню производительности мировых лидеров данной индустрии. Сейчас, когда мир меняется стремительно, долгосрочные, обдуманые планы, нацеленные на обретение устойчивого конкурентного преимущества, нередко отрываются от действительности. Сегодня необходимы люди с критическим и новаторским мышлением, которые любят экспериментировать, могут представить будущее, верят в возможность перемен и воздействуют на других. Организациям необходимы живые, гибкие, отзывчивые к рыночным изменениям специалисты, ориентированные на конкурентоспособные результаты.

Где найти сотрудников, Агентов изменений, способных проанализировать устоявшиеся технологические процессы на предприятии и сформулировать новые подходы, бросить вызов традиционным корпоративным ценностям и предложить реформы?



На предприятии в качестве Агентов изменений могут выступать следующие категории специалистов:

1. Внешние сотрудники (Приглашенные консультанты).
2. Стажеры (Выпускники инновационных программ вуза, проходящие практику/стажировку на предприятии).
3. Внутренние сотрудники (Слушатели программ повышения квалификации).

**Таблица 1.** Преимущества и недостатки специалистов предприятия, выступающих в роли Агентов изменений

№	Категория специалистов	Преимущества	Недостатки
1	Приглашенные консультанты.	Опыт работы в российских и зарубежных компаниях. Профессионализм. Нацеленность на результат.	Высокая стоимость услуг. Высокая востребованность данного сотрудника. Заточенность на результат без привязки к истории, личностям, традициям компании. Риски со стороны сотрудников к сотруднику «со стороны»: - сопротивление переменам, - низкий авторитет, - закрытость, недоверие.
2	Выпускники инновационных программ вуза, проходившие практику/ стажировку на предприятии.	Общее понимание структуры компании, процессов. Хорошие фундаментальные знания+опыт, полученный во время прохождения практики/стажировки.	Низкий авторитет. Отсутствие опыта и знаний. Юный возраст.
3	Слушатели программ повышения квалификации.	Понимание процессов изнутри. Профессиональный опыт. Высокий авторитет.	Отсутствие контроля и корректировки по результатам применения полученных знаний. Разрозненность курсов, отсутствие междисциплинарности. Единичность знаний.

В этой связи актуальной задачей Центра «Высшая школа системного инжиниринга МФТИ» (ВШСИ МФТИ) стало создание магистерской программы «Прикладной системный инжиниринг», в основе которой лежит подготовка особой, элитарной касты системных инженеров и руководителей самых сложных высокотехнологичных инновационных проектов, способных разработать конкурентоспособную продукцию за короткие сроки и реализовать ее, успешно работать в команде, руководить ею и мотивировать коллег на достижение высокого результата.

Контур взаимодействия Предприятие—ВШСИ МФТИ включает в себя логически выстроенную систему отбора, методической поддержки и комплексного подхода подготовки кадров, предоставляющие возможность совмещать обучение с работой. Организационно-педагогические условия обучения в ВШСИ МФТИ способствуют возникновению среды, в которой студенты уже после первого очного приезда обучают сотрудников на своих предприятиях, что создает действенный цикл, побуждающий делиться знаниями. Такой специалист передает новые идеи и умения, альтернативный взгляд на решение задач, вдохновляет сотрудников личным примером, повышением личной эффективности.

Студенты ВШСИ МФТИ опираются на уже имеющийся собственный опыт и новые теоретические и практические знания, полученные во время обучения, превращая передачу новых навыков и умений не в отчет о каждом обучающем модуле в ВШСИ МФТИ, а в процесс систематического совершенствования и перестройки коллег, подчиненных и других подразделений. Поскольку помощь в развитии и обучении сотрудников на предприятии проходит неформально, на протяжении рабочего дня студенты ВШСИ МФТИ становятся наставниками, Агентами изменений. В отличие от принципов управления, основанных на принуждении, будущие системные инженеры вдохновляют людей благодаря силе влияния и личному примеру. Многолетний опыт сотрудничества помогает выстроить отношения, основанные на личной надежности и ответственности, а не формальных полномочиях. Им присуще умение достучаться до сердец своих сотрудников и вдохнуть в них энергию,

найти доходчивые слова, которые остудят страсти и позволят сохранить их доверие.

На своих рабочих местах студенты ВШСИ МФТИ создают культуру, в которой сотрудники смело предлагают свои решения, тестируют и применяют их для улучшения процессов. Ярким примером стала выпускница ВШСИ МФТИ, сотрудник АО «КБП», которая предложила новый подход в работе, используя методы, принципы и инструменты, изученные на программе «Прикладной системный инжиниринг». Данный подход позволил значительно сократить время подготовки проекта за счет запараллеливания процессов, сокращения цепочек поставок. Она воплотила свои предложения в реальность, целенаправленно создала команду из людей с различной подготовкой и опытом, чтобы катализировать их знания и умения для решения задачи, пошла на риск и разногласия с непосредственным руководителем, но довела проект до успешного результата. По итогам работы было пересмотрено отношение к данному сотруднику, решено закрепить использованный подход на постоянной основе, ввести новую практику построения взаимодействий.

Комплексный подход обучения ВШСИ МФТИ, передовой опыт России и ведущих стран мира заставляет мыслить крупномасштабно, подниматься над ежедневной деятельностью, чтобы увидеть более широкую картину для новых производственных возможностей. Ценный опыт взаимодействия в командах во время выполнения групповых заданий в ВШСИ МФТИ проецируется на коллег, воодушевляя их мыслить стратегически, обеспечивая в работе всеобщую согласованность с ясным пониманием целостности всего процесса. Новые компетенции, полученные во время обучения, помогают студентам приобретать новые знания, навыки, мастерски владеть множеством инструментов воздействия и широким спектром подходов к решению поставленных задач. Участие руководителей высокотехнологичных предприятий России в преподавании учебных курсов и мастер-классах, открытость, общение на равных, придает студентам смелость решать вопросы на высоком уровне, не боясь выходить с инициативой по решению насущных производственных проблем своих предприятий.

Защиты работ перед комиссией с участием предприятий-Заказчиков способствуют формированию навыков презентовать сложную задачу смело и уверенно, убедительно и с уважением отстаивая свою позицию. На это направлены многочисленные мастер-классы по развитию коммуникативных навыков, ораторскому искусству и искусству самопрезентации.

Студенты ВШСИ МФТИ действуют осознанно, совмещая личные базовые ценности с ключевыми задачами своего предприятия и личным примером показывая повышение результативности и производительности. Они считают главным мерилем своего успеха рост эффективности компании в целом.

Выпускники ВШСИ МФТИ сочетают в себе интегрированные навыки Инженера и Управленца с большой буквы, способных производить инновационные технические решения и осуществлять изменения, с активным участием многих людей. По возвращению на предприятия они создают культуру, которой свойственно масштабное мышление, командный дух, ускоряют инновации, способствуют росту осознанности и аутентичности и выступают в качестве Центров изменений, лидеров, распространяющих знания на других членов проекта, оказывая синергетический эффект на производительность всего коллектива. Предприятия должны выявлять и оценивать такие кадры, способствовать их развитию, доверять им ключевые посты и наращивать их численность. Нарождающиеся Магистры новой формации ВШСИ МФТИ – это новый подкластер Агентов изменений для предприятия, они представляют собой самый благодатный источник будущей управленческой мощи и талантов России.

### Литература

1. Игорь Дроздов. Управление развитием организации.
2. В.П. Костин «Управленческое консультирование» Лекции по дисциплине
3. ООП направления подготовки 27.04.07 «Наукоемкие технологии и экономика инноваций» магистерской программы «Прикладной системный инжиниринг»

4. Электронные ресурсы: <http://sehs.mipt.ru>
5. <http://www.smart-edu.com/stat-agentom-izmeneniy.html>

*Быстров К.С., Грызов Г.Ю., Дворкович А.В., д.т.н., чл.-корр. РАН,  
Дворкович В.П., д.т.н., проф., МФТИ, г. Долгопрудный*

## **ВЕЙВЛЕТНОЕ ВИДЕОКОДИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОДИРОВАНИЯ**

Дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) нашло практическое применение во многих задачах цифровой обработки сигналов, в том числе в сжатии изображений. Несмотря на свои достоинства, ДВП используется только в ряде современных стандартов сжатия изображений и систем видеокодирования. В данной работе представлен обзор перспектив использования ДВП в современных видеокодеках на примере реализации многоканального вейвлет-видеокодека.

ДВП позволяет разделить энергию сигнала по частотам, что используется в задачах сжатия изображений. Обычно используется двухканальное разложение сигнала с использованием КИХ-фильтров нижних и верхних частот. Именно такая схема используется в стандарте сжатия изображений JPEG2000 [1], видеокодеках Motion JPEG2000 [2], Dirac [3] и других приложениях обработки изображений. Возможно использование многоканального ДВП, т.е. разложения сигнала на большее число частотных полос, что должно повысить степень сжатия при сохранении качества восстановленного изображения за счет более компактного представления энергии сигнала по частотным полосам [4].

Одним из способов определения эффективности видеокодирования выступает оценка степени сжатия при определенном уровне искажений. Видеокодек представляет собой сложный механизм, который состоит из множества модулей. Есть много способов повысить эффективность видеокодирования за счет оптимизации и улучшений отдельных модулей кодека.

В рамках данной работы рассматривается реализация многоканального вейвлет-видеокодека [5] на базе Schrodinger [6]. Schrodinger – оптимизированная версия видеокодека Dirac. В представленной реализации видеокодека изменениям подвергся только модуль ДВП – было реализовано многоканальное ДВП. Остальные модули Schrodinger изменений не претерпели и использовались в наиболее простой реализации. Тем не менее даже подобные изменения позволили заметно повысить эффективность видеокodирования по сравнению с опорным решением.

В обзоре перспектив использования вейвлетного видеокodирования было показано, что при использовании многоканального ДВП можно добиться большей эффективности кодирования видео относительно двухканальной схемой ДВП [7]. Также представленная реализация вейвлет-видеокодека показала сравнимые с x264 результаты [4]. Были предложены пути улучшения рассмотренной реализации многоканального вейвлет-видеокодека за счет использования различных подходов по модификациям модулей. Отдельно стоит отметить, что если оптимизировать кодек по работе остальных модулей и производительности, то на нем можно построить эффективную систему видеокodирования, которая вполне сможет превзойти современные реализации h.264/h.265. Таким образом, вейвлетное видеокodирование обладает большим потенциалом и может успешно использоваться в современных видеокодеках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по соглашению о предоставлении субсидии на выполнение ПНИЭР № 14.581.21.0015 от 16.10.2015 г., уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI58115X0015.

### Литература

1. D.S. Taubman and M.W. Marcellin, «JPEG2000: standard for interactive imaging», Proceedings of the IEEE, vol. 90, pp. 1336–1357, August 2002
2. ISO/IEC 15444-3:2002, Information technology -- JPEG 2000 image coding system -- Part 3: Motion JPEG 2000, 2002

3. K. Onthriar, K. K. Loo, and Z. Xue, «Performance comparison of emerging Dirac video codec with H.264/AVC», Int. Conf. on Digital Telecommunications (ICDT06), pp. 22, 2006.

4. В.П. Дворкович, А.В. Дворкович, «Оконные функции для гармонического анализа сигналов», Изд. 2-е, перераб. и доп., М.: Техносфера, 2016.

5. Bystrov K., Dvorkovich A., Dvorkovich V., and Gryzov G. (2017) Usage of Video Codec Based on Multichannel Wavelet Decomposition in Video Streaming Telecommunication Systems. In: Vishnevskiy V., Samouylov K., Kozyrev D. (eds) Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2017. Communications in Computer and Information Science, vol 700. Springer, Cham

6. Schrodinger video codec: <http://schrodinger.sourceforge.net/schrodingerfaq.php>

7. G.Y. Gryzov and A.V. Dvorkovich, «Three-Channel Wavelet Transform for Video Compression Applications», Proceedings of 2017 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Bar, 11-15 June 2017, 1-4.

*Говоров М.С., Данилов М.И., КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань*

### **ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СКАНЕРОВ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ, ПРИМЕНИМЫХ В СИСТЕМАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ, И ПРИНЦИПЫ ИХ РАБОТЫ**

Биометрическая аутентификация работает путем сравнения двух наборов данных: первая из них задана владельцем устройства, а вторая принадлежит посетителю устройства. Если эти данные почти идентичны, устройство понимает, что «посетитель» и «владелец» являются одним человеком и предоставляет ему доступ. Важно заметить, что совпадение между двумя наборами данных должно быть почти идентичным, а не полностью идентичным. Это связано с тем, что для 2 набора биометрических данных почти невозможно сопоставить на 100%. Например, у человека может быть слегка потный палец или незначительный порез или шрам, который изменяет

шаблон печати. Поэтому систему биометрической аутентификации программируют таким образом, чтобы программа распознавания не требовала точного соответствия. Это значительно уменьшает вероятность ложного отрицательного, хотя и увеличивает вероятность принятия поддельного отпечатка за подлинный.

Существует довольно много методов идентификации пользователя посредством уникальных характеристик его тела. К биометрическим технологиям, нашедшим свое широкое применение, можно отнести сканирование отпечатков пальцев, сканирование сетчатки глаз и распознавание речи.

Существует три типа сканеров отпечатков пальцев: оптический, емкостной и ультразвуковой. Оптический сканер с фотографии пальца идентифицирует шаблон печати, после чего компилирует его в идентификационный код. Емкостной сканер работает путем измерения электрических сигналов, отправленных с пальца на сканер. Печатные выступы непосредственно касаются сканера, передавая электрический ток, а долины между печатными гребнями создают воздушные зазоры. Емкостной сканер отображает эти контактные точки и воздушные промежутки, что приводит к абсолютно уникальному шаблону. Используются в смартфонах и ноутбуках. Ультразвуковые сканеры встречаются только в новейшем поколении смартфонов. Технология основана на излучении ультразвуков, которые отражаются обратно в сканер. Такие сканеры формируют изображение пальца, подобно емкостным.

### Литература

1. J. Partala, A. Fylakis, A. Pramila, A. Keskinarkaus, T. Seppänen. Improving Robustness of Biometric Identity Determination with Digital Watermarking. *Journal of Electrical and Computer Engineering*. Volume 2016 (2016).
2. Ковальницкая М.А. Биометрия: искусство узнавания. Перспективы биометрических систем на примере платформы Id-Me // *Национальная безопасность / refaces*. – 2016. – № 2. – С. 169-175.
3. T. Ahonen, A. Hadid, and M. Pietikäinen, “Face description with local binary patterns: application to face recognition,» *IEEE Transactions on*



Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, no. 12, pp. 2037–2041, 2006.

4. P. Cucu. Biometric Authentication Overview, Advantages & Disadvantages. Journal «Heimdal security», vol. 26, no. 18, 2016.

*Горбачев С.В., к.т.н., Абрамова Т.В., НИ ТГУ, г. Томск*

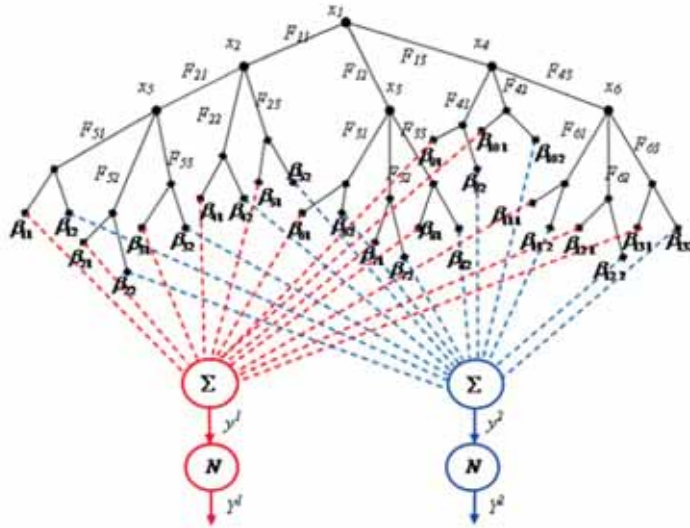
## **МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ АДАПТИВНОГО НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА**

В современной нейроинформатике актуальной задачей является разработка адаптивного нейро-нечеткого классификатора для анализа эффективности технологий, научно-технических решений, проектов, характеризующихся разнородными (количественными и качественными) данными, который обеспечивал бы не только высокую точность классификации, но и состоял из компактного и интерпретируемого набора классификационных правил. Рассматривается адаптивный нейро-нечеткий классификатор (рис. 1), построенный на основе нечеткого дерева решений, нормализованный выход которого для  $j$ -й строки наблюдений рассчитывается по методу определения центра тяжести:

$$Y_j^1 = \frac{\sum_{i=1}^P \beta_i * \omega_{ij}}{\sum_{i=1}^P \omega_{ij}} = \frac{y_j^1}{\sum_{i=1}^P \omega_{ij}}, \quad (1)$$

где  $\beta_i$  – параметры идентификации листьев;  $i$  – номер правила, соответствующий ветви дерева решений;  $P$  – количество правил;  $\omega_{ij}$  – степень истинности условий по каждому из нечетких правил (ветвей дерева) в  $j$ -м примере, которое представляет собой произведение функций принадлежности:

$$\omega_{ij} = \prod_k \mu_{ki}(x_{kj}) = \prod_k \exp\left(-\frac{(x_{kj} - c_{ki})^2}{2\sigma_{ki}^2}\right). \quad (2)$$



Чтобы избавиться от размытости параметров нечеткого дерева решений, его можно рассматривать как иерархическую сеть с прямым распространением сигнала, для обучения которой успешно применяется нейросетевой алгоритм обратного распространения ошибки [1]. На первом этапе формируется структура дерева решений с нечеткими правилами, затем запускается несколько циклов-итераций прямого-обратного распространения для настройки весовых параметров  $\beta_i$  листьев дерева. Эта стратегия параметрической идентификации не нарушает иерархическую структуру дерева и является эффективной настройкой весовых параметров дерева при сохранении интерпретируемости.

Учитывая (2), распишем формулу (1) выхода нейро-нечеткого классификатора для  $j$ -й строки наблюдений:

$$Y_j = \frac{\sum_{i=1}^P \beta_i * \omega_{ij}}{\sum_{i=1}^P \omega_{ij}} = \frac{\sum_{i=1}^P \beta_i * \prod_k \mu_{ki}(x_{kj})}{\sum_{i=1}^P \prod_k \mu_{ki}(x_{kj})} = \frac{\sum_{i=1}^P \beta_i * \prod_k \exp\left(-\frac{(x_{kj} - c_{ki})^2}{2\sigma_{ki}^2}\right)}{\sum_{i=1}^P \prod_k \exp\left(-\frac{(x_{kj} - c_{ki})^2}{2\sigma_{ki}^2}\right)}, \quad (3)$$

Произведение вычисляется по всем переменным  $x_k$ , присутствующим на  $i$ -й ветви, на пространстве входных путей в пересечениях от корневого узла дерева до  $i$ -го листового узла.

Определим ошибку выхода нейро-нечеткого классификатора как дифференцируемую целевую функцию  $E$  для минимизации погрешности решений:

$$E = \frac{1}{2}(Y_j - C_j)^2, \quad (4)$$

где  $Y_j$  – выходное значение нейро-нечеткого классификатора для  $j$ -го примера,  $C_j$  – выходное значение из обучающей выборки,  $K$  – число обучающих примеров.

Задача состоит в такой модификации (коррекции) параметров нейро-нечеткого классификатора, описанного выражением (3), чтобы ошибка выхода, задаваемая выражением (4) была минимальной.

Таким образом, необходимо найти значение параметров  $\beta_i$  для каждой  $i$ -й ветви (правила) дерева решений.

Алгоритм обратного распространения ошибки относится к классу градиентных алгоритмов, которые предполагают уменьшение предыдущего значения параметра на величину производной от ошибки, умноженную на некоторый коэффициент скорости [2].

Приходим к следующим правилам обновления параметров  $\beta_i$ :

$$\beta_s(t+1) = \beta_s(t) - \eta \frac{\partial E(t)}{\partial \beta_s(t)}, \quad (5)$$

где  $t$  – номер итерации,  $\beta_s(0)$  – начальное значение параметра,  $s=1, \dots, P$ ,  $P$  – количество ветвей (правил) нечеткого дерева решений,  $\eta$  – коэффициент скорости обучения.

По правилу дифференцирования степенной функции распишем частную производную из (5):

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_s} = \left[ \frac{1}{2}(Y_j - C_j)^2 \right]' = (Y_j - C_j)[Y_j - C_j]'$$

Поскольку эталонный сигнал  $C_j$  не зависит от параметра  $\beta_s$ , то можно принять его за константу:

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_s} = (Y_j - C_j) \frac{\partial Y_j}{\partial \beta_s}.$$

Представим выражение (3) в виде дроби двух функций, обозначив числитель как некоторую функцию  $f(\beta_s)$ :

$$Y_j = \frac{\sum_{i=1}^P \beta_i * \omega_{ij}}{\sum_{i=1}^P \omega_{ij}} = \frac{f(\beta_s)}{\sum_{i=1}^P \prod_k \mu_{ki}(x_{kj})}, \quad (6)$$

где  $\omega_{ij}$  – степень принадлежности  $i$ -й ветви для  $j$ -й строки наблюдений.

Заметим, что значение  $Y_j$  и, следовательно, ошибка  $E$  (4) зависят от  $\beta_s$  только в числителе.

По правилу дифференцирования сложной функции распишем частную производную дроби (6) относительно параметра  $\beta_s$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \beta_s} &= (Y_j - C_j) \left[ \frac{f(\beta_s)}{\sum_{i=1}^P \prod_k \mu_{ki}(x_{kj})} \right]' = \\ &= (Y_j - C_j) \frac{\partial}{\partial f} \left( \frac{f(\beta_s)}{\sum_{i=1}^P \prod_k \mu_{ki}(x_{kj})} \right) \frac{\partial f(\beta_s)}{\partial \beta_s} = (Y_j - C_j) \frac{1}{\sum_{i=1}^P \prod_k \mu_{ki}(x_{kj})} \frac{\partial f(\beta_s)}{\partial \beta_s}. \end{aligned}$$

Распишем частную производную:

$$\frac{\partial f(\beta_s)}{\partial \beta_s} = \frac{\partial}{\partial \beta_s} \sum_{i=1}^P (\beta_i * \omega_{ij}) = \sum_{i=1}^P \frac{\partial}{\partial \beta_s} (\beta_i * \omega_{ij}).$$

Поскольку параметры  $\beta_i$  независимы, то

$$\frac{\partial}{\partial \beta_s} (\beta_i * \omega_{ij}) = \begin{cases} 0 & \text{для } i \neq s, \\ \omega_{ij} & \text{для } i = s, \end{cases}$$

т.е.  $\frac{\partial f(\beta_s)}{\partial \beta_s} = \omega_{sj}$ .

Таким образом,

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_s} = (Y_j - C_j) \frac{\omega_{sj}}{\sum_{i=1}^P \prod_k \mu_{ki}(x_{kj})} = (Y_j - C_j) \frac{\omega_{sj}}{\sum_{i=1}^P \omega_{ij}}.$$

Подставив найденное выражение частной производной ошибки в выражение (5), определяющее правила обновления параметра  $\beta_s$ , получим формулу для обучающего алгоритма:

$$\beta_s(t+1) = \beta_s(t) - \eta \frac{(Y_j - C_j)}{\sum_{i=1}^P \omega_{ij}} \omega_{sj}, \quad (7)$$

или

$$\beta_s(t+1) = \beta_s(t) - \eta \frac{(Y_j - C_j)}{\sum_{i=1}^P \omega_{ij}} \omega_{sj}, \quad (8)$$

который с учетом вида функции принадлежности (Гаусса) представляется следующим образом:

$$\beta_s(t+1) = \beta_s(t) - \eta \frac{(Y_j - C_j) \prod_k \exp\left(-\frac{(x_{kj} - c_{ks})^2}{2\sigma_{ks}^2}\right)}{\sum_{i=1}^P \prod_k \exp\left(-\frac{(x_{kj} - c_{ki})^2}{2\sigma_{ki}^2}\right)}.$$

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-29-12858.

### Литература

1. Горбачев С.В., Сыряжкин В.И. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2014. – 510 с.
2. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001 – 201с.

*Дворкович А.В., д.т.н., чл.-корр. РАН, МФТИ, г. Долгопрудный*

## **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ СЛУЖБЫ ВЕЩАНИЯ**

К основным направлениям развития современной вещательной службы можно отнести следующее:

- переход от аналогового к цифровому звуковому, мультимедийному и телевизионному вещанию;
- повышение качества звукового и видеоконтента;
- конвергенция различных средств доставки вещательного контента с целью обеспечения пользователя контентом максимально возможного качества.

Рассмотрены основные современные тенденции развития телевизионного, мультимедийного и звукового вещания. Важнейшей проблемой является переход от аналогового к цифровому вещанию. Следующее направление развития – телевидение ультравысокой четкости 4К и 8К, возможности его эфирной передачи. Телевидение с расширенным динамическим диапазоном позволяет воспроизводить более естественные изображения. Прогресс звукового вещания тесно связан с использованием усовершенствованных звуковых систем, создающих звук с «эффектом погружения» в сцену. Конвергенция вещательных и не вещательных средств доставки вещательного контента привела к созданию интегрированных вещательно-широкополосных систем. Начаты изучения глобальной платформы службы вещания.

Международной гармонизацией и стандартизацией в области службы вещания, включая сервисы передачи видео, звука, мультимедиа и данных для массового потребителя, занимается 6-я Исследовательская комиссия Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи (ИК6 МСЭ-Р).

Последняя группа собраний ИК6 состоялась в октябре 2017 г. В это же время была организована специальная сессия, посвященная 90-летию создания Исследовательских комиссий МККР/МСЭ-Р и 45-летию изучений цифрового телевидения стандартной и высокой четкости.

Один из докладчиков, д-р Дэвид Вуд (Европейский вещательный союз, EBU), сделал попытку представить на так называемой кривой Гартнера состояние вещательных технологий в 1967 году, в настоящее время и построил предположение для 2067 года [1]. Его точка зрения вполне согласуется с текущей работой ИК6 и ее Рабочих групп в области международной стандартизации вещательной службы.

На собраниях РГ 6А большое внимание было уделено вопросам внедрения и развертывания цифрового звукового, мультимедийного и телевизионного вещания.

На собраниях РГ 6В основная работа была сосредоточена на проблемах аудиокодирования, многоканальном звуке, объектно-ориентированном звуке, интегрированных вещательно-широкополосных системах.

РГ 6В отвечает за изучение глобальной платформы вещательной службы. Это – одно из важнейших и многообещающих направлений ИК6. Глобальная платформа определяется как платформа доставки, обеспечивающая распространение вещательного контента конечным пользователям с различными приемными устройствами в разных условиях приема с помощью как вещательных, так и не вещательных (например, широкополосных) технологий [2].

Основное внимание РГ 6С было сосредоточено на вопросах оценки качества звука и видео, телевидения с расширенным динамическим диапазоном, улучшенных звуковых систем. Была создана новая подгруппа для изучения улучшенных аудиовизуальных систем с эффектом погружения в сцену.

Улучшенные аудиовизуальные системы с эффектом погружения (Advanced immersive audio video systems, AIAV) позволяют пользователю ощущать погружение в сцену с беспрецедентной степенью присутствия [3]. Путем обмана низкоуровневых перцептивных систем мозга пользователя системы AIAV могут заставить пользователя поверить, что он находится где-то и/или является кем-то. Это достигается путем создания аудиовизуальной реальности и позволяет пользователю естественно взаимодействовать с ней.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по соглашению о предоставлении субсидии на выполнение ПНИЭР № 14.581.21.0015 от 16.10.2015 г., уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI58115X0015.

#### Литература

1. David Wood. Forward to the past. Can we predict the future? [http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg6/Documents/david\\_wood\\_ITU%20presentation%2090th%20anniversary.pdf](http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg6/Documents/david_wood_ITU%20presentation%2090th%20anniversary.pdf)
2. ITU-R Doc. 6B/192 Annex 6 (23.10.2017) – Preliminary draft revision of Report ITU-R BT.2400-0 – Usage scenarios, requirements and technical elements of a global platform for the broadcasting service.
3. ITU-R Doc. 6C/TEMP/149 (06.10.2017) – Working document towards a preliminary draft new Report ITU-R BT.[AIAV] – Collection of usage scenarios and current status of advanced immersive audio visual (AIAV) systems for production and international programme exchange.

*Derugina O.A., MTU (MIREA), Moscow*

### **TOOL SUPPORT FOR THE UML CLASS DIAGRAM REFACTORIZING**

UML class diagrams have become an essential part of the software design process. However, with the growth of a diagram's structural elements number increases the complexity of its analysis and editing. Software tools of automated UML class diagram analysis and transformation could simplify the process of large systems' designing.



The aim of this paper is to propose prototype tool for the UML class diagram refactoring. UML Refactoring tool [1] provides UML class diagram analysis and transformation (see fig. 1). It calculates OO-metrics (Average DIT, Average NOC, Average CBO, SIZE2, etc.) and searches for the transformations that minimize a fitness function value. Current list of the transformations includes Interface insertion, Façade, and Strategy. User can choose which transformation to apply. Tool provides class diagram import/export from/to the XMI format [2].

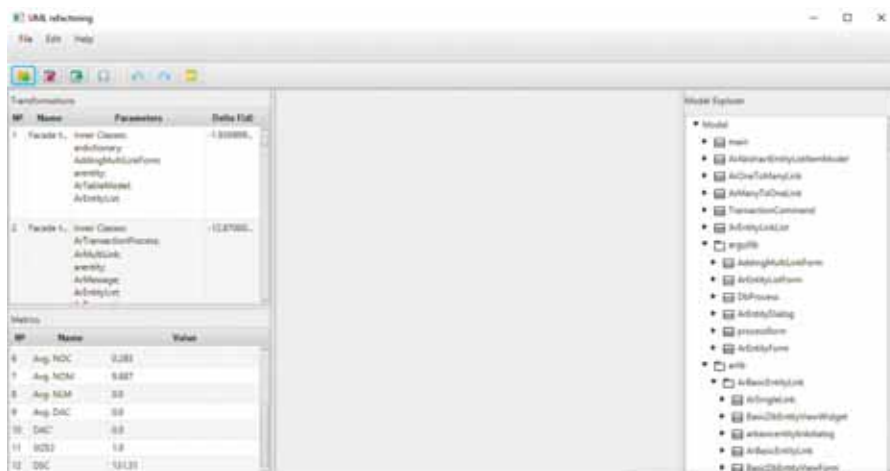


Fig. 1. UML Refactoring tool main window

In this work, we have proposed prototype UML refactoring tool, which provides UML class diagram analysis and transformation.

In addition, we have proposed CLANG plugin for creation of UML class diagram based on the CPP source code. Future research should improve the plugin to be able to build package hierarchy tree of the source code.

## References

1. Nikulchev E., Deryugina O. Model and Criteria for the Automated Refactoring of the UML Class Diagrams // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2016. Vol. 7. No. 12. P. 76–79.

2. XML Metadata Interchange (XMI) Specification. Version 2.4.2 // <http://www.omg.org/spec/XMI/2.4.2>

*Дюмин А.А.<sup>1,2,3</sup> Возненко Т.И.<sup>2</sup>, Гриднев А.А.<sup>2</sup>, Андрианова С.В.<sup>2</sup>, к.пед.н.  
<sup>1</sup> МФТИ, <sup>2</sup> НИЯУ МИФИ, <sup>3</sup> НИТУ МИСиС, г. Москва*

### **СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШЕНИЙ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В РАМКАХ КУРСА «ВВЕДЕНИЕ В НАУКУ О ДАННЫХ» НА МООК-ПЛАТФОРМЕ**

Нарушения академической дисциплины могут принимать различные формы, такие как плагиат, обмен ответами, публикация ответов на тесты и т.д. Эта проблема известна с древних времен и многие учреждения сталкиваются с ней – среди них не только образовательные организации, такие как школы, институты и университеты, но и компании, работающие в сфере информационных технологий, с программами для внешней профессиональной сертификации, и корпорации с внутренними обучающими программами и программами по распределению персонала. Некоторые образовательные организации пытаются преодолеть эти проблемы путем внедрения и принуждения к соблюдению «Кодекса чести», другие пытаются обучить своих студентов нормам этического поведения в академической среде посредством специализированных курсов по этике. Однако в последние годы данная проблема стала более острой, в связи с широким внедрения методик онлайн-обучения, при котором результативность освоения курса частично или полностью оценивается в автоматическом режиме и/или основана на взаимном оценивании слушателями курса друг друга. Поэтому некоторые учреждения вкладываются в разработку специальных инструментов – систем обнаружения нарушения академической дисциплины, которые смогут помочь в обнаружении академических проступков полностью автоматизированными методами или смогут привлечь внимание профессорско-преподавательского состава к подозрительному поведению.

Из нашего опыта работы с курсами, использующими компоненты онлайн-обучения в виде использования внешних или внутренних платформ поддержки учебного процесса на базе ведущих вузов (МИФИ, МФТИ и МИСиС), мы столкнулись с некоторыми формами нарушения академической дисциплины в масштабах, на которые следует обратить внимание посредством автоматизированных или полуавтоматизированных систем, которые могут помочь преподавательскому составу курса обнаружить эти нарушения и действовать согласно политике университета. Среди таких нарушений:

- фальсификация внешних сертификатов, полученных на публичных образовательных платформах, засчитываемых как результат выполнения заданий;
- плагиат в заданиях по программированию или аналитических отчетах;
- незаконная совместная работа над тестами и другими заданиями, которые оцениваются автоматически;
- несправедливое оценивание заданий с системой взаимного выставления оценок.

Данная работа сфокусирована на решении проблемы обнаружения двух первых типов нарушений в рамках курса «Введение в науку о данных», который в разных вариантах преподается в данных вузах. Система, обеспечивающая поиск фальсифицированных внешних сертификатов достаточно проста, так как они содержат ссылку на внешнее хранилище, в котором записано имя студента, название курса, дату выдачи сертификата и т.п., т.е. является по большей части не научной, а технической задачей.

Для решения задачи поиска плагиата в задачах на программирование и анализ данных, к сожалению, простого решения не существует, хотя научное сообщество уже долгое время работает над подобными задачами, и, как результат, на сегодняшний день существует несколько общеизвестных подходов, которые могут быть использованы для сравнения документов для целей обнаружения копирования текста или даже идеи. Некоторые методы работают для любых типов документов, однако другие созданы для обнаружения плагиата только в специфических типах, таких

как программный код, тексты на естественных языках или изображения. В нашем случае задача усложняется тем, что в рамках данного курса студенты для целей воспроизводимости аналитических исследований сдают отчеты в формате R Markdown, совмещающем в себе как код на языке R, так и аналитические выводы на русском или английском языках, при этом часто количество программного кода недостаточно для выявления плагиата каким-то из существующих способов в связи с большим количеством ложноположительных срабатываний у данных методов. В данной работе мы рассмотрели ряд подходов с использованием как доработанных существующих инструментов, например JPlag, так и разработанных специально для выявления плагиата в описанных выше случаях, среди них: эвристика «нарушения пунктуации», JPlag в режиме анализа текста на естественном языке, а также с подключением специально модифицированного токенизатора для языка R, использование модели bag-of-words с различными, в т.ч. адаптивными мерами схожести, и т.д.

*Жевненко Д.А.<sup>2,3,5</sup>, Горнев Е.С.<sup>3,5</sup>, Вергелес С.С.<sup>4,5</sup>, к.ф.-м.н., Кузьменко В.О.<sup>5</sup>,  
Дудкин П.В.<sup>2,5</sup>, Жабин С.Н.<sup>5</sup>, Криштон В.Г.<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н.*

*<sup>1</sup> Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых  
материалов РАН, г. Черноголовка*

*<sup>2</sup> ООО «Сейсмотроника», г. Москва*

*<sup>3</sup> АО «НИИ молекулярной электроники», г. Зеленоград*

*<sup>4</sup> Институт теоретической физики им Л.Д. Ландау РАН, г. Черноголовка*

*<sup>5</sup> МФТИ, г. Долгопрудный*

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ СЕТОЧНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Электрохимические системы очень перспективны для построения новой элементной базы микроэлектроники. Одно из важнейших направлений — это создание микроразмерных электрохимических датчиков ускорения и давления, которые выигрывают у систем на иных принципах работы

в эффективности преобразования механического сигнала в электрический ток [1].

Мы исследовали электрохимический преобразователь (ЭХП) с электродами из металлической сетки. Трехкомпонентный электролит под воздействием механического поля омывает сетчатые электроды и обеспечивает дополнительный перенос ионов между ними. Дополнительный ток пропорционален внешнему механическому сигналу (ускорению или давлению) [2].

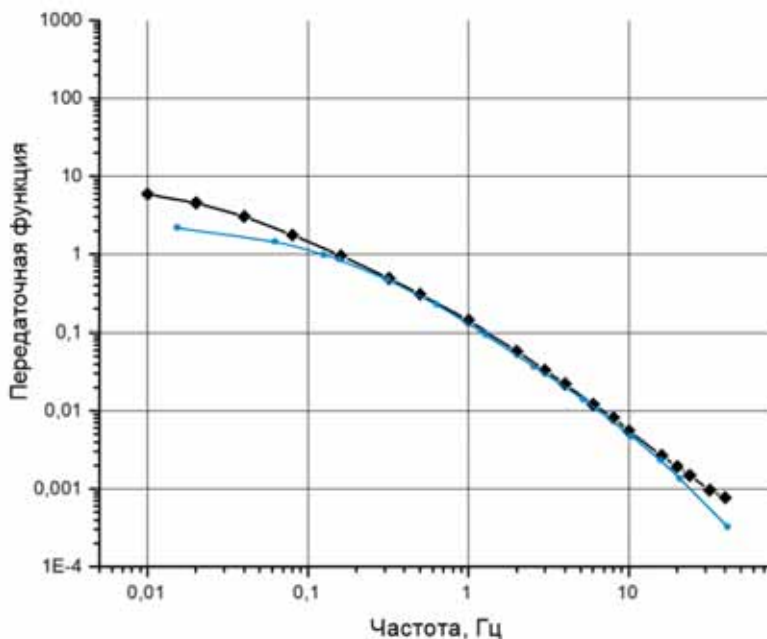
ЭХП применяются в разных областях современной микросистемной техники [3]. ЭХП используются для регистрации колебания грунтов земляного полотна и торфяного основания железнодорожного пути при движении поезда [4], в системе раннего предупреждения цунами [5–6], а также для задач робототехники и создания навигационных систем управления, например, в устройстве для определения направления на геометрический север [7,8]. Ведется разработка электрохимических гидрофонов для донных станций и систем водной сейсмозвездки.

Для расчетов использован стандартный подход к решению этой задачи, основанный на последовательном решении уравнений гидродинамики и электрохимических уравнений. Уравнения Навье–Стокса и конвективной диффузии были дополнены граничными условиями Батлера–Фолмера и уравнением непрерывности.

Рассчитаны значения скоростей в объеме (рис. 1), распределения концентрации ионов  $I^{3-}$ , градиента концентрации, рассчитана динамика процессов установления и получена передаточная функция преобразователя. Произведено прямое экспериментальное измерение электрохимической части передаточной функции и проведено сравнение теории с экспериментом (рис. 2).



Рис. 1. Плотность тока в объеме



**Рис. 2.** Передаточная функция, полученная в результате моделирования с наложенной на нее экспериментальной кривой

### Литература

1. В.М. Агафонов, В.Г. Криштоп, М.В. Сафонов. Измерительные устройства на основе молекулярно-электронного переноса в микро- и наноструктурах. Нано- и Микросистемная техника. V, N 6, с. 47-53, 2010.
2. Н.С, Лидоренко Введение в молекулярную электронику. – Энергоатомиздат, 1984.
3. А.С. Шабалина, Д.Л. Зайцев, Е.В. Егоров, И.В. Егоров, А.Н. Антонов, А.С. Бугаев, В.М. Агафонов, В.Г. Криштоп. «Молекулярно-электронные преобразователи в современных измерительных приборах» // Успехи современной радиоэлектроники, №9, 2014, стр.33.
4. А.Ф. Колос, Д.В. Крюковский, «Особенности колебательного процесса грунтов насыпей, опирающихся на торфяное основание, при движении поездов» // Труды ПГУПС №2, 2013.

5. J.M. Akris, J.Papoulia, A.T. Sambas «A real-time seismic and tsunami network in the Kyparissiakos Gulf, Greece» // Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol.55, №2, p.561.

6. J. Papoulia, J. Makris, D. Ilinski, and the SEHELLARC Group: D. Ballas, A. Elnikov, A. Martinenko, P. Pagonis, J. Pampidis, G. Pappas, A. Tsambas, A Near Real Time Onshore/Offshore Seismic and Tsunami Network in the Southwestern Hellenic Arc // Proc, 9th Hellenic Symposium of Oceanography and Fishery, 2009, Greece.

7. D. Zaitsev, A. Antonov, V. Krishtop, «Angular MET sensor for precise azimuth determination», Proc. SPIE 10224, ICMNE-2016, 102241H

8. D.L. Zaitsev, V.M. Agafonov, E.V. Egorov, A.N. Antonov, V.G. Krishtop, «Precession azimuth sensing with low-noise molecular electronics angular sensors», Journal of Sensors, 2016, Article ID 6148019

*Жирнов Николай<sup>1,2</sup>, Кирьянов Антон<sup>1</sup>, Хоров Евгений<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> ИППИ РАН, г. Москва*

*<sup>2</sup> МФТИ, г. Долгопрудный*

## **РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЖУРОВНЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ В СЕТЯХ 5G**

За последние десятилетия объем видеотрафика в сети Интернет значительно вырос и сейчас составляет половину передаваемого объема данных. Подобная тенденция вызвана ростом популярности таких сервисов, как YouTube, Netflix, IP-телевидение, трансляции в режиме реального времени в социальных сетях, системы видеонаблюдения и многих других. Значительная доля видеоданных передается с использованием беспроводных технологий, поскольку современные устройства, такие как ноутбуки, планшеты, смартфоны и т.д., зачастую не имеют возможности использовать проводное подключение. Кроме того, создание инфраструктуры для обеспечения проводного подключения устройств во

многих сценариях может оказаться экономически невыгодным. Использование беспроводных технологий позволяет эффективно решать эти проблемы. В данной работе предлагается концепция организации системы видеонаблюдения в сетях пятого поколения с применением беспроводных технологий, поскольку камеры видеонаблюдения зачастую располагаются в местах, труднодоступных для обеспечения проводного соединения.

Система видеонаблюдения должна обеспечивать два основных типа сервиса. Первым из них является доступ к видеоданным, генерируемым камерами видеонаблюдения, в режиме реального времени (в данном случае режим реального времени означает, что задержка между генерацией данных и возможностью их просмотра не должна превышать нескольких секунд, в отличие, например, от видеоконференций, где подобная задержка составляет не более 400 мс). Подобный сервис требует постоянного предоставления некоторого объема ресурсов сети для обслуживания видеотрафика. Надежность доставки данных при этом не является приоритетной задачей. Второй тип сервиса предоставляет собой возможность сохранения видеоданных в высоком качестве на сервере, что требует надежной доставки данных в максимально возможном разрешении, в то время как ограничение на время доставки данных отходит на второй план. При этом чем выше качество генерируемого изображения, тем больший объем данных необходимо передавать. Таким образом, необходимо обеспечить надежную доставку видеоданных на сервер в максимально возможном разрешении, выполняя при этом ограничение на время доставки данных.

В разрабатываемой системе видеонаблюдения видеоданные генерируются сегментами определенной длительности. Качество видеоизображения очередного сегмента (т.е. его размер) выбирается на основе оценки скорости передачи данных, текущего размера очереди на передачу, общей загрузки сети и требований к ограничению на время доставки данных. Значения этих показателей могут быть оценены благодаря межуровневому взаимодействию сетевых протоколов, а также обмену служебной информацией между различными узлами сети. В работе предлагается алгоритм,



который позволяет выбрать размер очередного видеосегмента, максимизируя качество передаваемого видеопотока и обеспечивая доставку каждого видеосегмента в течение определенного времени с заданной вероятностью. С помощью имитационного моделирования проводится исследование эффективности предложенного решения.

*Захарчук О.Т., Шушкевич Н.А., Тяжкун С.П., к.т.н.,  
АНО «НИЦ РКТ РАКЦ», ООО «АСис Софт», АО «НИИ ТП», г. Москва*

**ПЕРЕВОД СТАНДАРТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ВЫПОЛНЕНИЕ ОКР,  
В ИСПОЛНЯЕМЫЕ МОДЕЛИ И СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ  
САМООБУЧАЮЩИХСЯ ИТ-СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТАМИ ПРИ  
СОЗДАНИИ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ**

В связи с возрождением в стране высокотехнологичных производств на первый план выходит задача постоянного повышения качества наукоемкой продукции, эффективности ее создания и применения. Полноценно решить эту задачу невозможно в рамках традиционных методов управления и подходов к автоматизации управления [1].

Ключевыми проблемами, которые сегодня не позволяют решить выше указанную задачу являются:

- отсутствие системного подхода при решении задач управления как на уровне предприятия, так и на уровне отдельных проектов;
- существенный и часто сущностный разрыв между бумажными регламентами и реальным исполнением деятельности;
- разрыв традиций и навыков между поколениями специалистов.

В настоящем докладе предложен подход, который на примере создания автоматизированной системы управления ОКР показывает, как успешно решать названные проблемы.

Суть подхода заключается в следующем.

Модель проекта ОКР создается с помощью единой процессной модели деятельности [2]. Это обеспечивает системный взгляд на де-

тельность в рамках проекта, причем основное внимание сосредотачивается на:

- на системных характеристиках проекта, зависящих не столько от составных частей проекта и участников проекта, сколько от взаимосвязей этих частей, участников и взаимосвязей с внешней средой;
- уровнях декомпозиции проектов (рассматриваются уровни работ, задач, действий и операций) как основных фокусирующих элементов при решении задач управления;
- сетевом представлении деятельности как единой среды для распространения информации;
- всеобщем процессном охвате деятельности как основного механизма «движения» результатов деятельности по стадиям их жизненного цикла и в пространстве деятельности и как инструмента обеспечения качества.

Опыт использования метамоделей деятельности для автоматизации в разных отраслях [3–5] показал, что непосредственная работа пользователей с объектами метамоделей (иерархиями работ, задач, обязательств и т.п.) при построении модели реальной системы вызывает затруднения. В связи с этим для генерации модели ОКР мы предложили в качестве исходных данных использовать информацию, получаемую непосредственно из стандартов, регламентирующих порядок выполнения ОКР [6–17]. Дополнив эту информацию данными о ресурсах предприятия, нормативах использования этих ресурсов при создании определенных документов и образцов, мы получили полный комплект исходных данных для автоматической генерации начальной исполняемой модели ОКР. Полнота модели обеспечивает, как минимум, автоматическую генерацию договора на ОКР, Технического задания и всех приложений к договору (расшифровок затрат, планов поставки результатов этапов ОКР, планов платежей).

Исполняемость модели [18] означает, что:

- данная модель, как подсистема, входит в единую модель сети проектов и предприятий;

- все задачи и действия, которые должны быть начаты до текущего момента, автоматически активированы и видны их исполнителям в единой автоматизированной системе управления;
- все действия, необходимые для выполнения поставленных задач и обязательств, выполняются или фиксируются в единой базе данных автоматизированной системы управления деятельностью.

Таким образом, за соблюдением стандартов, которые переведены из бумажного вида в цифровую исполняемую модель, следит уже не человек, а компьютерная программа, и ликвидируется разрыв между бумажными стандартами и реальным исполнением деятельности. Все «умные» вещи, типа умный контракт, умное производство, цифровая платформа, цифровая экосистема и т.п. уже находятся внутри исполняемой модели деятельности. По аналогии с этими умными системами деятельности мы можем назвать нашу систему «умным проектом» ОКР.

Чем больше автоматизированная система управления деятельностью использует регламентирующую информацию, которая содержится в стандартах, тем легче она осваивается молодыми специалистами и студентами, которые сейчас гораздо охотнее работают с компьютером, чем с бумагой.

Также решается проблема передачи опыта молодым специалистам от «старой гвардии», которая работала или училась еще во времена СССР. Дело в том, что для формирования полной модели деятельности, как правило, не хватает информации, содержащейся в стандартах. Носителями дополнительной и неформализованной ранее информации являются опытные специалисты предприятия. Только тогда, когда эта информация будет от них получена и вставлена в модель, модель деятельности «замыкается» и становится полной.

Следует также отметить проблему статичности бумажных стандартов, которая решается их переводом в исполняемые модели. Любые стандарты актуальны только в определенный период времени, пока не сформирован лучший способ организации деятельности. Далее эти стандарты надо обновлять, т.к. улучшаются старые или появляются новые технологии, формулируются новые требования к продукции. Но время и трудоемкость

обновления бумажных стандартов несоизмеримо больше времени и трудоемкости обновления «оцифрованных» стандартов. Имея опыт и цифровое описание технологий в единой цифровой системе, мы гораздо быстрее можем этот опыт переводить в типовые исполняемые процессы и новые требования, чем это возможно при использовании только бумажных стандартов. На самом деле мы переходим к самообучающимся системам управления ОКР, как составной части программно-конфигурируемого предприятия [19]. Анализируя действия, которые выполнили исполнители однотипных задач и обязательств в автоматизированной системе, можно автоматизированным способом получать новые типовые процессы, оптимизированные по времени, стоимости и качеству результатов.

Таким образом, автоматизированная система управления ОКР, построенная на единой модели деятельности, одновременно является и системой обучения. Система обучения не строится в какой-то отдельной или даже специальной системе автоматизированного обучения. В систему обучения не нужно переносить большую часть информации, которая используется в действующей системе управления ОКР. Мы просто из автоматизированных функций, управления ОКР, которые используются в рабочих процессах предприятия, строим учебные процессы, формируем учебные исполняемые модели ОКР и на них обучаем сотрудников, студентов и аспирантов. Когда эти студенты и аспиранты приходят на предприятие, они не замечают разницы, т.к. продолжают работать в той же среде, с теми же функциями. В результате сокращается период входа молодых (или сторонних) специалистов в рабочие процессы.

### Литература

1. Романов А.А. Смена парадигмы разработки инновационной продукции: От разрозненных НИОКР к цифровым проектам полного жизненного цикла. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы 2017, том 4, выпуск 2, с. 68-84..
2. Захарчук О.Т. Фундаментальная модель описания организационно-технических систем. Международная научно-практическая конференция

«Теория активных систем» (ТАС-2014) Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН Москва, 17-19 ноября 2014 года. Сборник научных трудов.

3. Захарчук О.Т. Новый подход для автоматизации управления много-агентными организационными системами. Высокие технологии, экономика, промышленность. Т.2, Часть 1: Сборник статей Тринадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». 24-26 мая 2012 г. Санкт-Петербург, Россия/под ред. А.П. Кудинова. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. ISBN 978-5-7422-3440-1 - С. 47-50

4. Макухин В.М., Захарчук О.Т., Устич П.А., Иванов А.А. Разработка новых методов моделирования, мониторинга, управления и оптимизации жизненных циклов перевозок, технического обслуживания и ремонта подвижного состава железнодорожного транспорта на основе единой модели. Труды и пленарные доклады участников конференции УКИ'12 /Научное издание. Электрон. текстовые дан. – М.: ИПУ РАН, 2012 – 1 электрон. опт. Диск (CD-ROM) – ISBN 978-5-91450-100-3 – С. 789-799

5. О.Т. Захарчук, «АСис Софт», Москва, Зеленоград Построение исполняемой архитектуры виртуального университета реального времени. II Международная конференция «Инжиниринг и телекоммуникации 2015», МФТИ, Московская обл. г. Долгопрудный, 18–21 ноября 2015

6. ГОСТ Р 53736-2009 Изделия электронной техники. Порядок создания и постановки на производство. Основные положения.

7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.

8. ГОСТ 2.103–2013 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.

9. ГОСТ 2.102–2013 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.

10. ГОСТ 2.106–96 Единая система конструкторской документации. текстовые документы.
11. ГОСТ 2.118–2013 Единая система конструкторской документации. Техническое предложение.
12. ГОСТ 2.119–2013 Единая система конструкторской документации. Эскизный проект
13. ГОСТ 2.120–2013 Единая система конструкторской документации. Технический проект
14. ГОСТ 2.601–2013 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.
15. ГОСТ 2.051–2013 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.
16. ГОСТ 2.052–2006 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.
17. ГОСТ 2.053–2013 Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения.
18. О.Т. Захарчук. Подход к созданию архитектуры предприятия реального времени как исполняемой архитектуры. XVIII Научно-практическая конференция. Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2015), 21-24 апреля 2015 г. Москва. Сборник научных трудов.
19. <https://bpm.com/bpm-today/blogs/1157-executable-architecture-of-software-defined-enterprises> (время обращения 05.05.2017).

*Земляков Д.А., АО «МЦСТ», ПАО «ИНЭУМ им. И.С.Брука», г. Москва*

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ ВЕКТОРИЗАЦИЯ ВЫЗОВОВ ТРАНСЦЕНДЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ В ЦИКЛАХ С БОЛЬШИМ ИЛИ НЕИЗВЕСТНЫМ ЧИСЛОМ ИТЕРАЦИЙ**

Как правило, значительная часть времени исполнения программ приходится на циклы, поэтому задача оптимизации циклов важна для обеспе-

чения максимальной производительности. Наличие в теле цикла вызовов трансцендентных функций может значительно ослабить эффект от его векторизации и распараллеливания. В этом случае особенно возникает необходимость в автоматической векторизации операций вызовов. Проблема приобретает наибольшую актуальность применительно к архитектурам со статическим планированием, рассчитанным на достижение высших показателей производительности, к которым относятся серии отечественных микропроцессоров архитектуры «Эльбрус», предназначенных для разработки крупномасштабных информационно-вычислительных систем стратегического назначения.

Методы автоматической векторизации исследуются достаточно давно, и, как показывает практика, их использование позволяет значительно увеличить производительность процессоров. Большинство алгоритмов ориентировано на использование коротких векторных инструкций. Однако при наличии в цикле вызовов трансцендентных функций наибольший интерес представляет алгоритм, не относящийся к этому классу. В данном алгоритме используются значительно более быстрые векторные трансцендентные функции, использующие архитектурные особенности конкретного микропроцессора. В частности, для микропроцессоров архитектуры «Эльбрус» подобные функции реализованы в библиотеке EML (Elbrus Math Library).

В рабочем цикле перед операцией вызова трансцендентной функции строятся операции записи ее аргументов во временный входной массив. Вместо чтений результата исходной скалярной операции вызова строятся операции чтения результата векторной функции, взятые из временного выходного массива. Цикл копируется, устраняются избыточные операции, а между оригиналом и копией строится не принадлежащий этим циклам вызов необходимой векторной функции, аргументами которой становятся указанные временные входной и выходной массивы. Однако в случае циклов с большим или неизвестным числом итераций может потребоваться разрезание исходного цикла. Для эффективной работы с данными они должны размещаться в стеке, а входной и выходной массивы векторной

функции должны помещаться в кэш L1, исходя из чего выбирается константа размера. Также при разрезании исходного цикла внутренний цикл не должен отличаться от исходного с т.з. базовой индуктивности. В результате преобразования строится внешний охватывающий цикл с шагом счетчика, равным выбранной константе. Счетчик внешнего цикла одновременно служит начальным значением для счетчика модифицированного внутреннего цикла и его копии, полученной в результате векторизации. Число итераций внутренних циклов на каждом шаге, кроме последнего, равно выбранной константе. На последнем шаге идет работа с оставшимися данными.

Автоматическая векторизация вызовов трансцендентных функций на основе данного алгоритма была реализована и внедрена в оптимизирующий компилятор для архитектуры «Эльбрус». Были сформулированы и протестированы условия применимости оптимизации, легшие в основу анализа контекста. Динамическая проверка количества итераций расширила границы применимости алгоритма. Для избежания выполнения действий, портящих контекст более эффективным методам оптимизации, например, вынесению инвариантных операций, алгоритм был дополнен анализом эффективности.

Были проведены замеры времени исполнения задач из пакетов SPEC CPU2006 на машинах с микропроцессорами с архитектурой «Эльбрус», показавшие прирост производительности до 17%.

### Литература

1. Steven S. Muchnick Advanced Compiler Design Implementation. – 5-е издание. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1997. – 856 с. – ISBN 978-1-5586-0320-2
2. Ким А.К., Перекатов В.И., Ермаков С.Г. Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства Эльбрус // СПб.: Питер, 2013. – 272 с. – ISBN 978-5-459-01697-0
3. Standard Performance Evaluation Corporation. <http://www.spec.org/> [Электронный ресурс]



*Зуев Д.А., ППИ, г. Пекин  
Калистратов А.П., Семкин П.С., доцент,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ФЛАЖОЛЕТА-МАРТИНА ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

Тема работы с большими данными с каждым годом становится все актуальнее. При этом исследователи и инженеры сталкиваются с трудностями при анализе информации. Обычно для этого используется пакетная обработка, которая позволяет одновременно произвести анализ значительного количества данных за один цикл. Минус пакетной обработки в скорости – для получения результата требуются часы или дни, что в некоторых случаях неприемлемо – иногда ответ необходим в течение минуты или нескольких секунд [1].

Другим подходом к обработке больших объемов информации является потоковая обработка, т.е. процесс обработки данных как непрерывного потока. Примерами таких данных могут служить сетевой трафик, данные счетчиков посещаемости веб-ресурсов и геолокационные данные. В настоящее время принято считать, что традиционный способ обработки данных через сохранение в статичную базу не подходит для обработки постоянно обновляемых данных [2].

Целью этой работы является описание вопроса применения алгоритма подсчета количества уникальных элементов в большом объеме поточных данных для их дальнейшей потоковой обработки. Один из подходов к подсчету сводится к использованию объема памяти, линейно зависящего от количества уникальных элементов в массиве данных. Во многих случаях это неприменимо из-за необходимости использования слишком большого объема памяти. В целях экономии ресурсов применяются алгоритмы для оценки количества уникальных элементов. Это позволяет достичь значительной экономии системных ресурсов при сохранении приемлемого результата.

Например, алгоритмы, предложенные Филиппе Флажолетом, применяются как в системах потоковой обработки данных, так и в системах сетевого мониторинга и управления базами данных. В данной работе будет проведен обзор алгоритма Флажолета–Мартина и его развития в системах потоковой обработки данных.

Филиппе Флажолет и Найджел Мартин предложили идею независимого хеширования каждого элемента  $i \in L_i$  в последовательность псевдослучайных бит, равномерно распределенных на конечном диапазоне [3].

Пусть  $\rho(i)$  – позиция первого бита со значением 1 в  $h(i)$ . Алгоритм хранит и обновляет таблицу битов всех наблюдаемых значений  $\rho$  и возвращает асимптотически несмещенную оценку кардинальности на основе  $\max\{r; [1 \dots, r] \subseteq \{\rho(i), i \in L_i\}\}$ . Данный алгоритм использует памяти и показывает точность  $0.78/\sqrt{m}$ , где  $m$  – количество блоков памяти (целых чисел). Таким образом, при максимальном количестве возможных уникальных элементов значение объема используемой памяти возрастает логарифмически.

Алгоритм LogLog является продолжением работ Филиппе Флажолета. В отличие от оригинального алгоритма, он оценивает количество уникальных элементов, основываясь на статистике  $\max_{i \in L_i} \rho(i)$ , избегая необходимости в таблице битов. LogLog обеспечивает более эффективное использование памяти при сохранении точности используя байты вместо целых чисел. Были достигнуты использование памяти  $O(\log \log n)$  и точность  $1/\sqrt{m}$ , где  $m$  – количество блоков памяти,  $n$  – максимальная кардинальность.

В улучшенной версии LogLog, HyperLogLog, повышение точности достигается за счет использования гармонической средней оценки статистики  $\max_{i \in L_i} \rho(i)$ . Это позволило улучшить точность до  $1,04/\sqrt{m}$ , где  $m$  – количество блоков памяти и добиться использования памяти  $O(\log \log n)$ . Этот алгоритм отлично подходит для данных с большим количеством уникальных значений [4]. Суммарный объем памяти, используемый HyperLogLog,  $-m \log_2 \log_2 n/m$  бит, в случае использования с плавающим окном максимальный требуемый объем памяти ограничен  $5m \ln n/m$  бит, где  $m$  – количество регистров,  $n$  – значение кардинальности. Таким образом, при минимальном увеличении используемой памяти может быть проведе-

на достаточно точная оценка количества уникальных элементов в массиве данных. Это позволяет использовать алгоритм HyperLogLog для потоковой обработки данных [5].

В данной работе были рассмотрены этапы развития алгоритма Флажолета–Мартина, начиная с 1985 года по настоящее время. Очевидно, что дальнейшее развитие алгоритмов оценки количества уникальных элементов в массиве данных позволит облегчить процесс обработки больших данных в целом и потоковой обработки данных в частности.

### Литература

1. Горшков Н.А, Денисов В.С. Анализ сообщений социальной сети Twitter с использованием систем обработки потоковых данных Apache Spark и Apache Storm // International Journal of Open Information Technologies. 2016. №11. С.1-11
2. Р. С. Самарев, “Обзор состояния области потоковой обработки данных», Труды ИСП РАН, 29:1 (2017), 231–260
3. Durand, M. & Flajolet, P. (2003). Loglog counting of large cardinalities. Lecture Notes in Comput. Sci. 2832, 605–617.
4. Flajolet, P., Fusy, E., Gandouet, O. & Meunier, F. (2007). HyperLogLog: the analysis of a nearoptimal cardinality estimation algorithm. In Proceedings of Conference on Analysis of Algorithms, vol. AN of Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science Proceedings (DMTCS). pp. 127–146.
5. S. Heule, M. Nunkesser, & A. Hall. HyperLogLog in practice: Algorithmic engineering of a state of the art cardinality estimation algorithm. EDBT, 2013.

*Катаева Е.С., ФГБОУ ВО «ТУСУР», г. Томск*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА АППРОКСИМАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ**

В процессе анализа метеорологических временных рядов с сильными колебаниями без четко выраженного периода иногда возникает необхо-

димось их аппроксимации для дальнейшей работы уже с аналитическим полиномиальным видом функции. В связи с этим возникает проблема определения метода, обеспечивающего высокую точность приближения разложением ряда по полиномам.

В работе рассматривается следующий подход к построению аппроксимирующей функции [1]. Для динамического ряда, состоящего из  $(m+1)$  точек  $f_0, f_1, f_2, \dots, f_m$  с аргументами  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_m$ , требуется построить аппроксимирующую функцию  $P(x)$  вида

$$P(x) = \alpha_0 \varphi_0(x) + \alpha_1 \varphi_1(x) + \dots + \alpha_n \varphi_n(x), \quad (1)$$

где функции — многочлены степени  $r$ , попарно ортогональные с весами  $\gamma_k$  на заданном множестве точек,  $\gamma_k$  — заданные положительные веса, определяемые отдельно для каждого вида полиномов.

В качестве ортогональных полиномов используются следующие функции [2]:

1) полиномы Чебышева первого рода:

$$\begin{aligned} \varphi_{i+1}(x) &= 2x\varphi_i(x) - \varphi_{i-1}(x), \quad \varphi_0(x) = 1, x \in [-1, 1], \\ \varphi_0(x) &= 1, \quad \varphi_1(x) = x; \end{aligned}$$

веса

$$\gamma_i = 1, \quad i = 0, 1, \dots, n;$$

2) полиномы Чебышева второго рода:

$$\begin{aligned} \varphi_{i+1}(x) &= 2x\varphi_i(x) - \varphi_{i-1}(x), \quad \varphi_0(x) = 1, x \in [-1, 1], \\ \varphi_0(x) &= 1, \quad \varphi_1(x) = 2x; \end{aligned}$$

веса

$$\gamma_i = \sqrt{1-x^2}, \quad i = 0, 1, \dots, n;$$

3) полиномы Лагерра:

$$\varphi_{i+1}(x) = -\frac{x-2i-1}{i+1} \varphi_i(x) - \frac{i}{i+1} \varphi_{i-1}(x),$$

$$\varphi_0(x) = 1, \quad x \in [0, +\infty),$$

$$\varphi_0(x)=1, \varphi_1(x)=1-x;$$

веса

$$\gamma_i=e^{xi}, i=0,1,\dots,n;$$

4) полиномы Лежандра:

$$\varphi_{i+1}(x)=\frac{2i+1}{i+1}x\varphi_i(x)-\frac{i}{i+1}\varphi_{i-1}(x),$$

$$\varphi_0(x)=1, x\in[-1, 1],$$

$$\varphi_1(x)=x;$$

веса

$$\gamma_i=1, i=0,1,\dots,n;$$

5) полиномы Эрмита:

$$\varphi_{i+1}(x)=x\varphi_i(x)-i\varphi_{i-2}(x), \varphi_0(x)=1, \varphi_1(x)=x;$$

$$\varphi_0(x)=1, \varphi_1(x)=x;$$

веса

$$\gamma_i=e^{-\frac{x^2}{2}}, i=0,1,\dots,n.$$

Коэффициенты  $a_i$  для (1) определяются по формуле

$$\alpha_i = \frac{\sum_{k=0}^m \gamma_k f_k \varphi_i(x_k)}{\sum_{k=0}^m \gamma_k \varphi_i^2(x_k)}, i=0, n; n \leq m.$$

Для полиномов Чебышева первого рода для временного ряда в качестве аргумента взяты значения корни многочлена Чебышева

$$\varphi_{m+1}(x) : x_i = \cos \frac{2i+1}{2m+2} \pi;$$

для остальных видов полиномов в качестве  $x_i$  рассматривалась проекция значений моментов времени

$$t = \overline{1, m}$$

на отрезок  $[1-, 1]$ :

$$x_i = \frac{2t-m}{m}.$$

В докладе представлены результаты применения рассматриваемого подхода к рядам среднемесячных значений уровня осадков по 35 метеостанциям на Алтае за 48 лет. Исследовались значения ошибки аппроксимации в зависимости от вида используемых полиномов и от числа слагаемых  $n$  в разложении. В качестве оценки точности приближения функцией рассматривалась средняя абсолютная ошибка:

$$E = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |f_i - P(x_i)|.$$

Результаты были получены в рамках выполнения базовой части государственного задания Минобрнауки России, проект 8.9628.2017/8.9.

#### Литература

1. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: определения, теоремы, формулы. / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1974. – 832 с.
2. Суетин П. К. Классические ортогональные полиномы / П. К. Суетин. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1979. – 416 с.

*Kuzmenko Vladimir, Prof., NCFU, Koldaev Alexander, PhD, NCFU,  
Stavropol, Russia*

### **NEURO-FUZZY DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CONTROLLING THE BUTANOL HYDROGENATION PROCESS**

For the overwhelming majority of artificial and natural objects the construction of accurate mathematical models is practically impossible because of their poor formalizability. In the case of poor formalizability of the control object, special interest is generated by systems based on intellectual principles.

This paper discusses the intelligent decision support system for managing the butanol hydrogenation technological process based on the use of a hybrid neuro-fuzzy system.

Neural networks and fuzzy logic – fundamentally different constructions – are universal approximants of complex (nonlinear) functional dependencies.

The main feature of neural networks is their ability to learn. The advantage of fuzzy logic is the possibility of using expert knowledge about the structure of an object in the form of linguistic utterances: if «input» then «output».

A characteristic of the reactor installation is the presence of a large number of nonlinear connections in it. «Traditional» control methods are not applicable to it. In this case, it becomes necessary to use the methods of artificial intelligence.

As the parameters of a object are defined by wide range of values, and any value from this range will depend on operating conditions, so in this case it is expedient to apply fuzzy logic method which allow to unite separate entrance values in subsets.

The fuzzy-algorithm is formed by simple linguistic rules, rather than as a conventional form of mathematical expressions. Studies have shown that the fuzzy models are universal approximator for the simulated systems. They can be used to obtain approximate representation of systems with any a priori given precision.

Therefore, fuzzy-logic algorithm consist of five stages: 1) fuzzification of input variables; 2) application of the fuzzy operator (AND or OR) in the precondition; 3) implication of the precondition and consequence; 4) aggregation of consequences through rules; 5) defuzzification. Simultaneous calculation of rules is one of most prominent aspects of fuzzy logic systems.

A linguistic variable characterized by a set of parameters <«inputs» – «output»> can be represented as a special neuro-fuzzy network. A neuro-fuzzy network is built on the basis of a multi-layer architecture using a fuzzy «AND» neuron, and a fuzzy «OR» neuron.

The structure of the neuro-fuzzy network allows building intelligent decision support systems for almost any nonlinear object. The output of such a neural network can be formalized either as a specific state of the object (then the fuzzy

neural network is used as a classifier), or as an instruction to the decision maker, or in another way.

The output values of a network adequately define a condition of butanol hydrogenation process at various values of input parameters and correspond to the fuzzy knowledge base. The small error in definition of process condition is caused by a mistake of neuro-fuzzy network training, but essential influence on managerial process does not render. Depending on values of an output of a neuro-fuzzy network the managerial signals directed on elimination of deviations in technological process will be formed.

The possibility of applying the fuzzy logic for non-fully described systems with unknown dynamics is considered in the article on the example of the problem of defining the condition of management object. Fuzzy logic can work with not completely described systems with unknown dynamics, thus the aprioristic mathematical model of object of management is not required. It is shown, that application of a neural network allows to simplify process of fine tuning of membership functions and to raise accuracy of an fuzzy conclusion.

Check of the constructed DSS with neuro-fuzzy network shows high degree of its adequacy to initial data. It allows to draw a conclusion that there is an opportunity of its practical application for a problem of any technological process management described by nonlinear dependence.

*Куреев А.А., Левицкий И.А., Ляхов. А.И., д.т.н., Хоров. Е.М., к.т.н.,  
ИППИ РАН, МФТИ, г. Москва*

### **ПЛОТНЫЕ СЕТИ WI-FI: МОЖНО ЛИ ПОЛАГАТЬСЯ НА ЭФФЕКТ ЗАХВАТА КАНАЛА?**

В телекоммуникации эффект захвата канала – это явление, которое возникает во время пересечения во время передачи нескольких кадров. В таком случае приемник во время приема слабого кадра может отбросить его и начать прием более сильного кадра. Этот эффект существует и в сетях Wi-Fi. Согласно стандарту [1, раздел 17.3.12], при обнаружении преамбулы



пакета, устройство должно продолжать получать пакет до конца, не пытаясь обнаружить преамбулу другого пакета. Это значит, если во время приема пакета на станцию приходит пакет с большей мощностью, то происходит коллизия и потеря обоих пакетов. Однако можно сделать так, чтобы пакет с наибольшей мощностью мог быть принят корректно.

Данный эффект является очень полезным свойством приёмников в плотных сетях. Как правило, клиентские станции подключены к той точке доступа, сигнал от которой наиболее мощный. Тогда при наличии эффекта захвата канала кадры в этой сети будут приняты корректно, даже если до их приема передавался кадр малой мощности от устройств другой сети.

Так как наличие эффекта захвата стандартом не предусмотрено, возникает вопрос, как эту проблему решают производители сетевых карт, и возникает ли эффект захвата в этих устройствах.

Чтобы ответить на этот вопрос и изучить эффект захвата в современных сетях Wi-Fi, была спроектирована экспериментальная установка. Установка состоит из приемника (ноутбука с тестируемой сетевой картой Wi-Fi), точки доступа (нужна для подключения приемника к сети) и передатчика NI USRP. NI USRP – это программно-конфигурируемый приемопередатчик, который с помощью программного обеспечения LabVIEW позволяет создавать прототипы систем беспроводной связи. С помощью данного инструмента появляется возможность генерировать кадры с заданной разницей по мощности передачи и с заданным временным сдвигом между последовательными кадрами. Имеется возможность тестировать приёмники в частотных полосах 2,4 ГГц и 5 ГГц. В отличие от других установок [2], эта система проста и позволяет тестировать произвольные чипы Wi-Fi в имеющихся в продаже ноутбуках без изменения их драйверов.

Исследования были направлены на изучение двух типов эффекта захвата. Первый – эффект захвата преамбулы, который возникает во время фазы обнаружения кадра и является типичным для большинства устройств. Второй – эффект захвата кадра – после декодирования преамбулы. Как показывают эксперименты, последний эффект имеется лишь в немногих

устройствах: некоторые сетевые карты от Qualcomm проявляют этот эффект, а среди карточек от Intel и Broadcom таковых обнаружено не было. Полученные результаты дают четкое представление о том, что введение такого функционала может быть чрезвычайно важным для будущих сетей IEEE 802.11ax.

### Литература

1. “802.11-2016 – IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks—Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications,» ANSI/IEEE Std. 802.11, pp. 1 – 3534, December 2016.

2. J. Lee, W. Kim, S.-J. Lee, D. Jo, J. Ryu, T. Kwon, and Y. Choi, “An experimental study on the capture effect in 802.11 a networks,» in Proceedings of the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization. ACM, 2007, pp. 19–26.

*Линк И.П., Московский политехнический университет, г. Москва*

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЯ МЕЖМАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Концепция интернета вещей (Internet of Things) набирает популярность не первый год и уже выделилась в отдельный рынок. Предпосылками к появлению данного рынка являются увеличение пропускной способности каналов доступа в Интернет, а также появление сторонних проектов, занимающихся оптимизацией отдельно взятых решений. С появлением агрегаторов тех или иных технологий исследователи также начали пересматривать свое видение АСОиУ на основе концепции IoT [1].

При проектировании системы, направленной на связь между оборудованием, напрямую не предназначенным для телекоммуникаций (например, бытовой техникой или металлорежущими станками), использование

сторонних решений всегда негативно сказывается на интеграции их в готовую систему, а также на связь между модулями системы [2]. Из-за неоднородности объектов воздействия связующие модули также являются разнородными. Но с точки зрения оптимизации внутренних процессов системы эти решения не являются эталоном качества.

Для того чтобы внутренние процессы системы были максимально оптимизированы, нам необходимо пересмотреть подход к разработке и использованию связующих модулей. Если все связующие модули будут являться однородными – это поможет снизить нагрузку на центр управления и увеличить скорость передачи данных.

Основной задачей проектируемого модуля передачи данных для устройств IoT является выполнение следующих задач: межмашинное взаимодействие, автоматическое управление режимом передачи данных или полуавтоматический режим управления со смартфона. Для удобства внедрения и разработки системы автор рассчитывает, что все использующееся в системе IoT на основе данного модуля является свободным.

Для расчета скорости соединения между модулями мы воспользуемся построением графа и подсчетом его ребер. Каждому ребру будет соответствовать скорость соединения между тем или иным устройством. Для посредственного сравнения показателей нам необходимо сравнить общий вес графа, элементами которого являются разнородные устройства и однородные.

После сравнения показателей вес графа с однородными модулями был больше на 15%, чем граф с разнородными модулями. Соответственно система выигрывает в скорости установления соединений между модулями, а за счет этого и в производительности. Таким образом, использование универсального связующего модуля позволяет создавать системы с заведомо высокой производительностью, простым процессом интеграции, устойчивостью к перепадам напряжения и тривиальным процессом разработки приложения для визуализации данных.

Благодаря такому устройству, подход к разработке систем Интернета вещей может быть кардинально изменен. Преимущества, которые несет собой данная разработка, – это сведение процесса создания канала взаи-

модействия между элементами системы, практически на нет; возможность создавать систему, в которой управление элементами осуществляется по однородному протоколу; соответственно повышается производительность, устойчивость и гибкость создаваемых систем.

### **Литература**

1. John Romkey. IEEE Consumer Electronics Magazine. // IEEE. 2016. С. 116-119.
2. Куприяновский Василий Павлович, Намиот Дмитрий Евгеньевич, Куприяновский Павел Васильевич Стандартизация Умных городов, Интернета Вещей и Больших Данных. Соображения по практическому использованию в России // International Journal of Open Information Technologies. 2016. №2. С.34-40

*Maaz Amjad, Kaimuldenov Zhanibek, MIPT, Ilia Voronkov,  
NRU HSE, Moscow*

## ***AN EMPIRICAL STUDY OF TEXT CLASSIFICATION WITH DEEP LEARNING NEURAL NETWORKS***

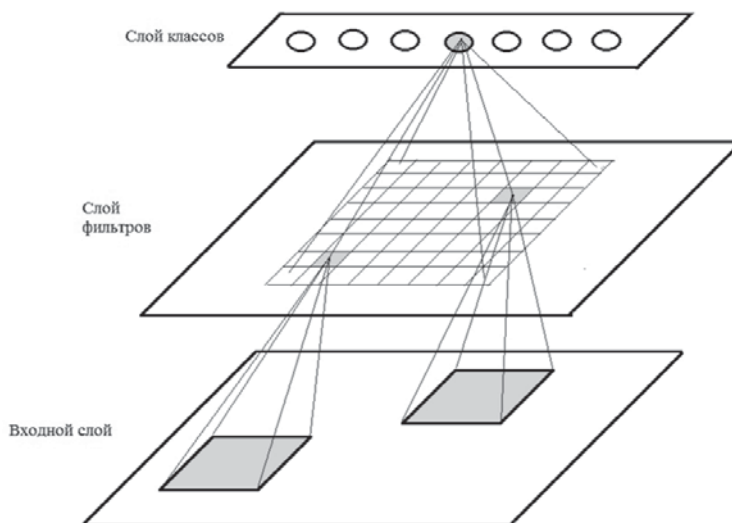
In this paper, we analyze the use of different neural networks for the text classification task. The accuracy of the studied text classifiers can be changed by a small number of previously classified texts. This is important due to the fact that in many applications of text classification a large number of un-labeled texts are easily accessible, while the receipt of marked texts is quite a difficult task. The paper also shows that the convolution neural network can work better at the level of words, and does not require knowledge of the syntactic or semantic structure of the language. On the other hand, a recurrent neural network for the level of data representation in the form of a sequence can effectively classify the text. Experimental results obtained for text corpora from two different sources show that using a vector data representation can also improve the accuracy of the classification.

*Нгуен Нгок Зиен, Мишустин И.А., МФТИ, г. Долгопрудный*

## **ПРИНЦИП СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОПОДОБНЫХ**

Главными свойствами биологического нейрона, смоделированными в методе ААУ, являются способность нейрона к самостоятельному обнаружению во входном потоке информации закономерных (неслучайных) пространственных и пространственно-временных конфигураций сигналов, запоминанию их в своей долговременной памяти и последующему распознаванию в случае их появления на входе. При этом повторяемость распознаваемого прообраза увеличивает его статистическую подтвержденность, что позволяет нейрону распознавать прообраз даже при наличии помех с сохранением той же вероятности ложной тревоги.

Структура нейроподобной сети к распознаванию образов:



где:

- входной слой состоит из нейронов 1-го типа [1];
- слой фильтров и слой классов состоят из нейронов 3-го типа [1];

Распознавание реализуется вычислением свертки каждого нейрона «слоя фильтров» и «слоя классов», выходной сигнал нейрона определяется соотношением:

$$O_w^t = \begin{cases} 1, \text{if } \sum_{i=1}^m x_i^t w_i^t \geq \rho \\ 0 \end{cases},$$

где  $x_i$  –  $i$ -я компонента входного вектора,  $x_i \in \{0, 1\}$ ,  $w_i$  – вес  $i$ -го синапса нейрона,  $\rho$  – порог нейрона  $0 < \rho < 1$ .

При поступлении входных векторов начинается процесс обучения нейрона, связанный с изменением весов [1].

$$dw_i^{t+1} = f_i(\vec{w}, \vec{x}).$$

Это изменение зависит от предыдущего значения вектора весов  $w$  и входного вектора. Предлагается следующий вид функции  $f_i$  [1]:

$$f_i(\vec{w}^t, \vec{x}^t) = \left\{ x_i^t w_i^t \left( 1 - \sum_{j=1}^m w_j^i \right) + q w_i^i (x_i^i - 1) \right\} \sum_{j=1}^m x_j^t w_j^t e^{-j \bmod (i-j)}$$

После того как один и только один нейрон слоя классов обучен, то образ  $O$  сформирован. Этот нейрон будет срабатывать, если поступает прообраз этого образа на вход сети.

Синтез принятия решения:

- если ни один нейрон слоя классов не сработает, то образ не будет распознан;
- если один нейрон слоя классов сработает, то образ будет распознан;
- если несколько нейронов слоя классов сработают, то нейрон с максимальным значением свертки сработает и затормозит все остальные нейроны (победитель забирает все).

Этот принцип был применен для распознавания рукописных цифр MNIST[2] с точностью распознавания 95%.

### Литература

1. Жданов А.А., Автономный искусственный интеллект, М.: «Бином. Лаборатория знаний», 2008.
2. LeCun, Yann, Corinna Cortes, and Christopher JC Burges. «MNIST handwritten digit database.» *AT&T Labs [Online]*. Available: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist> 2 (2010).

*Савин Е.А., к.т.н., ООО «Базовые Технологии», г. Москва*

## **ВЧ МЭМС ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

Пассивные элементы на основе ВЧ МЭМС-технологии являются перспективными кандидатами для использования в перестраиваемых ВЧ-устройствах, таких как генераторы, управляемые напряжением, переключатели антенн, фазированные антенные решётки и т.д. ВЧ МЭМС (высокочастотные микроэлектромеханические системы) основаны на механическом изменении ёмкостных элементов, расположенных на передающей ВЧ-линии. Основными преимуществами таких устройств является высокая линейность, малые фазовые шумы, радиационная стойкость, температурная и механическая стабильности.

Наиболее простой пример ВЧ МЭМС – это цифровой варактор, который может быть использован в основе перестраиваемых частотных фильтров.

В работе рассматривается ВЧ-переключатель шунтирующего типа X-частотного диапазона на основе ВЧ МЭМС-технологии. Цифровые варакторы и переключатели являются основной составляющей согласователей импеданса и многопортовых переключателей на основе ВЧ МЭМС, использование которых в современных телекоммуникационных технологиях в последнее время набирает популярность.

В основе переключателя лежит передающий копланарный волновод с волновым сопротивлением 50 Ом. Над центральным проводником

спроектирован заземлённый подвешенный электрод, также называемый кантилевером или мембраной в зависимости от способа крепления. При воздействии электростатической силы, подвешенный электрод притягивается к сигнальной линии и образует высокую шунтирующую ёмкость через слой разделяющего диэлектрика, тем самым обеспечивая высокую изоляцию проходящего сигнала.

В работе рассматриваются методы оптимизации геометрии подвешенного электрода для достижения низких потерь и высокой изоляции переключателя.

Уникальный идентификатор проекта – RFMEFI57916X0137.

*Samokhina M.<sup>1</sup>, Trushina O.<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Independent Researcher, Sydney, Australia*

*<sup>2</sup>MIPT, Dolgoprudny, Russia*

## **CODE-BASED CRYPTOSYSTEMS EVOLUTION**

The public-key cryptosystems are used worldwide, they are part of our everyday life. Richard Feynman puts forward the idea of Quantum computing in the early 1980s [1]. Despite the fact that the Quantum computer invention is a huge scientific breakthrough it produces some challenges. Peter Shor shows in 1994 [2] that the classic public-key cryptography used today is vulnerable by quantum computer attacks. Inventing of alternative algorithms is a key problem of postquantum cryptography.

Code-based cryptography relies on generic decoding problem. That's why code-based algorithms are one of the few classes of mathematical techniques that can be claimed as an competitive alternatives to the current standards that are resistant to the Quantum computer attacks.

Robert J. McEliece was the first who proposed a public-key cryptosystem based on an elements of algebraic coding theory in 1978 [3]. Harald Niederreiter has published his «Knapsack-type cryptosystems and algebraic coding theory» 6 years later [4]. The design and general principles for both cryptosystems are



quite similar. The equivalence of McEliece's and Niederreiter's public-key cryptosystems has been demonstrated by Y. Li, R. Deng and X. Wang in [5] in 1994.

The main theoretical concept of the McEliece public-key cryptosystem [3] is to generate a code with particular set of parameters and to disguise it as a common linear code. Classic McElise cryptosystem based on binary  $(n, k)$  Goppa code.

The algorithm is relatively fast and operates tenfold times faster than a standard RSA system, but has a one disadvantage – the public key is quite large. The Niederreiter system has no disadvantages of McEliece system as described above, it is also based on Reed-Solomon codes.

The Niederreiter cryptosystem proved vulnerable and was hacked by Sidelnikov and Shestakov [6]. Taking into account the equivalence of the systems [5] the attack can be modified for McElise cryptosystem so the attacker can get a plaintext without knowing a secret.

Berger and Loidreau [7] proposed a modification which uses codes with maximum rank distance. Apparently, a Sidelnikov-Shestakov attack can be possible for such a system.

Cryptosystem designed by E. Gabidullin and V. Obernikhin in 2002 [8] and uses a new idea: cipher text can be presented as a sum of vectors, multiplied by a randomly selected matrix  $S$ .

One of the latest modification proposed by E. Gabidullin and M. Samokhina in 2005 [9] concatenates multiple approaches including the usage of different metric, modified keys and additional scrambling matrices.

In order to decrypt, a legitimate user must first calculate the error vector by applying the fast decoding algorithm to a new code, which in fact is a syndrome of the parent code. The second stage of decryption is to apply the fast decoding algorithm of the parent code. As a result a legitimate user obtains the public text.

Decades of research of code-based cryptography results in a certain level of maturity. As per today some of code-based crytosystems might be a strong candidates as one of the future Quantum-resistand standards. Despite the fact

most of described systems complexity significantly increased since 1978 all of them rely on the original idea of usage error-correcting code. There are lots of different applications for the code-based systems which required further investigation including contracting code-based digital signature.

### References

1. R. P. Feynman, "Simulating Physics with Computers," International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, No. 6-7, 1982, pp. 467-488
2. P. Shor, "Polynomial-Time Algorithms for Prime factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer," SIAM J. Computing, vol. 26, no. 5, 1997, pp. 1484-1509.
3. Robert J. McEliece. «A public-key cryptosystem based on algebraic coding theory.» Jet Propulsion Laboratory DSN Progress Report 42–44, 114–116.
4. Harald Niederreiter. «Knapsack-type cryptosystems and algebraic coding theory.» Problems of Control and Information Theory 15, 19–34. Problemy Upravlenija i Teorii Informacii 15, 159–166.
5. Y. Li, R. Deng and X. Wang, "The equivalence of McEliece's and Niederreiter's public-key cryptosystems," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 40, 1994, pp. 271–273.
6. Sidelnikov, V., Shestakov, S.: On insecurity of cryptosystems based on generalized Reed-Solomon codes. Discrete Math. Appl. 2, 439–444 (1992).
7. Berger, T.P., Loidreau, P.: Designing an efficient and secure public-key cryptosystem based on reducible rank codes. In: Canteaut, A., Viswanathan, K. (eds.) INDOCRYPT 2004. LNCS, vol. 3348, pp. 218–229. Springer, Heidelberg (2004)
8. Gabidulin E.M., Obernikhin V.A., Codes in the Vandermonde F-metric and their applications. Proc. Eighth Int. Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory, Tsarskoe Selo – Moscow, Russia. 2002. – P. 124--127.
9. M.A. Churusova, E.M. Gabidulin. The modified Niederreiter cryptosystem based on new metric. Proceedings of ISCTA2005, Ambleside, Lake District, UK, July, 2005.

*Сарьян В.К., академик НАН РА, д.т.н., МФТИ, ФГУП НИИР,  
Саломатина Е.В., ФГУП НИИР, МТУСИ, г. Москва*

## **УПРАВЛЕНИЕ ТРАФИКОМ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ СЕТИ**

В формирующейся единой глобальной конвергентной инфокоммуникационной среде наблюдается лавинообразный рост трафика, вызванный подключением громадного числа новых абонентов (человеко-машинных (ЧМС), машинных (МС) систем и интернет-вещей (ИВС)) и возросшим спросом на массовые конвергентные услуги (МКУ). Так как емкость каналов традиционно отстает от потребностей, действенным способом борьбы с этим явлением, оказывается поиск моделей управления трафиком. В [1] на основе анализа используемых провайдерами методов управления отмечена тенденция самоорганизации сетей предоставления услуг в сторону оптимальной модели – информационно-управленческой сети (ИУС) [2]. Основная емкость и направления трафика в ИУС связаны с предоставлением массовых услуг. Внедрение массовых услуг в ИУС сложно осуществить без прогнозирования и управления трафиком и контентом. Управление контентом связано с семантическими помехами абонентов ИУС, участвующих в воспроизводстве типовых процессов (ИП<sub>т</sub>) [2]. В данной статье рассмотрены только некоторые возможности ИУС по сокращению трафика, которые достигаются в процессе самоорганизации за счет управления не только трафиком, но и контентом.

МКУ может формироваться только на основе близких ИП<sub>т</sub>. В случае ее создания параметры различных ИП<sub>т</sub> сближаются, в том числе и период, а время их проведения синхронизируются. Если точка синхронизации ИП<sub>т</sub> выбирается без учета других, воспроизводящихся в ИУС ИП<sub>т</sub>, то в ИУС возникает мощная пиковая нагрузка, которую можно избежать, если даже незначительно сдвинуть по времени начало ИП<sub>т</sub> друг относительно друга.

На рис.1–6 приведены некоторые результаты оценки параметров ИП<sub>T</sub>.  
Здесь:

- $\tau_0$  – точка сходимости в фазовой траектории (точка устойчивости) «движения» объекта ИУС в семантической аномалии (СА) в процессе воспроизводства ИП<sub>T</sub>; узел графа центра сети ( $C_{\mu Sc}$ ); смысл, достижение которого означает окончание, завершение процесса воспроизводства ИП<sub>T</sub>;
- $\Delta\tau_0$  – допустимый разброс  $\tau_0$ ;
- $T_0$  – время сходимости ИП<sub>T</sub> в ИУС, период ИП<sub>T</sub>;
- $\Delta T_0$  – допустимый разброс во время сходимости от одного воспроизведения ИП<sub>T</sub> до другого.

Параметры ИП<sub>T</sub> в ИУС могут меняться со временем: необходимо различать целенаправленное изменение со стороны собственного центра  $C_1$  или внешней среды со стороны  $C_2, C_3$ , являющихся центрами других ИУС (рис. 1–6.)

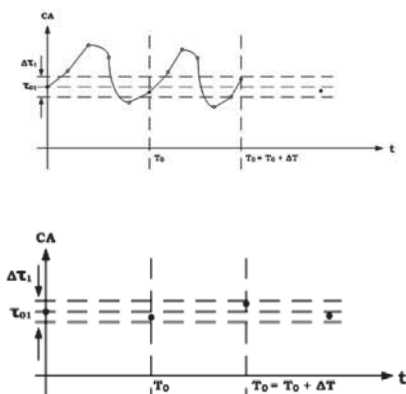
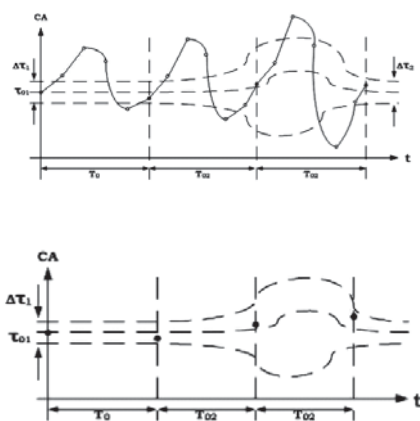


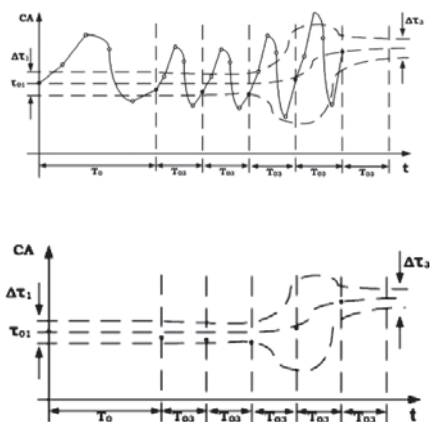
Рис. 1. Изменение семантической аномалии при неизменности параметров типового информационного процесса

На рис. 1 при неизменности параметров ИП<sub>T</sub> фазовая траектория ИП<sub>T</sub> не выходит за пределы  $\Delta\tau_0$ . Явление бифуркации в данном случае не наступает.



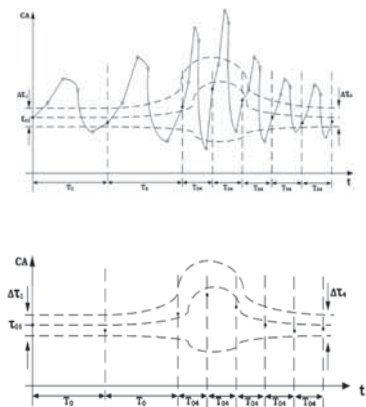
**Рис. 2.** Изменение характеристик типowego информационного процесса и скачкообразное изменение CA

На рис. 2 представлено изменение  $T_0$  в сторону увеличения:  $T_{02} > T_{01}$ . В этом случае происходит увеличение  $\Delta\tau_1$  до  $\Delta\tau_2$ , меняется область функционирования данного ИП<sub>T</sub> в CA, а затем скачкообразно (при сохранении нового значения периода  $T_{02}$ ) происходит изменение точки устойчивости на новое значение  $\tau_{02}$ .



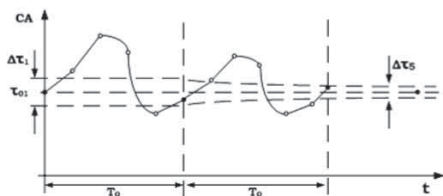
**Рис. 3.** Изменение периода типowego информационного процесса приводит к смене точки устойчивости (изменению CA)

На рис. 3 представлено изменение в сторону уменьшения  $T_{04} < T_{01}$ . При этом в отличие от рис.2 вначале величина  $\Delta\tau_3$  даже уменьшается  $\Delta\tau_3 < \Delta\tau_1$ , а затем увеличивается и также приводит к явлению бифуркации и смене точки устойчивости (при условии сохранения величины  $T_{03}$ ).

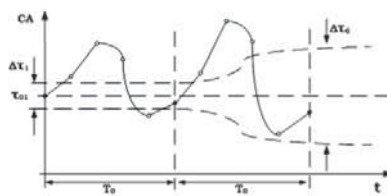


**Рис. 4.** Сохранение СА при воздействии других центров за счет увеличения частоты воспроизведения типового информационного процесса

На рис. 4 показано влияние  $C_2$  и  $C_3$ , принадлежащих другим сетям. Изменение  $\tau_0$  сведено к увеличению уровня семантических помех, которое можно уменьшить, если увеличить частоту воспроизведения ИП<sub>т</sub>. При этом можно сохранить точку устойчивости неизменной.



**Рис. 5.** Функционирование двух агрегированных ИПт



**Рис. 6.** Функционирование двух неагрегированных ИПт

Из рис. 5 и рис. 6 видно, что длительное совместное функционирование двух ИП<sub>т</sub> в одном объекте ИУС возможно только для агрегированных ИП<sub>т</sub>.

Таким образом, нельзя одновременно и длительное время воспроизводить произвольно созданные массовые услуги в одной ИУС. Поэтому закрепляются только такие массовые услуги, которые могут агрегироваться друг с другом, так как само определение массовой услуги делает невозможным семантическое противоречие этих услуг.

### Литература

1. Сарьян В.К. Новый способ структуризации сетей передачи данных // Труды НИИР. 2001. — С. 74-76
2. Саломатина Е.В. Топологическая модель информационно-управленческой сети. Доклады ТУСУР. 2017. — №4. —115-120

*Старых Д.Д.<sup>1,2</sup>, Шихалиев И.И.<sup>1,2</sup>, Лукиных С.Н.<sup>1,3</sup>, д.ф.-м.н. Наний О.Е.<sup>1,3</sup>,  
к.ф.-м.н. Трещиков В.Н.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. Коньшев В.А.<sup>1,4</sup>*

*<sup>1</sup> ООО «Т8 НТЦ», г. Москва*

*<sup>2</sup> МФТИ, г. Долгопрудный*

*<sup>3</sup> МГУ им. М.В.Ломоносова,*

*<sup>4</sup> Институт истории естествознания и техники  
им. С.И. Вавилова РАН, г. Москва*

## **РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ РАМАНОВСКИЕ УСИЛИТЕЛИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ**

Применение распределенных усилителей на основе эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР-усилителей) совместно с традиционными эрбиевыми усилителями позволяет существенно улучшить отношение сигнал-шум в многопролетных и однопролетных волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) [1–2] за счет уменьшения уровня шума усиленного спонтанного излучения и ослабления нелинейных искажений.

В последнее время интерес к использованию ВКР-усилителей существенно возрос в связи с началом использования многоуровневых форматов модуляции 16-QAM, 64-QAM и даже 256-QAM, для работы которых требуется существенно более высокое значение отношения сигнал-шум оптического сигнала.

Для расчета характеристик такого усилителя важнейшим параметром является коэффициент ВКР  $g$ , определяющийся характеристиками световода, в котором реализуется ВКР-усиление. Нами было проведено экспериментальное исследование по измерению спектральной зависимости рамановских коэффициентов современных телекоммуникационных волокон различными способами. Также был предложен свой упрощенный метод измерения коэффициента ВКР, позволяющий быстро оценить коэффициент ВКР в волокне [3].

Полученные спектральные зависимости коэффициентов ВКР использовались для расчета спектров усиления и шум-факторов рамановских усилителей с попутной и встречной накачкой.

Известно, что взаимодействие излучений накачки и сигнала в ВКР-усилителе подчиняется системе связанных скоростных дифференциальных уравнений [4]. Данная модель обобщена нами на случай многоволновой накачки и многоканального сигнала, а также учтено влияние собственного шума ASE рамановского усилителя. Кроме того нами была разработана модель рамановских усилителей с попутной и встречной накачкой в линиях связи, имеющих переменные распределенные точечные затухания.

Для оценки нелинейных эффектов, возникающих при попутной рамановской накачке, нами использовалась модифицированная модель нелинейного шума [5–6]. В данной модели нелинейные искажения в волокне представляют собой аддитивный гауссов шум, приближенно зависящий от входной оптической мощности в волокно по закону:

$$P_{NL} = \eta P_{in}^3, \quad (1)$$

где  $P_{NL}$  – мощность нелинейного шума,  $P_{in}$  – входная мощность в пролет,  $\eta$  – коэффициент нелинейности.



Нами показана применимость, с некоторыми дополнениями, разработанной модели к линиям связи не только с экспоненциально затухающим сигналом, но и к линиям с неестественным распределением мощности сигнала, вызванным ВКР-усилением.

### Литература

1. Gainov V.V., et al, Laser Physics Letters, **12** 066201 (6pp), (2015).
2. Gainov V.V., et al Technical Physics, **60**, No. 4, 561-567 (2015).
3. Шихалиев И. И. и др. Простой метод измерения эффективного коэффициента ВКР в одномодовых волоконных световодах и область его применимости //Квантовая Электроника. – 2017. – Т. 47. – №. 10. – С. 906-910.
4. Headley C., Agrawal G.P. Raman amplification in fiber optical communication systems, London: Elsevier Academic Press (2005)
5. Carena A., et al, J. Lightwave Technol. **30** (10) 1524–1539 (2012)
6. Konyshv V.A., et al, Optics Communications, **381**, 352-359 (2016)

*Чальй Д.Ю., к. ф.-м. н., Антошина Е.Ю., ЯрГУ, г. Ярославль*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМАНТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Программно-конфигурируемые сети (ПКС) – перспективное направление в развитии компьютерных сетей. Управление сетью, отделенное от аппаратной реализации, предоставляет новые возможности для реализации новых сетевых приложений, используя современные практики разработки программного обеспечения. Программные решения имеют сложную природу, в связи с чем возникает необходимость в дополнительных инструментах верификации программ как со стороны корректности, так и со стороны безопасности. В данной работе представлена модель безопасности ПКС, построенных на базе протокола OpenFlow.

Рассматривается простая модель ПКС: сеть состоит из конечных узлов, которые генерируют трафик, и промежуточных узлов, перенаправляющих его. За конечные узлы приняты порты приложений, использующие виртуальные порты транспортного уровня, а промежуточные узлы — это OpenFlow-коммутаторы [1]. В сети существует выделенный управляющий узел: контроллер, который по защищённым каналам связи взаимодействует со всеми коммутаторами. Контроллер обладает динамически обновляемой информацией о структуре и топологии сети. Основываясь на этой информации, он генерирует и передает команды для каждого коммутатора.

Коммутатор использует для работы одну или несколько таблиц потоков и групповую таблицу [2]. Таблицы потоков заполняются только на основании полученных от контроллера команд. При помощи этих таблиц происходит обработка и перенаправление пакетов. Таблицы групп в данной работе не рассматриваются, т.к. могут быть смоделированы при помощи таблиц потоков.

Контроллер генерирует списки команд для коммутатора в ответ на определенные события в сети (например, приход пакета). Каждая запись этого списка состоит из набора логических условий (*match fields*), инструкций (*action*) и счётчиков. Этот набор заносится в таблицу потоков коммутатора.

Набор логических условий *match* накладывает условия на отдельные заголовки пакета, включая Ethernet, IP и TCP заголовки. Весь предикат *match* можно представить как  $m_{src} \wedge m_{dst}$ , где  $m_{src}$  и  $m_{dst}$  — предикаты, соответствующие условиям для адресов источника и назначения.

При условии истинности *match* для пришедшего пакета выполняются инструкции, которые являются списком команд. В данной модели рассматриваются команды: *Output*, *Drop*, *Set* и *Delete* [1]. Если пакет не соотносится ни с одной из записей таблицы потоков, то в рамках данной модели он передаётся на контроллер.

Предыдущий подход [3] заключался в разработке модели безопасного воздействия в ПКС, акцентируя внимание на политике конфиденциальности для ПКС сети. Сделать обоснованный вывод о соблюдении этой по-

литики стало возможно благодаря сформированной формальной системе правил, составляющих семантическую модель.

В этой работе мы предлагаем общий принцип, согласно которому можно определить семантики, отражающие различные свойства безопасности. На предмет соблюдения политики безопасности рассматривается список команд, который контроллер в ответ на событие отправляет на коммутатор. Этот упорядоченный набор записей в рамках данного подхода можно представить как пары  $match \times action$ . Само событие определяет первую команду в списке, называемую контекстом обработки пакета.

Для решения этой задачи необходимо построить множество правил задания типов  $S$ , согласно которому устанавливается, какой уровень безопасности должен быть назначен списку команд.

Каждому конечному узлу  $p$  ставится в соответствие уровень безопасности (высокий,  $p:high$ , или низкий,  $p:low$ ). Уровень безопасности узлов можно выявить при помощи определенного протокола или задать вручную.

Начнем формирование множества правил задания типов  $S$ : внесём в него правила типизации предиката  $forall$ , который помогает определять свойства, связанные с уровнями безопасности множеств узлов:

$$\frac{\{p_1 : low, \dots, p_n : low\}}{\vdash forall(p_1, \dots, p_n) : low} \qquad \frac{\{p_1 : high, \dots, p_n : high\}}{\vdash forall(p_1, \dots, p_n) : high}$$

Продолжим формирование множества  $S$  правилами, которые справедливы для желаемой политики безопасности. В это множество добавляются правила определения типа безопасности для каждого возможного события. Тип безопасности события определяет контекст, в котором происходит установка команд. Чтобы задать политику безопасности сети, для каждой команды необходимо определить, над какими информационными потоками возможно её применение в каждом контексте безопасности событий.

Возьмём абстрактную команду и определим для неё политику безопасности: для каждого контекста и информационного потока укажем, нарушает или соблюдает данная команда требуемое свойство безопасности.

$$\frac{\vdash \text{forall}(\text{src}(\text{match})) : t_{\text{src}} \quad \vdash \text{forall}(\text{dst}(\text{match})) : t_{\text{dst}}}{[C] \vdash \text{match} \times \text{action}}$$

Теперь можно определить семантические правила для этой команды. Если в контексте безопасности  $[C]$  разрешен поток типа  $t_{\text{src}} \rightarrow t_{\text{dst}}$ , то правило принимает вид

Имеет смысл попытаться представить эти правила в более ёмком виде. Для этого предлагается построить дерево решений, которое можно редуцировать, и использовать для построения более компактного множества  $S$ .

Полученные правила вывода для каждой команды добавляются в множество  $S$ .

Также в это множество необходимо добавить правило, позволяющее типизировать композиции команд:

$$\frac{[pc] \vdash A \quad [pc] \vdash B}{[pc] \vdash A; B}$$

Совокупность правил из полученного множества  $S$  представляет собой формальную систему безопасности для ПКС, с помощью которой можно сделать вывод о соблюдении или нарушении заданной политики безопасности: если весь список команд может быть типизирован при помощи представленной системы, то данный список соблюдает установленную политику безопасности.

В модели можно ввести правило деклассификации, которое увеличивает её практическую ценность.

### Литература

1. OpenFlow Switch Specification v. 1.5.0 // Open Networking Foundation. December 19, 2014, 277 p.
2. Р. Смелянский. Программно-конфигурируемые сети // Открытые системы. 2013.

3. E.Ju. Antoshina, E.S. Nikitin, D.Ju. Chalyy, V.A. Sokolov. End-to-end Information Flow Security Model for Software-Defined Networks // Моделирование и анализ информационных систем, Vol. 22, No 6, 2015. pp. 735-749.

*Chervyakov N.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Lyakhov P.A., PhD,  
Nagornov N.N., North Caucasus Federal University, Stavropol*

## **SMOOTHING FILTERING OF IMAGES IN THE RESIDUE NUMBER SYSTEM**

### **Introduction**

The Residue Number System (RNS) has a great potential for increasing the efficiency of digital imaging systems [1-3]. Smoothing filters are used for the cleaning of image noise. The method [4] was used for image smoothing in the RNS earlier. A modification of this method was developed [5] further. We propose a new method for image smoothing using the RNS. The main idea of this approach is to replace the computationally complex division operation in the RNS by multiplying all fractional numbers by a factor of a certain value and then rounding off.

### **Smoothing filtering in RNS**

Numbers in the RNS are represented as a set of residues from division  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  into a basis of relatively prime numbers  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , are called modules of the RNS. The product of all RNS modules

$$P = \prod_{i=1}^n p_i,$$

is called dynamic range of the system. Any integer number  $0 \leq A < P$  can be uniquely represented in the RNS as a tuple  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ , where  $a_i = |A|_{p_i} = A \bmod p_i$  [3].

Addition, subtraction and multiplication of numbers in the BNS are equivalent to adding, subtracting and multiplying the residues of these numbers in the RNS by the appropriate modules:

$$\begin{aligned} A \pm B &= (|a_1 \pm b_1|_{p_1}, |a_2 \pm b_2|_{p_2}, \dots, |a_n \pm b_n|_{p_n}), \\ A \cdot B &= (|a_1 \cdot b_1|_{p_1}, |a_2 \cdot b_2|_{p_2}, \dots, |a_n \cdot b_n|_{p_n}). \end{aligned}$$

Filtering of the image may be represented as:

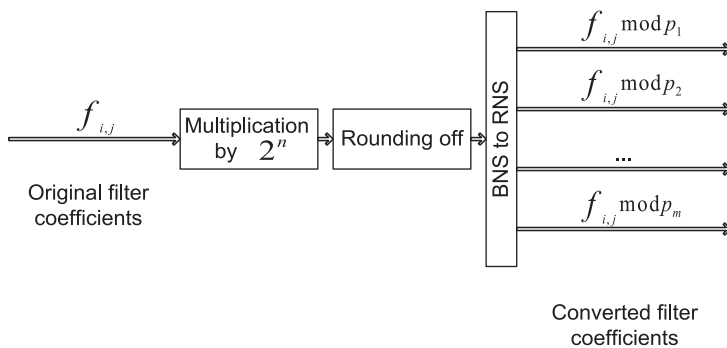
$$A_2(x, y) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k A_1(x+i, y+j) \cdot f_{i,j}$$

for all pairs of values  $(x, y)$ , where  $A_1$  – original image,  $A_2$  – filtered image, and  $f_{i,j}$  – coefficients of filter with dimensions  $(2k+1) \times (2k+1)$ .

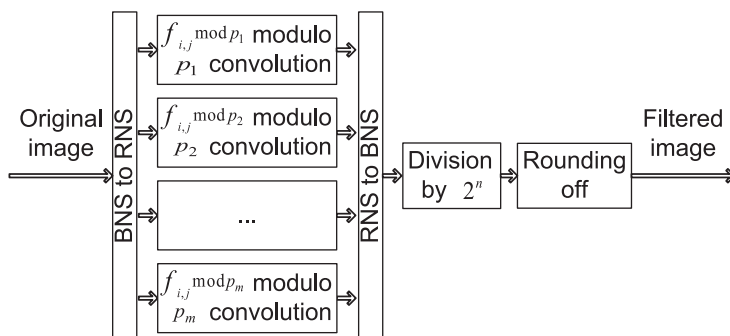
The following filters will be used in theoretical and practical research:

$$F_1 = \frac{1}{15} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}, F_2 = \frac{1}{351} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 5 & 8 & 5 & 1 \\ 5 & 21 & 34 & 21 & 5 \\ 8 & 34 & 55 & 34 & 8 \\ 5 & 21 & 34 & 21 & 5 \\ 1 & 5 & 8 & 5 & 1 \end{pmatrix},$$

$$F_3 = \frac{1}{50912} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 13 & 55 & 91 & 55 & 13 & 1 \\ 13 & 149 & 666 & 1097 & 666 & 149 & 13 \\ 55 & 666 & 2981 & 4915 & 2981 & 666 & 55 \\ 91 & 1097 & 4915 & 8104 & 4915 & 1097 & 91 \\ 55 & 666 & 2981 & 4915 & 2981 & 666 & 55 \\ 13 & 149 & 666 & 1097 & 666 & 149 & 13 \\ 1 & 13 & 55 & 91 & 55 & 13 & 1 \end{pmatrix}.$$



**Figure 1.** The scheme of the filter coefficients converting



**Figure 2.** The scheme of the smoothing filtering in the RNS

We get rid of fractional values and all subsequent operations on the integrated circuit are performed only on fixed-point numbers as a result of these actions.

There is a loss of information as a result of the rounding operation, according to the schemes in Figure 1 and Figure 2, resulting in an error. The accuracy of calculations increases with increasing the degree  $n$  of the factor  $2^n$ . It is necessary to find out what degree should be used to ensure that the calculation error does a minor effect to the final result of image filtration.

### Simulation

The simulation was carried out in MatLab software version R2015b. The RNS with modules  $\{2^r-1, 2^r, 2^r+1\}$  [6] with  $r=8$  and dynamic range  $P=16776960$  was used.



**Figure 3.** The simulation results of image «Lena» with using filter  $F_1$  and different degrees  $n$ : a)  $n=4, PSNR=6,22$ ; b)  $n=6, PSNR=12,09$ ; c)  $n=8, PSNR=24,69$

Figure 3 shows that the quality of image processing «Lena» gradually improves with increasing the degree  $n$  of the factor  $2^n$ .

**Table 1.** The obtained values PSNR (dB)

$n$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
4	12,69	9,06	6,22
5	18,97	13,66	8,13
6	27,83	21,03	12,09
7	32,25	28,77	17,71
8	35,75	34,77	24,69
9	42,76	37,57	31,64
10	50,29	43,39	37,29
11	52,55	48,79	44,78
12	54,33	51,88	48,30
13	57,80	55,58	52,56

From Table 1 we can conclude: the value of the factor  $2^n$  at which the result of image processing by the size  $(2k+1) \times (2k+1)$  filter will not contain significant distortions can be found by formula  $2^n = 2^{9+k}$

### Conclusion

The results of theoretical calculations and modeling showed that if the factor has the value  $2^{9+k}$ , the calculation error has a minor effect on the image filtration result, introducing moderate distortions, almost invisible to the viewer ( $PSNR \geq 45$ ).

To balance between the magnitude of the calculation error and the dimensionality of the variables, and as a consequence, the resources expended, it is possible by controlling the values of the factor. This allows for an effective hardware implementation on the FPGA.

### References

1. A. Omondi and B. Premkumar, Residue Number Systems: Theory and Implementation. London, Imperial College Press, 2007.
2. P.V.A. Mohan, Residue Number Systems: Algorithms and Architectures. New York, Springer US, 2002.



3. C.-H. Chang, *Embedded Systems Design with Special Arithmetic and Number Systems*. Cham, Springer International Publishing, 2017.

4. E. Vasalos, D. Bakalis and H.T. Vergos, «RNS Assisted Image Filtering and Edge Detection». *IEEE 18th International Conference on Digital Signal Processing (DSP)*, July 2013, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICDSP.2013.6622821.

5. N.I. Chervyakov, P.A. Lyakhov, A.S. Ionisyan and M.V. Valueva, «High-Speed Smoothing Filter in the Residue Number System». *Digital Information Processing, Data Mining, and Wireless Communications (DIPDMWC)*, 2016, pp. 121–126. doi: 10.1109/DIPDMWC.2016.7529375.

6. N. Szabo and R. Tanaka, *Residue Arithmetic and its Applications to Computer Technology*. New York: McGraw-Hill, 1967.

## СЕКЦИЯ 2

### СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОСВЯЗИ

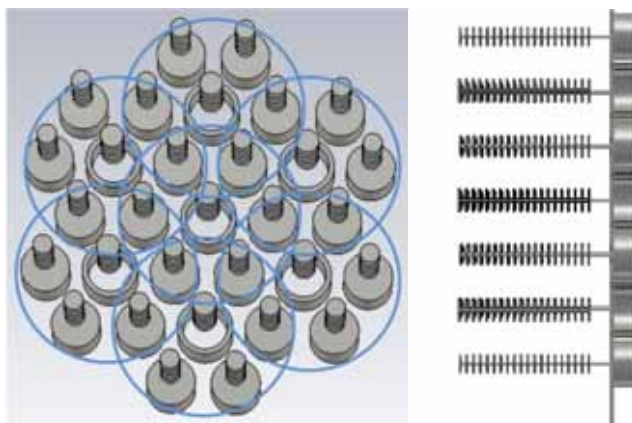
*Гаврилин В.В., Кривошеев Ю.В., к.т.н., Шишлов А.В., к.т.н.,  
ПАО «Радиофизика», г. Москва, МФТИ, г. Долгопрудный*

#### **РЕБРИСТО-СТЕРЖНЕВАЯ АНТЕННА С ВОЛНОВОДНО-КОАКСИАЛЬНЫМ ПЕРЕХОДОМ**

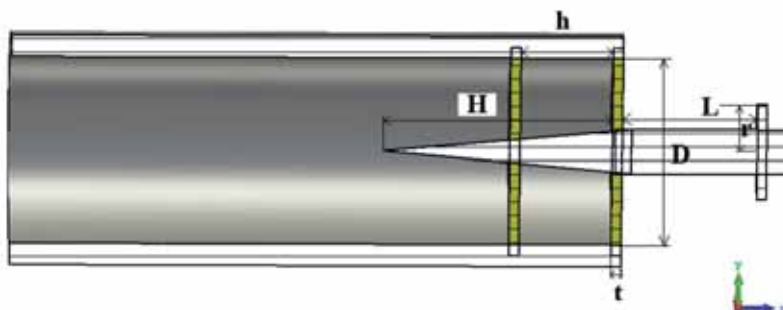
*В работах [1–2] был рассмотрен кластерный облучатель многолучевых антенн на основе ребристо-стержневых излучателей. В решетке, состоящей из таких излучателей (рис. 1), в один кластер входит один центральный и шесть периферийных излучателей. К приемопередатчику подключаются только центральные излучатели, при этом периферийные возбуждаются через эфир. Благодаря взаимным связям в такой антенне формируется спадающее амплитудное и равномерное фазовое распределение. Для выравнивания фазового распределения использовались *диско-стержневые структуры и их свойства, благодаря которым скорость волны уменьшается при увеличении диаметра диска.**

*В работе [1] рассматривалась кластерная МЛА, в которой в центральном излучателе использовался коаксиальный вход с печатным возбудителем. Такой излучатель имеет высокий КСВ, а также недостатки при создании антенн космического базирования. В работе [2] было предложено использовать излучатель с волноводным входом, и в этой работе данный вход рассмотрен более подробно. Общий вид активного излучателя с волноводно-коаксиальным переходом рассмотрен на рис. 2.*

*Для того чтобы добиться наилучшего согласования в излучателе, была проведена оптимизация структуры волноводно-коаксиального перехода по следующим параметрам:  $H$  – длина конусообразного стрежня,  $d$  – расстояние между креплениями,  $t$  – ширина креплений,  $D$  – диаметр волноводного цилиндра,  $L$  – расстояние между открытым концом волноводом и первым диском,  $r$  – радиус первого диска.*

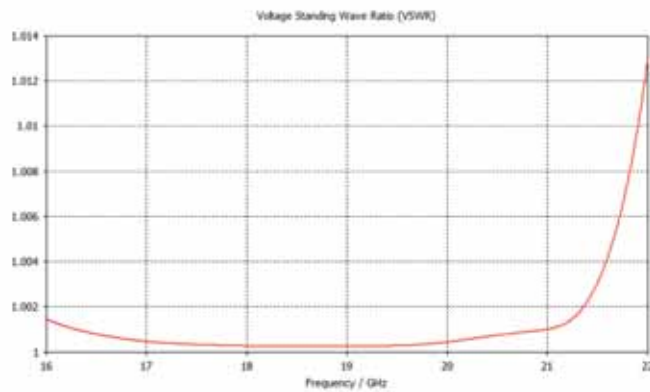


**Рис. 1.** Фрагмент решётки излучателей: слева – вид «сверху». Кругами показаны границы кластеров, справа – вид решетки в боковом сечении



**Рис. 2.** Схема возбуждения активного излучателя в сечении

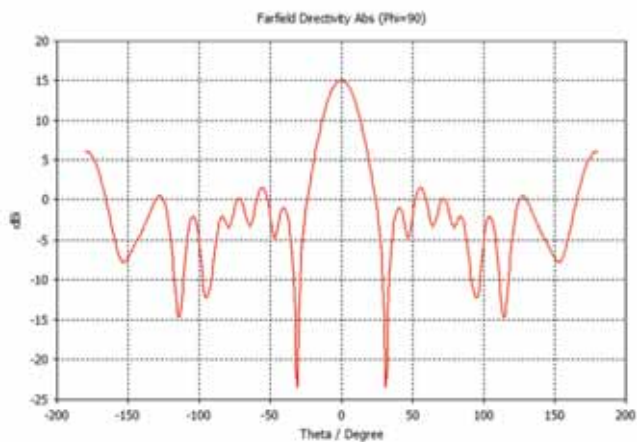
Благодаря оптимизации в рассматриваемом диапазоне частот 18–22 ГГц удалось достичь КСВ не превышающего 1.015 (рис. 3), что является отличным согласованием. При использовании данного излучателя в составе кластерной решетки наблюдалось снижение КУ до 13.5 дБи (в работе [1–2] КУ решетки составлял 15 дБи). Это связано с тем, что вдоль периферийных излучателей не успевают сформироваться направленная волна. Поэтому для более сильного возбуждения периферийных излучателей добавим сверху один слой дисков.



**Рис. 3.** КСВ активного излучателя

После проведения моделирования излучения антенны было получено, что КУ составляет 15 дБи (рис. 4), а КСВ антенны не превышает 1.0002 в диапазоне 18–22 ГГц (рис. 5).

Помимо хорошего согласования, данная конструкция возбуждения в активном излучателе позволяет подключать к входу антенну, возбуждающие устройства с волноводным выходом, а также имеет длительный срок службы при использовании в космосе.



**Рис. 4.** КУ антенны при добавлении одного слоя дисков

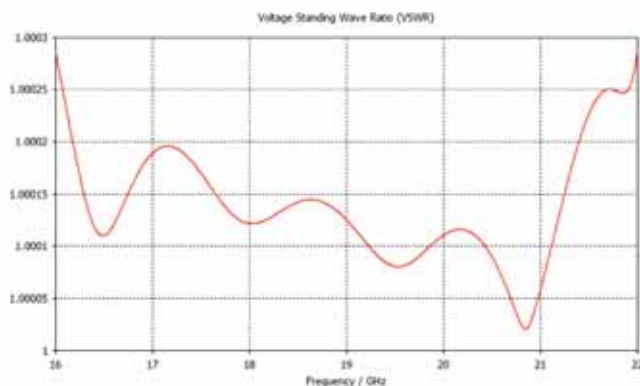


Рис. 5. КСВ антенны при добавлении одного слоя дисков

### Литература

1. Yu.V. Krivosheev, A.V. Shishlov, S.A. Ganin, I.V. Yom, M.S. Om, S.Kh. Yun Multiple Feed per Beam Antenna Based on Disk-On-Rod Elements. Radiotekhnika, – №21, 2016, p. 56-62.
2. Yu.V. Krivosheev, A.V. Shishlov, V.V. Gavrilin, I.V. Yom, M.S. Om, S.Kh. Yun Multiple Feed per Beam Focal Array Using Disk-on-Rod Elements, Engineering and Telecommunication (EnT), 2016, Moscow, Russia

*Задорожный А.С., МФТИ, г. Долгопрудный*

### **АНАЛИЗ 1D-ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА ФЛАНЦЕ**

Инженерные задачи по построению фазированной антенной решётки требуют предварительного моделирования этой решётки. Существует два основных метода решения такой задачи: метод анализа конечной волноводной решётки и метод анализа бесконечных периодических решёток.

С физической и инженерной точки зрения наиболее адекватным является метод расчёта антенной решётки, состоящей из конечного числа

элементов. Он позволяет учесть все интересующие эффекты: краевые, аperiodичность, конечность, асимметрию и прочие. Но он требует крайне высоких вычислительных мощностей для обеспечения точности, достаточной для того, чтобы преимущества этого метода не были скрыты за погрешностями вычисления.

Альтернативным и намного более быстрым в расчёте является метод анализа бесконечных периодических антенных решёток. При квазипериодическом возбуждении решетки задача сводится к анализу одного периода – в силу периодичности решётки поля в ячейках отличаются только фазовым множителем. Но этот метод не позволяет учитывать краевые эффекты и, следовательно, подходит только для анализа очень больших и строго периодических волноводных решёток.

В настоящей работе предложена ещё одна модель волноводной решётки: такая, в которой по одному направлению решётка будет бесконечной, а по другому – конечной. В этой модели решётка состоит из конечного числа параллельных линейных периодических решёток. Она позволяет учитывать краевые эффекты, а также располагать линейки с произвольным смещением вдоль и поперёк направления своего периода, при этом сохраняя периодичность и бесконечность. По сравнению же с моделью конечной решётки она позволит вести анализ решёток большего размера. Ключевой задачей для этой модели является модель одной одномерно-периодической решётки.

Задача сведена к системе интегро-алгебраических уравнений для электрического поля в раскрыве и амплитуд отражённых собственных волн. Интегральные части системы алгебраизированы с использованием кусочно-постоянной аппроксимации. Полученная система алгебраических уравнений решена численными методами. Получена зависимость коэффициента усиления по нормали от размеров волноводов, исследовано поведение коэффициентов отражения от направления фазирования, получены графики коэффициентов усиления для нескольких типов волноводов, исследованы поляризационные свойства квадратного волновода в решетке.

*Иванов Ф.И., Рыбин П.С., ИППИ РАН, г. Москва*

## **ВЛОЖЕННЫЕ МПП-КОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА МОДУЛЯРНЫХ ЛИНЕЙКАХ ГОЛОМБА**

В работе предложен ансамбль кодов с малой плотностью проверок (МПП-кодов), основанных на модулярных линейках Голомба и матрицах перестановок. Предложенный метод построения позволяет из одной проверочной матрицы низкоскоростного кода получить семейство вложенных МПП-кодов для широкого диапазона скоростей. Кроме того, регулярный метод построения такого семейства позволяет описать проверочные матрицы минимальным набором параметров.

В последнее время стали выделять такую важную характеристику МПП-кодов, как адаптация по скорости и длине. Адаптация по скорости (англ. Rate Adaptation) подразумевает возможность получения кодов с широким диапазоном скоростей при наличии только одной базовой матрицы низкоскоростного кода. Как правило это достигается путем выкалывания проверочных символов (удалением строк и столбцов из базовой матрицы). Существуют различные подходы к выбору удаляемых символов, например [14] – [16].

Основная цель данной работы – построение и исследование методами имитационного моделирования ансамбля кодов с малой плотностью проверок на четность, которые базируются на модулярных линейках Голомба. Такой подход позволяет строить проверочную матрицу МПП-кодов в режиме реального времени, что оптимизирует процедуру хранения кода, кроме того полученный код допускает адаптации по длине и скорости. Пример построенного МПП-кода приведен на следующей картинке:

Мы сравнили результаты моделирования нашей предложенной конструкции с конструкцией компании Samsung. Результаты моделирования приведены в табл. (минус означает, что предложенная конструкция лучше на указанное число дБ)

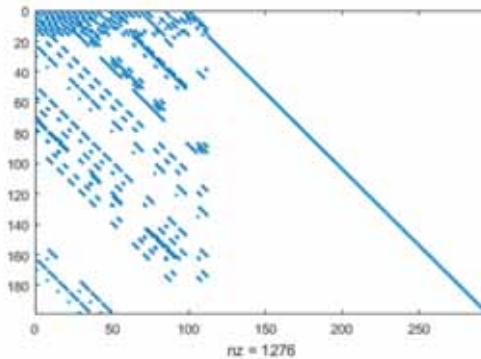


Рис. 1. Проверочная матрица МПП-кода

Таблица 1. Результаты моделирования для вероятности ошибки  $10^{-2}$

K/R	1/3	2/5	1/2	2/3	3/4	5/6	8/9
100	-0.06	-0.10	0.06	0.27	0.35	0.57	-0.30
400	-0.09	-0.13	0.09	0.08	0.09	0.13	0.00
1000	-0.06	-0.02	0.13	0.03	-0.09	0.07	-0.01
2000	-0.08	-0.07	0.04	0.00	-0.09	0.01	-0.08
4000	-0.08	-0.07	0.05	0.04	-0.09	0.07	-0.05
6000	-0.07	-0.01	0.05	0.02	-0.10	-0.04	-0.05

### Литература

- [1] R. G. Gallager. Low-Density Parity-Check Codes // MIT Press, 1960.
- [2] M. A. Tanner. Recursive Approach to Low Complexity Codes // IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 27. no. 5. pp. 533–547, 1981.
- [3] E. Gabidulin, A. Moinian, B. Honary. Generalized Construction of Quasi-Cyclic Regular LDPC Codes Based on Permutation Matrices // In Proc. IEEE Int. Symposium on Information Theory, 2006, pp. 679–683.
- [4] M. Hagiwara, K. Nuida, T. Kitagawa. On the Minimal Length of Quasi-Cyclic LDPC Codes with Girth Greater than or Equal to 6 // In Proc. Int. Symposium on Information Theory and its Applications, 2006.
- [5] Y. Wang, J. Yedidia, S. Draper. Construction of High-Girth QC-LDPC Codes // In Proc. 5th Int. Symp. on Turbo Codes and Related Topics, 2008, pp. 180–185.



[6] S. Kim, J.-S. No, H. Chung, D.-J. Shin. Quasi-Cyclic Low-Density Parity-Check Codes with Girth Larger than 12 // *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 53, no. 8. pp. 2885–2891, 2007.

[7] F. I. Ivanov, V. V. Zyablov, V. G. Potapov. Low-Density Parity-Check Codes based on Galois Fields // *Journal of Communications Technology and Electronics*, vol. 57, no. 8. pp. 857–867, 2012.

[8] F. I. Ivanov, V. V. Zyablov, V. G. Potapov. Low-Density Parity-Check Codes Based on the Independent Subgroups // *In Proc. of XIII Int. Symposium on Problems of Redundancy in Information and Control Systems*, 2012, pp. 31-34.

[9] F. I. Ivanov, V. V. Zyablov, V. G. Potapov. The Score of the Minimum Length of Cycles in Generalized Quasi-Cyclic LDPC Codes // *In Proc. of Thirteenth Int. Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory, ACCT 2012*, 2012, pp. 162-167.

[10] M. Esmaeili, M. Gholami. Structured Quasi-Cyclic LDPC Codes with Girth 18 and Column-Weight  $J>3$  // *Int. Journal of Electron. and Commun. (AEU)*, vol. 64, no. 3, pp. 202–217, 2010.

[11] Y. Kou, S. Lin, M. Fossorier. Low-Density Parity-Check Codes Based on Finite Geometries: A Rediscovery and New Results // *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 47, no. 7, pp. 2711–2736, 2001.

[12] B. Vasic, K. Pedagani, M. Ivkovic. High-Rate Girth-Eight Low-Density Parity-Check Codes on Rectangular Integer Lattices // *IEEE Trans. Comm.*, vol.52, no. 8. pp. 1248–1252, 2004.

[13] S. Johnson. *Low-Density Parity-Check Codes from Combinatorial Designs* // The University of Newcastle Press. Newcastle. 2004.

[14] F. Steiner, P. Schulte. Design of Robust, Protograph Based LDPC Codes for Rate-Adaptation via Probabilistic Shaping // *In Proc. 9-th Int. Symposium on Turbo Codes and Iterative Information Processing, ISTC 2016*, 2016, pp. 56-60.

[15] Y. Zhang, I. Djordjevic. Staircase Rate-Adaptive LDPC-coded Modulation for High-Speed Intelligent Optical Transmission // *In Proc. Optical Fiber Communication Conference, Optical Society of America*. 2014, pp. 1-3.

[16] M. Jang, J. W. Kang, S. H. Kim. A Design of Rate-Adaptive LDPC Codes for Distributed Source Coding using PEG Algorithm // Military Communications Conference, MILCOM 2010, 2010, pp. 277-282.

[17] A. A. Davydov, M. Giuliotti, S. Marcugini, F. Pambianco. On the Spectrum of Possible Parameters of Symmetric Configurations // Proc. XII Int. Symp. on Problems of Redundancy in Information and Control Systems, 2009, pp. 59-64.

[18] M. Hall Projective planes // Transactions of the American Mathematical Society, vol. 54, no. 2, pp. 229-277, 1943.

*Копылов А.А., Зимин И.В., к.т.н., МФТИ, г. Долгопрудный,  
Кобельков Г.П., ПАО «Радиофизика», г. Москва*

### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ПО ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ ПРИЗНАКАМ**

Целью работы является доработка алгоритмов распознавания осесимметричных объектов наблюдения (ОН) по поляризационным признакам, описанных в [1]. Доработка проводилась в части блока обучения алгоритмов и блока распознавания ОН.

Параметры Стокса [2] и параметры двухвибраторной модели (ДВМ) [3], полученные по реализациям поляризационной матрицы рассеяния (ПМР), используются в качестве поляризационного портрета ОН, который включает средние значения и среднеквадратические отклонения каждого признака и служит основой для получения эталона [4], который вводится в программу распознавания, причем каждому ОН соответствует один частный эталон. В каждый частный эталон включаются лишь те признаки, которые наиболее информативны для распознавания этого класса относительно остальных классов.

Решение о принадлежности сопровождаемого элемента тому или иному классу производится на основании определения нормированного рас-

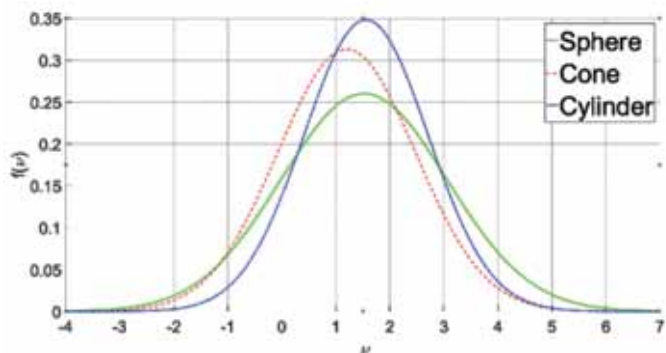
стояния в многомерном выборочном пространстве между точкой, изображающей вектор признаков (каждая его координата является одним из поляризационных признаков), рассчитанный по реализации ПМР для сопровождаемого ОН, и точкой, соответствующей центру класса (частному эталону). При принятии решения о принадлежности используются только те координаты вектора признаков, которые включены в частный эталон. Сопровождаемый ОН относится к тому классу, для которого такое расстояние минимально.

На основании изложенных выше соображений были разработаны алгоритмы распознавания осесимметричных объектов наблюдения по поляризационным признакам на основе интегральных параметров Стокса и параметров ДВМ.

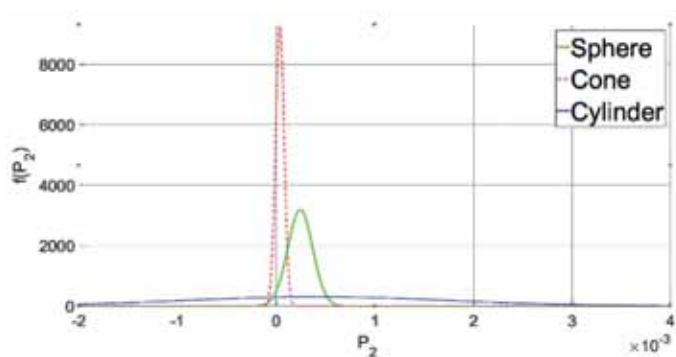
Отметим, что структурные блоки алгоритмов, за исключением операторов вычисления параметров пространства, использованных в данной работе признаков распознавания, могут быть использованы для создания алгоритма распознавания, основанного на других группах параметров.

Разработанные алгоритмы были реализованы в компьютерных программах на языке MatLab. С помощью реализованной программы было проведено моделирование функционирования алгоритмов распознавания осесимметричных объектов наблюдения по поляризационным признакам. В рамках моделирования функционирования алгоритмов были рассмотрены ОН основных классов, таких как сфера, конус и цилиндр, разных размеров. На основе результатов моделирования функционирования алгоритмов была исследована информативность каждого рассматриваемого поляризационного признака для распознавания ОН из перечисленных классов. Например, на рисунках 1–2 изображены графики функций плотности вероятности параметра ДВМ  $\nu$  и параметра Стокса соответственно.

Также на основе результатов моделирования функционирования алгоритмов была проведена проверка работоспособности алгоритма распознавания, основанного на расчете параметров ДВМ, и алгоритма распознавания, основанного на расчете интегральных параметров Стокса.



**Рис. 1.** Функции плотности вероятности параметра ДВМ  $\nu$  классов сфера (диаметр –  $10\lambda$ ), конус (высота –  $17.2\lambda$ , диаметр основания –  $5.4\lambda$ ), цилиндр (высота –  $21.7\lambda$ , диаметр основания –  $9.6\lambda$ )



**Рис. 2.** Функции плотности вероятности параметра Стокса классов сфера (диаметр –  $10\lambda$ ), конус (высота –  $17.2\lambda$ , диаметр основания –  $5.4\lambda$ ), цилиндр (высота –  $21.7\lambda$ , диаметр основания –  $9.6\lambda$ )

В работе представлены результаты проведенного моделирования, демонстрирующие работоспособность алгоритмов распознавания осесимметричных ОН по поляризационным признакам.

### Литература

1. Копылов А. А., Кобельков Г. П., Зимин И. В. Разработка и исследование алгоритмов распознавания осесимметричных объектов наблюдения

по поляризационным признакам // Тезисы докладов III Международной конференции «Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T 2016», Москва/Долгопрудный, 2016, С. 91-94.

2. Козлов А. И., Логвин А. И., Сарычев В. А. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов // Издательство «Радиотехника», Москва, 2005.

3. Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. // М.: Сов. радио. 1966

4. Барабаш Ю. Л., Варский Б. В., Зиновьев В. Т., Кириченко В. С., Сапегин В. Ф. Вопросы статистической теории распознавания // Издательство «Советское радио», Москва, 1967.

*Куракова Т.П., МСЭ, г. Женева, Швейцария, Самойлов А.Г., д.т.н., профессор,  
Самойлов С.А., к.т.н., доцент, ВлГУ, г. Владимир*

## **РАЗРАБОТКА ИМИТАТОРА РАДИОКАНАЛОВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ПОКОЛЕНИЯ 5G**

Международный союз электросвязи (МСЭ) выдвинул задачу по созданию до 2020 года нового пятого поколения подвижной связи (5G) с требованием максимальной скорости передачи данных до 20 Гбит/с и возможностью подключения до миллиона устройств Интернета вещей (IoT-устройств) на площади в один квадратный километр. Ведущие мировые кампании производителей средств связи уже продемонстрировали свои успехи в этом направлении, но для производителей оборудования и разработчиков сетей связи требуется инструментарий, позволяющий без организации дорогостоящих полевых испытаний определять качество выполненных разработок. В качестве такого инструментария можно использовать разрабатываемый авторами доклада имитатор радиоканала сети 5G, изменяющий сигналы адекватно реальным радиоканалам связи базовых станций и подвижных абонентов, работающих в диапазоне миллиметровых волн (ММВ).

Технология пространственного кодирования ММО (Multiple Input Multiple Output), используемая в сетях 5G, определила многоканальную архитектуру имитатора с возможностью изменения корреляции сигналов в каналах разнесения. Разработана математическая модель передаточной функции канала 5G, которая содержит детерминированную и стохастическую составляющие, позволяющие моделировать ослабление сигнала ММО в атмосфере с заданными характеристиками при движении абонента в условиях приема прямого и отраженных сигналов. На основании проведенного анализа выбрана модель канала с рассеянием, дифференциальное распределение модуля передаточной функции которой, характеризующее замирания амплитуды распространяющегося сигнала ММО, можно [1] определить четырехпараметрическим законом распределения:

$$\omega(\gamma) = \frac{\gamma}{\sigma_x \sigma_y} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2\sigma_x^2} - \frac{m_x^2 \sigma_y^2 + m_y^2 \sigma_x^2}{2\sigma_x^2 \sigma_y^2}\right) \times \\ \times \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{s=0}^{\infty} \frac{(2k+2s-1)! (\sigma_y^2 - \sigma_x^2)^k m_y^{2s} \sigma_x^{2s}}{k! (2s)! 2^k \sigma_y^{2k+4s} m_x^{k+s}} \gamma^{k+s} I_{k+s}\left(\frac{m_x}{\sigma_x^2} \gamma\right),$$

где  $\gamma$  – модуль передаточной функции канала связи;  $I_{k+s}(z)$  – модифицированная функция Бесселя порядка  $k+s$ ;  $\sigma_x, m_x, m_y, \sigma_y$  – параметры четырехпараметрического распределения.

Фаза принимаемого сигнала ММО также флуктуирует по четырехпараметрическому закону, зависящему от параметров  $\sigma_x, m_x, m_y, \sigma_y$  [2]. Модель универсальна, так как при различных значениях параметров  $\sigma_x, m_x, m_y, \sigma_y$  приводит к законам распределения замираний Релея, Райса, усеченно-нормальному, бимодальному и другим законам, наблюдающимся в каналах связи.

Имитатором моделируются ослабления сигнала в зависимости от расстояния, профиля трассы связи и наличия гидрометеоров, а также стохастические законы изменения плотности вероятности передаточной функции при движении абонентов и изменении мест и условий переотражения распространяющихся сигналов.

### Литература

[1] А. П. Галкин, А. Н. Лапин, А. Г. Самойлов. Моделирование каналов систем связи. Москва, Связь, 1979.

[2] А. Г. Самойлов, «Имитаторы многолучевых радиоканалов», Проектирование и технология электронных средств, с. 32-36, № 4, 2003.

*Литновский В.Я., к.т.н., ПАО «Радиофизика», г. Москва,  
Лацерус К.Ф., Зимин И.В., к.т.н., МФТИ, г. Долгопрудный*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБРАТНОГО АПЕРТУРНОГО СИНТЕЗА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

Изучение вопросов практической реализации метода инверсного синтеза апертуры (ИРСА) имеет большое значение для решения ряда практически важных задач, например, таких, как получение радиолокационных изображений (РЛИ) космических объектов (КО) [1–3].

Особое значение имеет оценка влияния на качество синтезирования ошибок измерения параметров траектории КО, так как идеальное синтезирование возможно только при точном знании параметров траектории.

Данная работа посвящена разработке модели расчета параметров ИРСА для исследования влияния на качество синтезирования ошибок измерения параметров траектории КО.

Предполагается, что в дальней зоне РЛС находится движущийся по орбите КО. Принятые от КО в процессе его движения по орбите сигналы совместно обрабатываются в течение времени  $T_{oc}$ , достаточного для получения радиолокационного изображения КО.

Задача сводится к определению параметров обрабатываемого массива сигналов, знание которых необходимо для выбора параметров ИРСА.

Иначе говоря, для дискретного набора положений КО необходимо получить набор значений параметров сигнала относительно места расположения РЛС.

Модель позволяет рассчитывать необходимые временные зависимости дальности  $R(t)$  до КО и, следовательно, фазы сигнала  $\varphi(t)$  и доплеровской частоты  $f_d(t)$ , а также зависимости угловых координат КО. Далее рассчитываются параметры ИРСА.

На следующем шаге учитываются ошибки измерения параметров траектории КО и анализируются изменения параметров ИРСА.

Для определения параметров сигнала в системе координат, связанной с РЛС, моделировалось движение КО. В качестве модели движения использовалась стандартная модель движения тела по орбите вокруг Земли.

В работе приведены результаты моделирования параметров ИРСА при движении КО по круговым орбитам разной высоты. Параметры определялись как без учета ошибок измерения параметров траектории КО, так и с их учетом при различных значениях ошибок.

Результаты моделирования продемонстрировали корректную работу модели.

В то же время для более детального исследования вопросов реализации метода ИРСА требуется разработка более точной и совершенной модели.

### Литература

1. Детков А.Н., Макаров И.А., Модель движения космического объекта и формирование его радиолокационного портрета // Журнал радиоэлектроники, № 12, 2013.
2. Гладышев А.И. Оценка потенциальной информативности сигнальных радиолокационных измерений космических объектов // Вестник российского нового университета. серия: сложные системы: модели, анализ и управление, № 3, 2016 г.
3. Митрофанов Д.Г. Комплексный адаптивный метод построения радиолокационных изображений в системах управления двойного назначения // Известия российской академии наук. Теория и системы управления, №1, 2006 г.



*Лутков А.Н., ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЕКОДИРОВАНИЯ БЛОКОВОГО ТУРБОКОДА НА ПРОЦЕССОРЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

Блочные турбокоды (БТК) являются классом каскадных конструкций на основе простых блоковых кодов, соединенных через перемежитель, и допускают мягкое итеративное декодирование или турбодекодирование. Турбодекодирование позволяет повысить энергетический выигрыш кодирования (ЭВК) более чем на 2-2,5 дБ по сравнению с жестким декодированием. В качестве составных кодов обычно используются расширенные коды Хэмминга или коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема, а размерность конструкций равна двум или трем. Несмотря на значительную вычислительную сложность, по сравнению со сверточными турбокодами (турбокодами) и низкоплотными кодами, БТК обладают рядом преимуществ. Основными из них являются отсутствие насыщения вероятностных характеристик при больших значениях отношения сигнал/шум, а также сохранение корректирующих свойств в условиях низких значений отношения сигнал/шум при размере блока до нескольких сотен символов [1-4]. Отмеченные свойства позволяют БТК занять доминирующее положение в системах, в которых требуется прерывистый обмен по радиоканалу в реальном масштабе времени при низком отношении сигнал/шум сообщениями малой длины.

Последовательные каскадные конструкции обладают наилучшими граничными значениями ЭВК. К тому же они одинаково эффективны при использовании псевдослучайного и однородного перемежения [5]. Конструкции с последовательным каскадированием и однородным перемежением принято называть кодом произведения. Для кода произведения существует эффективный алгоритм мягкого итеративного или турбодекодирования Чейза-Пандиаха [5,6], который позволяет работать максимально близко к граничным оценкам ЭВК. Существенная вычислительная сложность упомянутого алгоритма не позволяет решать некоторые задачи

в реальном масштабе времени. Поэтому, для систем реального времени актуальна задача повышения быстродействия процесса декодирования. Время декодирования зависит как от числа операций, так и от скорости их выполнения. Последнее определяется аппаратной платформой и эффективностью использования ее ресурсов.

Современные процессоры цифровой обработки сигналов (ПЦОС) позволяют повысить скорость выполнения декодирования, следовательно, и скорость передачи информации. В случае применения ПЦОС скорость зависит от рабочей частоты ядра процессора, особенностей архитектуры и эффективности программного кода. Для реализации алгоритма был выбран ПЦОС 1967ВН028 отечественной компании «АО «ПКК Миландр» [7], который является аналогом ADSP-TS201S семейства TigerSHARC фирмы Analog Devices [8] и имеет сопоставимое быстродействие [9].

Разработка программного кода с учетом архитектурных особенностей конкретного ПЦОС позволяет существенно повысить его эффективность [10]. Мерой эффективности программного кода, как правило, служит число тактов рабочей частоты ядра процессора (далее тактов), требуемых для выполнения той или иной операции. При адаптации алгоритма турбодекодирования кода произведения (256, 121) на основе двух расширенных кодов Хэмминга (16, 11) эффективность программного кода была повышена примерно в 12 раз.

Для снижения вычислительных затрат были использованы, предложенные автором, теоретически обоснованные модификации алгоритма Чейза-Пандиаха с накоплением внешней информации [11, 12]. Это позволило дополнительно повысить быстродействие декодера до двух раз.

В докладе представлены алгоритмические и программно-алгоритмические решения, которые позволили разработать эффективный программный код для турбодекодирования кода произведения на ПЦОС 1967ВН028. На выполнение трех итераций алгоритма декодирования требуется не более 220 мкс. Отличие в ЭВК относительно базового алгоритма, работающего на шести итерациях, при вероятности символьных ошибок  $P_{BER} = 10^{-5}$  составляет не более 0,2 дБ. Максимальная скорость обмена информацией,

ограниченная временем декодирования, составляет примерно 0,52 Мбит/с при  $E_b/N_0=3,8182$  дБ. По сравнению с результатом из [13] максимальная скорость обмена информацией может быть увеличена более чем в 26 раз.

### Литература

1. Ю.Б. Зубарев, Г.В. Овечкин Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных // Электросвязь, №12, 2008. С. 58-61.
2. В.А. Варгаузин, И.А. Цикин Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 352 с.: ил.
3. В. Варгаузин Вблизи границы Шеннона // Телемультимедиа. Июнь, 2005. С.3-10.
4. Архипкин А. Турбокоды - мощные алгоритмы для современных систем связи // Беспроводные технологии, №1, 2006. С.63-64.
5. Channel coding in communication networks: from theory to turbocodes/ edited by Alain Glavieux. 1st ed. ISTE Ltd, 2007.
6. R. Pyndiah, Near optimum decoding of product codes: Block Turbo Codes, IEEE Trans. on Communications, vol. 46, August 1998, pp.1003-1010.
7. <http://www.milandr.ru>
8. <http://www.analog.com>
9. Кузин А.А., Кочурбейкин И.В., Огурцов А.Г. Реализация алгоритма порогового обнаружения методом порядковых статистик на высокопроизводительном процессоре цифровой обработки сигналов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - № 2 (часть 2)
10. Тумачек А. Применение платформы ADSP-TS201 для решения задач в реальном масштабе времени: методики оптимизации программного кода // Современная электроника, №5, 2009, С.68-73.
11. Лутков А.Н. Алгоритм декодирования турбокода произведения с накопителем внешней информации // М.: Успехи современной радиоэлектроники, №2, 2016, С.112-118.
12. Зайцев Г.В., Лутков А.Н. Анализ эффективности турбодекодирования кодов произведения при различных вариантах обмена инфор-

мацией между итерациями // Цифровая обработка сигналов, №2, 2016, С.3-8.

13. Goalic A., Pyndiah R. Real-Time Turbo-Decoding of Product Codes on a Digital Signal Processor // IEEE, 1997, p.624-628. 0-7803-4198-8/97

*Минин Ю.Б., МФТИ, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,  
Сколковский институт науки и технологий,  
Крупник Е.С., Дубров М.Н., к.ф.-м.н.,  
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва*

### **РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ АБСОЛЮТНЫХ РАССТОЯНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Описание метода. Работа предлагаемого устройства основывается на физическом существовании амплитудной модуляции лазерного излучения, являющегося следствием наличия оптических мод. Количество мод лазера определяется параметрами лазера: длиной резонатора лазера, свойствами его активной среды, кривизной зеркал и др.

Частота межмодовых биений  $\Delta\nu$  двухмодового лазера определяется величиной  $c/(2Ln)$ , где  $L$  – длина резонатора,  $c$  – скорость света в вакууме,  $n$  – показатель преломления активной среды [1, 2]. Для грубого измерения расстояния до отражающего объекта подсчитывается количество пространственных периодов огибающей оптического модулированного сигнала. Для настройки используется особенность интерферометра, работающего на нескольких оптических частотах, в частности, зависимость видности интерферограммы от соотношения измеряемой длины, длины резонатора и амплитуд генерируемых мод. При этом частота межмодовых биений изменяется путем увеличения длины резонатора, например, при его нагреве. Оптимальная точность достигается путем настройки на частоту, которой соответствует минимум видности интерференционной картины. В нашем случае видность интерференционной картины имеет вид

$$V(l) \approx V_0 \frac{\sqrt{U_{10}^4 + U_{20}^4 + 2U_{10}^2 U_{20}^2 \cos(2\pi \Delta v l / c)}}{U_{10}^2 + U_{20}^2}, \quad (1)$$

где  $V_0$  – видность в одномодовом режиме,  $U_{10}$  и  $U_{20}$  – амплитуды интерферирующих волн,  $l$  – оптическая разность хода.

Для точных измерений в интерферометре вычисляется количество интерференционных полос, период которых равен  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  – длина волны излучения используемого лазера, и определяется дробная доля интерференционной полосы.

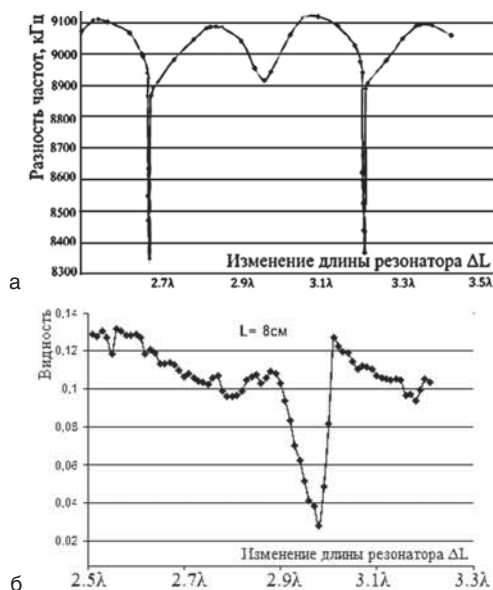
В схеме устройства используется He–Ne-лазер, длина волны которого  $\lambda = 633$  нм, ширина доплеровского контура усиления  $\Delta v_D$  равна 1.5 ГГц. В пределах доплеровского контура может располагаться несколько оптических мод в зависимости от длины резонатора лазера. Двухмодовый режим реализуется для лазера длиной  $L$ , равной 17 см.

Изменение температуры резонатора приводит к различному расположению оптических мод относительно доплеровского контура, а значит, к изменению амплитуды каждой оптической моды в зависимости от температуры корпуса резонатора.

Экспериментальное исследование элементов измерителя расстояний и перемещений проводилось на экспериментальной установке, включающей трехзеркальный интерферометр и гетеродинный фотоприемник. Изменения видности интерференционной картины и частоты межмодовых биений осуществлялись путём увеличения длины резонатора при его нагреве.

В схеме трехзеркального интерферометра излучателем являлся лазер ОКГ-16. Сигнал с фотоприемника анализировался на осциллографе. Таким образом, был получен график зависимости видности от изменения длины резонатора рис. 1а. Здесь использовано допущение, что изменение длины резонатора линейно изменяется со временем. Видность изменяется в диапазоне от 0.02 до 0.14. В точке минимума  $l_0$  при  $U_{10} \approx U_{20}$  функция (1) имеет вид  $k|l-l_0|$ , где коэффициент  $k$  зависит от амплитуд  $U_{10}$ ,  $U_{20}$  и  $V_0$ . Та-

кое резкое изменение видности используется для оптимальной настройки частоты лазера при изменении расстояния  $l$  (рис. 1, 2). Экспериментально полученный график зависимости изменения частоты межмодовых биений от изменения длины резонатора приведен на рис. 1б. Изменение частоты межмодовых биений происходит в диапазоне между 8.3 МГц и 9.2 МГц, имеет периодический характер с периодом  $\lambda/2$ , где  $\lambda = 633$  нм. Наблюдаемый характер изменения частоты связан с формой доплеровского контура и используется для управления расстоянием между частотами генерируемых мод.



**Рис. 1.** Графики изменений частоты межмодовых биений (а) и видности (б) от увеличения длины

**Разработка схемы интерферометрического измерителя.** Предложенный прибор состоит из четырех блоков: блока лазера БЛ, блока третьего зеркала БЗЗ, блока гетеродинного фотоприемника БФПГ и аналитического блока АБ. Зеркала 31, 32 лазера формируют пучок, который поступает на

подвижное зеркало 33, закрепленное на измеряемом объекте, и отражается обратно. На выходе фотодиода ФД формируется интерференционный сигнал *ch1* и сигнал *ch2* межмодовых биений, которые с выхода БФПГ поступают на аналитический блок. Микроконтроллер МК производит обработку поступающих сигналов и управление работой прибора. Если заданная точность измерений расстояний и перемещений составляет  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  – длина волны его излучения, то требуются измерения частоты межмодовых биений со следующей точностью:  $\delta(\Delta\nu) = c\delta l / (2L^2n) \approx c\lambda / (2L^2n)$ . Для более точных измерений расстояний определяется дробная доля интерференционной полосы.

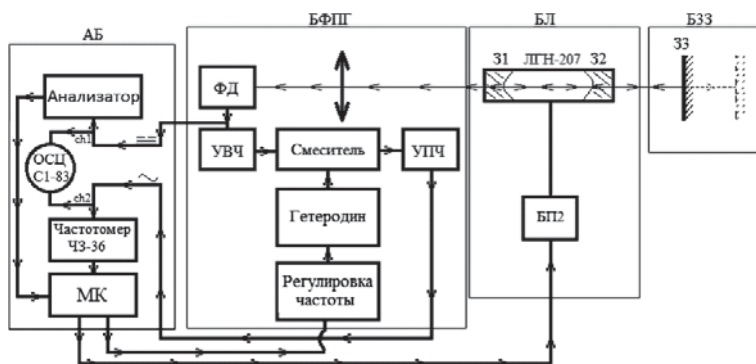


Рис. 2. Блок-схема предлагаемого лазерно-интерферометрического измерителя расстояний и перемещений

*Murzova M.A., MIPT, Engineer, JSK «Radiofizika», Farber V.E., Dr. Sc. (Tech.), Prof., Head of Department, JSK «Radiofizika»; Professor, MIPT; Moscow*

### **THE $\alpha$ - $\beta$ FILTER FOR TRACKING MANEUVERING OBJECTS WITH LFM WAVEFORMS**

The LFM waveforms are employed in radar systems for automatic range tracking of the moving objects. One of the features of such signals is a range-

Doppler coupling phenomenon. This effect can cause a displacement of measured position from the true position of moving objects. This displacement is proportional to a radial velocity of moving objects [1].

In [2], a steady-state Kalman filter that is based on the assumption that the object is moving with constant velocity plus zero-mean, white Gaussian acceleration errors is studied. Besides that it is assumed that the steady-state Kalman filter processes the measurements from LFM waveforms. For this steady-state Kalman filter, the steady-state gains and error covariance are calculated [2]. The expression for the sensor-noise only (SNO) covariance matrix of  $\alpha\beta$ -filter is derived in [3-5]. Also, the expressions for the position and velocity lags during maneuvers for  $\alpha\beta$ -filter processing measurements from LFM waveforms are presented in [3]. The SNO covariance matrix and lag errors due to maneuvers provide more information on the choice of optimal gains for deterministic-type maneuvers, so the root-mean-square error (RMSE) analysis is performed in [3]. It is worth noting that the  $\alpha$ - $\beta$  relationship from [2] is used to minimize RMSE in position and velocity estimates in [3]. Besides that, in [4, 5], the stability conditions are derived for the  $\alpha\beta$ -filter processing the measurements from LFM waveforms.

In addition, an atmospheric filter for tracking the reentering objects with LFM waveforms is studied in [6–8]. Also, an  $\alpha\beta\gamma$ -filter and a Kalman filter for tracking the objects with constant acceleration by chirp radar are studied in [9].

Here, we minimize RMSE in position estimate without the  $\alpha$ - $\beta$  relationship from [3]. Therefore, a new optimal relation between  $\alpha$  and  $\beta$ , at which RMSE in position estimate reaches a minimum, is derived. After that, using the new  $\alpha$ - $\beta$  relationship and the  $\alpha\beta$ -filter stability conditions from [4, 5] we derive a feasible region of the filter parameter  $\beta$  in dependence on the range-Doppler coupling coefficient.

### References

1. Shearman J. D., Manzhos V. N. The theory and techniques of processing radar information on the background noise. Moscow: Radio i Svyaz. 1981.
2. Wong W., Blair W.D. Steady-state tracking with LFM waveforms // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. Vol. 36. No. 2. P. 701–709. 2000.



3. Jain V., Blair W. D. Filter Design for Steady-State Tracking of Maneuvering Targets with LFM Waveforms // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. Vol. 45. No. 2. P. 765–773. 2009.

4. Farber V.E. Analysis of characteristics for algorithms of determining spacecraft motion parameters from radar information, using probing signals with linear frequency modulation // Kosmicheskie Issledovaniya. Vol. 33. No. 1. P. 31–35. 1995.

5. Trofimenko M.A., Farber V.E. Estimation of speed-error influence on stability boundaries of algorithms estimating range and radial velocity in radar stations using LFM signal // Radiotekhnika. No. 10. P. 7-16. 2015.

6. Trofimenko M.A., Farber V.E. Estimation of velocity offset value influence on stability boundaries of tracking reentering spatial objects in radar stations with linear frequency modulated signal // Trudy' MFTI. Vol. 7. No. 2. P. 156–166. 2015.

7. Trofimenko M.A., Farber V.E. Influence of range-Doppler coupling on the tracking stability of reentering space objects. // 2015 International Conference on Engineering and Telecommunication. IEEE. P. 40-44. 2015.

8. Murzova M.A., Farber V.E. Analyze of atmospheric filter adapted to range-Doppler coupling // Radiotekhnika. No. 4. P. 5-14. 2017.

9. Trofimenko M.A., Farber V.E. Influence of range-Doppler coupling on the stability of  $\alpha\beta\gamma$ -filter and Kalman filters // Radiotekhnika. No. 4. P. 5-17. 2016.

*Назаренко А.П., к.т.н., доцент, МФТИ,  
Сарьян В.К., академик РАН РА, д.т.н. МФТИ,  
ФГУП НИИР, г Москва*

## **СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОЛИГОНА СЕТИ МОНИТОРИНГА ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Известно, что прогресс в изучении природных явлений в большинстве случаев связан с развитием экспериментальной базы, исследований и внедрения в эксперимент передовых технологий.

Данный доклад – попытка авторов привлечь внимание ученых и студентов МФТИ к возможностям новых инфокоммуникационных технологий (IoT) и рассказать о работах, которые проводятся на базовой кафедре МФТИ в НИИР. В этой работе наряду с ФГУП НИИР и Российской корпорацией средств связи, входящей в Государственную корпорацию «РОСТЕХ», участвуют геохимики, экологи и геофизики РАН (ГЕОХИ РАН и ИФЗ РАН). Прежде всего, предстоит решить чрезвычайно актуальную для современной цивилизации задачу – радикально повысить предсказательный потенциал существующих сегодня систем мониторинга глобальных процессов на планете Земля [1, 2, 3]. Мы надеемся также впервые создать фрагмент глобального экспериментального полигона для изучения влияния природной среды на динамические характеристики природных объектов [4]. Такой полигон создается на Северном Кавказе на стационарном полигоне ГЕОХИ РАН [5].

Основная идея технологии интернета вещей заключается в том, что эта технология открывает доступ любых объектов природы (живых и косных), к глобальной единой конвергентной инфокоммуникационной сети (КИС), то есть, образно говоря, вся природа «обретает голос». И если использовать эти трансформированные в интернет вещи объекты природы как датчики, то обеспечивая постоянный мониторинг за ними, можно выявить влияние на их характеристики внешних процессов. В докладе будет подробно описан механизм этого детектирования, основанный на наблюдении модулирующих помех на фоне периодических процессов, которые происходят в каждом объекте. Будет показано также, что непрерывное измерение динамических процессов в объектах – датчиках позволит существенно повысить их чувствительность к внешним воздействиям.

В норме устройство IoT (рис. 1) состоит из приемника, определяющего местоположение стационарных ( $\text{IoT}_{\text{ст}}$ ) нестационарных объектов ( $\text{IoT}_{\text{нест}}$ , например, приемника «Глонасс»/GPS), и указателя высоты, модуля беспроводной связи, связывающего данный IoT с IP средой КИС, одного или нескольких датчиков физических величин, определяющих состояние IoT или окружающей его среды, контроллера и самой вещи. IoT может не толь-

ко посылать информацию от датчиков определенному адресату интернета, но и принимать управляющие воздействия от этого или другого адресата. Устройства, которые могут подключить любой объект к Интернету, могут иметь габариты порядка десяти миллиметров.

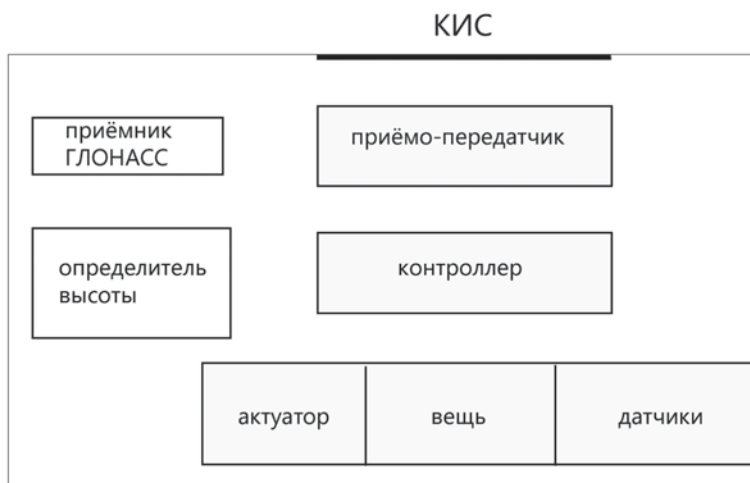


Рис. 1.

На рис. 2. приведен фрагмент единой КИС, в которой взаимодействуют объекты-решатели IoTг и объекты мониторинговые IoTм. Каждый IoT может исполнять две роли одновременно: как объекта мониторинга (m), так и объекта решателя (r), а стационарные IoTст, могут превращаться в нестационарные IoTг нест и/или IoTм нест. Информация о модулирующих помехах от IoTм должна непрерывно передаваться через центр управления (ЦУ) в большую базу данных (БД), где объектами сложной динамической системы осуществляются через единую КИС по IP-протоколу, они совместно обрабатываются и определяются сигналы глобальных процессов, которая вызвала эти модулирующие помехи в датчиках-объектах разной физической природы. Эти сигналы в принципе, могут передаваться на каждую конкретную IoTг., находящуюся в тот момент в Хронотопе (X),

который обозначен пунктирной линией на рис. 2. Таким образом, может быть обеспечено одновременное подключение к исследованиям  $n$ -числа исследователей. Взаимодействие между всеми составляющими проиллюстрировано.

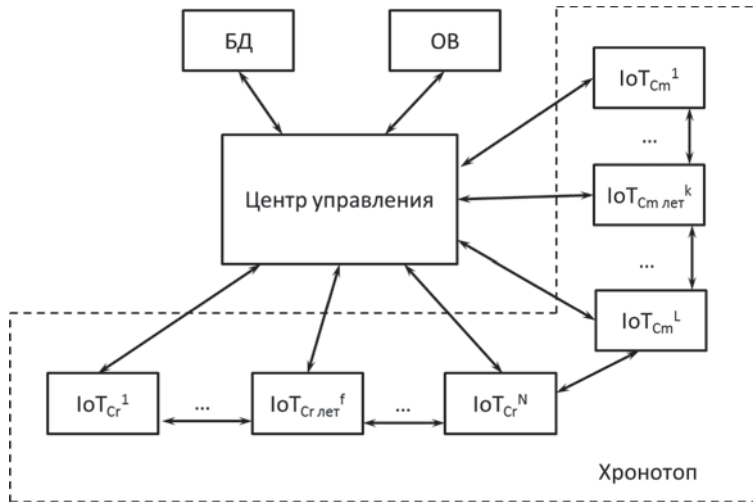


Рис. 2.

Очень важной особенностью данной конфигурации мониторинговой и обрабатывающей сети является тот факт, что на ней легко проводить в реальном масштабе времени разнообразные междисциплинарные исследования.

### Литература

[1] Butenko V., Nazarenko A., Sarian V. and oth., Issues affecting the evaluation of beneficial effects of new technologies and ways to solve these issue, 23rd European Regional Conference of International Telecommunication Society/ International Telecommunication Society, Vienna, July, 2012

[2] Nazarenko A., Sarian V. Global Processes Monitoring System with the application of the Internet of Things (IoT), APEC TEL 52, 2015 Auckland, New Zealand

[3] Назаренко А.П., Сарьян В.К. Массовая услуга – индивидуализированного управления спасением людей при угрозе или возникновении ЧС природного и техногенного происхождения. Труды НИИР №3, 2016 г.

[4] Мкртчян, А.Р. Сарьян В.К. Отделение физики и астрофизики, На пути интеграции наук о Земле и интернета вещей. Доклад на общем собрании НАН РА 2016 г,

[5] Sarian V. K. On way to integration of biogeochemistry and information communication technology//Proceedings of the biogeochemical laboratory. Volume 25 «Modern trends in the development of biogeochemistry», Moscow: GEOKHI RAS, 2016. P. 294-304 (in Russian).

*Nazarenko A.P., VSUE NIIR,  
Sarian V.K., Professor MIPT,  
Yakoubovsky R.M., NIIR, Moscow*

## ***SMART EVACUATION DURING EMERGENCIES IN SMART CITIES AND COMMUNITIES***

**Keywords:** GeoIoT ; monitoring network; natural and man-made disasters on the planet Earth; early-warning signals ; smart evacuation ; smart notification.

A disaster and/or an emergency evacuation in Smart Cities and Communities (SC&C) cover aspects like preserving, enhancing and improving the individual's safety. In principle, smart evacuation could improve the levels of safety in disaster and/or emergency situations. IoT and SC&C provide possibilities to use its functionalities to provide smart evacuation during the incidence of a disaster and/or an emergency.

By the exploitation of identification, data capture, processing and communication capabilities; smart evacuation aims to improve safety in an emergency situation, thus providing aid to a person in distress, hence increasing the probability of survival and minimizing the disaster recovery cost.

### **Introduction of Smart Evacuation**

In the Smart City IoT, devices are responsible for monitoring of the properties of things connected to them, as well as the transfer and partial processing of the collected data. Although the life in Smart City is following to the paradigm of “non-zero risk» (there are no actions which could provide the zero risk) but it does not exclude the emergency. Considering this, new service for Smart City concept – the highest level of safety and requirements for the Evacuation Service during emergencies in Smart Cities. The implementation will minimize the response time of system of the disaster. It based on the instructions and models developed by the department responsible for people’s rescue. The task of the service is to help a person in evacuation and the fastest transferring of data about the disaster to the rescue services.

Smart City is considered as a combination of smart buildings and smart peripherals. At the design stage a model of building is created which is further complemented when new items are added. The set of models of smart buildings and the periphery is the model of Smart City model.

Proposed service takes place during whole catastrophe when networks cannot operate in standard mode. However, considering that IoT networks will be able to maintain at least partial operability during disaster thanks to the ability for self-restoration, ubiquitous coverage [ITU-T Y.2205] and expanded range of operating characteristics these networks could and should be used for emergency assistance.

Smart City concept implies an integration of information and communication technologies with the infrastructure of the city. As part of this review, IoT devices and applications aimed to rationalize human activities: resource consumption, monitoring and maintaining environment, improve quality of life through performing the functions previously performed by a human.

In general, service of the Evacuation Service during emergencies in Smart Cities is to:

- detect the moment of the beginning of emergency
- warn the consumer about emergency if it is presented
- provide instructions on evacuation for the consumer.

- save and send the data of the catastrophe for the future revision at the end of disaster



When emergency occurs, it is assumed that all communication with the outside is broken, so the transition is made to a local management, i.e. directly to local IoT applications. This leads to decreasing of the reaction time for decision-making and bringing instructions to consumer. To provide individualized management of people's behaviour during emergencies this recommendation proposes to add a new intellectual feature to IoT devices. The ability to analyse collected data in order to enable detect the beginning and type of emergency.

#### **Technical characteristics**

Each IoT device contains a model of dependence of measured parameters from environment. If abnormal values are detected that are not within the model, the device immediately determines the type of emergency and alerts the next intelligent consumer's devices and neighbouring IoT devices about the beginning of the disaster.

Then the intelligent consumer's device through an embedded digital map of the object determines where the consumer is located at the time of emergency. Further, when receiving the signal of beginning of the disaster, the intelligent consumer's device analyses received information and constructs an individualized plan of evacuation. This takes into account individual characteristics of the consumer, which are listed in the intelligent consumer's device.

Personnel who is responsible for safety is receiving the special instructions and guidelines which contain the orders to maintain the best available plan of the people's evacuation. Such as: receive people at the secured points and guide them to the exit. The smart system also provides the information about the nature of the disaster, location and marks the problem zones where people is detected and requires help.

For the smart evacuation the following tools and devices are required to implement the smart evacuation:

- A model of city and a collection models of its buildings and infrastructure
- Evacuation model
- Digital map of the city
- Intelligent consumer's device

All above items are included in the features of the smart city.

Depending on the environmental conditions, the set of models of disasters in smart buildings and in the periphery with the addition of auxiliary parts stands for an emergency model of Smart City.

Digital map of Smart City is a set of digital maps of its buildings and the periphery. Digital map is required to be made in order to ease illustration of evacuation instruction to consumer.

Intelligent consumer's device is required to contain personal information about consumer, digital map and instructions for self-evacuation based on object location and individual characteristics of the consumer.

In Smart City, every IoT application is analysing data of the occurrence of an emergency within the emergency model. This function will help to manage the rescue operation as well as to prevent the occurrence of related technological disasters.

In case of disaster situation the following actions perform:

- a. information about the disaster (starting, location and type of the disaster) received on the intelligent customer device through the SCN
- b. SCN is detecting the location of the consumer
- c. activate the appropriate software (e.g. digital map) of the consumer device
- d. proposing the safe route to the safe place of the building and city

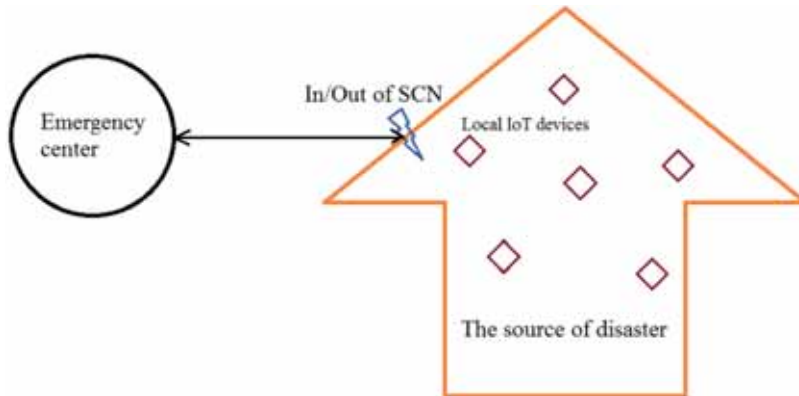
In Smart City each building to a certain extent is integrated with IoT applications. Initially these applications operate to fulfill their basic functions: from optimizing the consumption of electric energy to smart irrigation on the roof of the building. In other words, all buildings within Smart City are considered smart buildings. When the beginning of disaster is detected all applications begin to work in an alternative mode, aimed at human rescue. In smart buildings IoT



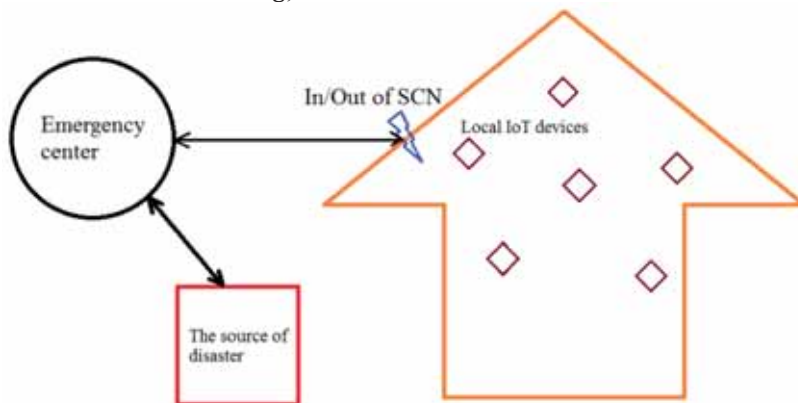
applications should serve as attendants, i.e. according to instructions based on model of emergency smart building control features are required to prevent or minimize the consequences of disaster. For example, when encountering a fire indoors it should close all the possible ways oxygen income: doors, windows, etc. Applications should simplify evacuation from the building in order to reduce time to reach place which is considered safe. It depends on type of the disaster and might be certain safe distance from the building or a specialized place.

**Cases of smart evacuation during different disaster and emergency scenarios.**

**1. Emergency take place in the building**



**2. Outside the building,**



Information about emergency is transmitted to all IoT devices which according to emergency model will be in range of disaster. These devices are to notify the nearest consumer's devices.

In this situation all applications in smart buildings are required to minimize damage to consumer inside a building and to warn other consumers that are to be in danger if approaching the area near the source of disaster. For example, to tightly close all doors and windows if gas leak occurs or to stop the flow of water if the water supplies system was infected.

### 3. Operation in and after catastrophic phase of disaster

Before the disastrous phase of emergency IoT application are directed to emergency assistance. But emergency teams usually arrive at catastrophic phase or after. In this situation any device could go out of service but it's considered that the ability of NGN for self-restoration and rerouting helps maintaining operability of the network even if the object is destroyed and there is no control from emergency centre.

So applications never cease their work but they aim to collect data about processes occurring at different stages of disaster, and the transmission of this data to specialized applications, terminals of rescue team and emergency control centre if possible. Moreover it's considered that terminals of rescue teams have an alternative way of interoperating with local wireless network when in transmission range of working IoT device. This behaviour helps to clarify the model of disaster and help rescue teams to understand the stage of the disaster, the scale of destruction and possible places where people are remaining according to their intelligent consumer's device.



*Некрасова Е.С., МФТИ, Скобелев С.П., д.ф.-м.н.,  
ИАО «Радиофизика», г. Москва*

**МОДИФИКАЦИЯ ГИБРИДНОГО ПРОЕКЦИОННОГО МЕТОДА  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НЕОДНОРОДНОГО  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО  
СЕЧЕНИЯ**

Задача рассеяния электромагнитных волн на неоднородном диэлектрическом цилиндре произвольного поперечного сечения представляет большой интерес в течение уже долгого времени, так как она имеет важные приложения для моделирования линзовых антенн, радиолокационных целей, дифракционных оптических элементов и биологических образований в медицине.

В общем случае указанную задачу приходится решать численными методами, такими как метод интегральных уравнений для токов поляризации в цилиндре, двумерный метод конечных элементов, включая его гибридные модификации, дифференциальный метод и метод Фурье-факторизации.

В настоящей работе для решения задачи предлагается модификация гибридного проекционного метода, аналогичного методу, примененному ранее к анализу волноводных антенных решеток с выступающими диэлектрическими элементами и одномерно-периодических диэлектрических структур, а также являющегося обобщением метода, разработанного для анализа радиально неоднородных цилиндров кругового сечения. Предлагаемая модификация основана на проекционном сшивании полей на границах цилиндрических областей, введенных в рассмотрение, проектировании уравнения Гельмгольца для неоднородной среды на гармоники Фурье и применении одномерного метода конечных элементов в проекционной форме к полученным обыкновенным дифференциальным уравнениям для сведения последних к алгебраической системе с блочно-ленточной матри-

цей. В работе обсуждаются потенциальные преимущества предлагаемого подхода по сравнению с существующими методами, указанными выше.

Приводятся результаты применения метода к расчету характеристик рассеяния на однородных цилиндрах эллиптического и квадратного сечений. Полученные результаты сравниваются с соответствующими результатами применения метода вспомогательных источников для эллиптического цилиндра и с результатами, имеющимися в литературе для цилиндра квадратного сечения.

Приводятся также новые результаты применения разработанного метода к расчету поля, образованного при рассеянии плоской волны на полцилиндрической линзе Максвелла и проводится сравнение особенностей полей в области фокуса с аналогичными результатами, полученными для линзы Люнеберга.

*Новичихин Е.П., к.ф.-м.н., ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова, г. Фрязино  
Плющев В.А., к.т.н., с.н.с., Солдатенко А.П.,  
Горбачев Д.А., Концерн «Вега», г. Москва  
Сидорова М.И., МАЭНИН им. П.К. Ощепкова, МФТИ, г. Долгопрудный*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
ПО ДИСТАНЦИОННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ  
С ПОМОЩЬЮ СВЧ-РАДИОМЕТРА, РАЗМЕЩЁННОГО НА БОРТУ  
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Дистанционное и оперативное определение температуры и влагосодержания почвогрунтов сельскохозяйственных угодий – важная и актуальная задача для оптимизации агротехнических процедур и интенсификации сельскохозяйственного производства. Одним из путей решения этой задачи является применение методов дистанционного зондирования земной поверхности при помощи пассивных СВЧ-радиометрических приёмников собственного радио-теплового излучения почвы, разработанных специалистами ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова, а также методов приёма

и приёмников радиотеплового излучения, методов обработки сигнала и регистрации полученных данных, разработанных специалистами Концерна «Вега» с участием аспирантов, студентов и сотрудников базовой кафедры «Радиоэлектронных информационных систем».

В докладе приводятся результаты натурного эксперимента по измерению влажности почвы в слое до десяти сантиметров при помощи СВЧ-радиометрического приемника, размещенного на борту беспилотного летательного аппарата. Описывается методика проведения летного эксперимента совместно с обеспечением взятия проб грунта с поверхности и с глубины десять сантиметров в различных точках вдоль линии полета. Приводится сравнительный анализ значений влажности из отобранных проб грунта и значений влажности почвы, полученных в результате обработки накопленной в ходе полета радиометрической информации. Летный эксперимент проводился в мае 2016 года на территории Московской области.

Проведён анализ полученных результатов, определены пути повышения оперативности и точности измерений и дальнейшего совершенствования приёмной аппаратуры.

### Литература

1. Сигов А.С., Сперанский А.А., Штыков А.Н., Бельский А.Б., Шалимов Л.Н., Манько Н.Г., Шестаков Г.В., Галушкин Ю.А., Сидорова М.И. Прецизионные гиперчувствительные квантово-волновые оптические методы широкополосного наблюдения механических и акустических колебаний геологических и антропогенных систем. // Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление» [www.gupravlenie.ru](http://www.gupravlenie.ru) Том 12 № 1 (30), 2016, ст. 6, стр. 54-70. ISSN 2075-1427
2. Шутко А.М., Сидоров И.А., Новичихин Е.П., Плющев В.А. и др. СВЧ-радиометрия земной и водной поверхностей: от теории к практике // Академическое издательство имени проф. Марины Дриновой, София, 2014, ISBN 978-954-322-708-2
3. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов // М., «Наука». 1986 г. 286с.

4. Сидоров И.А., Солдатенко А.П., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Новичихин Е.П. Результаты натурных экспериментов по мониторингу гидрологической обстановки вдоль автомобильных дорог многочастотной поляризметрической системой СВЧ-радиометров. // Машиностроитель, Том 84, Выпуск 12, 2015г., стр.46-55 ISSN 0025-4568

### References

1. Sygov A.S., Speransky A.A., Shtykov A.N., Belsky A.B., Shalimov L.N., Manko N.G., Shestakov G.V., Galoushkyn Y.A., Sidorova M.I. . Precision hypersensitive quantum-wave optical methods of broadband monitoring of mechanical and acoustical oscillations of geo-information and anthropogenic systems. // www.gypravlenie.ru Vol. 12 № 1 (30), 2016, st. 6, pp. 54-70. ISSN 2075-1427

2. Shutko A.M., Sidorov I.A., Novichikhin E.P., Plushchev V.A. and over. Microwave radiometry of land and water surfaces: from theory to practice // Academic publishing house name after professor Marin Drinov, Sofia, 2014, ISBN 978-954-322-708-2

3. Shutko A.M. Microwave radiometry of water surface and land. // Nauka, Moscow, 1986.

4. Sidorov I.A., Soldatenko A.P., Gudkov A.G., Leushin V.Y., Novichikhin E.P. The results of nature experiments for soil moisture measuring along highways by means of multispectral polarimetric radiometric system. // Mashinostroitel, V.84, Issue 12. 2015 pp.46-55. ISSN 0025-4568.

*Паринов Е.Г., Зимин И.В., к.т.н., МФТИ,  
Кобельков Г.П., ЦАО «Радиофизика», г. Москва*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ В ПОЛНОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОМ БАЗИСЕ**

Изучение электромагнитных полей, рассеянных осесимметричными телами, имеет большое значение для решения ряда практически важных

задач, например, таких, как идентификация объектов. Данная работа посвящена разработке модели расчета диаграмм обратного рассеяния (ДОР) осесимметричных объектов контроля (ОК) в двух ортогональных поляризациях поляризации базиса.

Предполагается, что в дальней зоне РЛС находится движущийся по баллистической траектории осесимметричный ОК. Передающая позиция излучает сигнал с произвольной поляризацией в направлении ОК. Требуется определить диаграмму обратного рассеяния ОК относительно приёмной позиции РЛС. Задача сводится к нахождению элементов поляризационной матрицы рассеяния (ПМР), то есть к задаче дифракции плоской электромагнитной волны (ЭМВ) произвольной поляризации на осесимметричном ОК. Иначе говоря, для дискретного набора положений ОК необходимо получить массив значений элементов ПМР относительно места расположения апертуры антенной системы приёмной позиции РЛС.

Модель расчета диаграмм обратного рассеяния основана на использовании метода моментов [1, 2]. Для нахождения рассеянного поля с помощью метода моментов решается интегральное уравнение. Такой подход позволяет рассматривать резонансные случаи, но требует привлечение большого количества вычислительных ресурсов. В решении уравнения явно используется осевая симметрия тел.

Для определения угла падения плоской ЭМВ в системе координат, связанной с ОК, моделировалось движение ОК. В качестве модели движения использовалась стандартная модель движения тела по баллистической траектории, основанная на интегрировании системы уравнений движения методом Рунге–Кутты.

Для верификации разработанной модели был проведен расчет диаграмм обратного рассеяния эталонных осесимметричных объектов контроля. В качестве таковых были выбраны сфера и усеченный конус. Сравнение результатов с экспериментальными замерами и теоретическими решениями, имеющимися в литературе, показало приемлемую точность результатов, полученных при помощи модели. Все сравнения представлены графически.

В работе приведены результаты моделирования выборок замеров ПМР объектов контроля при движении на внеатмосферном участке траектории. Выборки определялись для основных классов ОК (цилиндров, конусов, сфер) различных размеров. В качестве поляризационных базисов использовались линейный базис и круговой. Также представлены графики ЭПР ОК в горизонтальной и вертикальной поляризациях в зависимости от времени наблюдения ОК.

#### **Литература**

2. Glisson and A.W., Wilton D.R. Simple and efficient numerical techniques for treating bodies of revolution, Tech. Rep. 105, Univ. of Mississippi, 1979.
3. Joseph J. Electromagnetic Scattering by Conducting by Bodies of Revolution—Solution Using Sub-Domain and Entire-Domain Basis Functions, Paperback, 1988.

*Салихов Р., Хабибуллина Л.В., Яббарова Д.Р.,  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань*

### ***ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ***

Оптические измерения включают в себя определение источников света. Любой параметр, который изменяется с изменением температуры, например, изменения интенсивности излучения, амплитуды, длины волны или фазы электромагнитной волны, может быть использован в качестве предварительного расчета температуры образца. Комбинационное рассеяние является основным действием устройств волоконно-оптического измерения температуры. Если температура волокна изменяется в одной или нескольких точках вдоль длины волокна, тепловое воздействие местами вызывает колебания кристаллической решетки, и распространяющийся импульсный лазерный луч в тех точках подвергается комбинационному рассеянию. Соотношение яркости спектральной линии антистоксов к стоксам используется для определения температуры волокна.



Промышленные приборы измеряют температуру до 700°C с линейным разрешением 1 м. Датчики температуры дифракционной решетки Брэгговского волокна используются в ядерной энергетике для контроля внутренней температуры реактора и во избежание возможности взрыва ядерного реактора. После появления ультрафиолетовых светодиодов для измерения температуры, стали проводиться измерения периода и диапазона частоты. Источник модулированного света вызывает свечение образца. Полученная люминесценция также модулируется и сдвинута по фазе, относительно возбуждающего источника света. Выходной сигнал детектора демодулируется и период определяется по измеренным фазовым сдвигам. При дифференциальном измерении люминесценции, изменения в спектре люминесценции образца контролируется как функция температуры. Спектральное вычитание показывает либо нагретый материал, либо охлажденный. Преимущества этого метода – быстроедействие и разрешение менее милликельвина.

Другой спроектированный высокотемпературный датчик включает оптическое волокно, изготовленное из Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или другого материала. Один конец волокна покрывают легирующей пленкой ионов редкоземельных материалов, которая находится в контакте с измеряемой поверхностью. Световой вывод волокна до обнаружения проходит через полосовой фильтр (или спектрометр), интенсивность которого зависит от температуры образца. Это устройство подходит для измерения температуры в диапазоне 400–2000°C и работает даже в реактивных и коррозионных средах. У него малое время отклика (1 мс) и температурное разрешение, равное 1°C.

Несмотря на достигнутый прогресс, не существует универсального устройства, которое подходит для всех сред. Таким образом, оптическая метрология постоянно развивается в разных направлениях. Любой метод, который предполагает измерение фазы, является более точным, чем методы подсчета полос. Поэтому стоит рассматривать возможности применения интерферометров и флуоресцентных методов для научных исследований и промышленных измерений.

### Литература

1. Гарсия В.. Измерение температуры: теория и практика: в записную книжку инженера, №10, 2002, с. 87-93.
2. Bommarreddi R.R. Review Applications of Optical Interferometer Techniques for Precision Measurements of Changes in Temperature, Growth and Refractive Index of Materials. Journal Academic Press. USA. (2014). p. 283.

*Сидров И. А., к.т.н., доцент, Плющев В.А., к.т.н., с.н.с.,  
Концерн «Вега», МФТИ,  
Гудков А. Г., д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Леушин В. Ю., к.т.н., «НПИ фирма «Гиперион», г.Москва  
Новичихин Е. П., к.ф.-м.н.,  
ИРЭ РАН им. В.А.Котельникова, г.Фрязино  
Хаарбринк Роланд, фирма «МИРАМАП», г. Хаутен, Нидерланды*

### **ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЧ-РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ДВУХ И ТРЁХОПОРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

В докладе рассматриваются особенности применения методов модуляции и внутренней калибровки СВЧ-радиометрических систем, запатентованные специалистами Концерна «Вега», в различных областях: в медицине, системах обеспечения безопасности и в системах дистанционного зондирования.

Рассматриваются особенности неинвазивного измерения температур внутри человеческого тела на глубину до 20 сантиметров. Приводятся результаты экспериментов по определению термических аномалий внутри человеческого тела в ответ на различные физиологические тесты при помощи многоканального радиотермографа. Оценивается точность измерений, необходимая для надёжной диагностики анкологических новообразований. Обосновывается необходимость разработки новых многочастотных

многоканальных радиотермографов для более точной локализации температурных аномалий, путём построения 3D-термограмм.

Приводятся результаты экспериментов по обнаружению металлических и неметаллических объектов, скрытых под одеждой человека, путём СВЧ-радиометрического сканирования тела в интересах обеспечения антитеррористической безопасности на особо охраняемых объектах и на транспорте. Описаны эксперименты по обеспечению пожаробезопасного хранения хлопчатника в бунтах и при перевозке в кипах корабельным транспортом путём дистанционного обнаружения очагов саморазогрева хлопчатника при помощи СВЧ-радиометра.

Рассматриваются преимущества использования СВЧ-радиометрических систем с двух- и трёхпорной модуляцией для решения задач дистанционного зондирования земной поверхности с целью определения различных геофизических параметров с различных движущихся платформ, таких как автомобили, квадрациклы, беспилотные летательные аппараты и самолёты малой авиации. Приводятся примеры радиотепловых и тематических карт полученных в результате экспериментов на территории России, США, Болгарии и Нидерландов.

Оцениваются перспективы дальнейшего использования СВЧ-радиометрических датчиков для обнаружения мест эрозии железнодорожных призм и шоссейных дорог.

Актуальной является задача обнаружения мест подземных протечек в земляных дамбах, особенно в Королевстве Нидерланды, где значительные территории суши отвоёваны у моря, и имеются тысячи километров дамб, требующих постоянного мониторинга для предотвращения аварийных ситуаций. Приводятся результаты многолетнего сотрудничества с нидерландской фирмой «МИРАМАП» (Microwave Radiometry Mapping) для решения задач безопасной эксплуатации искусственных гидросооружений.

Рассматриваются перспективы дальнейшего совершенствования радиометрических систем и методов обработки информации для решения обозначенных задач.

### Литература

1. Бобрихин А.Ф., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Лось В.Ф., Порохов И.О., Сидоров И.А. Моделирование вибраторной, спиральной и резонаторно-щелевой антенн-аппликаторов для многоканальных медицинских радиотермографов. // В сборнике: «КрыМиКо 2014» Материалы 24-Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 7-13 сентября 2014, Севастополь, Крым, Россия, Том 2, стр. 1047-1048
2. Бобрихин А.Ф., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Лось В.Ф., Попов В.В., Порохов И.О., Сидоров И.А. Моделирование антенн-аппликаторов унифицированных антенных решеток для многоканальных систем радиотермокартирования. // «Антенны». 2014. № 2 (201). С. 17-26.
3. Бобрихин А.Ф., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Лось В.Ф., Попов В.В., Порохов И.О., Сидоров И.А. Антенны-аппликаторы для систем радиотермокартирования. // Машиностроитель. 2014. № 8. С. 36-45.
4. Сидоров И.А., Плющев В.А., Солдатенко А.П., Гудков А.Г., Леушин В.Ю. Мониторинг очагов лесных и торфяных пожаров с помощью СВЧ-радиометрического зондирования. // «Машиностроитель». 2014. № 9. С. 32-35.
5. Сидоров И.А., Солдатенко А.П., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Новичихин Е.П. Результаты натурных экспериментов по мониторингу гидрологической обстановки вдоль автомобильных дорог многочастотной поляриметрической системой СВЧ-радиометров. // Машиностроитель, Том 84, Выпуск 12, 2015г., стр.46-55 ISSN 0025-4568
6. Шутко А.М., Новичихин Е.П., Маречек С.В., Плющев В.А., Сидоров И.А., Бирюков Е.Д., Решиков А.Д., Хаарбринк Р. Поляриметрическая система из двух СВЧ-радиометров типа «Ранет-21». // «Радиотехника». 2013. № 1. С. 123-126.
7. Сидоров И.А., Плющев В. А., Новичихин Е. П., Гудков А.Г. Результаты натурального эксперимента по измерению влажности почвы с помощью СВЧ-радиометрического приемника с борта беспилотного летательного аппарата. // Материалы 26-Международной Крымской конференции

«СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 6-12 сентября 2016, Севастополь, Крым, Россия, Том 10, стр. 2301-2307.

8. Шутко А.М СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов // М., «Наука». 1986 г. 286с.

9. Шутко А.М., Сидоров И.А., Новичихин Е.П., Плющев В.А. и др. СВЧ-радиометрия земной и водной поверхностей: от теории к практике // Академическое издательство имени проф. Марина Дринова, София, 2014, ISBN 978-954-322-708-2

### References

1. Bobrikhin A.F., Gudkov A.G., Leushin V.Yu., Los' V.F., Porokhov I.O., Sidorov I.A. Modeling of the dipole, helical and cavity-slot antennas applicators for multichannel medical radiothermographs. // «CriMiCo 2014» – 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. 2014. P. 1047-1048.

2. Bobrikhin A.F., Gudkov A.G., Leushin V.Yu., Los' V.F., Popov V.V., Porokhov I.O., Sidorov I.A. Modeling of antennas-applicators of the unified antenna lattices for radiothermomapping multichannel systems. // «Antennas». 2014. № 2 (201). P. 17-26.

3. Bobrikhin A.F., Gudkov A.G., Leushin V.Yu., Los' V.F., Popov V.V., Porokhov I.O., Sidorov I.A. Antennas-applicators for radiothermomapping systems. // Mashinostroitel. 2014. № 8. P. 36-45.

4. Sidorov I.A., Plushchev V.A., Soldatenko A.P., Gudkov A.G., Leushin V.Yu., Monitoring of forest and peat-bog fires centers by means of microwave radiometer sounding. // Mashinostroitel, 2014. № 9. P. 32-35.

5. Sidorov I.A., Soldatenko A.P., Gudkov A.G., Leushin V.Y., Novichikhin E.P. The results of nature experiments for soil moisture measuring along highways by means of multispectral polarimetric radiometric system. // Mashinostroitel, V.84, Issue 12, 2015 pp.46-55. ISSN 0025-4568.

6. Shutko A.M., Novichikhin E.P., Marichek S.V., Plushchev V.A., Sidorov I.A., Birukov E.D., Reshchikov A.D., Haarbrink R. Polarimetric

system of two microwave radiometers «Ranet-21» type. // «Radiotekhnika» (Radioengineering), 2013. № 1. P. 123-126.

7. Sidorov I.A., Plushchev V.A., Novichikhin E.P., Gudkov A.G., The soil moisture measuring using microwave radiometer from unmanned helicopter scientific experiment results. // «CriMiCo 2016» – 26th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. September 6-12, 2016, Vol 10, P. 2301-2307.

8. Shutko A.M. Microwave radiometry of water surface and land. // Nauka, Moscow, 1986.

[9] Shutko A.M., Sidorov I.A., Novichikhin E.P., Plushchev V.A. and over. Microwave radiometry of land and water surfaces: from theory to practice // Academic publishing house name after professor Marin Drinov, Sofia, 2014, ISBN 978-954-322-708-2

*Файзиев Ш. А, к.т.н., с.н.с., Собиров Ю. Б., к.т.н.,  
Махмудов Х. М., к.ф-м.н, с.н.с., Газиев Г. А., Абдунабиев А.,  
Институт Материаловедения НПО «Физика-Солнце», АН РУз.*

### **СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Сбор информации, связанной с излучением Солнца, выполняют так называемые актинометрические приборы, ещё их называют радиометрами [1]: пиранометры – для измерения суммарной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, а также рассеянной радиации, исходящей от небосвода; актинометры и пиргелиометры для измерения прямой солнечной радиации, исходящей от Солнца и околосолнечной зоны неба радиусом 5°; альбедометры для измерения отражённой солнечной радиации от деятельной земной поверхности; балансометры для определения радиационного баланса деятельной поверхности; гелиографы – для автоматической регистрации продолжительности солнечного сияния, когда Солнце не закрыто облаками.

На практике используются различные пиранометры, кроме указанных выше, такие как пиранометры Зонтага, ЭКО, Молля–Горчинского, SR-75, Беллани. Однако пиранометры компании Kipp and Zonen согласно Мировому центру радиационных данных Всемирной Метрологической Организации (ВМО) [2] наиболее используемые. Институт Материаловедения также эксплуатирует пиранометры CM21 – две штуки компании Kipp and Zonen и один пиргелиометр СН1.

Актинометры первого поколения, такие как АП-1, М-3, нацеливались на солнце вручную, так как их конструкция была приспособлена для выполнения этих манипуляций. Современные приборы работают, как правило, со станциями слежения за солнцем, например Kipp and Zonen 2P и Solys 2. Также пиргелиометры можно подключить к компьютеру или к системе сбора данных. Для чего необходим низковольтный аналоговый вход, а разрешающая способность АЦП должна обеспечивать чувствительность системы около 1 бита на Вт/м<sup>2</sup>. Во время измерения солнечного излучения вне помещения нет необходимости в большой разрешающей способности, так как из-за отсутствия теплового равновесия пиргелиометры показывают смещение до  $\pm 2$  Вт/м<sup>2</sup>. В мире нашли применение и другие пиргелиометры, кроме указанных выше, такие как пиргелиометры серии DR-01, DR-02, DR-03, Nip и т.д., но большинство используемых приборов – это приборы компании Kipp and Zonen.

Следующим актинометрическим прибором является балансомер. Балансомер служит для определения радиационного баланса остаточной радиации деятельной поверхности. Радиационный баланс измеряется без прямой солнечной радиации, для чего приёмная поверхность балансомера затеняется экраном. Одновременно прямая радиация измеряется актинометром. Для получения полного баланса величина прямой радиации на горизонтальную поверхность добавляется к измеренной затенённым балансомером. В результатах измерений этих приборов остро нуждаются: метеорологи для сбора и накопления статистических данных, которые после обработки и анализа позволяют составить кратковременные и долго-

срочные прогнозы погоды, климатологи для изучения климатообразования, описания классификации климатов земного шара, биоклиматологи и агроклиматологи сельского хозяйства для районирования и планирования выращивания растительных культур жизнедеятельности человечества и т.д. Гелиограф служит для автоматической регистрации продолжительности солнечного сияния в течение дня, т.е. когда Солнце не закрыто облаками. Световая длительность в часах определяется ВМО как время, в течение которого прямое солнечное излучение превышает  $120 \text{ Вт/м}^2$ .

В настоящее время нашли применение современные удобные в эксплуатации датчики солнечного сияния CSD, SON, PREDE, CIMEL, PUMKO-CAMMER и т.д., использующие кремниевые фотодиоды с чувствительностью в спектральном диапазоне 400–11000 нм. У приборов нет механических движущихся частей, работают от источника постоянного тока напряжением 12 В. Прибор CSD плюс по всему имеет встроенный обогреватель, который защищает от обледенения, налипания снега, выпадения росы. Данные приборы легко подключаются к компьютеру или к системе сбора информации.

В заключение отметим, что в ближайшие годы организации системы Узгидромета, Госкомприроды, вузы, колледжи и предприятия, разрабатывающие установки использующие солнечную энергию (гелиоустановки), эксплуатирующие их пополняется солнечными датчиками и будут вовлечены в процесс измерения солнечных ресурсов.

### Литература

1. Ю.Д. Янишевский: «Актинометрические приборы и методы наблюдений». Ленинград, Гидрометеиздат, 1959, стр. 409.
2. Солнечная радиация и радиационный баланс. (Мировая сеть), ГГО им. Воейкова, Мировой радиационный центр данных ВМО, Санкт-Петербург, стр.70.



*Фомиряков Э.А., МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Кузьменков А.И., Никитин С.П., к.ф.-м.н.,  
Трещиков В.Н., к.ф.-м.н., ООО «Т8 Сенсор», г. Москва,  
Наний О.Е., д.ф.-м.н., МГУ имени М.В. Ломоносова, ФИРЭ РАН, г. Фрязино*

## **ВЛИЯНИЕ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРА НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КОГЕРЕНТНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА**

В настоящее время широкое распространение получили волоконные датчики на основе когерентных рефлектометров (КР) рассеяния Рэлея [1]. Чувствительным элементом КР служит одномодовое волокно длиной до 100 км. В состав КР входит лазер, излучения которого формируется зондирующий импульс длительностью  $\tau_{las}$ . При распространении по волокну со скоростью  $v_g$  импульс испытывает рассеяние Рэлея и часть света возвращается по волокну к рефлектометру, причем свет от участков волокна, отстоящих по длине меньше, чем  $L_{sc} = v_g \tau_{las} / 2$ , интерферирует со случайными фазами из-за неоднородностей волокна, что приводит к хаотическим изменениям интенсивности рефлектограммы. Если волокно в покое, а лазер стабилен, то форма рефлектограммы воспроизводится от импульса к импульсу. Воздействие на волокно на расстоянии  $z$  влияет на локальный набег оптической фазы, что отражается на интенсивности рефлектограммы в момент времени  $t = 2z/v_g$ . По амплитуде и скорости таких локальных изменений рефлектограммы от импульса к импульсу можно судить о природе воздействия на волокно [2]. Чувствительность к изменению фазы, определяемая уровнем шумов рефлектограммы, является важнейшим параметром КР. В данной статье изучается вклад в шум рефлектограммы, обусловленный фазовым шумом на примере различных лазеров и оценивается соответствующая фазовая чувствительность рефлектометра.

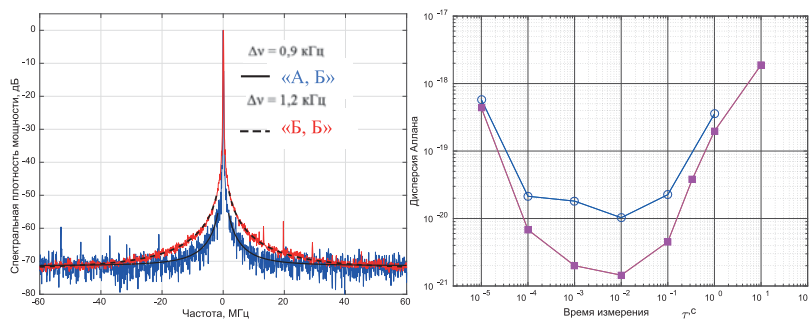
Шум фазы можно охарактеризовать односторонним спектром фазовых шумов  $L(f)$  либо дисперсией Аллана:

$$A_{VAR} = \frac{\langle \Delta v_A \rangle^2}{v_0^2} [3].$$

Эти величины измерялись экспериментально в радиочастотном сигнале биений, возникающем при оптическом гетеродинамировании двух различных типов лазеров – «А» и «Б». На рис. 1 приведены результаты таких измерений. Дисперсия Аллана регистрировалась частотомером АК ИП ЧЗ-85/3, а спектр фазовых шумов детектором Tektronix ORS20 и радиочастотным анализатором спектра Rohde & Schwarz FSW-8. Вдали от частоты биений спектр мощности фазовых шумов  $L(f) \sim H/f^2$ , где  $H$  связано с мгновенной шириной спектра биений, вклад в которую вносят оба лазера [3, 4]. Измерения с разными парами лазеров позволили получить значение  $\Delta\nu_{FWHM} \sim 1,1$  кГц для лазера «Б» и верхнюю оценку мгновенной ширины линии  $\Delta\nu_{FWHM} < 0,5$  кГц для лазера «А». Приняв для последнего ширину линии 100 Гц, указанную изготовителем, и взяв  $\tau_{las} = 200$  нс, получаем оценку для фазовой чувствительности рефлектометра:

$$\langle \Delta\phi \rangle = \sqrt{2\pi\Delta\nu_{FWHM}\tau_{las}} \sim 0,01 \text{ рад.}$$

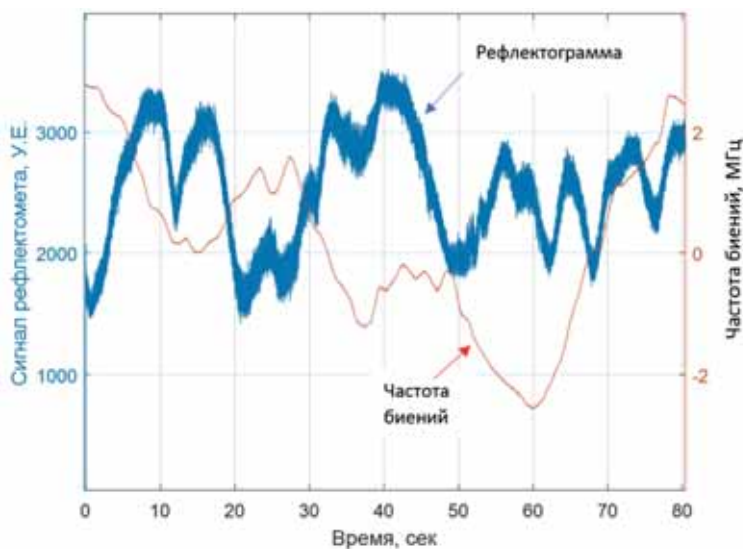
Из двух лазеров лазер «А» обеспечивает меньший шум при интерферометрии.



**Рис. 1.** Спектр мощности биений (слева) и дисперсия Аллана (справа) для двух пар лазеров

Сигнал КР зависит не только от вариации показателя преломления в волокне, но и от длины волны лазера [5]. На рис. 2 приведен пример син-

хронного измерения частоты биений лазеров  $\langle B, B \rangle$  и сигнала КР с одним из лазеров этой пары. Вклад в уход частоты биений вносят оба лазера, а в сигнал КР только один, поэтому прямое сравнение измерений затруднено. Тем не менее уход частоты биений на  $>1$  МГц, совпавший по времени с провалом сигнала КР на 40% вблизи отметки 18 с., с высокой вероятностью обусловлен дрейфом частоты лазера в КР, эквивалентным фазовому сигналу  $\Delta\phi_A \sim 2\pi\Delta\nu_A\tau_{las} \sim 1,2$  рад.



**Рис. 2.** Синхронные вариации частоты биений (тонкая линия) и интенсивности рефлектограммы (синяя линия)

Сравнение зависимости дисперсии Аллана для сигнала биений от разных пар лазеров указывает на худшую стабильную частоту лазера «А», особенно для задержек  $\sim 10^{-3} - 10^{-1}$  сек, где величина  $A_{VAR} \sim 2 \cdot 10^{-20}$  (рис. 16). Для  $\tau_{las} = 200$  нс и  $\nu_0 = 2 \cdot 10^{14}$  Гц такая нестабильность частоты эквивалентна дрейфу фазы

$$\Delta\phi_A \sim 2\pi\nu_0\tau_{las}\sqrt{A_{VAR}} > 0,03 \text{ рад.}$$

По этой причине, несмотря на узкую мгновенную ширину линии, худшая нестабильность частоты лазера «А» затрудняет его использование для

измерений с помощью КР на частотах порядка сотен герц. Для таких применений лазер «Б» предпочтителен. Полученный результат согласуется с наблюдениями в [6].

Таким образом, с помощью оптического гетеродинирования измерены мгновенные ширины линии генерации и стабильности частоты для двух разных лазеров. Продемонстрировано, что для когерентной рефлектометрии помимо ширины линии генерации лазера также важной характеристикой является стабильность его частоты.

### Литература

1. Горбуленко В.В., Леонов А.В., Марченко К.В., Трешиков В.Н. «Волоконно-оптическая система «Дунай», «Фотон-Экспресс 5, стр.12-15 (2014)
2. S. Shatalin, V. Treschikov and A. Rogers, “Interferometric optical time-domain reflectometry for distributed optical-fiber sensing,» Appl. Opt. 37, 5600-5604 (1998).
3. Ф. Риле, «Стандарты частоты. Принципы и приложения», стр. 55-75, Физматлит, 2009.
4. W. Liang et al., “Ultralow noise miniature external cavity semiconductor laser». Nat. Commun. 6:7371 (2015).
5. M. Mermelstein et al., “Rayleigh scattering optical frequency correlation in a single-mode optical fiber,» Opt. Lett. 26, 58-60 (2001).
6. A. Zhirnov et al. Effects of laser frequency drift in phase-sensitive optical time-domain reflectometry fiber sensors. arXiv:1604.08854 [physics.ins-det].

*Хабибуллина Л.В., КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань*

## **ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РОСТА ТОНКИХ ПЛЕНОК**

Метод интерферометрии применяется в науке и промышленности, в том числе: в точной топографии поверхности, контроле роста пленок,

датчиках температуры и отображении концентрации веществ. В большинстве случаев, метод интерферометрии может использоваться для измерения пленок толщиной больше, чем четверть длины волны лазера, в то время как эллипсометрия может использоваться для характеристики тонких пленок. В эллипсометрии, поляризация падающего света сменяется после отражения от образца, который детектируется с помощью анализатора.

Методы интерферометрии фазового сдвига, интерферометрии вертикальной развертки, муаровой интерферометрии и голографической интерферометрии на базе компьютерных методов и время обработки данных более эффективны, и процесс протекает быстрее. В методе интерферометрии фазового сдвига, изменяется относительная фаза опорного луча в непрерывном режиме с подачей дискретных напряжений на установленные зеркала пьезоэлектрического датчика, а сдвинутые по фазе интерферограммы записываются последовательно. Интерферограммы записываются при помощи камеры на ПЗС (приборах с зарядовой связью), и компьютер изменяет интенсивность характеристики объекта для различных фазовых сдвигов. Можно определить измерения чувствительности высоких и низких изменений в концентрации, температуре и плотности интерферометрии фазового сдвига.

Метод интерферометрии вертикальной развертки использует естественное освещение, он полезен для отображения шероховатости поверхностей, но его чувствительность меньше, чем у интерферометрии фазового сдвига. Интерферометрия лазерного отражения заключается в измерении интенсивности лазерного луча, отраженного от передней и задней поверхности материала/наращиваемой пленки. С помощью интенсивности лазерного луча может быть измерена толщина пленки и скорость роста. Тем не менее шероховатость поверхности и объемное поглощение/отражательная способность негативно влияют на использование этого метода после некоторого роста материала, так как она снижает отражательную способность и, следовательно, амплитуду колебаний.

В настоящий момент времени, интерферометры Майкельсона и Маха–Цендера используются для измерения скорости роста и полевых измере-

ний концентраций на борту Международной космической станции. Метод дифференциальной лазерной интерферометрии использовался для измерения теплового расширения твердых веществ, с помощью поэтапных вычислений. Свет отражался от двух поверхностей. Два граничных сигнала синхронно контролируют 90 °С по фазе. Толщина пленки была измерена с помощью модифицированного интерферометра Майкельсона, в котором пошагово было заменено одно зеркало. Была получена сдвоенная интерференционная картина, на которой запечатлен сдвиг между изображениями. Образцы были получены из подложек с пленкой и без пленки. По отклонению была рассчитана толщина пленки.

#### Литература

1. С.А. Кукушкин, А.В. Осипов Процессы конденсации тонких пленок, УФН, т. 168, №10, 2008, с. 1083-1116.
2. Ohring M. Material science of thin films Deposition and Structure. Academic Press. USA. (2012). p. 794
3. В. М. Иевлев Тонкие пленки неорганических материалов: механизм роста и структура : учеб. пособие. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013. – 496 с.

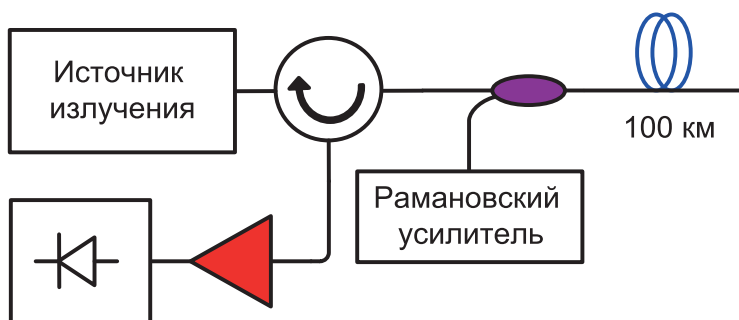
*Харасов Д.Р., ООО «Т8 НТЦ», г. Москва, МФТИ, г. Долгопрудный,  
Кузьменков А.И., Горбуленко В.В., Никитин С.П., к.ф.-м.н., ООО «Т8 Сенсор»,  
Наний О.Е., д.ф.-м.н., МГУ им М.В. Ломоносова, ООО «Т8 Сенсор», г. Москва,  
Трещиков В.Н., к.ф.-м.н., ООО «Т8 Сенсор», г. Москва, ФИРЭ РАН, г. Фрязино*

### **УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ КОГЕРЕНТНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАМАНОВСКОГО УСИЛЕНИЯ**

Когерентный рефлектометр [1], работающий по принципу регистрации рассеянного назад излучения [2], активно применяется для охраны и мониторинга протяженных объектов. В настоящее время дальность действия

когерентного рефлектометра ограничена затуханием в волокне и обычно составляет 40–50 км. Существует несколько способов увеличить дальность работы рефлектометра, такие как использование интегрированных решёток Брэгга, комбинирование волокон различных типов, применение сложных методов детектирования сигналов, использование рамановских усилителей [3].

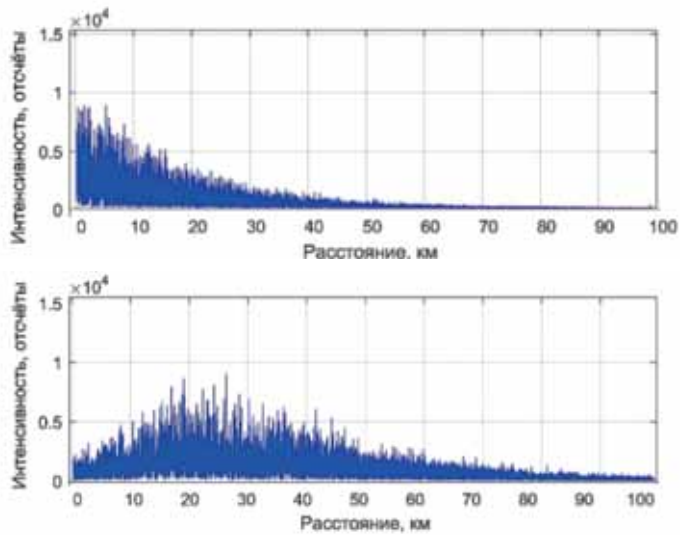
В данной работе для увеличения дальности работы когерентного рефлектометра с линейным откликом по фазе [4] использовалась сонаправленная рамановская накачка. Упрощенная схема экспериментальной установки показана на рис. 1.



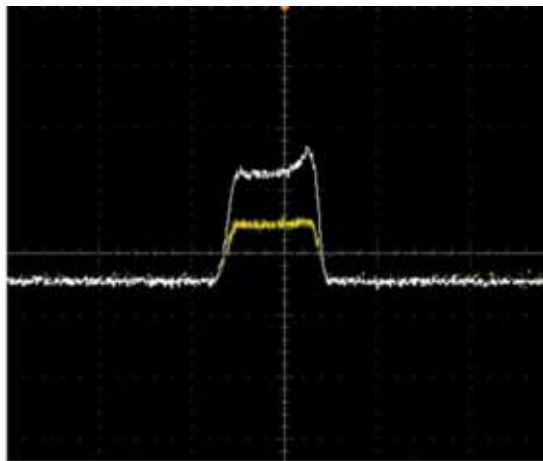
**Рис. 1.** Упрощенная схема экспериментальной установки

В работе использовался когерентный рефлектометр «Дунай» производства компании ООО «Т8 Сенсор», рамановский усилитель производства компании «Т8» с максимальной мощностью накачки 1 Вт, а также линия, состоящая из 100 километров волокна Corning SMF. На рис. 2 отображены рефлектограммы без и с применением рамановского усиления [3].

Нами было изучено влияние рамановского усиления на уровень шума интенсивности в рефлектограмме [3]. Кроме этого было зафиксировано изменение формы импульса усиленного сигнала (см. рис. 3). Приведен анализ влияния этих эффектов на чувствительность когерентного рефлектометра.



**Рис. 2.** Когерентные рефлектограммы с выключенной (сверху) и включенной (снизу) рамановской накачкой



**Рис. 3.** Форма импульса при разных уровнях мощности рамановской накачки

Использование рамановского усилителя позволило увеличить дальность работы рефлектометра на 35 километров.



### Литература

1. Shatalin S. V., Treschikov V. N., Rogers A. J. Interferometric optical time-domain reflectometry for distributed optical-fiber sensing //Applied optics. – 1998. – Т. 37. – №. 24. – С. 5600-5604.
2. Tosoni O. et al. Model of a fibreoptic phase-sensitive reflectometer and its comparison with the experiment //Quantum Electronics. – 2010. – Т. 40. – №. 10. – С. 887-892.
3. Martins H. F. Distributed and Remote Fiber Sensing Assisted by Raman Effect. // Doctoral thesis, University of Porto – 2014.
4. Alekseev A E, Vdovenko V S, Gorshkov B G, Potapov V T and Simikin D E 2015 Laser Phys. 25 065101 A phase-sensitive optical time-domain reflectometer with dual-pulse diverse frequency probe signal

*Чурилин И.А., Никитин С.П., к.ф.-м.н., ООО «Т8 Сенсор», г. Москва*

*Моисеев В.В., к.т.н., ФИРЭ РАН, г. Фрязино*

*Наний О.Е., д.ф.-м.н., ООО «Т8 Сенсор», г. Москва,*

*МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва*

*Трещиков В.Н., к.ф.-м.н., ООО «Т8 Сенсор», г. Москва), ФИРЭ РАН, г. Фрязино*

*Антонов А.Н., Белотелов К.С., МФТИ, ООО «НордЛаб», г. Долгопрудный*

*Компаниец Ю.И., ООО «НордЛаб», г. Долгопрудный*

*Криштон В.Г., к.ф.-м.н., доцент,*

*ИПТМ РАН, г. Черноголовка, ООО «Сейсмотроника», г.Москва*

### **ИЗМЕРЕНИЕ ДВУХИМПУЛЬСНЫМ КОГЕРЕНТНЫМ РЕФЛЕКТОМЕТРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ**

Когерентные рефлектометры (КР) рассеяния Рэлея широко применяются в качестве распределенных датчиков вибрации [1, 2]. В качестве чувствительного элемента в КР используется одномодовое волокно, находящееся в волоконно-оптическом кабеле (ВОК). Обусловленная внешним воздействием локальная деформация волокна приводит к малым измене-

ниям фазы, что благодаря интерференции влияет на интенсивность рефлектограммы, фиксируемой прибором. Фазовый передаточный коэффициент, связывающий амплитуду внешнего воздействия с вариацией фазы в волокне в пределе низких частот зависит как от свойств волокна, так и от конструкции ВОК. В данной работе приведены измерения фазовых передаточных коэффициентов (ФПК) для кабелей разной конструкции.

Определение ФПК по изменению интенсивности рефлектограммы затруднено ее нелинейной связью с изменением фазы. Задача упрощается при использовании двухимпульсной схемы [3, 4]. В такой схеме волокно зондируется парами импульсов, причем разность фаз между импульсами циклически принимает значения: 0,  $\pi/2$  и  $\pi$  (рис. 1)

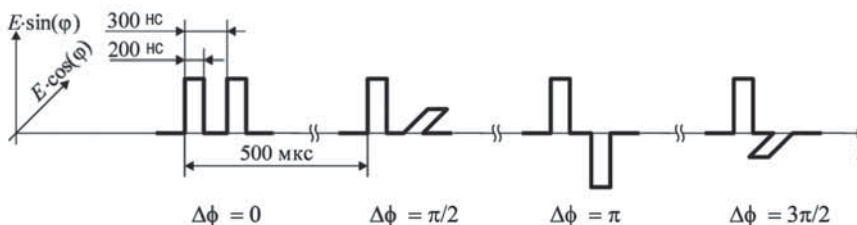


Рис. 1. Двухимпульсный метод измерения разностной фазы

Пусть

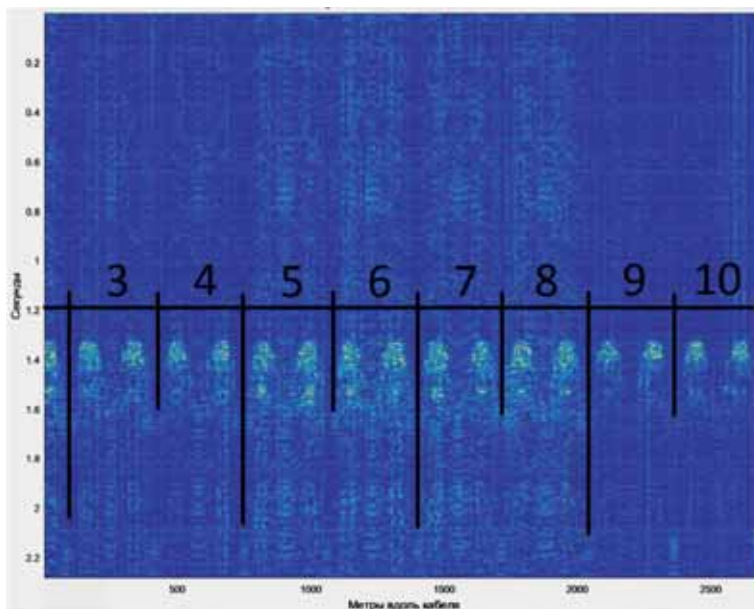
$$E(t, \tau) = \sqrt{I(t, \tau)} \exp\{i\omega\tau + i\psi(t, \tau)\}$$

амплитуда «одноимпульсной» рефлектограммы. Здесь  $t$  – время зондирования,  $\tau$  – задержка от момента ввода импульса в волокно,  $\omega$  – оптическая частота, а  $\psi$  – фаза, влияние внешнего воздействия на которую и требуется измерить. Разность фазы  $\Delta\psi$  за время задержки в парах импульсов  $\delta\tau$  вычисляется из измеренных «двухимпульсных» рефлектограмм  $I_0, I_{\pi/2}, I_{\pi}, I_{3\pi/2}$  по формуле

$$\Delta\psi = \psi(\tau) - \psi(\tau - \delta\tau) = \text{Arg} \left\{ (I_0 - I_{\pi}) + i \left( \frac{I_{\pi/2}}{2} - \frac{I_{3\pi/2}}{2} \right) \right\}.$$

В экспериментах использовался когерентный рефлектометр «Дунай» компании ООО «Т8 Сенсорс», зондировавший парами импульсов (рис. 1)

волоконную линию из пяти различных типов ВОК соединенных так, что любое воздействие на линию фиксировалось 20 раз (по четыре раза каждым из пяти типов ВОК). При физической длине чувствительного участка ~150 м оптическая длина, измеренная рефлектометром, составила 3315 м, с потерями ~5 дБ на проход из-за разъемных соединений. При обработке данные дополнительно усреднялись на участке длиной 5 м. На рис. 2 приведен пример фазового сигнала при ударе о грунт. Цифрами указаны сегменты ВОК, детализированные в табл. 1.



**Рис. 2.** Фазовая рефлектограмма от удара о грунт, одновременно зарегистрированная разными типами ВОК

Для калибровки внешнего воздействия, на прямом участке линии с шагом 15 м были установлены пять геофонов MTSS-1043A производства ООО «Р-Сенсорс» [5] с системой регистрации NDAS-8300 производства ООО «НордЛаб». Рефлектограммы регистрировались синхронно с сигналами геофонов, по которым оценивалась деформация поверхности, воз-

никающая при ходьбе человека, проезде автомобиля и падении с фиксированной высоты груза известной массы.

Результаты измерений приведены в табл. 1, где показан безразмерный ФПК, нормированный на деформацию линии измеренной геофонами. В зависимости от конструкции кабеля, их чувствительность изменяется до двух раз, при этом ВОК, использующие «скрутку», характеризуются меньшей чувствительностью. При этом ФПК для кабелей с центральной трубкой незначительно отличается от единицы. Разброс чувствительности разных волокон одного кабеля составляет 10-15%. Похожий разброс наблюдался при калибровке распределенного датчика с применением решеток Брэгга [6].

**Таблица 1.**

№	УЧАСТОК, м	ДЛИНА ВОК	ТИП КАБЕЛЯ	ФПК
1,2	0–655	655	С ПРОВОЛОЧНОЙ БРОНЕЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТРУБКОЙ ИКБ-Т-А4-8,0	0,8
3,4	655–1326	671	«8-КА» СО СКРУТКОЙ МОДУЛЕЙ ДПО	0,5
5,6	1326–1988	662	КАБЕЛЬ БЕЗ МАРКИРОВКИ	0,9
7,8	1988–2645	657	С ГОФРИРОВАННОЙ СТАЛЬНОЙ ЛЕНТОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТРУБКОЙ ИКСЛН-Т-А4-2,5	0,8
9,10	2645–3315	670	С ПРОВОЛОЧНОЙ БРОНЕЙ И СКРУТКОЙ МОДУЛЕЙ ИКБ-М4П-А4-8,0	0,4

Таким образом, предложена методика калибровки ВОК как чувствительного элемента когерентного рефлектометра, основанная на двухимпульсной схеме измерения фазы рефлектограммы. Измерениями в полевых условиях установлено, что чувствительность кабеля зависит от его конструкции и расположения волокна внутри него. Оценены передаточные коэффициенты для разных типов кабелей в грунте.

### Литература

1. Горбуленко В. В. и др. Волоконно-оптическая система мониторинга «Дунай» //Фотон-экспресс. – 2014. – №. 5. – С. 12-15.

2. Zeni, L. «Optical fiber distributed sensors: a tool for in-situ structural and environmental monitoring.» *Italian Workshop on Landslides*. 2009.

3. Alekseev, A. E., et al. «A phase-sensitive optical time-domain reflectometer with dual-pulse diverse frequency probe signal.» *Laser Physics* 25.6 (2015): 065101.

4. Alekseev, A. E., et al. «A phase-sensitive optical time-domain reflectometer with dual-pulse phase modulated probe signal.» *Laser Physics* 24.11 (2014): 115106.

5. Агафонов В. М., Криштоп В. Г., Сафонов М. В. «Измерительные устройства на основе молекулярно-электронного переноса в микро- и наноструктурах», //Нано-и микросистемная техника. – 2010. – №. 6. – С. 47-53.

6. Woolerab J. P. F., Crickmorea R. I. Fibre optic sensors for seismic intruder detection //Proc. of SPIE Vol. – 2005. – Т. 5855. – С. 279.

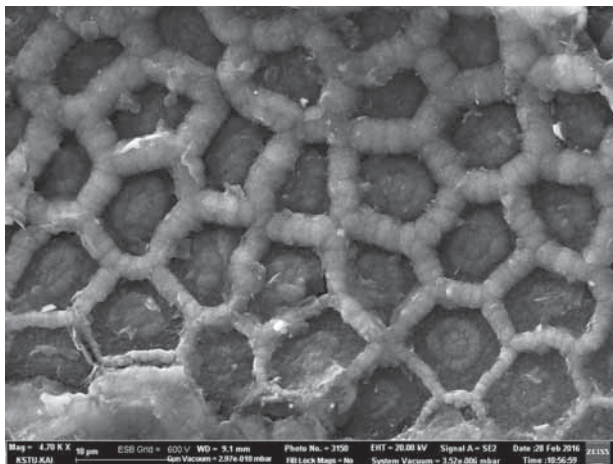
*Яббарова Д.Р., Хабибуллина Л.В., Салихов Р.,  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань*

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ЭФФЕКТА «ЗАПАИВАНИЯ» УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ**

Лазерная резка по праву считается одной из самых перспективных технологий раскроя углеродных композиционных материалов. Это обусловлено рядом значимых преимуществ, таких как высокая производительность производства и экологичность процесса, отсутствие ограничений по требуемой форме изделия и др.

При проведении эксперимента по резке углепластика было обнаружено еще одно уникальное преимущество технологии лазерной обработки углеродных композиционных материалов по сравнению с традиционными методами: за счет влияния высокой температуры наблюдается частичный выход матрицы из композита; эпоксидное связующее оплавляется и «заплавивает» края композитного материала (рис. 1), что в дальнейшем является

преимуществом. Такая особенность процесса уменьшает шанс распускания волокон и попадания влаги внутрь конструкции.



**Рис. 1.** Изображение поверхности реза углепластика, полученное с помощью СЭМ

Поверхность реза углеродных композиционных материалов, подвергшихся лазерной обработке, рассматривали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) с применением оптимального для анализа структуры поверхности кольцевого детектора вторичных электронов, который находится в объективе рабочей станции. Полученное изображение дает наглядное представление того, что под воздействием лазерного излучения происходит оплавление эпоксидной смолы; такой эффект приводит к завариванию отверстий между волокнами, препятствуя возникновению мохрения и впоследствии попаданию влаги внутрь материала.

### Литература

1. Freitag C., Onuseit V., Weber R., Graf T., Kononenko T.V., Komlenok M.S, Konov V.I. Oxygen-assisted multipass cutting of carbon fiber reinforced plastics with ultra-short laser pulses [Текст] / C. Freitag, V. Onuseit, R. Weber, T. Graf, T. V. Kononenko, M. S. Komlenok, V. I. Konov // Journal of Applied Physics. – 2014. – №115 – С. 103–107.

2. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. В.Я. Панченко, В.С. Голубев, В.В. Васильцов и др. Под ред. В.Я. Панченко. М: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 704 с.

3. Finger J, Weinand M., and Wortmann D. Ablation and cutting of carbon-fiber reinforced plastics using picosecond pulsed laser radiation with high average power [Текст] / J. Finger, M. Weinand, D. Wortmann // Journal of Laser Applications. – 2013. – №25 – С. 71–75.

*Yakoubovsky R.M., Nazarenko A.P., FSUE NIIR, Sarian V.K.,  
Professor MIPT, Moscow*

## ***DISASTER NOTIFICATION OF THE POPULATION IN SMART CITIES AND COMMUNITIES***

**Keywords:** GeoIoT ; monitoring network; natural and man-made disasters on the planet Earth; early-warning signals ; smart evacuation ; smart notification.

A disaster and/or an emergency evacuation in Smart Cities and Communities (SC&C) cover aspects like preserving, enhancing and improving the individual's safety. In principle, disaster notification could improve the levels of safety of people appeared in the dangerous zone as well as people who approaching this zone. This will decrease the actual number of people in the disaster and help the rescue team's work. IoT and SC&C provide possibilities to use its functionalities to identify the safety places and re-route the other traffic away from them.

By the data capture, processing and communication capabilities; disaster notification aims to improve safety in an emergency situation, thus providing aid to a person in distress, hence increasing the probability of survival and minimizing the disaster recovery cost.

Although people could be far from the center of disaster, they could quickly approach the dangerous zone, so it is very important to notify them and avoid the number of people inside the disaster zone. They will receive the warning signal in

understandable and appropriate language and could quickly leave the dangerous zone. For those who are driving towards the disaster area will be instructed to find the safe routes away and do not block the roads. In principle, Disaster notification could improve the levels of safety in disaster and/or emergency situations. IoT and SC&C provide a higher level of safety even during the disasters when no mains power and with no cellular network availability.

The concept of disaster notification is to use the data from the smart evacuation in the MES centers, notify the people who are approaching the dangerous zone, re-route them from the places for evacuation, and prevent blocking the roads for the rescue teams.

The main feature of smart notification is to combine the data from MES center with the safe places, points of gathering people, evacuation routes, centers of disaster and notify well in advance people who are approaching and prevent the increasing of the casualties and victims.

- Alert for disaster comes from the Emergency Centre at the service of notification of the population;
- The general message is transmitted through the all possible media channels (radio and TV broadcasting etc)
- Specific message is transmitted directly to the personal standard navigation devices. Alternative safe routes are showing the safe routes away from the dangerous zone.
- Navigation satellites re-transmit this signal directly to the personal standard navigation devices to insure that notification message reaches people even when the others ways are not available.

A user who is in the immediate vicinity of the danger of the hearth (30–50 km), receives an audio signal at the receiver display shows the text message and duplicated by voice.

### **Technical aspects**

During the disaster all possible channels are used to notify people (e.g. Radio and TV broadcasting, SMS etc). During the disaster the mains power could be down, so it is difficult to alert people who are close to the center of disaster. The alternative is to use satellites. Navigation satellites allow to deliver the alert locally only to the people



who is near the center of disaster. Warnings will be delivered to the people who are moving to the center of disaster and allow re-routing them to the safe places.

The navigator in the car or smart phone not only performs the usual navigation functions, but also becomes a tool that is able to receive the message and notify the owner of being in close proximity to the source of danger, regardless of whether the power is, and whether mobile networks operate.

Technical aspects contain the following:

- possible use of the existing navigation satellites (e.g. GLONASS);
- use of the existing consumer intelligent devices (smart phone or car navigator);
- use of the data from the smart evacuation.

The requirements are consider the following:

- Adaptation of the software of the consumer intelligent devices to the received message. This is required the patch updates from the software manufactories
- Disaster notification message format is required to be capable to transmit through the existing navigation satellite networks (e.g. GLONASS) within the standard DataStream format.

#### I. Functional reference model

The proposed scheme is in the field of information and can be used to improve the means of alerting the public in emergency situations (see the figures).



Fig. 1. Reference model of disaster notification

Warning system consists of ground equipment forming warning signals: The signal MES (block 1) or from the Emergency Center (block 2) is fed to a signal conditioning equipment (box 3) and receives on a dedicated equipment satellite station (block 4) and transmitted to a geostationary satellite.

The geostationary satellite is the usual telecommunications satellites, the choice of which is conditioned by the ability to cover the necessary areas. The signal from the earth station transmitting equipment (block 4) enters the receiving equipment of the geostationary satellite (unit 5) and supplied to the transmission equipment for inter-satellite geostationary satellite communication (unit 6) and transmitted to the navigation low-flying satellites

Navigation satellites – LEO grouping apparatus for determining the location (latitude and altitude) and the exact time and movement parameters (speed and direction, etc...) for ground, water and air objects. Currently, the following are known GPS system of navigation satellites, GLONASS, Beidou, Galileo, IRNSS and QZSS. It is proposed to equip the navigation satellite with the equipment of conversion to L-band signal. Then the signal from the geostationary satellite (block 6) enters the receiving equipment inter-satellite communication navigation satellite (block 7) and is fed to converting and signal conditioning equipment in the L-band (block 8) and supplied to the transmitting equipment navigation satellite (block 9) and radiates equipment for ground users.

Ground equipment users is a navigator with additional features and / or mobile phone, smart phone. Ground equipment is proposed to retrofit with the elements which allows you to select, demodulate and display the warning signals as well as to reproduce or transmit the audio signal to an external sound-equipment (such as audio system in the car). The signal from the navigation satellites arrives at the receiving user device / smartphone navigator in the car, etc. / (block 10) and supplied to the addition and demodulating the broadcast signal equipment (block 11) and adding equipment and demodulate signals Announced (block 12). From block 11, the signal is supplied to an internal or external sound producing equipment (block 13). The signal from block 12 is supplied to the screen of the receiving device (block 14) with a simultaneous audible warning sound.

The fact that the ground user equipment (browser or smart phone) is already using the signals from navigation satellites to determine location, allows you to use it for synchronization and addition of broadcast signals (coming simultaneously from two or more satellites), allowing the navigator in the car (or smartphone) to act as a high-quality radio. Moreover, it will also display the warning signal only if the subscriber is in the vicinity of the source of danger.

The scheme of the public alerts and broadcast using navigation satellites

#### **Structure formation of ground equipment broadcast signals and warning signals.**

The signal from the broadcast center (Block 1) and from MES services (block 2) is fed to a signal conditioning equipment (block 3) and fed to the satellite station dedicated equipment (block 4), and is transmitted to a geostationary satellite.

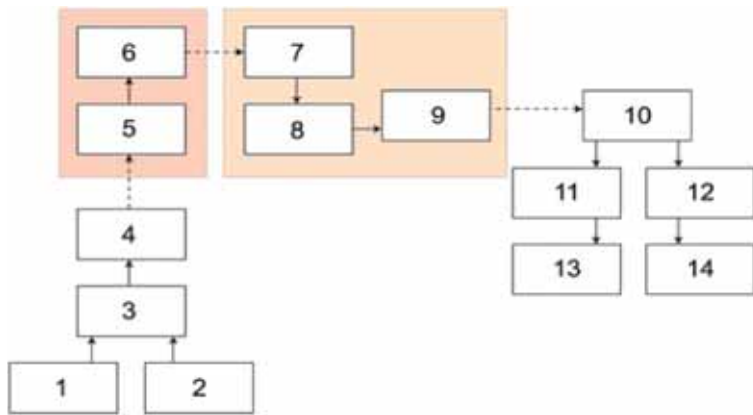
#### **Geostationary satellite**

The signal from the transmitting satellite earth station equipment (block 4) enters the receiving equipment geostationary satellite (unit 5) and supplied to the transmission equipment for inter-satellite geostationary satellite communication (unit 6) and transmitted to the navigation low-flying satellites

#### **Navigation satellites**

The signal from the geostationary satellite (block 6) enters the receiving equipment inter-satellite communication navigation satellite (block 7) and is fed to converting and signal conditioning equipment in the L-band (block 8) and supplied to the transmitting equipment navigation satellite (block 9) and radiated onto the ground equipment users

The signal from the satellite navigation receiver is supplied to users / smartphone navigation in the car, etc. / (block 10) and supplied to the addition of equipment and demodulating the broadcast signal (block 11) and adding equipment and demodulating the warning signals (block 12). From block 11, the signal is supplied to an internal or external sound producing equipment (block 13). The signal from block 12 is supplied to the screen of the receiving device (block 14) with a simultaneous audible warning sound.



**Fig. 2.** The bloc-scheme of the public alerts and broadcast using navigation satellites

# СПОНСОРЫ



# СПОНСОРЫ

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОФИЗИКИ  
И СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

 **Parallels®**

**Acronis**

**Virtuozzo**

## СЕКЦИЯ 3

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

*Астапенко В.А., д.ф.-м.н., Сахно С.В., к.ф.-м.н., Храмов Е.С.,  
Мороз Н.Н., Яковец А.В., МФТИ, г. Долгопрудный*

#### **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ПЛАЗМОННЫХ СЕНСОРОВ НА НАНОЧАСТИЦАХ ИТО**

Явление поверхностного плазмонного резонанса на полупроводниковых наночастицах открыло новые возможности их практического применения в различных областях науки и техники. По сравнению с металлическими наночастицами, на которых также наблюдается поверхностный плазмонный резонанс, полупроводниковые наночастицы имеют ряд преимуществ. Например, за счет изменения легирования появляется возможность влиять на частоту плазмонного резонанса полупроводниковой наночастицы как на этапе ее изготовления, так и после. При этом диапазон перестройки частоты плазмонного резонанса изменяется в довольно широком диапазоне частот (от терагерцового — до ближнего ИК) [1].

В данной работе предложена физико-математическая модель, описывающая работу сенсора на полупроводниковых наночастицах в области плазмонного резонанса для ультракоротких электромагнитных импульсов (УКИ). Под ультракоротким импульсом понимается импульс, период которого  $T$  сопоставим по величине с его длительностью  $\tau$ .

Одним из ключевых понятий, используемых для описания фотопроцессов под действием УКИ, является вероятность фотопоглощения за все время действия импульса  $\tau$  [2]:

$$W_{abs}(\tau) = \frac{c}{4\pi^2} \int_0^{\infty} \sigma_{abs}(\omega') \frac{|E(\omega', \tau)|^2}{\hbar\omega'} d\omega', \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света,  $\omega'$  – текущая частота,  $\sigma_{abc}(\omega')$  – сечение фотопоглощения,  $E(\omega', \tau)$  – фурье-образ УКИ. В рамках применимости теории возмущений вероятность фотопроцесса  $W_{abc}(\tau)$  предполагается меньше единицы.

В качестве примера мы рассмотрим одну из наиболее интересных для плазмонных применений наночастиц –  $\text{In}_2\text{O}_3$ , легированную оловом Sn – так называемую ИТО (indium-tin oxide [3]). Частота плазмонного резонанса этих наночастиц находится в ближнем ИК-диапазоне и, таким образом, они являются хорошей альтернативой для металлических наночастиц.

Расчет сечения фотопоглощения  $\sigma_{abc}(\omega')$  на ИТО выполнен в рамках теории Ми:

$$\sigma_{abs}(\omega) = \pi r^2 (Q_{ext}(\omega) - Q_{sc}(\omega)), \quad (2)$$

где  $r$  – радиус наночастицы,  $Q_{ext}(\omega)$  – эффективность экстинкции,  $Q_{sc}(\omega)$  – эффективность рассеяния.

Выражения для  $Q_{ext}(\omega)$  и  $Q_{sc}(\omega)$  приведены в классических работах [4–5] и здесь не приводятся. Мы же отметим, что диэлектрическая проницаемость окружающей наночастицу среды, которая требуется при вычислении данных величин, описывалась моделью Друде, которая достаточно хорошо работает для полупроводниковых наночастиц ИТО. Параметры Друде были подобраны нами на основании экспериментальных данных [3]. Теория Ми также учитывает свойства среды, в которой находится наночастица, для этого используется ее показатель преломления  $n$ .

В качестве УКИ использовался скорректированный гауссовский импульс, фурье-образ которого имеет вид

$$E_{cor}(\omega', \omega_c, \tau, \phi) = i E_0 \tau \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\omega'^2 \tau^2}{1 + \omega_c^2 \tau^2} \left\{ e^{-i\phi - (\omega_c - \omega')^2 \tau^2 / 2} - e^{i\phi - (\omega_c + \omega')^2 \tau^2 / 2} \right\}, \quad (3)$$

где  $E_0$  – амплитуда напряженности электрического поля в импульсе,  $\omega_c$  – несущая частота импульса,  $\tau$  – длительность УКИ,  $\phi$  – фаза несущей частоты по отношению к огибающей импульса.

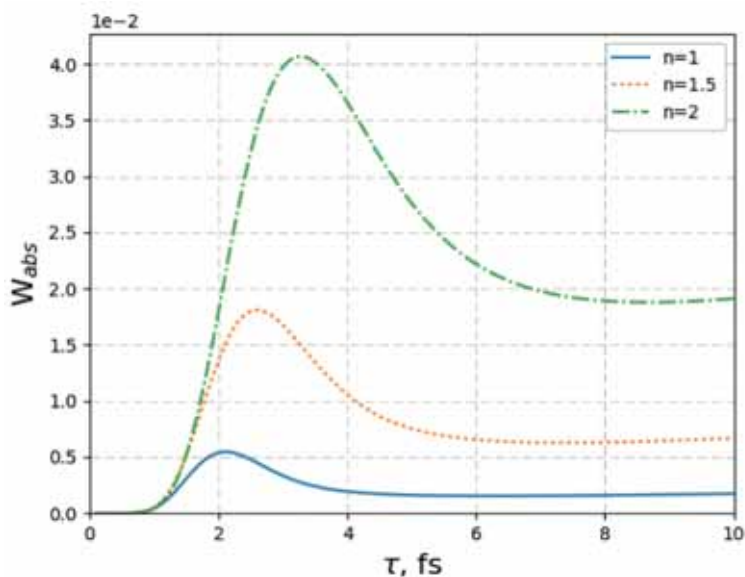


Введем параметр частотной отстройки  $\xi$ :

$$\xi = \frac{\omega_c - \omega_{\max}}{\omega_{\max}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $\omega_{\max}$  – частота максимума спектра поглощения наночастицы ИТО. Например, для 10%-ного легирования  $\omega_{\max} = 0.77$  эВ.

Подставляя (2) и (3) в (1), а также выражая  $\omega_c$  через  $\xi$ , была рассчитана искомая величина  $W_{abc}(\tau)$ . Анализируя полученные зависимости, было установлено, что при достаточно больших отрицательных частотных отстройках  $\xi$  зависимости  $W_{abc}(\tau)$  имеют максимум (рис. 1).



**Рис. 1.** Вероятность фотопоглощения УКИ наночастицами ИТО (10% Sn),  $\xi = -70\%$  при различных значениях показателя преломления  $n$ ,  $r = 6$  нм

Из рис. 1 следует, что рост показателя преломления окружающей среды  $n$  приводит к сдвигу максимума  $W_{abc}(\tau)$  в область более длинных  $\tau$ . Фиксируя величину сдвига максимума относительно некоторого начального максимума (например, полученного при  $n = 1$ ) можно измерять сдвиги, обусловленные изменением  $n$ . Таким образом, появляется возможность измерения показателя преломления окружающей среды  $n$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор RFMEFI57816X0199).

### Литература

1. *Joseph M. Luther, Prashant K. Jain et. al.* // Localized surface plasmon resonances arising from free carriers in doped quantum dots. // *Nature Materials*. 2011, V10.
2. *Astapenko, V.A.* // Simple formula for photoprocesses in ultrashort electromagnetic field. // *Physics Letters A*. 2010, 374.
3. *Masayuki Kanehara, Hayato Koike, Taizo Yoshinaga and Toshiharu Teranishi* // Indium Tin Oxide Nanoparticles with Compositionally Tunable Surface Plasmon Resonance Frequencies in the Near-IR Region. // *J. Am. Chem. Soc.* 2009, 131, 17736–17737.
4. *Mie, Gustav* // Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Annalen der Physik*. 330 (3): 377–445, 1908.
5. *van de Hulst, H. C.* Light scattering by small particles. New York: John Wiley and Sons, 1957.

*Астапенко В.А., д.ф.-м.н., профессор,  
Храмов Е.С., Сахно Е.В., МФТИ,  
г. Долгопрудный*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПУТЁМ ОЦЕНКИ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ**

Работа посвящена описанию метода определения размера сферических частиц по угловой зависимости сечения рассеяния. В основе метода лежат

вычисления в рамках теории Ми. Согласно этой теории сечение рассеяния можно вычислить по формуле [1]:

$$\sigma_{sc}(\omega, \theta) = \frac{4\pi c^2}{\epsilon_m \omega^2} \left[ |S_1(\omega, \theta)|^2 \sin^2 \phi + |S_2(\omega, \theta)|^2 \cos^2 \phi \right] \quad (1)$$

Здесь  $\omega$  – частота падающего излучения,  $\theta$  – полярный угол,  $\phi$  – азимутальный угол,  $\epsilon_m$  – диэлектрическая проницаемость среды, в которой находится частица,  $c$  – скорость света в вакууме,  $S_{1,2}$  – амплитуды рассеяния [2].

На рис. 1 проиллюстрирована схема рассеяния излучения на сферической частице. Рассматривается ситуация, когда азимутальный угол равняется нулю. На рис. 2 показано как изменяется величина сечения рассеяния на частицах серебра под разными полярными углами при изменении радиусов частиц. Таким образом, обладая априорной информацией о значении сечения рассеяния частиц из разных материалов под разными углами, можно проводить их селекцию. Данная методика может найти применение во многих научно-технических областях: от конструирования оптических сенсоров [3] до приложений в медицине [4].

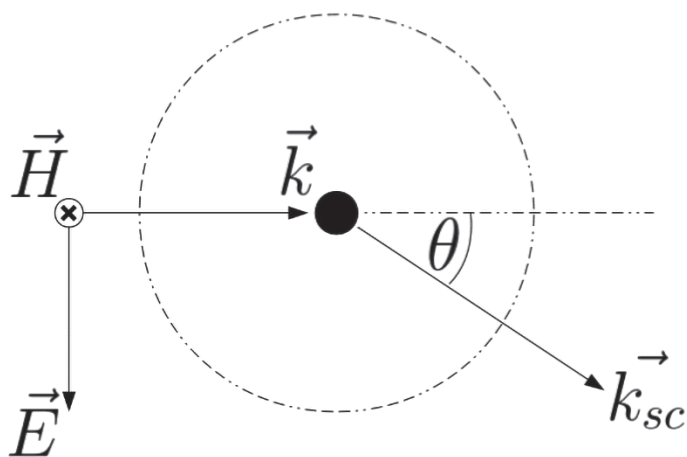
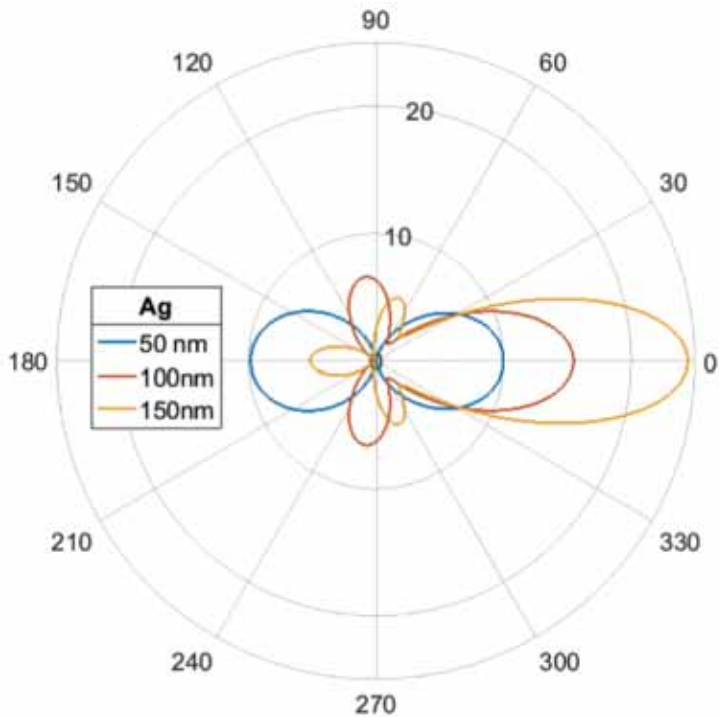


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитного излучения на сферической частице



**Рис. 2.** Угловое распределение сечения рассеяния электромагнитного излучения на сферических наночастицах серебра различных радиусов. Вокруг рисунка указаны значения полярного угла в градусах, величина сечения измеряется в относительных единицах:

$$\omega = 3ЭВ, \epsilon_m = 1$$

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор RFMEFI57816X0199).

### Литература

1. Астапенко В.А., Свита С.Ю., ЖЭТФ, 2015, вып. 3(9), т. 90, 444-452.
2. *Hulst H. C. van de*, Light scattering by small particles, New York, Dover Publications, 1981, 470 p.

3. *Homola J.*, Surface plasmon resonance based sensors, Berlin Heidelberg New York, Springer Science & Business Media, 2006, Vol. 4, 251 p.

4. *E. Boulais, R. Lachaine, A. Hatef, M. Meunier*, J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev., 2013, 17, 26-49.

*Головинский П. А., д.ф.-м.н., ВГТУ, г. Воронеж*  
*Астапенко В. А., д.ф.-м.н., Сахно С. В., к.ф.-м.н.,*  
*МФТИ, г. Долгопрудный*

### **ДИФРАКЦИЯ ПРЕДЕЛЬНО КОРОТКОГО ИМПУЛЬСА НА ЦИЛИНДРЕ**

В работе решена задача рассеяния ультракороткого электромагнитного импульса плоской волны на идеально проводящем цилиндре и оценки его диаметра по деформации волны при отражении. Подход к теоретическому описанию дифракции ультракороткого импульса основан на определении распространения его отдельных спектральных компонент. Для определения диаметра цилиндра по отраженному импульсу целесообразно подбирать широкополосный импульс с полосой длин волн  $\Delta\lambda \sim a$  в области выраженных резонансов амплитуды рассеяния. Короткий импульс удобно представить в виде интеграла Фурье:

$$E(\rho, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_{\omega} e^{i\omega u/c} d\omega, \quad u = \rho - ct, \quad (1)$$

отдельные компоненты которого рассчитываются с помощью ряда Рэлея в виде разложения по функциям Бесселя [1].

Электрическое поле рассеянного импульса:

$$E(\rho, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_{\omega} e^{i\omega u/c} d\omega, \quad u = \rho - ct, \quad (2)$$

$$E_{\omega} = -\sqrt{\frac{c}{2\pi\rho}} e^{-i\frac{\pi}{4}} \frac{F(\omega a / c, \phi)}{\pi\sqrt{\omega}} f_{\omega}, \quad (3)$$

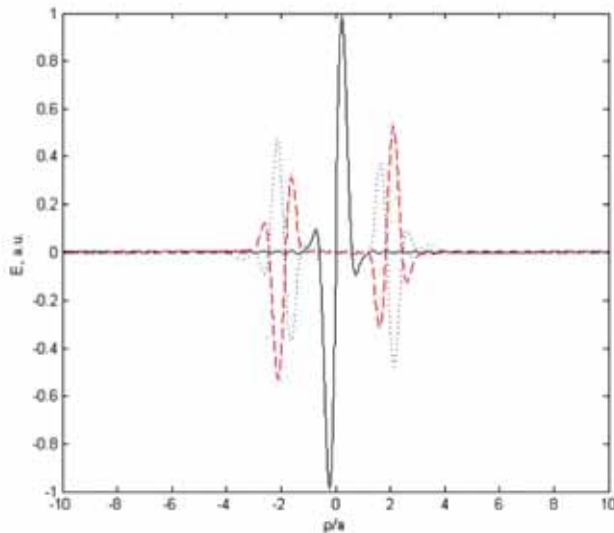
$$F(ka, \phi) = \mp \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^n \Omega J_n(ka)}{\Omega H_n^{(1)}(ka)} e^{in\phi}. \quad (4)$$

Для компактного представления решения введен оператор:

$$\Omega = \begin{cases} 1, & \text{для } E \text{ – поляризации} \\ d \\ d(k\rho), & \text{для } H \text{ – поляризации} \end{cases}. \quad (5)$$

Знак « $-$ » перед амплитудой соответствует поляризации  $E_{\perp}$ , знак « $+$ » соответствует поляризации  $E_{\parallel}$ . С учетом выявленных характерных ультракоротких импульсов в радио и оптическом диапазоне, удобной формой их представления являются всплески Габора:

$$f(t) = f_0 \exp(-t^2 / T^2) \sin(\omega_0 t). \quad (6)$$



**Рис. 1.** Отраженные импульсы как функции расстояния: сплошная линия – исходный импульс, пунктир –  $E_{\perp}(t)$ , точки –  $E_{\perp}(t)$  с инвертированной фазой

На рис. 1 показаны пространственные зависимости для падающего и рассеянного импульса. Смещение положения пика отраженной волны по сравнению с падающим импульсом любой поляризации соответствует диаметру цилиндра. Представление результатов в виде зависимости от безразмерного параметра  $p/a$  позволяет масштабировать данный способ дистанционного измерения диаметра цилиндра для выбранного спектрального диапазона.

Для реальных проводников с дисперсионной зависимостью комплексной диэлектрической проницаемости задачи дифракции не обладают универсальной масштабируемостью, и их решение требует соответствующего учета граничных условий при построении ряда Рэлея. Это позволяет применить данную теорию к другим практически важным случаям, включая дистанционное зондирование труб большого диаметра в условиях Арктики на поверхности Земли и (с помощью акустических импульсов) в воде шельфа. Автоматическое определение диаметра цилиндра по форме рассеянного импульса осуществимо с помощью аппарата искусственных нейронных сетей [2]. В этом случае рассчитанные отраженные импульсы служат входными данными для обучения нейронной сети, в то время как выходным параметром является диаметр цилиндра. Метод расчета отраженных импульсов на основе аналитических решений для спектральных компонент допускает расширение на другие объекты, включая металлические и диэлектрические сплошные сферы, сферические и цилиндрические оболочки, а также сферические и параболические сегменты.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и образования РФ (задание № 3.9890.2017/8.9).

### Литература

1. Osipov A.V., Tretyakov S.A. Modern electromagnetic scattering theory with applications. John Wiley & Sons, Chichester, 2017.
2. Головинский П.А., Кутишев С.Н. Определение параметров тел простой формы по рассеянию ультракоротких импульсов. Изв. Вузов. Радиофизика. LI, 526-535, 2008.

*Данилин С.Н., к.т.н., доцент, Щаников С.А., к.т.н.,  
Пантелеев С.В., к.т.н., Сакулин А.Е., ВлГУ, г. Владимир*

## **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПУСКОВ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ МЕМРИСТОРОВ**

Целью проводимых исследований является *разработка методов и алгоритмов инженерного проектирования сверхвысокопроизводительных технических средств с нейросетевой архитектурой или работающих в нейросетевом логическом базисе на основе мемристоров (искусственных нейронных сетей – ИНСМ) с заданной точностью функционирования* [1, 2].

Для достижения цели исследований решен ряд задач:

- синтезированы математические модели современного мемристора, мемристорного нейрона, искусственной нейронной сети на базе мемристоров ИНСМ; исследованы их свойства и характеристики [3, 4];
- разработаны методы определения точности работы, анализа и синтеза функциональных допусков ИНСМ в нормальных условиях и при воздействии дестабилизирующих факторов [3–5];
- предложены методы оптимизации точности работы и функциональных допусков ИНСМ по имеющимся ограничениям [6];

Разработаны общий подход, методы и алгоритмы измерения параметров и характеристик наномемристоров, а также произвольных технических средств на их основе [5–8].

Разработаны общие подходы, методы, алгоритмы и ПО-определения точности (качества) работы, анализа и синтеза функциональных допусков ИНСМ тестового и промышленного назначения в нормальных условиях и при воздействии дестабилизирующих факторов [9].

Разработаны общие подходы, методы, алгоритмы и ПО-оптимизации показателей точности (качества) работы и функциональных допусков (ведение до заданного уровня или получение максимально возможного



значения) при ограничениях на параметры входной информации и ресурсы технических средств реализации ИНСМ [10].

По сравнению с известными до настоящего времени в России и за рубежом методами оптимизации точности (качества) работы и функциональных допусков ИНСМ, разрабатываемые - имеют следующие преимущества и особенности:

- позволяют оптимизировать показатели точности (качества) работы и функциональных допусков ИНСМ произвольного назначения и сложности, нормируемые российскими и международными стандартами в нормальных условиях и при воздействии дестабилизирующих факторов;
- адаптируемы к структуре, сложности и назначению ИНСМ как единых физическо-информационных объектов, реализованных аппаратно-программными обучаемыми средствами;
- успешно реализуются в пакетах сертифицированных программ.

Проведено проектирование, исследования и оптимизация двухслойной ИНСМ прямого распространения, обученной на обнаружение сквиттера сигнала системы АЗН-В на фоне шумов и помех. В процессе исследования разработана общая математическая модель системы, общий моделирующий алгоритм, проведено имитационное моделирование, определены и оптимизированы допуски на параметры нейронов синтезированной ИНСМ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-07-08330.

### Литература

1. Галушкин А.И. Новые технологии микроэлектроники и разработки перспективных нейрокомпьютеров // Информационные технологии. 2016. №7. Т.22. С. 550-555.
2. Данилин С.Н., Щаников С.А. Проблемы проектирования искусственных нейронных сетей на базе мемристоров с заданной точностью функционирования // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2016. №4.С. 3-11.

3. Данилин С.Н., Щаников С.А. Исследование точности функционирования нейросетевых компонентов РТС на основе мемристоров // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. №1. С. 39-48.

4. Данилин С.Н., Щаников С.А. Перспективная элементная база специализированных ЭВМ современных РЛС на основе мемристоров // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. №3 С. 13-19.

5. Галушкин А.И., Данилин С.Н., Щаников С.А. Нейросетевой контроль точности функционирования технических средств на основе мемристоров // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2016. №2. С. 44-51

6. Данилин С.Н., Щаников С.А., Сакулин А.Е. Определение оптимальных функциональных допусков технических средств на базе мемристоров // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. IX Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 17 февр. 2017г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2017. – 460 с.: ил. – [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 248-250.

7. Galushkin A.I., Danilin S.N., Shchanikov S.A. The research of memristor-based neural network components operation accuracy in control and communication systems // Source of the Document 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings. 2015. PP. 1-6. (DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147034)

8. Данилин С.Н., Щаников С.А. Алгоритм выбора параметров искусственной нейронной сети с учетом внутренних и внешних дестабилизирующих воздействий // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 3(32). С. 18-24.

9. Данилин С.Н., Пантелеев С.В., Щаников С.А. Исследование точности функционирования искусственных нейронных сетей на базе мемристоров при дестабилизирующих воздействиях // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2017. №19. С. 42-49.

10. Danilin S.N, Shchanikov S.A., Pantelev S.V. Determining Operation Tolerances of Memristor-Based Artificial Neural Networks // Engineering and Telecommunication (EnT), 2016 International Conference on. 2016. PP. 34-38. (DOI:10.1109/EnT.2016.016)

*Жиглатый А.А., ИКТИБ ЮФУ, г. Таганрог*

### **ОБ УСТОЙЧИВОСТИ И СХОДИМОСТИ ЗАДАЧИ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЕЩЕСТВЕННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Рассмотрим процесс обучения нейронной сети, предназначенной для решения поставленной прикладной задачи, как ход решения задачи обучения этой нейронной сети. Результатом обучения нейронной сети, т.е. решением задачи её обучения, является совокупность наборов синаптических весов на входах нейронов, образующих нейронную сеть, построенную для решения поставленной прикладной задачи. Процесс решения задачи обучения является итерационным. Следовательно, возникает вопрос о сходимости задачи обучения, её устойчивости и критериях остановки процесса обучения.

Теорема Новикова (о сходимости) и теорема о двуслойности персептрона, которые в совокупности гарантируют сходимость решения задачи обучения нейронной сети в случае, если это решение существует, справедливы для бинарных нейронных сетей. Для компьютерных моделей вещественных нейронных сетей по понятным причинам в общем случае невозможно достижение такого состояния обученности нейронной сети, при котором решение прикладной задачи этой сетью будет точным. Поэтому под сходимостью решения задачи обучения для вещественных нейронных сетей следует понимать стремление к нулю величины невязки между совокупностью всех эталонных решений прикладной задачи и совокупностью выходных значений, формируемых нейронной сетью для всей обучающей выборки на очередной итерации процесса обучения, при количестве итераций обучения, стремящемся к бесконечности. В реаль-

ных условиях процесс обучения бесконечным быть не может. Поэтому при решении конкретной прикладной задачи выбирается пороговое значение невязки, факт достижения которого свидетельствует о нахождении решения задачи обучения с допустимой погрешностью решения прикладной задачи. Пороговое значение величины невязки является одним из параметров, задаваемых при проектировании нейронной сети. Вторым критерием остановки процесса обучения, также являющимся параметром проектируемой нейронной сети, служит предельное число итераций процесса обучения. Он необходим для остановки процесса обучения в случае отсутствия решения задачи обучения для заданного порогового значения невязки.

Таким образом, обобщенная формулировка теоремы о сходимости вещественных нейронных сетей имеет следующий вид: если решение задачи обучения нейронной сети при заданном пороге точности решения прикладной задачи для заданной обучающей выборки существует, то оно будет найдено за конечное число шагов процесса обучения [1].

Для вещественных нейронных сетей нет аналога теоремы о зацикливании, т.к. колебание значения невязки в некотором коридоре выше порогового значения еще не свидетельствует о зацикливании значений весовых коэффициентов. Для вещественных нейронных сетей в случае существования решения задачи обучения сходимость является неравномерной [1]. К тому же возможна ситуация, когда значения весовых коэффициентов в результате коррекции примут большие значения. Это может привести к тому, что все или большинство нейронов будут функционировать при очень больших выходных значениях в области, в которой производная сжимающей функции очень мала. Так как корректирующее воздействие пропорционально этой производной, то процесс сходимости может стать слишком медленным. Поэтому второй критерий остановки процесса обучения играет важную роль. Однако выход из процесса обучения по этому критерию свидетельствует о том, что приемлемое решение задачи обучения за установленное количество итераций обучения достигнуто не было.

В итоге сходимость связана с устойчивостью решения задачи обучения, которая в свою очередь обусловлена используемым алгоритмом обучения нейронной сети. То есть для вектора, подаваемого на вход нейронной сети, и описывающего сущность, свойства которой имеют малые отклонения от свойств некоторой сущности из обучающей выборки, обученная нейронная сеть должна давать решение прикладной задачи, имеющее малое отклонение от определенного для этого же элемента из обучающей выборки эталонного решения.

### Литература

1. А.А. Жиглатый Повышение эффективности обучения искусственных нейронных сетей [Текст] / А.А. Жиглатый, В.М. Курейчик, Е.С. Огурцов, Л.В. Шаронина // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'17». Научное издание в 3-х томах – Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2017. – Т. 2. – 361 с. С.207-2013.

*Исупов К.С., к.т.н., Князьков В.С., д.т.н., профессор,  
Куваев А.С., ВятГУ, г. Киров*

## **БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ МАСШТАБИРОВАНИЯ СТЕПЕНЬЮ ДВОЙКИ ДЛЯ СИСТЕМ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ С БОЛЬШИМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ДИАПАЗОНАМИ**

Система остаточных классов (СОК) является альтернативой позиционным системам счисления. Главное преимущество СОК заключается в том, что для таких операций, как сложение, вычитание и умножение многозначный динамический диапазон разбивается на поддиапазоны меньшей длины посредством разделения потока вычислений на параллельные каналы, в каждом из которых операции выполняются быстро. Это достигается за счет представления числа в виде набора остатков от деления по задан-

ным взаимно простым модулям  $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ . Количество модулей может быть произвольным, а их произведение задает динамический диапазон СОК. Благодаря эффективной параллельной обработке, СОК в настоящее время находит широкое применение во многих высокопроизводительных приложениях, таких как криптография, цифровая обработка сигналов и изображений, высокоточная арифметика.

Однако некоторые базовые операции в СОК выполняются сложнее, чем в позиционных системах счисления. Одной из таких операций является масштабирование, т.е. деление на фиксированную константу:

$$Y = \left\lfloor \frac{X}{K} \right\rfloor.$$

При работе на двоичных компьютерах в качестве коэффициента масштабирования обычно используется степень двойки,  $K=2^d$ . В двоичной системе счисления масштабирование степенью двойки реализуется простым сдвигом вправо с отбрасыванием младших бит. Однако в СОК нет эквивалентной операции, и для масштабирования используется общий подход:

$$Y = (X - |X|_K) \times |K^{-1}|_M,$$

где  $M$  – произведение всех  $m_i$ ,  $|K^{-1}|_M$  – мультипликативная инверсия  $K$  по модулю  $M$ , которая существует, если  $K$  и  $M$  взаимно-простые. Основной проблемой является эффективное вычисление  $|X|_K$ .

В докладе мы рассмотрим новый алгоритм масштабирования в СОК степенью двойки, нацеленный на произвольные нечетные наборы модулей с большими динамическими диапазонами. В этом алгоритме для вычисления  $|X|_K$  используется интервальная арифметика. Алгоритм позволяет выбирать в качестве коэффициента масштабирования любое  $K=2^d$  в диапазоне от 2 до  $M$ . Не требуются большие затраты памяти, а все вычисления выполняются с использованием только стандартных (машинной точности)

операций с плавающей точкой и целочисленных операций по модулям  $m_i$ . В алгоритме задается пороговая величина  $T$  – такое целое число, что на данной вычислительной архитектуре операции по модулю  $2^T$  выполняются эффективно. Масштабирование коэффициентом  $2^D$  выполняется за  $\lceil D/T \rceil$  итераций. Средняя сложность каждой итерации для  $n$ -модульной СОК пропорциональна  $n$  и  $\log n$ , при последовательных и параллельных вычислениях соответственно.

Новый алгоритм реализован для центральных процессоров (CPU) и CUDA-совместимых графических ускорителей (GPU). В параллельной CUDA-реализации не используется динамический параллелизм, являющийся затратным в данном контексте. Вместо этого индекс потока передается в качестве аргумента в вызываемую подпрограмму, а взаимодействие между потоками выполняется через разделяемую память.

Разработанный алгоритм сравнивался на наборах модулей различной величины (от 55 до 512 бит) с двумя известными аналогами:

- 1) классический многоразрядный алгоритм, основанный на преобразовании из СОК в двоичную систему счисления, масштабировании в двоичной арифметике и преобразовании результата обратно в СОК (MP-алгоритм);
- 2) алгоритм итерационного деления на двойку с контролем четности числа, подлежащего масштабированию, на каждом шаге (PC-алгоритм).

Эксперименты показали, что новый алгоритм значительно быстрее аналогов. Так, при  $n=64$  и относительно небольших коэффициентах масштабирования ( $2^1 \dots 2^{32}$ ) CPU-реализация нового алгоритма быстрее в 5 и 8 раз по сравнению с MP-алгоритмом и PC-алгоритмом соответственно. Параллельная CUDA-реализация нового алгоритма быстрее в 8 раз, чем параллельная реализация PC-алгоритма. Ускорение параллельной CUDA-версии алгоритма по сравнению с его последовательной CUDA-версией составляет 16 раз.

Новый алгоритм используется для эффективного округления и выравнивания порядков в разрабатываемой авторами библиотеке высокоточной

параллельной арифметики с плавающей точкой на основе СОК для гибридных CPU/GPU вычислительных систем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-60003 мол\_а\_дк.

*Казиахмедов Э.А., Куреев К.С., Семенцов-Огиевский В.,  
Лунёв Д.В., Virtuozzo, г. Москва*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСКОВОГО ФОРМАТА ДЛЯ VIRTUOZZO HYPERVISOR В QEMU**

**QEMU (Quick Emulator)** – свободная программа с открытым исходным кодом для эмуляции аппаратного обеспечения, такого как, дисплеи, сетевые карты, жесткие диски, для различных платформ[1]. На сегодняшний день хранилища данных являются узким местом для любой компьютерной системы, включая QEMU. В нём реализовано несколько видов виртуальных дисков, в том числе наиболее известные qcow2 и raw, а также другие популярные форматы такие как, vmdk (VMware 3,4 or 6), vdi (Virtual Box), vhdx и vpc (Hyper-V)[2]. Также имеется начальная поддержка драйвера Parallels, не охватывающая все предусмотренные возможности.

Главная цель работы – реализовать недостающую функциональность, а именно, поддержку XML дескрипторов и снапшотов в существующую инфраструктуру QEMU. В процессе работы обнаружилось, что не существует форматов, которые размещены на нескольких файлах, а следовательно и механизмов для них. Так как реализуемый формат содержит помимо основного образа, ещё снапшоты и XML файлы, хранящие информацию о связях между ними, было необходимо найти решение этой проблемы. Для этого был использован формат фильтр-драйвера.

Также интересно отметить, что некоторые имеющиеся форматы, такие как qcow2, уже поддерживают снапшоты, но они хранятся внутри образа, что отличает их от реализуемого формата. Для хранения снапшотов в виде отдельных файлов был применен механизм backing chain.



*Kaziakhmedov E.A., Kireev K.S., Sementsov-Ogievskiy V.,  
Lunev D.V. Virtuozzo, Moscow*

## **IMPLEMENTING VIRTUOZZO HYPERVISOR DISK FORMAT IN QEMU**

**QEMU** (short for **Q**uick **E**mulator) is well-known free and open-source virtual machine monitor which provides emulation for a number of devices such as monitors, net cards and hard disk drives[1]. Nowadays data storage is a bottleneck for most computer systems and QEMU is not an exception. There are several types of virtual storage which QEMU already supports including well-known qcow2 and raw. To increase the popularity of this open-source solution it was extended with support of other VM disk drivers: vmdk (VMware 3,4 or 6), vdi (Virtual Box), vhdx and vpc (Hyper-V)[2]. There was also implemented base functionality for the Parallels Format Driver which, however, does not cover all original features.

The main aim of this work is to introduce remaining capabilities, in particular, XML descriptor and snapshots to existing QEMU block layer. One of the problem that have emerged is the absence of storage format deployed on several file images and, hence, interfaces for them. It is essential for features being introduced, because original Parallels Format Driver consists of set of images and snapshots as well as XML files, which store data about them and their links. To overcome this obstacle filter format driver model is selected to be used.

Another interesting point is snapshots which already persist in QEMU but only for limited number of drivers such as qcow2. All format driver snapshots implementations were developed as internal, which means that snapshots are stored in the same file with base image. In opposite, the format being introduced assumes snapshots to be separate files. To tackle the problem existing backing chain mechanism is applied.

### **References**

1. [https://wiki.qemu.org/Main\\_Page](https://wiki.qemu.org/Main_Page)
2. <https://en.wikibooks.org/wiki/QEMU/Images>

*Кожевников Н.А., ЦИОТ МФТИ,  
Кондратьев В.В., д.т.н., Хачатуров Л.А., МФТИ, г. Долгопрудный*

## **РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ АРХИТЕКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМНОМ ИНЖИНИРИНГЕ И МЕНЕДЖМЕНТЕ 2.0**

При создании высокотехнологичных продуктов сегодня активно применяются стандарты и методологии системного инжиниринга: ISO 15288, Geram, NASA и многие другие. Надо признать, что эти стандарты и методологии во многом не гармонизированы друг с другом. Актуальной является задача построения компактной формализованной «зонтичной» методологии, позволяющей путем локализации единого ядра референтных принципов и моделей единообразно представить и применять архитектурные модели различных методологий системного инжиниринга. Для её решения авторами было предложен подход «Архитектурный конфигурактор», показана актуальность разработки и применения облачных сервисов компьютерного моделирования. В данной работе представлены решения по разработке таких сервисов.

Пусть  $A$  обозначает некоторую сущность искусственно созданной системы. К применению в облачных сервисах «Архитектурного конфигурактора» предложены следующие модели.

- Модели ABS, A Breakdown Structure. Это иерархические таксономии сущностей  $A$  построенные по принципу «сущность  $A$  состоит из сущностей  $a_1, a_2, \dots$  с заданными атрибутами».
- Модели матриц соответствия DSM ( $A, B$ ), Design Structure Matrix сущностей  $A=\{a_i\}$  и  $B=\{b_j\}$ . Это матрицы, задаваемые всеми соответствиями  $a_i \times b_j$  с заданными атрибутами. Атрибуты определяют возможные типы соответствий – равнозначные, направленные, с иерархическим доминированием и т.п. Позволяют моделировать связи, сети и иерархии сущностей.

- Композитные архитектурные модели задаются наборами сущностей, их иерархических таксономий, матриц соответствия таксономий. Из них рекурсивно формируются метамодели – цепочки матричных проекций иерархических классификаторов (рис. 1). Выбор конкретной конфигурации метамодели определяется предметной областью, применяемой методологией, требованиями и предпочтениями системного архитектора.

В соответствии с известными правилами системного инжиниринга [3] была сформирована миссия, требования, функции, модульные компоненты (рис. 1), концепция «Архитектурного конфигуратора». На этой основе началась поэтапная разработка облачного сервиса «Архитектурный конфигуратор».

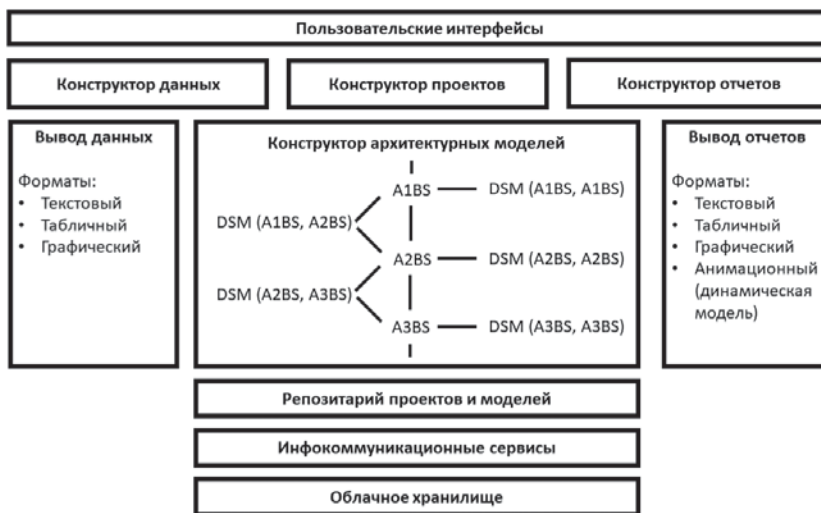


Рис. 1. Компоненты облачного сервиса «Архитектурный конфигуратор»(второй уровень модели Product Breakdown Structure)

### Выводы

- Разработан подход к архитектурному моделированию решений методологии 2.0 [1–5], показаны области применения возможных облачных сервисов:

- Архитектурное моделирование на цифровых платформах онлайн обучения.
- Прикладное архитектурное моделирование продуктов, бизнес-процессов и систем менеджмента высокотехнологичных предприятий.
- Создание отраслевых платформ мультиплицирования референтных отраслевых решений.
  - Разработаны концепт и прототипы «Архитектурного конфигуратора».
  - Созданы предпосылки подготовки задания на аванпроектирование.
  - Предполагается активное продолжение разработок.

### **Литература**

1. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология.- М: Синтег, 2007.
2. Новиков Д.А. Кибернетика.- М.: ЛЕНАНД, 2016.
3. Романов А.А. Прикладной системный инжиниринг.- М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2015.
4. Кондратьев В.В. Управление архитектурой предприятия (Конструктор регулярного менеджмента). Изд. 2-е дораб. и дополн.- М.: Инфра-М, 2015.
5. Лендинг «Системы инжиниринга, менеджмента и управления, ver.2.0» /www.artofsystems.ru.

*Колыбельников А.И., МФТИ, г. Долгопрудный*

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧА В ГРУППЕ АБОНЕНТОВ**

### **Введение**

Секретность личной переписки – это одно из самых важных прав человека, но использование мессенджеров для противоправных действий провоцирует правительства разных стран на ограничение этого типа свободы. В результате, пользователям смартфонов крайне редко доступны мессенджеры с системой безопасности, которая бы защищала данные личной переписки от сотового оператора или оператора сервера приложения.

Одной из самых сложных задач при построении мессенджера является задача распределения ключей для шифрования группового чата. В данной статье рассмотрены различные подходы к решению данной задачи и изложен подход который был использован для создания одного из мессенджеров.

### **Постановка задачи**

Пусть есть абонент  $A_x$  которому необходимо безопасным образом общаться в общем чате с абонентами множества  $A_{1-n} = \{A_1 A_2 \dots A_{x-1}, A_{x+1} \dots A_n\}$ , при этом состав множества  $A_{1-n}$  может меняться; участники множества по собственной инициативе могут его покидать и по инициативе уже включенных в состав множества абонентов могут присоединяться к нему. Сообщения каждого абонента должны получать все остальные абоненты из множества  $A_{1-n}$ , часть абонентов могут переходить в подмножество  $A_{\sim 1-n}$ : не иметь постоянной связи и получать зашифрованные сообщения чата после выхода на связь.

Каждый из абонентов может иметь неограниченное количество чатов. Чаты должны шифроваться разными ключами.

Исходя из этих предпосылок становится ясно, что должна применяться однопроходная система распространения общего ключа. Так как только в этом случае абонент-инициатор чата может самостоятельно сформировать из своих контактов множество абонентов чата и вместе с приглашением к общению прислать зашифрованный ключ. Схемы выработки общего секрета в данном случае не применимы, так как они требуют одновременного подключения всех пользователей на этапе выработки общего секрета.

### **Обзор систем распространения ключей**

#### **Распространение ключей при помощи асимметричных криптоалгоритмов**

Протоколы подобного класса подразумевают распределение ключей при помощи шифрования открытыми ключами пользователей крипто-систем RSA, El-Gamal, существенным недостатком применения этих

криптосистем является необходимость применения параметров размером 2048–4096 бит.

### **Распространение через доверенный сервер**

Распределение ключей через доверенный сервер – это отдельный класс систем распределения ключей, основой которого является доверие всех пользователей единому центру. В случае мессенджера этим центром будет сервер, которым владеет разработчик, что может быть неприемлемым для пользователей.

### **Протоколы на базе алгоритма Diffie-Hellman**

В ряде мессенджеров применяются протоколы выработки общего ключа, построенные на базе алгоритма Diffie-Hellman – A-DH, GDH.2 и A-GDH.2. Эти протоколы позволяют выработать общий секрет надежным способом при условии, что в протоколе реализована аутентификация всех сообщений между пользователями. Кроме того, эти протоколы итеративные; для иллюстрации этого ниже приведено описание протокола A-DH.

Протокол A-DH. Пусть  $p, q, G$  – величины, определенные выше, и пусть  $\alpha$  – образующий элемент  $G$ .

Предварительный этап. Пусть  $x_1$  и  $x_2$  – два целых числа, т.ч.  $1 \leq x_1, x_2 \leq q-1$ .

Пусть  $M_1$  и  $M_2$  – два участника, которые хотят выработать общий ключ, и пусть  $(x_1, \alpha^{x_1} \bmod p)$  и  $(x_2, \alpha^{x_2} \bmod p)$  – секретные и открытые ключи  $M_1$  и  $M_2$  соответственно. Открытые величины системы:  $(p, q, \alpha, \alpha^{x_1}, \alpha^{x_2})$ .

#### **Этап 1:**

$M_1$  выбирает случайное  $r_1$ ,

$$M_1 \rightarrow M_2 : \alpha^{r_1} \bmod p.$$

#### **Этап 2:**

$M_2$  выбирает случайное  $r_2$  и вычисляет  $K = F(\alpha^{x_1 x_2} \bmod p)$ ,

$$M_2 \rightarrow M_1 : \alpha^{r_2 K} \bmod p.$$

Когда  $M_1$  получает  $J = \alpha^{r_2 K} \bmod p$ , он вычисляет  $K^{-1} \bmod q$  и затем  $J^{r_1 K} \bmod p$ .

Получаемый в результате ключ будет  $S_2 = \alpha^{r_2 r_1} \bmod p$ . Функция  $F(x)$  может быть

$$F(x) = x \bmod q.$$

Основным недостатком данных алгоритмов является то, что они многоэтапные, что может быть недопустимым в некоторых случаях.

### Протокол CLIQUES

Протокол CLIQUES создан для распределения общего секрета среди участников группы в чате.

Операция добавляет нового участника  $M_{n+1}$  к группе из  $n$  участников. Во время операции вычисляется новый групповой ключ  $S_{n+1}$ , и  $M_{n+1}$  становится новым контролирующим группы. Предполагая, что  $M_n$  является текущим контролирующим группы, протокол выглядит следующим образом:

1.  $M_n$  вырабатывает новое значение  $r_n$  и получает множество чисел

$$M = \{g^{r_1 \dots r_n / r_i} \mid i \in [1, n-1]\} \cup \{g^{r_1 \dots r_{n-1}}\} \cup \{g^{r_1 \dots r_n}\}$$

Затем  $M$  посылается  $M_{n+1}$ .

2. После получения сообщения  $M_{n+1}$  вырабатывает число  $r_{n+1}$  и вычисляет значение  $g^{K_{i,n+1} r_1 \dots r_n r_{n+1} / r_i}$  для всех  $i$  из  $[1, n]$ . Затем это множество рассылается всей группе.

3. При получении каждый  $M_i$  вычисляет групповой ключ как

$$(g^{K_{i,n+1} r_1 \dots r_n r_{n+1} / r_i})^{K^{-1} i, n+1 r_i} = g^{r_1 \dots r_n r_{n+1}} = S_{n+1}. \text{ А } M_{n+1}$$

вычисляет ключ, используя сообщение из шага (1).

Шаги (1) и (2) требуют  $n$  экспоненцирований, шаг (3) требует одно экспоненцирование для каждого участника группы. Общее число экспоненцирований для получения ключа равно  $2n+1$  (считается, что на третьем шаге экспоненцирования происходят одновременно и по времени равны одному).

Для успешной работы протокола необходимо что бы стартовые параметры были выработаны с использованием итеративного алгоритма выработки общего секрета A-GDH.2, что затрудняет его использование в чатах, в которых часть абонентов может быть временно недоступна.

### **Предлагаемая схема распределения секрета**

Предполагается, что в мессенджере в качестве базового параметра определены некоторые эллиптические кривые, например кривая Curve25519; циклическая группа точек  $G$  порядка  $q$ , где  $q$  – простое, генерируется простое  $p$ , такое что  $p = kq+1$ , и точка  $P$  – образующий элемент группы  $G$ .

$P$  – точка кривой Curve25519 порядка  $n$ .

$d$  – случайное число.

$$Q = dP$$

### **Регистрация пользователей**

На этапе регистрации пользователь генерирует набор параметров безопасности, которым он будет пользоваться для защиты соединений с сервером и другими пользователями. Параметры для соединения с сервером не должны совпадать ни с одним из наборов параметров безопасности для соединения с пользователями.

К параметрам безопасности относятся параметры для электронной подписи, параметры для выработки общего ключа с сервером, параметры для выработки общего ключа в чатах «пользователь–пользователь», параметры для выработки общего ключа в групповом чате.

В процессе регистрации каждый из пользователей отправляет на сервер параметры, необходимые для одноэтапной генерации общего секрета: точка на эллиптической кривой  $P$ , параметры  $Y_i = y_i P \bmod p$  (вычисляются каждым из  $i$  пользователей при регистрации и добавляются на сервер)

Предварительные вычисления (на этапе регистрации пользователя в сети):

- получение общей кривой  $E$ . Используется (Curve25519);
- простой модуль  $p = t * q + 1$ , где  $q$  – простое;



- точка  $P$  кривой  $E$  порядка  $n$ .

Каждый абонент вычисляет и отправляет на сервер:

$$Y_i = y_i P \pmod{p}, \text{ где } y_i \text{ - случайное число } i\text{-го абонента и } (y_i, p-1) = 1.$$

Каждый абонент вычисляет и сохраняет в секрете:

$$Z = y_i^{-1} \pmod{p-1}.$$

### Параметры для чатов

В момент регистрации ПО мессенджер создает набор из 64 предварительных параметров безопасности, которые представляют собой результат второго цикла работы алгоритма Хьюза на эллиптических кривых, то есть:  $Q_i = Y_i * P \pmod{p}$ , где  $Y_i$  – часть секретного ключа каждого из пользователей. Эти параметры в подписанном виде отправляются на сервер, где хранятся в ожидании инициации защищенного группового чата одним из пользователей.

### Создание чатов

Если пользователь  $A_j$  решает создать чат, он генерирует ключ  $k = aP \pmod{p}$ , который может тут же использовать для симметричного шифрования. После чего отправляет на сервер подписанное своим секретным ключом сообщение, содержащее перечень пользователей, с которыми он хочет создать чат, и запрашивает набор сообщений для подтверждения ключа, который в процессе регистрации сформировал каждый из пользователей  $B_i = b_i * P$ . Для выработки общего секрета чата пользователь  $A_j$  вычисляет  $A = aB_i$ . После предварительных вычислений пользователь  $A_j$  может начинать защищенное соединение, используя ключ  $k$ . Для того что бы все пользователи  $B_i$  могли расшифровать переданные им сообщения, пользователь  $A_j$  вместе с первым зашифрованным сообщением должен передать  $A = aB_i$ .

Для нахождения ключа пользователи  $B_i$  вычисляют  $Z = b_i^{-1} \pmod{n-1}$ ,  $k = ZA$ . Таким образом, пользователь  $A_j$  может выработать общий ключ шифрования чата не ожидая появления всех пользователей на связи. Аналогично происходит с получателями сообщения, которое отправляет пользователь  $A_j$ , вместе с зашифрованным первым сообщением они получают

все параметры для выработки общего ключа и расшифровки всех сообщений, которые были отправлены другими пользователями в тот момент, пока их не было на связи.

Такой протокол можно считать офлайновым протоколом Хьюза на эллиптических кривых.

### Литература

1. 1A cryptographic approach for secure client – server chat application using public key infrastructure (PKI)
2. Pawani porambage Andrei gurtov Burkhard stiller An braeken Mika ylianttila «Group Key Establishment for Enabling Secure Multicast Communication in Wireless Sensor Networks Deployed for IoT Applications» <em>IEEE Access</em> vol. 3 pp. 1503-1511 2015.
3. Katriel Cohn-Gordon, Cas Cremers, Benjamin Dowling, Luke Garratt, and Douglas Stebila A Formal Security Analysis of the Signal Messaging Protocol <https://eprint.iacr.org/2016/1013.pdf>
4. E. Hughes, «An Encrypted Key Transmission Protocol» CRYPTO 94, 1994

*Ле Тхи Чанг Линь, Дао Куанг Минь, МФТИ, г. Долгопрудный*

## **ОБЪЕДИНЕНИЕ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО ЛЕСА И МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЧИСЛА ПРИЗНАКОВ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ DOS-АТАК НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ UNSW-NB15**

В докладе приводится результат применения метода случайного леса и многослойной нейронной сети (МНС) для определения минимально необходимого числа признаков для обнаружения DoS-атак на примере базы данных UNSW – NB15 [1-2]. С помощью метода случайного леса было определено 10 самых важных признаков. Затем из 10 выбранных призна-

ков по очереди были убраны по одному приказу и оставшихся 9 признаков поданы на вход МНС для оценки влияния каждого признака. Был выбран набор из 9 признаков с самым высоким результатом. Аналогично этот процесс повторили для набора 8, 7, 6 и 5 признаков. Метод случайного леса реализован на языке Python, а МНС – в среде Matlab. Используемые данные из предлагаемого набора для обучения и тестирования из базы данных UNSW – NB15.

При использовании 5 признаков верно распознаны 85,77% DoS-атак и 85,75% случаев нормального поведения. При использовании 42 признаков результат соответственно 85,31% для DoS-атак и 85,71% для не DoS-атак. Результат тестирования с использованием четырёх признаков хуже, чем результат тестирования при использовании 42 признаков и 5 признаков, поэтому выбраны 5 признаков для обнаружения DoS-атак, представленных в таблице 1.

**Таблица 1.** Выделенные признаки для обнаружения DoS-атак в БД UNSW – NB15

№	Признак	Тип данных	Description	Описание
1	Service	Н	http, ftp, ssh, dns...,else (-)	http, ftp, ssh, dns...,else (-)
2	Sttl	Ц	Source to destination time to live	Время существования от отправителя к получателю
3	Smeansz	Ц	Mean of the flow packet size transmitted by the src	Среднее значение размера потокового пакета, переданного с помощью src
4	Ct-state-til	Ц	Number for each state according to specific range of value for source/destination time to live	Число для каждого состояния, соответствующее определенному диапазону значений времени жизни отправителя/получателя
5	Ct-srv-dst	Ц	Number of connections that contain the same service and destination address in 100 connections according to the last time	Число соединений, которые содержат одинаковые службы и адреса получателя в 100 соединениях согласно последнему времени.

Таким образом, выделенные 5 признаков позволили улучшить показатели обнаружения по сравнению с использованием 42 признаков соединений в БД UNSW – NB15.

### Литература

1. <https://cloudstor.aarnet.edu.au/plus/index.php/s/2DhnLGDdEECo4ys?path=%2F>
2. Ле Т.Ч.Л. Обнаружение атак в современной базе данных UNSW-NB15 с применением многослойной нейронной сети // Информатизация и связь. 2017. № 1. С. 61 – 66.

*Лукашова Т.О., МГУ им. М.В. Ломоносова, Никитин С.П., к.ф.-м.н.,  
Трещиков В.Н., к.ф.-м.н., ООО «Т8 Сенсорс», г. Москва*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА**

В связи с широким распространением технологий волоконно-оптических систем передачи информации, становится привлекательным использование оптических волокон не только в качестве среды для передачи информации, но так же, как чувствительный элемент для распределённых датчиков. Такая система позволяет удаленно измерять физические величины (температуру, натяжение, вибрации) и реализовать работу распределенных систем обнаружения и контроля безопасности протяженных объектов (нефтепровода, линии электропередач) [1]. Приборы для таких распределённых измерений называются оптическими рефлектометрами. Методы оптической рефлектометрии базируются на явлениях комбинационного рассеяния света [2], рассеяния Мандельштама–Бриллюэна [3], либо решетках Брэгга, интегрированных в волокно [4].

На основе математической модели, предложенной в [5], проведено численное моделирование одноимпульсного и двумпульсного когерентных

рефлектометров рассеяния Рэлея. Модель позволяет работать с импульсами различной формы (прямоугольный, гауссов, прямоугольный со сглаженными краями) и учитывать затухание сигнала в волокне. Используя методы численного моделирования, рассмотрена возможность реализации температурного датчика на основе предложенных схем.

Одноимпульсная схема позволяет делать только качественное заключение о наличии температурного воздействия. Двумпульсная схема позволяет вычислить набег фаз между импульсами, то есть реализуется фазочувствительный рефлектометр. В волновод направляется сигнал, представляющий собой последовательность из двух импульсов длительностью по 200 нс с задержкой  $\tau = 300$  нс. При этом второй импульс относительно первого сдвигается по фазе на фиксированную величину:

$$\Delta\varphi_{fix} = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}.$$

Фактически волокно зондируется последовательностью четырех двумпульсов. Получившаяся рефлектограмма является результатом интерференции. Величина набега фазы линейно зависит от температуры окружающей среды. Этот факт доказывается теоретически. Можно показать:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi n}{\lambda} 2 \frac{c\tau}{2n} \beta \Delta T,$$

где  $n$  – показатель преломления волокна,  $\lambda$  – длина волны сигнала,  $c$  – скорость света, время задержки импульсов в паре,  $\beta$  – коэффициент [6], учитывающий термооптический эффект и термическое растяжение,  $\Delta T$  – величина изменения температуры. Подставив значения  $\beta = 9.15 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\lambda = 1550$  нм,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с,  $\tau = 300$  нс, получаем оценку для температурного коэффициента набега фаз  $\alpha \approx 3450$  рад/град. Линейная зависимость набега фаз подтверждается также и *при численном моделировании*: на рис. 1 представлен результат для нескольких каналов. Будем называть

каналом точку волокна, в которой проводится измерение. Различие в каналах температурного коэффициента  $\alpha$ , обусловлено наличием случайной компоненты в набеге фаз. Усреднение методом скользящего среднего приводит к следующей оценке:  $\alpha \approx 3440$  рад/град с относительным среднеквадратичным отклонением  $\delta = 2\%$ . Численное моделирование показало, что усреднение по каналам эквивалентно усреднению в одном канале при длительном изменении температуры.

В докладе [7] были представлены результаты эксперимента, проведенного на оборудовании «Дунай-2» – двуимпульсном рефлектометре. Полученное в эксперименте значение коэффициента  $\alpha \approx 3200$  рад/град.

Таким образом, продемонстрированная численная модель когерентного рефлектометра, хорошо согласующаяся с результатами теоретической оценки и физического эксперимента. Дифференциальный фазочувствительный рефлектометр дает возможность количественного описания температурного воздействия и позволяет реализовать оптоволоконный температурный датчик по сравнительно простой схеме.

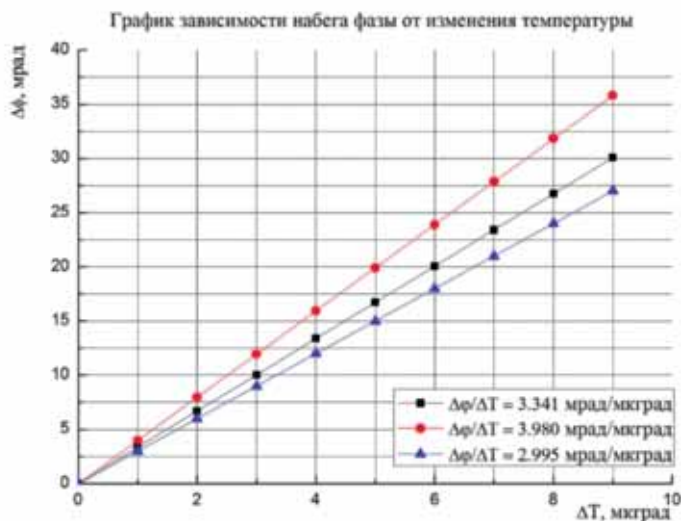


Рис. 1. Результат численного моделирования двуимпульсного рефлектометра. Зависимость набега фазы от изменения температуры

### Литература

1. Горбуленко В.В., Леонов А.В., Марченко К.В., Трешиков В.Н. «Научно-технический журнал «Фотон-Экспресс» №5 (117) 2014 г. С.12-15.
2. Hartog A.H., Leach A.P., Gold M.P. 1985 Electron. Lett. 21 1061–1062.
3. Bao X., Chen L. 2012 Sensors 12 8601-8639.
4. Kersey A.D., Davis M.A., Patrick H.J., LeBlancKoo M., Askins C.G., Putnam M.A., Friebele E.J. IEEE J. light. Technol., 15, 1442-1463, 1997.
5. Mermelstein M.D., Posey R., Jr., Johnson G.A., Vohra S.T. 2001 Optics Letters. 26
6. Othonos A., Kalli K. Fiber Bragg gratings. Fundamentals and applications in telecommunications and sensing. Artech House, 1999, London.
7. Кузьменков А.И., Никитин С.П., Горбуленко В.В., Наний О.Е., Трешиков В.Н. 7й Российский семинар по волоконным лазерам, Новосибирск, Россия, 5-9 сентября 2016.

*Лутай В.Н., к.т.н., доцент, ЮФУ, г. Таганрог*

### **ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ**

В докладе рассматривается возможность повышения устойчивости решения СЛАУ с квадратной плотной матрицей коэффициентов размерности  $n$ :

$$Ax=b, \quad (1)$$

полученного методами треугольного разложения  $LU$  (компактная схема Гаусса) или  $HN^T$  (метод квадратных корней) матрицы  $A$ . Диагональные члены треугольных матриц  $U$  и  $H$  вычисляются следующим образом [1]:

$$u_{ii} = a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik} u_{ki}, \quad h_{ii} = (a_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} h_{ik}^2)^{1/2}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где

$$l_{ji} = (a_{ji} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{jk} u_{ki}) / u_{ii}.$$

(2)

Неустойчивость решения появляется в тех случаях, когда матрица системы плохо обусловлена вследствие близости строк (столбцов) к линейной зависимости. Это обстоятельство приводит к уменьшению членов треугольных матриц  $U$  и  $H$  в процессе вычисления и появлению больших чисел при вычислении  $x$ . Если для  $LU$ -разложения это приводит к большим относительным ошибкам, то для метода квадратных корней возможен срыв вычислительного процесса вследствие появления отрицательного подкоренного выражения [2].

В работе рассматривается метод повышения устойчивости вычислений использованием в (2) не полного произведения двух чисел, а часть, полученную после отсечения некоторого количества его младших разрядов. По сложности отсечение можно сравнить с операцией умножения чисел удвоенной точности при реализации режима накопления, который является обычным в вычислительных методах.

Использование нестандартного умножения приводит к формированию треугольных матриц  $\tilde{U}, \tilde{L}, \tilde{H}$ , таких, что

$$M = \tilde{L}\tilde{U} \quad \text{или} \quad M = \tilde{H}\tilde{H}^T,$$

$$M = A + N,$$

$$n_{ii} = \sum_{k=1}^{i-1} (l_{ik}u_{ki} - fl_{\tau}(l_{ik}u_{ki}))$$

или

$$n_{ii} = \sum_{k=1}^{i-1} (h_{ik}^2 - fl_{\tau}(h_{ik}^2)),$$

$$n_{ij} = 0, i \neq j$$

где  $N$  – матрица ошибок неполного разложения,  $fl_{\tau}(\otimes)$  – результат отсечения  $\tau$  младших разрядов результата умножения. Если количество разрядов мантиссы числа равно  $t$ , то  $0 \leq \tau < t$ . Отсечения могут выполняться как для всех диагональных членов, так и для нескольких.



Вектор  $x$  из системы  $Mx=b$  является приближенным решением (1). Для точного решения необходимо решить систему

$$Zx = \tilde{x}, \quad (3)$$

где  $Z=(I-M^{-1}N)$ .

Из сравнения (1) и (3) следует, что  $A^{-1}=Z^{-1}M^{-1}$  и что, следовательно, нормы матриц  $Z^{-1}$  и  $M^{-1}$  могут быть меньше нормы  $A^{-1}$ .

Результаты неполного разложения можно использовать как для приближенного, так и для точного решения систем ЛАУ. В последнем случае к операциям неполного треугольного разложения, количество которых, как и для стандартных методов, равно

$$\frac{2}{3}n^3 \text{ и } \frac{1}{3}n^3$$

для  $LU$  и  $HN^T$  соответственно, прибавляются дополнительные, количество которых зависит от числа  $k$  диагональных членов, при вычислении которых использовалось отсечение: матрица  $M^{-1}N$  формируется в результате решения  $k$  СЛАУ с треугольной матрицей  $M$ , матрица  $Z$  в (3) имеет  $k$  плотных столбцов. Общее количество дополнительных операций можно оценить как  $kn(n+k+1)$  для  $LU$ -разложения и  $kn(2n+k+1)$  для метода квадратных корней.

В докладе приводятся результаты решения СЛАУ с плохо обусловленной матрицей Гильберта для  $n = 8$  и  $n = 10$  в формате `double` при  $t = 17$ . Из них следует, что матрицы  $M$  и  $Z$  имеют меньшее число обусловленности, чем исходная матрица коэффициентов, вследствие чего при  $LU$ -разложении невязка решения системы существенно уменьшается. При решении системы стандартным методом квадратных корней происходит срыв вычислительного процесса. Для его предотвращения достаточно выполнить отсечения с  $\tau=14$  для одного диагонального члена при  $n = 8$  и для двух при  $n = 10$ .

#### Литература

1. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984.
2. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999.

*Листова Н.В., к.т.н., Федоренко В.В., д.т.н., СКФУ,  
Самойленко В.В., к.т.н., Самойленко И.В., к.т.н., СтГАУ, г. Ставрополь*

### **МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ ПОТОКОВ РАЗНОПРИОРИТЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕНСОРНОМ УЗЛЕ**

Для описания работы сенсорного узла по управлению маршрутизацией потоков измерительной информации можно использовать марковскую модель многоканальной системы массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью, в которой заявками на обслуживание являются пакеты с сообщениями различной приоритетности.

*Среднее время обслуживания заявки соответствует длительности передачи пакета с измерительной информацией:  $t_{serv} = N \cdot T_s$ , где  $N$  – количество информационных символов в пакете;  $T_s$  – длительность информационного символа. Полагаем, что интенсивности обслуживания  $\mu_j = 1/t_{serv,j}$  распределены по показательному закону. Под каждый поток заявок с  $i$ -м уровнем приоритета формируется линия связи в составе  $L_j$  каналов, причем*

$$\sum_{i=1}^M L_i = L.$$

Нетерпеливость заявки может отражать как свойство старения информации, так и приоритетность заявки: чем выше уровень приоритетности, тем меньше значение  $\tau_{lim}$ . При этом предполагается распределение предельного времени ожидания заявки  $\tau_{lim}$  по показательному закону с матема-

тическим ожиданием  $\tau_{lim}$ . Удобной для дальнейшего рассмотрения абстракцией является представление о простейшем потоке уходов заявок из СМО с интенсивностью  $\nu=1/\tau_{lim}$ . Рассмотрим процессы «старения» информации  $i$ -го приоритета в виде двух потоков ухода заявок: из очереди (с интенсивностью  $\nu_{w,i}$ ) и из канала обслуживания (с интенсивностью  $\nu_{s,i}$ ). Вероятность обслуживания заявки  $i$ -го приоритета в  $i$ -й линии связи (группе из  $L_i$  каналов с  $j$ -м временем обслуживания  $\tau_{serv,j}$ ):

$$P_{serv}^{(ij)} = 1 - \frac{\rho_{ij}^{L_i + R_i}}{L_i! (1 + \alpha_{ij})^{L_i}} \prod_{l_i}^{R_i} [L_i (1 + \alpha_{ij}) + l_i \beta_{ij}]^{-1} \cdot P_0^{(ij)},$$

где

$$P_0^{(ij)} = \left[ 1 + \sum_{l_i=1}^{L_i} \frac{\rho_{ij}^{l_i}}{l_i! (1 + \alpha_{ij})^{l_i}} + \frac{\rho_{ij}^{L_i}}{L_i! (1 + \alpha_{ij})^{L_i}} \times \right. \\ \left. \sum_{s_i=1}^{R_i} \prod_{l_i=1}^{s_i} \frac{\rho_{ij}}{L_i (1 + \alpha_{ij}) + l_i \beta_{ij}} \right]^{-1}, \quad \rho_{ij} = \lambda_i / \mu_j; \quad R_i$$

– длина очереди в  $i$ -й линии связи;  $\alpha_{ij} = \nu_{s,i} / \mu_j$  и  $\beta_{ij} = \nu_{w,i} / \mu_j$  – приведенные интенсивности потоков ухода заявки  $i$ -го приоритета из  $j$ -го канала и ухода заявки из очереди.

При выделении  $j$ -го канала ( $j-1, L$ ) в  $i$ -ю линию связи ( $i-1, N$ ) в ней обеспечивается вероятность обслуживания заявки  $P_{serv}^{(ij)}$  либо вероятность потерь  $P_{II}^{(ij)} = 1 - P_{serv}^{(ij)}$ . В случае децентрализованного использования канального ресурса в  $i$ -ю ЛС может быть выделено  $L_i$  каналов с определенными характеристиками (выражаемыми, в конечном итоге, через некоторое значение  $\tau_{serv,j}$ ), что позволяет рассматривать данную группу каналов с соответствующим мультиплексором в виде  $L_i$ -канальной СМО с вероятностью потерь заявок  $P_{II}^{(ij)}(L_i)$ . Требуется найти такой вариант распределения  $L$  каналов между  $N$  линиями связи, при котором будет обеспечено ми-

нимальное значение заданного показателя в линии связи, находящейся в наиболее жестких условиях (с учетом требований к помехоустойчивости и оперативности передачи сообщения). Обозначим через  $\{x_{ij}\}$  матрицу распределения каналов, каждый элемент которой принимает значение:  $x_{ij}=1$ , если  $j$ -й канал закрепляется за  $i$ -й линией связи;  $x_{ij}=0$  – в противном случае. Математическая постановка задачи:

$$F(X^*) = \max_i P_{\Pi}^{(ij)}(L_i) \rightarrow \min_{\{\{x_{ij}\}\}}$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L x_{ij} = L; \quad \sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, L}.$$

Предложен пример алгоритма распределения пяти каналов между тремя линиями связи для передачи разноприоритетной информации, в котором приоритетность информационных потоков определена допустимыми значениями задержки в обслуживании. Время доставки сообщений в радиоканале зависит от его пропускной способности и соответствует времени обслуживания заявки.

Таким образом, для повышения эффективности работы сенсорного узла предлагается оптимизировать распределение канального ресурса между маршрутами (линиями связи) по адаптивному критерию с учетом марковских особенностей входных потоков измерительных сигналов и потоков обслуживания на маршрутах сенсорной сети. Если канального ресурса достаточно для обеспечения заданных требований к качеству обслуживания всех разноприоритетных информационных потоков, то распределение каналов направлено на обеспечение максимально возможной вероятности обслуживания на всех маршрутах сенсорной сети. При недостаточности канального ресурса для обеспечения заданных требований к качеству доставки сообщений на всех маршрутах распределение каналов следует организовать так, чтобы заданные требования обеспечивались в наибольшем числе линий связи.

*Пирская Л.В., к.т.н., доцент, ИКТИБ ЮФУ, г. Таганрог*

## **ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕЛЬТА-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ**

Исследование вопросов качественного и количественного улучшения показателей вычислительных средств для решения сложных практических задач в режиме реального времени показывает, что при использовании самой современной универсальной вычислительной техники возникают различные трудности. Одним из путей решения данных проблем является создание специализированных вычислительных устройств и систем с учетом проектирования их проблемно-ориентированного назначения и с использованием специальных эффективных методов реализации вычислительного процесса [1].

При проектировании высокопроизводительных устройств и систем возникает необходимость организации эффективных параллельных вычислительных процессов с решением вопросов сокращения пересылаемых объемов информации, количества одновременно работающих устройств умножения, многоуровневых регистров для хранения информации, упрощения сложных систем обмена информацией, обеспечения высокой производительности вычислителей при обработке информации. Такие проблемы возникают, в частности, при организации параллельного решения в реальном масштабе времени практических задач, сводящихся к задачам вычислительной математики, проектировании бортовых вычислительных систем, специализированных управляющих устройств и т.п. [1].

Необходимость проблемно-ориентированных вычислений возникает при решении в режиме реального времени задачи локальной навигации, в частности, определения координат летательного аппарата. Использование проблемно-ориентированных вычислений в данных условиях позволяет организовать вычислительный процесс таким образом, чтобы обработка информации на уровне одной итерации выполнялась с доста-

точной точностью, высоким быстродействием и с предельно большим временным шагом. Тогда представляются возможности предъявлять наиболее низкие требования к производительности вычислительных средств с учетом возможности одновременной реализации других алгоритмов и программ.

Задача локальной навигации [2], в частности, определения координат летательного аппарата базируется на использовании нескольких расположенных в пространстве маяков (групп маяков) на относительно близком расстоянии от начала локальной системы координат. Бортовой вычислитель получает значения дальностей от летательного аппарата до маяков. На основании полученных дальностей и известных координат маяков формируются уравнения в стандартном для дальномерных навигационных систем виде. Определение координат летательного аппарата осуществляется с использованием новой методики одновременного решения специализированным вычислительным устройством большого количества СЛАУ с непрерывными переменными свободными членами (к которым известными способами сводятся системы из четырех алгебраических уравнений). В основу данной методики положены проблемно-ориентированные вычисления, базирующиеся на усовершенствованных известных методах с использованием дельта-преобразований первого порядка и переменного кванта [3] и принципиально новых научных подходах оптимизированных дельта-преобразований второго порядка и переменного кванта [4].

Исследования показали, что использование данных подходов в решении задачи определения координат летательного аппарата позволяет построить высокопроизводительные экономичные по аппаратным ресурсам специализированные вычислители для одновременного решения большого количества СЛАУ в реальном времени за одну итерацию установившегося процесса. Кроме того, данные подходы показали преимущества по длительности выполнения одной итерации и итерационного процесса в целом по сравнению с реализацией известного метода «простой итерации».

### Литература

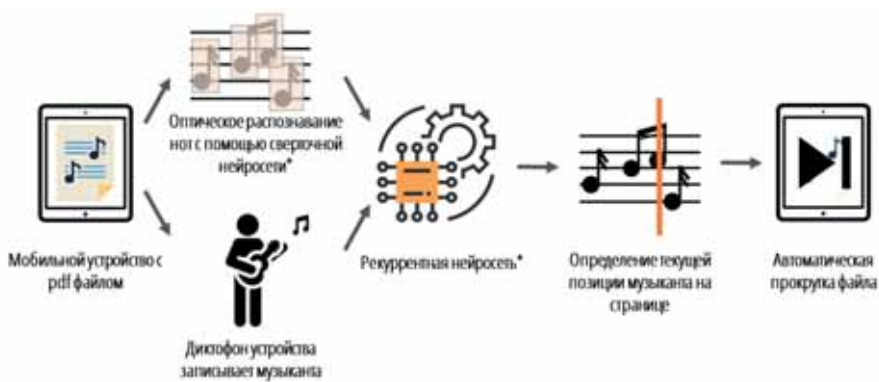
1. Кравченко П.П., Пирская Л.В., Хусаинов Н.Ш. Дельта-преобразования и проблемно-ориентированные вычисления: монография. – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 118 с.
2. Хусаинов Н.Ш., Кравченко П.П., Лутай В.Н., Тарасов С.А., Щербинин В.В. Системы радионавигации современных и перспективных летательных аппаратов. Ч.1. Методы определения местоположения и автономный контроль целостности: Монография. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – 118 с.
3. Кравченко П.П., Пирская Л.В. Итерационный метод решения систем линейных алгебраических уравнений, исключаящий операцию многозарядного умножения// Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 214-224.
4. Кравченко П.П., Пирская Л.В. Метод организации итерационного решения систем линейных алгебраических уравнений с использованием дельта-преобразований второго порядка // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 6 (167). – С. 57-71.

*Пономарев Е.С., Меркулов Д.М.,  
Сколковский институт науки и технологий, г. Москва*

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОМОЩИ МУЗЫКАНТУ**

В данной работе исследуется возможность применения современных методов интеллектуального анализа данных и оптимизации вычислительных алгоритмов для решения задачи автоматического перелистывания нот во время игры музыканта. Проблема заключается в том, что при игре на инструменте у музыканта заняты обе руки и он вынужден прерываться или просить помощи для перелистывания партитуры. Наш подход заключается в оптическом распознавании нот из PDF-файла, загруженного на смартфон (планшет) с последующим определением текущего положения игры на основании звукового ряда, полученного с помощью микрофона смартфона (планшета).

Проблема оптического распознавания нот состоит из определения и удаления линий с помощью метода гистограммы горизонтальных проекций [1], выделения нот и знаков с помощью фильтра Калмана [2, 3], классификации выделенных объектов с помощью решающих деревьев [4], метода ближайших соседей и других методов [1] классификации. Данный подход отличается архитектурной сложностью и неустойчивостью к шуму. Более высокую точность показывали подходы, основанные на сверточных нейронных сетях [5]. Однако использование таких методов предполагает наличие тренировочной выборки большого объема и мощных вычислительных инструментов. Проблема определения текущего места воспроизведения решается с помощью анализа автокорреляционной функции [6], спектральных методов, основанных на ДПФ [7]. С появлением методов, основанных на рекуррентных нейросетях, точность и робастность предсказания стала выше [8].



\* - оптимизировано для работы на мобильных устройствах с помощью тензорных разложений

Основные результаты работы: разработана интеллектуальная система распознавания нот в PDF-файле, исполняемая на мобильных устройствах, работающая в связке с системой автоматического определения проигрываемого музыкантом места. Существенно, что для работы алгоритма в режиме реального времени на мобильных устройствах использованы методы



ускорения сверточных слоев нейросетей, основанные на тензорных разложениях [9, 10]. Верификация достоверности и новизны проделанной работы может быть осуществлена с помощью мобильных устройств, работающих на ОС Android (4.4 +) и IOS (7+).

### Литература

1. David Bainbridge and Tim Bell. The challenge of optical music recognition. *Computers and the Humanities*, 35(2):95–121, 2001.
2. Florence Rossant and Isabelle Bloch. Robust and adaptive omr system including fuzzy modeling, fusion of musical rules, and possible error detection. *EURASIP J. Appl. Signal Process.*, 2007(1):160–160, 2007.
3. B. Coüasnon, P. Brisset, and I. Stephan. Using logic programming languages for optical music recognition. *International Conference on the Practical Application of Prolog*, pages 115–34, 1995
4. S. Baumann and A. Dengel. Transforming printed piano music into midi. *Proceedings of International Workshop on Structural and Syntactic Pattern Recognition*, pages 363–72, 1992.
5. Cuihong Wen, Ana Rebelo, Jing Zhang, Jaime Cardoso, A new optical music recognition system based on combined neural network, In *Pattern Recognition Letters*, Volume 58, 2015, Pages 1-7, ISSN 0167-8655
6. L. R. Rabiner. On the use of autocorrelation analysis for pitch detection. *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, ASSP-25(1):24–33, February 1977
7. Xavier Rodet. Musical sound signals analysis/synthesis: Sinusoidal+residual and elementary waveform models. *Applied Signal Processing*, 4:131–141, 1997.
8. Boulanger-Lewandowski, Nicolas, Yoshua Bengio and Pascal Vincent. “Audio Chord Recognition with Recurrent Neural Networks.» *ISMIR* (2013).
9. Oseledets, Ivan. (2011). Tensor-Train Decomposition. *SIAM J. Scientific Computing*. 33. 2295-2317. 10.1137/090752286.
10. Kim, Yong-Deok & Park, Eunhyeok & Yoo, Sungjoo & Choi, Taelim & Yang, Lu & Shin, Dongjun. (2015). Compression of Deep Convolutional Neural Networks for Fast and Low Power Mobile Applications.

*Тычков А.Ю., к.т.н., Алимуратов А.К., к.т.н., Агейкин А.В.,  
Чураков П.П., д.т.н., проф., Тычков А.Н., Горбунов В.Н., к.э.н.,  
Вишневская Г.В., к. п.н., ФГБОУ ВО «ПГУ», г. Пенза*

## ***АНАЛИЗ ЭЭГ НА ОСНОВЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ НА ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПСИХИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ***

В настоящее время в России сложилась тревожная ситуация: ежегодно умирают свыше двух миллионов человек, из которых 600 тысяч – трудоспособные люди до 60 лет. В структуре заболеваемости и смертности населения особую роль играют психические заболевания. Поэтому, исследуя пограничные психические расстройства и своевременно их диагностируя, можно добиться предотвращения развития заболевания и их перехода в пролонгированные состояния.

В работах многих авторов отмечается, что пограничные психические расстройства сопровождаются нарушениями структуры электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Зависимость ЭЭГ от общего состояния организма при психических расстройствах широко используют в медико-биологической практике.

Для анализа ЭЭГ используются четыре основных ритма: дельта-ритм, тета-ритм, альфа-ритм и бета-ритм. Изменения в ЭЭГ при психических расстройствах состоят в усилении медленноволновой активности и специфическом для разных состояний изменении альфа- и бета-активностей.

Для проведения исследований по определению психической активности человека на ЭЭГ сформирована верифицированная база сигналов контрольной и экспериментальной групп испытуемых при поддержке ГБУЗ ОПБ им. К.Р. Евграфова и Пензенского государственного университета. Группа пациентов сформирована в соответствии с клинической картиной пограничных психических расстройства по МКБ-10: F48.0, F45.3, F43.2, F41.2.

Для повышения оперативности и достоверности постановки диагностических заключений использовались отдельно взятые информативные

участки ЭЭГ:  $T_1 = (t_m; t_n)$  и  $T_2 = (t_k; t_m)$ , где  $t_m$  – отсчет времени сигнала с момента возникновения психического расстройства;  $t_n$  – отсчет времени сигнала с момента завершения записи сигнала в период психического расстройства, но не более 30 с;  $t_k$  – отсчет времени сигнала, равный длительности  $(t_m - t_n)$ .

С целью эффективной обработки медицинских сигналов, в том числе ЭЭГ, широкое распространение получил метод декомпозиции на эмпирические моды (ДЭМ). В обработке ЭЭГ ДЭМ обеспечит локальное разложение сигнала на быстрые и медленные колебательные функции. В результате разложения ЭЭГ может быть представлена в виде суммы амплитудных и частотных модулированных функций, называемых эмпирическими модами (ЭМ).

В соответствии с методом ДЭМ выделенные информативные участки ЭЭГ испытуемых контрольной и экспериментальной групп разлагаются на конечное число ЭМ. Анализ результатов разложения более 400 сигналов выявили зависимость изменения количества ЭМ, на соответствующих участках  $T_1$  и  $T_2$  ЭЭГ в период возникновения пограничных психических расстройств на различных отведениях (затылочное, теменное, центральное, правое, левое и лобное).

Данная зависимость четко прослеживается для всей выборки в первом и втором отведениях, которая может использоваться в качестве решающего правила определения исследуемого ЭЭГ в автоматическом режиме, соответствующего моменту до/после возникновения психического расстройства.

Для оценки эффективности предлагаемого авторами решающего правила, принятия ЭМ в качестве показателя психической активности на ЭЭГ, использовался параметр – ошибки первого и второго рода.

В таблице 1 представлены результаты определения психического расстройства на основе анализа количества ЭМ для первого и второго отведений.

В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод, что предложенное авторами решающее правило определения ЭЭГ, соответствующего участкам до/после возникновения психического расстройства обеспечивает достаточно высокую точность: ошибка 1-го рода 2%, ошибка 2-го рода 5%.

Таблица 1. Результаты исследований

Состояние/ результат	Результат определения		Ошибки первого и второго рода, %	
	Патология	Норма		
Патология	98 чел.	2 чел.	1-го	2
Норма	5 чел.	95 чел.	2-го	5

*Uzhinsky Ighor K., Professor,  
Skolkovo Institute of Science and Technology,  
Moscow*

### **DIGITAL TWINS IN CYBER-PHYSICAL MANUFACTURING SYSTEMS**

*«Here and elsewhere we shall not  
obtain the best insight into things  
until we actually see them growing  
from the beginning.»*

*Aristotle, Politics*

Industry 4.0 is associated with deep and widespread introduction of cyber-physical systems in product development, manufacturing, service, marketing, and distribution of innovative high-technology products and services worldwide. With energy and practically all other natural resources available worldwide, scientific, technological, and management knowledge is becoming the most precious resource for the development and sustaining of competitiveness for companies and countries. Only highest quality products that are superiorly designed and the most efficiently manufactured and distributed, can be competitive.

Creation of the innovative products based on advanced scientific and technological achievements within the shortest possible time and with minimum of the necessary resources, requires application of the most advanced methods and tools for the concept design, the product realization feasibility assessment,

including materials, components, production technologies, time-to-market, and evaluation of the product's market prospects within its life cycle. While developing an innovative product, its characteristics and specification, as a rule, cannot be defined at its inception stage because research and development, experiments, testing, prototyping would likely modify initial vision on the product.

For assessment of market prospects of innovative products, as a rule, use of statistical data or references to analogs are essentially useless. For example, phenomenal success of Apple iPad (300 thousand iPads sold during the first two days after introduction of this product to the market) was difficult to be predicted, considering total failure of previous and parallel introductions of similar products, such as Blackberry PlayBook, Palm TouchPad, Samsung GalaxyTab. As an opposite example, an innovative product, Segway, being considered by many experts (including Steve Jobs) as a revolutionary individual vehicle, was not successful for many years after its introduction until its cost had been dramatically reduced thanks to new technologies.

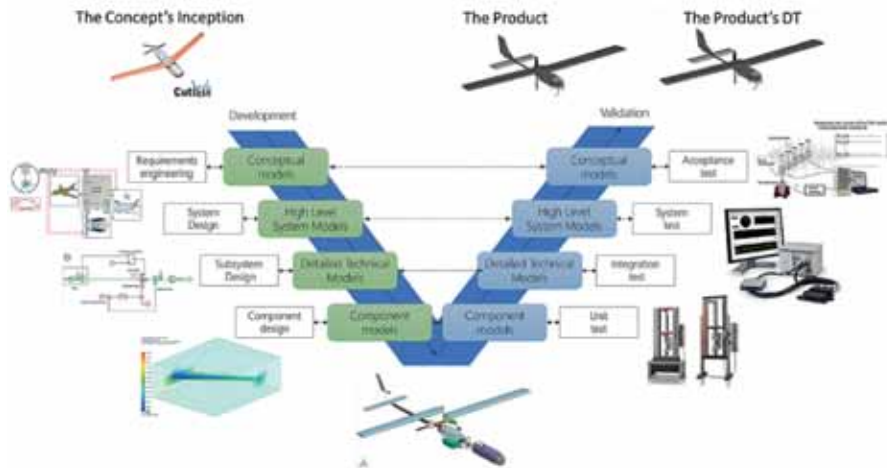
Realization of the product development cycle requires resources and time, particularly for material realization of a series of system prototypes and of crucial components. For radical improvement of this process, availability of Digital Twins of the product versions can help in dramatic reduction of the required time and of the development cost.

Digital Twin (DT) – “is a set of virtual information constructs that fully describes a potential or actual physical manufactured product from the micro atomic level to the macro geometrical level. At its optimum, any information that could be obtained from inspecting a physical manufactured product can be obtained from its Digital Twin. Digital Twins are of two types: Digital Twin Prototype (DTP) and Digital Twin Instance (DTI). DT's are operated on in a Digital Twin Environment (DTE).»<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems Michael Grieves and John Vickers. © Springer International Publishing Switzerland 2017 F.-J. Kahlen et al. (eds.), Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, DOI 10.1007/978-3-319-38756-7\_4

The development of the product's DT is going-on in parallel with the development of the product itself. These two processes are usually represented via VEE-diagram:



**Fig 1.** Simulation-driven product development

At the Skolkovo Institute of Science and Technologies (Skoltech), we developed an approach and realized a system, supporting the most essential steps of this process. This integrated system is to incorporate structural, functional, topology optimization software components within the product design cycle and some testing capabilities for the DT verification and validation creating a flexible and effective tool for integration of knowledge and technologies in a certain subject domain.

The system is based on the Siemens PLM complete program complex (CAD/CAE/CAM/Tecnomatics/LMS), integrated with pSeven, ANSYS, and other necessary software packages, virtual reality capabilities, and the needed methodology. In this report, we will discuss the Digital Twin concept and its realization at Skoltech on the example of design, development, testing, and production of a specialized UAV.

*Файзуллин Марсель, Сахно Сергей, к.ф.-м.н.  
Лаборатория прикладных кибернетических систем, МФТИ, г. Долгопрудный*

## **РАЗРАБОТКА НОСИМОГО НАРУЧНОГО БРАСЛЕТА, СЧИТЫВАЮЩЕГО СИГНАЛ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) – это показатель изменений в длине интервалов между ударами сердца. (Malik & Camm, 1995).

Изменчивость сердечного ритма является неотъемлемой характеристикой здорового функционирования сердца. Такая изменчивость может отражать целенаправленные реакции на внутренние и внешние стимулы. Основные регуляторы хронотропии сердца, паразимпатическая и симпатическая нервные системы являются ключевыми факторами в величине спонтанной сердечно-сосудистой изменчивости.

ВСР, как правило, оценивается по сигналу ЭКГ, в котором выделяются так называемые R-пики. После этого вычисляются временные интервалы между близлежащими пиками, называемые RR-интервалами, затем анализируется зависимость длительности этих интервалов от времени. Сигнал фотоплетизмограммы (ФПГ) имеет собственные пики, соответствующие R-пикам ЭКГ-сигнала, поэтому ВСР может быть проанализирована с помощью ФПГ-сигнала.

Текущая работа включает в себя разработку носимого наручного браслета, считывающего сигналы ЭКГ и ФПГ и записывающего данные на карту памяти. Браслет основан на 32-битном микроконтроллере широкого применения на ARM-архитектуре, который управляет всеми блоками, такими как цифровой модуль ФПГ, систему питания и пользовательский интерфейс, расположенными внутри корпуса, напечатанного на 3D-принтере. Модуль ЭКГ представляет собой внешнюю плату, которую можно отключить от браслета, этот модуль предназначен для оценки адекватности сигнала ФПГ и оттачивания алгоритмов машинного обучения. В работе также сделаны выводы о точности измерений сигнала ФПГ.

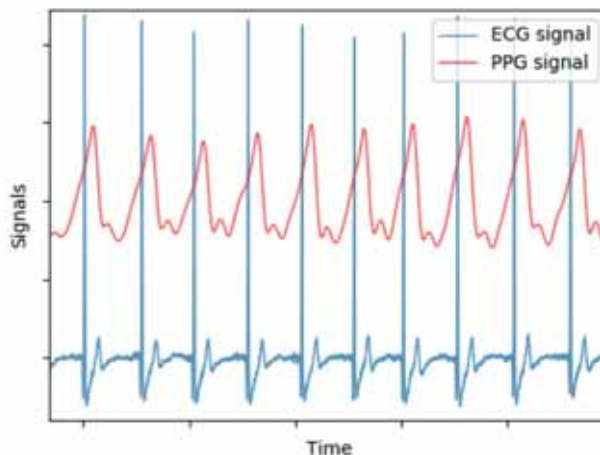
*Faizullin Marsel, Sakhno Sergey, PhD,  
Laboratory of Applied Cybernetic Systems, MIPT, Moscow*

### **PHOTOPLETHYSMOGRAM SIGNAL READING WEARABLE WRISTBAND DEVELOPMENT FOR HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS**

Heart Rate Variability (HRV) is the degree of fluctuation in the length of the intervals between heart beats. (Malik & Camm, 1995)

Variability in beat-by-beat heart period is an intrinsic characteristic of healthy cardiac functioning. This variability can reflect purposely generated responses to internal and external stimuli. The primary regulators of cardiac chronotropy, the parasympathetic and sympathetic nervous systems, are key determinants of the magnitude of spontaneous cardiovascular variability.

HRV typically are evaluated via ECG signal, where so called R-peaks are recognized. After this recognition, time intervals between the nearby peaks named RR-intervals are calculated and dependence of these intervals duration from time is analyzed. photoplethysmogram (PPG) signal has own peaks respective to R-peaks of ECG signal so what HRV can be analyzed via PPG signal (Fig. 1).



**Fig. 1.** ECG and PPG signals



Current work includes development of a wearable wristband reading PPG and ECG signals and tracing data to memory card. The bracelet is based on 32-bit wide application MCU, which manage all blocks contained in a 3D-printed enclosure such as digital PPG module, power system and user interface. ECG module is external PCB, which can be disconnected from wristband, it is aimed to reading ECG signal in case of evaluation of PPG signal adequacy and refining of machine learning algorithms (Fig. 2). There are some findings connected with accuracy of PPG signal measurements.



**Fig. 2.** Appearance of the device

### References

1. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal* (1996) 17, 354–381
2. Adina E. Draghici1 and J. Andrew Taylorcor. The physiological basis and measurement of heart rate variability in humans. *Journal of Physiological Anthropology* An official journal of the Japan Society of Physiological Anthropology (JSPA) 201635:22 <https://doi.org/10.1186/s40101-016-0113-7>

3. Jeyhani V. Jeyhani, V., Mahdiani, S., Peltokangas, M., & Vehkaoja, A. Comparison of HRV parameters derived from photoplethysmography and electrocardiography signals. In 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 5952-5955). / V. Jeyhani, S. Mahdiani, M.

*Федоренко В.В., д.т.н., Листова Н.В., к.т.н., СКФУ,  
Самойленко В.В., к.т.н., Самойленко И.В., к.т.н.,  
СтГАУ, г. Ставрополь*

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНОСТИ КВАНТОВАНИЯ НА ВЕРНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СООБЩЕНИЙ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ**

В работе рассмотрена система мониторинга, в которой формирование сигнала тревоги (аларма) на выходе датчика осуществляется только в случае превышения контролируемым параметром  $u(t)$  некоторого порогового уровня  $U_{п}$ . При этом длительность сообщения, который передается по каналу беспроводной сенсорной сети (БСС), является не фиксированной, а зависит от значения разности напряжений  $u_{\Delta}(t) = |u(t) - U_{п}|$ . В качестве показателя верности восстановления сообщений об уровнях алармов выбрана дисперсия ошибки восстановления сообщения, состоящая из суммы дисперсий ошибки квантования и канальной ошибки. При расчете данного показателя учитывается как погрешность квантования, так и характеристики помех в каналах БСС.

Целью работы является исследование возможности оптимизации числа разрядов оцифрованных сообщений, передаваемых по каналам БСС, с точки зрения повышения верности их восстановления в центре сбора данных. Эту цель отличают две особенности аналогоцифрового преобразования (АЦП) сигнала:

- 1) равномерное квантование аналоговых сигналов на выходе датчиков;

2) неравномерное кодирование сигналов при АЦП в сенсорных узлах, когда количество разрядов двоичного кода определяется уровнем сигнала на выходе датчика.

Под разрядностью квантования понимается количество дискретных отсчетов сигнала, учитываемых при формировании двоичного кода.

В результате воздействия канальной помехи на полезный сигнал возможно искажение элементов сообщения, которое оценивается вероятностью  $\partial_{ber}^{(k)}$  ошибочного приема символа двоичной кодовой комбинации. Предполагая ошибки при приеме символов независимыми и учитывая вероятность  $\rho_k$  появления  $k$ -х разрядов кодовой комбинации (как элементов сообщения), запишем вероятность того, что сообщение с  $n$  элементами принимается хотя бы с одной ошибкой:

$$P_n^{(1)} = 1 - \prod_{k=0}^{n-1} (1 - p_{er}^{(k)} \cdot \rho_k), \quad (1)$$

где  $\partial_{ber}^{(k)}$  – вероятность ошибочного приема  $k$ -го разряда оцифрованного сообщения.

В большинстве случаев распределение амплитуд алармов, как выбросов  $u$  измерительных сигналов над пороговым уровнем, как случайных величин, подчинено экспоненциальному закону с плотностью вероятностей:

$$P_n^{(1)} = 1 - \prod_{k=0}^{n-1} \left\{ 1 - p_{er}^{(k)} \cdot \exp \left[ 2^{k-n} \ln (P_{lim}) \right] \right\}.$$

$$W(u) = \lambda \cdot \exp(-\lambda u),$$

где параметр  $\lambda$  распределения случайной величины  $u$  может быть выражен через ее математическое ожидание  $\lambda = 1/M[u]$ .

Вероятность превышения величиной  $u$  максимального значения градации  $U_{\max}$ :

$$U_{\max} : P_{\lim} = \int_{U_{\max}}^{\infty} \lambda \exp(-\lambda u) du, \text{ откуда } \lambda = -(\ln P_{\lim})/U_{\max}.$$

Исходя из разрядности двоичного кода  $n$ , определяется число  $K_q$  уровней квантования в диапазоне измеряемых значений  $u$ . Для расчета вероятности  $\rho_k$  использования разрядов двоичного кода  $2^k$  (где  $k=0, \dots, n-1$ ) воспользуемся выражением

$$\rho_k = \int_{2^k}^{\infty} \lambda \exp(-\lambda u) du.$$

С учетом  $U_{\max} = 2^n$  получим

$$\rho_k = \exp(-2^k \lambda) = \exp[\ln(P_{\lim})/2^{n-k}],$$

откуда выражение (1) примет вид:

$$P_n^{(1)} = 1 - \prod_{k=0}^{n-1} \left\{ 1 - p_{er}^{(k)} \cdot \exp[2^{k-n} \ln(P_{\lim})] \right\}. \quad (2)$$

Для двоичного кода ошибка в младшем разряде  $k=0$  (где  $k \leq n$ ) вызывает погрешность в выходном сообщении, равную шагу квантования  $\Delta_u$ ; ошибка во втором символе (разряде) вызывает погрешность, равную  $2\Delta_u$ , и т.д. При этом дисперсия канальной ошибки, обусловленная наличием помех, определяется выражением:

$$\sigma_{\pi}^2 = P_n^{(1)} \left( \Delta_u^2 \sum_{k=0}^{n-1} 2^k \right)^2 / n = \left[ 1 - \prod_{k=0}^{n-1} (1 - p_{er}^{(k)} \cdot \rho_k) \right] \frac{U_{\max}^2}{4^n \cdot n} \sum_{k=0}^{n-1} 4^k. \quad (3)$$

Для нормированного интервала  $u_i \in [-1; +1]$  с шагом квантования, равным  $\Delta_u = 2^{-n+1}$ , выражение (3) преобразуется к виду:

$$\sigma_{\pi}^2 = \left[ 1 - \prod_{k=0}^{n-1} (1 - p_{er}^{(k)} \cdot \rho_k) \right] \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (1/4^{n-k-1}). \quad (4)$$

Как следует из (2) – (4), с увеличением разрядности п двоичного кода растет значение дисперсии канальной ошибки  $\sigma_{\pi}^2$ , причем данному росту способствует увеличение вероятностей  $P_{lim}$ .

Дисперсия ошибки квантования определяется выбором числа уровней квантования:

$$\sigma_q^2 = 1 / (3 \cdot 4^{n-1}) = 4 / (3 \cdot 4^n),$$

т.е. в отличие от канальной ошибки  $\sigma_{\pi}^2$ , чем больше разрядность п двоичного кода, тем меньше дисперсия ошибки квантования  $\sigma_q^2$ .

Доказано в работе, что характерной особенностью дисперсии суммарной ошибки

$$\sigma_{\Sigma}^2(n) = \sigma_{\pi}^2(n) + \sigma_q^2(n)$$

является наличие в диапазоне разрядности кодов  $n \in [2, 8]$  локальных минимумов

$$\min_n \sigma_{\Sigma}^2.$$

Сформулирована задача оптимизации разрядности квантования сигналов в БСС для случая, когда длина информационной части сообщения ограничивается последним верхним разрядом с «единичным» битом:

$$\sigma_{\Sigma}^2[n, p_{ber}, W(u)] \rightarrow \min_{r \leq n}.$$

Как следует из результатов исследований, хорошая эффективность решения данной задачи возможна в случаях экспоненциальной плотности распределения  $W(u)$  уровней сигналов на выходе датчиков, что характерно для большинства БСС.

*Fedorov A.Y., Portnov E.M., PhD,  
MIET, Moscow*

### **THE ALGORITHM OF PATH FINDING IN A CALL GRAPH**

Code analysis is an integral part of the software development process. This stage is important for early detection of errors and defects in programs, which improves the reliability and quality of the code. Static analysis is a type of software analysis, which allows developers to find a significant number of «simple» errors in an acceptable time [1].

The purpose of this study is to create a static analysis algorithm for searching all possible sequences of function calls leading to a certain point in the program. To achieve this goal, the graph of explicit function calls is analyzed (since this representation is the simplest and most accurate), in which all possible paths between two vertices are searched. The analysis does not consider indirect calls, such as calling a function through a pointer or reference, using a virtual method, etc.

The above problem can be reduced to finding all paths from the root node to the given one in the call graph. At the preparatory stage, a new graph is created based on the call graph, from which vertices and arrows that are not associated with the root or target vertices are deleted. Then a searching process is applied to the new graph, similar to the deep first search algorithm [2]. This searching process is described by the CSS (call stack searching) procedure.

The following arguments are passed to the CSS (call stack searching) procedure:

- *current\_node*  $\in V$  is the current node;
- *target\_node*  $\in V$  is the target node;
- *path* =  $(v_1, v_2, \dots, v_n) \in V \times V \times \dots \times V$  such that  $v_i$  is adjacent to  $v_{i+1}$  for  $1 \leq i < n$  and  $v_1 = s$ . Thus, there is a path from the original node to the node adjacent to *current\_node*;
- *marked\_array*  $\subseteq V$  is a subset of  $V$ .

CSS (*current\_node*, *path*, *marked\_array*, *target\_node*):

1. If  $current\_node = target\_node$  then  $(path, current\_node)$  – one of the desired paths. Return from this procedure.

2. If  $current\_node$  has no arrows or  $current\_node \in marked\_array$  then return from the procedure.

3. A new subset is created  $new\_marked\_array = marked\_array$ . If  $current\_node$  is in  $path$ , then  $new\_marked\_array = new\_marked\_array \cup current\_node$

4. For each  $next\_node$  is adjacent to  $current\_node$ , a  $new\_path$  is created based on  $path$  with the addition of  $next\_node$  and the procedure is executed:

$CSS(next\_node, new\_path, new\_marked\_array, target\_node)$ .

An experimental research has been conducted for proving that the algorithm works as intended. As a reference algorithm, the Yen's algorithm was used, which computes single-source K-shortest loopless paths for a weighted graph. Figures 1 and 2 shows the results of the experiment of finding all possible paths between two nodes in a loopless graph. The number of paths is shown on the X axis (figure 1 and figure 2), and the y axis reflects the value equal to the number of paths divided by the amount of time (spent for finding these paths). This value can be found by the formula:

$$E = \frac{n}{\sum_i^n t_i},$$

where  $n$  is the number of possible paths,  $t_i$  is the amount of time spent finding for the  $i$ -th path. Fig. 1 shows that the resulting graph decreases with increasing number of paths, while the proposed algorithm does not reduce performance.

As a result of the experiment, it was found that the proposed algorithm is able to find all the paths that the Yen's algorithm does, but it is much more efficient. The time spent by the proposed algorithm to find the paths in the graph is more than 10,000 times less than the time required for analysis by the Yen's algorithm. An additional advantage of the proposed algorithm is the ability to process loop graphs.

Proposed algorithm may be used as the base for code navigation tool. It can also improve the efficiency of static analysis.

## Yen's algorithm

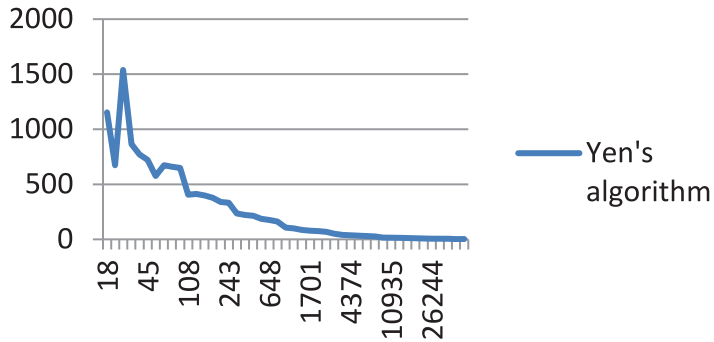


Fig. 1. The results of Yen's algorithm experiment

## Call stack searching

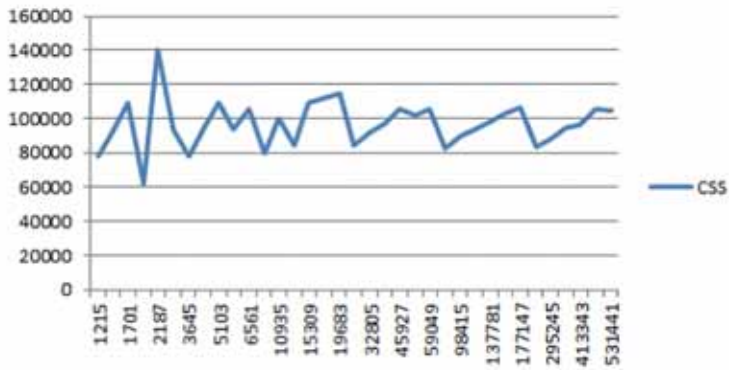


Fig. 2. The results of CSS algorithm experiment

## References

1. Fedorov A., Portnov E., Kokin V., Using static analysis for parallel software systems // Parallel computational technologies (PCT), 2017, p.537



2. Tarjan R. Depth-First Search and Linear Graph Algorithms // SIAM Journal on Computing 1, 1972, vol. 2, p. 146–160.

3. YenKSP // Github URL: <https://github.com/Pent00/YenKSP>

*Французова И.С., СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПУХОЛИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

Нормальное функционирование млекопитающих организмов в значительной степени зависит от работы и грамотного функционирования щитовидной железы. Нарушение функции щитовидной железы при любом уровне секреции гормонов может приводить к различным заболеваниям [1, 2].

Математическая модель функционирования щитовидной железы представляет собой задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. В моделях учитывается кинетика ферментативных реакций и основные биохимические реакции в щитовидной железе: вход йода, его связывание с тиреоглобулином, образование тироксина. В рассматриваемой модели предполагается, что злокачественные клетки опухоли поглощают здоровые по мере своего роста и распространения. Модель опухоли представляет собой краевую задачу для уравнений в частных производных. Приведено исследование на устойчивость для стационарных точек. Полученная система нелинейных уравнений решается численными методами.

Математическая модель фолликула щитовидной железы с учетом основных биохимических реакций: введение йода, его связывание с тиреоглобулином с образованием гормона Т4 [3, 4] и его накопление было разработано совместно с Ю. Балыкиной.

*Рассмотрены основные процессы в щитовидной железе: введенный активный йод, связывание йода с тиреоглобулином, образование гормона Т4, его связывание с высвобождением тиреоглобулина и Т4 через наружную мембрану щитовидной железы [2]. Были применены подходы в математической моде-*

ли, аналогичной используемой в [5]. Пусть  $u_I$  – активная концентрация йода в щитовидной железе,  $u_{Tg}$  – концентрация тиреоглобулина,  $u_{T4}$  – концентрация гормонов  $T4$ . Предполагается, что скорости связывания реакций йода, тиреоглобулина и гормона пропорциональны их концентрациям: скорость образования тиреоглобулина пропорциональна концентрации йода, а скорость образования гормонов  $T4$  пропорциональна концентрации тиреоглобулина. В этих предположениях первая реакция описывается функцией  $a_1 \mu_I \mu_{Tg}$ , а вторая –  $a_2 \mu_{Tg} \mu_{T4}$ . Таким образом, система дифференциальных уравнений, описывающих процессы в щитовидной железе, имеет следующий вид:

$$\frac{du_I}{dt} = v(u_I^0 - u_I) - a_1 u_I \mu_{Tg},$$

$$\frac{du_{Tg}}{dt} = \alpha a_1 u_I \mu_{Tg} - a_2 u_{Tg} \mu_{T4},$$

$$\frac{du_{T4}}{dt} = \beta a_2 u_{Tg} \mu_{T4} - P_{T4} u_{T4}.$$

В этих уравнениях  $P_{T4}$  – проницаемость наружной мембраны щитовидной железы,  $v$  – скорость проникновения йода в щитовидную железу,  $u_I^0$  – равновесная концентрация йода при отсутствии реакций,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  – положительные константы, характеризующие скорость реакции. Первое уравнение в (1) описывает скорость изменения концентрации йода: йод входит в коллоид и высвобождает его остатки (слагаемое  $v(u_I^0 - u_I)$ ) и скорость связывания йода с тиреоглобулином (слагаемое  $a_1 \mu_I \mu_{Tg}$ ). Таким образом, йод считается активным. Второе уравнение в (1) описывает скорость изменения концентрации тиреоглобулина: слагаемое  $\alpha a_1 \mu_I \mu_{Tg}$  – скорость образования тиреоглобулина, слагаемое  $a_2 \mu_{Tg} \mu_{T4}$  – скорость связывания тиреоглобулина с гормоном  $T4$ . Третье уравнение в (1) описывает образование гормона  $T4$  щитовидной железы: слагаемое  $\beta a_2 \mu_{Tg} \mu_{T4}$  – это скорость образования гормонов  $T4$ , слагаемое  $P_{T4} u_{T4}$  – скорость выско-

бождения гормона  $T_4$  через наружную мембрану щитовидной железы в кровотока.

В разработанной математической модели растущей опухоли рост опухолевых клеток происходит в функционирующем органе. Общеизвестно, что рост опухоли интерпретируется как автоволновое движение.

### Литература

1. Gesing A. and Bartke A. Decreased thyroid follicle size in dwarf mice may suggest the role of growth hormone signaling in thyroid growth regulation// Thyroid Research. 2012. 5(1). P. 7.
2. Parameswaran R., Brooks S. and Sadler G.P. Molecular pathogenesis of follicular cell derived thyroid cancers// Int. Journal of Surgery. 2010. 8. pp. 186-193.
3. Ovsyannikov D.A., Kotina, E.D. and Shirokolobov A.Y. Mathematical methods of motion correction in radionuclide studies// Problems of Atomic Science and Technology. 2013. 88 (6). pp. 137-140.
4. Balykina Ju.E., Kolpak E.P. and Kotina E.D. Mathematical Model of Thyroid Function// Middle-East Journal of Scientific Research. 2014. 19 (3). pp. 429-433.
5. Zhukova I.V., Kolpak E.P. and Balykina Ju.E. Mathematical Model of Growing tumor// Applied Mathematical Sciences. 2014. 8 (30). pp. 1455-1466.

*Himanshu Rai, MIPT, Moscow*

## **THE FEATURE SELECTION AND ANOMALY-BASED INTRUSION DETECTION SYSTEM**

Our aim is to develop an Anomaly-based Intrusion Detection System (ABIDS) with low false positive, to detect network anomalies by operating network data Build using the combination of techniques of fuzzy logic and evolutionary algorithm.

Different techniques employed in data mining like machine learning, classification tree, and support vector machines is used. The advantage of using data mining for intrusion detection like improved variant detection, controlled false alarms, reduced false dismissal and improved efficiency are cited [1]. We also use the Intelligence Intrusion Detection System (IIDS) that employ fuzzy logic and genetic algorithm [2].

Our objective is to implement the f-score [3] algorithm for selecting the most crucial feature for our Anomaly-based Intrusion Detection System, mine fuzzy rule set using the selected attributes and do the classification [4], improvising fuzzy logic system by optimizing evolutionary algorithm through reduction of its rule set and at last develop a second stage of classifier for each type of attack to reduce the false positivity of the fuzzy classification.

We have used primarily quantized the data by giving each non-numeric data a numeric value and processed the data through F-Score to obtain the importance of each feature in classification. In the second phase, An SVM library is used to classify the data in normal and attacks by using only selected features. By this process, we achieve the 99.91% accuracy of classifier over the full feature Classification in which we get 99.62% accuracy.

### References

- [1] M. Moorthy, Dr.S. Sathiyabama. "A study of Intrusion detection of using Data mining". IEEE-International conference on Advance in Engineering, Science and Management, 30-31, March 2012.
- [2] German Florez, Susan M. Bridges, Rayford B. Vaughn. "An Improved Algorithm for Fuzzy Data Mining for Intrusion Detection". Annual Meet of the North American Fuzzy Information Processing Society Proceedings, 2002.
- [3] Andrew H. Sung, Srinivas Mukkamala. "The Feature Selection and Intrusion Detection Problems" lecture notes
- [4]. Ming-Chuan Hung, Don-Lin Yang. "An Efficient Fuzzy C-Means Clustering Algorithm". Proceedings IEEE International Conference on Data Mining, 2001.

*Юдин Д.А., к. т. н., Капустина Е.О.,  
БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОЙ АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАКУРСОВ СЪЕМКИ АВТОМОБИЛЕЙ**

В процессе распознавания транспортного средства на изображении желательнее помимо его наличия/отсутствия определять и ракурс съемки, то есть какую часть транспортного средства видит наблюдатель, расположена ли она под углом к нему и т.п.

В данной работе рассматривается задача определения одного из четырех возможных ракурсов транспортного средства («вид сзади», «вид сзади под углом», «вид спереди», «вид спереди под углом») или факт его отсутствия на изображении (рис. 1). Для проведения эксперимента сформированы выборки, содержащие 23 267 изображений [1]. Обучающая выборка составляет 70% от всего количества имеющихся изображений, тестовая выборка 1–10%, тестовая выборка 2–20%. Они содержат изображения разного размера, которые получены с различных видеокамер в различных условиях съемки.

Наиболее эффективным инструментом для задач классификации графических образов в настоящее время считаются глубокие нейронные сети [2]. Для решения этой задачи в настоящей работе исследуется применение глубокой сверточной нейронной сети с архитектурой, подобной VGG [3], структура которой представлена на рис. 2, и которая содержит в себе чередующиеся блоки из последовательно соединенных двух слоев свертки и одного слоя подвыборки, которые обеспечивают автоматическое извлечение признаков изображения, и два полносвязных слоя для классификации искомого пяти классов. Все изображения предварительно масштабируются до размера 50×50 пикселей и подвергаются операциям небольшого сдвига и масштабирования, при этом нейронная сеть работает с цветными (трехканальными) изображениями.

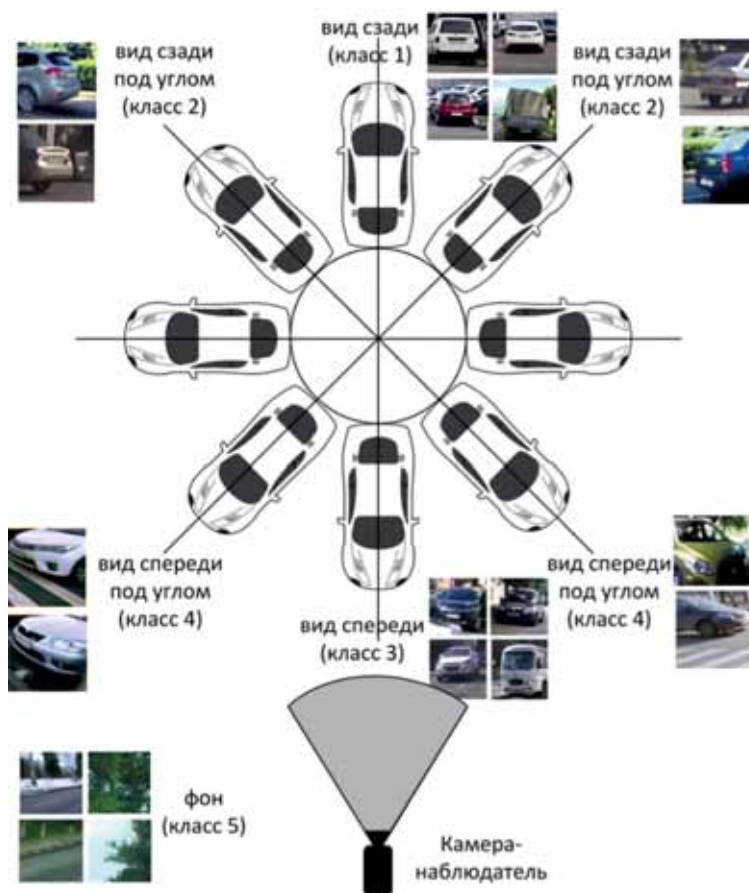


Рис. 1. Используемые в имеющемся наборе данных ракурсы автомобилей

Функция потерь, применяемая для обучения нейронной сети: `categorical_crossentropy`, метод обучения: `SGD`, в качестве метрик качества классификации использованы меры точности `accuracy` и `precision`, а также полнота (`recall`). Общее количество обучаемых весов нейронной сети: 594183. Размер `batch` при обучении составлял 32 изображения.

Эксперимент по оценке качества распознавания предлагаемой глубокой сверточной нейронной сети проводился с применением библиотек

TensorFlow и keras для языка python. Вычисления произведены с использованием технологии NVidia CUDA на графическом процессоре видеокарты GeForce GTX 960 с 2.00Гб оперативной памяти.

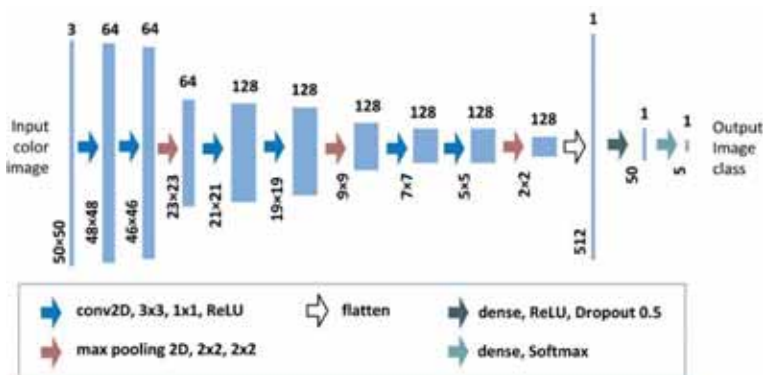


Рис. 2. Графическое представление применяемой структуры глубокой нейронной сети

Для повышения качества обучения нейронной сети в настоящей работе предлагается итерационная процедура повторного обучения нейронной сети с использованием ошибочно классифицированных изображений. С использованием этой процедуры был проведен вычислительный эксперимент на основе имеющихся тестовых наборов данных. В результате было установлено, что точность распознавания (accuracy) для всех классов на тестовой выборке повысилась до 97,2%, точность классификации (precision) варьируется для разных ракурсов автомобилей от 92,5 до 99,6%, полнота классификации (recall) – от 91,2 до 100%.

Важным аспектом для дальнейшего применения рассмотренного подхода является время классификации одного изображения, которое в среднем составляет 4,6–4,9 мс. Это говорит о том, что предлагаемая нейронная сеть может быть встроена в программный комплекс, функционирующий в реальном масштабе времени

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-3130.2017.9 (договор № 14. Z56.17.3130-МК).

### Литература

1. D. A. Yudin, E. O. Kapustina, “Dataset containing four car views and background», URL: <https://yadi.sk/d/xjQKIoyU3NNVyt>.
2. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature, 2015, vol. 521, pp. 436–444. doi:10.1038/nature14539.
3. K. Simonyan and A. Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. CoRR, abs/1409.1556, 2014.

*Yulyugin E.A., Intel Corporation, Stockholm*

### ***DIRECT EXECUTION TECHNIQUE AIMED TO IMPROVE PERFORMANCE OF SOFTWARE SIMULATION WORKLOADS FREQUENTLY ACCESSING TIME STAMP COUNTER***

Software simulation is an essential part of pre-silicon software development program aimed to minimize the gap between software and hardware availability. Simulation allows to find design errors and develop software for the new architecture far ahead the hardware availability thereby significantly decreasing time to market. Simulation solution should be fast to be useful for development of full software stacks like operating systems and hypervisors. Direct execution is the most prevalent technique used to achieve useful performance if target and host architectures are identical. Therefore major virtual machines virtualize Intel® 64 architecture by using Intel VT-x [1] virtualization technology to support direct execution.

Wind River® Simics® [2] is a full platform simulator that can run unmodified software stacks including UEFI and operating systems. It supports three CPU simulation modes: interpretation, justintime compilation and VMP – VT-x-based mode that is used to simulate Intel architecture targets efficiently. Simics mixes these modes to run innocuous instructions in hardware while simulating sensitive and missing on the host in software.



It was found that workloads that frequently accessing TSC (Time Stamp Counter) demonstrated insufficient performance while running on Simics. Such scenarios include hypervisors like KVM and XEN. The goal of this research is to develop a faster TSC simulation approach.

Existing TSC virtualization approaches can be divided into three types:

1. Software simulation – the most precise method but the slowest one because of expensive transitions between direct execution and software simulation modes. It is implemented in Simics and most other hypervisors.

2. Direct accesses to the host TSC while in direct execution mode can reduce overhead caused by simulation mode switching but makes the simulation behavior non-deterministic and less stable. It is supported by KVM [3].

3. Paravirtualization combines advantages of both previous approaches but needs changes and recompilation of target software which is usually impossible. This approach is not applicable because the goal of Simics is to run unmodified software.

It was decided to extend existing direct execution engine in Simics with new capabilities to handle accesses to time stamp counter directly in hardware thereby removing expensive transitions between different simulation modes. The goal of Simics is to simulate future architectures correctly while KVM virtualization capabilities are limited to hardware used to run it. That means that new direct TSC accessing approach able to accurately handle differences between target and host architectures is required.

New direct TSC approach was developed, implemented in Simics and verified on workloads running different hypervisors. Obtained speedup compared with unmodified Simics is represented on fig. 1.

It should be noted that developed approach demonstrating negative performance implications on workloads simulating multicore systems. Geometric mean is 1.11 for all workloads and 1.28 for workloads running on single core target systems. That can be explained by TSC desynchronization between simulated cores caused by direct TSC emulation. The desynchronization cannot be completely nullified because of the nature of Intel 64 architecture.

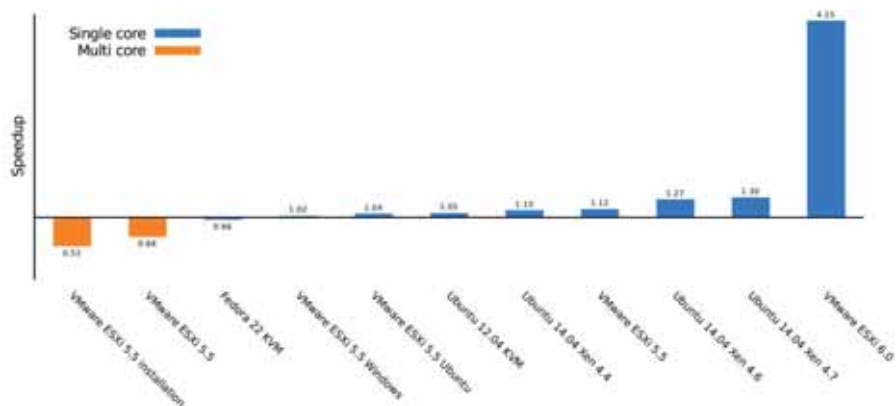


Fig. 1. Speedup achieved by direct execution of TSC accessing instructions

### Bibliography

1. Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual, Intel Corporation, 2017.
2. D. Aarno and J. Engblom, *Software and System Development using Virtual Platforms – Full System Simulation with Wind River Simics*, Morgan Kaufmann Publishers, 2014.
3. Z. Amsden. Timekeeping Virtualization for X86-Based Architectures. [Online]. Available: <https://www.kernel.org/doc/Documentation/virtual/kvm/timekeeping.txt>.

*Ле Ба Чунг, МФТИ,  
Преображенский Н.Б., к.т.н., с.н.с., Холопов Ю.А., ИТМиВТ, г. Москва*

### **АСИММЕТРИЧНЫЙ МЕЖМОДУЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ПРИНЦИПУ «ВЫНЕСЕННОЙ РУКИ»**

Рассмотрены межмодульные связи в цифровой системе управления, построенной по принципу «вынесенной руки» (ЦСУВР). В такой системе, функциональный состав оконечных устройств минимален и включает

в себя трансиверы межмодульного интерфейса и локальные подсистемы: измерительную и исполнительную.

Для центрального вычислителя (ЦВ), вынесенные периферийные устройства выполняют функции ввода-вывода. Вся переменная алгоритмическая часть, связывающая параметры состояния и управления, оказывается сконцентрированной в этом центральном вычислителе. Теперь изменение любого алгоритма в любой подсистеме управления ЦСУВР производится только в ЦВ.

Средства ввода-вывода ЦСУВР входят в состав оконечных устройств, непосредственно взаимодействующих с объектом управления. Они расположены удалённо, относительно центрального вычислителя, но скорость взаимодействия «центра» с периферийными устройствами должна быть такой, чтобы в системе не была заметна эта удаленность. Поэтому разрабатываемый межмодульный интерфейс должен обладать функциональным свойством «прозрачного» практически асинхронного средства пакетного обмена данными между ними. Прозрачность интерфейса реализуется за счёт многократных обменов, происходящих с максимально возможной частотой за время выполнения основного цикла управления.

Разработанный межмодульный интерфейс имеет следующие технические характеристики:

- аппаратно реализованная цикличность обменов;
- последовательная пакетная передача данных при минимальном количестве сигнальных связей между абонентами;
- максимальная пропускная способность обменов данными в полудуплексном режиме за счёт отсутствия пауз и упрощенного формата пакетов;
- стабильность периода разовой циклической транзакции;
- стабильность фазы транзакций за счёт пересинхронизации.

Предложенный асимметричный межмодульный интерфейс отличается не сложным механизмом управления обменом, простой структурой пакетов и высокой плотностью данных в пакете, что позволяет организовать

быстрые «прозрачные» связи между удаленными устройствами системы управления и центральным вычислителем.

### **Литература**

1. НОУ ИНТУИТ. Топология шина. Основы локальных сетей // НИЯУ «МИФИ». – 04/2005. – ISBN 978-5-9556-0032-1.
2. Холопов Ю.А., Ле Ба Чунг, Нгуен Тхань Чунг, Чан Ван Хань. Особенности реализации распределенных систем управления на основе аппаратных сетевых решений // Информационные технологии. – 7/2016. – №7(22). – С. 494-498. – ISSN 1684-6400.
3. Ле Ба Чунг, Холопов Ю.А. Межмодульный интерфейс // Тезисы докладов 43-ой Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения». Москва, 05-20 апреля 2017 г.» – М.: МАИ, 2017. – С.758. – ISBN 978-5-90363-115-5.

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
------------------	---

## **СЕКЦИЯ 1. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ..... 6**

<i>Бородин М.А., Рыбкин А.С., Уривский А.В.</i> <i>ОБ УСЛОВНЫХ ВЕРОЯТНОСТЯХ ВЫХОДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГПСЧ, ОСНОВАННЫХ НА ПОДСТАНОВКАХ.....</i>	<i>6</i>
<i>Боярова Е.В., Ефименко Г.А.</i> <i>ВЫПУСКНИКИ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ «ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ ИНЖИНИРИНГ» ВШСИ МФТИ КАК АГЕНТЫ ИЗМЕНЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ.....</i>	<i>8</i>
<i>Быстров К.С., Грызов Г.Ю., Дворкович А.В., Дворкович В.П.</i> <i>ВЕЙВЛЕТНОЕ ВИДЕОКОДИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОДИРОВАНИЯ.....</i>	<i>13</i>
<i>Говоров М.С., Данилов М.И.</i> <i>ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СКАНЕРОВ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ, ПРИМЕНИМЫХ В СИСТЕМАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ, И ПРИНЦИПЫ ИХ РАБОТЫ.....</i>	<i>15</i>
<i>Горбачев С.В., Абрамова Т.В.</i> <i>МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ АДАПТИВНОГО НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА.....</i>	<i>17</i>
<i>Дворкович А.В.</i> <i>ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ СЛУЖБЫ ВЕЩАНИЯ.....</i>	<i>22</i>
<i>Derugina O.A.</i> <i>TOOL SUPPORT FOR THE UML CLASS DIAGRAM REFACTORING ....</i>	<i>24</i>
<i>Дюмин А.А., Возненко Т.И., Гриднев А.А., Андрианова С.В.</i> <i>СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШЕНИЙ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В РАМКАХ КУРСА «ВВЕДЕНИЕ В НАУКУ О ДАННЫХ» НА МООК-ПЛАТФОРМЕ.....</i>	<i>26</i>
<i>Жевненко Д.А., Горнев Е.С., Вергелес С.С., Кузьменко В.О., Дудкин П.В., Жабин С.Н., Криштон В.Г.</i> <i>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ СЕТОЧНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....</i>	<i>28</i>

<i>Жирнов Николай, Кирьянов Антон, Хоров Евгений</i> <i>РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЖУРОВНЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ В СЕТЯХ 5G</i> .....	31
<i>Захарчук О.Т., Шушкевич Н.А., Тяжкун С.П.</i> <i>ПЕРЕВОД СТАНДАРТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ВЫПОЛНЕНИЕ ОКР, В ИСПОЛНЯЕМЫЕ МОДЕЛИ И СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ САМООБУЧАЮЩИХСЯ ИТ-СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТАМИ ПРИ СОЗДАНИИ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ</i> .....	33
<i>Земляков Д.А.</i> <i>АВТОМАТИЧЕСКАЯ ВЕКТОРИЗАЦИЯ ВЫЗОВОВ ТРАНСЦЕНДЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ В ЦИКЛАХ С БОЛЬШИМ ИЛИ НЕИЗВЕСТНЫМ ЧИСЛОМ ИТЕРАЦИЙ</i> .....	38
<i>Зуев Д.А., Калистратов А.П., Семкин П.С.</i> <i>ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ФЛАЖОЛЕТА–МАРТИНА ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ</i> .....	41
<i>Катаева Е.С.</i> <i>ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА АППРОКСИМАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ</i> .....	43
<i>Kuzmenko Vladimir, Koldaev Alexander</i> <i>NEURO-FUZZY DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CONTROLLING THE BUTANOL HYDROGENATION PROCESS</i> .....	46
<i>Куреев А.А., Левицкий И.А., Ляхов. А.И., Хоров. Е.М.</i> <i>ПЛОТНЫЕ СЕТИ WI-FI: МОЖНО ЛИ ПОЛАГАТЬСЯ НА ЭФФЕКТ ЗАХВАТА КАНАЛА?</i> .....	48
<i>Линк И.П.</i> <i>НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЯ МЕЖМАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ</i> .....	50
<i>Maaz Amjad, Kaimuldenov Zhanibek, Ilia Voronkov</i> <i>AN EMPIRICAL STUDY OF TEXT CLASSIFICATION WITH DEEP LEARNING NEURAL NETWORKS</i> .....	52
<i>Нгуен Нгок Зуен, Мишустин И.А.</i> <i>ПРИНЦИП СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОНОПОДОБНЫХ</i> .....	53
<i>Савин Е.А.</i> <i>ВЧ МЭМС ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ</i> .....	55

<i>Samokhina M., Trushina O.</i> <i>CODE-BASED CRYPTOSYSTEMS EVOLUTION</i> .....	56
<i>Сарьян В.К., Саломатина Е.В.</i> <i>УПРАВЛЕНИЕ ТРАФИКОМ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ СЕТИ</i> .....	59
<i>Старых Д.Д., Шихалиев И.И., Лукиных С.Н., Наний О.Е.,</i> <i>Трещиков В.Н., Коньшев В.А.</i> <i>РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ РАМАНОВСКИЕ УСИЛИТЕЛИ</i> <i>В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ</i> .....	63
<i>Чалый Д.Ю., Антошина Е.Ю.</i> <i>ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ</i> <i>ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ</i> <i>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМАНТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ</i> .....	65
<i>Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Nagornov N.N.</i> <i>SMOOTHING FILTERING OF IMAGES IN THE RESIDUE</i> <i>NUMBER SYSTEM</i> .....	69
<b>СЕКЦИЯ 2. СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОСВЯЗИ</b> .....	74
<i>Гаврилин В.В., Кривошеев Ю.В., Шишлов А.В.</i> <i>РЕБРИСТО-СТЕРЖНЕВАЯ АНТЕННА С ВОЛНОВОДНО-КОАКСИАЛЬНЫМ ПЕРЕХОДОМ</i> .....	74
<i>Задорожный А.С.</i> <i>АНАЛИЗ 1D-ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ</i> <i>РЕШЁТКИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА ФЛАНЦЕ</i> .....	77
<i>Иванов Ф.И., Рыбин П.С.</i> <i>ВЛОЖЕННЫЕ МПП-КОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА МОДУЛЯРНЫХ</i> <i>ЛИНЕЙКАХ ГОЛОМБА</i> .....	79
<i>Копылов А.А., Зимин И.В., Кобельков Г.П.</i> <i>РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ</i> <i>РАСПОЗНАВАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ</i> <i>ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ПО ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ</i> <i>ПРИЗНАКАМ</i> .....	82
<i>Куракова Т.П., Самойлов А.Г., Самойлов С.А.</i> <i>РАЗРАБОТКА ИМИТАТОРА РАДИОКАНАЛОВ МОБИЛЬНОЙ</i> <i>СВЯЗИ ПОКОЛЕНИЯ 5G</i> .....	85
<i>Литновский В.Я., Лацерус К.Ф., Зимин И.В.</i> <i>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБРАТНОГО</i> <i>АПЕРТУРНОГО СИНТЕЗА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ</i> <i>ЗА КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ</i> .....	87

<i>Лутков А.Н.</i> <i>РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДЕКОДИРОВАНИЯ БЛОКОВОГО ТУРБОКОДА НА ПРОЦЕССОРЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ</i> .....	89
<i>Минин Ю.Б., Крупник Е.С., Дубров М.Н.</i> <i>РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ АБСОЛЮТНЫХ РАССТОЯНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ</i> .....	92
<i>Murzova M.A., Farber V.E.</i> <i>THE A-B FILTER FOR TRACKING MANEUVERING OBJECTS WITH LFM WAVEFORMS</i> .....	95
<i>Назаренко А.П., Сарьян В.К.</i> <i>СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОЛИГОНА СЕТИ МОНИТОРИНГА ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</i> .....	97
<i>Nazarenko A.P., Sarian V.K., Yakoubovsky R.M.</i> <i>SMART EVACUATION DURING EMERGENCIES IN SMART CITIES AND COMMUNITIES</i> .....	103
<i>Некрасова Е.С., Скобелев С.П.</i> <i>МОДИФИКАЦИЯ ГИБРИДНОГО ПРОЕКЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НЕОДНОРОДНОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ</i> .....	107
<i>Новичихин Е.П., Плющев В.А., Солдатенко А.П., Горбачев Д.А., Сидорова М.И.</i> <i>РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ДИСТАНЦИОННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ СВЧ-РАДИОМЕТРА, РАЗМЕЩЁННОГО НА БОРТУ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА</i> .....	108
<i>Паринов Е.Г., Зимин И.В., Кобельков Г.П.</i> <i>МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБЪЕКТО В КОНТРОЛЯ В ПОЛНОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОМ БАЗИСЕ</i> .....	110
<i>Салихов Р., Хабибуллина Л.В., Яббарова Д.Р.</i> <i>ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ</i> .....	112



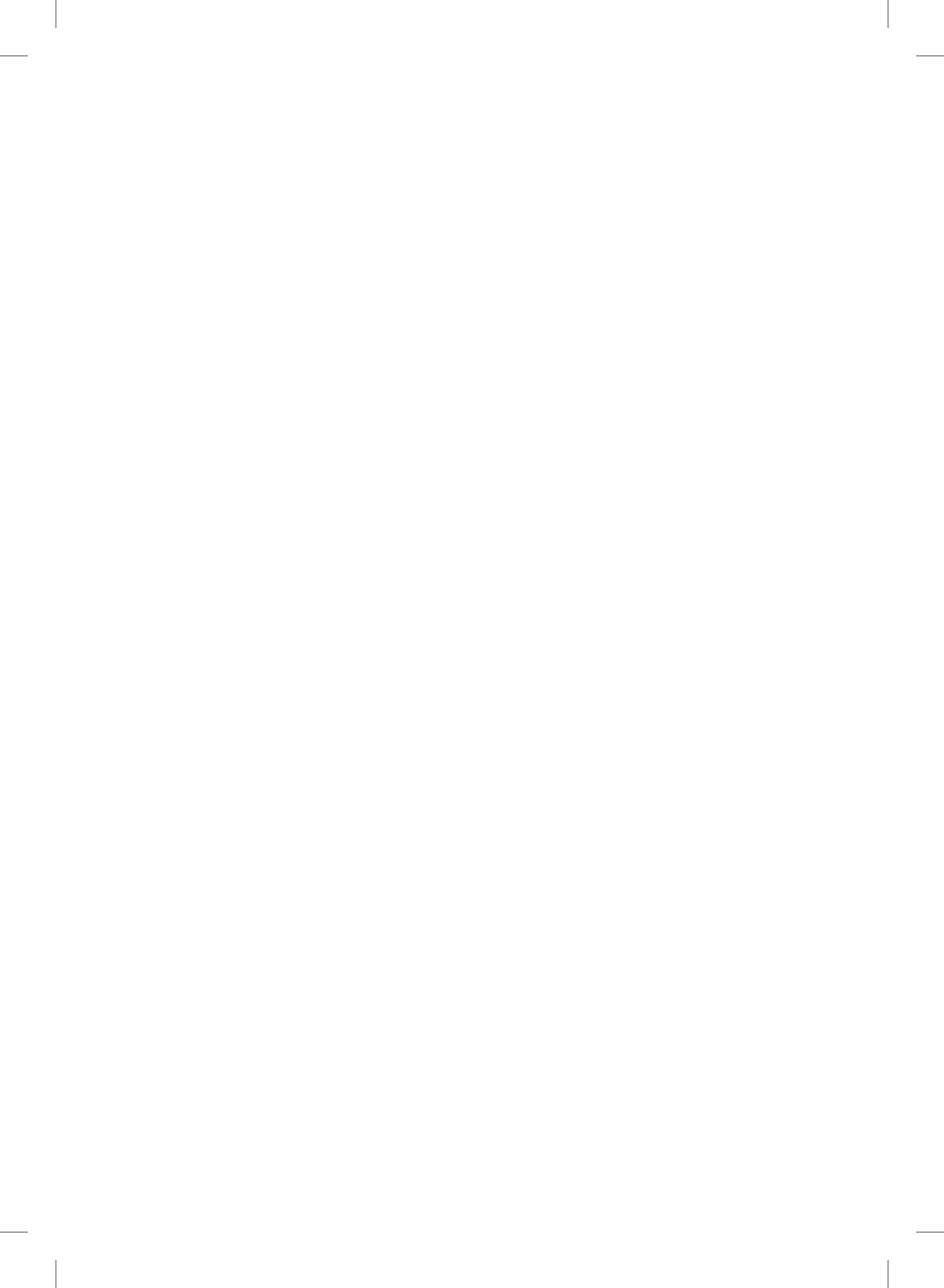
Сидров И.А., Плющев В.А., Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Новичихин Е.П., Хаарбринк Роланд ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЧ-РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ДВУХ И ТРЁХОПОРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ .....	114
Файзиев Ш.А., Собиров Ю.Б., Махмудов Х.М., Газиев Г.А., Абдунабиев А. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ .....	118
Фомиряков Э.А. Кузьменков А.И., Никитин С.П., Трещиков В.Н., Наний О. Е. ВЛИЯНИЕ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРА НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КОГЕРЕНТНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА. ....	121
Хабибуллина Л.В. ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РОСТА ТОНКИХ ПЛЕНОК .....	124
Харасов Д.Р., Кузьменков А.И., Горбуленко В.В., Никитин С.П., Наний О.Е., Трещиков В.Н. УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ КОГЕРЕНТНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАМАНОВСКОГО УСИЛЕНИЯ .....	126
Чурилин И.А., Никитин С.П., Моисеев В.В., Наний О.Е., Трещиков В. Н., Антонов А.Н., Белотелов К.С., Компаниец Ю.И., Криштон В.Г. ИЗМЕРЕНИЕ ДВУХИМПУЛЬСНЫМ КОГЕРЕНТНЫМ РЕФЛЕКТОМЕТРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ. ....	129
Яббаров Д.Р., Хабибуллина Л.В., Салихов Р. ОБНАРУЖЕНИЕ ЭФФЕКТА «ЗАПАИВАНИЯ» УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ .....	123
Yakoubovsky R.M., Nazarenko A.P., FSUE NIIR, Sarian V.K. DISASTER NOTIFICATION OF THE POPULATION IN SMART CITIES AND COMMUNITIES .....	135
<b>СЕКЦИЯ 3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ .....</b>	<b>143</b>
Астапенко В.А., Сахно С.В., Храмов Е.С., Мороз Н.Н., Яковец А.В. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ПЛАЗМОННЫХ СЕНСОРОВ НА НАНОЧАСТИЦАХ ИТО .....	143

<i>Астапенко В.А., Храмов Е.С., Сахно Е.В.</i> <i>ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПУТЁМ ОЦЕНКИ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ</i> . . . . .	146
<i>Головинский П.А., Астапенко В.А., Сахно С.В.</i> <i>ДИФРАКЦИЯ ПРЕДЕЛЬНО КОРОТКОГО ИМПУЛЬСА НА ЦИЛИНДРЕ</i> . . . . .	149
<i>Данилин С.Н., Шаников С.А., Пантелеев С.В., Сакулин А.Е.</i> <i>АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПУСКОВ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ МЕМРИСТОРОВ</i> . . . . .	152
<i>Жиглатый А.А.</i> <i>ОБ УСТОЙЧИВОСТИ И СХОДИМОСТИ ЗАДАЧИ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЕЩЕСТВЕННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ</i> . . . . .	155
<i>Исупов К.С., Князьков В.С., Куваев А.С.</i> <i>БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ МАСШТАБИРОВАНИЯ СТЕПЕНЬЮ ДВОЙКИ ДЛЯ СИСТЕМ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ С БОЛЬШИМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ДИАПАЗОНАМИ</i> . . . . .	157
<i>Казиахмедов Э.А., Киреев К.С., Семенцов-Огиевский В., Лунёв Д.В.</i> <i>РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСКОВОГО ФОРМАТА ДЛЯ VIRTUOZZO HYPERVISOR В QEMU</i> . . . . .	160
<i>Кожевников Н.А., Кондратьев В.В., Хачатуров Л.А.</i> <i>РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ АРХИТЕКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМНОМ ИНЖИНИРИНГЕ И МЕНЕДЖМЕНТЕ 2.0</i> . . . . .	162
<i>Колыбельников А.И.</i> <i>РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧА В ГРУППЕ АБОНЕНТОВ</i> . . . . .	164
<i>Ле Тхи Чанг Линь, Дао Куанг Минь</i> <i>ОБЪЕДИНЕНИЕ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО ЛЕСА И МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЧИСЛА ПРИЗНАКОВ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ DOS-АТАК НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ UNSW-NB15</i> . . . . .	170
<i>Лукашова Т.О., Никитин С.П., Трещиков В.Н.</i> <i>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА</i> . . . . .	172

<i>Лутай В.Н.</i> <i>ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ</i> .....	175
<i>Листова Н.В., Федоренко В.В., Самойленко В.В., Самойленко И.В.</i> <i>МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ ПОТОКОВ РАЗНОПРИОРИТЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕНСОРНОМ УЗЛЕ</i> .....	178
<i>Пирская Л.В.</i> <i>ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕЛЬТА-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ</i> .....	181
<i>Пономарев Е.С., Меркулов Д.М.</i> <i>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОМОЩИ МУЗЫКАНТУ</i> .....	183
<i>Тычков А.Ю., Алимуратов А.К., Агейкин А.В., Чураков П.П., Тычков А.Н., Горбунов В.Н., Вишневская Г.В.</i> <i>АНАЛИЗ ЭЭГ НА ОСНОВЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ НА ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПСИХИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ</i> .....	186
<i>Uzhinsky Ighor K.</i> <i>DIGITAL TWINS IN CYBER-PHYSICAL MANUFACTURING SYSTEMS</i> .....	188
<i>Файзуллин Марсель, Сахно Сергей</i> <i>РАЗРАБОТКА НОСИМОГО НАРУЧНОГО БРАСЛЕТА, СЧИТЫВАЮЩЕГО СИГНАЛ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА</i> .....	193
<i>Федоренко В.В., Листова Н.В., Самойленко В.В., Самойленко И.В.</i> <i>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНОСТИ КВАНТОВАНИЯ НА ВЕРНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СООБЩЕНИЙ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ</i> .....	194
<i>Fedorov A.Y., Portnov E.M.</i> <i>THE ALGORITHM OF PATH FINDING IN A CALL GRAPH</i> .....	198
<i>Французова И.С.</i> <i>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПУХОЛИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ</i> .....	201
<i>Himanshu Rai</i> <i>THE FEATURE SELECTION AND ANOMALY-BASED INTRUSION DETECTION SYSTEM</i> .....	203

---

<i>Юдин Д.А., Капустина Е.О.</i> <i>ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОЙ АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ</i> <i>СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАКУРСОВ СЪЕМКИ</i> <i>АВТОМОБИЛЕЙ</i> .....	205
<i>Yulyugin E.A.</i> <i>DIRECT EXECUTION TECHNIQUE AIMED TO IMPROVE</i> <i>PERFORMANCE OF SOFTWARE SIMULATION WORKLOADS</i> <i>FREQUENTLY ACCESSING TIME STAMP COUNTER</i> .....	208
<i>Ле Ба Чунг, Преображенский Н.Б., Холопов Ю.А.</i> <i>АСИММЕТРИЧНЫЙ МЕЖМОДУЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕЙС</i> <i>ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ПОСТРОЕННОЙ</i> <i>ПО ПРИНЦИПУ «ВЫНЕСЕННОЙ РУКИ»</i> .....	210



*Научное издание*

**IV International Conference**  
**«Engineering & Telecommunication En&T 2017»**  
November 29–30, 2017  
**Book of Abstracts**

**IV Международная конференция**  
**«Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T 2017»**  
29–30 ноября, 2017  
**Сборник тезисов**

Editors: *E. Pavlyukova, L. Uzhinskaya, Z. Suroyegina*  
Desktop publishing *V. Druzhinina, E. Kazennova*

Подписано в печать 24.11.2017. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Усл. печ. л. 12,93. Тираж 100 экз. Заказ № 170202

Number of copies printed 100. Format 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Order N 170202

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education  
“Moscow Institute of Physics and Technology (State University)”  
Institutskii per. 9, Dolgoprudny, Moscow Region, 141700 Russia

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»  
141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

Отпечатано ООО «Деловая полиграфия»,  
121352, Москва, ул. Давыдовская, 12-1-11.  
Тел. +7 (499) 110-17-34.