



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

2



# АЛЬМАНАХ

НАУЧНЫХ РАБОТ  
МОЛОДЫХ  
УЧЕНЫХ

2018

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**АЛЬМАНАХ  
НАУЧНЫХ РАБОТ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
Университета ИТМО**

**Том 2**



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

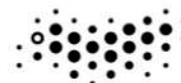
**2018**

Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 2. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 422 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на XLVII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематикам: интернет-технологии и программирование; компьютерные технологии и управление.

ISBN 978-5-7577-0589-7

ISBN 978-5-7577-0591-0 (Том 2)



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2018

© Авторы, 2018

## **ВВЕДЕНИЕ**

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные 30 января – 2 февраля 2018 года на XLVII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематикам: интернет-технологии и программирование; компьютерные технологии и управление.

Конференция проводится в целях усиления интегрирующей роли университета в области научных исследований по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники и ознакомления научной общественности с результатами исследований, выполненных в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, программы развития Университета ИТМО на 2009–2018 годы, программы повышения конкурентоспособности Университета ИТМО среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 гг., Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ, грантов РФФИ, РГНФ, РНФ и Правительства РФ (по постановлению № 220 от 09.04.2010 г.) и по инициативным научно-исследовательским проектам, проводимым учеными, преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами, магистрантами и студентами университета, в том числе в содружестве с предприятиями и организациями Санкт-Петербурга, а также с целью повышения эффективности научно-исследовательской деятельности и ее вклада в повышение качества подготовки специалистов.

**Фролова Ксения Сергеевна**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,

кафедра геоинформационных систем, студент группы № К3200

Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи

e-mail: atera.610@gmail.com

УДК 004.942:[576.314 + 577.334]

**ВРЕМЯ ЖИЗНИ КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНЫ В ПОТОКЕ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ**

**Фролова К.С. (Университет ИТМО)**

**Научные руководители: д.ф.-м.н., профессор Мамыкин А.И. (Университет ИТМО, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»); к.ф.-м.н. Рассадина А.А. (Университет ИТМО)**

В работе выполнено моделирование воздействия свободных радикалов на клеточную мембрану живого организма с целью определения времени жизни клетки при ее окислении. Рассмотрены три случая воздействия: при резком кратковременном повышении концентрации радикалов; при хронически превышенной концентрации свободных радикалов; а также состояние динамического равновесия.

**Ключевые слова:** клеточная мембрана, моделирование организма, окисление, время жизни клеточной мембраны.

Свободные радикалы влияют на развитие многих социально значимых заболеваний (например, рак, болезнь Альцгеймера). Кроме этого, они играют важную роль в процессе старения клетки [1].

В настоящей работе все заболевания свободнорадикальной природы были разделены на две группы. В первой группе патология вызывалась резким повышением концентрации супероксида, эту группу болезней авторы рассматривали на примере экзофтальма. Во второй группе в крови животных длительное время поддерживалась незначительно повышенная концентрация свободных радикалов, группа рассматривалась на примере полимиозита. При этом стоит понимать, что появление свободных радикал – естественный процесс, связанный с дыханием организма. Также некоторые реактивные формы кислорода важны при передаче информации внутри клетки.



Рис. 1. Определение гомеостаза

В работе рассмотрено влияние свободных радикалов на стенку клеточной мембраны. Она представляет собой нейтральную поверхность с вкраплениями положительных центров

(интегральных белков). Была разработана программа, которая моделирует взаимодействие между мембраной клетки и свободными радикалами. Программа была написана на C++. В программе поверхность мембраны представлена в виде квадратной матрицы, по которой случайным образом распределялись положительные центры. Отрицательные частицы (свободные радикалы) также случайно распределялись по матрице (их количество определялось плотностью потока). Эти частицы имели несколько вариантов поведения с разными вероятностями: отлететь от поверхности, окислить положительный центр, задержаться около положительного центра и окислить его на следующем шаге. В течение некоторого времени окисленные клетки могли восстановиться. Окончательно окисленные клетки считались мертвыми, они могли распространять окисление и образовывать кластеры. В результате работы программы был получен процент мертвых клеток.

На рис. 1 показано, как выглядит эта матрица, в таблице приведены условные обозначения.

Таблица. Условные обозначения

Обозначения на рис. 1	Значение
0; 0,3	нейтральные центры
0,8	положительные центры
-1; -2	клетки в процессе окисления
-4	мертвые клетки
-3	центр распространения кластера

На основе полученных данных определялась нормальная концентрация радикалов при гомеостазе. Исходя из полученной плотности потока свободных радикалов, для динамического равновесия моделировался экзофтальм и полимиозит; строились графики зависимости процента мертвых клеток от времени для этих моделей (рис. 2).

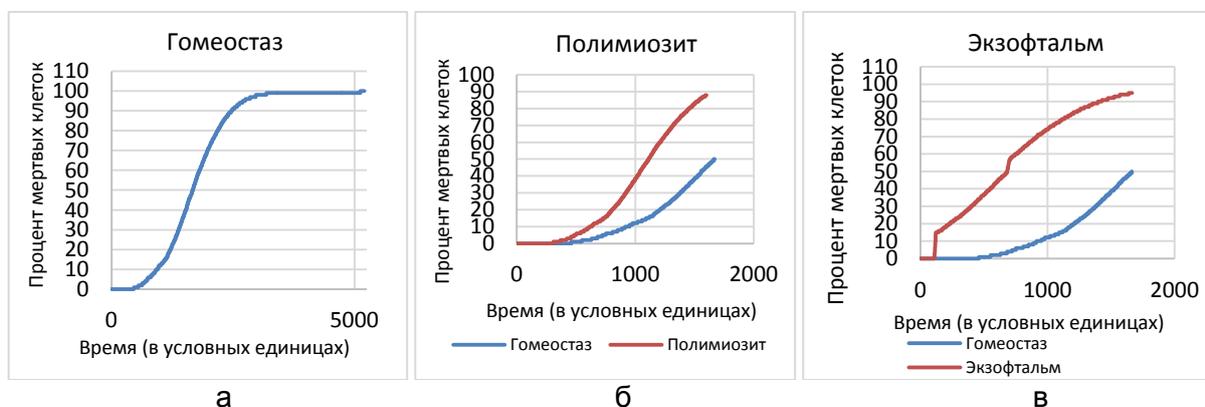


Рис. 2. Гомеостаз (а); полимиозит (б); экзофтальм (в)

Из графиков на рис. 2 видно, что даже в состоянии динамического равновесия время жизни клетки ограничено. При вводе ударной дозы радикалов скорость смерти клеток резко возрастала, но потом приходила в исходное состояние. При хронически повышенной концентрации радикалов в организме форма кривой оставалась такой же, как и в гомеостазе, но скорость смерти была больше.

Окислительный стресс играет важную роль в жизнедеятельности организма, поэтому понимание физических основ этого процесса и построение соответствующих математических моделей является важной задачей.

## Литература

1. Мамыкин А.И. Экспериментальное моделирование полимиозита формы Вагнера-Унферрихта. Физиологические, физические и математические аспекты // Вестник Военно-медицинской академии. – 2013. – Т. 40. – № 4. – С. 153–159.

**Краснова Полина Евгеньевна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
студент группы № К4140Направление подготовки: 09.04.01 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: krasnova.poline@gmail.com

**Говоров Антон Игоревич**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: antongovorov@gmail.com

УДК 004.09

**ОБЗОР ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПОДДЕРЖКИ МОТИВАЦИИ  
СТУДЕНТОВ В ИНТЕРФЕЙСАХ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
РЕСУРСОВ****Краснова П.Е., Говоров А.И.****Научный руководитель – к.педагог.н. Валитова Ю.О.**

Работа посвящена обзору используемых инструментов поддержки мотивации студентов в интерфейсах информационно-образовательных ресурсов. Проведен анализ информационно-образовательных ресурсов на использование инструментов поддержки мотивации.

**Ключевые слова:** информационно-образовательные ресурсы, геймификация.

В России на данный момент более 4,4 миллионов студентов [1]. Многие университеты в процессе обучения используют информационно-образовательные ресурсы (ИОР). Недостаточное внимание в вузах уделяется поддержке мотивации студентов и преподавателей в процессе использования ИОР.

Цель данной работы – провести обзор используемых инструментов поддержки мотивации студентов в интерфейсах ИОР. Для достижения данной цели нужно было:

1. выявить основные признаки человеко-понятных интерфейсов;
2. изучить инструменты геймификации;
3. провести обзор ИОР, выявить инструменты геймификации, встроенные в ИОР;
4. выявить самые популярные инструменты геймификации.

Разберемся, для чего нужны человеко-понятные интерфейсы. Обобщенной целью ИОР является создание удобной образовательной среды для обучаемых и обучающихся [2]. Мотивация – это внутреннее или внешнее побуждение к действию ради достижения какого-либо результата [3]. Для того чтобы интерфейсами ИОР пользовались, необходимо, чтобы с использованием его достигался какой-либо результат, при этом эти интерфейсы должны побуждать к действию ради этого результата.

Если интерфейс пользователю не понятен, он, скорее всего, будет избегать пользования им. Возможно, он будет пользоваться только в особо исключительных ситуациях (когда никак без него нельзя обойтись), либо вообще не будет пользоваться. Именно поэтому нужно стремиться к тому, чтобы интерфейс был понятен пользователям.

Рассмотрим характеристики интерфейсов, которые позволят сделать его удобнее, что улучшит процесс использования. Опираясь на данные статьи «Характеристики удачного пользовательского интерфейса» журнала «The futureweb» (это журнал для UI/UX дизайнеров и веб-разработчиков) можно выделить такие характеристики человеко-понятного интерфейса:

1. Доступность – интерфейс должен быть интуитивно понятен вашему пользователю;
2. Минимализм – добавляя все больше и больше элементов, разработчики делают большую ошибку – загромождают интерфейс. Нужно делать вещи понятными, но с минимальной загруженностью, если можно описать что-то одним предложением, нужно описывать одним, если можно подписать элемент одним словом, лучше подписать одним;
3. Уверенность – команда разработчиков считает, что они сделали интерфейсы интуитивно понятными, но это сугубо их личное мнение. Следует обязательно тестировать интерфейсы на других людях, следить за каждым их действием и ошибками, которые они совершают. Таким образом, собирается ряд упущений в интерфейсе;
4. Отзывчивость – сайт должен загружаться быстро, и о каждом непонятном действии нужно сообщать пользователю, например, когда он нажал на кнопку отправить, можно вывести прогресс-бар и подписать, что идет отправка;
5. Соответствие контенту – при выборе определенных решений при создании дизайна нужно принимать в расчет тип содержимого страницы. Разные страницы могут содержать контент разного типа. Следует адаптировать каждую страницу под соответствующий ей контент, создавать элементы управления, которые упростят пользователю работы с сайтом;
6. Привлекательность – в рамках контекста работы ИОР хороший интерфейс должен быть привлекательным для целевой аудитории;
7. Эффективность – хороший интерфейс должен давать возможность пользователю с наименьшими усилиями выполнить интересующее его действие. Очень важно понять, что пользователь чаще всего хочет выполнить на определенной странице.

Сделав интерфейс человеко-понятным, разработчики позволят сайту не терять пользователей, из-за того, что посетители не поняли, как пользоваться интерфейсами.

Изучая способы поддержки мотивации можно заметить, что стала популярна геймификация. Геймификация – это использование игровых подходов, которые широко распространены в компьютерных играх, для неигровых процессов, что позволяет повысить вовлеченность участников в решение прикладных задач [4].

Геймификация работает, потому что мотивация нового поколения с раннего детства строилась не на долге и правильности, а на увлеченности и вознаграждении. Также необходимость в применении геймификации возникла в силу того, что старые мотивационные схемы часто не работают. Метод кнута и пряника эффективен далеко не всегда. Дело в том, что люди, играющие в игры, отлично представляют, что такое уровни, прокачка, задания (quests), награды, достижения. При этом могут совершенно не понимать, что от них ждет начальник или как получить максимум от вашего сервиса. Многие люди уже инстинктивно прокачивают свой уровень, развивают навыки, выполняют задания и ставят рекорды. Этим можно и нужно пользоваться [5].

Существуют игровые механики от компании SCVNGR. Они создали колоду карт с 50 механиками, которые можно смешивать, формируя основу для разных типов игр. Разберем некоторые игровые механики, которые представлены в ИОР [6].

1. Динамика прогресса – механика, при которой успех игрока отображается пошагово и измеряется в процессе выполнения заданий, разбитых на пункты.
2. Достижения – это виртуальное или материальное выражение результата выполнения чего-либо. Часто достижения рассматривают как способ получения награды или как награду саму по себе.

3. Механика с назначенным временем – это механика, достичь успеха при которой можно, вернувшись в игру в определенное время и совершив какое-то действие. Механика с назначенным временем, как правило, тесно связана с фиксированным графиком вознаграждения или механикой избегания.
4. Теория каскадной подачи информации – это теория, согласно которой информацию нужно выдавать дозированно, поддерживая необходимый уровень понимания на каждом этапе игрового повествования.
5. Рейтинг – рейтинг среди всех игроков или рейтинг среди друзей.
6. Статус – это ранг или уровень игрока. Зачастую игроков можно замотивировать возможностью достичь более высокого уровня или статуса.
7. Игровая валюта – игровые деньги, за которые можно покупать разные бонусы.
8. Элементы социальных сетей – чат, список друзей.

Были проанализированы ИОР на предмет включения в их интерфейсы вышеперечисленных игровых механик. Результаты анализа представлены в таблице.

Таблица. Результаты анализа

ИОР	Игровые механики							
	1	2	3	4	5	6	7	8
LinguaLeo	+	+	+	+	+	+	+	+
DuoLingo	+	+	+	+	+	+	+	+
EdX	+		+	+				
Codecademy	+	+	+	+				
Html academy	+	+	+	+				+
Sololearn	+	+	+	+		+		+

В процессе данной работы были выявлены основные признаки человеко-понятных интерфейсов, были изучены инструменты геймификации и проведен обзор ИОР. В результате были выявлены самые популярные инструменты геймификации, которые встроены в ИОР.

Самой популярной игровой механикой из перечисленных для данных ИОР являются «прогресс» и «назначенное время», также часто встречается «достижения». Реже всего встречаются «рейтинг» и «валюта».

## Литература

1. РИА Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/society/20170603/1495742680.html>, своб.
2. II всероссийская конференция «Применение ЭОР в образовательном процессе» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msk.ito.edu.ru/2012/section/188/95548/>, своб.
3. Мотивация — что это такое? Определение, значение, перевод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://что-это-такое.ru/motivation>, своб.
4. Геймификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vsetreningi.ru/schools/geymifikaciya/>, своб.
5. RUSBASE, что заставит поколение Y работать лучше [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/lu4she/>, своб.
6. OPZARKOL, Игровые механики SCVNGR Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opzarkol.com/2013/01/30/secretnie-igrovie-mekhaniki-scvngr/>, своб.



**Малюшкин Роман Вячеславович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
студент группы № К4240

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
управления в гуманитарной сфере

e-mail: malyuhkinr@gmail.com

УДК 004.622

**СБОР И ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ИЗ ОТКРЫТЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ГЕОПОРТАЛА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Малюшкин Р.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Горлушкина Н.Н.**

Рассмотрены подходы к выявлению перечня критериев социально-экономического развития территорий, определены конкретные показатели развития регионов и муниципальных образований Арктической зоны, а также разработаны средства извлечения статистических данных из онлайн-хранилищ информации.

**Ключевые слова:** открытые данные, геоинформационная система, геопортал, web mining.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) – местность, расположенная на территории 9 регионов на материковой части и ограниченная морскими владениями России в Северном Ледовитом океане, имеет особый социально-экономический статус. Территориальное представление региона представлено на рис. 1. Развитие Арктического региона является стратегической задачей для государства. Важные для всех стран ресурсы Арктики недоступны без работающих в регионе людей и без инфраструктуры, которая делает их жизнь возможной [1].



Рис. 1. Арктическая зона Российской Федерации

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 декабря 2014 г. № 2437-р в Федеральный план статистических работ внесены дополнения, предусматривающие включение в него самостоятельного раздела «Показатели социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации». Кроме того, в 2014 г. была утверждена

государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 г.» (в 2017 году срок продлен до 2025 г.).

Несомненно, повышение внимания к Арктике связано с уникальностью северного региона, будущая значимость которого будет возрастать в экономическом, технологическом и социальном развитии всей страны.

В рамках исследовательского проекта «Интерактивная платформа Российской Арктики: Люди и инфраструктура», направленного на распространение знаний о регионе, одной из основных задач является агрегирование статистических данных из имеющихся источников, для дальнейшей их интерпретации в картографическом формате.

**Цель работы.** Проведение сбора и агрегации статистических данных из существующих открытых источников для отображения и визуализации показателей социально-экономического развития АЗРФ.

Согласно существующим стандартам, в перечень показателей социально-экономического развития в зависимости от методик могут входить различные индикаторы, такие как объем инвестиций в основной капитал на душу населения или коэффициент плотности автомобильных дорог [2]. Однако такая информация не является целевой в рамках текущего исследования и не способна отразить существующую ситуацию в регионе.

Автор Коваленко Е.Г. приводит следующий список критериев оценки [3]:

- средний уровень доходов населения;
- продолжительность жизни, уровень физического и психического здоровья людей;
- уровень образования (обеспеченность образовательными учреждениями: детскими садами, школами, вузами и т.д.);
- уровень потребления материальных благ и услуг (продуктов питания, одежды, недвижимого имущества), обеспеченность домашних хозяйств товарами длительного пользования, наличие сети Интернет;
- уровень здравоохранения (обеспеченность медицинскими учреждениями: поликлиниками, больницами, аптеками, диагностическими центрами, качество предоставляемых медицинских услуг);
- состояние окружающей среды;
- равенство возможностей людей, развитие малого бизнеса;
- обогащение культурной жизни людей (наличие театров, кинотеатров, спортивных площадок, библиотек и т.д.);
- развитие инфраструктуры (жилищно-коммунальное состояние, наличие аэропортов, автодорог и т.д.).

На основе представленных критериев были выделены показатели, поделенные на 5 категорий (таблица).

Таблица. Показатели социально-экономического развития АЗРФ

Категория	Показатели
Население	Все население, городское/сельское население, возрастной состав, естественный/миграционный прирост, половой состав, занятость, заработная плата
Социальные объекты	Количество магазинов, аптек, кафе, детских садов, школ, вузов
Культурные объекты	Количество библиотек, театров, кинотеатров, гостиниц/отелей, спортивных площадок, парков
Инфраструктура	Площадь территории, протяженность водопроводной/газовой/канализационной сети, протяженность линии электропередачи, протяженность автодорог, улиц, проездов, набережных, количество

Категория	Показатели
	АЗС, доля домов, имеющих доступ в сеть Интернет, количество аэропортов
Экология	Количество объектов, имеющих стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха, количество загрязняющих веществ

Очевидно, что для изучения социально-экономического развития региона необходимо учитывать данные, представленные в различных промежутках времени. Что касается АЗРФ, то было принято решение рассматривать показатели за последнее десятилетие. С одной стороны, это обусловлено возросшим вниманием к региону со стороны органов законодательной и исполнительной власти. С другой, за последние годы увеличилось количество онлайн-ресурсов, предоставляющих доступ к статистическим данным. К таким ресурсам, прежде всего, стоит отнести базы Федеральной службы государственной статистики (Росстат), и другие хранилища данных: Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) и Портал открытых данных Российской Федерации.

Кроме того, широкие возможности для сбора данных предоставляют социальные сети и иные специальные сервисы. Таким образом, было принято решение использовать следующие ресурсы в каждом из выделенных типов источников:

- официальные отчеты Росстата (база данных муниципальных образований регионов РФ);
- порталы открытых данных (ЕМИСС и Портал открытых данных РФ);
- социальные сети (ВКонтакте, Twitter, Instagram);
- специальные сервисы (FlightRadar24).

В качестве точки первого наблюдения определен 2010 год – год, когда проводилась Всероссийская перепись населения. Конечной точкой – прошедший 2017 год. Итого, в рамках работы предстояло произвести сбор информации из имеющихся источников за 8 лет: с 2010 по 2017 год.

Такие ресурсы как ЕМИСС или Портал открытых данных предоставляют специальный программируемый интерфейс (API) для работы с показателями, реализуя концепцию «открытые данные». Открытые данные – это массивы информации, доступные для свободного чтения и обработки, и могут использоваться в любых соответствующих закону целях, любыми лицами независимо от формы ее размещения. В сфере информационных технологий такие данные должны быть машиночитаемыми, т.е. такими, при которых возможна их беспрепятственная автоматическая обработка. Как правило, данные доступны для извлечения в формате .CSV или .XML.

Социальные сети ВКонтакте и Twitter, а также же сервис мониторинга авиaperедвижений FlightRadar24 также имеют API, однако в данном случае, он предназначен, прежде всего, для программных разработчиков на базе этих сетей. Тем не менее, порционная выгрузка необходимой информации также доступна.

Иначе устроен принцип работы с данными отчетов Росстата – ресурс не имеет какого-либо API, но среди всех рассмотренных источников обладает наиболее полным содержанием выделенных ранее данных (таблица). Кроме того, они не привязаны к регионам, как в случае с открытыми порталами, а имеют отношение к муниципальным образованиям, что является единственной возможностью рассмотреть динамику развития АЗРФ – так как формально, Российская Арктика охватывает не полностью территорию субъектов (за исключением Мурманской обл., Ненецкого, Чукотского, Ямало-Ненецкого автономных округов), а лишь их северные части (рис. 1).

Для сбора данных из онлайн-отчетов Росстата был разработан веб-краулер – автоматический поисковый робот, предназначенный для поиска необходимой информации на страницах системы. Для имитации кликов на сайте был применен консольный браузер

PhantomJS, позволяющий полноценно взаимодействовать с веб-страницами. Для работы с консольным браузером была использована библиотека CasperJS.

В качестве обработчика полученных веб-структур применялась PHP-библиотека Goutte, основанная на компоненте фреймворка Symfony – DomCrawlerComponent.

Для последующей работы с данными – их обработки и визуализации была спроектирована реляционная база данных, учитывающая такие особенности проекта, как: категорирование показателей (таблица Section), различные источники (таблица Source) и др. Архитектура базы представлена на рис. 2.

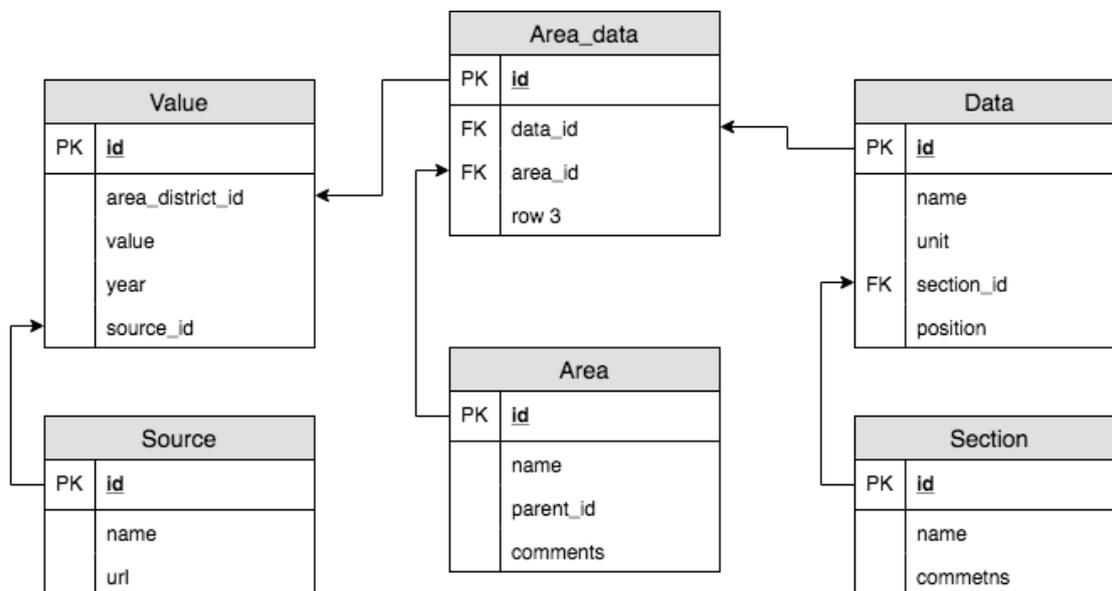


Рис. 2. Архитектура базы данных геопортала

**Выводы.** В ходе исследования были выявлены показатели социально-экономического развития территории в рамках текущей тематики проекта, определены основные источники информации, а также разработан механизм извлечения данных по каждому из них.

В результате проделанной работы, имеется более 18 000 значений показателей с 2010 по 2017 года, по 53 муниципальным образованиям АЗРФ.

В настоящий момент ведется разработка алгоритмов визуализации данных на географической карте в условиях разбиения пространства на муниципальные образования.

## Литература

1. Павленко В. и др. Основные принципы сбалансированного социально-экономического развития территорий Арктической зоны Российской Федерации // Власть. – 2017. – № 6. – С. 7–17.
2. Мазур Е.А. Методика оценки уровня социально-экономического развития субъектов РФ как средство совершенствования компетенции органов государственной власти РФ и ее субъектов // Молодой ученый. – 2011. – № 3. – Т. 1. – С. 172–175 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/26/2763/> (дата обращения: 25.03.2018).
3. Коваленко Е.Г. и др. Региональная экономика и управление. Учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – Изд. дом «Питер», 2017. – 300 с.



**Панфилова Ольга Анатольевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
студент группы № К4240

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: Panfilova.oly@yandex.ru



**Валитова Юлия Олеговна**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
к.педагог.н.

e-mail: julijawal@gmail.com

УДК 004.912

**ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ  
МЕТОДОМ МЕТАПРОГРАММ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

**Панфилова О.А.**

**Научный руководитель – к.педагог.н. Валитова Ю.О.**

В работе рассмотрены основные проблемы, возникающие при автоматизации обработки результатов теста по методу метапрограмм, и проанализирован ряд существующих технологий и методов обработки текста, применимых при работе с метапрограммами, с целью выявления наиболее эффективных способов решения обозначенных проблем для дальнейшей разработки автоматизированного программного средства.

**Ключевые слова:** психолингвистика, технологии, метапрограммы, методы обработки данных, анализ текста, проблемы автоматизации.

В современном мире при составлении портрета человека, оценке его деятельности или выявлении потенциала все чаще применяются психолингвистические методы. Особый интерес представляет метод метапрограмм, так как он является достаточно универсальным и позволяет получить более достоверные результаты при использовании меньшего числа заданий [1, 2].

Однако на российском рынке программных средств обработки результатов теста по методу метапрограмм слишком мало, поскольку эта методика обладает своими особенностями автоматизации, порождающими целый ряд проблем, с которыми сталкиваются разработчики. Именно определение этих проблем, их исследование и нахождение путей решения позволит эффективно автоматизировать обработку результатов исследования методом метапрограмм. Исходя из этого, в данном исследовании решалась задача выявления набора основных проблем, возникающих при автоматизации обработки результатов теста по методу метапрограмм и последующего определения путей их решения.

В ходе исследования был выделен ряд нерешенных проблем и особенностей автоматизации обработки результатов теста метапрограмм, основными из которых являются:

- наличие сокращений, жаргонной лексики и ошибок в написании слов;
- сложность распознавания и анализа русскоязычных текстов: синтаксическая (при работе с некоторыми метапрограммами требуется синтаксический анализ) и смысловая неоднозначность (необходимо учитывать при анализе семантику и связь слов в тексте) [3];

- отсутствие словаря или шаблонов для отнесения слов, найденных в тексте к определенному значению метапрограммы;
- сильная зависимость результатов от формы слов и неоднозначность форм слов при определении значения метапрограммы [2];
- отсутствие алгоритма для автоматизированного анализа ответов и их интерпретации;
- отсутствие формул для расчета итоговых значений по каждой метапрограмме.

После выявления основных проблем автоматизации обработки результатов теста по методу метапрограмм возможно перейти к определению путей их решения.

Было определено, что исправление большинства наиболее распространенных ошибок, распознавание сокращений и удаление жаргонных слов можно выполнить на этапе предобработки при помощи списков стоп-слов в комбинации со встроенными функциями предобработки, имеющимися в большинстве языков программирования.

Для решения большинства из перечисленных проблем могут применяться технологии и методы обработки текстовых данных, такие как словарный и шаблонный методы, синтаксический и семантический анализ и нейронные сети.

Шаблонный метод подразумевает сравнение уже имеющихся в системе шаблонных образцов с текстом, поступившим на вход, а словарный предполагает обработку слов из текста как элементов множества слов из словаря, т.е. реализует механизм поиска ключевых слов по словарю. Синтаксический и морфологический анализы позволяют работать с отдельными частями высказывания, разделяя его на отдельные лексемы или морфологические признаки. Семантический анализ заключается в поиске и выделении семантических отношений.

Среди нейронных сетей для работы с метапрограммами, как правило, применяются рекуррентные и смешанные сети, а также сети, работающие на основе символического представления слов.

Анализ рассмотренных выше методов показал, что каждый из них имеет свои недостатки и достоинства. Например, к недостаткам синтаксического анализа можно отнести низкую скорость обработки данных и отсутствие ограничений на грамматически неправильные фразы, в которых, к примеру, подлежащее не согласовано со сказуемым в числе, что, в конечном итоге, может привести к неверному определению итогового значения и, следовательно, к ошибке вывода результатов. Явным минусом применения семантического анализа является необходимость установления ограничений на размеры предметной области и разработки отдельной грамматики для каждой предметной области в отдельности. Помимо этого, как и в случае с шаблонным и словарным методами, увеличение объемов данных ведет к усложнению программы и к росту элементов грамматик. Нейронные сети, несмотря на явные достоинства, также имеют свои недостатки, такие как высокие затраты (временные и ресурсные) на разработку и обучение нейронной сети, а также сложности вербализации и неоднозначность получаемых результатов [4]. К недостаткам шаблонного и словарного методов относят увеличение размера программы и снижение показателей быстродействия при увеличении объема обрабатываемых данных, но при этом у словарного метода имеется ряд преимуществ, главные из которых – высокие показатели точности получаемых результатов и сравнительно невысокие затраты на автоматизацию.

Для тех метапрограмм, при обработке которых требуется учитывать семантику слов или синтаксис, наиболее эффективным решением будет применение синтаксического или семантического анализа.

При этом при разработке программного средства, предполагающего обработку большинства из применяемых на практике метапрограмм, вместо создания синтаксического или семантического анализатора, либо разработки нейронных сетей, целесообразнее (с целью снижения трудоемкости и повышения точности получаемых результатов)

использовать метод представления слов, основанный на словаре, по которому ведется поиск ключевых слов и словосочетаний в тексте ответов на тест.

Такие проблемы, как отсутствие алгоритма и формул для расчета итоговых значений решаются только путем разработки нового алгоритма и математической модели для определения итоговых значений по каждой из анализируемых метапрограмм.

Самыми непростыми являются проблемы зависимости результатов от формы слов и распознавания омонимов, поскольку методы семантического и синтаксического анализа, также как и нейронные сети, неспособны с необходимой точностью определять смысловое содержание. Это не позволяет, на данный момент, найти эффективное решение и полностью исключить погрешность при определении, к какому значению метапрограммы относится то или иное слово [5].

Опираясь на результаты исследования, можно говорить о том, что существуют эффективные способы решения большинства проблем автоматизации обработки тестов по методу метапрограмм, но есть и те (смысловая неоднозначность и сложность распознавания русскоязычных текстов), которые на данный момент полностью решить не удастся.

Изучение технологий, применимых для работы с метапрограммами, позволяет говорить о том, что при автоматизации обработки большинства метапрограмм, которые предполагают получение сравнительно простых по структуре ответов на тест, наилучшим решением является словарный метод. Нейронные сети, методы семантического и синтаксического анализа предпочтительнее использовать лишь в некоторых случаях, при работе с определенным набором метапрограмм.

В ходе исследования были определены основные проблемы автоматизации обработки тестов по методу метапрограмм и обозначены возможные пути их решения.

На основании проведенного анализа и с учетом специфики автоматизации обработки метапрограмм было предложено использовать комбинированный подход к решению обозначенных проблем, основанный на применении словарного метода и предполагающий разработку алгоритма обработки данных наряду с использованием базовых методов предобработки текста.

В дальнейшем планируется экспериментальная проверка предложенного подхода на реальных данных.

### **Литература**

1. Hall M.L., Bodenhamer B. The User's Manual for the Brain. – Wales, UK: Crown House Publishing Limited, 2014. – 640 p.
2. Hall M.L., Bodenhamer B.C. Figuring Out People: Design Engineering with Meta Programs. – Wales, UK: Crown House Publishing Limited, 2007. – 320 p.
3. Глухов В.П., Ковшиков В. Психолингвистика. Теория речевой деятельности. – М.: Астрель, 2007. – 589 с.
4. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 496 с.
5. Ильвовский Д., Черняк Е. Системы автоматической обработки текстов. – М.: Открытые системы, 2014. – С. 51–53.



### Пац Карина Михайловна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
студент группы № K4145c

Направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика

e-mail: karina.m.pats@gmail.com

УДК 004.94

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, ЗАДАННЫХ В ДИСКРЕТНОМ ВИДЕ

Пац К.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергушичев А.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617041 «Автоматизированный анализ пространства химических превращений для предсказательного моделирования каталитических процессов».

Работа посвящена анализу инструментов компьютерного моделирования для расчета потенциальной энергии химических соединений. Рассмотрены как различные библиотеки для программирования на Python, так и ряд программных пакетов. Проведено сравнение всех инструментов, и даны рекомендации по их дальнейшему использованию и доработке в контексте решаемых задач.

**Ключевые слова:** компьютерная химия, компьютерное моделирование, квантовая химия, молекулярная механика.

Задача поиска энергетически выгодных путей и циклов в пространстве химических реакций в процессе каталитического синтеза достаточно актуальна в связи с растущей необходимостью автоматизации данного процесса [1–3]. Суть работы катализатора состоит в том, что он образует промежуточные конфигурации с реагентом, делая реакцию более выгодной с энергетической точки зрения (рис. 1). Соответственно, для автоматизации поиска промежуточных состояний катализатора, важно уметь определять их энергию.

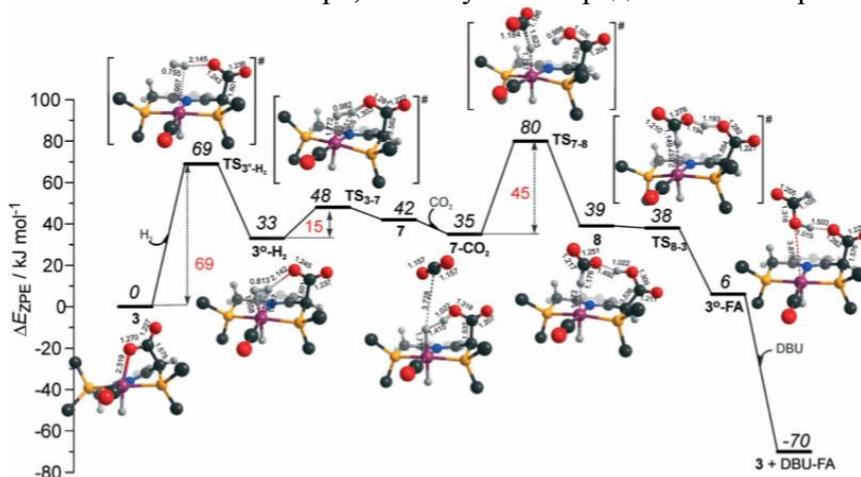


Рис. 1. Энергетическая диаграмма, рассчитанная методом DFT: оптимизированные интермедиаты и переходные состояния [1]

Для решения этой задачи применимо два подхода: квантовая механика (QM) и молекулярная механика (MM).

Квантовая механика базируется на решении уравнения Шредингера, суть которого сводится к определению вида волновой функции – функции координат частиц и времени,

полностью описывающая состояния системы из  $n$  частиц [4]. Несмотря на то, что в квантовой механике используется ряд приближений и допущений (например, приближения Борна–Оппенгеймера и приближение Хартри), этот способ остается достаточно ресурсоемким, хоть и выдает достаточно точные результаты. Также для упрощения расчетов в квантовой механике вводится такое понятие как базис, которое используется во всех инструментах для расчета энергии с помощью квантовой механики. Базис – это набор математических функций для описания электронных орбиталей атомов в молекуле.

Молекулярная механика – метод определения молекулярной структуры, основанный на представлении молекулы в виде набора точек определенной массы, удерживаемых классическими силами [4]. Вклады в молекулярную энергию включают упругую энергию связи (описывается законом Гука), энергию изгиба валентных углов и пространственных угловых деформаций и энергию электростатических и ван-дер-ваальсовых взаимодействий (рис. 2). Молекулярная механика позволяет минимизировать энергию для больших систем, содержащих много тысяч атомов, при разумных вычислительных затратах. Таким образом, электронная структура атома замещается на достаточно простые уравнения с параметрами. Наборы таких параметров называются силовыми полями. Результаты зависят от параметризации силового поля. Молекулярная механика может также служить как вычислительная модель для оценки потенциальной энергии молекулы с учетом всех степеней свободы.

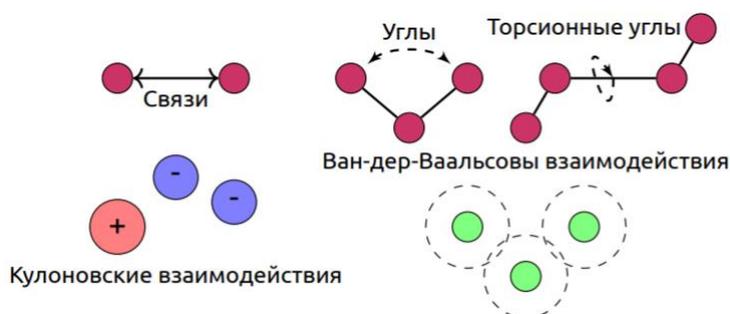


Рис. 2. Силы, входящие в уравнения молекулярной механики [4]

В данной работе решалась задача подбора библиотек для программирования на Python и поиск различных программ, с целью выполнения расчетов потенциальной энергии химических соединений.

Одним из наиболее удачных решений оказалась библиотека PySCF – Python-based Simulations of Chemistry Framework. Данный модуль позволяет производить расчеты на основе квантовой механики по методам Хартри–Фока [4], а также с помощью метода теории функционала плотности (DFT) [4]. Устанавливается библиотека с помощью менеджера пакетов (conda/pip) или вручную с репозитория на Github. Для установки необходимо наличие следующих пакетов: Cmake 2.8 или выше, Python 2.6, 2.7, 3.2, 3.3, 3.4, Numpy 1.8.0 или выше, Scipy 0.10 или выше (0.12.0 или выше для Python 3.3, 3.4), h5py 2.3.0 или выше (требуется HDF5 1.8.4 или выше). В качестве входных данных библиотека использует данные .xyz-файлов, описывающие пространственные координаты атомов в молекуле. Класс mol отвечает за создание объекта молекулы и обладает следующими основными функциями, необходимыми для запуска расчетов: mol.atom – атомы и координаты, mol.basis – базис для расчета, mol.charge – заряд. Для передачи атомов и их координат функции mol.atom требуется написать скрипт для перевода данных из .xyz-файла в список списков «атом, координаты». Этих данных достаточно для того, чтобы рассчитать энергию молекулы в кДж/моль. Неоспоримым плюсом библиотеки является наличие подробной документации, позволяющей изучить в деталях каждую функцию и ее назначение.

Также удобной является интеграция данной библиотеки с еще одним модулем – PyBerny, который служит для оптимизации энергии молекул и нахождения наиболее выгодной конформации. В основе работы модуля лежит так называемый Berny algorithm [3].

Данный модуль, однако, не является таким же легким в использовании, особенно ввиду практически полного отсутствия документации, за исключением нескольких примеров использования в формате `.ipynb`. Кроме того, в процессе тестирования были выявлены ошибки в работе библиотеки, что требует более детального изучения всех ее функций для устранения данных проблем.

Среди компьютерных программ также можно выделить Orca – программный пакет для расчетов методами квантовой химии (бесплатный для академического использования), распространяющийся в виде исполняемых бинарных файлов для операционных систем Windows и Linux. Графический интерфейс отсутствует.

Avogadro – компьютерная программа с графическим интерфейсом, работающая на принципах молекулярной механики. Имеет ряд силовых полей, такие как UFF и MMFF94, на основе которых производится оптимизация геометрии и расчет энергии. Однако для работы со сложными металлоорганическими комплексами данных силовых полей недостаточно, поскольку они содержат ограниченный набор описаний для разных видов атомов.

В качестве вспомогательных библиотек для решения промежуточных задач могут быть рекомендованы RDKit и OpenBabel. Обе библиотеки подходят для использования на Python, работают с различными органическими соединениями, способны вычислять приблизительные трехмерные координаты молекул на основе встроенных силовых полей.

В таблице приведена краткая характеристика всех рассмотренных инструментов компьютерного моделирования для расчета потенциальной энергии молекул.

Таблица. Характеристика инструментов для расчета энергии молекул

	QM/MM	Оптимизация	Расчет энергии
PySCF	QM	–	+
PyBery	QM	+	+
ORCA	QM	+	+
Avogadro	MM	+	+
RDKit	–	–	–
OpenBabel	–	–	–

В результате работы осуществлен анализ инструментов для расчета потенциальной энергии химических соединений. Наиболее подходящей из них представляется комбинация библиотек PySCF и PyBery, однако, для последней необходима существенная доработка, что и станет следующим этапом исследования.

### Литература

1. Simm G., Reiher M. Context-Driven Exploration of Complex Chemical Reaction Networks // *J. Chem. Theory Comput.* – 2017. – №13(12). – P. 6108–6119.
2. Segler M., Preuss M., Waller M. Learning to Plan Chemical Syntheses [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1708.04202v1.pdf> (дата обращения: 22.03.2018).
3. Bergeler M. et al. Heuristics-Guided Exploration of Reaction Mechanisms // *J. Chem. Theory Comput.* – 2015. – №11(12). – P. 5712–5722.
4. Головин А.В. Курс «Структурная биоинформатика и моделирование лекарств» (ВШЭ): Квантовая химия. Молекулярная механика. Силовые поля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vsb.fbb.msu.ru/dmsf/files/1367> (дата обращения: 22.03.2018).



**Полянская Анастасия Дмитриевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
студент группы № К4240

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: polyanskaya.ad@mail.ru



**Валитова Юлия Олеговна**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
к.педагог.н.

e-mail: julijawal@gmail.com

**УДК 004.051**

**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ  
РЕЗУЛЬТАТОВ АССОЦИАТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**Полянская А.Д., Валитова Ю.О.**

**Научный руководитель – к.педагог.н. Валитова Ю.О.**

В работе рассмотрены основные характеристики некоторых существующих программных средств, функциональные возможности которых позволяют анализировать и обрабатывать результаты ассоциативных экспериментов. Исследование этих средств позволит выявить их основные возможности и недостатки, на основании которых будет заключен вывод о рациональности разработки нового программного продукта для специалистов в области психолингвистики, преследующего цели автоматизации обработки результатов ассоциативного эксперимента.

**Ключевые слова:** ассоциативный эксперимент, частотный анализ, ассоциация, программное средство, индекс.

Ассоциативный эксперимент – это прием, направленный на выявление ассоциаций, сложившихся у индивида в его предшествующем опыте [1]. Исходя из формулировки, можно сделать вывод, что целью ассоциативного эксперимента является получение у испытуемых ассоциаций на определенные слова-стимулы путем проведения тестирования. После того как результаты тестирования получены за их обработку принимаются специалисты в области психолингвистики. Ассоциативный эксперимент получил достаточно широкое распространение в качестве метода исследования индивидуального и группового сознания человека [2]. Также он широко применяется для изучения лексикона и лексических связей, для оценки различной продукции, для активизации учебной деятельности и многих других [3].

При анализе результатов специалисты, как правило, используют уже готовые методики. Наиболее известными расчетами, которыми пользуются специалисты в области психолингвистики, считаются: частота ассоциаций, индекс частоты ассоциативной связи, индекс взаимной ассоциативной связи, индекс пересечения ассоциаций на группу слов, мера эквивалентности слов-стимулов, индекс таксономичности и т.д. [4].

Обработка результатов ассоциативного эксперимента является трудоемким процессом. К примеру, специалисту в области психолингвистики необходимо подсчитать частоту встречаемости каждого ответа. Предположим, что в исследовании участвуют 100 человек, каждый из которых должен сформулировать по три ассоциации к 30 словам-стимулам,

содержащимся в тесте. Для того чтобы найти повторяющиеся ассоциации среди 9000 слов вручную понадобится много времени и сил. Именно поэтому специалисты все чаще и чаще при обработке результатов ассоциативного эксперимента начинают применять средства автоматизации. Но этот процесс затрудняет отсутствие узконаправленных средств, учитывающих особенность обработки именно этого вида эксперимента. По этой причине зачастую применяются средства, позволяющие обрабатывать текстовую информацию.

При анализе программных продуктов учитываются следующие требования к ним, выявленные в ходе исследования:

1. Обязательные:

- наличие методик для обработки результатов ассоциативного эксперимента;
- возможность обработки текста на русском языке;
- отсутствие специальных знаний по программированию и математической статистики для работы с информационной системой;
- интуитивно понятный интерфейс.

2. Желательные:

- бесплатность;
- возможность экспорта и импорта данных;
- возможность визуализации результатов обработки эксперимента.

В настоящее время существует большое количество средств, которые могут обрабатывать текстовую информацию, но какие из них подойдут в случае обработки результатов ассоциативного эксперимента?

Наиболее разработанными являются информационные системы, направленные на подсчет частотности слов. Зачастую эта функция встроена в сложные системы, предназначенные для обработки и анализа текстов, но также существуют и более узконаправленные web-сервисы и программы. Причем большинство из них являются бесплатными и доступными для использования онлайн. К ним можно отнести следующие web-сервисы: анализатор текста (<https://webscript.ru/text/>), подсчет уникальных слов (<https://planetcalc.ru/3204/>), калькулятор подсчета слов (<https://wpcalc.com/kolichestvo-slov/>) и т.п. Следует отметить, что, несмотря на то, что большинство этих ресурсов сложно отнести к научным, их бесплатность и простота использования позволяет исследователям принять их для первичной обработки тестов. При этом они не позволяют анализировать зависимость и связность ассоциаций.

В работе были проанализированы программы с более широкими функциональными возможностями, а именно:

- Interro-SL (программное решение предоставляет возможность автоматизировать процесс проведения тестирований и производить статистику и анализ результатов);
- IBM SPSS Statistics (продукт, предназначенный для статистической обработки данных);
- Google Forms (средство для создания опросов и визуализации их результатов);
- Vortex 10 (программное решение, позволяющее обрабатывать и анализировать социологическую и маркетинговую информацию);
- Excel на службе у психолога (предоставляет набор методик для профессиональной обработки психологических тестов);
- AVELife TestGold Studio 5 (программа, позволяющая создавать психологические тесты и анализировать их результаты).

Изучение средств для обработки результатов ассоциативных экспериментов показало, что:

1. во всех программах отсутствует возможность расчета результатов по методикам ассоциативного эксперимента;
2. только Interro-SL, Google Forms и Excel на службе у психолога являются бесплатными;

3. у всех средств закрытый исходный код, т.е. непонятно, при помощи каких алгоритмов достигнуты результаты;
4. программа IBM SPSS Statistics требует специальной подготовки пользователей в области математической статистики;
5. для того чтобы пройти тестирование в программах Interro-SL и AVELife TestGold Studio 5 участникам необходимо устанавливать ее на компьютер;
6. в программах Interro-SL, Google Forms статистика предоставляется только для закрытых вопросов, что является неэффективным для ассоциативного эксперимента, так как теряется индивидуальность и ход мысли испытуемого;
7. только программы IBM SPSS Statistics и Vortex 10 способны импортировать результаты в различных форматах (например, .csv).

Следует отметить, что сейчас существует достаточное количество сайтов, на которых предлагается пройти ассоциативный тест и получить результаты онлайн или же скачать программное обеспечение, например, программа Effecton, в которых уже заложены определенные тесты. Такие решения не рассматриваются в работе, потому что они носят больше игровой характер, не ориентированы на конкретную ситуацию и не предоставляют данных о том, как были подсчитаны и получены результаты. Такие программы не предоставляют возможности создания своих тестов и не подходят для обработки результатов ассоциативного эксперимента.

Следовательно, можно утверждать, что программных продуктов, позволяющих обработать результаты ассоциативных экспериментов с помощью научно-обоснованных методик, не выявлено. При этом, как отмечалось ранее, использование ассоциативного эксперимента получило широкое распространение в различных областях жизнедеятельности человека. Это позволяет сделать вывод, что разработка собственного нового программного продукта, предназначенного для обработки результатов ассоциативных экспериментов с использованием специализированных методик и показателей, является актуальной. Это значительно снизит время на подсчеты результатов у специалистов в области психолингвистики и повысит их точность, а также позволит получить научно-достоверные результаты.

Таким образом, в ходе работы было принято решение разработать web-приложение для специалистов в области психолингвистики, содержащее в себе расчеты основных индексов для ассоциативного эксперимента. Приложение должно позволять загружать результаты ассоциативных тестов в формате .csv и предоставлять возможность расчета частоты встречаемости ассоциаций, индекса частоты ассоциативной связи, индекса взаимной ассоциативной связи, индекса пересечения ассоциаций на группу слов.

### Литература

1. Евсеева О.В. Ассоциативный эксперимент как исследовательская процедура в психолингвистике // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2009. – № 2. – С. 82–84.
2. Виноградова О.Е. Направленный ассоциативный эксперимент в описании семантики слова // Изв. РГПУ им. А.И. Герцена. – 2013. – № 161. – С. 66–73.
3. Серкин В.П. Решение задачи о случайности/неслучайности ассоциаций: критерий оценки и валидный набор ассоциаций // Психодиагностика. – 2009. – № 4. – С. 22–31.
4. Залевская А.А. Значение слова через призму эксперимента. – Тверь: ТГУ, 2011. – 240 с.

**Рогулева Елизавета Александровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере

e-mail: 94relizabeth@gmail.com

**Иванов Сергей Евгеньевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
к.ф.-м.н.

e-mail: 45is@mail.ru

УДК 004.6

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ  
РАНЖИРОВАНИЯ ПУБЛИКАЦИЙ В НОВОСТНОЙ ЛЕНТЕ****Рогулева Е.А.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

В работе рассмотрены особенности применения графовых методов анализа при построении и исследовании модели ранжирования новостной ленты онлайн-социальной сети. На примере построенной модели показаны особенности применения разных методов кластеризации графа. На основе полученных результатов сформулированы выводы о зависимостях между метриками и показателями, формирующими ранг публикации, используемый при ранжировании новостей в ленте социальной сети. Проанализированы достоинства и недостатки рассмотренных методов. В результате проведенного исследования сформулированы положения об имеющихся зависимостях между метриками и показателями релевантности публикации.

**Ключевые слова:** социальные сети, граф, метрики.

Персонализация новостной ленты пользователя является актуальной задачей для любой социальной сети, поскольку привлекательность новостной ленты для пользователя определяется в первую очередь релевантностью публикаций, представляемых пользователю в ленте. Базу для формирования новостной ленты составляет контент, генерируемый различными информационными источниками внутри социальной сети, на которые подписан пользователь. Разнообразие интересов пользователя и непрерывная генерация контента в сети усложняет процесс отбора информации, и чем больше времени пользователь тратит на поиск, тем менее интересен для него источник информации, в данном случае – социальная сеть и ее сервис новостной ленты как агрегатор информации. В этой связи социальные сети ставят одной из своих глобальных целей решение задачи ранжирования новостей в ленте, разрабатывая собственные методики отбора и алгоритмы ранжирования. Чрезмерная часть факторов и зависимостей в их логике отведена механизмам рекламы и продвижения различных сервисов внутри социальной сети, что можно рассматривать как причину проблемы информационной насыщенности ленты – сильнейшее влияние бизнес-модели рекламы на результирующую новостную выборку, отображаемую пользователю.

В данной работе интерес представляют всевозможные показатели и метрики как объект исследования, по которым можно определить соответствие публикации, опубликовавшего ее источника, интересам пользователя и связи между этими показателями. Предметом

исследования являются взаимосвязи между различными показателями. В соответствии с этим была поставлена цель – выявить наличие или отсутствие скрытых зависимостей, способных повлиять на качество модели ранжирования новостей в социальной сети. Задачи работы следующие:

- построение графовой модели ранжирования публикаций в новостной ленте социальной сети;
- анализ модели для выявления нетривиальных связей и выявления более сложных показателей.

На самом высоком уровне абстракции ранг новости представляет собой некую совокупность оценок интересов пользователя, оценок самой новости (т.е. публикации), авторитета, типа публикации, оценок ее актуальности. В соответствии с этим для первичной графовой модели релевантности публикации был отобран набор из необходимого перечня показателей и метрик (бизнес-смысл этих отобранных показателей был предварительно перенесен на специфику социальных сетей):

1. Социальные сети: «Комментарии», «Reposts (внутри сети и во внешние ресурсы)», «Нравится», «Количество подписчиков», «Соотношение активных и неактивных участников», «Частота публикаций», «Среднее время отклика», «Частота генерации контента» и другие;
2. SMM-метрики: «Рост сообщества», «Рост посещаемости сообщества», «Охват подписчиков», «Рост активности (вовлеченности активных и неактивных пользователей)», «Отток пользователей (в рамках конкретной тематики публикаций, времени и т.д.)», «Рост количества генерируемого пользователями контента»;
3. Loyalty Management (управление лояльностью): «Число повторных покупок», «Индекс приверженности потребителей», «Индекс удовлетворенности клиентов», «Ценность одного клиента», «Окупаемость стимулирующих промоакций», «Конверсия подписчиков»;
4. Retention Management (политика удержание клиентов): «Показатель оттока клиентов», «Вероятность повторной покупки», «Уровень удержания клиентов», «Достижимость (отношение числа удержанных клиентов к общему количеству потерянных)».

В полученной модели, представленной на рис. 1, узлами являются показатели, ребра есть связи между ними, вес ребра – это коэффициент участия одного показателя в вычислении другого, вес вершины – коэффициент показателя в рамках ранга публикации. Значения весов основаны на экспертных оценках и нормализованы для использования в модели. Граф получился плотным, представляющим собой практически единую компоненту связности, что характерно для социальных графов. Затем с целью оценки поиска и оценки нетривиальных зависимостей между показателями модель была проанализирована десятью графовыми методами кластеризации в среде Wolfram Mathematica.

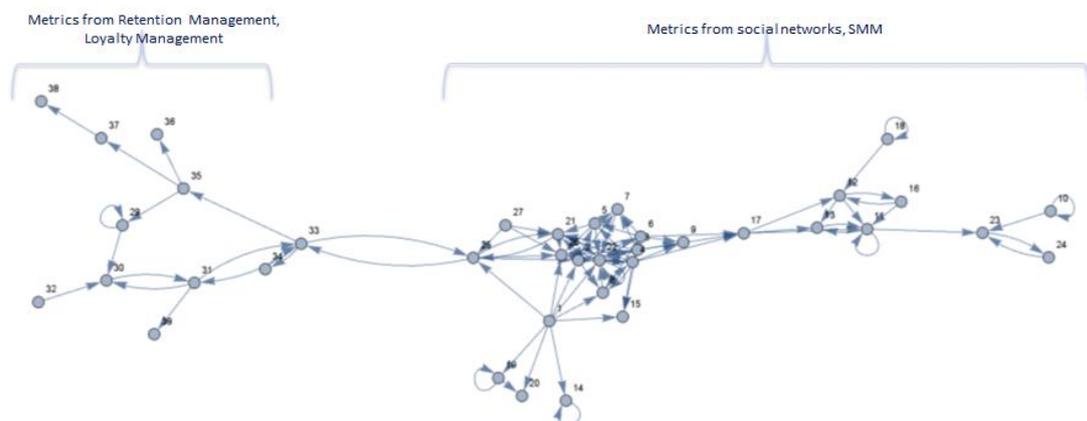


Рис. 1. Первичная графовая модель, включающая показатели релевантности публикации в новостной ленте

Метод Hierarchical иерархической кластеризации использует меру подобия вершин и группирует узлы для получения естественного разбиения графа. В результате анализа этим методом показатели «Разновидность публикаций» и «Частота публикаций» оказались в одном кластере – прямая связь не была определена изначально, однако результат анализа следует внедрить в модель, поскольку если пользователь заинтересован в информации по конкретной тематике, его будут интересовать информационные источники, часто публикующиеся в этой тематике.

Метод Spectral определяет ядра в графе – вершины, у которых много смежных вершин. Особенность алгоритма – умение находить мосты между кластерами, выбросы [1]. Анализ данным методом выявил наличие мостов между группами, в том числе мост между областями Loyalty Management и метриками социальных сетей, т.е. согласно модели связь между кластерами обеспечивается лишь за счет единственной метрики, поэтому необходимо найти и отразить в модели дополнительные связи между такими показателями (рис. 2).

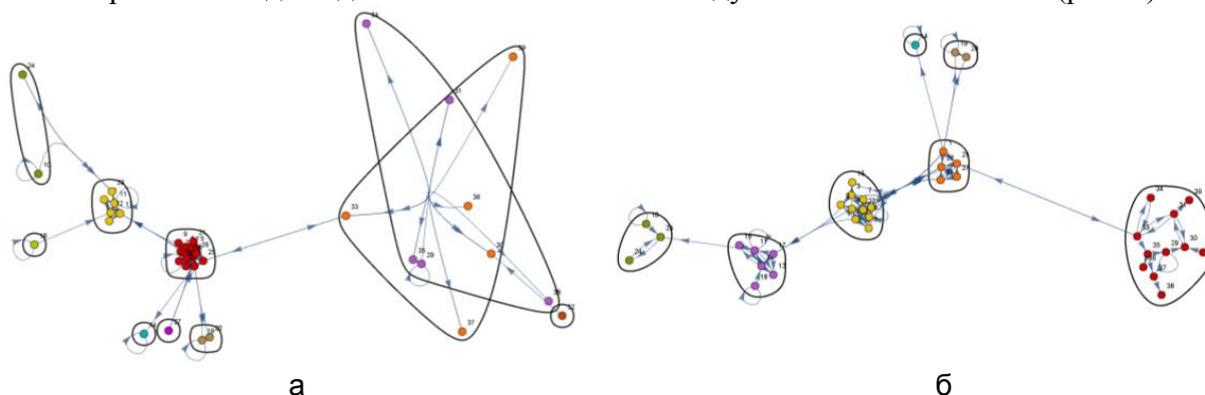


Рис. 2. Результаты кластеризации методами: Hierarchical (а); Spectral (б)

Метод Modularity позволяет выявить в структуре графа сообщества показателей, группы метрик. Недостаток метода – его проблема разрешающей способности, функционал метода не видит маленькие сообщества, однако, эта проблема может решаться путем использования модифицированных методов, учитывающих параметр масштаба [2]. С точки зрения близости к центру метод показал, что большую значимость имеют простые метрики социальной сети (количество просмотров, отметок «Нравится» и «Reposts»), не было замечено нетривиальных закономерностей, т.е. результат анализа непоказателен.

CliquePercolation (метод перколяции клик) – локальный подход к обнаружению сообществ, позволяет относить узел графа сразу к нескольким кластерам или не относить ни к одному. Многие показатели не были соотнесены с другими и объединены в кластер, так как не образуют клику с какими-либо смежными вершинами, поэтому нет необходимости выделять их в кластер согласно концепции метода. Например, показатели «Вовлеченность неактивных пользователей», «Рост сообщества», «Процент неактивных подписчиков» и «Процент активных подписчиков» объединены в кластер, поскольку тесно связаны друг с другом, образуют полный подграф (предполагалось, что лишь последние три образовывали клику).

Betweenness-centrality (центральность по посредничеству) выражает, сколько кратчайших путей между всеми узлами графа проходит через определенное ребро, т.е. представляет собой меру контроля – должна ли использоваться одна и та же метрика в расчете несколько раз, а также рекурсивно). Данный метод объединил «Обсуждаемость», «Вовлеченность» и «Customer Retention Rate» из разных предметных областей в один кластер. По падению показателей вовлеченности и обсуждаемости внутри сообщества можно выявить необходимость в проведении каких-либо мероприятий по удержанию пользователей, поэтому данную связь необходимо использовать в модели.

Closeness-centrality (центральность по близости) является показателем того, насколько быстро распространяется информация от одного узла к остальным, находящимся в

непосредственном взаимодействии. В результате применения данного метода к графу показатели «Repeat Purchase Rate», «Количество комментариев», «Reposts» образовали кластер – логика связи нетривиальна и данного результата недостаточно для того, чтобы однозначно использовать их в рамках одного агрегированного показателя.

Radiality Centrality метод отражает центральность вершин согласно их радиусу относительно вершин ее достижимого окружения по сравнению с диаметром графа. По результатам анализа модели этим методом «Рост сообщества» и «Процент неактивных подписчиков в сообществе» попали в один кластер, и логично предположить, что последняя метрика должна использоваться в качестве входной при расчете показателя «Рост сообщества» – данную связь стоит включить в модель с учетом их обратной корреляции (чем больше процент неактивных подписчиков, тем медленнее рост сообщества).

PageRankCentrality (индекс значимости узла) является распределенной вероятностью и учитывает не только число прямых соединений или размер области влияния конкретного узла, но и статус узлов, находящихся в его области влияния. Показатели «Оценка негативного отношения пользователей» и «Вероятность повторной покупки» попали в одну компоненту – логика связи тривиальна, однако, метод не определяет ее силу.

StatusCentrality метод учитывает не только число прямых соединений или размер области влияния, но и вес узлов, находящихся в области влияния рассматриваемой вершины графа. Так, метрика «Частота отклика» не была включена ни в один кластер, что говорит, скорее, о необходимости корректировки модели (к примеру, частота отклика «раз в день» или меньше, очевидно, говорит об отсутствии необходимости включения публикаций данного источника в новостной ленте).

Результаты кластеризации получились разнообразными, но только Closeness-centrality, Betweenness-centrality, PageRankCentrality, StatusCentrality методы будут взяты в дальнейшую работу – кластеризация с их помощью позволила выявить необходимые показатели и связи, без которых модель будет неполной. На основании полученных результатов была определена необходимость модификации графовой модели показателей и метрик, формирующих ранг публикации в новостной ленте с точки зрения ее релевантности интересам пользователя и дополнения ее новыми связями и совокупными показателями.

### Литература

1. Силин И., Панов М. Обзор и экспериментальное сравнение алгоритмов кластеризации графов // Информационные технологии и системы. – 2015. – С. 1042–1059 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://itas2015.iitp.ru/pdf/1570209923.pdf> (дата обращения: 24.12.2017).
2. Хотилин М.И., Благоев А.В. Исследование данных и связей, в социальных сетях // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017). – 2017. – С. 1794–1797 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ssau.ru/files/science/conferences/itnt2016/ds/1067-1072.pdf> (дата обращения: 21.12.2017).

**Телевной Андрей Дмитриевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
студент группы № К4240Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: adtelev@mail.ru

**Хлопотов Максим Валерьевич**

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
к.т.н., доцент

e-mail: khlopotov@corp.ifmo.ru

**УДК 005****ИССЛЕДОВАНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТИ АУДИТОРИИ В СООБЩЕСТВАХ  
СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ»****Телевной А.Д., Хлопотов М.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Хлопотов М.В.**

В работе проведено исследование вовлеченности аудитории в сообщества различных тематик социальной сети «ВКонтакте» с помощью исследования основных структурных показателей и вычисления коэффициента вовлеченности страницы. Теоретико-методологической основой для исследования стала диссертационная работа Ю.Г. Рыкова «Структура социальных связей в виртуальных сообществах: сравнительный анализ онлайн-групп социальной сети «ВКонтакте» и методика определения вовлеченности, предложенная компанией JagaJam.

**Ключевые слова:** социальная сеть, онлайн-сообщество, коэффициент вовлеченности, SMM-метрика, структурные показатели онлайн-сообществ.

**Введение.** Вовлеченность (Engagement Rate, ER) – это SMM-метрика, которая активно используется на рынке для оценки качества ведения страниц брендов. Но, как показывает практика, не все понимают смысловую нагрузку этой метрики, а вариаций вычисления вовлеченности – масса. У разных агентств, разных брендов, разных сервисов существует своя «исключительно верная» методика расчета.

Вовлеченность страницы (Page Engagement Rate, PER) – это среднее количество реакций, совершаемых одним среднестатистическим подписчиком страницы. Эта метрика вычисляется для определения общей активности подписчиков страницы [1].

Формула Вовлеченности страницы на конкретную дату:

$$\text{Daily PER} = \frac{\text{Лайки+Комментарии+Репосты за конкретную дату}}{\text{Количество подписчиков страницы в конкретную дату}} \times 100\%.$$

В данном исследовании была поставлена следующая цель: исследовать вовлеченность аудитории в сообщества социальной сети «ВКонтакте» различных тематик и численности на предмет установления определенных зависимостей.

Теоретико-методологической основой для исследования стала диссертационная работа Ю.Г. Рыкова «Структура социальных связей в виртуальных сообществах: сравнительный анализ онлайн-групп социальной сети «ВКонтакте», в которой автором был предложен сетевой подход к анализу сообществ на основе структурных показателей, а также методикой определения вовлеченности, предложенной компанией JagaJam [1, 2].

**Цель работы.** Исследовать вовлеченность аудитории в сообщества социальной сети «ВКонтакте» различных тематик и численности на предмет установления определенных зависимостей.

**Базовые положения исследования.** Объектом исследования являются онлайн-сообщества социальной сети «ВКонтакте».

Подбор данных сообществ осуществлялся при помощи поискового фильтра социальной сети. Были сформулированы следующие критерии для участия сообществ в исследовании:

- численность должна варьироваться в пределе 500–500000 участников;
- сообщество открытого типа;
- существует возможность комментирования публикаций на стене сообщества;
- дата публикации последней записи на стене сообщества не позднее 3 дней со дня подбора сообществ для исследования.

Таким образом, были подобраны сообщества, удовлетворяющие данным критериям (табл. 1).

Таблица 1. Сообщества, подобранные для участия в исследовании

№	Название группы	Число формальных членов группы (по состоянию на 20.11.2017)
I этап исследования		
1	Врачи против абортов	3204
2	Выборы президента России 2018	976
3	Эзотерика, Магия, Таро	12820
4	Университет ИТМО	35029
5	ТОК (посты с видео)	29861
6	Фанаты ФК «Зенит»	158134
7	Sony Pictures	95012
8	Журнал «Навигатор игрового мира»	45905
9	Большой театр	100074
10	Мел. Про детей и образование	50138
II этап исследования		
1	Санкт-Петербург – это мой город!	422 853
2	Санкт-Петербург (Питер) Live	167 364
3	Питер Online	222 282
4	Мой Питер	155 398
5	Санкт-Петербург	127 633
III этап исследования		
1	Университет СИНЕРГИЯ	95 139
2	Университет ИТМО	35 530
3	МГИМО Университет	26 747
4	Уральский федеральный университет	31 837
5	Политехнический университет (СПб)	19 477
6	Сибирский федеральный университет	26 501

Под вовлеченностью участника онлайн-сообщества подразумевается среднее количество реакций на контент, совершаемых одним среднестатистическим подписчиком страницы.

Сбор данных осуществлялся с помощью программного пакета «vkR», разработанного на кафедре ИТГС Университета ИТМО в Санкт-Петербурге, реализованного на осуществлении API-запросов к серверу социальной сети «ВКонтакте».

В выборку данных, получаемых с помощью пакета «vkR», включены данные о: пользователях онлайн-сообществ, записях на стене сообществ (за определенный временной промежуток), пользователях, проявляющих какую-либо активность на стене сообщества, а также данные об отношениях «дружбы» между участниками.

Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе были подготовлены данные по 10 сообществам различной численности и тематики на протяжении 5 дней (20.11–24.11.2017). На втором этапе замерялись показатели критериев на публикациях 5 онлайн-сообществ тематики «Санкт-Петербург» на протяжении 10 дней (27.11–06.12.2017). На третьем этапе замерялись показатели критериев на публикациях 6 онлайн-сообществ тематики «Университеты» на протяжении 7 дней (17.01–23.01.2018).

Согласно методике определения вовлеченности ключевыми показателями являются численность подписчиков сообщества в определенную дату и количество комментариев, лайков и репостов под каждым постом, опубликованным в эту дату.

Этапам проведения исследования соответствует индивидуальный проект каждого сообщества, включающий в себя массив выгружаемых и высчитываемых показателей.

Пример определения среднего показателя вовлеченности для сообщества «Большой театр» представлен в табл. 2.

Таблица 2. Определение показателя вовлеченности для сообщества «Большой театр»

№	Показатели	1 день (20.11)	2 день (21.11)	3 день (22.11)	4 день (23.11)	5 день (24.11)
1	Population	100129	100175	100261	100342	100386
2	Clear_population	81514	81529	81612	81679	81715
3	Members	100074	100115	100193	100256	100312
4	Active_users	395	429	445	480	459
5	Post_count	2	1	3	1	1
6	Connected_active_users	70	77	88	100	91
7	Connected_active_users_share	0,00086	0,00095	0,0011	0,0012	0,0011
8	Writer_share	0,00032	0,00033	0,00033	0,00038	0,00034
9	Liker_share	0,0047	0,0051	0,0053	0,0057	0,0055
10	Comments_count	2	0	29	0	4
11	Likes_count	136	49	317	53	67
12	Reposts_count	7	5	37	3	3
13	Edges	51	58	69	79	73
14	Connected_components	20	21	23	27	23
15	DPER (за дату) в %	0,15	0,054	0,38	0,056	0,074
16	DPER (за период в 5 дней) в %	0,143				

**Результаты исследования.** Результаты определения показателя вовлеченности представлены в табл. 3 (I этап исследования), табл. 4 (II этап исследования) и табл. 5 (III этап исследования).

Таблица 3. Показатели вовлеченности аудитории (I этап исследования)

№	Название группы	Показатель вовлеченности аудитории (DPER)
1	Врачи против аборт	8,424
2	Выборы президента России 2018	0,14
3	Эзотерика, Магия, Таро	2,246
4	Университет ИТМО	0,51
5	ТОК (посты с видео)	21,83
6	Фанаты ФК «Зенит»	0,874
7	Sony Pictures	0,104

№	Название группы	Показатель вовлеченности аудитории (DPER)
8	Журнал «Навигатор игрового мира»	1,204
9	Большой театр	0,143
10	Мел. Про детей и образование	3,1

Максимальный показатель вовлеченности (21,83%) наблюдается у сообщества «ТОК» с численностью в 30 000 человек (средняя численность среди отобранных для исследования).

Минимальный показатель вовлеченности (0,14%) у сообщества «Выборы президента России 2018» с наименьшей численностью (976 человек).

Сообществу с максимальной численностью («Фанаты ФК «Зенит») соответствует показатель вовлеченности 0,874%, что позволяет говорить о том, что большая численность сообщества необязательно соответствует высокой вовлеченности.

Например, стоит отметить достаточно высокий показатель вовлеченности (8,424%) у сообщества численностью всего в 3204 человека («Врачи против абортов»).

Таблица 4. Показатели вовлеченности аудитории (II этап исследования)

№	Название группы	Показатель вовлеченности аудитории (DPER)
1	Санкт-Петербург – это мой город!	3,38
2	Санкт-Петербург (Питер) Live	5,2
3	Питер Online	1,47
4	Мой Питер	5,26
5	Санкт-Петербург	3,42

Высокие показатели вовлеченности (5,26% и 5,2%) наблюдаются у сообществ «Мой Питер» и «Санкт-Петербург (Питер) Live» с численностью в 155 000 человек и 167 000 подписчиков соответственно (средняя численность среди отобранных для исследования).

Минимальный показатель вовлеченности (1,47%) у сообщества «Питер Online» с численностью 222 000 человек. Сообществу с максимальной численностью («Санкт-Петербург – это мой город!») соответствует средний показатель вовлеченности 3,38%, что позволяет говорить о том, что большая численность сообщества необязательно соответствует высокой вовлеченности.

Таблица 5. Показатели вовлеченности аудитории (III этап исследования)

№	Название группы	Показатель вовлеченности аудитории (DPER)
1	Университет СИНЕРГИЯ	0,17
2	Университет ИТМО	0,15
3	МГИМО Университет	0,09
4	Уральский федеральный университет	0,49
5	Политехнический университет (СПб)	0,36
6	Сибирский федеральный университет	0,68

Наибольший показатель вовлеченности аудитории показало сообщество «Сибирский федеральный университет», наименьший показатель – у сообщества «МГИМО Университет».

**Выводы.** В ходе исследования была апробирована методика определения показателя вовлеченности, предложенная компанией JagaJam. С помощью конкретных данных, собранных из онлайн-сообществ социальной сети «ВКонтакте», была доказана ее состоятельность.

Результаты исследований показали, что показатель вовлеченности аудитории не находится в прямой зависимости от численности и тематики онлайн-сообществ.

Максимальный показатель вовлеченности аудитории наблюдается у сообщества развлекательной тематики (на стене данного сообщества публикуются только посты с видеоматериалами юмористического плана), при этом оно имеет достаточно низкую численность относительно других исследованных сообществ.

Возможным недостатком определения коэффициента вовлеченности как одной из SMM-метрик можно назвать нехватку смыслового наполнения и контекста.

Предварительное исследование показателя вовлеченности можно рекомендовать маркетологам при проведении рекламных кампаний (для выбора сообщества с максимальной вовлеченностью аудитории).

### **Литература**

1. Все, что нужно знать про вовлеченность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jagajam.com/ru/blog/post/vse-cto-nuzhno-znat-pro-vovlechennost-122275>, своб.
2. Рыков Ю.Г. Структура социальных связей в виртуальных сообществах: сравнительный анализ онлайн-групп социальной сети «ВКонтакте»: автореферат дис. ... канд. социол.н.: 22.00.04 / Рыков Юрий Георгиевич. – М.: Нац. исслед. ун-т «Высш. шк. Экономики», 2016. – 27 с.



**Усик Светлана Владиславовна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
студент группы № К4240

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: sveta-usik95@yandex.ru



**Хлопотов Максим Валерьевич**

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
к.т.н., доцент

e-mail: khlopotov@corp.ifmo.ru

**УДК 338.36**

**СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ДАННЫХ В АНАЛИТИЧЕСКИХ  
ИНСТРУМЕНТАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДАЖАМИ КОМПАНИИ СЕГМЕНТА FMCG**

**Усик С.В., Хлопотов М.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Хлопотов М.В.**

В работе раскрыты основные понятия процесса управления продажами и систем бизнес-анализа. Описан подход к процессу мониторинга качества данных. Рассмотрены основные источники данных, определены методы сбора и агрегации первичных метрик для мониторинга качества данных, и разработан прототип инструмента мониторинга на аналитической платформе QlikView.

**Ключевые слова:** качество данных, система бизнес-анализа, аналитические инструменты, business intelligence.

Компания ООО «Объединенные пивоварни Хейнекен» – это российское подразделение международного концерна HEINEKEN N.V. – лидирующей пивоваренной компании в мире.

Число клиентов компании растет большими темпами, с ростом количества заказов необходимо думать о производительности и отказоустойчивости сервисов, искать новые возможности для автоматизации процессов, протекающих в компании.

Одной из особенностей компании ООО «Объединенные пивоварни Хейнекен» является ее ИТ-инфраструктура. В компании используется большое количество информационных систем, в том числе и системы бизнес-анализа.

В 2016 году в компании было принято решение о формировании департамента Business Intelligence, который занимается разработкой платформы для удовлетворения информационных потребностей бизнес-пользователей. Платформа состоит из двух частей: хранилище данных и аналитическое приложение (QlikView).

В ходе построения единого корпоративного хранилища данных аналитики и разработчики столкнулись с проблемой несоответствия данных на различных источниках. Причинами таких несоответствий зачастую были пользовательские ошибки (опечатки при вводе, неправильно проведенная транзакция), потеря актуальности данных одним из источников, технические сбои при передаче информации из одной системы в другую и т.д. Разрешение этих проблем вручную практически невозможно, однако имеются некоторые способы их автоматизации.

Для решения проблемы несоответствия данных руководством департамента Business Intelligence было принято решение о создании инструмента, который должен выявлять несоответствия и ошибки в системах-источниках. Такой инструмент должен повысить качество данных, а значит, и качество предоставляемой отчетности, на основе которой руководство компании будет способно принимать грамотные и оперативные стратегические и управленческие решения.

Объектом исследования является процесс мониторинга качества данных в аналитических инструментах.

Предметом исследования выступает совокупность методов и средств мониторинга качества данных в аналитических инструментах управления продажами компании сегмента FMCG<sup>1</sup>.

Первым и наиболее популярным определением качества данных является определение Дж. Джурана: данные имеют высокое качество, если они пригодны для их предполагаемого использования в операциях, принятии решений и планировании [1].

Согласно стандарту ISO 9000, качество данных может быть определено как степень, в которой набор характеристик данных соответствует требованиям [2].

Примерами характеристик являются: полнота, достоверность, точность, согласованность, доступность и своевременность [3]. Требования определяются как потребность или ожидание, которые изложены, как правило, подразумеваемые или обязательные. Цель процесса мониторинга качества данных – иметь единый инструмент, который может использоваться для оценки качества данных в аналитических инструментах, служащих, в свою очередь, для принятия бизнес-решений.

Для построения аналитической отчетности в системах бизнес-анализа используются данные из различных источников. Это могут быть базы данных ERP<sup>2</sup>, CRM<sup>3</sup> или других корпоративных систем, включая многомерные базы данных, специальные хранилища и витрины данных, Excel или XML-файлы и другие текстовые файлы, имеющие разделители.

Поскольку система бизнес-анализа предполагает предоставление актуальных данных, необходимо обеспечить постоянную доступность и актуальность данных в первоначальных источниках.

В случае технических сбоев, недоступности и неактуальности данных важно своевременно реагировать и предпринимать действия по устранению неисправностей. Исходя из необходимости постоянного мониторинга доступности источников, определены следующие метрики:

1. доступность. Заключается в проверке того, что сервер источника доступен. Через подключение к базе и получение серверной даты. Если серверная дата равна текущей, то проверка завершена успешно;
2. актуальность. Заключается в отображении даты основных данных в источнике данных. Для большинства источников – текущая дата, либо выполняется особое условие;
3. задержка в данных. Заключается в определении разницы между временем поступления данных в источник на продуктивном сервере и на сервере с репликой источника. Задержка в данных должна быть не более 1 часа;
4. критичность. Определяется доступностью источников и актуальностью данных.

В таблице приведено описание основных мер для мониторинга качества данных в источниках.

<sup>1</sup> FMCG (Fast-moving consumer goods) – товары повседневного спроса.

<sup>2</sup> ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия.

<sup>3</sup> CRM (Customer Relationship Management) – управление взаимоотношениями с клиентами.

Таблица. Описание основных мер для мониторинга качества данных в источниках

Меры	Источники для мониторинга (измерения)				
	Доступность	Актуальность	Критичность	Доступный период	Задержка в данных
DB	GetDate()= Today	[DB].[dbo].[Fact]. Last_Modified_Date	[Fact].Last_Modified_Date < Today()	Current Day	–
DB2	GetDate()= Today	DB2.[dbo].[Table]. last_change_datetime	[dbo].[Table].last_change_datetime < Today()	Current Day	Difference in Days and Hours
DB3	GetDate()= Today	DB3.[Table].Date	[Table].Date < Today() -1	Current Day	–
DB4	GetDate()= Today	DB4.[Table] t1 JOIN DB4.[dbo].[DimDate] D ON t1.DateKey=D.DateKey	DateCaption ([dbo].[Table] t1 JOIN [dbo].[DimDate] D ON t1.DateKey=D.DateKey) < CurrentMonth - 3	Current Day	–

Интерфейс мониторинга источников данных приведен на рисунке.



Рисунок. Интерфейс мониторинга источников данных

В результате данной работы были получены следующие результаты:

- определены характеристики качества данных;
- определены источники данных, используемые в аналитических отчетах;
- определены первичные метрики для мониторинга качества данных;
- проанализирована структура источников-хранилищ данных;
- составлены бизнес-правила для оценки качества данных и определены алгоритмы сбора и агрегации данных на основе составленных правил;
- разработан прототип инструмента мониторинга качества данных с первично определенными метриками на аналитической платформе QlikView.

Аналитика может быть бесполезной, контрпродуктивной и даже вредной, если она основана на данных, которые не являются качественными.

### Литература

1. Juran J.M. Juran on Leadership for Quality: An Executive Handbook // New York: The Free Press. – 1989. – P. 89.
2. General Administration of Quality Supervision. Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Quality management systems-Fundamentals and vocabulary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Administration\\_of\\_Quality\\_Supervision,\\_Inspection\\_and\\_Quarantine](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Administration_of_Quality_Supervision,_Inspection_and_Quarantine), своб.
3. Stein J.M. Oracle Warehouse Builder Installation and Configuration Guide // ORACLE. – 2009, 10 g Release 2. – P. 237–238.



**Азизова Элина Зауровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4220

Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи

e-mail: elina@niuitmo.ru

**УДК 004.054**

## **АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАРИЕВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ**

**Азизова Э.З.**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

Широкое распространение информационных сетей и развитие технологических возможностей оборудования, а также потребности бизнеса, влекут за собой развитие программного обеспечения, в том числе распределенных систем. Рост популярности распределенных систем вызван существенным ужесточением требований, предъявляемых заказчиком к современным программным продуктам. Для корректной работы необходимы процедуры тестирования. Сегодня существует определенный набор методов и средств тестирования для распределенных систем, однако, не все из них получили широкое применение. В работе приведен обзор и анализ инструментов для тестирования TeamCity, Jepsen и Chaos Monkey.

**Ключевые слова:** распределенная система, TeamCity, Jepsen, Chaos Monkey.

Существуют разные методики тестирования распределенных систем (РС). Помимо распространенных классических подходов (модульное тестирование, системное тестирование, интеграционное тестирование) для РС есть и другие подходы, которые необходимы для обнаружения сложных дефектов и ошибок.

Наиболее популярен подход внедрения сбоя (fault injection) [1]. Его суть заключается в процессе работы системы, при помощи специальных программ и механизмов добавляются сбои:

- сбои дисков или машин;
- сетевые сбои;
- сбои внутренних компонентов тестируемой системы.

Так как подавляющее большинство РС должны обладать устойчивостью к подобному рода сбоям, с системой не должно происходить каких-либо существенных изменений.

Можно сделать вывод на основе проведенного анализа, что тестирование на отказоустойчивость, одно из главных требований к РС. С ростом количества работающих машин, растет и вероятность появления индивидуальной проблемы на какой-то из них. Система обязана справляться с такими ситуациями, никоим образом их не замечая.

Есть наиболее академические подходы, к примеру, формальная верификация (formal verification). В РС есть внутренние алгоритмы и протоколы, которые позволяют ей функционировать. Они достаточно сложны, но гарантируют определенные инварианты, которые должны быть достигнуты всегда, вне зависимости от каких-либо сбоев в системе. Суть подхода сводится к тому, что корректность алгоритма на специальном языке проверяется только на основе его описания. Это позволяет утверждать, что тот алгоритм, который используется, при условии, что он корректно реализован, будет работать [2].

Особенность при тестировании в РС в том, что важно осознавать, какие именно инварианты гарантирует тестируемая система.

Самая распространенная ошибка – это проверка не всех гарантий, которые система должна предоставлять, в этом случае система является не дотестированной. Вторая ошибка, последствия которой могут быть плачевны, это нетестирование на отказ какой-то части системы [3].

Тестовое окружение зависит от технологий, которые используются для разработки, и от технологий, которые знакомы команде.

Для автоматизации тестирования обычно строится репозиторий тестов, которые автоматически запускаются на специальном сервере.

Рассмотрим несколько инструментариев для автоматизации тестирования в распределенных системах: TeamCity, Jepsen и Chaos Monkey.

TeamCity – это серверное программное обеспечение, написанное на языке Java, разработанное компанией JetBrains, которое обеспечивает непрерывную интеграцию кода. Однако, кроме всего прочего, ее можно использовать как полноценную систему для управления, запуска и анализа функциональных автотестов. TeamCity не требует никакого изменения логики системы для функционального автотестирования [4].

TeamCity также обеспечивает возможность использования нескольких систем контроля версий одновременно, интеграцию с разнообразными средами разработки, такими как Visual Studio, Eclipse, IntelliJ IDEA, позволяет осуществлять «облачную» сборку проекта – синхронное проведение нескольких сборок, тестирование кода в различном программном окружении и на смежных платформах.

На основе применения метода fault injection создан инструмент Chaos Monkey, разработанный технической группой компании Netflix и выпущенный как программное обеспечение с открытым исходным кодом.

Такие технологии, как Chaos Monkey, позволяют осуществлять контроль, диагностику, рандомизацию и разрушение инфраструктуры. Инженеры с помощью автоматизации данных процессов смогут в дальнейшем обезопасить юзеров от последствий серьезной проблемы, в случае ее возникновения.

Далее приведен перечень шагов, которые описывают процесс создания условий для непрерывного тестирования инфраструктуры.

- запуск экземпляров;
- формирование автономной инфраструктуры;
- обучение и профилактика: реагирование на отказы и предотвращение их повторения;
- использование автоматического тестирования для гарантии автоматического восстановления.

Chaos Monkey выполняет следующие функции: мониторинг, диагностика, внесение сбоев в работу, рандомизация, самовосстановление инфраструктуры [5].

Chaos Monkey специально уничтожает ресурсы в производственной среде в первой половине дня, когда инженеры на рабочих местах и готовы исправить любые появляющиеся баги. Кроме того, диагностирование и устранение проблем в реальных рабочих условиях – одна из лучших практик.

Базисом для инфраструктуры непрерывного тестирования и автоматического восстановления служит то, что:

- инфраструктура обязательно откажет;
- эти отказы нужно исследовать в производственных условиях, когда инженеры бывают на своих рабочих местах;
- когда отказ возобновится, инфраструктура восстановится сама, чтобы пользователи не заметили.

Jepsen – фреймворк для тестирования распределенных систем, написанный на Clojure. Это набор готовых тестов для уже существующих баз данных, очередей и т.д.

Jepsen имитирует сетевые ошибки, генерирует случайные операции к распределенной системе, а затем проверяет, каким образом эти операции были применены к распределенной системе, эталонному поведению, к модели этой распределенной системы, и есть ли с этим проблемы. Если Jepsen нашел какую-либо проблему, то он нашел для распределенной системы контрпримеры, и это означает наличие ошибки.

В Jepsen есть огромное количество моделей различного назначения. Jepsen-тест включает в себя несколько необходимых частей: генератор, генерирующий рандомные операции, которые применяются к РС, сама запущенная РС, и эталонная модель, описывающая поведение РС. Тесты необходимо создавать на Clojure.

TeamCity, Jepsen и Chaos Monkey являются довольно распространенными инструментами автоматизированного тестирования РС. Чаще и эффективней используются Jepsen и Chaos Monkey, так как реализуемый ими метод fault injection пользуется большой популярностью, ввиду своей продуктивности. Данный метод предполагает внедрение сбоев в систему, что, по сути, является тестированием на отказоустойчивость – одно из основополагающих требований для РС.

### Литература

1. Giannakopoulou D., Leavens G.T., Sitaraman M. SAVCBS 2001 Proceedings Specification and Verification of Component-Based Systems // Workshop at OOPSLA 2001. – October 14, 200. – P. 136.
2. Gopalan Suresh Raj. Web Cornucopia. An Oasis for the parched Enterprise Component Engineer/Developer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.execs.com/gopalan/>, своб.
3. Nayeem Islam. Distributed Objects Methodologies for Customizing Systems Software // IEEE Computer Society Press. – 1996.
4. Philippe Collet. On Contract Monitoring for the Verification of Component Based Systems // Objects and Software Components Group.
5. Enterprise: Java Pet Store Sample Application [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oracle.com/technetwork/java/>, своб.



**Амосова Анастасия Федоровна**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: amosova@outlook.com

**УДК 004.056.5**

**ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ  
MICROSOFT SQL SERVER 2017**

**Амосова А.Ф.**

**Научный руководитель – ст. преподаватель Осетрова И.С.**

В работе проведен обзор основных функций безопасности системы управления базами данных Microsoft SQL Server 2017, рассмотрены области безопасности SQL Server и встроенные средства, входящие в них, которые позволяют реализовать защиту доступа к данным.

**Ключевые слова:** базы данных, безопасность, защита данных, Microsoft SQL Server.

Система управления базами данных (СУБД) Microsoft SQL Server 2017 располагает целым арсеналом средств для обеспечения защиты данных, которые в зависимости от подхода могут быть отнесены к одной из трех функциональных областей (рисунок):

1. шифрование предотвращает использование информации неавторизованными лицами;
2. контроль доступа базируется на разрешениях, строго определенных для участников;
3. мониторинг направлен на отслеживание потенциально вредоносной активности.



Рисунок. Функциональные области безопасности Microsoft SQL Server 2017

Шифрование в SQL Server 2017 обеспечивается нижеуказанными средствами:

- расширенное управление ключами;
- прозрачное шифрование данных;
- шифрование на уровне ячеек;
- постоянное шифрование;
- шифрование диска BitLocker;
- шифрование соединения.

Расширенное управление ключами позволяет хранить ключи, шифрующие данные, или же другие ключи на внешних устройствах, таких как USB-ключи, смарт-карты, аппаратные модули безопасности (HSM) и т.п., что способствует размещению ключей шифрования отдельно от зашифрованных ими данных. Данная функция позволяет поставщикам аппаратных модулей безопасности регистрировать производимые ими модули в SQL Server, благодаря чему у пользователей SQL Server есть возможность использовать ключи, хранящиеся в указанных модулях, а также применять поддерживаемые этими модулями расширенные возможности шифрования.

Прозрачное шифрование защищает данные в состоянии покоя и применяется совместно с расширенным управлением ключами или хранилищем ключей, чтобы администраторы операционной системы не смогли расшифровать зашифрованные данные. Прозрачное шифрование обеспечивает хранение зашифрованных данных на жестком диске и их оперативную расшифровку при считывании в память, что позволяет разработчикам шифровать файлы базы данных, файлы журналов и резервные копии без внесения изменений в существующие приложения.

Шифрование на уровне ячеек, как и прозрачное шифрование, защищает данные в состоянии покоя, но оно обеспечивает «тонкую настройку», позволяя разработчикам самостоятельно определять, какие конкретно столбцы шифровать, и выбирать для них подходящий метод шифрования: при помощи пароля, ключевой фразы, сертификата, асимметричного или симметричного ключа. Доступ к расшифрованным данным регулируют разрешения и роли. Шифрование и дешифрование происходят на уровне сервера, так что пока данные остаются зашифрованными в буферном пуле, они переданы/получены в виде открытого текста.

Постоянное шифрование защищает данные как в состоянии покоя, так и в движении. Конфиденциальные данные шифруются непосредственно перед отправкой запроса по сети. Для вставок и обновлений зашифрованные данные хранятся без расшифровки. Дешифрование происходит на авторизованных клиентах с применением соответствующего ключа шифрования, который гарантирует, что конфиденциальные данные скрыты от любого пользователя за исключением тех клиентов, для которых они предназначены. Шифрование и дешифрование осуществляются на уровне клиента, данные обрабатываются и хранятся в двоичном виде без доступа к ключу шифрования.

Шифрование диска BitLocker шифрует том диска для защиты данных от тех, кто имеет физический доступ к носителю. С помощью BitLocker ключи шифрования, используемые для защиты данных, хранятся в доверенном платформенном модуле (TPM) на хосте или в аппаратном модуле безопасности (HSM), подключенном к хосту. При подключении носителя к другой машине никакие данные на зашифрованном диске недоступны, и таким образом без правильного ключа шифрования данные полностью заблокированы.

Шифрование соединения обеспечивается с помощью SSL/TLS или, более конкретно, протокола TLS 1.2. TLS создает частные соединения с использованием симметричной криптографии для шифрования передачи данных. Протокол TLS обеспечивает эффективную защиту данных от атак с помощью проверки подлинности конечной точки сторонним хранилищем сертификатов, общего секретного взаимодействия и проверки целостности сообщений.

Контроль доступа в SQL Server 2017 осуществляется следующими функциями:

- разделение обязанностей;
- разрешения;
- олицетворение;
- хранимые процедуры и представления;
- параметризованные запросы;
- безопасность на уровне строк;
- маскирование динамических данных;
- технология Just Enough Administration;
- управление привилегированным доступом;
- аутентификация Active Directory;
- брандмауэр Windows.

Разделение обязанностей служит для защиты данных от тех, кто традиционно имеет неограниченный доступ к ресурсам и данным. Оно базируется на предоставлении минимального набора разрешений, который необходим для роли выполнения своего функционала. Например, поскольку системное администрирование и администрирование баз

данных (DBA) являются разными видами деятельности, пользователям с привилегиями администратора операционной системы не следует иметь неограниченный доступ к схемам баз данных и самим данным. В свою очередь, DBA, имеющие возможность управлять правами доступа и изменять схемы базы данных, не нуждаются в доступе к конфиденциальным личным или финансовым данным.

Разрешения назначаются участникам (пользователям, именам входа, ролям) и имеют свою иерархию, основанную на сферах влияния. Разрешения уровня сервера определяют действия на уровне СУБД, тогда как разрешения уровня базы данных относятся к конкретной базе данных. Хорошей практикой является назначение разрешений ролям, а не конкретным пользователям. Именам входа должна быть назначена роль с соответствующими разрешениями для выполнения повседневных задач.

Олицетворение осуществляется через инструкцию EXECUTE AS и позволяет выбрать контекст, в котором выполняется команда. Это особенно полезно, если определенные операции находятся вне границ регулярного использования конкретной группой пользователей. Олицетворение может использоваться в любой исполняемой SQL-инструкции, обеспечивая программируемые или требуемые разрешения, необходимые для выполнения задач без предоставления разрешений вручную на постоянной основе.

Хранимые процедуры и представления инкапсулируют задачи для того, чтобы команды всегда выполнялись в установленном порядке. Использование хранимых процедур и представлений ограничивает доступ к базовым таблицам и нерегламентированным запросам, предписывая, какие конкретные действия пользователи могут выполнять. Хранимые процедуры могут принимать параметры, а также возвращать скалярные значения или наборы данных. Представления доступны только для чтения, включают предопределенные запросы и могут быть оптимизированы для взаимодействия с клиентом.

Параметризованные запросы являются хорошей практикой по обеспечению безопасности от атак внедрением кода SQL. Как и в хранимых процедурах, параметры запроса строго типизированы и абстрагированы от самой SQL-инструкции, входя в состав объекта `sqlcommand`. Конечно, хранимые процедуры предпочтительнее с точки зрения ремонтпригодности и повторного использования, но параметризованные запросы являются вполне допустимым подходом к защите запросов на уровне приложения.

Безопасность на уровне строк гарантирует, что данные могут быть получены только теми пользователями, которые должны иметь к ним доступ, и не могут быть получены остальными. Ограничение доступа осуществляется на уровне СУБД, а не приложения, тем самым упрощая проектирование и кодирование приложений. Доступ к данным на уровне строк обеспечивается политикой безопасности, которая вызывает встроенную функцию с табличным значением как предикат безопасности. С помощью предикатов фильтров отфильтрованные строки исключаются без внешних признаков какой-либо фильтрации. С помощью предикатов блокировки операции, которые нарушают предикат, завершаются ошибкой.

Маскирование динамических данных скрывает конфиденциальные данные, закрывая все значения или их часть маской данных. Исходные данные для маскированного столбца остаются неизменными, но при запросе непривилегированные пользователи видят маскированную версию данных, а не фактические значения. Это может быть особенно полезно при работе с информацией конфиденциального характера, такой как номера банковских счетов. Существует несколько встроенных функций маскирования: по умолчанию, электронная почта, пользовательские строки и случайная.

Технология Just Enough Administration позволяет обеспечить минимальное число разрешений для системных администраторов до уровня необходимых разрешений. Она временно предоставляет авторизованному пользователю повышенные права, чтобы выполнить ряд задач, которые требуют такого повышения, под строгим мониторингом и

контролем. Это значительно снижает риск для администратора или злоумышленника получить возможность атаковать систему изнутри.

Управление привилегированным доступом базируется на диспетчере удостоверений Microsoft (MIM) и основывается на концепции JIT-администрирования (just-in-time – точно в срок). Privileged Access Management (PAM) работает с использованием второго (надежного) леса бастиона Active Directory. Привилегированный доступ предоставляется по запросу от бастиона леса с ограничением по времени. Этот запрос доступа основан на заданных политиках MIM. Весь процесс тщательно контролируется и регистрируется, включая оповещения, аудит и отчеты о привилегированном доступе.

Аутентификация Active Directory обеспечивает альтернативу проверке подлинности SQL Server, которая может быть громоздкой при общении с учетом разрешений и паролей со сроками действия. Она дает возможность использовать протокол безопасности kerberos, а также дополнительные политики паролей, которые не работают совместно с проверкой подлинности SQL Server, и осуществляет проверку подлинности на основе маркеров между клиентами и данными.

Брандмауэр Windows действует для предотвращения несанкционированного доступа к хосту, ограничивая активность на коммуникационных портах (TCP и UDP), чтобы выбрать предварительно утвержденные порты и приложения. По умолчанию брандмауэр Windows закрывает порт 1433 (TCP/IP порт по умолчанию для SQL Server), предотвращая сетевой доступ к СУБД. Администраторы могут включить этот порт, открыть другой порт, если он используется, или добавить sqlserver.exe в список исключений для брандмауэра Windows, который позволяет использовать динамические порты.

Мониторинг в SQL Server 2017 реализуется посредством аудита, который включает в себя отслеживание и протоколирование событий, происходящих на уровне базы данных или SQL Server.

Встроенный аудит отслеживает попытки входа в систему (особенно неудачные попытки), чтобы регистрировать подозрительные попытки подключения. SQL Server позволяет использовать расширенные события в создании аудита, что позволяет администраторам создавать пользовательские проверки для проведения различных мероприятий, чтобы помочь отследить и предотвратить вредоносную деятельность. Дополнительные триггеры могут быть определены, чтобы вызвать события, такие как необычные периоды времени или дублирование входа из нескольких систем, которые могут свидетельствовать о нарушении.

Пользовательский аудит событий позволяет разработчикам определять события для фиксации пользовательских данных в журнал аудита. Это особенно полезно для отслеживания потенциально опасных действий авторизованных пользователей. Триггеры могут быть настроены, например, на переводы крупных денежных сумм, многократные денежные переводы в течение короткого промежутка времени или сделки, совершенные за пределами стандартных рабочих часов.

В заключении хотелось бы отметить и особенно подчеркнуть, что количество найденных уязвимостей за последние семь лет у SQL Server на порядок ниже, нежели у MySQL или Oracle, и существенно меньше, чем у других популярных СУБД [1–4].

## Литература

1. Microsoft SQL Server. Keeping your data secure with SQL Server 2016. Technical White Paper [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://download.microsoft.com/download/9/0/E/90E591E0-1F6D-4C79-A0C8-9E2B29A94B15/SQL\\_Server\\_2016\\_Keeping\\_Data\\_Secured\\_White\\_Paper\\_EN\\_US.pdf](http://download.microsoft.com/download/9/0/E/90E591E0-1F6D-4C79-A0C8-9E2B29A94B15/SQL_Server_2016_Keeping_Data_Secured_White_Paper_EN_US.pdf), своб.
2. Строгая безопасность среды CLR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/database-engine/configure-windows clr-strict-security>, своб.
3. Carter P.A. Securing SQL Server. DBAs Defending the Database // Apress. – 2016. – 165 p.
4. Bruchez R. Microsoft SQL Server 2012 Security Cookbook // Packt Publishing. – 2012. – 307 p.



**Антонов Егор Петрович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение

в инфокоммуникациях

e-mail: glycin@inbox.ru

**УДК 004.031.43**

**ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН**

**Антонов Е.П.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 616025 «Исследование и разработка гибридной облачной инфраструктуры для формирования системы подготовки высококвалифицированных IT кадров».

В работе рассмотрены существующие информационные системы на основе технологии блокчейн. Был проведен анализ предметных областей и актуальности применения блокчейна в действующих системах, а также рассмотрены преимущества использования этой технологии и наиболее вероятные перспективы ее использования.

**Ключевые слова:** децентрализация, блокчейн, распределенные информационные системы, шифрование, программное обеспечение.

В современном мире развитие сферы информационных технологий происходит максимально бурно. В достаточно большом количестве появляются новые технологии, призванные изменить привычный образ деятельности человека. Одна из самых популярных технологий настоящего времени – блокчейн. Это достаточно новая и сложная для общего понимания технология информационной сферы, объединяющая сразу несколько других, таких как распределенные системы, децентрализация, цифровая подпись и криптография. Однако главная особенность блокчейна определяется прямо из названия – блокчейн (blockchain) представляет собой связный список, реализующийся в виде непрерывной последовательности блоков, которые содержат определенную информацию. Базовая единица измерения – блок транзакций, т.е. совокупность определенным образом исполненных операций, объединенных по выбранному правилу. Чаще всего блок транзакций хранит информацию о себе в виде сверточной функции или хэша, а также об исполненных транзакциях и служебной информации. Причем каждый блок содержит в себе информацию о предыдущем. Таким образом, формируется непрерывная цепочка блоков, которая реплицируется и проверяется остальными участниками распределенной системы. Именно благодаря распределенности и взаимным проверкам блокчейн позволяет надежно сохранять и подтверждать всевозможные транзакции внутри системы и обходиться без централизованного управления.

В настоящее время технология блокчейн получила большую популярность как следствие бурного развития рынка криптовалюты. Именно с ее развитием связано широкое распространение новой технологии. Переход на использование криптовалюты принес определенные новшества в процесс оборота денежных средств. Так, например, транзакция обеспечивает гарантированное получение виртуальных денежных средств максимально открыто для каждой из заинтересованных сторон, при этом обеспечивая ожидаемую анонимность. Основу рынка криптовалюты положил Биткойн (Bitcoin), как первая

реализация децентрализованной системы совершения и верификации транзакций. Однако такая реализация, включающая в себя комиссию для участников сети, вычисляющих нужное значение свертки (так называемых «майнеров»), ограничена в пропускной способности транзакций. Так, на данный момент количество транзакций за сутки колеблется в пределах от 200 до 250 тысяч, что эквивалентно всего примерно трем транзакциям в секунду [1]. Эта реализация считается классической. Более продвинутой считается реализация блокчейна, использующая смарт-контракты, иначе называемая вторым поколением блокчейна. Смарт-контракт – это компьютерный протокол, предназначенный для цифрового упрощения, проверки или обеспечения выполнения согласования или исполнения контракта. Он позволяет регистрировать любые сделки внутри системы, основанной на блокчейне, без использования классических юридических процедур. Однако наличие в системе применения таких смарт-контрактов еще сильнее увеличивает размер блокчейна. В наиболее популярной реализации этого поколения блокчейна Ethereum полный размер цепочки составляет уже более 300 ГБ данных. Проблема размера блокчейна приводит к тому, что пользователи должны полностью загружать и проверять полученные данные о блокчейне, что ожидаемо накладывает ограничения на использование. В итоге пользователи сети используют «виртуальные онлайн кошельки», доверяя узлам сети, имеющим полную копию блокчейна. Однако это нарушает условие одноранговости блокчейна, что приводит технологию к традиционной клиент-серверной, в которой конкретные узлы сети обладают большими полномочиями. А это, в свою очередь, разрушает децентрализацию и основную идею «взаимного недоверия» между узлами сети.

Однако технология блокчейн не ограничивается только миром криптовалюты, хотя та и дала основной толчок развитию новых технологий. Помимо финансового сектора, существуют и другие предметные области, в которых начинают появляться решения, основанные на различных видах реализации блокчейна. Вполне ожидаемо, что главные заинтересованные лица – представители финансовой сферы, а именно банковский сектор. Так, например, представители одной из крупнейших платежных систем VISA в августе 2017 года подали патентную заявку, описывающую методы и системы использования цифровых подписей для создания надежных передач цифровых активов [2]. А в ноябре 2017 года оператор связи Мегафон совместно с банками Альфа-Банк и Сбербанк впервые в России совершили банковский платеж на основе технологии блокчейн, при помощи децентрализованной компьютерной сети, состоящей из Endorser-узлов, взаимодействующих по протоколу технологии Hyperledger Fabric платформы IBM Blockchain. Endorser-узел – компьютерный сервер, подтверждающий транзакцию. Участие трех таких узлов подтверждает использование технологии блокчейн как механизма, который позволяет достичь целостности и неизменности транзакции. Немного ранее авиакомпания S7, используя частный блокчейн на основе Ethereum, оформила первый в мире авиабилет при помощи подключения к банковской системе Альфа-Банка. Все участники таких операций отметили возможность существенной оптимизации бизнес-процессов, в частности – ускорения проведения транзакций. Еще одной сферой деятельности, напрямую привязанной к финансовой активности, является биржевая торговля. Использование блокчейна благоприятно сказывается на времени выполнения торговых расчетов и снижает практически до нуля риск невыполнения обязательств. Ярким примером внедрения блокчейна в процессы биржевой торговли является запуск в конце 2015 года биржей Nasdaq инструмента управления цифровыми активами – Nasdaq Linq.

Одним из наиболее перспективных направлений развития блокчейна является так называемый «Интернет вещей» (IoT). Применение блокчейна позволит значительно снизить показатели централизации системы и обеспечить максимальную эффективность в сети посредством введения доверия между устройствами. В начале 2015 года IBM в сотрудничестве с Samsung представила концепцию проекта ADEPT – автономной децентрализованной одноранговой сети телеметрии, который позволит устройствам такой

сети передавать информацию о своем состоянии и самостоятельно получать обновления программного обеспечения, используя блокчейн в локальных пулах для обмена данными и экономии энергии. Пример проекта по реализации технологии блокчейн в мире IoT – продукт компании Airalab – Drone Employee. В его основе лежит использование Ethereum и смарт-контрактов для взаимодействия человек–устройство или устройство–устройство. Такой подход к реализации взаимодействия, в свою очередь, порождает новый вид сервисов – RaaS (Robots as a Service). В таком виде сервисов заинтересованы крупнейшие сервисы доставки. Например, компания Walmart подала заявку на регистрацию патента, описывающего возможности беспилотной воздушной доставки в безопасное место с использованием блокчейна для контроля дронов и воздушного пространства [3]. В данном случае блокчейн позволяет не только рационально автоматизировать управление доставкой, но и гарантировать поставку товаров в соответствии с условиями транзакции. Такое эффективное логистическое решение тестируется в Финляндии, в качестве узлов сети предлагается использовать «умные» контейнеры, которые при помощи блокчейна будут самостоятельно принимать решение о наиболее выгодном маршруте и отправлять в сеть свое текущее состояние. Еще один проект использования блокчейна в транспорте – тестирование международной ассоциацией воздушного транспорта (IATA) возможностей применения этой технологии в качестве построения единой системы совершения транзакций между компаниями. Главная цель – более эффективное расходование средств при обслуживании транзакции позволит сэкономить до 8 миллиардов долларов ежегодно [4].

Еще одной сферой деятельности, где применение блокчейна может широко распространиться, является индустрия развлечений и сохранения авторских прав. Главный вопрос в этой сфере – получение справедливой прибыли авторами контента и подтверждение авторских прав на уникальный контент. Блокчейн может решить эту проблему при помощи смарт-контрактов, соединяя напрямую всех заинтересованных лиц: авторов, дистрибьютеров и потребителей. Наиболее успешной на данный момент является платформа Muse, представляющая собой децентрализованную сеть музыкантов на основе блокчейна «третьего поколения». Используя такую сеть, исполнители могут получать доход мгновенно, не используя при этом услуги отдельных дистрибьютеров. Сервис Ascribe позволяет творческим людям подтверждать и сохранять цифровую собственность с помощью блокчейна. Также в этом сервисе используется механизм передачи авторских прав с применением юридических особенностей. Похожую систему защиты интеллектуальной собственности разрабатывают сотрудники Томского государственного университета. Проект Rupto.io позволяет подтвердить приоритет интеллектуальной собственности в конкретный момент времени. Также довольно примечательны проекты по подтверждению прав собственности в реальном мире. Следует выделить сервисы регистрации подлинности предметов искусства и роскоши, которые проводят регистрацию обладания той или иной вещи в определенный промежуток времени, что позволяет удостовериться в подлинности. Наиболее известный из таких сервисов – платформа Everledger, которая начинала свою деятельность с регистрации драгоценных камней на блокчейне.

Довольно перспективными системами, работающими на блокчейне, могут стать государственные сервисы. Имеется уже достаточно много примеров использования технологии блокчейн в таких сферах государственного сектора, как: здравоохранение, землепользование, документооборот, регистрация компаний и проведение голосований [5].

Введение таких систем позволит уменьшить нагрузку на бюджет и сделать государственную деятельность максимально прозрачной как для надзорных органов, так для рядовых граждан.

Таким образом, можно отметить повсеместное распространение технологии блокчейн и систем на ее основе, затрагивающих не только финансовый сектор, но и множество других областей деятельности человека. Очевидно, что эта технология достаточно нова для немедленного внедрения и требует более подробного исследования для применения в

конкретной области. Однако уже сейчас можно утверждать, что блокчейн изменит мир в лучшую сторону, так как главная цель его использования – обеспечение доверия и одноранговости между участниками такой системы. Также в большинстве из рассмотренных случаев наблюдается заметное снижение материальных издержек на деятельность в сравнении с уже используемыми технологиями. Проведенный анализ показал высокую степень популярности данной технологии, что позволяет сделать вывод о положительной тенденции развития блокчейна и актуальности решений на его основе.

### Литература

1. Confirmed Transaction Per Day [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blockchain.info/charts/n-transactions?timespan=1year>, своб.
2. Patent Images [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pdfaiw.uspto.gov/.aiw?Docid=20170237554>, своб.
3. Patent Images [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pdfaiw.uspto.gov/.aiw?Docid=20170147975>, своб.
4. Future of The Airline Industry 2035 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iata.org/policy/Documents/iata-future-airline-industry.pdf>, своб.
5. Блокчейн-технологии в госуправлении. Мировой опыт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.forbes.ru/tehnologii/343203-blokcheyn-tehnologii-v-gosupravlenii-mirovoyu-opyt>, своб.



**Ахтямова Эльвира Мударисовна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4220

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: ellya-31@email.ru

**УДК 004.02**

## **МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Ахтямова Э.М.**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

В работе рассмотрены методы искусственного интеллекта, применяемые в задачах классификации текстовой информации, выделены преимущества и недостатки данных методов.

**Ключевые слова:** классификация текстов, метод Байеса, деревья решений, метод опорных векторов, метод  $k$ -ближайших соседей.

В связи с постоянно растущим объемом текстовой информации в электронном виде и потребностью в ней ориентироваться задача классификации текстов приобретает все большую актуальность.

Классификация текстовой информации предполагает отнесение документа на основании его содержания к одной из заранее определенных категорий и применяется для решения следующих задач:

- фильтрация спама;
- анализ тональности текстовой информации;
- определение тематической принадлежности текстовой информации;
- определение авторства;
- автоматическое аннотирование;
- персонификация рекламы.

Наиболее распространенными методами классификации текстовой информации являются следующие методы:

- деревья решений;
- метод опорных векторов;
- метод Байеса;
- метод  $k$ -ближайших соседей.

Одним из наиболее распространенных методов решения задач классификации и прогнозирования является метод деревьев решений, идея которого заключается в построении разрешающего дерева на «обучающем» наборе документов. Каждый узел дерева содержит условие ветвления по одному из признаков и имеет ветвления, количество которых равно количеству значений выбранного признака. В ходе классификации производятся последовательные переходы от одного узла к другому в зависимости от значений признаков объекта. При достижении одного из конечных узлов дерева классификация считается завершенной, а значение данного конечного узла определяет класс, к которому принадлежит объект.

К преимуществам данного метода относят легкую интерпретацию результатов работы алгоритма и относительно простую программную реализацию, а к недостаткам – необходимость проверки свойств объекта в определенном порядке, даже в случае независимых свойств, а также необходимость большого объема данных для получения точных результатов.

Одним из лучших методов классификации является метод опорных векторов. Множество документов, подлежащих классификации, рассматриваются как множество точек в пространстве размерностью  $|D|$ . Если разделение точек, относящихся к разным классам, с помощью гиперплоскости (прямой линией в двумерном пространстве) возможно, выборку точек считают линейно разделимой, в обратном случае – линейно неразделимой. С точки зрения точности классификации следует выбрать прямую, которая максимально удалена от точек, т.е. прямую, расстояние между которой и ближайшими к ней точками из множеств максимально. Такая прямая называется разделяющей (на рисунке обозначена буквой  $L$ ), а ближайшие к ней точки – опорными векторами.

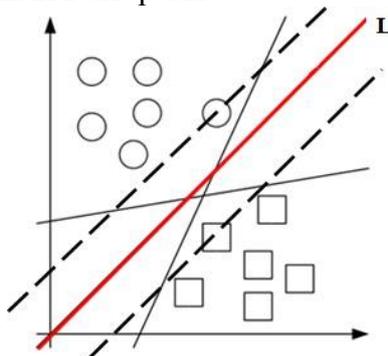


Рисунок. Разделяющая гиперплоскость в методе опорных векторов

Формальная постановка задачи выглядит следующим образом: пусть имеется множество документов  $D = \{d_1, \dots, d_{|D|}\}$ , где каждый документ представлен в виде вектора признаков  $d = (t_1, \dots, t_n)$ . Для разбиения множества  $D$  на два класса  $C = \{-1, 1\}$  необходимо по обучающей выборке  $L = (d_j, c_j)$ ,  $j = 1, \dots, |L|$  найти оптимальные параметры алгоритма классификации:

$$\text{sign}\left(\sum_{k=1}^n w_k t_k - w_0\right) = \text{sign}(\langle w, d \rangle - w_0),$$

где пороговая величина  $w_0$  и вектор  $w = (w_1, \dots, w_n)$  – искомые параметры, так как уравнение описывает искомую гиперплоскость, разделяющую классы [1].

Метод опорных векторов является одним из наиболее качественных методов и не требует большого набора данных для обучения, но при этом имеет низкую скорость обучения и неустойчив к выбросам в исходных данных.

Метод Байеса относится к вероятностным методам классификации. Пусть  $P(c_i | d)$  – вероятность соответствия документа, представленного вектором  $d = (t_1, \dots, t_n)$ , категории  $c_i$  для  $i = 1, \dots, |C|$ . Задача классификатора состоит в подборе таких значений  $c_i$  и  $d$ , при которых значение вероятности  $P(c_i | d)$  будет максимальным:

$$CSV_i(d) = \arg \max_{c_i \in C} P(c_i | d).$$

Для вычисления значений  $P(c_i | d)$  используется теорема Байеса:

$$P(c_i | d) = \frac{P(c_i)P(d | c_i)}{P(d)},$$

где  $P(c_i)$  – априорная вероятность того, что документ отнесен к категории  $c_i$ ;  $P(d | c_i)$  – вероятность найти документ, представленный вектором  $d = (t_1, \dots, t_n)$  в категории  $c_i$ ;  $P(d)$  – вероятность того, что произвольно взятый документ можно представить в виде вектора признаков  $d = (t_1, \dots, t_n)$  [1].

В связи со сложностью вычисления  $P(d|c_i)$  по причине большого количества признаков  $t_1, \dots, t_n$ , делается «наивное» предположение о том, что любые две координаты, рассматриваемые как случайные величины, являются статистически независимыми друг от друга, и используется формула:

$$P(d|c_i) = \prod_{k=1}^n P(t_k|c_i).$$

Затем производится подсчет всех вероятностей по методу максимального правдоподобия.

К преимуществам метода относят высокую скорость работы и относительно простую программную реализацию алгоритма, к недостаткам – относительно низкое качество классификации и неспособность учета зависимости результата классификации от сочетания признаков.

Метод  $k$ -ближайших соседей, являющийся метрическим методом классификации, основывается на оценивании сходства объектов. Классифицируемый объект относят к классу, к которому принадлежат ближайшие к нему объекты обучающей выборки [2].

Для нахождения категории, соответствующей документу  $d$ , классификатор осуществляет сравнение данного документа со всеми документами из обучающей выборки  $L$ , т.е. для каждого  $d_z \in L$  вычисляется расстояние  $\rho(d_z, d)$ . Затем производят выбор из обучающей выборки  $k$  документов, ближайших к документу  $d$ . Документ  $d$  принадлежит наиболее распространенному среди его соседей классу, т.е. для каждого класса  $c_i$  вычисляется функция ранжирования:

$$CSV_i = \sum_{d_z \in L_k(d)} \rho(d_z, d) \cdot \Phi(d_z, c_i),$$

где  $L_k(d)$  – ближайшие  $k$  документов к документу  $d$ ;  $\Phi(d_z, c_i)$  – документы обучающей выборки, которым уже присвоены категории [3].

К преимуществам метода  $k$ -ближайших соседей относят относительно простую программную реализацию, легкую интерпретацию результатов работы алгоритма, а также устойчивость к аномальным выбросам в исходных данных. Метод не подходит для решения задач большой размерности по количеству классов и документов, также к недостаткам метода относят большую длительность работы алгоритма.

В работе рассмотрены одни из самых распространенных методов классификации текстовой информации, выделены особенности данных методов, их преимущества и недостатки. Одним из наиболее качественных методов является метод опорных векторов, который в отличие от метода деревьев решений не требует большого количества данных для получения точных результатов. Однако метод опорных векторов так же, как и метод  $k$ -ближайших соседей, уступает по скорости работы методу Байеса, поэтому при наличии жестких ограничений на время выполнения классификации следует отдать предпочтение методу Байеса. Метод  $k$ -ближайших соседей в отличие от метода опорных векторов устойчив к аномальным выбросам в исходных данных, но следует учесть, что данный метод не подходит для решения задач с большим количеством классов и документов.

## Литература

1. Батура Т.В. Методы автоматической классификации текстов // Программные продукты и системы. – 2017. – № 1. – С. 85–99.
2. Уткин Л.В. Машинное обучение (Machine Learning). Метрические методы классификации и регрессии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.levvu.narod.ru/Machine\\_Learning\\_LTU\\_2.pdf](http://www.levvu.narod.ru/Machine_Learning_LTU_2.pdf), своб.
3. Батура Т.В. Математическая лингвистика и автоматическая обработка текстов. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. – 166 с.

**Барсков Александр Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: stelk1@mail.ru

**Осипов Никита Алексеевич**Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.т.н., доцент

e-mail: nikita@ifmo.spb.ru

**УДК 004.735****МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В КОГНИТИВНЫХ РАДИОСИСТЕМАХ****Барсков А.С.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.**

Когнитивные радиосистемы можно определить, как интеллектуальные системы, способные следить и адаптироваться к изменяющейся окружающей радиосреде. Такие системы позволяют увеличить эффективность использования радиоресурсов.

**Ключевые слова:** когнитивное радио, машинное обучение.

В когнитивных радиосистемах существуют два подхода для адаптации системы к среде. Это механизм рассуждений (policy based engine) и механизм обучения (learning based engine). Механизм рассуждений основывается на своде строго запрограммированных инструкций – как система должна вести себя при определенном сценарии. Механизм обучения использует алгоритмы машинного обучения для нахождения оптимального решения при изменении каких-либо параметров окружающей среды [1–4].

В когнитивном радио используются множество различных алгоритмов машинного обучения, включая скрытые марковские модели, нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткую логику. Почти каждая методика обучения предполагает использование целевой функции для определения значения тестовых данных. В системах когнитивного радио эти целевые функции отражают общую цель использования, такую как увеличение емкости канала. Целью механизма обучения является определение, какие входные параметры оптимизирует целевую функцию. Однако в отличие от целевой функции, используемой механизмом рассуждения, нет простой математической связи между входными параметрами системы и целевой функцией, используемой механизмом обучения.

Необходимым условием для правильной работы механизма обучения, является незнание о том, как изменение входных параметров влияет на выходные. Это вполне типично для неидеальных радиоканалов. Например, как правило, известно, что снижение скорости кодирования (CR) также снижает коэффициент битовых ошибок (BER), однако неизвестно, как сильно для произвольного канала связи. Используя механизм обучения возможно оценить статистику используемого канала, и применив полученные данные, подобрать оптимальные параметры для функционирования в текущей радиобстановке.

Более формально мы определяем множество состояний радиосреды  $S$ . А конкретное состояние  $s \in S$  представляет собой совокупность входных предикатов  $i$  и выходных предикатов  $o$ , т.е.,  $s = i \wedge o$ .

Имеется целевая функция  $f_L: S \rightarrow \mathbb{R}$ , которая может быть определена на определенном состоянии  $s \in S$  и возвращать вещественное число. Состояние  $s_1$  предпочтительнее состояния  $s_2$ , если  $f_L(s_1) > f_L(s_2)$ .

Алгоритм обучения попытается точно охарактеризовать  $f_L()$  в попытке найти оптимальное состояние. Например, нейронная сеть может попытаться найти статистические корреляции между входными и выходными данными с математическим представлением  $f_L()$ .

Аналогичным образом, эволюционные методы, такие как генетические алгоритмы, могут развивать состояния для того, чтобы максимизировать целевую функцию. После каждого изменения состояния, получившееся состояние будет оцениваться. Этот процесс будет продолжаться пока не будет найдено оптимальное состояние.

Предположим, что алгоритм обучения оценил  $N$  различных входов  $i_1, i_2, \dots, i_N$  с результирующими выходами  $o_1, o_2, \dots, o_N$ , прежде чем найти оптимальный набор. Это означает что:

$$f_L(i_N \wedge o_N) \geq f_L(i_n \wedge o_n), \forall 1 \leq n \leq N - 1. \quad (1)$$

Таким образом, теперь известно, что если система не в состоянии  $i_1 \wedge o_1, \dots, i_{N-1} \wedge o_{N-1}$ , то оптимальным решением будет настроить входы в  $i_N$ .

По аналогии с механизмом рассуждения, вышеизложенные действия можно представить следующим образом:

1. Action: learnedActionX

$$\text{Precond: } \forall n \leq N - 1: i_n \wedge o_n \quad (2)$$

$$\text{Postcond: } \bar{i}_n \wedge i_N.$$

Если радиосреда меняется, и принятое решение теперь является неоптимальным, механизм обучения должен удалить неоптимальное решение из базы знаний.

Это может быть выражено как:

2. Action: unlearnActionX

$$\text{Precond: } i_N \wedge \bar{o}_n \quad (3)$$

$$\text{Postcond: } \overline{\text{learnedActionX}}.$$

После этого механизм обучения снова ищет оптимальное решение.

В практическом приложении механизмы машинного обучения в когнитивных радиосистемах используются в следующих основных областях:

- Spectrum sensing (сканирование спектра): позволяет обнаруживать неиспользуемые в данный момент участки спектра и предоставляет их пользователям без помех другим пользователям;
- Dynamic Spectrum Access (динамический доступ к спектру): позволяет более эффективно использовать частотные ресурсы;
- Power allocation (распределение мощности): позволяет оптимально распределять мощность между устройствами, тем самым повышая энергетическую эффективность системы.

## Литература

1. Clancy S., Hecker J., Stuntebeck E., OShea T. Applications of Machine Learning to Cognitive Radio Networks // IEEE Wireless Communications. – 2007. – V. 14. – № 4. – P. 47–52.
2. Bkassiny M., Yang Li, Jayaweera S.K. A Survey on Machine-Learning Techniques in Cognitive Radios // IEEE Communications Surveys and Tutorials. – 2013. – V. 15. – № 3. – P. 1136–1159.
3. Mitola J. III and Maguire G.Q. Jr. Cognitive radio: making software radios more personal // IEEE Personal Communications. – 1999. – V. 6. – № 4. – P. 13–18.
4. Oksanen J., Lunden J., Koivunen V. Reinforcement learning method for energy efficient cooperative multiband spectrum sensing // IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP). – 2010. – P. 59–64.

**Десятов Сергей Витальевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4220Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: sdesjatov@ax-ioma.ru

УДК 004.622

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ****Десятов С.В., Осетрова И.С.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

В работе рассмотрен один из методов классификации ABC-анализ, предназначенный для подготовки данных. Произведена классификация номенклатур на основе оборота продукции, рассчитано процентное соотношение каждой группы, данные предоставлены в удобном виде для возможной дальнейшей научной работы.

**Ключевые слова:** Big Date, ABC-анализ, классификация, большие данные, номенклатуры.

Тема «больших данных» становится с каждым годом актуальнее, так как старые данные остаются, а новых становится все больше, вследствие чего есть множество необработанных данных [1]. Также популярность темы можно увидеть, просмотрев статистику запросов Google по тегу «Big Data» за последние 5 лет, график роста которой показан на рис. 1.



Рис. 1. Статистика Google

Ранее были выявлены направления развития данных технологий, из вывода которых следовало, что они могут применяться во всех сферах жизни [2]. Исходя из этого, было выбрано направление производства, являющееся одним из самых популярных на рынке «Big Date» за 2017 год (рис. 2) согласно IDC (International Data Corporation).



Рис. 2. Объем рынка больших данных за 2017

В любом производстве существуют номенклатуры, которыми, при росте их количества, становится все сложнее управлять и хранить, вследствие чего их необходимо классифицировать, чтобы в будущем сделать проще их анализ и другие операции с ними.

Классификация – процесс упорядочения или распределения объектов (наблюдений) по классам с целью отражения отношений между ними [3]. Классификация будет проводиться для оптимизации затрат на перевозку товара при распределении номенклатур на складе, поэтому признаком будет являться оборот каждой номенклатуры, а методом для разбиения будет ABC-анализ.

ABC-анализ позволяет определить наиболее значимые ресурсы компании с точки зрения валовых продаж и валовой прибыли [4]. Анализ основывается на законе Парето, который в наиболее общем виде формулируется как «20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий – лишь 20% результата» [5]. В связи с этим принято, что группа А содержит 20% от всего товара, которые имеют наибольшей оборот, в В – 30% и в С входит оставшиеся 50% продукции.

Однако при увеличении продукции, а соответственно, и склада был сделан вывод, что данное разбиение не является самым оптимальным. Данный вывод был сделан из следующих вычислений, график которых показан на рис. 3, где по вертикали расположена сумма пройденного расстояния по А и В группам, пройденным по складу, а по горизонтали оборот номенклатур. Изначально весь товар находился в группе В, в этот момент расстояние было самым большим, потом постепенно товары с наибольшим оборотом переходили в группу А. В итоге самым оптимальным оказалось, определить в группу А около 40%.



Рис. 3. График результатов изменения процентного соотношения А и В групп

Далее с оставшимися номенклатурами произвели расчеты по тому же алгоритму, чтобы определить процентное соотношение групп В и С, таким образом, рассчитав самое оптимально расположение номенклатур на складе.

Данные расчеты повторялись еще несколько раз, изменяя оборот номенклатур и их количество, а также в некоторых случаях было оптимально использовать четвертую группу D, полученные результаты приведены в таблице.

В таблице выведены результаты по данным из одной выборки номенклатуры, вследствие чего видно, что данные относительно одинаковые.

Таблица. Результаты изменения процентного соотношения всех групп

Количество номенклатур	Процент А	Процент В	Процент С	Процент D
500	41	29	14	16
1000	41	29	14	16
5000	40	30	15	15
10000	40	30	14	16

При изменении данных на другие номенклатуры, с другим диапазоном оборотов продукции, данные могут изменяться от 1 до 10 процентов. Можно сделать вывод, что для каждой выборки номенклатур, а соответственно, и для каждого склада производства, необходимо рассчитывать процентное соотношение групп отдельно.

### Литература

1. Волков Д. Мода и ИТ // Открытые Системы. СУБД. – 2015. – № 4. – С. 1.
2. Десятов С.В. Перспективы использования технологий больших данных // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/4923/4923.pdf>, своб.
3. Sholom M.W., Indurkha N., Zhang T., Damarau F.J. Text Mining. Predictive methods of analyzing unstructured information. – 2004. – 236 p.
4. Стерлигова А.Н. Управление запасами широкой номенклатуры. С чего начать? // Федеральный образовательный портал ЭСМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ecsocman.hse.ru/data/243/180/1217/AVS-XYZ\\_-\\_Loginfo.pdf](http://ecsocman.hse.ru/data/243/180/1217/AVS-XYZ_-_Loginfo.pdf), своб.
5. Gary W. Marion. Inventory Classification Basics – Supply Chain Optimization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thebalance.com/inventory-classification-basics-2221193> (дата обращения: 3.01.2018).



**Дитенбиер Артур Евгеньевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4220

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: herog@mail.ru

**УДК 004.056.52**

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКОВ И УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ**

**Дитенбиер А.Е.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.**

В работе рассмотрены основные методы оценки рисков безопасности. Проведен анализ угроз информационной безопасности. Выявлены основные методы оценки угроз информационной безопасности.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, значение риска, анализ рисков, оценка угроз, методы оценки рисков.

**Подходы к оценке рисков информационной безопасности.** Количественный метод. Количественная оценка рисков применяется, когда исследуемые угрозы и риски можно сопоставить с конечными количественными значениями, выраженными в деньгах, процентах и т.д. Метод позволяет получить конкретные значения объектов оценки риска при реализации угроз информационной безопасности. При количественном подходе элементам оценки рисков присваивают конкретные и реальные количественные значения [1–3].

Проведение количественной оценки рисков состоит из пяти этапов.

Определить:

1. ценность информации;
2. потенциальный ущерб от угроз в количественном выражении. Задать и получить ответы на такие вопросы «Какую часть от стоимости актива составит ущерб?», «Какова стоимость ущерба в денежном эквиваленте к данному активу?»;
3. вероятность угроз. Использование статистических данных, опросы персонала. Определение вероятности возникновения инцидентов, связанных с угрозами информационной безопасности за определенный период;
4. общий потенциальный ущерб от угроз. Рассчитать значение умножением разового ущерба на частоту реализации угрозы.

Провести:

5. анализ полученных данных из действий 1–4.

В заключение метода по каждой угрозе следует: принять риск, снизить либо перенести риск.

Один из простых способов, перенести риск. Иначе говоря, переложить последствия от риска на третье лицо с помощью страхования. В случае принятия риска, смириться с ущербом и действовать в дальнейшей работе с улучшением информационной безопасности, переходя к снижению риска.

Снижение риска – ввод дополнительных мер, средств защиты информации, обучение рабочих кадров. Провести полную работу по увеличению информационной безопасности, при условии, что все затраты не должны превышать размер ущерба от угрозы.

По итогам должны быть определены:

- ценность в денежном эквиваленте;

- список угроз информационной безопасности;
- частота реализации угроз;
- потенциальный ущерб;
- меры, контрмеры безопасности.

Качественный метод. При качественном подходе не используются количественные выражения для объекта оценки. Вместо этого объекту оценки присваивается показатель, ранжирование которого определяется по трехбалльной (низкий, средний, высокий), пятибалльной или десятибалльной шкале (0–10). Анализ рисков информационной безопасности качественным методом должен проводиться с привлечением рабочих кадров.

Проведение качественной оценки рисков состоит из 6 этапов.

Определить:

1. ценность информационных активов. Определить по уровню критичности при нарушении безопасности;
2. вероятность реализации угроз. Использовать трехуровневую качественную шкалу;
3. вероятность успешной реализации угроз с учетом текущего состояния информационной безопасности. Также использовать трехуровневую качественную шкалу.

Провести:

4. вывод об уровне риска на основании первого пункта. Использовать пятибалльную или десятибалльную шкалу. Использование эталонных таблиц, которые дают понимание, какие комбинации показателей к какому риску приводят;
5. анализ полученных данных по каждой угрозе. Приемлемый уровень риска. Это уровень риска, который компания готова принять.

Разработать:

6. меры, контрмеры безопасности по входящим угрозам.

При выборе между количественным и качественным методом следует помнить, что целью обоих методов является полное понимание рисков информационной безопасности компании, определение угроз, выбор мер и средств защиты. У каждого метода в соответствии есть свои и преимущества и недостатки.

Количественный метод дает представление в денежном эквиваленте по объектам оценки, ущербу.

Качественный же метод позволяет выполнить оценку рисков быстрее, однако результаты носят субъективный характер и не показывают наглядного ущерба, затрат и т.д.

### Литература

1. Цирлов В.Л. Основы информационной безопасности: краткий курс. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 253 с.
2. Петренко С.А., Симонов С.В. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. – М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2004. – 384 с.
3. Петренко С.А., Петренко А.А. Аудит безопасности Intranet. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 416 с.



**Долгачев Руслан Ферузович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К3420

Направление подготовки: 11.03.02 – Интеллектуальные

инфокоммуникационные системы

e-mail: dolgachev9@gmail.com

УДК 004.4'6

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР API VULKAN И OPENGL

Долгачев Р.Ф.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.

В современном мире существует множество программных интерфейсов для написания приложений, использующих двумерную и трехмерную компьютерную графику. В работе выполнен сравнительный обзор кроссплатформенных API Vulkan и OpenGL, который включает в описание преимуществ использования каждого из них.

**Ключевые слова:** программный интерфейс, OpenGL, Vulkan, графическая система, кроссплатформенность.

На данный момент существует множество программных интерфейсов для написания приложений, использующих двумерную и трехмерную компьютерную графику. Все они имеют собственные преимущества, но большая их часть является проприетарной, что вынуждает разработчиков приложений ограничивать себя в выборе платформ и операционных систем, с которыми их приложения будут совместимы. За счет своей кроссплатформенности стали популярны API [1], OpenGL [2] и Vulkan [3], разработанные промышленным консорциумом Khronos Group [4]. Они имеют ряд значительных отличий, о которых стоит узнать перед началом использования одного из них.

Программный интерфейс приложения позволяет разработчикам получать доступ к функциям стороннего программного обеспечения для организации взаимодействия с ним. Например, разработчики приложений, пользуясь предоставленными разработчиками операционных систем API, могут создавать приложения, совместимые с этими операционными системами. Обычно API распространяется с комплектом средств разработки программного обеспечения – SDK (Software Development Kit), который включает в себя процедуры, модули и протоколы, используемые для доступа к функциям программы [5].

Производители оборудования создают свои собственные реализации – библиотеки функций, которые соответствуют набору функций принятой спецификации. Возможности оборудования должны эффективно использоваться реализацией. Они могут быть эмулированы программно, если аппаратные ресурсы оборудования не способны реализовать какую-либо из этих возможностей. Производители аппаратуры должны пройти аттестационное тестирование (conformance tests), чтобы определить, соответствует ли их реализация определенному стандарту. Для разработки программного обеспечения достаточно использовать описанные в спецификации функции. Ответственность за реализацию этих функций лежит на разработчиках аппаратного обеспечения [6].

API OpenGL был выбран для сравнительного обзора за счет своей популярности у разработчиков кроссплатформенных приложений. Его соперником выбран набирающий популярность API Vulkan, разрабатывающийся как «приемник» OpenGL.

Архитектура графической системы OpenGL представляет из себя конвейер, который последовательно обрабатывает поступающие к нему на вход графические данные. При этом

все команды OpenGL всегда обрабатываются в порядке поступления их на конвейер. Из-за этого проявление эффекта от их выполнения может происходить с задержкой [2].

OpenGL имеет отличительные особенности (таблица), которые смогли обеспечить развитие и широкое распространение этого графического стандарта:

- стандарт изменяется и дополняется с сохранением совместимости с предыдущими версиями программного обеспечения;
- конечный результат не зависит от типа операционной системы, аппаратной платформы и организации отображения информации;
- совместимость с различным оборудованием реализована функциями на уровне библиотеки, что позволяет разработчикам приложений не заниматься этим самостоятельно.

API Vulkan обеспечивает различные преимущества по сравнению с традиционными API [7]:

- значительно уменьшены задержки и накладные расходы при обработке графических команд;
- реализована поддержка многопоточности, которая позволяет многоядерным центральным процессорам эффективно загружать графический конвейер, заметно поднимая уровень производительности существующего оборудования;
- возможность снижения нагрузки на центральный процессор, что предоставляет достичь повышенной пропускной способности для графических вычислений и визуализации.

Таблица. Основные отличия API OpenGL и Vulkan

Критерий	OpenGL	Vulkan
Первый выпуск	1992 г.	2016 г.
Первоначальное назначение	Для графических рабочих станций с прямым рендерингом	Для современных платформ, включая мобильные платформы
Параллельное выполнение команд	Операции могут выполняться только последовательно	Возможно многопоточное программирование
Спецификация	Синтаксис совершенствовался более 20 лет	Отсутствуют устаревшие требования
Управление памятью и синхронизацией	Память графического процессора и синхронизация обычно скрыты	Явный контроль над управлением памятью и синхронизацией
Проверка ошибок	Обширная проверка ошибок	Драйверы не проверяют ошибки во время выполнения; существует уровень проверки для разработчиков
Привязка состояний объектов	Менеджер состояний: на нем лежит вся логика обработки событий, перехода состояний, оповещение об изменении состояния объекта	Все состояния привязаны к объектам
Поддержка мобильных платформ	Используется подмножество OpenGL – OpenGL ES (OpenGL for Embedded Systems)	Поддерживается по умолчанию

Можно сделать вывод, что API Vulkan за счет своих преимуществ хорошо подходит для высокопроизводительных компьютеров с новыми GPU и многопоточными CPU, а также для графического оборудования на современных мобильных устройствах. OpenGL, в свою очередь, сейчас поддерживается большим числом платформ и операционных систем, за счет

чего разработчикам кроссплатформенного программного обеспечения выгоднее использовать его для сокращения расходов.

### Литература

1. API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/API>, своб.
2. Баяковский Ю.М., Игнатенко А.В., Фролов А.И. Графическая библиотека OpenGL: учебно-методическое пособие. – М.: Изд. отдел факультета Вычислительной математики и кибернетики БГУ им. Ломоносова, 2003. – 132 с.
3. Графический API Vulkan представлен, и ваши графические процессоры NVIDIA к нему готовы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nvidia.ru/object/vulkan-graphics-api-blog-ru.html>, своб.
4. Khronos Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Khronos\\_Group](https://ru.wikipedia.org/wiki/Khronos_Group), своб.
5. Программный интерфейс приложения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://securelist.ru/threats/api-application-program-interface-glossary>, своб.
6. OpenGL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenGL>, своб.
7. Vulkan (API) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Vulkan\\_\(API\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Vulkan_(API)), своб.

**Егоров Павел Игоревич**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: egorov.p.ifmo@gmail.com

**УДК 004.75****СОЗДАНИЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА БАЗЕ AMAZON ELASTIC  
CONTAINER SERVICE****Егоров П.И.****Научный руководитель – ст. преподаватель Одиночкина С.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 616025 «Исследование и разработка гибридной облачной инфраструктуры для формирования системы подготовки высококвалифицированных IT кадров».

В работе рассмотрен процесс построения современной микросервисной архитектуры на базе сервиса Amazon Elastic Container Service.

**Ключевые слова:** веб-приложение, микросервисы, Amazon Web Services, ECS, Docker.

В современной разработке программного обеспечения можно выделить несколько основных направлений:

1. мобильная разработка;
2. разработка приложений для персонального компьютера;
3. разработка веб-приложений.

В последнее время все большую роль начинают играть веб-приложения. Вследствие этого неминуемо растут требования к серверной части приложений. Среди таких требований основными являются:

1. масштабируемость;
2. отказоустойчивость;
3. возможность обновления без отключения приложения;
4. географическая распределенность.

Чтобы удовлетворить новые требования, возникают современные подходы к построению архитектуры веб-приложений:

1. Serverless;
2. Microservices.

Реализовать приведенные подходы можно как самостоятельно, так и на базе предоставляемых сторонними организациями услуг. Среди провайдеров облачных услуг на данный момент лидируют Amazon и Azure. В данной работе рассмотрено построение микросервисной архитектуры [1] на базе Amazon.

В качестве основы для микросервисной архитектуры можно рассматривать следующие сервисы Amazon:

1. EC2 (Elastic Compute Cloud);
2. Lightsail;
3. ECS (Elastic Container Service);
4. Elastic Beanstalk.

Каждый из приведенных сервисов имеет свои преимущества и недостатки, в работе рассмотрен сервис ECS, так как он позволяет гибко настроить параметры контейнеров,

политики масштабирования в условиях повышения нагрузки и порядок действий в случае падения контейнера [2].

Для начала работы с ECS необходимо создать кластер, в рамках которого позже будет запускаться приложение. Далее в кластере необходимо определить задачи и сервисы. При создании задачи или сервиса необходимо задать названия Docker образов [3], которые вместе составляют задачу, и параметры их запуска. Когда задачи созданы, их можно запустить на виртуальных машинах кластера.

В ходе данной работы рассмотрены современные подходы к построению архитектуры веб-приложения. На основе этих требований выявлены сервисы Amazon, которые лучше всего подходят в качестве основы для создания микросервисной архитектуры, как оптимальной архитектуры для сложных распределенных веб-приложений.

С целью выявления наиболее подходящего сервиса Amazon было проведено сравнение доступных решений по ряду параметров. Для построения тестовой архитектуры среди сервисов выбран Amazon ECS, как наиболее универсальный инструмент, подходящий для большинства ситуаций и потребностей.

Далее на основе Amazon ECS пройден процесс создания работоспособной инфраструктуры для запуска отказоустойчивых и автоматически масштабирующихся веб-приложений.

Поскольку с ростом требований к прикладному программному обеспечению увеличивается и количество доступных инструментов его разработки, то становится все сложнее выбрать наиболее подходящий. Однако в большинстве случаев Amazon ECS будет удачным выбором, за счет простоты использования и возможностей гибкой и всесторонней настройки.

### **Литература**

1. Микросервисная архитектура [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/249183/> (дата обращения: 27.01.2018).
2. Основные концепции Amazon Web Services ECS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonECS/latest/developerguide/Welcome.html> (дата обращения: 29.01.2018).
3. Документация Docker [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.docker.com/> (дата обращения: 30.01.2018).



### Еремеева Анастасия Викторовна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4220

Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи

e-mail: duim-girl@yandex.ru

УДК 004.9

## ПРИМЕНЕНИЕ НАИВНОГО БАЙЕСОВСКОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Еремеева А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.

В современном мире нас окружают рекомендательные системы: музыка, книги, фильмы, товары. Какие-то рекомендации более точны, какие-то менее. Существует множество алгоритмов построения рекомендательных систем, одни из них основаны на схожести интересов пользователей, другие на схожих признаках элементов. В работе рассмотрен один из способов построения рекомендательной системы – наивный байесовский классификатор, который во многих современных системах используется как один из начальных этапов обработки данных.

**Ключевые слова:** рекомендательные системы, наивный байесовский классификатор, теорема Байеса, контентная фильтрация, байесовский подход.

Рекомендательные системы – программы, которые пытаются предсказать «рейтинг» или «предпочтение», которое пользователь предоставил бы элементу. Два основных подхода в создании рекомендательных систем – контентная и коллаборативная фильтрации. Подход коллаборативной фильтрации состоит в построении модели на основе прошлого поведения пользователя (ранее купленных или выбранных элементов и (или) числовые рейтинги, присвоенные этим элементам), а также аналогичные решения других пользователей. Затем эта модель используется для прогнозирования позиций (или оценок для элементов). Подход контентной фильтрации использует серию дискретных характеристик элемента, чтобы рекомендовать дополнительные элементы со схожими свойствами.

Теорема Байеса – одна из основных теорем элементарной теории вероятностей, которая позволяет определить вероятность какого-либо события при условии совершения другого, статистически взаимосвязанного с ним события [1]. По формуле Байеса можно более точно рассчитать вероятность, взяв в расчет уже известную информацию и данные новых наблюдений. Формула Байеса может быть выведена из условной вероятности. Давайте остановимся на этом поподробнее. По определению:

$$p(x|y) = \frac{p(x,y)}{p(y)},$$

где  $p(x, y)$  – это совместная вероятность  $x$  и  $y$ , а  $p(x)$  и  $p(y)$  – вероятности каждого события по отдельности. Значит, совместную вероятность можно выразить двумя способами:

$$p(x, y) = p(x|y)p(y) = p(y|x)p(x).$$

Теорема Байеса:

$$p(x|y) = \frac{p(y|x)p(x)}{p(y)}.$$

Перепишем ее в других обозначениях:

$$p(\theta|D) = \frac{p(\theta)p(D|\theta)}{p(D)},$$

здесь  $D$  – это данные – то, что мы знаем, а  $\theta$  – это параметры модели.

$p(\theta|D)$  – это то, что нужно найти, распределение вероятностей параметров модели после того, как приняты во внимание данные, т.е. апостериорная вероятность. Эту вероятность, чаще всего, напрямую не найти, и здесь нужна теорема Байеса.  $p(D|\theta)$  – это так называемое правдоподобие, вероятность данных при условии зафиксированных параметров модели; найти этот параметр обычно легко, конструкция модели, как правило, состоит в том, чтобы задать функцию правдоподобия. А  $p(\theta)$  – априорная вероятность, математическая формализация знаний о предмете до экспериментов.

Наивный байесовский классификатор добавляет предположение о том, что атрибуты элемента независимы и тем самым существенно облегчает задачу.

Рассмотрим в качестве примера классификацию текстов [2]. Допустим нужно отнести текст к той или иной тематике. Представим документ множеством слов, которые в нем содержатся. В результате каждый отрывок  $x$  принимает значения из множества категорий  $V$  и описывается атрибутами  $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ . Нужно найти наиболее вероятное значение данного атрибута, т.е. глобальный максимум на поверхности вероятностной плоскости  $V$

$$v_{MAP} = \arg \max_{v \in V} p(x = v | a_1, a_2, \dots, a_n).$$

По теореме Байеса

$$v_{MAP} = \arg \max_{v \in V} \frac{p(a_1, a_2, \dots, a_n | x=v) p(x=v)}{p(a_1, a_2, \dots, a_n)} = \arg \max_{v \in V} p(a_1, a_2, \dots, a_n | x=v) p(x=v).$$

Оценить  $p(x=v)$  просто: будем оценивать частоту его появления. Но оценить разные  $p(a_1, a_2, \dots, a_n | x=v)$  не получится – их слишком много,  $p(a_1, a_2, \dots, a_n | x=v)$  – вероятность точно такого набора слов в отрывках на разные темы. Очевидно, подобную статистику взять неоткуда.

Чтобы решить эту проблему, наивный байесовский классификатор предполагает условную независимость атрибутов при условии данного значения целевой функции:

$$p(a_1, a_2, \dots, a_n | x=v) = p(a_1 | x=v) p(a_2 | x=v) \dots p(a_n | x=v).$$

Теперь посчитать отдельные  $p(a_i | x=v)$  гораздо проще: нужно лишь подсчитать статистику появления слов в категориях.

Здесь в классификации текстов предполагается, что разные слова в тексте на одну и ту же тематику появляются независимо друг от друга. Это, конечно, не так – но, тем не менее, результаты получаются довольно точные [3]. Оценки вероятностей оптимальны, только в случае настоящей независимости признаков, однако, классификатор может быть полезен в куда более широком классе задач. Атрибуты, конечно, зависимы, но их зависимость эквивалентна для разных классов, и ее можно не учитывать при оценке вероятностей.

Однако для построения более сложных систем в чистом виде байесовский классификатор не применяется [4], поскольку в реальной жизни найти абсолютно независимые величины на объектах практически невозможно.

Вместо этого на основе наивного байеса строится модель латентного размещения Дирихле (Latent Dirichlet allocation – LDA), поскольку на практике оказывается, что четкая классификация тех же текстов, например, не может быть выполнена из-за пересечения различных тематик в текстах, что приводит нас от задач классификации к задачам кластеризации, согласно которым в одном тексте могут быть отрывки из разных тематик.

## Литература

1. Формула Байеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://goo.gl/JY8qbo> (дата обращения: 12.03.2018).
2. Рекомендательные системы: теорема Байеса и наивный байесовский классификатор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/surfbird/blog/150207/> (дата обращения: 19.03.2018).
3. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. – New York: Springer, 2009.
4. Bishop C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. – New York: Springer, 2011.

**Загряжская Наталия Ильинична**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: nzagryajskaya@gmail.com

**Иванов Сергей Евгеньевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: 45is@mail.ru

УДК 004.67

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ****Загряжская Н.И.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

В работе изучена проблема выбора наиболее подходящего метода анализа временных рядов, различия в их классификации. В результате были определены основные отличия и перспективы развития области.

**Ключевые слова:** анализ, методы, временные ряды, статистика, частотная область, временная область.

Актуальность темы обусловлена недостаточной изученностью области анализа данных, связанной с выделением свойств временных рядов и оценкой их вероятностных механизмов. Само понятие временного ряда описывает последовательность регистрируемого сигнала за определенный промежуток времени [1].

Для изучения исходного ряда необходимо обозначить основные цели:

1. представление сжатых характеристик ряда и описание его особенностей;
2. построение модели ряда;
3. выделение наиболее важных характеристик ряда для предсказания изменений в будущем.

Анализ временных рядов активно используется в социальных и экономических сферах не только для изучения основных тенденций за прошедшее время или настоящее, но и является основной для предсказания поведения модели в будущем.

Достижение поставленных целей осложняется недостатком исходных данных либо из-за изменчивости со временем статистической структуры ряда. Для того чтобы этого избежать, используются следующие этапы анализа временных рядов:

1. описание и графическое представление поведения ряда;
2. поиск зависящих от времени закономерностей;
3. анализ и проведение исследования над случайной составляющей временного ряда;
4. построение математической модели;
5. прогнозирование будущих значений ряда.

Наиболее традиционные методы анализа временных рядов [2]:

1. корреляционный анализ;
2. спектральный анализ;

3. методы сглаживания и фильтрации;
4. модели авторегрессии и скользящего среднего;
5. методы прогнозирования.

Несмотря на их распространенность, необходимо внедрение более сложных механизмов анализа. В этой связи наряду с ними в последние годы получают распространение способы обработки сигналов, основанные на фрактальном и вейвлет-преобразованиях [3]. Отличительная особенность последних состоит в том, что они наряду с глобальными характеристиками стохастических процессов, позволяют вскрыть особенности их локальной структуры.

В отечественной и западной литературе на данный момент отличается классификация методов анализа. Западные источники утверждают, что есть два больших класса – frequency domain and time domain (методы частотной области и методы во временной области), в то время как отечественная литература делает акцент на традиционных методах. Частотная область относится к анализу математических функций или сигналов по частоте, а не по времени. Методы частотной области включают спектральный анализ и вейвлет-анализ. А методы временной области включают автокорреляцию и анализ взаимной корреляции.

Временная область – это анализ математических функций, физических сигналов или временных рядов экономических или экологических данных по времени, где значение сигнала или функции известно для всех действительных чисел, для случая непрерывного времени, или в разные отдельные моменты в случае дискретного времени.

Данные исследования активно используются для прогнозирования волатильности рынка, анализа корреляции в сериях данных, проверки гипотез о динамике рынка и построения моделей для дальнейшего анализа моделирования будущих результатов.

Во временной области корреляция и анализ могут выполняться по обрабатываемому материалу, используя масштабированную корреляцию, тем самым уменьшая необходимость работы в частотной области.

Кроме того, методы анализа временных рядов можно разделить на параметрические и непараметрические. Параметрические подходы предполагают, что основной стационарный стохастический процесс имеет определенную структуру, которая может быть описана с использованием небольшого числа параметров. Примером будут являться модели авторегрессии и скользящей средней. В этих подходах задача состоит в оценке параметров модели, описывающей стохастический процесс.

Непараметрические подходы явно оценивают ковариацию или спектр процесса, не предполагая, что процесс имеет какую-либо конкретную структуру.

Таким образом, изучение временных рядов благодаря структурности подхода и существующим методам особенно востребовано в экономической сфере, а именно в макроэкономике и финансовой экономике, так как значительно облегчает определение ВВП, уровня инфляции, безработицы, процентных ставок, цен на акции [4, 5].

### Литература

1. Мишулина О.А. Статистический анализ и обработка временных рядов. – М.: МИФИ, 2004. – 180 с.
2. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
3. Jakovlev A.N. Vvedenie v vejvlet-preobrazovanie: Uchebnoe posobie. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2003. – 104 p.
4. Hamilton J.D. Time Series Analysis. – Princeton University Press, 1994. – 815 p.
5. Shumway R.H., Stoffer D.S. Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples, Springer. – 3rd Edition. – Springer, 2011. – 609 p.

**Зверев Павел Витальевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: zpavel333@gmail.com

**Иванов Сергей Евгеньевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере,  
к.ф.-м.н., доцент

e-mail: 45is@mail.ru

УДК 656.073

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА BIG DATA ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ****Зверев П.В.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

В работе рассмотрены ключевые особенности работы логистических компаний, проблемы «последней мили», оптимизации маршрутов, доставки скоропортящихся продуктов, автоматизации склада и цепочек поставки и пути их решения.

**Ключевые слова:** логистика, транспорт, маршрут, доставка, заказ, товар, склад, большие данные, Интернет-вещей.

Преобразование предприятия на основе последних трендов и технологий – одно из ключевых условий конкуренции на рынке. Информация – одно из главных изобретений человечества. Объемы данных и ее ценность растут с колоссальной скоростью. Именно «большие данные» позволяют провести анализ информации, а также найти интересные закономерности в массивах данных [1–5].

Термин «большие данные» (Big Data) окружает нас повсеместно, но мало кто понимает, что это на самом деле означает. По правде говоря, концепция «больших данных» постоянно развивается и пересматривается, поскольку она остается движущей силой цифровой трансформации, включая искусственный интеллект, науку о данных и Интернета вещей. Но что такое Big Data и как он меняет наш мир?

Большие данные относятся к огромному количеству неструктурированных данных, которые возникают в результате пользования людьми Интернетом, в том числе социальными сетями и мобильными приложениями. Передовые компании активно участвуют в процессе изучения массивов неструктурированных данных, чтобы сформировать надежную стратегию управления данными.

Важность анализа больших данных в отрасли логистики увеличилась. Использование таких тесных с логистикой компонентов как сканер штрих-кодов, считыватель RFID-меток, системы управления взаимоотношениями с клиентами компании и устройства системы позиционирования на транспортных средствах, позволяет генерировать огромное количество данных. Клиентам важно знать: где находится заказ, будет ли он доставлен быстро и в срок. Более того, клиент не стесняется оставить положительный или отрицательный отзыв по итогам доставки товара. Таким образом, данные, которые генерируются в ходе деятельности компании – отзывы о доставке, комментарии в социальных сетях и блогах, также переформируют эту традиционно фрагментированную отрасль.

Существует несколько основных проблем в отрасли логистики.

1. Проблема «последней мили». Последней милей в логистике называют непосредственную доставку заказа курьером. Именно курьерская доставка является слабым звеном логистической цепи. Такая проблема чаще всего является причиной падения покупательской способности, тем самым перечеркивая усилия ретейлеров по повышению лояльности.

Последняя миля цепочки поставок, как известно, неэффективна и составляет 28% от общей стоимости доставки пакета. В этом есть много препятствий, в том числе:

- в пределах крупного города, а также из-за слабо развитой дорожной сети, крупным грузовым автомобилям достаточно сложно найти парковочное место вблизи адреса доставки. Курьерам часто приходится парковаться вдали от точки доставки, а затем добираться до конечного адреса пешком, что занимает немало времени;
- некоторые логистические компании требуют подписи у получателей заказа для формирования отчетов о доставке. Если клиент в момент доставки не находится по адресу доставки, передача заказа клиенту не может быть осуществлена;
- сотрудники курьерской службы должны проявлять особую осторожность при доставке груза.

В добавлении стоит добавить, что состояние, статус и местонахождение груза довольно-таки сложно отследить в ходе курьерской доставки.

Большие данные могут быть направлены на решение проблемы «последней мили». Решением является использование быстрого мобильного интернета на сопутствующих устройствах с поддержкой технологии GPS. Использование Интернета вещей, такие как RFID-датчики или терминалы сбора данных, позволит грузоотправителям отслеживать все этапы доставки вплоть до «последней мили» в мельчайших деталях. Низкая стоимость данных устройств также может являться стимулом перехода на технологии Интернета вещей.

Дополнительными мерами решения данной проблемы являются оснащение автотранспорта GPS-приемниками и создание так называемой «тепловой карты» на основе имеющихся данных. Данная карта поможет установить распределение автотранспорта в черте города. Данная утилита позволит переформатировать крупный склад на многоуровневую систему с более мелкими распределительными центрами. Крупный автотранспорт доставляет заказы в распределительные центры, затем более мелкий транспорт доставляет заказы непосредственным получателям.

2. Проблема оптимизации маршрутов. Представители логистических компаний считают, что использование технологий больших данных является лучшим решением для оптимизации маршрутов.

Почему логистические компании так заинтересованы в оптимизации? По двум причинам: это помогает им экономить деньги и избегать поздних доставок. Когда вы управляете системой доставки или цепочкой поставок, вам нужно пройти тонкую грань между чрезмерными ресурсами, транспортными средствами и их недоукомплектованностью.

Концентрация большого количества ресурсов на один маршрут доставки приводит к большим денежным потерям, чем требуется изначально, поэтому следует распределять ресурсы между несколькими маршрутами доставки. Однако важно понимать, что нехватка ресурсов на маршруте доставки увеличивает риск поздней доставки, что негативно скажется на ваших отношениях с клиентами и имидже компании.

Также необходимо учитывать факторы, которые могут быть подвержены изменениям:

- стоимость топлива;
- перекрытие дорожно-транспортной сети и открытие новых дорог;
- состояние транспортного средства, в том числе расход топлива;
- погодные условия, сезонность (летом поток заказов может упасть).

Примером успешной оптимизации ресурсов можно назвать логистическую международную компанию UPS. После анализа своих массивов данных, компания отказалась от поворотов налево на своем автотранспорте, так как это стоит немалых денег.

UPS выяснил, что поворот налево, как правило, требует пропустить встречный поток автотранспорта, что приводит к простоям, трате топлива и риску ДТП.

На данный момент водители UPS делают поворот налево лишь в 10% от всего времени доставки, предпочитая повернуть направо. После отмены поворота налево, UPS стал доставлять на 350000 посылок в год больше.

3. Проблема доставки скоропортящихся товаров. Доставка скоропортящихся продуктов является постоянной проблемой для логистических компаний. Однако большие данные и технологии Интернета вещей дают водителям и менеджерам гораздо лучшее представление о том, как они могут предотвратить расходы из-за испорченных товаров.

Например, допустим, что грузовик перевозит партию мороженого и десертов. Вы можете установить температурный датчик внутри грузовика, чтобы контролировать состояние товаров внутри, и передавать эти данные вместе с данными о трафике и дорожных работах на центральный компьютер маршрутизации.

Этот компьютер мог бы предупредить водителя, если первоначально выбранный маршрут приведет к таянию мороженого, и вместо этого предложить альтернативные маршруты.

4. Проблема автоматизации склада и цепочек поставки. Достаточно скоро большие данные в сочетании с технологиями автоматизации и Интернетом вещей могут сделать логистику полностью автоматизированной.

Большие данные позволяют автоматическим системам функционировать путем интеллектуальной маршрутизации. Например, использование в центрах исполнения заказов специальных роботов KIVA для захвата предметов с полки. Кроме того, использование дронов, для доставки малогабаритных предметов в пределах заранее отрисованной зоны.

Уже сегодня такие компании как Uber и Google уже проводят испытания с автопилотом. Нетрудно представить, что целую цепочку поставок можно было бы автоматизировать, от погрузки и разгрузки до вождения и конечной поставки.

Возможно, люди по-прежнему будут задействованы в последней миле доставки в городских районах, используя велосипеды или скутеры, чтобы перемещаться по оживленным улицам города и производить курьерскую доставку, а в пригородных зонах будут использоваться беспилотные грузовики или беспилотные летательные аппараты для доставки.

**Вывод.** Сфера логистики будет всегда востребована. Именно от данной отрасли зависит многие сферы нашей жизни. Повышение уровня качества предоставляемых услуг является важным для логистов. Именно большие данные является одним из первых шагов к переходу на новый уровень работы компании. Логистические компании знают об этих возможностях и стремятся продвигать вперед решения, основанные на больших данных. Используя датчики и технологии Интернета вещей, в сочетании с программным обеспечением для бизнес-аналитики, передовые компании, занимающиеся анализом, уже снижают затраты и повышают удовлетворенность клиентов.

### Литература

1. Lun Y.H.V., Lai K.-H., Cheng T.C.E. Shipping and Logistics Management. – London: Springer-Verlag London Limited, 2010. – P. 60–87.
2. Harrison A., Van Hoek R. Logistics Management and Strategy: Competing Through the Supply Chain. – 4th ed. – Harlow [etc.]: Pearson Education: Prentice Hall, 2011. – P. 120–178.
3. Герамин В.Д. Управление транспортными системами. – Юрайт, 2008. – С. 154–245.
4. Butch Q. Next-Generation Big Data. – Apress Media, 2018. – P. 10–47.
5. Stackowiak R., Licht A., Mantha V., Nagode L. Big Data and The Internet of Things: Enterprise Information Architecture for A New Age. – 2015. – P. 15–74.



**Казьмин Дмитрий Александрович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: dimonkazmin@mail.ru



**Иванов Сергей Евгеньевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: 45is@mail.ru

УДК 004.67

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ

Казьмин Д.А.

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.

По мере того как внедрение облачных технологий продолжает быстро расти на уровне предприятий, ИТ-отделы и службы безопасности должны обеспечить безопасное использование облачных систем хранения данных.

**Ключевые слова:** безопасность, облачные технологии, облачные сервисы, облачные хранилища, защита данных, шифрование, аутентификация.

**Определение безопасности облачного хранилища.** В то время как облачное хранилище удобно и дает сотрудникам доступ к их данным в любом месте, в любое время, почти на любом устройстве, безопасность облачного хранилища является главной проблемой для ИТ-отделов и отделов безопасности организаций. Преимущества облачного хранилища от масштабируемости и доступности до снижения ИТ-издержек способствуют быстрому внедрению на предприятиях по всему миру, и есть шаги, которые компании должны предпринять для улучшения безопасности облачного хранилища и обеспечения безопасности конфиденциальных данных в облаке [1, 2].

**Необходимость безопасности облачного хранилища.** Предприятия используют облачные сервисы, поскольку они предоставляют экономичные гибкие альтернативы дорогостоящему, локально внедренному аппаратному обеспечению. Но ведение бизнеса в облаке означает, что конфиденциальные файлы и конфиденциальные данные подвергаются новым рискам, так как облачные данные хранятся за пределами многих гарантий, используемых для защиты конфиденциальных данных, хранящихся на предприятии. Таким образом, предприятия должны принимать дополнительные меры по обеспечению безопасности облачного хранилища, выходящие за рамки иногда базовых мер защиты, предлагаемых поставщиками.

**Основы безопасности облачного хранилища.** По мере того, как предприятия продвигаются дальше по кривой внедрения облака, безопасность облачного хранилища становится главным приоритетом – как в ИТ-архитектуре предприятий, так и в стратегиях

информационной безопасности. Компании теперь признают, что крайне важно защищать конфиденциальные данные, позволяя сотрудникам наслаждаться производительностью и гибкостью облака.

Поставщики облачных хранилищ и предприятия несут общую ответственность за безопасность облачных хранилищ. Поставщики облачных хранилищ обеспечивают базовую защиту своих платформ и обрабатываемых ими данных, таких как аутентификация, контроль доступа и шифрование.

**Решения безопасности облачного хранилища.** Решения для защиты данных для обеспечения безопасности облачного хранилища обеспечивают полную видимость и контроль на основе политик над тем, как данные могут быть перемещены в облако и из него, гарантируя, что только авторизованные данные покидают среду компании и что доступ к данным ограничен авторизованными сторонами. При этом компании могут применять более строгую защиту в отношении конфиденциальных данных и обеспечить второй уровень защиты в случае, если у поставщика есть компромисс безопасности.

### Практические рекомендации для защиты данных

**Контроль доступа.** Лучший способ защитить данные – ограничить доступ к ним. Мы должны реализовать авторизацию и аутентификацию для каждого пользователя, получающего доступ к данным.

**Идентификация.** Первым шагом доступа является вход, после проверки подлинности. Если процесс проверки подлинности настроен неправильно, злоумышленнику становится легко получить доступ к облаку, поэтому для максимального повышения уровня безопасности следует реализовать многоуровневую аутентификацию.

**Аудит.** С помощью периодического мониторинга, атаки на облако могут быть сведены к минимуму. Аудит помогает нам найти недостатки и уязвимости в существующей структуре и исправить их.

**Шифрование.** Область, которой следует уделять больше внимания. Шифрование данных очень важно для обеспечения безопасности облака. Существуют различные алгоритмы шифрования, которые выбираются в соответствии с приоритетом каждой ситуации. Обычно данные отправляются через сеть в зашифрованной форме. Чтобы избежать перехвата данных посредством анализатора сети, данные передаются через SSH (Secure Shell), что обеспечивает шифрование. Только совместное применение всех методов обеспечивает надлежащий уровень безопасности данных (таблица).

Таблица. Сравнение облачных хранилищ

№	Облачное хранилище	Уровень шифрования	SSH	Двухуровневая аутентификация
1	Яндекс. Диск	256-бит AES	128-бит	Есть
2	Google Drive	128-бит AES	256-бит	Есть
3	Dropbox	256-бит AES	128-бит	Есть

### Литература

1. ТопОбзор – «Рейтинг безопасности облачных хранилищ данных» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topobzor.com/kak-obespechit-bezopasnost-v-oblachnykh-xranilishhax>, своб.
2. Digital Guardian – «What is cloud storage security?» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitalguardian.com/blog/what-cloud-storage-security-securing-cloud-storage-usage>, своб.



**Кислюк Игорь Витальевич**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: igorkislyuk@icloud.com

**УДК 004.41**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА И СКОРОСТИ РАЗРАБОТКИ КОМАНДЫ  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ**

**Кислюк И.В.**

**Научный руководитель – ст. преподаватель Одиночкина С.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 616025 «Исследование и разработка гибридной облачной инфраструктуры для формирования системы подготовки высококвалифицированных IT кадров».

В работе проведен обзор основных подходов к организации процесса разработки среди команд разработки программного обеспечения, и проведен сравнительный анализ основных подходов на основании выбранных параметров – скорости и качества разработки, определение которых сведено к простейшим измеряемым характеристикам и показателям работы команды.

**Ключевые слова:** способ процесса разработки, команда разработки, качество и скорость разработки.

Согласно исследованиям Standish Group итогов выполнения проектов по разработке программного обеспечения (ПО) доля полностью успешных проектов в среднем за 5 лет составляет 29%, что варьируется в пределах одной трети [1]. В области разработки ПО ключевым моментом для успешной реализации проекта является организация людей в команды. Грамотно организованная и сбалансированная команда способна решать поставленные бизнес-задачи. В современном мире немалую роль отводят гибким методологиям, которые ориентируются на человеческое взаимодействие. Независимо от Standish Group исследования Ambysoft доказывают преимущества гибких методологий разработки, что подтверждает важность взаимодействия, понимания и согласованности между работниками команды [2]. Хорошие показатели этих параметров определяются через качество и скорость разработки.

Качество разработки в первую очередь состоит из заявленного уровня качества результирующего продукта. Влияние оказывает: понимание и взаимодействие отделов команды, предоставленные человеческие ресурсы, размеры выпускаемого продукта, наличие технического долга и неизменность требований в процессе работы. Перечисленные факторы зависят от правильного выбора способа организации работы команды. Параметр скорости разработки команды определяется как отношение количества решенных бизнес-задач ко времени и зависит также от необходимой частоты выпуска версий продукта, важности поставки ПО в определенный срок.

Первым способом организации выступает каскадная модель. Название данного способа описывает главный принцип организации. Ввиду последовательности этапов разработки, сотрудничество отделов не затруднено. Размеры команды и размер выпускаемого продукта неважны для данного способа, чего нельзя сказать относительно устойчивости требований и наличия технического долга. Отсутствует необходимость частой поставки обеспечения в конкретный срок и регулярного выпуска частично-работающих версий, что положительно сказывается на определении скорости в начале планирования разработки. Тип задачи для

выбора данного способа – минимальная рабочая версия для получения оценки продукта на рынке.

Вторым способом организации выступает гибкая методология разработки Agile. Главная характеристика данной модели представлена в одноименном манифесте, а появление обусловлено постоянно меняющимися требованиями рынка ПО [3]. Стабильность требований становится менее важной, чем качество продукта, объемы предоставленных ресурсов и наличие технического долга. Итеративность – ключевая характеристика, позволяет повысить понимание и слаженность отделов команды. По отношению к каскадной модели разработки увеличивается важность скорости, о чем свидетельствует необходимость частой поставки версий продукта и поставка в определенный срок. Тип задач для выбора данного способа – весь жизненный цикл ПО от разработки до поддержки.

Третьим способом организации выступает следующий вид множества гибких методологий – Scrum. Основным отличием выступает «жесткая фиксированность временных рамок» [4] и упор на итеративность. На основе этого отличия возрастает важность качества продукта и человеческих ресурсов в рамках данного способа, наличие технического долга, и размеры продукта отходят на второй план при выборе данного способа. Наличие обязательных ежедневных совещаний и собраний в отличие от предыдущего способа помогает вывести момент коммуникации участников команд на новый уровень. Параметр скорости достигает наибольшей значимости при выборе данного способа, поскольку частота и необходимость поставки продукта к конкретному моменту во времени выходят на первый план. Тип задач для выбора данного способа – решение сложных задач бизнеса и разработка продукта на протяжении нескольких лет.

Выбор модели способа организации работы разработки ПО является актуальной проблемой при управлении проектом. К настоящему моменту разработан ряд методик и процедур выбора моделей, исходя из условий и характеристик проекта [3]. Одна из них была предложена Институтом качества ПО SQI (Software Quality Institute). Основу данной классификации составляют четыре категории критериев:

1. характеристики требований к проекту;
2. характеристики команды разработчиков;
3. характеристики заказчиков;
4. характеристики типов проектов и рисков.

Процедура выбора основана на использовании четырех таблиц вопросов. Таблицы представляют одну из ключевых категорий проектов. Столбцы соотносятся с моделями и методологиями. Вопросы предназначены для классификации анализируемого проекта по критерию категории. Процесс выбора представляет собой положительный или отрицательный ответ на вопрос по анализируемому проекту. Модель, которая соответствует столбцу с максимальным количеством отмеченных ответов с учетом их важности, является наиболее приемлемой. Данная методика выбора модели применима для достаточно масштабных проектов, ее использование для небольших проектов может привести к чрезмерному увеличению графика проекта, дополнительным затратам и рискам.

Единого набора условий при выборе подходящей методологии не существует. В конкретных проектах нужно ориентироваться на специфику задач. В современной практике модели разработки ПО многовариантны – для каждого проекта выбираются индивидуально.

В таблице представлено сравнение ключевых показателей исследования после завершения проекта [5]. Наблюдается тенденция, что при выборе одной из представленных гибких методологий повышается качество с заметным понижением общей скорости разработки по сравнению с каскадной моделью. В рамках данного исследования при сравнении видов гибких методологий наблюдается большая «гибкость», представленная Agile, что заключается в качестве продукта и количестве обращений неудовлетворенных пользователей, а также сходство Scrum и каскадной модели разработки, выраженное в незначительном повышении показателей общей скорости разработки проекта с небольшим

ухудшением качества. На основе приведенных показателей можно выполнить грамотный выбор необходимого способа разработки.

Таблица. Сводные параметры сравнения проектов при различных методологиях

Используемая методология	Кодовое название проекта	Среднее количество найденных ошибок за все время тестирования (на 1000 строк кода)	Средняя частота обращений пользователей в службу поддержки (количество в месяц)	Среднее значение скорости разработки (1000 строк на разработчика в месяц)	Относительная точность оценки сроков выполнения проекта (планируемая к реальной)
Waterfall	Курасао (Curacao)	9,85	67,50	7,65	0,91
Agile	Хитра (Hitra)	6,20	61,20	5,89	0,61
Scrum	Венера (Venus)	6,95	69,36	6,11	0,66

### Литература

1. Standish Group 2015 Chaos Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015> (дата обращения: 03.02.2018).
2. David C. Young. Software Development Methodologies. – Alabama Supercomputer Center, 2013. – 10 p.
3. Классификация методологий, моделей и стандартов управления разработкой программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.koltunova.com/Publications/ITMethodologyClassification.pdf> (дата обращения: 03.07.2018).
4. Вольфсон Б. Гибкие методологии разработки. – СПб.: Питер, 2017. – 144 с.
5. Lindström B. A Software Measurement Case Study using GQM. – Software Engineering Institute, 2014. – 96 p.

**Королюк Никита Олегович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение

в инфокоммуникациях

e-mail: sant\_51@mail.ru

**Иванов Сергей Евгеньевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: 45is@mail.ru

УДК 004.67

**МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА  
ДАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ****Королюк Н.О.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

В работе был сделан обзор существующих методов анализа данных социальных сетей, их особенностей, преимуществ и недостатков.

**Ключевые слова:** данные, анализ, социальные сети, онлайн-сервисы, метод, идентификация, информация, сбор данных.

Анализ социальных сетей – стремительно развивающаяся отрасль, которая основывается на работе с данными онлайн-исследований [1–3].

Весьма быстрое распространение и популяризация социальных онлайн-сервисов привело к развитию интереса к огромным объемам материалов в этих сервисах в различных областях. Такие сведения – неисчерпаемый источник исследовательских и бизнес-возможностей, так как полученная информация обеспечивает решение задач широкого круга: реклама товаров и услуг, сбор данных об интересах пользователей, управление брендом и т.д.

В социальных сетях, информационных порталах, в интернет-блогах, форумах и других ресурсах содержится большое количество полезных данных, из которых можно извлечь полезную информацию о человеке. Чтобы найти сведения о конкретном человеке, нужно выполнить его идентификацию. Однако не у всех сервисов существует такая возможность, так как не везде люди проходят регистрацию, или указывают мало информации, с помощью которой возможно провести идентификацию. В связи с этим можно сказать, что основным источником получения данных являются социальные сети, в которых обычно люди указывают практически все сведения о себе: имя, город, дата рождения, образование, вкусы, семейное положение и т.д.

Существует несколько методов анализа данных социальных сетей:

1. услуги компаний, специализирующихся на сборе информации;
2. программные интерфейсы социальных сетей;
3. собственные программы.

Первый метод – это пользование услугами специальных компаний, которые постоянно выполняют сбор и обновление данных из разных ресурсов. К достоинствам здесь можно

отнести скорость получения данных и масштабы анализа. Единственным недостатком такого подхода является то, что услуги таких организаций будут платными.

Второй метод – это пользование программными интерфейсами, которые предоставляются социальными сетями. Для всех онлайн-сервисов такие API будут различными: сами данные, полученные в результате анализа, и стоимость доступа к программным интерфейсам. Преимущества этого метода заключается в следующем: данные предоставляются в виде форматов JSON и XML, кроме того, стоит отметить простоту и легкость внедрения API в приложение. К недостаткам можно отнести следующее: различные ограничения (например, на количество запросов и обращений в единицу времени), необходимость в постоянном отслеживании изменений в API и обновление приложения.

Третий метод – это разработка собственных программ и пользование готовыми поисковыми роботами для сбора данных и их анализом. Явными преимуществами такого метода являются: возможность анализа любых открытых данных и отсутствие ограничения на скорость их сбора. К явным недостаткам можно отнести достаточно сложную поддержку, ресурсоемкость, а также сложность реализации: так как у различных онлайн-сервисов веб-страницы уникальны, это приведет к тому, что для каждого сервиса придется разрабатывать набор правил для анализа.

Также необходимо отметить такое понятие, как идентификация человека – это выявление всех профилей, принадлежащих человеку в социальных сетях. Данными для поиска могут служить: место работы, номер телефон, адрес электронной почты и т.д.

Самым простым вариантом идентификации человека является поиск по точному совпадению всех известных данных, но следует учитывать, что информация в социальных сетях достоверна в определенной степени – она может отсутствовать, быть заведомо ложной или иметь разные способы написания. Исходя из этого, перед проведением идентификации необходимо произвести очистку данных, нормализовать их и проверить правдивость указанной в профиле информации.

Каждое сведение, используемое для идентификации, имеет некий вес. При суммировании весов результат должен получиться равным единице. В связи с этим такие параметры, как пол, фамилия и имя – являются одними из главных параметров в процессе идентификации, так как при указании ложной информации велика вероятность того, что идентификация не удастся. День и месяц рождения также являются важными данными. Без этой информации вероятность удачной идентификации крайне низкая. Следует упомянуть такие параметры, как год и место рождения. У них самый маленький вес, потому что такие данные характерны большому количеству людей.

Помимо информации, которые пользователи сети явно указывают в своих профилях, многое можно узнать из анализа записей человека, его групп и подписок. При этом большую роль играют дополнительные факты, которые можно извлечь из этой неструктурированной информации. Например, если на стене слишком часто фигурирует информация об отзывах и впечатлениях о сериалах и фильмах, то ясно, что пользователь интересуется киноиндустрией.

Из приведенной выше информации можно сделать вывод, что для разработки собственного web-приложения подойдут два метода: пользование программными интерфейсами социальных сетей или написание собственных программ. Но так как при разработке программы необходимо учесть множество нюансов, то наиболее практичным будет выбор в сторону API социальных сетей, который предоставляют огромный функционал.

## Литература

1. Аналитика Больших Данных и социальные сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.osp.ru/os/2013/08/13037856>, своб. (дата обращения 20.01.2018).

2. Анализ социальных сетей в интернете [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postnauka.ru/longreads/20259>, своб. (дата обращения 20.01.2018).
3. Бартунов С., Коршунов А., Парк С.-Т., Рю В., Ли Х. Идентификация пользователей в социальных сетях интернета на основе связей и атрибутов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ispras.ru/publications/user\\_identity\\_resolution\\_based\\_on\\_social\\_relations.pdf](http://www.ispras.ru/publications/user_identity_resolution_based_on_social_relations.pdf), своб.



**Купина Анна Павловна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К3420

Направление подготовки: 11.03.02 – Интеллектуальные  
инфокоммуникационные системы

e-mail: anna-kupina@yandex.ru

УДК 004.414.22

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ  
ЧАТ-БОТОВ**

**Купина А.П.**

**Научный руководитель – ст. преподаватель Одиночкина С.В.**

Чат-боты – очень популярное направление в мире IT-технологий. В работе проведен сравнительный анализ популярных технологий создания чат-ботов: модель жизненного цикла, подход к проектированию, инструменты реализации.

**Ключевые слова:** чат-бот, мессенджер, технологии разработки, языки программирования.

В последнее время чат-боты обретают все большую популярность. На данный момент они интегрируются в различные популярные мессенджеры и социальные сети, такие как Facebook, ВКонтакте, Telegram, Slack, WhatsApp и пр. [1]. Боты исполняют самые различные функции: от развлечений и различного информирования до ведения бизнес-процессов.

Технология разработки чат-бота представляет собой комплекс организационных мер и операций, направленных на разработку программных продуктов [2].

Сначала необходимо выбрать модель жизненного цикла (ЖЦ) программного продукта.

Рассматривались следующие наиболее популярные модели:

1. каскадная (водопадная) модель. Данная модель эффективна в тех случаях, когда требования к программному обеспечению (ПО) четко известны заранее и дальнейшие изменения системы маловероятны [3]. В случае с чат-ботами данная модель не подходит, так как на практике часто возникает необходимость внедрять доработки;
2. итеративная модель. Итеративная модель достаточно эффективна для разработки чат-бота, так как основные требования к чат-боту четко определены и понятны, но в то же время некоторые детали могут дорабатываться с течением времени, а также требуется ранний вывод продукта на рынок;
3. Agile (гибкая) модель. Эта модель удобна при разработке чат-бота, так как обеспечивает возможность внедрения изменений в систему. Но при использовании такой модели сложно оценить трудозатраты и, как следствие, стоимость окончательного продукта. Это является недостатком, так как чат-бот в итоге может оказаться достаточно большой и сложной системой.

Одним из наиболее важных средств разработки ПО является метод (подход) к проектированию архитектуры системы. Далее рассмотрены наиболее часто используемые подходы.

1. Структурный подход. Данный подход заключается в разбиении системы на определенные функции, которые, в свою очередь, делятся на подфункции/подзадачи, и так далее до определения конкретных процедур [4]. Это удобно в том случае, если поведение разрабатываемого чат-бота можно описать как некоторое дерево действий.
2. Объектно-ориентированный подход. Подход основан на том, что система воспринимается как набор автономных объектов, взаимодействующих между собой [4]. Эффективен для разработки ботов со сложной архитектурой.

3. Компонентный подход. Данный подход подразумевает использование в системе ранее реализованных компонентов/модулей [4]. Компонентный подход эффективен, если система разрабатываемого чат-бота является достаточно большой и при этом имеет общие модули с ранее реализованными системами.

Далее необходимо осуществить выбор инструментов реализации, в первую очередь языков программирования. Учитывая специфику чат-ботов как программных продуктов, можно выделить определенные требования к языкам программирования: многопоточность, взаимодействие с базами данных, длительность вычислений, наличие регулярных выражений, возможность поиска синонимов, наличие Web API, наличие событий, то, какими популярными серверами язык поддерживается и какие IDE используются для работы с этим языком. Если сравнить наиболее популярные языки программирования [5], используемые для создания чат-ботов: Python, Java, PHP, – то по заявленным критериям основная разница заключается в быстродействии. Python по результатам тестов показал наименьшую скорость обработки данных, самым эффективным был признан язык программирования Java. Также необходимо учитывать возможность размещения чат-бота на популярных серверах, которые поддерживают тот или иной язык (Python поддерживается наибольшим количеством популярных серверов). Итоговый выбор зависит от задач и специфики чат-бота.

### Литература

1. Messaging apps are now bigger than social networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.businessinsider.com/the-messaging-app-report-2015-11?IR=T>, своб.
2. Введение в технологии разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/4806/1054/lecture/16117>, своб.
3. Еще раз про семь основных методологий разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/edison/blog/269789/>, своб.
4. Прикладные и теоретические методы программирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/2190/237/lecture/6126>, своб.
5. Google Trends [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trends.google.ru/trends/explore?date=today%20-y&q=bot%20python,bot%20java,bot%20javascript,nodejs%20bot,bot%20c%23>, своб.



**Мухтаров Бекназар Алмазбекович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4220

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: beknazar.muhtarov@mail.ru

**УДК 004.47**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ДИНАМИЧЕСКОГО  
ПРОЕЦИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ**

**Мухтаров Б.А.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.**

В работе исследована визуализация многомерных данных. Выполнен анализ существующего алгоритма динамического проецирования многомерных данных в целях получения опытных данных.

**Ключевые слова:** многомерные данные, визуализация информации.

Алгоритмы динамического проецирования многомерных данных позволяют осуществлять двумерную проекцию многомерных данных на произвольно заданную оператором-исследователем плоскость в многомерном пространстве характеристик объектов наблюдения [1–3].

Важным аспектом динамического проецирования являются когнитивные свойства. Это позволяет двумерной проекции многомерных данных на экране дисплея вызывать в мозгу человека-оператора псевдотрехмерный образ, при динамическом движении данных в многомерном фазовом пространстве. Этот факт приводит к комфортному восприятию многомерных данных человеком.

Идея алгоритмов динамического проецирования опирается на сочетание трех посылок и учитывает эволюцию предыдущих идей визуализации многомерных данных:

1. отказ от проецирования многомерных структур в трехмерные образы. Исследователи, традиционно стремились получить графическое изображение многомерного образа в виде трехмерной графической фигуры. Достижения когнитивной психологии указывают на феноменальные способности человека черпать информацию из двумерных изображений и строить с помощью функциональных механизмов мозга разнообразные конструкции перспектив. В результате исследователь получает комфортное восприятие изначально непонятных многомерных данных, и ему становится доступным изучение объекта мониторинга;
2. вращения многомерного образа в многомерном пространстве пользователя. Возможность выбора направления проецирования, вида и скорости вращения. В сочетании с возможностью порождать серии таких динамических фигур, демонстрирующих проекции из различных координатных направлений, данный механизм проецирования обеспечивает уникальную возможность формирования в сознании оператора яркого когнитивного образа. Очевидно, что эргономическая полезность алгоритма еще более возрастает;
3. конструктивный выбор способа масштабирования данных по осям многомерного пространства параметров (признаков, характеристик). Кроме естественных способов масштабирования для достижения универсальности и устойчивости процедур требуется привлечение методов, основанных на порядковых статистиках.

Факт того, что процедура динамической визуализации не опирается на общеизвестные сведения о природе объектов, позволяет не привносить в проекции искажающих влияний той или иной модели. Что, дает возможность использовать визуализацию в условиях глубокой неопределенности сведения об объекте.

Для демонстрации используем программу SpaceWalker, алгоритм работы которой основан на методе когнитивной визуализации. В программе для динамического проецирования многомерных данных используется алгоритм:

$$(X_{i,j}); i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M},$$

где задана матрица размера  $N \times M$ ,  $N$  – число исследуемых объектов;  $M$  – число характеристик этих объектов.

Для получения зрительного образа осуществляется проецирование исходного объекта на двумерную гиперплоскость  $Q$ , заданную своим уравнением:

$$\sum_{j=1}^M a_j X_{ij} = 0, \sum_{j=1}^M a_j^2 = 1,$$

где  $X_j$  – независимые переменные  $M$ -мерного пространства;  $a_j$  – направляющие косинусы вектора нормали к  $Q$ .

Для возможности проецирования объекта на выбранную плоскость, строится система координат, привязанная к данной плоскости. Проекцию радиус-вектора точки облака на выбранную плоскость задает следующая величина  $L$ :

$$L = \sum_{j=1}^m a_j X_{ij}.$$

Значения направляющих косинусов  $a_j$  выражается ориентацией плоскости, на которую проецируется объект. Таким образом, объект можно вращать, задав направления вращения и рассматривать его со всех возможных направлений, т.е., как было сказано ранее, у пользователя появляется возможность формировать различные когнитивные образы, удобные для интерпретации.

В качестве исходных возьмем многомерные данные из каталога галактик HUDF.

В полученный каталог входит около 4 тысяч галактик, описанных набором 49 параметров, таким образом, каждая галактика является точкой в 49-мерном пространстве характеристик. Описанный каталог представляет собой файл Excel, содержащий таблицу данных размером  $4126 \times 50$  ячеек.

Опишем пошагово произведенные действия:

1. при помощи программы для прикладных статистических задач IBM SPSS Statistics 23 производим факторный анализ, что снизит размерность исходных данных с 49-ти до 12-ти характеристик;
2. загружаем каталог галактик, проецируем данные в SpaceWalker (рис. 1);

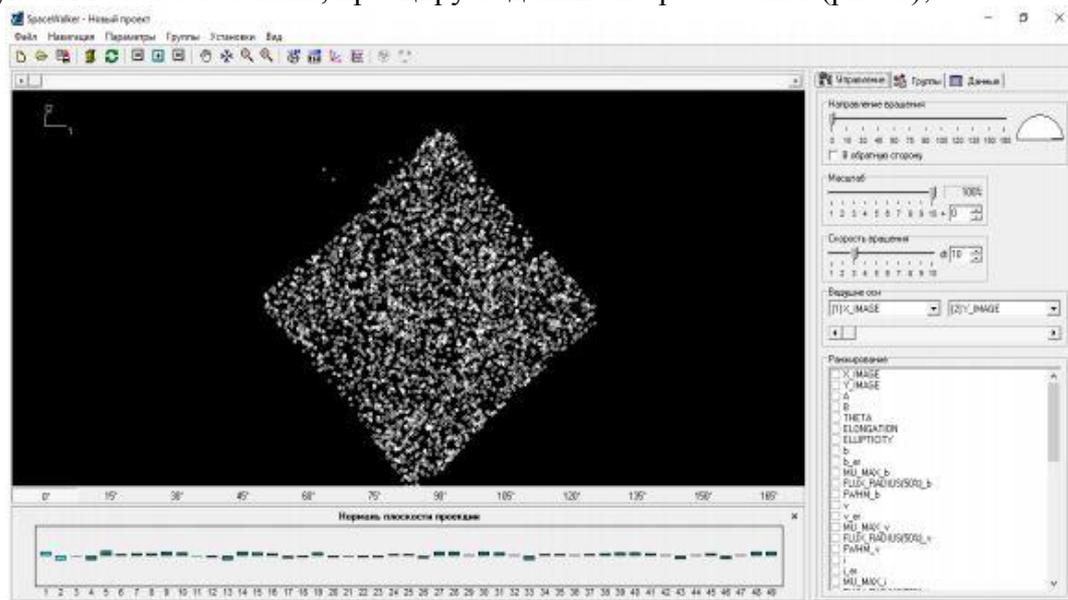


Рис. 1. Каталог галактик в визуальном виде

3. строим проекции на осях, полученных факторным анализом, и четко видим набор отдельно стоящих точек (галактик), выделенных в группу красным цветом (рис. 2);

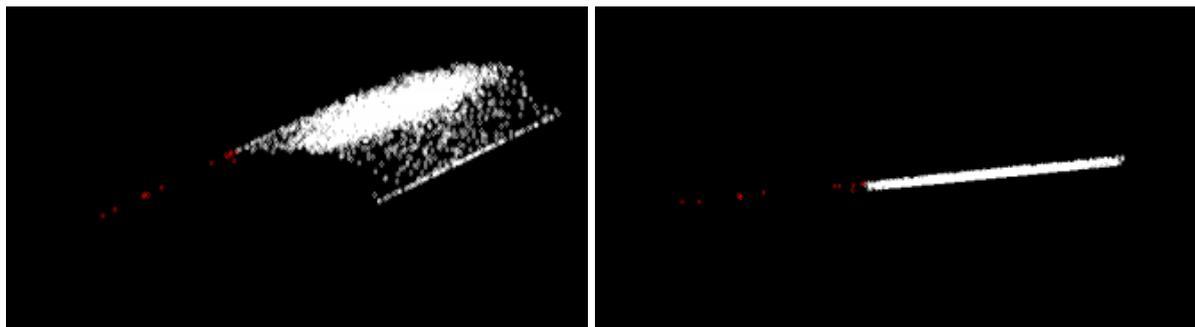


Рис. 2. Проекция и выделенные красным отдельно стоящие точки

4. записываем набор выделенных галактик (табл. 1) и убеждаемся, что в каждой проекции они выделяются;

Таблица 1. Набор выделенных точек

55	1024	1562	1827	1923	1992	2017	2085	2521	3436	3712	3839	4034
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

5. анализируем отобранные данные галактик (табл. 2), отобранных в результате проекций, найдены средние значения для этих галактик по всем параметрам, а также средние значения для всех галактик, проведено сравнение двух величин, и отобраны параметры, средние значения по которым существенно отличаются.

Таблица 2. Результаты анализа отобранных галактик

NUMBER	A	B	THETA	b-v	v-i	i-z	b-i	b-z
55	49,136	35,754	63,8	1357,2	5428,7	10857	5428,7	5768
1024	8,349	7,244	25,2	5428,7	5428,7	10857	5428,7	6785,9
1562	9,028	8,851	20,4	402,1	2714,3	10857	10857	6207,8
1827	8,45	8,35	37,1	1809,6	5428,7	10857	10857	7238,2
1923	34,177	21,333	-6,4	2171,5	5428,7	10857	5428,7	5971,5
2017	11,416	9,761	17,8	472,1	1809,6	2714,3	2714,3	1927,6
2085	4,508	4,453	64,8	92	775,5	2714,3	2714,3	1574,1
2521	10,211	8,794	32	2171,5	5428,7	10857	10857	7328,7
3436	5,958	3,975	-3,7	1206,4	3619,1	10857	10857	6635,1
3712	12,823	4,304	-81,6	2714,3	5428,7	5428,7	10857	6107,3
3839	17,761	15,431	28,7	3619,1	5428,7	10857	10857	7690,6
4034	20,583	16,465	-38,4	835,2	2171,5	10857	10857	6180,3
Ср. знач.	16,03333	12,05958	13,30833	1856,642	4090,908	9047,525	8142,808	5784,592
Общее ср. знач.	4,054762	2,44866	-0,54199	46,75833	105,9028	149,2958	108,8156	102,6945

Таким образом, в результате получена выборка галактик, определенные характеристики которых существенно выделяются среди полного набора данных. Полученная выборка может быть интерпретирована согласно знаниям специалистов области, к которой относятся исходные данные, для поиска взаимосвязей.

### Литература

1. Evdocimov V., Gorokhov V., Vitkovskiy V. Cognitive imaging in visual data // Abstract Scientific program International conference «High Performance Computing in Observational Astronomy: Requirements and Challenges». – 2009. – P. 5.
2. Snook S.C. & Gorsuch R.L. Component analysis versus commonfactor analysis // Psychological Bulletin. – 1989. – V. 106. – P. 148–154.
3. Горохов В.Л., Барышев Ю.В., Тееррикорпи П., Витковский В.В. Когнитивная визуализация космологических обзоров без привязки к сетке космологических моделей // Сб. научных трудов научно-практической конференции по современным проблемам прикладной информатики». – 2009. – С. 146–149.

**Парфенов Дмитрий Андреевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: diving.and.driving@gmail.com

**Иванов Сергей Евгеньевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: 45is@mail.ru

УДК 004.67

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ШИФРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БАЗОЙ ДАННЫХ****Парфенов Д.А.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов С.Е.**

В работе проведен обзор существующих методов шифрования данных в системе управления базой данных, кратко обозначены их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** СУБД, персональные данные, методы шифрования, базы данных, ключи шифрования.

Шифрование персональных данных – стремительно развивающаяся отрасль, которая наиболее актуальна в виду того, что согласно статистике весомую часть объема потерь различных организаций составляют потери, вызванные недостаточной защитой персональных данных в системе управления базой данных (СУБД). Как правило недостаточная защищенность приводит к краже конфиденциальных данных или неавторизованному доступу к данным посторонними лицами [1–3].

Использование шифрования данных, находящихся в СУБД, делает невозможным ее прочтение лицами, не обладающими ключами шифрования.

В работе рассмотрены технологии, применяемые в продуктах Microsoft и Oracle.

Наиболее простым методом шифрования является прозрачное шифрование БД. Данная технология заключается в том, что персональные данные шифруются перед записью на диск (ввод в БД) и дешифруются непосредственно во время чтения в память (вывод БД). В продуктах Microsoft прозрачное шифрование применяется для информации в БД и журналов транзакций на уровне страниц. Шифрование происходит с использованием симметричного ключа, хранящегося в БД master и защищенного сертификатом. В Oracle же прозрачное шифрование применяется на уровне столбцов. А ключ шифрования в отличие от Microsoft хранится за пределами базы данных в специальном хранилище, называемом wallet. Преимуществом прозрачного шифрования можно считать то, что нет необходимости в какой-либо модификации приложений, работающих с БД, а недостатком то, что не обеспечивается сохранность данных при передаче по каналам связи или использовании.

Еще один метод шифрования данных – это метод шифрования файловой системы. У Microsoft подобное решение называется Encrypting File System. При использовании данной

технологии все файлы БД шифруются специальным ключом шифрования, защищенным сертификатом, причем сертификат может быть составным, что позволяет дать доступ к файлу более чем одному пользователю. Недостатком данного метода является то, что его использование снижает производительность, и то, что для администрирования БД системному администратору необходимо выдавать доступ к операционной системе.

При использовании симметричного шифрования всегда есть риск, что секретный ключ может попасть в руки злоумышленника, поэтому было придумано асимметричное шифрование. В отличие от симметричного шифрование производится не одним ключом, а парой, где один ключ – открытый, используется для шифрования и может передаваться по каналам передачи, а второй – закрытый, используется для дешифрования и хранится в строгом секрете. Недостатком данного метода является низкая скорость работы в сравнении с симметричным шифрованием.

Следующим методом защиты персональных данных является шифрование на уровне приложений. Суть данного метода состоит в том, что шифрование данных происходит не в базе данных, а вне ее перед поступлением в БД. Этот метод более гибкий в сравнении с другими, так как на уровне приложения гораздо проще настроить то, какие роли и права имеют пользователи и то, какие конкретно данные необходимо зашифровать. Преимуществом данного метода является то, что степень защищенности данных существенно увеличивается, а также в отсутствие необходимости использования каких-либо дополнительных решений в виду того, что данные по каналам связи передаются уже зашифрованными. Недостатком же можно считать то, что существенно усложняется процесс работы с ключами. Например, для изменения ключа придется расшифровывать все данные старым ключом, после чего вновь зашифровать новым. Помимо этого, при использовании данного метода в базе данных пропадает возможность поиска и индексирования с помощью применения специальных приложений.

### **Литература**

1. Прозрачное шифрование данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/relational-databases/security/encryption/transparent-data-encryption>, своб. (дата обращения 15.03.2018).
2. Oracle Database Security Guid 11g Release 2 (11.2) – E10574-08, 2010. – 434 p.
3. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems. – 8-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1328 с.

**Полин Ярослав Александрович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Интеллектуальные

инфокоммуникационные системы

e-mail: polin.ya@mail.ru

**Ананченко Игорь Викторович**

Год рождения: 1968

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.т.н., доцент

e-mail: igor@anantchenko.ru

УДК 004.056.5

**ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ  
ДЛЯ БОРЬБЫ СО СПАМОМ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ****Полин Я.А., Ананченко И.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Ананченко И.В.**

В работе рассмотрены возможности использования машинного обучения и нейронных сетей в борьбе с нежелательным контентом в социальных сетях, основные категории нежелательного контента, а также их особенности.

**Ключевые слова:** спам, машинное обучение, антиспам, социальные сети.

**Введение.** На рубеже 2000–2010 годов в мире появилось множество социальных сетей. Некоторые из них стали известны во всем мире, а количество зарегистрированных аккаунтов в некоторых из них превышает сотни миллионов. В июне 2017 года основатель Facebook Марк Цукерберг сообщил, что количество зарегистрированных аккаунтов в социальной сети превысило число в два миллиарда [1]. Важно отметить, что это не соответствует числу пользователей, так как Facebook, как и любая другая социальная сеть становится интересной спамерам, некоторым из них принадлежат сотни тысяч аккаунтов.

Цели у спамеров могут быть разные: мошенничество, распространение вредоносного программного обеспечения, «слив» трафика на рекламные офферы и другие. Социальные сети имеют собственные антиспам-системы, которые призваны бороться со спамом. Машинное обучение и нейронные сети позволили значительно улучшить распознавание некоторых видов спама. Многие задачи можно сформулировать задачей классификации объектов.

**Порнография.** У социальных сетей разные правила для пользователей. Многие социальные сети запрещают публикацию порнографических изображений в открытом доступе. Например, по состоянию на июнь 2016 года в сервис Instagram ежедневно загружалось около 95 миллионов фотографий и видео [2]. Используя машинное обучение и большое количество фотографий для обучения можно добиться очень высокой точности распознавания порнографических изображений. Другим важным моментом является тот факт, что распознавание происходит в режиме реального времени, т.е. фактически фотография удаляется мгновенно после публикации.

Насилие. Оградить пользователей от фотографий со сценами насилия стараются многие сервисы. Если ребенок увидит голову отдельно от тела человека, то как минимум испугается. В связи с этим многие социальные сети запрещают публикацию подобных фото, а распознавать данные фото несколько сложнее, чем порнографические изображения. Кроме того, может возникнуть проблема с документальными фотографиями и рисунками, на которых изображена кровь. Тем не менее, использование глубокого машинного обучения и большой выборки для обучения позволяет добиться хороших результатов, а спорные объекты могут направляться на прохождение ручного модерирования человеком.

Сетевой маркетинг. Правила некоторых социальных сетей запрещают предложения заработка в MLM-компаниях. С подобными предложениями в текстовом формате достаточно легко бороться, так как всегда используются определенные ключевые слова, дополнительно помогают в этом и различные лимиты на совершаемые действия. Если спамеры используют изображения, то использование машинного обучения позволяет обучить алгоритмы на обучающей выборке. Подобные изображения, как правило, содержат определенные ключевые слова, логотипы компаний, адреса сайтов.

Рекламные офферы. В данном случае в профиле или публикуемом сообщении содержится реклама товара, сервиса. Если человек перейдет по ссылке, зарегистрируется и оформит заказ, то спамер получит определенную сумму денег. Довольно часто подобные аккаунты оформляют в виде анкет красивых девушек. Ключевыми факторами распознавания являются:

- наличие действий. Например, активное посещение страниц незнакомых пользователей, лайки на фото незнакомым пользователям и другое;
- фото, в том числе если загружается одновременно несколько фото на вновь созданный аккаунт;
- наличие ссылки в профиле;
- расхождение географической информации по номеру, который указан при регистрации, и IP-адресу. Например, недавно зарегистрированный аккаунт с использованием телефона казахского оператора авторизуется в социальной сети с IP-адреса, который принадлежит оператору МТС московского региона.

При борьбе со спамом следует понимать, что значительно важнее не удалить хороший контент, который по ошибке антиспам-системы был классифицирован как плохой, т.е. необходимо минимизировать ошибки первого рода – ложные срабатывания, они же false positives [3].

**Выводы.** Современные социальные сети хранят и обрабатывают структурированные и неструктурированные данные огромных объемов (т.е. Big Data), так как пользователями генерируются десятки тысяч различных документов внутри социальных сетей в секунду. Распознавать спам при таких объемах данных позволяют алгоритмы машинного обучения и нейронных сетей, а благодаря развитой инфраструктуре становится возможной обработка в режиме реального времени.

## Литература

1. Число пользователей Facebook достигло двух миллиардов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/world/20170627/1497405135.html> (дата обращения: 29.12.2017).
2. Ежемесячная аудитория Instagram достигла отметки в 500 млн пользователей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/16387-insta-500mln> (дата обращения: 29.12.2017).
3. Машинное обучение против спама [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://securelist.ru/machine-learning-versus-spam/29962/> (дата обращения: 30.12.2017).

**Распопа Елизавета Андреевна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: elizaveta.raspopa@yandex.ru

**Ананченко Игорь Викторович**

Год рождения: 1968

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.т.н., доцент

e-mail: igor@anantchenko.ru

УДК 004.054

**ТЕСТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЙ НА БАЗЕ SITECORE WEB CMS****Распопа Е.А., Ананченко И.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Ананченко И.В.**

В работе рассмотрен процесс тестирования веб-приложений, построенных на базе системы управления контентом Sitecore Web CMS.

**Ключевые слова:** тестирование, система управления контентом.

**Введение.** На сегодняшний день Интернет играет существенную роль в ведении и развитии бизнеса; компаниям, учреждениям и органам управления необходимо быть частью виртуального информационного пространства. Системы управления содержимым (контентом) (Content Management Systems, CMS) позволяют нетехническим специалистам: редакторам, маркетологам, аналитикам управлять наполнением веб-страниц. CMS предоставляет ряд дополнительных возможностей: контроль прав пользователей, персонализация контента, аналитика и т.д. На рынке представлено множество решений, одним из наиболее популярных для enterprise сегмента, а также государственного и муниципального секторов является флагманский продукт компании Sitecore – Sitecore Web CMS. Программный комплекс построен на базе Microsoft .NET 3.5, актуальная версия Sitecore Web CMS 9 выпущена в октябре 2017 года [1].

Одной из ключевых преимуществ CMS Sitecore является возможность разделения среды управления контентом CM (content management) и среды предоставления контента конечным пользователям CD (content delivery), как правило, разделение включает в себя использование отдельных серверов. Среда CA (content authoring) предоставляет инструменты редактирования содержимого: Content Editor и Experience Editor. Content Editor включает меню, дерево элементов, и рабочую область. Experience Editor позволяет вносить изменения непосредственно на странице [2]. Готовая страница публикуется, и содержимое становится доступным конечным пользователям.

Согласно требованиям бизнеса разрабатываются пользовательские элементы – виджеты. Представление каждого элемента страницы в качестве виджета по сравнению со статическим представлением имеет ряд преимуществ: помимо непосредственного редактирования контента, редактор имеет возможность самостоятельно компоновать элементы страницы внутри заданного макета. Также это позволяет маркетологам применять

персонализацию контента и проводить мультивариантное тестирование [3]. Аналогичные виджеты могут быть добавлены на различных страницах приложения с разными значениями атрибутов, для этой цели могут быть использованы шаблоны, позволяющие менять стиль отображения содержимого. Виджеты группируются в композиты, что позволяет добавить блок элементов к конкретной странице, например, aside для разных секций сайта может включать в себя различный тип, порядок и количество виджетов. Композиты могут быть объединены в дизайн, который применяется к странице или секции. Как правило, в дизайн включаются все виджеты, помимо элементов, входящих в основной блок: header, footer, aside. Таким образом, типовой сценарий добавления и наполнения страницы включает в себя применение существующего дизайна, добавление и настройку необходимых виджетов в основном блоке страницы. Sitecore позволяет управлять несколькими сайтами в одном CMS, что является экономически обоснованным, причем сайты могут делить общие данные, такие как пользователи, шаблоны, элементы и др.

Компонентное тестирование новой функциональности начинается с прохождения сценариев добавления, удаления и редактирования виджета. Может возникнуть необходимость изменения стилей в связи с некорректным отображением в режиме Experience Editor: неправильное расположение элементов редактирования может затруднить работу с виджетом. Комплексное тестирование веб-приложения на базе Sitecore Web CMS включает два этапа: функциональное тестирование в среде CD, предоставляемой конечным пользователям, и так называемое end-to-end тестирование – сценарии, связанные с добавлением и редактированием секций, страниц, разработанных виджетов, а также дальнейшей публикацией и проверкой правильности отображения на конечной странице. Типовые сценарии, основанные на реальных действиях пользователя – редактора, могут выглядеть следующим образом:

- создание новой страницы: применение дизайна, публикация, проверка отображения в среде CD;
- изменение существующей страницы: смена примененного дизайна, публикация, проверка отображения в среде CD;
- добавление виджетов на страницу, редактирование атрибутов, публикация, проверка отображения в среде CD;
- удаление виджета или страницы;
- проверка правильности настроек виджетов;
- проверка наличия дубликатов на страницах, обусловленное наличием виджета в композите и непосредственно на странице;
- конфликты, связанные с нахождением нескольких сайтов под управлением одной CMS.

В качестве отдельного этапа тестирования можно выделить проверку конфигурации пользовательских ролей. Sitecore Web CMS предоставляет возможность разграничения прав создания, редактирования и удаления объектов [4]. Необходимо убедиться, соответствует ли конфигурация ролей требованиям представителей бизнеса.

**Выводы.** Использование систем управления контентом широко распространено в предпринимательском, государственном и муниципальном секторах для создания динамических многофункциональных веб-приложений. Редакторы, маркетологи, аналитики и другие специалисты имеют возможность редактирования содержимого, а также сбора и анализа информации, персонализации контента, повышения вовлеченности и другое. Процесс тестирования приложений, построенных на базе систем управления контентом предполагает не только функциональное и нефункциональное тестирование конечного веб-приложения, но и сценарии взаимодействия пользователей CMS со средой редактирования.

**Литература**

1. Sitecore Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doc.sitecore.net/> (дата обращения: 15.01.2018).
2. Sitecore Helix Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helix.sitecore.net/index.html> (дата обращения: 15.01.2018).
3. Sitecore Widgets – Thinking – eDynamic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thinking.edynamic.net/sitecore-widgets> (дата обращения: 15.01.2018).
4. LearnSitecore [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://learnsitecore.cmsuniverse.net/> (дата обращения: 29.11.2018).



**Терентьев Александр Викторович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К3420

Направление подготовки: 11.03.02 – Интеллектуальные  
инфокоммуникационные системы

e-mail: terentev.a@inbox.ru

УДК 004.946

**ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА БАЗЕ OS ANDROID**

**Терентьев А.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.**

В современном мире активно развиваются технологии дополненной реальности, которые расширяют реальный мир, добавляя различную виртуальную информацию. В работе проведен обзор дополненной реальности на базе OS Android, рассмотрены сферы применения, принцип работы и библиотеки для создания приложений.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, AR-библиотеки, ARCore, смартфон, Android.

Дополненная реальность на сегодняшний день является одним из самых перспективных направлений в сфере IT-разработок, так как позволяет воспринимать информацию новым более простым и наглядным способом [1]. При качественном контенте реальность расширяется (или дополняется) внедрением в нее виртуальной информации [2].

Варианты применения технологии дополненной реальности достаточно обширны [3]. Ниже приведены несколько примеров ее использования в сферах деятельности современного человека:

- маркетинг и рекламный бизнес: витрины, примерочные, интерактивные киоски, промо-стенды. Покупатель может рассмотреть предмет со всех сторон, представить его целостный облик и более наглядно оценить продукт;
- биология, архитектура и строительство, археология: позволяет увидеть конечный результат, благодаря чему снижаются риски в производственном процессе;
- выставочная, экспозиционная, музейная деятельность, искусство и дизайн, видеoinсталляции и интерактивные макеты с применением дополненной реальности.

Для реализации дополненной реальности необходимы следующие технические компоненты: процессор, дисплей, камера и электроника, определяющая положение, такая как акселерометр, GPS и компас. Этим требованиям отвечают современные смартфоны [4].

Принцип работы AR-приложений:

1. используется специальная метка;
2. метка читается мобильным устройством;
3. на экране воспроизводится слой дополнительной информации [5].

На сегодняшний день существует множество программ для смартфонов, реализующих возможности дополненной реальности: браузеры дополненной реальности (Wikitude, Layar, blippAR и др.), специализированные программы и др. [6].

Для создания приложений дополненной реальности существуют специальные AR-библиотеки:

1. Vuforia – одна из самых популярных в мире платформ, которая разработана компанией Qualcomm и поможет вам разрабатывать дополненную реальность. Поддерживаемые платформы: Android, iOS, UWP и Unity;
2. EasyAR – бесплатная и простая в использовании альтернатива Vuforia. Поддерживаемые платформы: Android, iOS, UWP, Windows, OS X и Unity;

3. Wikitude разработана компанией WikiTude GmbH и распространяется только с платной лицензией. Поддерживаемые платформы: Android, iOS, смарт-очки;
4. ARtoolKit – это библиотека трекинга для дополненной реальности с открытым исходным кодом. Поддерживаемые платформы: Android, iOS, Linux, Windows, OS X и смарт-очки [2];
5. Kudan – инструментарий разработчика программного обеспечения дополненной реальности (Software Development Kit) с 2D/3D-распознаванием объектов;
6. Maxst. Поддерживаемые платформы: Android, iOS, Windows, OS X;
7. Xzing представляет три продукта для работы с приложениями на основе дополненной реальности: Augmented Face, Augmented Vision и Magic Face. Поддерживаемые платформы: ПК, Android, iOS, Windows, WebGL;
8. NyARToolkit – японская библиотека дополненной реальности, основанная на ARToolkit. Поддерживаемые платформы: Android, iOS [7];
9. ARCore – платформа от компании Google, которая позволяет разработчикам создавать приложения дополненной реальности для десятков миллионов Android-устройств.

На основе этих данных можно сделать вывод о том, что разработка приложений дополненной реальности для OS Android ведется очень активно, и каждый, кто хочет и может этим заниматься, сможет создать свое приложение.

### Литература

1. Платформа дополненной реальности Google станет доступна для 100 млн смартфонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hitech.vesti.ru/article/675051/> (дата обращения: 14.10.2017).
2. Выбор библиотеки для создания приложений дополненной реальности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://novainfo.ru/article/8978> (дата обращения: 14.10.2017).
3. Дополненная реальность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dday.ru/services/dopolnennaya-realnost/> (дата обращения: 14.10.2017).
4. Дополненная реальность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hi-news.ru/tag/dopolnennaya-realnost> (дата обращения: 14.10.2017).
5. Как работает дополненная реальность? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://howitworks.iknowit.ru/paper1597.html> (дата обращения: 14.10.2017).
6. 8 лучших SDK дополненной реальности для iOS и Android в 2017 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://holographica.space/articles/8-best-ar-sdk-2017-9287> (дата обращения: 14.10.2017).
7. Что такое AR (дополненная реальность)? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tofar.ru/dopolnennaya-realnost.php> (дата обращения: 14.10.2017).



**Тимоненков Денис Юрьевич**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К3420

Направление подготовки: 11.03.02 – Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи

e-mail: mrdentimon@gmail.com

УДК 004.946

**ПРОЕКТ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ILLUMIROOM**

**Тимоненков Д.Ю.**

**Научный руководитель – ст. преподаватель Одиночкина С.В.**

В современном мире активно развиваются технологии дополненной реальности, которые расширяют виртуальный мир. В работе выполнен обзор проекта дополненной реальности IllumiRoom от компании Microsoft. Обзор включает описание технологий, на которых базируется проект; устройства, из которых состоит IllumiRoom; режимы работы и перспективы развития.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, 3D mapping, focus-plus-context screen, пользовательский опыт, контекстное изображение, фокусное изображение.

На сегодняшний день видеоигры являются одним из главных развлечений. Несмотря на то, что качество визуального сопровождения улучшилось с течением времени, контент, который мы видим, до сих пор остается запертым в рамках дисплея. Пользовательский опыт ограничивается только виртуальным миром на экране телевизора, при этом окружающая среда человека игнорируется. На CES 2013 (Consumer Electronics Show – Международная выставка потребительской электроники) Microsoft представила проект дополненной реальности под названием IllumiRoom [1]. Концепция этого проекта подразумевает расширение виртуального мира, видимого на экране телевизора, с помощью прогнозируемых визуализаций, которые проецируются на физическое окружение экрана. Основывается проект на двух технологиях: 3D mapping (3D-проецирование) и focus-plus-context screen (экран фокус + контекст). Первая представляет собой 3D-проекцию на физический объект окружающей среды с учетом его геометрических параметров и местоположения в пространстве. Вторая – принцип отображения, состоящий из одного или нескольких фокусных изображений высокого разрешения, встроенных в более крупное контекстное изображение с низким разрешением.

Конфигурация используемых технологий соответствует работе зрительной системы человека. По сравнению с центральным зрением периферическое очень чувствительно к движению, но очень плохо выделяет цвет, детали и форму объектов. Это связано с меньшей плотностью рецепторов и их распределением вокруг центра сетчатки глаза [2]. IllumiRoom полностью задействует возможности данной особенности этого зрения и предоставляет возможность изменять вид комнаты и расширять поле зрения игрока.

Состоит IllumiRoom из широкоугольного проектора и бесконтактного сенсорного игрового контроллера Kinect. Kinect считывает геометрию комнаты, создавая карту глубины, выравнивает изображение и подстраивает цвета текстур под окружение [3]. Проектор использует эту информацию для корректной проекции контента (например, снег на полу, колебания от взрывов, следы летящих пуль).

Размещаются устройства на некотором удалении от телевизора на журнальном столике или другой подставке. Устройство может быть подключено по беспроводной сети к игровой консоли нового поколения, которая обрабатывает получаемую информацию и визуализирует изображение. Так как калибровка системы полностью автоматическая, установка системы

требует только того, чтобы проектор и сенсор охватывали область вокруг телевизора. Однако для лучшего восприятия всех иллюзий необходимо учитывать и положение пользователя: эффекты, которые изменяют цвет поверхности, независимы от положения смотрящего, а иллюзии, которые изменяют геометрию комнаты, зависят от этого положения и наиболее эффективны при просмотре с фиксированной точки за проектором.

ИllumiRoom может поддерживать четыре режима [4]:

1. Focus + Context Full. Весь игровой контент проецируется на области вокруг телевизора. Однако у этого режима есть недостаток – из-за особенностей освещения возможность виртуально изменить цвет существующего объекта физической среды сильно ограничена. Например, предмет красного цвета невозможно заменить зеленым или синим с помощью данной технологии;
2. Focus + Context Edges. Эта иллюзия отображает только максимально контрастные очертания избранных объектов. Например, персонажей, зданий или других декораций. Данный режим более устойчив к окружающему свету в помещении;
3. Focus + Context Segmented. Контент проецируется только на стену вокруг телевизора. Данный режим рекомендуется для использования, если остальное окружение телевизора мешает качественному восприятию иллюзий;
4. Focus + Context Selective. В этом режиме отображаются только избранные элементы игры, например, пули, пламя или маркеры игроков.

На рынок проект не попал из-за высокой стоимости [1]. В компании Microsoft было принято решение оставить IllumiRoom лишь для исследовательских целей, но уже в 2015 г. появился проект под названием RoomAlive, который, используя принцип работы IllumiRoom, превращал комнату в полностью интерактивную игровую локацию. Игрок мог теперь не только наблюдать виртуальные объекты, но и взаимодействовать с ними: дотрагиваться, затаптывать, управлять.

Если в IllumiRoom использовались один проектор, один сенсор, телевизор и консоль, то новую систему составляют шесть проекторов, шесть сенсоров Kinect и мощный компьютер, обрабатывающий информацию [5]. RoomAlive также не получит широкое распространение на рынке по причине высокой стоимости, однако эта технология может использоваться в качестве комнат-аттракционов на коммерческой основе.

Проект дополненной реальности IllumiRoom, как разработка для видеоигр, предоставляет пользователю широкие возможности, однако из-за высокой стоимости устройств распространения не получил. Это дало толчок к созданию более доступных, но менее функциональных технологий, и к разработке более продвинутых проектов, которые могут быть направлены не только на игровую индустрию (комнаты-аттракционы), но также на научно-исследовательскую деятельность и военную подготовку.

## Литература

1. Новости IllumiRoom [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shazoo.ru/tags/2643/illumiroom>, своб.
2. Боковое (периферическое) зрение и его роль в тактике игры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://altayvolley.ru/article/1408-articles.html>, своб.
3. Microsoft IllumiRoom: основная киллер-фича новой Xbox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hi-news.ru/consoles/microsoft-illumiroom-osnovnaya-killer-ficha-novoj-xbox.html>, своб.
4. IllumiRoom [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/IllumiRoom>, своб.
5. Проект RoomAlive: интерактивное виртуальное пространство, созданное с помощью проекторов и камер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.malbred.com/installyatsii/proekt-roomalive-interaktivnoe-virtualnoe-prostranstvo-sozdannoe-s-pomoschyu-proektorov-i-kamer.html>, своб.



**Хаджиев Илья Валерьевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: ilya.khadzhiev@gmail.com



**Ананченко Игорь Викторович**

Год рождения: 1968

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.т.н., доцент

e-mail: igor@anantchenko.ru

УДК 004.032.26

**ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ MACHINE LEARNING В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА  
ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ**

**Хаджиев И.В., Ананченко И.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Ананченко И.В.**

В работе описаны возможности применения искусственных нейронных сетей в обеспечении качества процесса разработки.

**Ключевые слова:** тестирование, обеспечение качества, Big data, machine learning, машинное обучение, искусственные нейронные сети, ИНС.

**Введение.** Технологии Machine learning или машинного обучения на данный момент являются частью жизни каждого человека, данная технология – подраздел искусственного интеллекта. Целью машинного обучения, как правило, является анализ данных, в процессе которого происходит обучение, и представление их в структурах, легко понимаемых человеком. В традиционных вычислительных алгоритмах человек явно описывает инструкции, используемые компьютерами для решения задач. Алгоритмы машинного обучения позволяют компьютерам обучаться на входных данных, использовать статистический анализ для вывода данных [1].

Искусственные нейронные сети (ИНС) – биологически вдохновленная парадигма программирования, которая позволяет компьютеру учиться на входных данных. Парадигма возникла при изучении мозговых процессов и в попытках смоделировать их. Впервые была описана В. Маккаллохом и В. Питтсом в 1943 году [2].

Целью данной работы не являлось описание принципов работы механизмов Machine Learning и искусственных нейронных сетей в целом. Остановимся на задачах, которые можно решить при помощи машинного обучения, и приведем пример из обеспечения процесса качества процесса разработки.

Процесс разработки редко осуществляется одним специалистом, в большинстве случаев, в особенности в процессе построения сложного продукта, в процесс вовлечена группа разработчиков. Рассмотрим основные роли участников процесса разработки [3]:

1. руководитель проекта отвечает за состояние продукта, планирование работ, распределение задач между остальными участниками проекта и составление бюджета разработки;

2. проектировщики продукта, а именно:

- разработчик архитектуры определяет каркас взаимодействия модулей, входящих в продукт, отвечает за выбор технологий, которые будут использоваться в проекте;
- специалист по анализу предметной области проводит опросы на форумах среди пользователей, документирует полученную информацию в понятном для разработчиков виде;
- специалист по анализу человеческого фактора, или специалист по эргономике, специалист с психологическим образованием и знанием когнитивистики, помогает сделать продукт логичным и понятным для конечного пользователя;

3. программист пользовательского интерфейса разрабатывает пользовательский интерфейс продукта. Опытный специалист, который разбирается в оконной архитектуре и компьютерной графике;

4. ведущие программисты;

5. менеджер по маркетингу определяет требования рынка, отвечает за маркетинговую деятельность (рекламу, обучение специалистов);

6. представитель группы технической поддержки участвует в проектировании продукта и создании технической документации, стараясь сделать ее понятнее, чтобы минимизировать количество обращений в техническую поддержку после выпуска продукта;

7. технические писатели создают и переводят документацию к продукту;

8. тестировщики обеспечивают качество продукта.

После реализации идеи проектировщиков продукта, он доставляется конечному пользователю. Специалисты технической поддержки и маркетологи анализируют мнение пользователей о продукте, собирают новые пожелания и требования, после чего выпускается новая версия продукта и так далее. Этот процесс называется жизненным циклом программного обеспечения (ПО).

Выделяют пять основных этапов жизненного цикла ПО:

1. планирование;
2. проектирование;
3. кодирование и написание документации;
4. тестирование и исправление недостатков;
5. сопровождение и усовершенствование.

В обеспечении качества продукта важно четко понимать его текущее состояние, поэтому тестирование так важно в процессе разработки, однако, состояние продукта можно спрогнозировать.

Прогнозирование, классификация и кластеризация являются основными задачами, решаемыми ИНС [2]. Входными данными для нейронной сети послужат исходный код продукта, изменения, внесенные в него, частота изменений, и серьезность изменения логики выполнения программы. В процессе разработки крупных проектов используется хранилище исходного кода. Изменения кода документируются, записывается дата и прочие подробности изменения. Эти данные увеличиваются от одной версии продукта к другой, и иногда изменения, внесенные множеством итераций назад, могут сильно повлиять на работоспособность продукта. Нейронная сеть, анализируя входные данные способна делать прогноз состояния продукта и его конкретного функционала, основываясь на этих данных, так же, как и человек. Однако у обученной ИНС это будет занимать куда меньше времени, она решит задачи как тестировщика – спрогнозирует неисправность в продукте, так и разработчика – укажет на конкретное изменение, породившее неисправность. Схему данной концепции можно рассмотреть на рисунке.

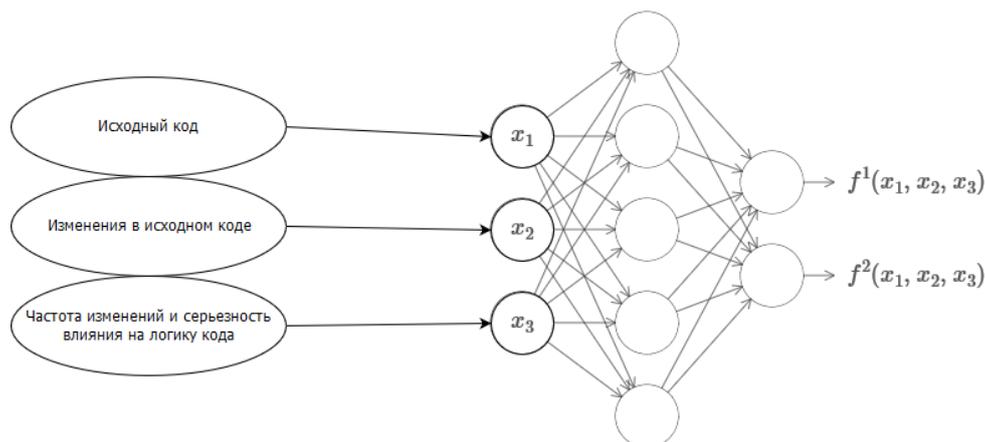


Рисунок. Схема концепции использования ИНС в процессе разработки

**Выводы.** Используя последние открытия в сфере искусственного интеллекта, а именно, в сфере Machine Learning или машинного обучения, при помощи такого инструмента как искусственные нейронные сети можно прогнозировать состояние продукта на определенном этапе процесса разработки, что серьезно упрощает обеспечения качества ПО.

### Литература

1. An introduction to machine learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/an-introduction-to-machine-learning> (дата обращения: 25.12.2017).
2. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
3. Канер С., Фолк Д. Тестирование программного обеспечения. Фундаментальные концепции менеджмента бизнес-приложений. – М.: ДиаСофт, 2001. – 544 с.

**Хайруллина Регина Ильдаровна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К3420Направление подготовки: 11.03.02 – Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи

e-mail: reji435@gmail.com

**Ананченко Игорь Викторович**

Год рождения: 1968

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, к.т.н., доцент

e-mail: igor@anantchenko.ru

УДК 004.02

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИБЛИОТЕК ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА****Хайруллина Р.И.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Ананченко И.В.**

В работе выполнен сравнительный анализ библиотек для распознавания текста. Сравнение произведено по параметрам скорости, точности распознавания, производительности, объему используемой памяти.

**Ключевые слова:** распознавание текста, Tesseract, openCV, OCRopus, SwiftOCR.

Оптическое распознавание символов широко применяется для перевода книг и документов в электронный вид, для автоматизации бизнес-процессов. Оптическое распознавание текста позволяет работать с текстовыми данными, что, в свою очередь, более удобно для редактирования, поиска, демонстрации, хранения, анализа, а также других видов дальнейшей работы с полученной информацией. Оптическое распознавание текста является исследуемой проблемой в областях компьютерного зрения, искусственного интеллекта, распознавания образов.

Функция оптического распознавания символов предоставляется программными продуктами, такими как Microsoft OneNote, Office Lens, ABBYY FineReader, Free OCR to Word, а также большим количеством онлайн-сервисов. Эти продукты, в свою очередь, используют различные библиотеки, решающие данную задачу.

Tesseract – одна из самых популярных библиотек для распознавания текста с открытым исходным кодом. Изначально разрабатывалась с 1985 по 1994 год в лаборатории Hewlett-Packard, с 2016 года ее дальнейшей разработкой занимается Google. Поддерживает распознавание более ста языков, позволяет выводить полученные данные в форматах plain-text, html, pdf, tsv, invisible-text-only pdf. Также предоставляет возможность обучения для распознавания языков, не входящих в стандартную комплектацию и улучшения точности распознавания уже имеющихся. Имеет внешнюю зависимость от библиотеки Leptonica. Может использоваться в проектах, написанных на языках C, C++, Python, Objective-C, C#, под операционные системы Linux, Mac, Windows, iOS [1]. Используется другими библиотеками (например, OpenCV) в качестве распознавателя предоставленных выделенных символов.

SwiftOCR – быстрая и простая в использовании библиотека, написана на Swift, распознает изображения используя нейронную сеть. На данный момент SwiftOCR оптимизирован для распознавания коротких буквенно-цифровых кодов длиной в одну строку (например, c3f4hQ10). В настоящее время может быть использована в iOS и OS X.

Предоставляет возможность обучения для лучшего распознавания различных шрифтов с помощью простого в использовании учебного класса. Отличается высокой точностью и быстрой скоростью распознавания. Производит предварительную обработку изображения по умолчанию. В последней версии библиотеки было добавлено распознавание символов нижнего регистра [2].

Библиотека OpenCV реализована на C/C++, разрабатывается для Python, Java, Ruby, MATLAB, C# и других языков. Может быть использована в операционных системах Windows, Linux, OS X, Android, iOS; имеет открытый исходный код. Эта библиотека представляет собой набор модулей, каждый из которых связан с определенной областью компьютерного зрения. Последняя версия предоставляет возможность обучения, что позволяет улучшить результат в несколько раз [3]. Использует Tesseract в качестве внутреннего механизма распознавания символов.

Первоначально OCRopus фактически использовал Tesseract в качестве внутреннего механизма распознавания символов, но позже они изменили его на свой совершенно новый [4]. С тех пор упало как качество распознавания [5], так и приток новых пользователей. Имеет закрытый исходный код.

Таким образом, многие из существующих библиотек на самом деле используют Tesseract в качестве механизма распознавания символов, но предоставляют свою дополнительную функциональность (например, OpenCV позволяет выделять предположительные области нахождения текста). Таким образом, наиболее интересными для сравнения по параметрам скорости, точности, производительности, потребляемой памяти являются те библиотеки, которые используют разные алгоритмы – SwiftOCR и Tesseract.

SwiftOCR подходит только для распознавания коротких буквенно-цифровых кодов, и может быть использован только в продолжениях, написанных под операционные системы iOS и OS X. Однако свою функцию в сравнении с Tesseract она выполняет намного лучше (таблица), тесты были проведены более чем на 50 изображениях, содержащих буквенно-цифровые коды, т.е. если вы пишете приложение под iOS и OS X и распознаете только небольшие строки, содержащие буквы и цифры, то целесообразнее выбрать SwiftOCR.

Таблица. Сравнение SwiftOCR и Tesseract

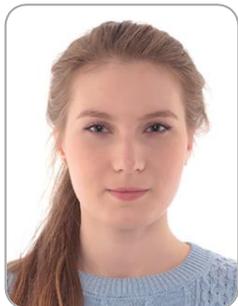
	SwiftOCR	Tesseract
Speed	0,08 с	0,63 с
Accuracy	97,7%	45,2%
CPU	Приблизительно 30%	Приблизительно 90%
Memory	45 МБ	73 МБ

Учитывая данные таблицы, SwiftOCR опережает Tesseract по всем параметрам. С точки зрения этих параметров основной проблемой Tesseract является способ управления памятью. Однако Tesseract может быть использован в большем количестве языков и операционных систем и подходит для распознавания больших текстов, а не небольших строк (из-за используемых алгоритмов распознавания).

Таким образом, при выборе библиотеки для распознавания текста, можно учитывать только используемые алгоритмы (например, OpenCV, в свою очередь, использует Tesseract). По этой причине проведен конечный анализ только двух библиотек – SwiftOCR и Tesseract. OCRopus, в свою очередь, проигрывает по всем показателям, так как относительно недавно было решено абсолютно отказаться от Tesseract и начать разработку собственных алгоритмов, которые еще достаточно далеки от поставленной цели.

**Литература**

1. Tesseract OCR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract>, своб.
2. SwiftOCR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/garnele007/SwiftOCR>, своб.
3. OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opencv.org>, своб.
4. OCROpus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/tmbdev/ocropus>, своб.
5. Распознавание символов с помощью OCROpus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.danvk.org/2015/01/09/extracting-text-from-an-image-using-ocropus.html>, своб.



**Чазова Марина Сергеевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120

Направление подготовки: 11.04.02 – Программное обеспечение  
в инфокоммуникациях

e-mail: chazovams@yandex.ru

**УДК 004.051**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DOCKER В МЕТОДОЛОГИИ DEVOPS: НЕПРЕРЫВНАЯ  
ПОСТАВКА РЕШЕНИЙ В ОБЛАКО**

**Чазова М.С.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Ананченко И.В.**

В работе изложены основные проблемы и трудности инженеров, с которыми они сталкиваются при разработке, тестировании и публикации сборок приложений, предложено одно из современных решений для упрощения реализации механизма непрерывной интеграции с помощью технологии контейнеризации. В работе приведены описание концепции и алгоритм исследуемой технологии, проведен анализ преимуществ ее внедрения.

**Ключевые слова:** непрерывная интеграция, непрерывное развертывание, Docker, контейнеризация, тестирование, разработка, DevOps.

Непрерывная интеграция (Continuous Integration, CI) и непрерывное развертывание (Continuous Delivery, CD) в последнее время стали одним из самых распространенных случаев использования Docker. CI/CD объединяют разработку и тестирование, позволяя инженерам параллельно работать над общим кодом и при этом постоянно контролировать исправность функционала. Такой подход позволяет беспрепятственно создавать новые функциональные возможности приложения и непрерывно проверять его стабильность в любом типе среды. Поскольку Docker имеет возможность интеграции с множеством других вспомогательных инструментов для разработки приложений, процесс создания контейнера легко может быть автоматизирован и встроен в стандартный механизм сборки и публикации бинарных архивов. Такой подход в полной мере упрощает реализацию методологии DevOps.

Так как DevOps представляет собой набор практик создания программного обеспечения (ПО), целью которой является унификация разработки, тестирования и разворачивания ПО [1], непрерывная интеграция является ключевой технологией ее исполнения. Непрерывная интеграция – это практика разработки, предполагающая постоянную синхронизацию выполненных задач членов команды. Для каждой интеграции подразумевается триггерное срабатывание процесса сборки и проверки его за счет настроенных автоматизированных тестов, что позволяет обнаруживать ошибки ПО как можно раньше.

Для упрощения и ускорения процессов интеграции используют технологию контейнеризации Docker. Docker – открытая платформа для сборки, тестирования и запуска распределенных приложений для любого вида окружений [2]. Ключевыми компонентами в основе решения Docker являются реестр для централизованного хранения и управления Docker-образами и служба Docker Engine, отвечающая за сборку и запуск контейнеров приложений.

Использование контейнеров позволяет разработчикам изолировать код и использовать его как самостоятельный управляемый сервис. Такой подход особенно легко встраивается в широко распространенную микросервисную архитектуру проектирования приложений, которая подразумевает дробление монолитной структуры ПО на независимые и

слабосвязанные компоненты, взаимодействие между которыми происходит через предоставляемый API.

В общем случае цикл интеграции традиционного механизма CI является линейной последовательностью из шагов попадания коммита в центральный кодовый репозиторий, сборки приложения, прохождения unit-тестов, автоматизированного разворачивания на подготовленном сервере и последующего его обслуживания инженерами (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм цикла интеграции CI

Одной из главных проблем стандартного алгоритма CI является простой production сервера во время переключения версии сборки, так как для применения обновлений или полной замены приложения на сервере необходимо определенное время. В случае одновременной работы двух версий приложения неизбежен конфликт сетевых или файловых ресурсов, что неизбежно приводит к некорректной обработке поступающего трафика.

Данная проблема решается с помощью Docker следующим образом: поскольку образы приложений являются неизменяемыми, возможен одновременный запуск двух или более контейнеров в одном окружении. Во время разворачивания обновленной версии приложения нагрузка подается на старую версию, а в момент готовности нового контейнера происходит переключение трафика и удаление старого ненужного образа. Поскольку ресурсы между контейнерами также имеют разграничение, конфликт доступа к ним не происходит. Данный сценарий развертывания также упрощает процесс отката или понижения версий таким образом, что процедура остается незаметной для подключенных пользователей.

Еще одним препятствием во время очередной интеграции может стать воспроизводимость определенных сценариев работы сервиса. Примером такой ситуации может стать проведение цикла тестирования, когда на одном из его этапов обнаруживается ошибка, которую в дальнейшем требуется выполнить повторно для отладки и починки функциональности. Неизменность образов контейнеров Docker гарантирует воспроизводимость тестовых сценариев и независимость их результатов.

Также часто приложения имеют определенные зависимости. Примерами таких зависимостей могут быть как наличие каких-либо системных модулей или расширений, так и необходимость в использовании конкретных версий интерпретатора. Контейнеры в этом случае имеют ряд преимуществ по сравнению с обычной сборкой, так как могут содержать в себе не только упакованный код приложения, но и предварительно установленные, необходимые системные и программные компоненты, инженерам не требуется каждый раз детально контролировать процесс установки ПО на сервер.

Часто во время разворачивания могут возникать проблемы с настройкой среды. Отсутствие формализованных требований к окружению или их нечеткое указание могут привести к нарушению консистентности в состоянии системы и, как следствие, к ее некорректному поведению. Для устранения подобных проблем был разработан подход IaC (Infrastructure as Code, инфраструктура как код) [3], который предполагает формализованное описание требований к среде как один из этапов разработки приложения. Это значит, что все

необходимые условия для работы ПО должны быть декларированы в отдельном файле и сохранены в кодовом репозитории. Указанный подход дает гарантию того, что приложение будет развернуто с учетом всей специфики инфраструктуры.

В общем случае механизм интеграции с использованием Docker реализуется следующим образом (рис. 2):

1. написание кода разработчиком и отправка его в удаленный репозиторий системы управления версиями (Version Control System, VCS);
2. автоматическая нотификация CI-сервера об обновлении кодовой базы;
3. выкачивание кода из репозитория на CI-сервер (например, Jenkins);
4. запуск сборки и построение образа приложения;
5. построение контейнера и запуск приложения в тестовой среде;
6. автоматизированное тестирование приложения;
7. при успешном прохождении тестов публикация образа в общем Docker-реестре.

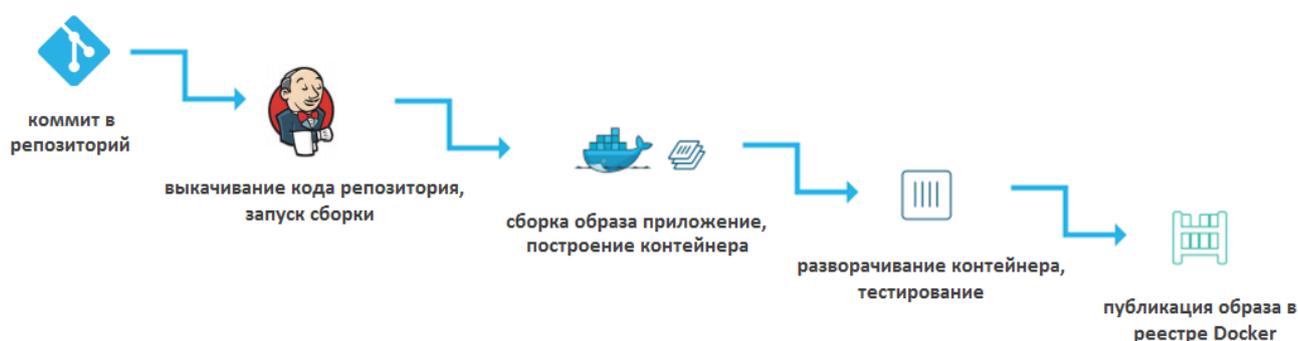


Рис. 2. Алгоритм интеграции CI с использованием Docker

Интеграция использования технологии Docker в механизме CI/CD может дать следующие преимущества [4]:

1. стандартизация, так как обеспечение стабильного и неизменяемого процесса интеграции позволяет снизить влияние тестовой среды или дефектов процесса сборки на тестирование и разворачивание компонента;
2. изоляция приложений и разделение ресурсов, которые позволяют запускать в одной среде несколько контейнеров одновременно;
3. мультиплатформенность, дающая возможность пользователям Docker запускать контейнеры в любой среде, поддерживающей виртуализацию;
4. безопасность, достигаемая за счет обособленности контейнеров, позволяющей предотвратить влияние падения или взлома одного из них на работу других служб.

Несмотря на все преимущества контейнеризации в CI-процессе, перед принятием решения о внедрении технологии инженерам стоит внимательно рассмотреть также и минусы использования Docker. Например, применение микросервисной архитектуры приложений предполагает наличие нескольких одновременно работающих сервисов, объединенных в один общий кластер. В таком случае важной частью планирования и реализации процесса разворачивания Docker-контейнера должно стать тщательное продумывание и настройка сетевых конфигураций.

Кроме того, обычное разворачивание контейнера не предполагает накладывания ограничений ресурсов, из-за чего динамический рост потребления приложением памяти может привести к превышению лимитов мощности инфраструктуры. Во избежание этого инженерам необходимо тщательно следить за корректностью настроек, ограничивающих количество выделяемых на сервере ресурсов.

Таким образом, при правильном и тщательно спланированном применении технологии контейнеризации производительность и эффективность процессов непрерывной интеграции и поставки решений могут повыситься. В противном случае непродуманное внедрение Docker может привести к непредвиденным проблемам.

**Литература**

1. DevOps WIKI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://devopswiki.net/index.php/DevOps>, своб.
2. Docker – Build, Ship, and Run Any App, Anywhere [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://devopswiki.net/index.php/DevOps>, своб.
3. Martin Fowler [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://martinfowler.com/bliki/InfrastructureAsCode.html>, своб.
4. DZone: Programming & DevOps news, tutorials & tools [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzone.com/articles/5-key-benefits-docker-ci>, своб.



**Шаркова Елизавета Игоревна**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К3420

Направление подготовки: 11.03.02 – Интеллектуальные  
инфокоммуникационные системы

e-mail: sharkliza@email.ru

УДК 004.4'272

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИГРОВЫХ ДВИЖКОВ UNITY 2017  
И UNREAL ENGINE 4**

**Шаркова Е.И.**

**Научный руководитель – ст. преподаватель Буркова М.Л.**

В работе рассмотрено понятие, что такое игровой движок, и проведено сравнение двух игровых движков: Unity 2017 и Unreal Engine 4. По каждому из них приведены данные: о видах лицензии, платформах создаваемых игр, системных требованиях, списка популярных игр. В работе приведено перечисление функций Unreal Engine 4 с описанием этих функций, а также указание, какие функции отсутствуют или добавлены в Unity 2017.

**Ключевые слова:** Unity 2017, Unreal Engine 4, игровой движок.

Игровая индустрия на сегодняшний день достигла огромной популярности. Существует большое количество игр на любой вкус, в разных жанрах, с всевозможными сюжетами и графикой, на различных мобильных, игровых и настольных платформах. Но рынок не перестает пополняться новыми играми как от крупных компаний, так и от одиночных разработчиков. Одним из важных вопросов при создании новой игры является выбор игрового движка.

Игровой движок – центральный программный компонент игр, обеспечивающий основные технологии, упрощающий разработку и дающий игре возможность запускаться на нескольких платформах [1]. Кроме программных компонентов, которые можно использовать многократно, игровые движки часто включают в себя набор визуальных инструментов для компьютерной графики, разработки и использования различных игровых объектов. Такие инструменты называют интегрированной средой разработки.

Unreal Engine – игровой движок, разработкой и поддержкой которого занимается компания Epic Games. Последняя версия данного движка – Unreal Engine 4. На сегодняшний день он находится в свободном доступе, т.е. бесплатен. После скачивания и установки разработчик получает полный доступ к исходным кодам движка, а также всегда будет доступ ко всем сборкам собственного проекта. Однако если созданная на этом движке игра принесет 3000 долларов и более за квартал, то разработчик должен начать передавать компании Epic Games 5% от прибыли игры.

С помощью Unreal Engine 4 можно создать игру для практически любой платформы и операционной системы: Microsoft Windows, Linux, Mac OS и Mac OS X; консолей Xbox, Xbox 360, Xbox One, PlayStation 2-4, PSP, PS Vita, Wii, Dreamcast, GameCube и др., а также на различных портативных устройствах, управляемых системой iOS или Android.

Unreal Engine 4 – интегрированная среда разработки, включающая набор различных редакторов:

1. редактор уровней – основной редактор, который позволяет создавать и размещать все объекты уровня: камера, свет, геометрия сцены, персонажи, системы частиц и так далее;

2. редактор материалов – редактор, позволяющий создавать и редактировать материалы, которые описывают внешний вид объектов: цвет, свечение, свойства поверхности, шершавость и тому подобные;
3. редактор схем (Blueprint Editor) – редактор, позволяющий реализовать логику игры без использования основного языка программирования C++, с помощью схем (функций, операций или данных) и связей между ними;
4. редактор дерева поведений – редактор для описания искусственного интеллекта персонажей;
5. редактор персонажа – редактор анимации, использующийся для работы со скелетными объектами, анимационными Blueprints и различными другими анимационными объектами;
6. каскадный редактор («водопад») – редактор для работы с каскадными системами частиц, такими как огонь, дым, облака, брызги и др.;
7. редактор пользовательского интерфейса – редактор, который используется для разработки пользовательских интерфейсов, системных меню, вывода здоровья, очков и т.д.;
8. монтажный редактор – редактор, позволяющий работать с анимационными треками, устанавливая для тех или иных параметров ключи анимации и управляя способом интерполяции значений между ними [2];
9. спрайтовый редактор (Paper2D Sprite Editor) – редактор для создания и настройки отдельных объектов плоскости с текстурой, спроецированной на их поверхность (спрайтов);
10. редактор спрайтовой анимации – редактор, в котором можно работать с последовательными кадрами, сменяющимися друг друга с течением времени, и с каждым из них по отдельности;
11. редактор объектов физики – редактор, который используется для создания и редактирования физических объектов со скелет мешами. С их помощью потом в редакторе персонажа можно создавать анимацию 3D-персонажа просто двигая любую «косточку» в пространстве, а соединенные с ней – будут двигаться автоматически;
12. редактор статичных мэшей (Static Mesh Editor) – редактор для работы с мэшами (наборы вершин и многоугольников, определяющих форму трехмерного объекта), в котором можно настраивать их внешний вид, параметры физического взаимодействия, и управлять уровнями детализации (Level Of Details, LOD);
13. редактор аудиосигналов;
14. редактор медиа файлов.

На движке Unreal Engine были написаны такие известные игры, как: Gears of War 4, Unreal Tournament 3, BioShock 2, Batman: Arkham (все части), Mass Effect 2, Mirror's Edge, Dishonored, Mortal Kombat X, Street Fighter V, Tom Clancy's и многие другие.

Unity – это интегрированная среда разработки от компании Unity Technologies для создания двух- и трехмерных приложений и игр. Самая свежая версия движка – Unity 2017.3 Она доступна в трех видах лицензий: Personal (бесплатная), Plus (35 долл. в месяц) и Pro (125 долл. в месяц). Каждая созданная игра в бесплатной версии будет иметь заставочный экран с логотипом Unity. При достижении уровня дохода от игр в 100000 долл. в год лицензия Personal становится недоступной. В платных версиях больше функционала по улучшению производительности игр. При доходе более 200000 долл. в год возможно пользоваться только Pro лицензией. К сожалению многих пользователей ни в одной лицензии нет доступа к исходному коду движка.

С помощью Unity можно создавать приложения, работающие под операционными системами: Windows, Linux, OS X, Android, Apple iOS, Windows Phone, на игровых приставках Wii, PlayStation 3 и 4, Xbox 360, Xbox One и устройства для воспроизведения

виртуальных голограмм, например, Nettlebox, а также можно создавать веб-приложения для запуска в любом браузере [3].

Интегрированная среда разработки Unity включает в себя удобный и понятный редактор уровней, редактор пользовательского интерфейса, редакторы медиа и аудиофайлов, в котором можно настроить 3D-звук. В Unity есть очень широкий набор функций для создания и редактирования двухмерных объектов. С анимацией в Unity можно работать во встроенных редакторах Timeline и Anima2D, также есть набор динамических камер Cinemachine, для создания зрелищных эффектов, как в профессиональном кино. Так же как и в Unreal Engine есть функционал для работы с системами частиц и материалами. Физику трехмерных объектов в Unity обрабатывают с помощью NVIDIA PhysX 3.3, в котором, к сожалению, нет функций, связанных со скелет мешами, в отличие от Unreal Engine, зато для физики двухмерных объектов есть специальный Box2D с исчерпывающим набором эффекторов. Программирование логики игры в Unity осуществляется на языке C# с помощью интеграции движка с Visual Studio.

На сегодняшний день Unity можно назвать самым популярным игровым движком среди разработчиков разных уровней. В связи с этим в Интернете есть много форумов, обучающих видеоуроков и статей, также сам разработчик активно поддерживает документацию и раздел обучения на своем сайте. Сообщество Unity заполнило и продолжает пополнять магазин Unity Asset Store большим количеством разных, в том числе и бесплатных, ассетов, такими как графические модели персонажей, техники, предметов, текстуры, разнообразные звуковые эффекты, саундтреки и многие другие.

На движке Unity были написаны такие известные игры, как: HearthStone, Firewatch, Ori and the Blind forest, Inside, Republice, Warhammer 40000: Regicide, Albion Online, StarWars: Galaxy of Heroes, Pokemon GO. А также огромное количество малоизвестных, но захватывающих игр на телефоны.

Таблица. Системные требования

Параметр	Системные требования	
	Unreal Engine 4	Unity 2017
Операционные системы	Windows (64-разрядная) 7, 8, 10; Mac OS X 10.9.2+, Ubuntu 15.04+	Windows (64-разрядная) 7 SP1+, 8, 10; Mac OS X 10.9+ [5]
Видеокарта	с поддержкой NVIDIA GeForce 470 GTX или AMD Radeon 6870 HD и выше [4]	с поддержкой DX9 (модель шейдера 3.0) или DX11 с поддержкой возможностей уровня 9.3 [5]
Другие параметры	Четырехъядерный процессор частотой от 2,5 ГГц [4]	Остальное зависит от сложности проектов [5]
	8ГБ оперативной памяти [4]	

После обзора Unreal Engine 4 и Unity 2017 (таблица) можно сделать вывод о том, что на обоих игровых движках достаточно функционала для создания больших и захватывающих игр. Удобность отдельных модулей каждого из них субъективна, кому-то больше нравятся инструменты Unreal Engine, а кому-то больше придутся по вкусу аналогичные инструменты Unity. Однако, на взгляд автора, Unreal Engine 4 больше подойдет людям, имеющим опытом в написании игр, для разработки больших трехмерных компьютерных игр. Unity же будет удобнее для создания двухмерных игр на мобильные устройства, рынок которых сейчас на пике популярности. Также новичкам в создании игр больше подойдет для изучения именно Unity.

**Литература**

1. Игровой движок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ru-wiki.org/wiki/%D0%98%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9\\_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%BE%D0%BA](http://ru-wiki.org/wiki/%D0%98%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%BE%D0%BA), своб.
2. Инструменты и редакторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/a/artdds.com/ue4ru/gettingstarted/subeditors>, своб.
3. Unity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iteventworld.ru/organizer/unity/>, своб.
4. Hardware & Software Specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/GettingStarted/RecommendedSpecifications/>, своб.
5. Системные требования для Unity 2017.2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unity3d.com/ru/unity/system-requirements>, своб.



**Ямщиков Денис Викторович**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра программных систем, студент группы № К4120

Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи

e-mail: lineonly@mail.ru

УДК 004.75

**БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ В ФИНАНСОВОЙ СФЕРЕ:  
УГРОЗА ИЛИ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ**

**Ямщиков Д.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Осипов Н.А.**

В работе рассмотрены основные понятия, а также описаны преимущества применения блокчейн-технологий в финансовом секторе. Более того, выделяются основные барьеры на пути к реализации данной технологии в банковской сфере, а также возможные пути развития.

**Ключевые слова:** блокчейн, криптовалюта, банки, финансовая сфера, распределенная база данных, транзакции.

Технология блокчейн представляет собой сконструированный по конкретным принципам непрерывный консеквентный набор блоков (blockchain – цепочка блоков), в котором содержится определенная информация. В большинстве случаев копии данных цепочек блоков хранятся на большом количестве различных компьютеров и обрабатываются независимо друг от друга [1].

Изначально данный термин определял распределенную и полностью реплицированную базу данных, которая была реализована в пиринговой платежной системе «Биткойн». По этой причине рассматриваемую технологию в большинстве случаев ассоциируют с механизмом реализации транзакций с использованием различных криптовалют. Однако стоит отметить, что данная технология далеко не ограничивается столь монофункциональной реализацией, а наоборот, может быть использована в рамках работы с различными информационными взаимосвязанными блоками [2].

По своей сути, технология блокчейн, в аспекте структур организации баз данных, является новым типом, обладающим крайне высоким уровнем конфиденциальности, который позволяет получать едва ли не одновременный совместный доступ к общим данным большой группе участников.

На сегодняшний день в основе многих бизнес-моделей крайне важную роль играет реконсиляция (т.е. согласование и сопоставление данных). С целью решения тех или иных задач возникает необходимость в поддержании постоянного многостороннего обмена данными между большим количеством вовлеченных сторон. Данная проблема, в свою очередь, приводит к замедлению и неэффективности большинства процессов. Отчасти это происходит по причине необходимости для компаний в самостоятельной организации и поддержании актуальности данных, и связанных с этим процессом систем.

Блокчейн, в свою очередь, может стать тем инструментом, который будет способен предложить более целостное и результативное решение, заменяющее большое количество последовательных моделей реконсиляции. В процессе использования данной технологии существует большая вероятность того, что согласование и сопоставление данных станет органичной частью общего процесса обработки транзакций [3].

В исследовании, проведенным крупным американским банковским холдингом «Morgan Stanley», делается акцент на том, что блокчейн-технологии могут стать инструментом,

способным помочь банкам уменьшить затраты на многочисленные сложные процессы, упростив их и уменьшив беспорядок, возникающий во время их функционирования [4]. Однако это может оказаться «обоюдоострым мечом», поскольку, учитывая тот факт, что новые игроки меняют конкурентную среду, общий фонд прибыли также может падать или снижаться.

Существует как минимум 6 причин, побуждающих к использованию блокчейн-технологий в финансовой сфере [4]:

1. повышение безопасности: криптография, используемая для обеспечения того, чтобы записи не могли быть изменены или исправлены;
2. снижение затрат: совместная, зашифрованная и прозрачная база данных может сократить количество сотрудников в фирмах, ответственных за аутентификацию и утверждение каждой конкретной транзакции;
3. увеличение скорости: транзакции в виде одновременного обновления учетных записей покупателя и продавца станут более упорядоченными;
4. лучшая видимость: транзакции можно отслеживать в режиме реального времени;
5. управление разрешением споров: каждый шаг транзакции проходит процедуру одобрения;
6. уменьшение мошенничества: многоузловая архитектура усложняет незаметность коррупции.

Также в рамках рассматриваемого исследования выделяются 10 барьеров на пути к реализации блокчейн-технологии в банковской сфере [4]:

1. мало прецедентов экономической эффективности;
2. взаимозависимость: кто финансирует перестройку старых систем?
3. несогласованные стимулы;
4. переход к правильному стандарту;
5. масштабируемость/производительность;
6. управление;
7. нормативные вопросы;
8. юридические риски;
9. криптология/безопасность;
10. простота/совместимость.

Если рассмотреть наиболее оптимальные варианты использования технологии, то можно прийти к выводу, что большинство идей сводится к снижению неэффективности инфраструктуры рынков капитала. Так, некоторые компании приоритетной задачей считают пост-торговое урегулирование для различных классов активов. Внутренние платежи уже эффективны, особенно при оплате в режиме реального времени в большинстве стран ЕС, Великобритании и практически в США. Однако некоторые аналитики полагают, что протоколы связи с использованием блокчейн-технологий могут значительно улучшить систему международных платежей [4].

Стоит отметить, что некоторые составляющие блокчейн-технологии, такие как распределенные базы данных, криптографические хеши и построение консенсуса были известны еще ранее. Однако принципиально новый тип передачи данных создает именно их комбинирование. Все это позволит значительно снизить зависимость от сторонних центральных органов, посредников и дорогостоящих процессов сопоставления данных.

По данным аналитической компании «Accenture», приблизительно 65% издержек инвестиционных банков относятся к IT-бюджету и представляют собой траты на поддержку старой инфраструктуры [5]. Большие средства также вкладываются в проекты по сокращению данных издержек.

Таким образом, банки финансируют большую долю капитала, усилий и времени на функционирование процессов, которые существенно не влияют на рост доходности предприятия. Исходя из этого, можно прийти к выводу, что исследование возможностей

блокчейн-технологий в качестве инструмента влияния на основные статьи расходов, позволит финансовым институтам увеличить показатели прибыльности.

### **Литература**

1. Nakamoto S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, своб.
2. Генкин А.С., Михеев А.А. Блокчейн. Как это работает и что ждет нас завтра. – М.: Альпина Паблишер, 2017. – 592 с.
3. Блокчейн в банкинге: анализ ценности технологии для инвестиционных банков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geektimes.ru/company/wirex/blog/284544/>, своб.
4. Global insight. Blockchain in banking: disruptive threat or tool // Morgan Stanley research. – 2016, april. – NY.: Global Financials, 2016. – 31 p.
5. Banking on blockchain: a value analysis for investment banks // Accenture research. – NY.: Accenture Consulting, 2017. – 10 p.

**Ахмедзянова Регина Радиковна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра сетевых и облачных технологий, аспирантНаправление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника  
и системы связи

e-mail: regina.ahm@mail.ru

**Самохин Никита Юрьевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра сетевых и облачных технологий, аспирантНаправление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника  
и системы связи

e-mail: samon@corp.ifmo.ru

УДК 004.7

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, УСТОЙЧИВОЙ К DDoS-АТАКАМ****Ахмедзянова Р.Р., Самохин Н.Ю.****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Хоружников С.Э.**

Растущая скорость интернет-каналов приводит к увеличению мощности DDoS-атак и их количества. Серверы способны принимать все больше пакетов данных. Но следует понимать, что чем больше канал, тем больше пакетов он способен пропустить на сервер. Контейнеризация предполагает создание и использование множества географически распределенных реплик одного ресурса, что усложняет задачу атакующему ресурсу ввиду наличия множества каналов до атакуемого. В данной работе кратко рассмотрены инструменты, задействованные в проектировании сервиса, устойчивого к DDoS-атакам.

**Ключевые слова:** DDoS, виртуализация, контейнерный кластер, Docker Swarm, Gluster-FS.

Контейнерная виртуализация – тип виртуализации, предполагающий использование ядра операционной системы для создания множества изолированных экземпляров выделенного пространства ядра. Данные экземпляры принято называть контейнерами и с точки зрения владельцев/пользователей они выглядят как самостоятельный сервер, несмотря на то, что контейнеры разделяют ресурсы ядра операционной системы. Говоря о преимуществах контейнерной виртуализации над виртуализацией с использованием гипервизора в первую очередь нужно отметить легковесность данной технологии. Связано это с тем, что между всеми процессами, запущенными в контейнерах, разделяется одно ядро операционной системы. Контейнерная технология позволяет запустить намного больше полноценных виртуальных окружений, затратив при этом минимум времени, в отличие от запуска множества эмулированных операционных систем на одном физическом сервере [1–3].

Главная цель, преследуемая данной работой, – поиск максимально унифицированного и высокопроизводительного решения по защите от DDoS-атак.

Существующие методы борьбы с DDoS-атаками не всегда являются эффективными. Многие компании разрабатывают собственные методики борьбы с данным типом атак, которые тем или иным образом сводятся к двум подходам. Первый подход заключается в установке фильтрующего сервера, готового пропускать и обрабатывать пакеты данных, второй способ предполагает включение в сетевую топологию оборудования, способного

распознать тип трафика и моментально отразить атаку, включением списков доступа, в которых прописаны разрешения. Ни один из предложенных методов, к сожалению, не является универсальным. В данной работе описан принципиально новый подход борьбы с DDoS-атаками, включающий в себя контейнерную технологию. В первую очередь следует затронуть вопрос проектирования сетевой инфраструктуры.

**Разработка.** Для реализации упомянутой модели предлагается использовать ряд технологий.

Используемый в работе инструментарий:

1. система контейнеризации Docker Swarm, ввиду ее простой и быстрой настройки, наличия открытого исходного кода и легкой установки на сервер;
2. сетевая файловая система Gluster-FS;
3. также были использованы и протестированы различные технологии балансировки нагрузки.

Тестирование разработанной модели сети производилось в условиях виртуальной инфраструктуры (т.е. с использованием виртуальных машин, запущенных с помощью гипервизора VMWare ESX). На рис. 1 представлена абстрактная модель инфраструктуры, сопрягающая контейнерные и не контейнерные методы балансировки нагрузки и распределенного подхода.

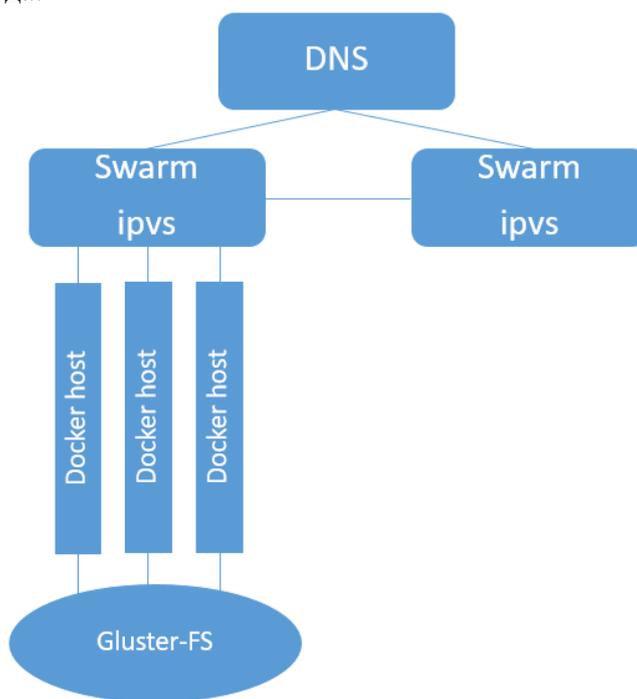


Рис. 1. Абстрактная модель инфраструктуры

Не контейнерные методы (традиционная equal cost маршрутизация, протоколы FHRP, DNS round robin и многие другие, давно применяемые в традиционных архитектурах) позволят добиться большей географической распределенности.

На рис. 2 представлены три модели организации доступа к изменяемым данным со стороны контейнера. В первом случае кластер Docker «накладывается» на кластер Gluster-FS, репликация данных осуществляется на уровне файловой системы. Во втором предполагается, что файловая система изолирована и изменяемые данные контейнера монтируются по сетевому протоколу (NFS, Samba). В третьем случае предполагается более консервативный подход с хранением изменяемых данных на сервере базы данных (БД) без прямого задействования сетевой файловой системы.

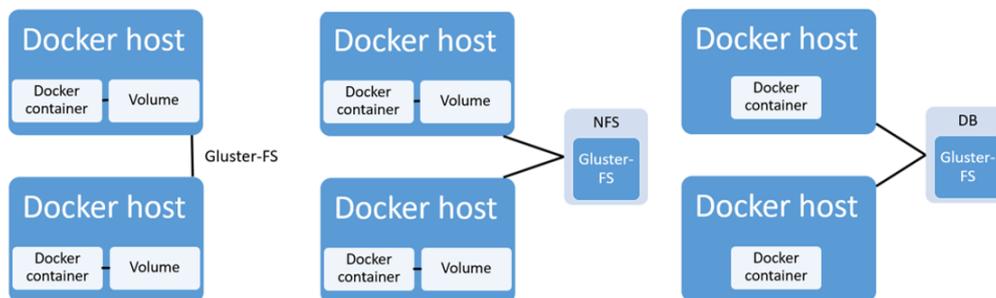


Рис. 2. Модель организации доступа к изменяемым данным со стороны контейнера

Первая архитектура больше подходит для центра обработки данных (ЦОД), третья для распределенной сети, а вторую можно считать промежуточной. В конечном счете, стабильная работа системы зависит от полосы пропускания и задержек на каналах. Одна из задач работы – определение минимальных приемлемых количественных показателей для устойчивой работы традиционных web-сервисов в распределенной контейнерной инфраструктуре.

Данная работа представляла собой краткий обзор используемых технологий для сетевой топологии, устойчивой к DDoS-атакам. Необходимо добавить, что еще одним полезным свойством технологии Docker, внедрение которой изначально предполагалось для упрощения разработки и развертывания новых сервисов, является простота ввода и вывода из эксплуатации аппаратного обеспечения за счет концепции масштабируемости. Глобальной целью работы являлось создание и апробация предложенного решения на базе сети Интернет, что позволит разместить и протестировать атакуемый сервис на общих мощностях.

### Литература

1. Gluster-FS с кластером Docker swarm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://system-admins.ru/glusterfs-s-klasterom-docker-swarm/>, своб.
2. Docker – виртуализация сети. Часть 2 (VXLAN) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dev-ops-a.ru/docker/docker-виртуализация-сети-часть-2-vxlan/>, своб.
3. Балансировка нагрузки с LVS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/104621/>, своб.



**Самохин Никита Юрьевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра сетевых и облачных технологий, аспирант

Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника  
и системы связи

e-mail: samon@corp.ifmo.ru



**Булыкина Анастасия Борисовна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,  
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,  
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: a.bulykina@mail.ru



**Ахмедзянова Регина Радиковна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет инфокоммуникационных технологий,  
кафедра сетевых и облачных технологий, аспирант

Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника  
и системы связи

e-mail: regina.ahm@mail.ru

**УДК 004.75**

**ДАННЫЕ ПО УТИЛИЗАЦИИ РЕСУРСОВ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.  
ЗАПРОСЫ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ОЧЕРЕДЕЙ СООБЩЕНИЙ**

**Самохин Н.Ю., Булыкина А.Б., Ахмедзянова Р.Р.**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Хоружников С.Э.**

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России (Договор № 03.G25.31.0229).

ЦОД – совокупность серверного/ сетевого оборудования, предназначен для обработки, хранения и распространения информации. Виртуализация – это предоставление вычислительных ресурсов на основе аппаратного обеспечения при изоляции от последнего. Независимо от типа используемой инфраструктуры должен осуществляться мониторинг состояния, а также утилизации ресурсов. При отсутствии доступа к фронт-энду системы мониторинга по различным причинам, должен осуществляться доступ другими способами, в том числе по API. Общение между пользователем и системой мониторинга должно быть асинхронно в рамках диалога запрос-ответ. Предложено реализовать асинхронность диалога с помощью использования технологии очередей и брокера сообщений.

**Ключевые слова:** ЦОД, виртуализация, мониторинг, биллинг, очереди сообщений, Zabbix, RabbitMQ.

На сегодняшний день центр обработки данных (ЦОД), как правило, исполняет свои основные функции в интересах корпоративных клиентов – обычно он ориентирован на предоставление сервисов и услуг ради решения бизнес-задач. Тем не менее, использование ЦОД в определенных моментах можно расценить как риск в виде возникновения единых точек отказа. Как минимум по этой причине вся инфраструктура должна быть подключена к

системе мониторинга (СМ). Использование СМ предоставляет целый ряд возможностей, из которых стоит выделить мониторинг состояния системы, мониторинг утилизации ресурсов и биллинг. Биллинг является одним из важных компонентов системы в рамках предоставления ресурсов ЦОД в качестве услуги. Таким образом, биллинг позволяет оценить предоставляемые клиенту и им потребляемые ресурсы в денежном эквиваленте [1, 2].

Главная цель, преследуемая данной работой – разработать и предложить метод предоставления данных для биллинга с помощью запроса к системе мониторинга в асинхронном режиме.

Асинхронный режим предполагает отсутствие зависимости состояний пользователя и СМ друг от друга. Таким образом, отправитель запроса не обязан поддерживать сессию и ожидать ответа от СМ после того, как запрос был сделан. Запрос информации по утилизации ресурсов ЦОД может обрабатываться продолжительное время, в зависимости, например, от интересующего пользователя диапазона дат. В качестве известного примера подобной модели на рис. 1 представляется запрос детализации биллинга у сотового оператора.

[Меню Личного кабинета](#) / [Счет](#) / [Заказанные документы](#)

## Заказанные документы

Если у Вас возникли вопросы по расшифровке детализации, смотрите [здесь](#)

В данном разделе вы можете просмотреть документы, ранее заказанные со способом доставки «в Личный кабинет».

Обращаем Ваше внимание, что заказанные документы будут доступны в Личном кабинете в течение 17 дней с момента заказа для просмотра и сохранения на Вашем компьютере.

<a href="#">Документ</a>	<a href="#">Формат</a>	<a href="#">Дата заказа</a> ↑	<a href="#">Размер</a>
<a href="#">Детализация разговоров за период с 14.02.2018 по 14.03.2018</a>	XML	14.03.2018 21:57	145,75 КБ

Рис. 1. Запрошенная детализация разговоров в личном кабинете МТС

**Разработка.** Для реализации упомянутой модели предлагается разработать специальный агент, призванный находиться в состоянии ожидания, который будет обрабатывать поступивший от пользователя запрос, отправлять его системе мониторинга и обрабатывать поступивший ответ. Пользователь может получить ответ на искомый запрос в любом удобном для него виде; в рамках данной модели предлагается использовать базу данных (БД) для хранения запросов и ответов. Для общения между пользователем и СМ предлагается использовать систему сообщений.

Используемый в работе инструментарий:

- система мониторинга Zabbix, ввиду ее гибкости, отличной масштабируемости и удобству работы с API;
- система сообщений и очередей RabbitMQ;
- язык программирования Python для реализации функций агента.

На рис. 2 представлена примерная схема связи компонентов разрабатываемой системы.

Тестирование разработанного метода производилось в условиях виртуальной инфраструктуры (т.е. с использованием виртуальных машин). Тем не менее, использование метода вполне оправдано в любой среде, подключенной к системе мониторинга. Блок `sm_request` обозначает тестовую программу, имитирующую пользователя, отправляющего запрос. Блок `sm_main` обозначает ядро разработанного агента, которое принимает запрос, обрабатывает его, пересылает СМ, получает ответ, записывает ответ в БД и отправляет

пользователю ответ на его запрос в виде ссылки на запись в БД. Предполагается, что у пользователя есть права на чтение в упомянутой БД.

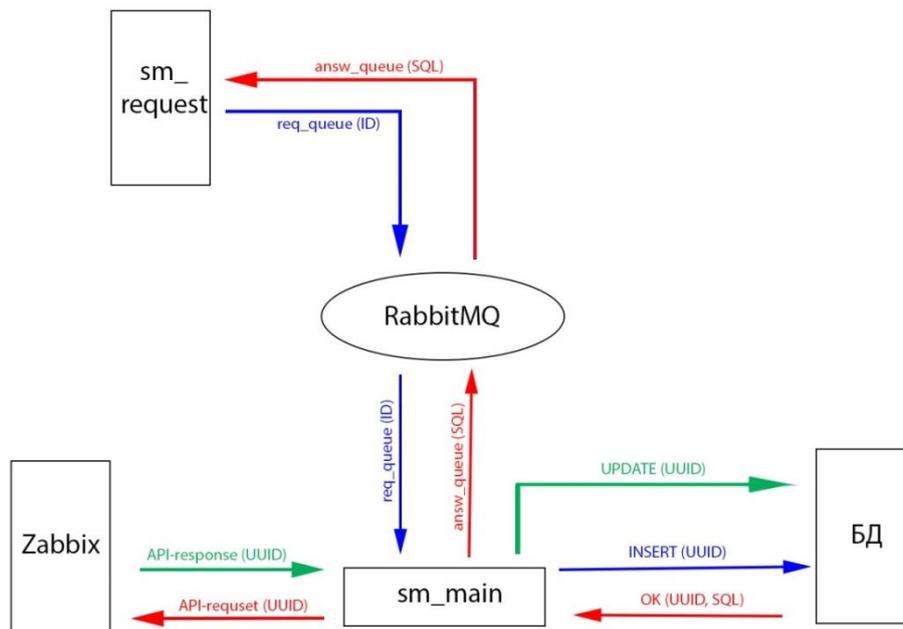


Рис. 2. Общая схема разработанной системы обмена сообщениями по запросу

В данной работе представлен собой краткий обзор варианта реализации асинхронного общения между пользователем и системой мониторинга для различных нужд, в том числе для биллинга. Предложенный вариант исключает ожидания ответа со стороны пользователя благодаря использованию технологии очереди сообщений и «прослойки» в виде агента. Агент работает с пользователем, системой мониторинга и базой данных, в которой фиксируются все запросы и ответы.

### Литература

1. Introduction to RabbitMQ. Tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rabbitmq.com/tutorials/tutorial-one-python.html>, своб.
2. Zabbix 3.4 Documentation. API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zabbix.com/documentation/3.4/manual/api>, своб.

**Вычужанин Павел Витальевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
студент группы № М4117сНаправление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика  
и информатика

e-mail: pavel.vychuzhanin@gmail.com

**Калюжная Анна Владимировна**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
к.т.н., доцент

e-mail: kalyuzhnaya.ann@gmail.com

УДК 004.896

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЕРИФИКАЦИИ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ****Вычужанин П.В., Калюжная А.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Калюжная А.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617036 «Интеллектуальные технологии оптимизации структуры и анализа данных в композитных моделях сложных систем».

В работе рассмотрены проблемы, возникающие при работе с некорректными расчетными данными метеорологических вычислительных систем, и подходы к верификации таких данных. Также в работе была предложена архитектура разрабатываемой системы верификации, и приведены примеры некоторых реализованных автоматизированных методов верификации расчетных данных.

**Ключевые слова:** гидрометеорологические данные, верификация, система верификации, обнаружение выбросов, моделирование океана.

Современный подход к предсказанию погоды представляет собой ресурсоемкое моделирование с использованием сложных суперкомпьютерных систем. В ходе расчетов элементы подобных систем оперируют огромными массивами данных, и иногда в силу различных обстоятельств какая-то часть этих данных может быть некорректной. В таких случаях необходимо в скором порядке выявлять место, причины и типы проблем, и принимать дальнейшие решения о ходе расчетов. Для автоматизации подобного процесса проверок целесообразно иметь автоматизированную систему, которая позволяет верифицировать данные в процессе расчетов и уведомлять о найденных проблемах. Целью данной работы являлось выявление основных подходов к верификации расчетных данных метеорологических моделей.

**Архитектура системы верификации.** При разработке верификационной системы необходимо учитывать архитектуру самой вычислительной гидрометеорологической системы. На рис. 1 показано, как система верификации может быть интегрирована с вычислительной системой.

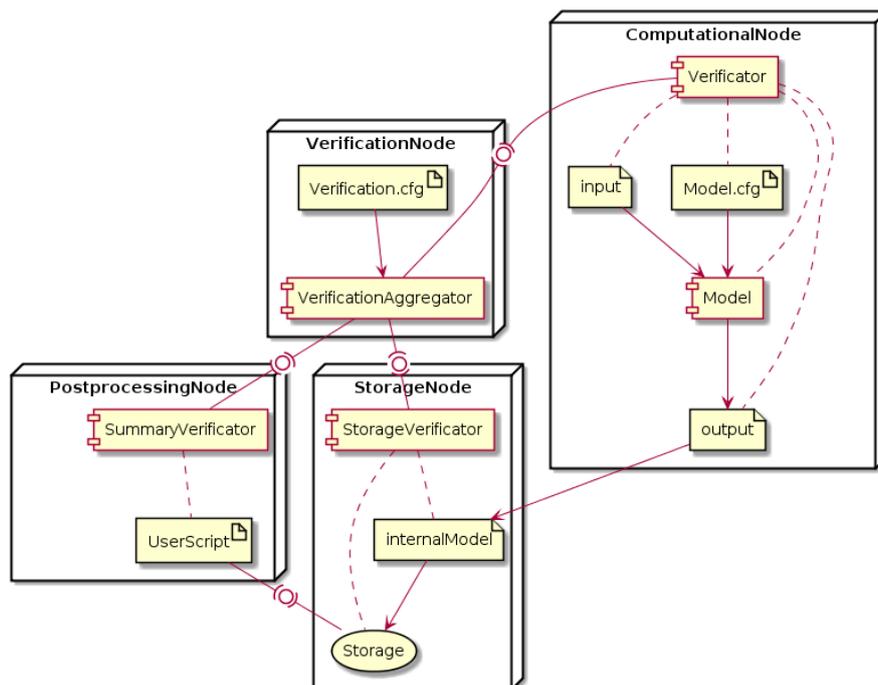


Рис. 1. Архитектура вычислительной и верификационной систем

Вычислительная система содержит три основные инфраструктурные единицы:

1. вычислительный узел: содержит в себе вычислительные модели, которые принимают на вход входные данные специального формата и в течение всего процесса генерируют выходные данные, которые могут быть интерпретированы как решение модели в определенный момент времени;
2. хранилище: предоставляет возможность хранить расчетные данные, к которым предоставляется доступ для дальнейшей интерпретации результатов;
3. узел обработки результатов: представляет собой физический узел, на котором запускаются пользовательские скрипты для обработки результатов вычислений.

В соответствии с архитектурой вычислительной системы и общим процессом расчета моделей необходимо выделить три основных типа проверок, выполняемых верификационной системой:

1. технические проверки;
2. предметные проверки;
3. автоматизированные проверки средствами искусственного интеллекта (ИИ).

Под техническими проверками подразумевается в основном проверка целостности, полноты и структуры файлов, с которыми происходит работа в процессе расчетов модели.

Под предметными проверками предполагается логический анализ данных, определение их характеристик, специфичных для метеорологических расчетов.

Автоматизированные проверки средствами ИИ представляют собой анализ данных, генерируемых моделью, с целью определения аномального поведения.

**Подходы к верификации данных.** Любые метеорологические расчеты завязаны на наборе данных, с которыми оперирует модель. Исходя из этого, важно определить основные критерии, по которым можно оценить качество используемых данных [1]:

- однородность данных;
- точность значений в данных;
- выбранный набор данных покрывает временной период, на котором производится анализ;
- каждый период (месяц, сезон) в наборе предоставлен в равной степени;
- данные не содержат нереалистичные или дефектные значения.

**Обнаружение выбросов.** Рассмотрим пример нереалистичных значений в данных, имеющих характер выбросов. Проблема выбросов в наборах данных достаточно хорошо освещена в различных источниках. Под выбросом подразумевается значение, которое отклоняется от других настолько, чтобы вызывать подозрения о существовании иного механизма, отличного от основного, благодаря которому это значение было сгенерировано [2].

Среди подходов к определению выбросов в наборах данных выделяются несколько групп:

- статистические методы;
- методы машинного обучения;
- применение нейронных сетей.

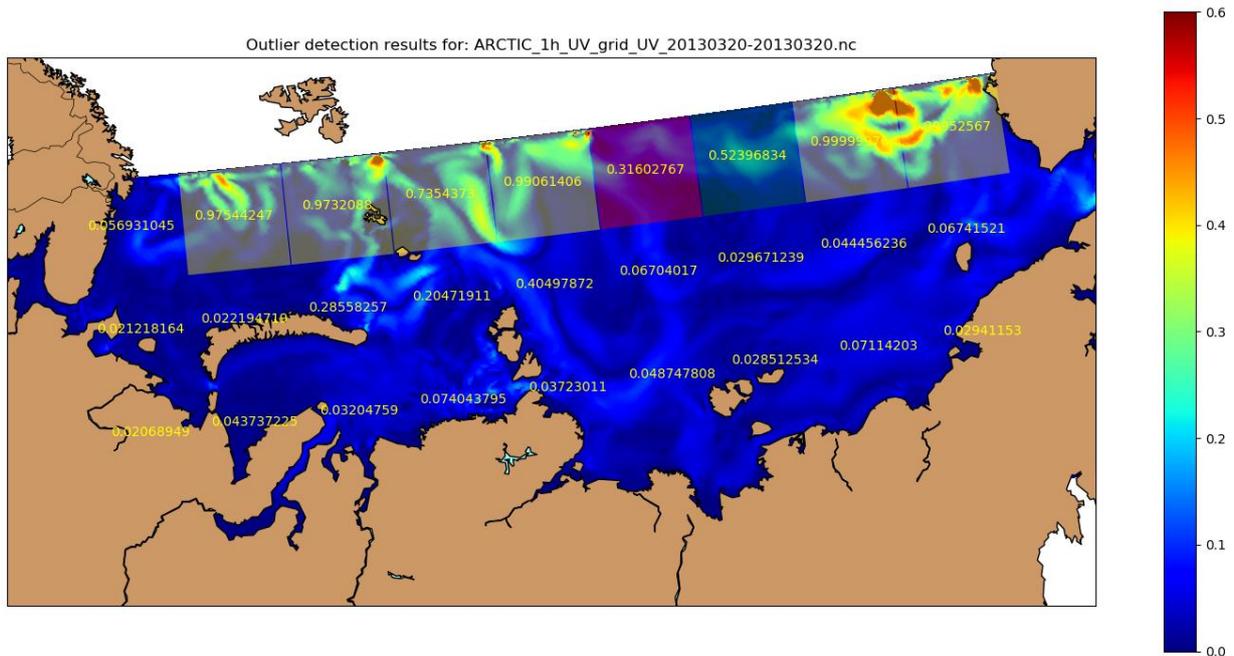


Рис. 2. Результат обнаружения выбросов нейронной сетью с заданным порогом вероятности 0,5

В условиях метеорологических расчетов, данными с возможными выбросами могут быть пространственные картины уровня течений за определенный временной интервал. В данном случае задача распознавания выбросов является характерной задачей распознавания образов, для решения которой в настоящий момент используют сверточные нейронные сети [3]. Таким образом, был проведен эксперимент, в ходе которого при помощи модели мирового океана NEMO [4] была сгенерирована 3-х месячная ежесуточная выборка (январь – март) данных с заданными условиями для 2013 года и заданного региона – российская часть Арктики, и на одном из месяцев была обучена сверточная нейронная сеть. Отдельный файл из выборки представляет собой многомерный массив пространственно-временных данных специального формата NetCDF [5]. В ходе разметки данных каждый файл был равномерно разделен на квадраты меньшего размера ( $100 \times 100$  единиц), и каждому была присвоена метка присутствия или отсутствия выбросов в пределах выбранного квадрата. На рис. 2 представлен результат работы нейронной сети. Желтым цветом выделены квадраты, которые были корректно определены нейронной сетью как квадраты с выбросами, а красным – те квадраты, которым были ошибочно отнесены как не имеющие выбросов. Зеленым цветом был выделен квадрат, который был ошибочно размечен как не имеющий выброс, однако с установленным порогом вероятности 0,5 сеть смогла корректно распознать в нем выброс. Результаты оценки качества классификации на тестовой выборке (AUC) представлены в таблице и позволяют сделать вывод о применимости сверточных нейронных сетей для обнаружения выбросов в пространственно-временных картинах течений расчетных данных. Также стоит отметить, что результаты позволяют говорить о возможных перспективах

использования аналогичного метода для других метеорологических показателей (уровень солености моря, толщина и концентрация льда и др.).

Таблица. Оценки качества классификации

Метрика	AUC
ROC	0,95
Precision-Recall	0,92

### Литература

1. van Os J., Caires S. How to carry out metocean studies // ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. – American Society of Mechanical Engineers, 2011. – P. 47–57.
2. Williams G. et al. A comparative study of RNN for outlier detection in data mining // Data Mining, 2002. ICDM 2003. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on. – IEEE, 2002. – P. 709–712.
3. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks // Advances in neural information processing systems. – 2012. – P. 1097–1105.
4. NEMO модель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nemo-ocean.eu>, своб.
5. NetCDF формат данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>, своб.

**Кисляковский Илья Олегович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
студент группы № М4218сНаправление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика  
и информатика

e-mail: kisliakovskiii@niuitmo.ru

УДК 004.855

**РАЗРАБОТКА ЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА ПОИСКА КЛИНИЧЕСКОГО  
ПУТИ В ГРАФЕ****Кисляковский И.О.****Научный руководитель – к.т.н. Балахонцева М.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617037 «Интеллектуальные технологии в задачах Р4-медицины».

Современное здравоохранение невозможно представить без компьютеров, информационных систем, сенсоров, датчиков и многого другого, что позволило упростить и автоматизировать административные процессы, улучшить процесс лечения. Однако все еще многие особенности этих процессов скрыты от нашего глаза. Использование технологий искусственного интеллекта – один из способов выявить скрытые закономерности и научиться прогнозировать изменения в процессах здравоохранения. В данной работе предложен эволюционный алгоритм, определяющий особенности клинических путей. Предложенный алгоритм может быть применен для предсказания клинических путей на ранних этапах и восстановления путей при ограниченном доступе к информации.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, эволюционные алгоритмы, здравоохранение.

Эффективность мер, принимаемых государством, в области здравоохранения определяется показателями качества лечения граждан. Вопрос оценки качества лечения, таким образом, нуждается в пристальном внимании. В частности, период лечения пациента вместе с исходом лечения может быть представлен в виде клинического пути – последовательности перемещений пациента между отделениями медучреждения. Выявление на основе клинических путей ошибок в организации лечения и в самом лечении, или, напротив, эффективных стратегий лечения может способствовать более объективному оцениванию качества лечения и улучшению качества жизни граждан.

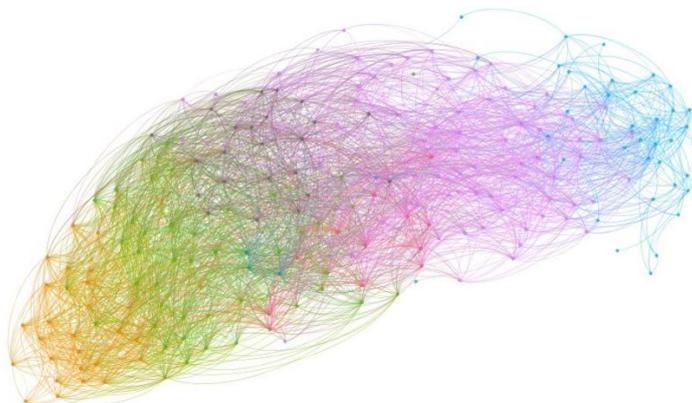


Рис. 1. Граф клинических путей

Данные о клинических путях были предоставлены ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России. Далее полученные пути были разделены на кластеры, в каждом из

которых были выявлены особенности переходов пациентов из отделения в отделение [1]. Для визуального сравнения клинических путей удобно представить их в виде вершин графа, наличие ребер в котором определяется похожестью двух клинических путей. В таком представлении также будет сохраняться разделение на кластеры (рис. 1).

Целью данной работы было создание эволюционного алгоритма, выполняющего поиск расположения клинического пути в графе на основе неполной (частичной) информации об искомом пути. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

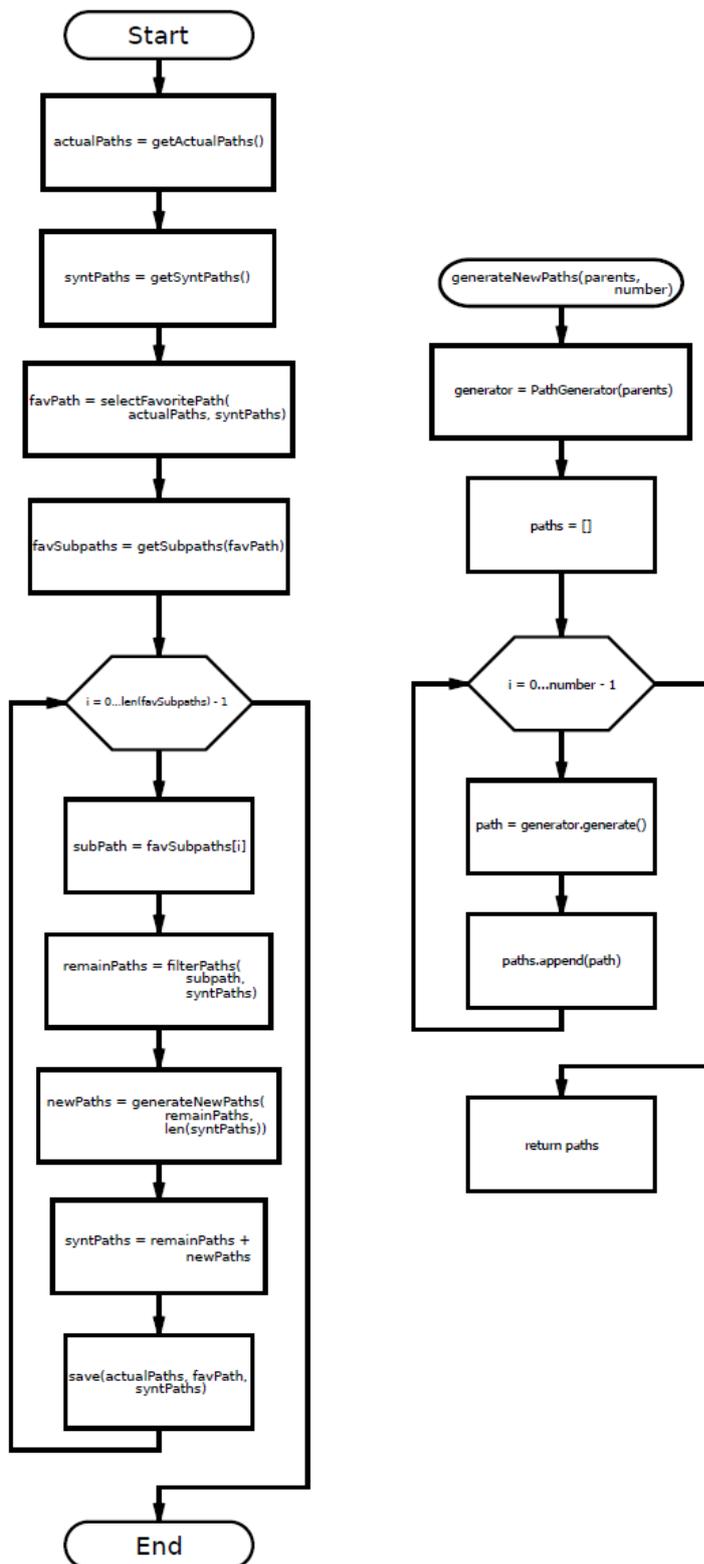


Рис. 2. Блок-схема эволюционного алгоритма поиска клинического пути в графе

На первом этапе граф состоит из вершин, соответствующих клиническим путям, составленным на основе реальных данных. После этого генерируется множество вершин в соответствии с распределением клинических путей по кластерам. Ключом для поиска является неполный клинический путь. В эксперименте путь выбирается из множества сгенерированных вершин. В данном пути маска скрывает все перемещения пациента кроме начальных. На каждом шаге алгоритма последовательно открывается по одному перемещению. Алгоритм демонстрирует, на каком шаге имеющейся информации будет достаточно, чтобы определить оставшуюся часть клинического пути. По ходу работы алгоритма множество сгенерированных вершин меняется путем удаления вершин, не соответствующих дополнительной информации, полученной на данном шаге (другими словами, фитнес-функция проверяет пути на соответствие ключу), а из оставшихся вершин (выбранных родителей) создаются новые. Создание вершин происходит путем рекомбинации родительских вершин, в частности, определяются вероятности для всех длин путей и всех перемещений пациента для каждого этапа с учетом правил формирования клинических путей (например, одно и то же перемещение не может встречаться несколько раз подряд) (рис. 3, б). В реализации алгоритма за создание новых вершин отвечает класс PathGenerator (рис. 3, а).

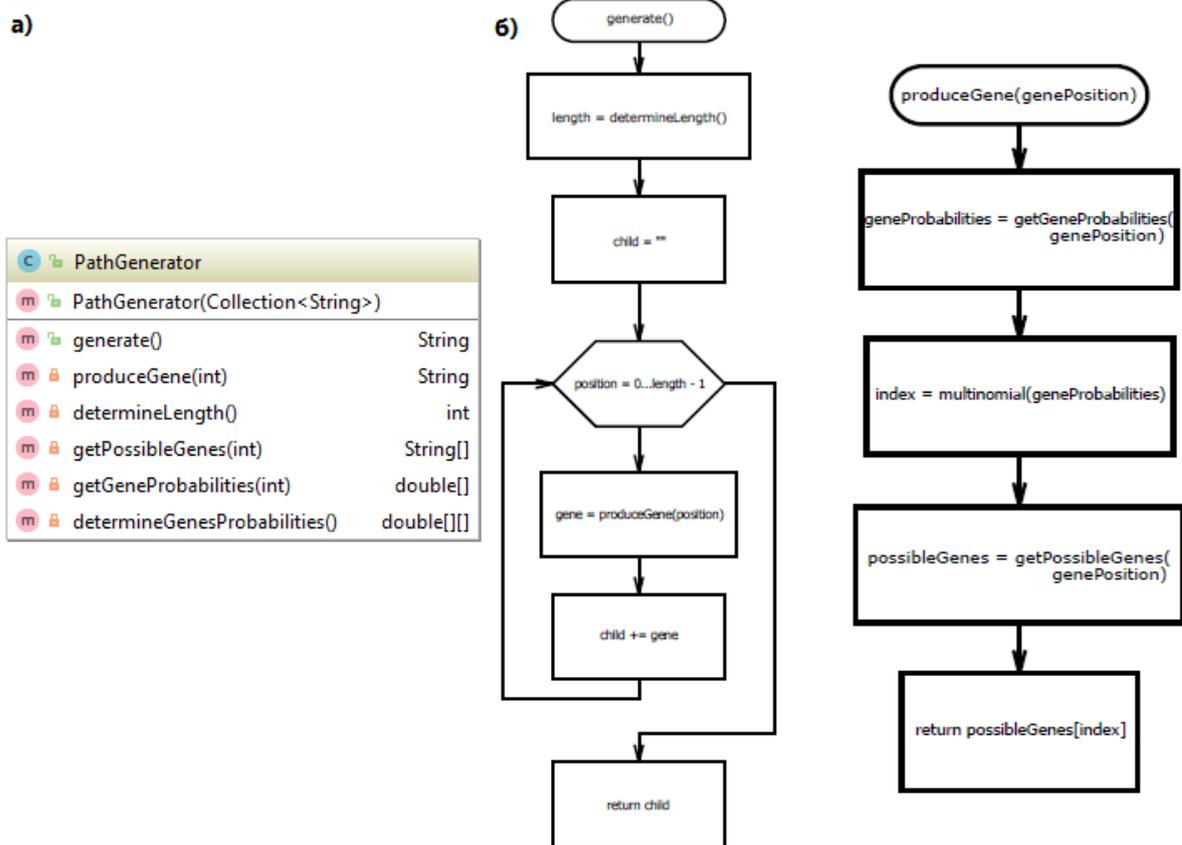


Рис. 3. Структура класса PathGenerator, реализующего логику размножения популяции клинических путей (а) и алгоритм создания потомка (б)

В ходе работы алгоритма общее количество сгенерированных вершин постепенно уменьшается. В соответствии с наличием ребер новые вершины концентрируются вокруг все меньшего количества областей исходного графа, постепенно сходясь к одной области, а затем и к одной вершине (рис. 4). С помощью специалистов группы визуализации НИИ НКТ Университета ИТМО была создана визуализация работы алгоритма<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> <https://youtu.be/twvfX9zKsY8>

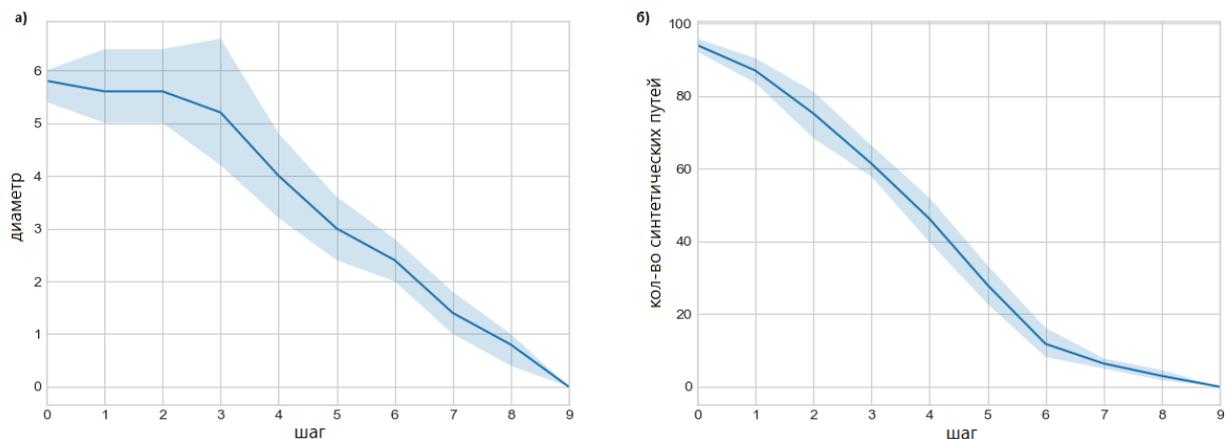


Рис. 4. Поведение графа сгенерированных вершин в период работы алгоритма: изменение диаметра графа по шагам алгоритма (ДИ 95%) (а); изменение количества вершин в графе (ДИ 95%) (б)

В настоящее время алгоритм предоставляет возможность прогнозирования клинических путей по топологическим и метрическим характеристикам графа. Для улучшения предсказаний в условиях неполноты данных, а также предсказания изменений клинических путей на ранних этапах лечения необходимо усовершенствование текущей реализации алгоритма. В частности, необходимо рассмотреть применение мутаций на этапе создания новых вершин с учетом особенностей изменения клинических путей [2]. В общем случае изменения алгоритма должны учитывать перемещение сгенерированных вершин относительно вершин, соответствующих реальным данным в графе.

### Литература

1. Funkner A.A., Yakovlev A.N., Kovalchuk S.V. Towards evolutionary discovery of typical clinical pathways in electronic health records // *Procedia Computer Science*. – 2017. – V. 119. – P. 234–244.
2. Eiben A.E., Smith J.E. *Introduction to Evolutionary Computing*. – Heidelberg: Springer, 2003. – 294 p.



**Кутузова Татьяна Эдуардовна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
студент группы № М4117с

Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика  
и информатика

e-mail: kutuzova.tanya@mail.ru

**УДК 519.688**

## **МЕТОДЫ ВЗАИМНОГО АНАЛИЗА РЫНОЧНОЙ КОРЗИНЫ ДЛЯ ОФЛАЙН И ОНЛАЙН ВИДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АССОРТИМЕНТА ТОВАРОВ**

**Кутузова Т.Э.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Насонов Д.А.**

Сегодня большое количество данных хранится в базах данных различных областей, таких как розничные рынки, банковский сектор, медицина и т.д. Но не вся информация является полезной для пользователя. Анализ рыночной корзины, также известный как анализ правил ассоциации, представляет собой метод интеллектуального анализа данных, который может использоваться в различных областях, таких как маркетинг, биоинформатика, образование и т.д. Основная цель анализа рыночной корзины заключается в том, что продавцу необходимо понять поведение покупателей, что может помочь в улучшении качества предоставляемых услуг. Анализ рыночной корзины помогает аналитику маркетинга понять поведение клиентов, например, какие продукты наиболее часто покупаются вместе. В работе представлен анализ рыночной корзины для искусственно сгенерированных онлайн и офлайн представлений товаров.

**Ключевые слова:** анализ рыночной корзины, интеллектуальный анализ данных, ассоциативные связи, правила ассоциаций, априори алгоритм.

Анализ рыночной корзины (АРК) (также известный как интеллектуальный метод поиска ассоциаций) является полезным методом обнаружения шаблонов покупки клиентов за счет извлечения ассоциаций или совместных событий из транзакционных баз данных магазинов.

Анализ рыночной корзины проводится не только в областях рыночной торговли, а также во многих других. Одной из задач является принятие решений о покупке, продаже или владении акциями для инвестора на фондовом рынке. Методы интеллектуального анализа данных обеспечивают высокую точность прогнозирования движения цены акций и соответствующих сигналов [1].

Применение АРК не ограничивается в применении в областях, связанных с людьми и их поведением. Метод АРК используется также в биологии, химии и экологии [2, 3].

В исследовании [4] было определено, что АРК можно использовать для усовершенствования методов раскладки товара на полках в супермаркетах. В работе был проведен анализ транзакций покупок клиентов с использованием значений support и confidence.

Формальное определение нахождения правил ассоциаций описано в [5]. Предположим имеется некоторый набор элементов  $I$ , состоящий из  $m$  элементов  $I = I_1, I_2, \dots, I_m$ , транзакции  $T$ , которые содержат в себе некоторые элементы из  $I$ ,  $T \subseteq I$ , база данных  $D$  с различными транзакциями  $T_s$ . Ассоциативное правило имеет вид  $X \Rightarrow Y$ , где  $X, Y \subset I$  наборами элементов и  $X \cap Y = \emptyset$ ,  $X$  является анцендентом, а  $Y$  – последователем. В табл. 1 представлен пример базы данных транзакций.

Таблица 1. Пример базы данных транзакций

№	Транзакции
1	Молоко, хлеб, курица
2	Чай, хлеб
3	Вино, курица, специи
4	Яйца, молоко
5	Сыр, вино
6	Кофе, молоко, хлеб

Существует два основных параметра определения ассоциативной связи: support и confidence. В связи с тем, что база данных имеет достаточно большое количество транзакций, особое внимание уделяется только наиболее часто встречающимся элементам. Пользователь может заранее определить минимальные граничные значения support и confidence, чтобы не учитывать правила, которые не несут полезной информации. Существуют только два порога: минимальные значения support и confidence.

Значение параметра support определяется соотношением записей, содержащих  $XUY$ , ко всем записям в базе данных. Например, из табл. 1, значение support для товара «молоко» равно 0,5, так как данный товар встречается 3 раза в 6 транзакциях. Данный параметр отображает, что товар «молоко» встречается в 50% всех транзакций.

Значение параметра confidence определяется как доля числа транзакций, содержащих  $XUY$  ко всем записям, содержащих  $X$ . Если полученное значение confidence превосходит заданный минимальный порог, то правило  $X \Rightarrow Y$  может быть создано. Значение confidence для правила (молоко $\Rightarrow$ хлеб) из базы транзакций, представленной в табл. 1, равно 0,66, т.к. support (молоко $\Rightarrow$ хлеб) равен 0,33, а support  $X$  равен 0,5. Значение параметра confidence – степень силы ассоциативного правила, если значение confidence для правила (молоко $\Rightarrow$ хлеб) равно 0,66, то 66% транзакций, которые содержат «молоко» также содержат и «хлеб».

Одним из основных алгоритмов для нахождения ассоциативных связей является «априори алгоритм», предложенный в 1994 году [5]. В данном алгоритме представлены только два этапа для поиска наборов элементов в базе данных. Изначально создаются элементы-кандидаты, затем сканируется база данных для проверки фактического подсчета support соответствующих наборов элементов. При первом сканировании рассчитывается подсчет support, а большие элементы генерируются путем обрезки наборов предметов ниже предопределенного порога параметра support (рис. 1). Выполнение процессов происходит итеративно до тех пор, пока набор их частых элементов не станет пустым.

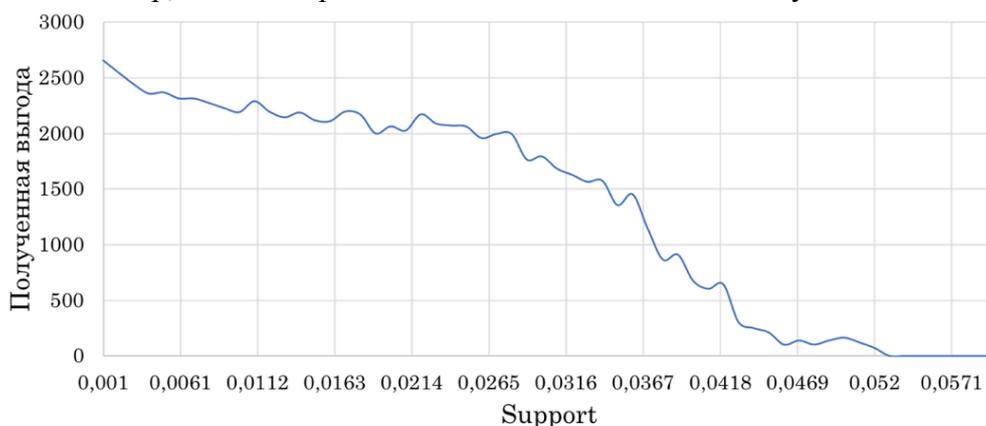


Рис. 1. График зависимости выгоды от выбранного значения support при определении правил

Товар в офлайн-магазинах имеет иное представление для покупателей по сравнению с онлайн-магазинами, т.е. в онлайн-магазинах товар представлен в виде списка, разбитого на

группы по типам товара, а в офлайн товар расположен на полках в разных частях магазина. Расположение товаров на полках играет важную роль в процессе приобретения товаров клиентами. Были рассмотрены две сортировки товаров:

1. по значению параметра support для каждого товара. Наиболее часто продаваемые товары расположены рядом и отсортированы по значению support;
2. по типу товара. Товары имеющие схожие характеристики расположены ближе к друг другу, например, товары «апельсиновый сок» и «эспрессо» находятся ближе к друг другу, так как оба входят в группу «напитки».

На рис. 2 представлено сравнение двух методов расстановки товара при разбиении на разное количество товаров в каждой группе (полке). При установлении по 20 товаров на одну полку оба метода дают приблизительно одинаковый результат, но при меньших значениях получаемая выгода различается в несколько тысяч раз. Наиболее оптимальным является распределение товаров по полкам по значениям support и в количестве 9 видов товаров на одну полку. Далее при анализе рыночной корзины онлайн- и офлайн-магазинов был использован именно этот метод.

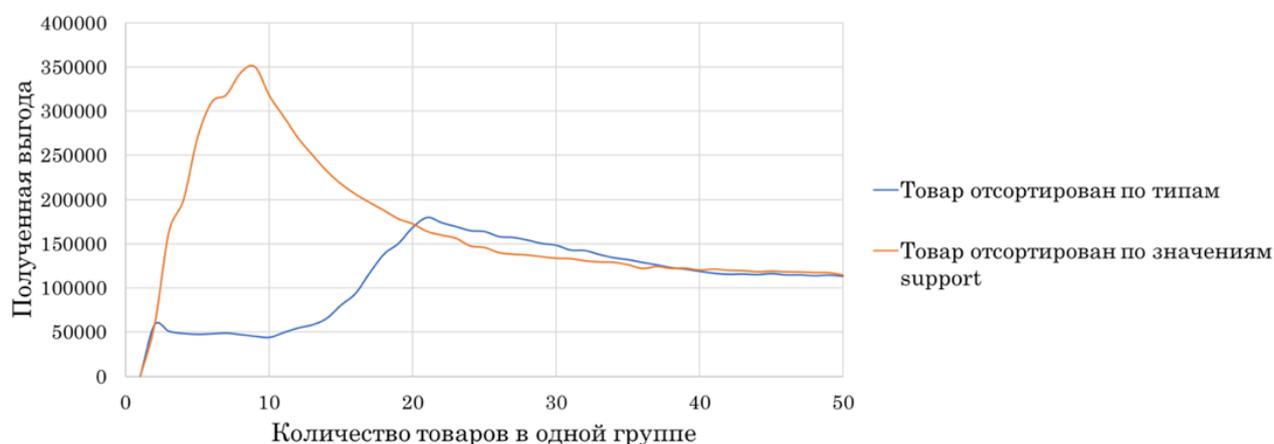


Рис. 2. График зависимости выгоды от выбранного количества товаров в одной группе при расстановке в магазине

Для получения данных о транзакциях онлайн- и офлайн-магазинов исходный набор данных был искусственно разделен на две части, которые имеют один и тот же набор товаров, но частота приобретения этих товаров разная в каждом магазине. Такое разделение было осуществлено исходя из того, что контингент обоих типов магазинов различен, а следовательно, наиболее часто встречающиеся товары также различны. Результат разделения представлен в табл. 2.

Таблица 2. Наиболее встречающиеся товары и наборы товаров: офлайн- и онлайн-магазинов

Онлайн-магазин		Офлайн-магазин	
Support	Наименование товара	Support	Наименование товара
0,115	Миндальная булочка + Лимонный пирог	0,110	Шоколадный пирог + Круассан с абрикосом
0,115	Миндальная булочка + Тарт с пеканом	0,085	Круассан с абрикосом + Шоколадный пирог
0,110	Лимонный пирог + Миндальная булочка	0,070	Тарт с пеканом + Миндальная булочка
0,110	Тарт с пеканом + Миндальная булочка	0,070	Тарт с пеканом + Лимонный пирог
0,110	Тарт с пеканом + Лимонный пирог	0,050	Миндальная булочка + Лимонный пирог

Онлайн-магазин		Офлайн-магазин	
Support	Наименование товара	Support	Наименование товара
0,65	Круассан с абрикосом + Шоколадный пирог	0,050	Миндальная булочка + Тарт с пеканом
0,65	Шоколадный пирог + Круассан с абрикосом	0,050	Лимонный пирог + Миндальная булочка

Был проведен сравнительный анализ результатов применения анализа рыночной корзины для различных видов данных, результаты представлены в табл. 3.

В ходе работы были получены три вида данных о транзакциях: исходные данные и данные, которые были получены в результате разделения, также были сгенерированы три набора правил, которые применялись для вычисления последующей выгоды:

1. правила, сгенерированные с помощью «априори алгоритма» на основе исходных данных;
2. правила, сгенерированные с помощью «априори алгоритма» на основе данных онлайн-магазина;
3. правила, сгенерированные на основе результатов разделения товаров по группам.

Для проверки теории, на каких данных следует строить ассоциативные правила для получения наибольшей выгоды, было сгенерировано 100000 клиентов с двумя и более товарами в корзине. В онлайн-магазине клиент получает рекомендацию в результате построения ассоциативных правил и выбора наиболее подходящих правил (в левой части правила должны находиться товары, которые уже были приобретены клиентом, а правая часть правила является рекомендацией). Клиент с некоторой вероятностью приобретает один товар из рекомендации. В офлайн-магазине рекомендация зависит от расположения товаров на полках, товары, которые лежат на одной полке с уже приобретенными товарами, попадают в рекомендацию, и клиент также с некоторой вероятностью приобретает товар из рекомендации. Получаемая выгода для всех типов магазинов – цена товара, приобретенного по рекомендации. В связи с тем, что покупка клиентом осуществляется случайно, в зависимости от значения confidence, результаты экспериментов – усредненное значение по 20 проведенным экспериментам. Вне зависимости от вида использованных данных при применении правил, составленных из обобщенных данных, можно получить наибольшую выгоду. Из чего можно сделать вывод, что для получения наибольшей выгоды магазин должен использовать обобщенные данные о транзакциях, нежели разделенные.

Таблица 3. Анализ применения трех видов правил к различным наборам данных для определения наиболее выгодного сценария

Данные	Применимые условия	Выгода
Начальный набор товаров из объединенных данных	Правила офлайн-магазина	167164,38
	Правила из статистики онлайн-магазина	148524,38
	Правила из обобщенных данных	175603,76
Начальный набор товаров из данных онлайн-магазина	Правила офлайн-магазина	166019,89
	Правила из статистики онлайн-магазина	160443,08
	Правила из обобщенных данных	180402,09
Начальный набор товаров из данных офлайн-магазина	Правила офлайн-магазина	168082,54
	Правила из статистики онлайн-магазина	160076,96
	Правила из обобщенных данных	181047,23

Онлайн- и офлайн-магазины имеют различную структуру, в результате чего рекомендации покупателям генерируются двумя разными способами. С помощью ассоциативных правил для онлайн и расстановкой по группам для офлайн. Для офлайн-магазинов наиболее выгодно использовать сортировку товаров по значениям support и устанавливать по 9 товаров на одну полку, для онлайн-магазина необходимо составить ассоциативные правила и установить оптимальный минимальный порог для параметра

support. В ходе работы было определено, что для получения наибольшей выгоды, магазину необходимо использовать объединенные данные онлайн- и офлайн-транзакций. В будущем планируется произвести более подробный анализ зависимости получаемой выгоды от параметров «априори алгоритма». Также будет осуществлен совместный анализ транзакций офлайн- и онлайн-магазинов, который позволит использовать преимущества правил расстановки товара офлайн-магазинов для онлайн-магазинов и рекомендаций, полученных в ходе анализа онлайн-магазина для офлайн. Таким образом, может быть достигнута наибольшая эффективность рекомендательной системы для обоих случаев.

### Литература

1. Umbarkar S.S., Nandgaonkar S. Using Association Rule Mining: Stock Market Events Prediction from Financial News // *Int. J. Sci. Res. ISSN (Online Index Copernicus Value Impact Factor)*. – 2013. – V. 14. – № 6. – P. 2319–7064.
2. Smith D.I., Curran M.F., Latchininsky A.V. Market basket analysis of grasshopper (Orthoptera: Acrididae) assemblages in eastern Wyoming: a 17-year case study using associative analysis for ecological insights into grasshopper outbreaks // *Ecol. Entomol.* – 2017. – V. 42. – № 4. – P. 379–382.
3. Samecka-Cymerman A. et al. Market Basket Analysis: A New Tool in Ecology to Describe Chemical Relations in the Environment-A Case Study of the Fern *Athyrium distentifolium* in the Tatra National Park in Poland // *J. Chem. Ecol.* – 2010. – V. 36. – № 9. – P. 1029–1034.
4. Raorane A.A, Kulkarni R.V. and Jitkar B.D. Association Rule – Extracting Knowledge Using Market Basket Analysis // *Res. J. Recent Sciences.* – 2012. – V. 1. – № 2. – P. 19–27.
5. Agrawal R., Imieliński T., Swami A. Mining association rules between sets of items in large databases // *ACM SIGMOD Rec.* – 1993. – V. 22. – № 2. – P. 207–216.



**Мод Шассиньоль**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, Институт международного развития  
и партнерства, студент группы № D9001

Направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика  
и информатика

e-mail: maud.chassignol@isen.uncrea.fr



**Климова Александра Сергеевна**

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
к.т.н., доцент

e-mail: alexandra.klimova@corp.ifmo.ru



**Биятдинова Анна Закировна**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
преподаватель

e-mail: a.bilyatdinova@gmail.com

**UDK 001.891.32**

**THE FUTURE OF EDUCATION: HOW AI WILL RESHAPE EDUCATIONAL  
LANDSCAPE?**

**Chassignol M., Klimova A., Bilyatdinova A.**

**Scientific adviser: Bilyatdinova A.; Ph. D., Associate Professor Klimova A.**

For several years, the educational landscape has begun to change. Indeed, more and more program incorporate new technologies and computing science. Many projects are launched all over the world with various issues. Some of them try to create a cyberbrain, some others try to create an autonomous robot. The objective of this paper is to identify the impact of the Artificial Intelligence on the education. For that, it addresses how the AI can help to decrypt student difficulties and understand how to help them, to improve the imagination of a collectivity and to design a new educational experience.

**Keywords:** artificial intelligence, education, neural networks, analytical review.

First of all, there are a lot of devices and software based on the artificial intelligence are used to study the performances of people and “to infer knowledge and interest from users considering the aggregated data presented from/to these users in different social networks” [1]. For example, CalliSmart is “an interactive intelligent device that analyses the gestural performance of learners and provides them with the most relevant feedback according to their activity” [2]. As we see in the book “Computers in Human Behavior 75” (2017), this device is used to study the impact of a visual feedback using a “tablet on cognitive load, user experience and gestural performance, for two groups with different levels of expertise in calligraphy” [2]. It is easy to imagine how teachers in primary school can use this tool to understand children difficulties during the writing acquisition and so, adjust their lesson to be as efficient as it is possible. Another good example is the

Educational Data Mining (EDM). Indeed, the technique can “predict students’ academic failure” [3]. It can be “Neural Networks, Decision Tree, Support Vector Machine (SVM) and Naive Bayes” [3]. Based on this study, the SVM is the best solution to predict this kind of behaviour (92% and 83% of accuracy). That means that we can use this technique to detect this behaviour and organize meeting with this students in a goal to understand what is there problems and to plan a special accompaniment for them. These two examples are the evidence that, currently, it exists some solutions to find students in difficulty. After that, it is the teachers or administrations role to put in place an action plan to help them succeed in their studies. Sometime, it can be hard. To simplify their task Graf [4] explain automatic approaches to identify the person learning style. It uses “algorithms from the fields of data mining, machine learning, artificial intelligence and/or computational intelligence to construct a model/network from existing student behavior data and their actual learning styles” [5]. After that, we add the student behavior data. Finally, this model can be used to find the learning style of the student. This methodology is really simple to set up and can be extremely useful. For my point, every teenager and student should use it at least once. So, they could adapt their work methods themselves. In case of difficulty identify by the previous tools mentioned in this paragraph, its use should also be automatic.

Secondly, imagineering is a discipline invented in the 1950s by Walt Disney for the creation of theme parks. The main purpose is a break with traditional approaches in order to leave the imagination of a person or a group. Today, this method is used for a lot of think as brainstorming or in the Fab Lab charter. “Human imagination is combined with automated engineering” [6]. It exists number of web site where everyone can find old projects with technical support and explanations about it as the technical characteristics of the final product but also as the project management and the evolution of the product over time. To produce their prototypes, they need automated engineering that “involves artificial intelligence (AI) for automated pattern recognition and other highly complex tasks involved in the realization of what people image across devices, machines, and platforms” [6]. This implies that AI is already used in this kind of place. If we can use it in Fab Labs nothing prevents us from thinking that this technology could be implemented in all high school and college. This would allow them not only to have the chance to work with powerful machines but also to learn the imagineering. By teaching teenager to lead a project in this way and by proving to them that they can have concrete results, their imagination would have no limit. We would thus be a much more creative generation than the previous ones.

We also know that Google try to create art using the artificial intelligence. In particular, in June 2016 the digital giant has launched the Magenta program to develop the creativity of machines [7]. It hopes to be able to create videos, music and even pictures. According to Google, creativity is about linking different things together more or less randomly and innovative way to create a coherent whole. Currently, we do not know yet whether this new technology will really come into being. However, even if the project does not succeed entirely, it could be very interesting for students to work with it. The artificial intelligence could “imagine” the bases of a project and the role of the students would be to rely on them to conceive the end. Schematically speaking, at the beginning the machine could first provide 50% of a project to complete then 30% then 10% ... The machine could help them understand the techniques of creativity and guide them to complete autonomy. This method can also be perceived as a form of learning game. As you can read later in this report, gamification is one of the popular learning methods currently and relatively more effective than conventional methodologies.

Thirdly, the educational experience has not changed much in the last 50 years. Indeed, students are sitting in a chair behind a desk listening to a teacher talking most of the time. This situation can be boring for students and even impossible under certain conditions. All over world there are illiterate people for who to go to school is impossible. Their only chance is to learn on the internet, but it is impossible because of they cannot read or write. To resolve their situation, a company creates a device which name is Voice Internet e-learning [8]. This is an artificial intelligence inside an application. To use it, you only need a mobile. After that, you just talk to your

phone and listen when it answers. To create the content of its courses, this device searches directly for useful information on the internet.

The change of the educational experience is not only for this particular case. There are many of new technologies which use the virtual reality or the artificial intelligence as Immersive interactive technologies, Depth Sensor Cameras or also Explorable Visual technologies. We can use this technologies to “undergraduate science, technology, engineering, and math (STEM) education, professional or military training simulation, and individually-tailored cultural and media arts immersion” [9]. Some study show that the experiential way improves “the user’s ability to learn and retain presented information” [9]. We all know that airplane pilots have to spend a lot of flying hours in a simulator before they can fly in real life. These tools are therefore already widely used in some sectors. It therefore seems logical to think of extending them to other sectors such as school education. An other way can be gamify the courses. Indeed, everyone know that, until 25 years old, people love play. They enjoy comparing their scores and improve their level. The idea is to use this fact to create game about learning specific class. Firstly, “the system must adapt to the user’s needs by generating an individualized course on the fly” [10], then the game can begin. The aims are to maintain the motivation players/students and to “make a learning session fun, engaging and easy” [10]. For that, the system creates a kind of competition and feedback, give badges and improve their level when a step is complete. The artificial intelligent manage the progression of players and can create special task to help them. The application MathDungeon is based on this concept to teach mathematics at a college level.

This application is not the only one to use this kind of technology. Indeed, “the artificial intelligence based distance education system called ARTIMAT, designed to develop mathematical problem solving skills, in terms of the conceptual competence, the ease of use and students’ contribution to the problem solving process” [11]. It is not a game like MathDungeon but a special web application which asks mathematics questions to the student. If he finds the right answer, the software continues to ask questions, gradually raising the difficulty level. If this is not the case, it ensures that the level of the question is not too high and, if it is, the program comes back to simpler questions. This strategy makes it possible to smoothly advance students’ skills. At the end of the study about ARTIMAT, they conclude that “the system contributed to the problem solving process in various aspects and it developed students’ points of view for problem solving in a positive direction but they experienced time concerns due to their habit of going directly to the result as they were exam-oriented” [11]. This means that this type of solution is rather good but, if we want to use it on a large scale, we will have to put in place preliminary steps to propel students to change their way of working.

Modify the educational experience can be useful for number of students. This does not mean stopping the traditional courses. However, combining different ways of studying made it more attractive and alive. Students would be more active and retain more information which is the primary goal of the education system.

To conclude, artificial intelligence is present in many areas including the education. Many studies have been done demonstrating the positive impact it can have on students. This technology can easily be used to understand students, create a supportive environment for creativity and motivate students by redefining the educational experience. We can be sure that this is just the beginning. If the development of artificial intelligence continues at the same speed, in a few years, students will be surrounded by robots, software and internet of things to help them in their learning. The only obstacle, in my opinion, to large-scale development, that means in all high schools and colleges, is the cost that such an operation can represent.

## Reference

1. Stantchev V., Prieto-González L., Tamm G. Cloud computing service for knowledge assessment and studies recommendation in crowdsourcing and collaborative learning environments based on social network analysis // *Comput. Human Behav.* – 2015. – V. 51. – P. 762–770.

2. Loup-Escande E. et al. Contributions of mixed reality in a calligraphy learning task: Effects of supplementary visual feedback and expertise on cognitive load, user experience and gestural performance // *Comput. Human Behav.* – 2017. – V. 75. – P. 42–49.
3. Santana M.A. et al. Evaluating the effectiveness of educational data mining techniques for early prediction of students' academic failure in introductory programming courses // *Comput. Human Behav.* – 2017. – V. 73. – P. 247–256.
4. Graf S. Adaptivity in Learning Management Systems Focussing on Learning Styles // *Proc. 2009 IEEE/WIC/ACM Int.* – 2009. – V. 3. – № 2007. – P. 235–238.
5. Bernard J. et al. Learning style Identifier: Improving the precision of learning style identification through computational intelligence algorithms // *Expert Syst. Appl.* – 2017. – V. 75. – P. 94–108.
6. Fox S. Mass imagineering: Combining human imagination and automated engineering from early education to digital afterlife // *Technol. Soc.* – 2017. – V. 51. – P. 163–171.
7. Magenta [Electronic resource]. – URL: <https://ai.google/research/teams/brain/magenta/> (accessed: 28.06.2018).
8. Lee W.-C. et al. A Study of Using Webcam in Computer Classroom // *Procedia - Soc. Behav. Sci.* – 2012. – V. 64. – P. 424–426.
9. Moriarty B. et al. Utilizing depth based sensors and customizable software frameworks for experiential application // *Procedia Computer Science.* – 2012. – V. 12. – P. 200–205.
10. Faghihi U. et al. How gamification applies for educational purpose specially with college algebra // *Procedia Computer Science.* – 2014. – V. 41. – P. 182–187.
11. Karal H. et al. Students' Opinions on Artificial Intelligence based Distance Education System (Artimat) // *Procedia - Soc. Behav. Sci.* – 2014. – V. 136. – P. 549–553.



**Онищук Алексей Евгеньевич**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, студент группы № М4118с

Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика

e-mail: onishchuk.aleksey@gmail.com



**Ковальчук Сергей Валерьевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, к.т.н., доцент

e-mail: sergey.v.kovalchuk@gmail.com

УДК 004.89, 004.94

**ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ И ИСХОДОВ  
ХРОНИЧЕСКИХ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С УЧЕТОМ  
ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПУТЕЙ ТЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ  
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Онищук А.Е., Ковальчук С.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Ковальчук С.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617036 «Интеллектуальные технологии оптимизации структуры и анализа данных в композитных моделях сложных систем».

В работе рассмотрены методы мониторинга состояния пациентов с хроническими неинфекционными заболеваниями, изучены архитектуры систем домашнего телемониторинга: из каких компонентов состоят, какие данные необходимы для определения состояния на примере пациентов с сердечной недостаточностью и диабетом, а также рассмотрены существующие интеллектуальные системы для распознавания отклонений от нормы и выработки рекомендаций по восстановлению до нормального уровня.

**Ключевые слова:** хронические заболевания, домашний телемониторинг, сердечная недостаточность, диабет, интеллектуальные системы, машинное обучение, нейронные сети.

Неинфекционное заболевание (НИЗ) – медицинское состояние или заболевание, которое не вызвано инфекционными агентами. Каждый год от неинфекционных заболеваний умирает около 40 миллионов человек, что составляет 70% всех случаев смерти в мире. К основным типам НИЗ относятся сердечно-сосудистые заболевания, раковые заболевания, респираторные заболевания и диабет. Основная проблема таких заболеваний в том, что их нельзя излечить известными на текущий момент методами, и главными методами борьбы являются отслеживание состояния пациента и изменение подхода к лечению в ответ на новые проявляющиеся симптомы или заболевания. Так как такие болезни имеют продолжительное течение, пациенты с НИЗ большую часть времени находятся без наблюдения. Как следствие, пациент с хроническим заболеванием должен знать о своей проблеме и принимать участие в лечении: ежедневно отслеживать необходимые показатели и принимать решение о необходимости принять лекарства или обратиться к врачу. Согласно исследованию в развитых странах приверженность долгосрочному лечению среди населения в целом составляет лишь около 50% и значительно ниже в развивающихся странах [1–4]. Основными проблемными факторами этого процесса указываются:

- отсутствие понимания пациентами болезни;
- медицинская неграмотность, из-за которой пациенты могут неправильно собрать свои показатели, либо интерпретировать их, не увидев необходимости обращения к специалисту;
- отсутствие мотивации;
- сложные режимы приема лекарств;
- неэффективное взаимодействие врача и пациента.

**Домашний телемониторинг.** Домашний телемониторинг – это общее название для технологий отслеживания состояния пациентов за пределами медицинского учреждения. Эта технология упрощает доступ к медицинской помощи, повышает своевременность предоставления услуг и снижает затраты на них. Идентифицировано пять типов домашнего телемониторинга: видеоконсультации, консультации по телефону, веб-порталы, но лучше всего с данной задачей справлялись системы мобильного телемониторинга и автоматического телемониторинга на основе носимых устройств. Системы домашнего мониторинга имеют серьезные преимущества перед стандартным процессом обращения в медицинское учреждение, главное – это ускорение процесса в целом и более высокая доступность медицинских услуг.

- Видеоконсультация – двусторонняя связь между пациентами и опекунами через использование специализированных устройств.
- Мобильный телемониторинг – телемониторинг пациентов с использованием мобильных телефонов и персональных цифровых помощников (PDA).
- Автоматический телемониторинг на основе устройств – использование различных неинвазивных устройств для дистанционного мониторинга состояния пациента с передачей о жизненно важных симптомах.
- Интерактивный речевой отклик – интерактивные системы голосового ответа, которые требуют ручного ввода данных о жизненно важных данных пациента с помощью телефонной клавиатуры для отправки этой информации поставщикам медицинских услуг.
- Веб-телемониторинг – веб-портал для ввода жизненно важных знаков пациента, полученных через их устройства, ответы на некоторые вопросы о симптомах и получения отзывов и учебных материалов.

Согласно результатам этого обзора, системы домашнего телемониторинга уменьшают риск смертности от всех случаев и связанных с сердечной недостаточностью госпитализаций (от 0,60 до 0,85 и 0,64 до 0,86 соответственно) по сравнению с обычным уходом. С этими задачами лучше всего справляются мобильный телемониторинг и автоматический телемониторинг на основе устройств. Также в проблеме диабета домашний телемониторинг показывает значительное улучшение гликированного гемоглобина (A1c).

Из рассмотренных статей были сделаны выводы о том, что система должна состоять из следующих компонентов:

- сбор данных;
- история болезни пациента;
- анализ критического состояния;
- взаимодействие между врачом и пациентом (отправка данных, создание дополнительных обследований, консультации по лечению от врача);
- напоминание о необходимости выполнения процедур и принятия лекарств.

**Собираемые данные.** Далее в работе были рассмотрены параметры, которые собираются пациентами дома. Все параметры можно разбить на несколько классов:

1. ежедневный мониторинг: показатели жизненно важных функций (артериальное давление и сердечный ритм, уровень сахара при диабете) и симптомы (тип боли в груди, лихорадка,

потеря аппетита, рвота), а также данные с носимых устройств (ЭЭГ), изменения веса, доз препаратов, питания;

2. клинические исследования: уровень холестерина в сыворотке, результаты электрокардиографии;
3. история болезни;
4. фенотип. Всемирная организация здравоохранения описывает возраст и наследственность как неизменяемые факторы риска, а также диету, физическую активность и употребление табака в качестве общих модифицируемых факторов риска, и это – параметры, которые также необходимо учитывать при прогнозировании и лечении любых хронических заболеваний.

**Интеллектуальные системы.** При рассмотрении процесса лечения оказалось, что самое длительная по времени часть процесса при домашнем мониторинге – это рассмотрение данных врачом и выдача рекомендаций/запрос дополнительных данных. В этой связи были рассмотрены автоматизированные системы, которые будут анализировать данные и давать рекомендации по лечению, чтобы избавиться от необходимости вовлекать врача в этот процесс.

Также все системы можно разделить по используемым данным и видам задач:

- история болезни пациента (диагностика, предписанное лечение, процедуры) используется для прогнозирования сердечной недостаточности. Это может быть полезно, если разрабатывается система, которая хранит такие данные и дает рекомендации. Также может быть добавлена функциональность анализа собственных решений, чтобы определить, что делать дальше;
- показатели жизненно важных функций используются для прогнозирования состояния пациента и определения стабильности текущего состояния. На основании результатов тестов предыдущих дней врач решает, нужно ли снова проводить тестирование сегодня. Идею можно использовать, чтобы не перегружать пользователя чрезмерным контролем;
- клинические тесты также используются для прогнозирования заболевания;
- комбинированные: также была рассмотрена система, комбинирующая показатели жизненно важных функций и демографические данные пациента (имя, возраст, уровень образования) для выдачи рекомендаций. Рекомендации даются в виде списка медицинских консультаций, таких как: лечение, виды упражнений, конкретные виды приема пищи, медицинская информация.

Во всех задачах используются и сравниваются различные алгоритмы машинного обучения, но лучшие результаты показывают деревья решений (для определения порогов показателей, выдачи похожих историй болезни) или нейронные сети (при прогнозировании или использовании данных, которые требуют учета изменения состояния во времени).

**Выводы.** В результате анализа были сделаны и описаны выводы о том, какие компоненты должны входить в систему домашнего телемониторинга, а также какие данные необходимо учитывать при прогнозировании и выдачи рекомендаций. После рассмотрения интеллектуальных систем оказалось, что ни одна система не учитывает все необходимые данные и чаще всего решает только одну узкую задачу. Дальнейшая работа будет заключаться в том, чтобы рассмотреть динамику развития заболевания у пациентов с использованием всех необходимых данных, описанных выше. А также спроектировать систему, которая позволит эффективно работать с пациентом (снизить влияние медицинской неграмотности, помогая при сборе данных), создавать прогнозы и рекомендации (чтобы исключить неверную интерпретацию данных и своевременно принимать решения о необходимых действиях, при этом снимая ответственность за решения с пациента, тем самым уменьшая психологическое давление), учитывая особенности конкретного пациента (образ жизни человека и историю болезни).

**Литература**

1. Burkhart P.V., Sabaté E. Adherence to long-term therapies: evidence for action // *Journal of nursing scholarship: an official publication of Sigma Theta Tau International Honor Society of Nursing*. – 2003. – V. 35. – № 3. – P. 207–207.
2. Williams G. et al. A comparative study of RNN for outlier detection in data mining // *Data IEEE International Conference on*. – 2002. – P. 709–712.
3. Forouzanfar M.H. et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 // *The Lancet*. – 2015. – V. 386. – № 10010. – P. 2287–2323.
4. Lafta R. et al. An intelligent recommender system based on short-term risk prediction for heart disease patients // *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT)*. – 2015. – V. 3. – P. 102–105.



**Перепелова Анастасия Сергеевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
студент группы № М4122

Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика  
и информатика

e-mail: akikagaro@gmail.ru

УДК 004

**ОБЗОР МЕТОДОВ СКЕЛЕТНОЙ АНИМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Перепелова А.С.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Загарских А.С.**

В работе освещены основные существующие методы скелетной анимации, описаны их преимущества и проблемы. Упор сделан на те методы, в которых используются нейронные сети, так как данные подходы позволяют добиваться хорошей реалистичности без описания математической модели поведения анимируемого объекта.

**Ключевые слова:** компьютерная графика, анимация, глубокое обучение, нейронные сети, обучение с подкрепление, захват движения.

Движения человека и поведение имеют сложную структуру, их реалистичная симуляция долгое время была задачей аниматоров, которые вручную настраивали каждое движение анимируемой модели. Автоматизированные алгоритмы симуляции имели мало применений, так как не могли сравниться с ручным трудом аниматоров. С развитием технологий в области нейронных сетей и возможностью фиксировать движения человека стало возможным автоматизировать процесс симуляции и получать неплохие результаты.

Целью работы являлся поиск существующих методов скелетной анимации и обработки окружения анимируемого персонажа для задачи взаимодействия персонажа с окружением, задач симуляции физических ограничений тела персонажа и задач оптимизации процесса анимации. В работе были выделены наиболее интересные варианты решения задачи анимации.

Для начала были рассмотрены методы, использующие данные захвата движений как основу для анимации передвижения персонажа.

Авторы [1] акцентируют внимание на особенности сверточных сетей, ранее применяемых для распознавания изображений, обучаться распознавать скрытые параметры модели, позволяющие избежать неопределенности при классификации и добиться высокой точности на тестовых данных. Используя данные захвата движения, авторы обучают модель синтезировать анимацию для персонажа, с учетом ввода пользователя (рис. 1). Кроме того, для увеличения точности алгоритма [2] перед началом обучения обрабатывают окружение под захваченное движение так, чтобы стопы персонажа полностью касались поверхности. За счет этого устраняется распространение ошибки через обучающие данные. Интересной особенностью является возможность стилизации движения с помощью алгоритма, применяемого ранее к стилизации изображений. Подобная техника позволяет получить огромный набор движений имея лишь базовые и несколько стилей движения персонажа. Несмотря на хорошую устойчивость к шуму и точность классификации, данный тип сетей имеет и ряд недостатков. Первый из них – необходимость огромного объема обучающей выборки. Вторым недостатком является то, что входные данные должны быть четко подобраны, в противном случае можно столкнуться с проблемой неопределенности. В этой

связи обычно применяют дополнительные алгоритмы, которые устраняют неопределенность. Так, например, в [1] используется специальная функция фазы.

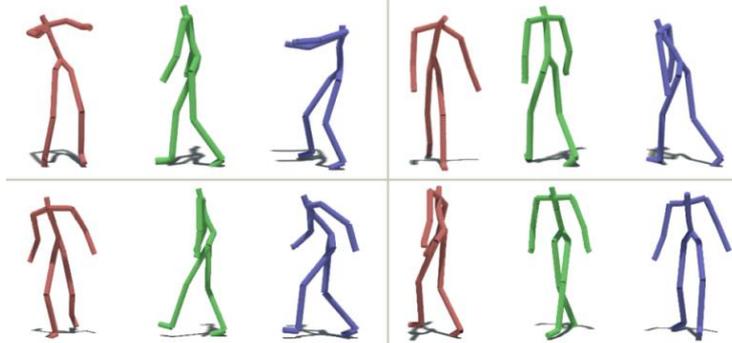


Рис. 1. Несколько анимаций генерируются с учетом времени из одного клипа и стиля.  
Красный: движение стиля ввода. Зеленый: входные временные движения.  
Синий: выходное движение [1]

Другие методы используют данные захвата движения и обучение с подкреплением. Например, в работе [3] данные захвата движения делятся на части малой длины, из этих частей создаются микроконтроллеры. В этом случае сеть может смешивать части разных движений для достижения лучшего результата. Сеть обучается переходам от контроллера к контроллеру и находит оптимальный путь так, чтобы персонаж, например, не упал и при этом выполнил задачу. Так, если при использовании одного из контроллеров персонаж упал, то вероятность его выбора при дальнейших итерациях падает. Преимуществами применения обучения с подкреплением является то, что такой метод не требует большого числа обучающих данных, и возможность специализации актеров на конкретном задании (рис. 2). Что же касается недостатков, то время обучения сильно увеличивается. И пока не удастся реализовать переходы между разными заданиями, так как для каждого из них необходимы разные входы и разные функции награды.

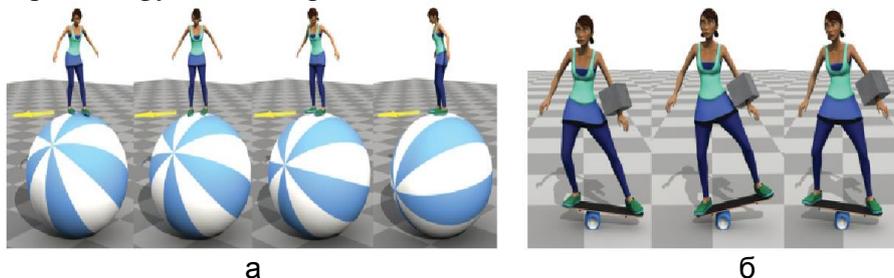


Рис. 2. Примеры заданий: балансирование на шаре (а); балансирование на bongo-board с утяжелителем (б) [3]

Следующая группа методов специализируется конкретно на взаимодействии персонажа с окружением.

В работе [4] предложен новый метод определения взаимодействия персонажа с окружением, который в отличие от предыдущих использует разбиение тела персонажа, составляющего иерархию, на части в соответствии с диаграммой Вороного. Так получают поверхность взаимодействия. Затем, используя поверхность взаимодействия (рис. 3) и иерархию тела персонажа, вычисляют расстояние между ключевыми позами персонажа при взаимодействии, т.е. сколько нужно проделать операций изменения положения частей тела, чтобы перевести персонажа из одной позы в другую. Кроме того, данный метод использует контекст взаимодействия для подбора следующей позы. Так, минимизируя функцию расстояния, определяется следующая поза, и алгоритм плавно переводит в нее персонаж. Метод действует в предположении, что при взаимодействии объект может двигаться по телу персонажа. В сравнении с другими методами, недостатком которых является трактовка объекта взаимодействия как точки в пространстве, предложенный алгоритм имеет большую

точность. Пока данный метод не может работать с деформируемыми объектами, такими как ткани, а также с объектами, с плохо описанной геометрией, а также модель персонажа крайне упрощенная, что пока не позволяет использовать данный метод для анимации игр и мультфильмов.

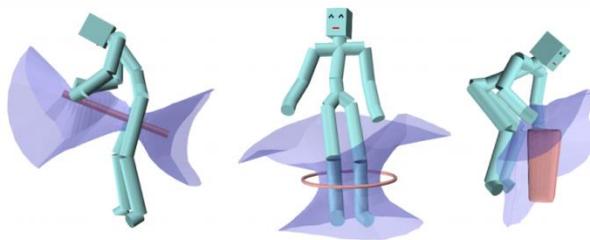


Рис. 3. Секущая плоскость для определения контактов [4]

Похожим методом является метод, определяющий возможные контакты с каждой поверхностью. Теперь окружение и движения персонажа автоматически анализируются, и алгоритм определяет набор возможных движений для каждого объекта. Сначала определяется сигнатура движения: точки контакта, нормали, расстояния между контактами, ключевые кадры, где присутствует контакт, окружают персонажа объемом для проверки коллизий. Далее у предметов окружения определяются поверхности, возможные для контакта. Затем каждое движение применяется к каждой поверхности, и определяется возможность его применения. Эта процедура основана на сравнении нормалей поверхности и нормалей контактов, пересечения с другими поверхностями после контакта, коллизии, расстояниями между контактами. Так определяется набор транзакций для определенного окружения. При хорошей скорости вычислений окружение можно менять интерактивно. Время имеет линейную зависимость от количества поверхностей и движений.

В силу того, что варианты взаимодействия довольно обширны, то выбор способа обработки и определения окружения должен составляться на основе особенностей данного взаимодействия.

В целом существующие методы довольно разнообразны и заточены под конкретную цель, что ограничивает круг их применения. Каждый из них имеет как достоинства, так и недостатки. К общим недостаткам можно отнести то, что анимируемые персонажи сильно упрощены, задания сводятся к узкому набору анимаций, доступных разработчикам, и время обучения сетей крайне велико и не оптимизировано. Более того, описанные методы требуют большой вычислительной мощности, что не позволяет создавать сцены с большим количеством анимируемых персонажей. Отсюда можно заключить, что область для исследований велика и задача является актуальной.

Но следует отметить, что существует ряд проблем, затрудняющих дальнейшие исследования в области скелетной анимации: недостаток баз данных захвата движений, дополнительная обработка входных обучающих данных, недоступность кода реализованных методов, из-за чего для сравнения своего метода с другими приходится реализовывать и их. Но чем больше исследований и наработок будет произведено в данной области, тем меньше подобных проблем будет существовать в будущем.

## Литература

1. Holden D., Saito J. and Komura T. A deep learning framework for character motion synthesis and editing // *ACM Trans. Graph.* – 2016. – V. 35. – № 4. – P. 1–11.
2. Holden D., Komura T. and Saito J. Phase-functioned neural networks for character control // *ACM Transactions on Graphics.* – 2017. – V. 36. – № 4. – P. 1–13.
3. Liu L. and Hodgins J. Learning to Schedule Control Fragments for Physics-Based Characters Using Deep Q-Learning // *ACM Trans. Graph.* – 2017. – V. 36. – № 3. – P. 1–14.
4. Zhao X., Choi M.G. and Komura T. Character-Object Interaction Retrieval using the Interaction Bisector Surface // *Comput. Graph. Forum.* – 2017. – V. 36. – № 2. – P. 119–129.



**Планде Антуан Жан Паскаль**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, Институт международного развития и партнерства, студент группы № D9001

Направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика

e-mail: antoine.plande@edu.esiee.fr



**Климова Александра Сергеевна**

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, к.т.н., доцент

e-mail: alexandra.klimova@corp.ifmo.ru



**Биятдинова Анна Закировна**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, преподаватель

e-mail: a.bilyatdinova@gmail.com

**UDK 001.891.32**

**HOW ARTIFICIAL INTELLIGENCE WILL CHANGE THE BANKING SECTOR**

**Plandé A.J.P., Klimova A., Bilyatdinova A.**

**Scientific adviser: Bilyatdinova A.; Ph. D., Associate Professor Klimova A.**

Artificial Intelligence (AI) is thought to be the fourth industrial revolution. It is no mystery that one of the biggest industries should be concerned about this revolution. Indeed, most of the tasks in the bank sector could be now automatized and taken care of by AI. We will propose a quick study of the impact and changes it'll bring to the banking sector and, more specifically, to France.

**Keywords:** artificial intelligence, banking sector, finance, neural networks, analytical review.

It would be true to say that currently AI is a trend. Everyone is talking about it and wants to make it do anything. The banking industry want its share of this new revolution and its share could be big going from neural networks trying to predict bankruptcy to chat-bots and personals advisers for the clients. Thus, a lot of international banks had put tremendous efforts into funding and developing AI for themselves.

The more “primitive” neural networks used for image recognition in banks have been theorized for a long time to automate the check deposits and are used nowadays [1]. Indeed, in France, as in some other countries, checks are still in use and can be very tricky to process, involving human hand-writing and thus, before having reliable image recognition, had to be processed by man. The use of neural networks for this task allows substantial time saving and less labor to process that information.

One other application would use neural networks as a tool for assessing the banks and note them [2–4], providing a neutral point of view on them and avoiding complacency by taking away

the human factor. These could be done by analyzing the patterns of the bank data allowing prediction of some risk of bankruptcy with a very good accuracy [4, 5]. Others, rather than analyzing the data of the banks itself, would try to predict the global changes in economies by looking at data, newspapers mainly, and then analyzing how often and how widely a phenomenon is relayed [6]. Then looking for the agent involved and finally its possible impact, positive or negative, to then react adequately, allowing it to prevent big cracks and, possibly, regulate markets with some efficiency. It could also be used to forecast exchange rate [7] and thus, allowing banks to smooth their international transactions. And even make benefices out of them, knowing roughly to which due date to set their loans, when to buy some of the currencies they might need or when to sell those currencies.

More widely, they can be used as risk managers [8, 9] for hedge funds, the proficiency of neural networks in pattern-analysis would be used to stay safe on the markets and choose best when to withdraw or when to get in, being more cool-headed than humans. On the other hand, AI could also be used to minimize the risk in high risk trading, such as intra-day trading [10]. It basically consists of betting on the rise or fall of a value within the day. AI could be a tool to predict how an asset would evolve, making this practice more appealing.

Even further, AI could be used in HFT [10], High Frequency Trading, a type of trading consisting of giving orders so fast that the selling prices (or buying) of the market places doesn't have enough time to be refreshed. This kind of trading is only done through algorithms but AI is more adaptable and could take more calculated risks and thus, be more profitable. These techniques are known to be bad for the market stability, causing little cracks within a day, each of which could possibly go terribly wrong.

On a different approach, AI can also be used in client-relations [4]. Bot-chats are becoming more widely used, solving the most common client problems. But by going further, some have developed a personal bank assistant [4], an AI analyzing one's habits and then personalizing the results, trying to predict what a client wants and when they'll want it.

The image recognition for check is the most used AI in banks in France [1]. Indeed, a lot of transaction (around 2 millions in 2016) are still done by checks and fast-processing them is quite a crucial task for the banks. It has to checked what's written but also, its coherency and that every mandatory fields had been duly filed.

Some banks are beginning to go a step further though, implementing Watson, an AI from IBM, capable of learning and understanding context through analyzing data and learning. They use it to read their client mails and then sorts them by topic and priority to the counselors. Even sometimes prepare a pre-typed answer that the actual counselor only has to personalize afterwards. It's also used to help as a virtual counselor, relieving the pressure on the offices of the banks.

Otherwise AI is mostly absent from French banks. Massive funds have been unlocked recently in R&D by those in artificial intelligence showing a growing interest for this revolution. The use of AI in banks is still at its infancy in France. Although some of them have begun to get into it, most of them barely use them just for check processing. And thus, a lot of development is possible.

Creating one or several neutral AIs to assess the banks, creating a reference based on the pattern analysis and the assets of the banks, thus providing a trustworthy notation of the banks. Even further, the use of AI in risk management could prevent some massive financial disaster preventing some trader making risky calls and monitoring the news and what's happening in the world, there by trying to be a step ahead and protect their interest better. Yet AI could also be used to try and maximize profits and not as a safeguard for regulators by implementing HFT AI, or other aggressive style of trading AI such as intra-day trading.

Another aspect could be the systematic use of an AI like Watson in counseling. It would allow employees to do their job in better conditions and the customers to receive answers more quickly as the AI could process their simpler demands on its own, leaving more time to the counselors for the actual time-intensive cases, ensuring better services.

If we project even far enough, with AI being capable of analyzing all of the data we produce, a full-automated bank seems achievable. With AI as safeguards, assessing the risks for loans, taking care of hedge funds and trading and counseling. Moreover, everyone could have its own private and personalized counselor.

The consequences can be a bit foggy. First, loss of jobs is easily predictable. Automation of tasks and higher efficiency lead to more work done by the same amount of people and thus, the need for a smaller labor force. Yet it would also mean hiring people capable of checking on the AI and that the moves it makes are coherent and if not, correcting them. Thus, experts in economics and programming would be needed.

One of the things to fear though is if the generalization of such AI banks, or even just AI risk manager becoming substantial and evaluating risks roughly the same way, creating a kind of “domino effect”, just like what happens with humans. As the strength of an investment is mainly decided by how many people believe in it, the problem would remain the same whether it’s decided by humans or AI: if someone begins to leave, the investment begins to lose its strength. This leads to the idea that the next party should leave too, leaving it even more vulnerable and the chain would continue, leading to a crash of the specific investment.

Although AI should be more cool-headed than humans by gathering information not only from the overall amount of trust in an investment but all of the context around it with an amount of information the human brain would fail to process. In the end, the possibility of a general failure should be less than with a human in control.

To conclude, as is often the case with new technologies, both good and bad consequences can be predicted. The use of AI in banks, could either lead to a safer market or an even more anarchic and unstable one. Nevertheless, one thing seems to be moving in a positive direction. The AI used as an assistant or counselor is leading to more a personalized and quicker, better care for the customers, boosting banks’ core business.

## References

1. Knerr S., Augustin E., Baret O., Price D. Hidden Markov Model Based Word Recognition and Its Application to Legal Amount Reading on French Checks // *Computer Vision and Image Understanding*. – 1998. – P. 404–419.
2. Fethi M.D., Pasiouras F. Assessing bank efficiency and performance with operational research and artificial intelligence technique: A survey // *European Journal of Operational Research*. – 2010. – V. 204(2). – P. 189–198.
3. Tavana M., Abtahi A-R., Di Caprio D., Poortarigh M. An Artificial Neural Network and Bayesian Network Model for Liquidity Risk Assessment in Banking // *Neurocomputing*. – 2018. – V. 275. – P. 2525–2554.
4. Tkáč M., Verner R. Artificial neural networks in business: Two decades of research // *Applied Soft Computing*. – 2016. – V. 38. – P. 788–804.
5. Zhanga G., Hub M., Patuwob B.E., Indrob D.C. Artificial neural networks in bankruptcy prediction: General framework and cross-validation analysis // *European Journal of Operational Research*. – 1999. – V. 1166. – P. 16–32.
6. Rönqvist S., Sarlin P. Bank distress in the news: Describing events through deep learning // *Neurocomputing*. – 2017. – V. 264. – P. 57–70.
7. Galeshchuk S. Neural networks performance in exchange rate prediction // *Neurocomputing*. – 2016. – V. 172. – P. 446–452.
8. Kraus M., Feuerriegel S. Decision support from financial disclosures with deep neural networks and transfer learning // *Decision Support Systems*. – 2017. – V. 104. – P. 38–48.
9. Vella V., Lon Ng Wing. Enhancing risk-adjusted performance of stock market intraday trading with Neuro-Fuzzy systems // *Neurocomputing*. – 2014. – V. 141. – P. 170–187.
10. Vella V., Lon Ng Wing. Improving risk-adjusted performance in high frequency trading using interval type-2 fuzzy logic // *Expert Systems With Applications*. – 2016. – V. 55. – P. 70–86.



**Утеуов Амир Куатович**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: auteuov@niuitmo.ru



**Арайа Лопес Хосе Луис**

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: jlaraya1@gmail.com



**Калюжная Анна Владимировна**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, к.т.н., доцент

e-mail: kalyuzhnaya.ann@gmail.com

УДК 004.9

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОПУСКОВ  
В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

**Утеуов А.К., Лопес Х.Л., Калюжная А.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Калюжная А.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617036 «Интеллектуальные технологии оптимизации структуры и анализа данных в композитных моделях сложных систем».

В работе рассмотрена задача контроля качества и восстановления данных гидрометеорологических измерений. Предложены методы для оценки качества данных и обнаружения выбросов, и также метод для восстановления пропусков измерений с использованием показаний соседних станций.

**Ключевые слова:** гидрометеорологические данные, временные ряды, контроль качества, восстановление пропусков, Extended Principle Component Analysis (ePCA).

Для построения модели прогнозирования погоды необходимы актуальные данные наблюдений. Измерения проводятся с помощью автоматических станций, которые расположены на земле (метеорологические станции), в воздухе, в космосе (метеоспутники) или на различном транспорте (корабли, самолеты и т.д.). Автоматизация метеонаблюдений позволила улучшить качество измерений, увеличить их частоту и временное покрытие. Но в связи с этим встал вопрос о контроле качества и восстановления пропусков в данных и их эффективной обработке в больших объемах [1]. Существуют открытые базы данных с метеорологическими измерениями, собранными со станций по всему миру. Экспериментальные данные измерений – это локальные показания в определенной

географической точке (например, метеорологические станции). В зависимости от рассматриваемой задачи из многообразия источников метеорологической информации необходимо выбрать только подходящие по некоторым признакам (географическое местоположение, временной охват). Характеристиками качества измерений авторы считают пропуски по временному диапазону, количество выбросов, согласованность с другими данными (из соседних станций или реанализов).

В работе поставлены следующие цели: оценить качество гидрометеорологических наблюдений, восстановить пропуски в данных, оценить качество восстановления пропусков. В качестве источника данных был выбран ресурс [rp5.ru](https://rp5.ru) (таблица).

Отличительной чертой данных метеоизмерений является то, что они связаны по пространству и времени, каждый временной ряд измерений на станции связан с временными рядами ближайших станций, и для восстановления данных одной станции можно использовать данные из ближайшей станции. Однако нужно учитывать влияние от расстояния между станциями. Также существует ошибка в данных станции, обусловленная ее неудачным расположением. Например, если станция установлена на нестандартном рельефе местности (под горой) ее показания будут существенно отличаться от других станций в этом же районе.

Таблица. Описание используемых метеорологических данных

Название источника	Временной диапазон	Шаг по времени	Количество станций
rp5	2005–2018 гг.	3 часа	125
	Параметр	Обозначение	Единицы измерения
	Температура воздуха на уровне 2 м	$T$	$^{\circ}\text{C}$
	Скорость ветра	Ff	м/с
Ссылка на источник	<a href="https://rp5.ru">https://rp5.ru</a>		

Восстановление данных проводилось для параметров: температура воздуха и сила (скорость) ветра. Для экспериментов использовались станции в Арктическом регионе (рис. 1).

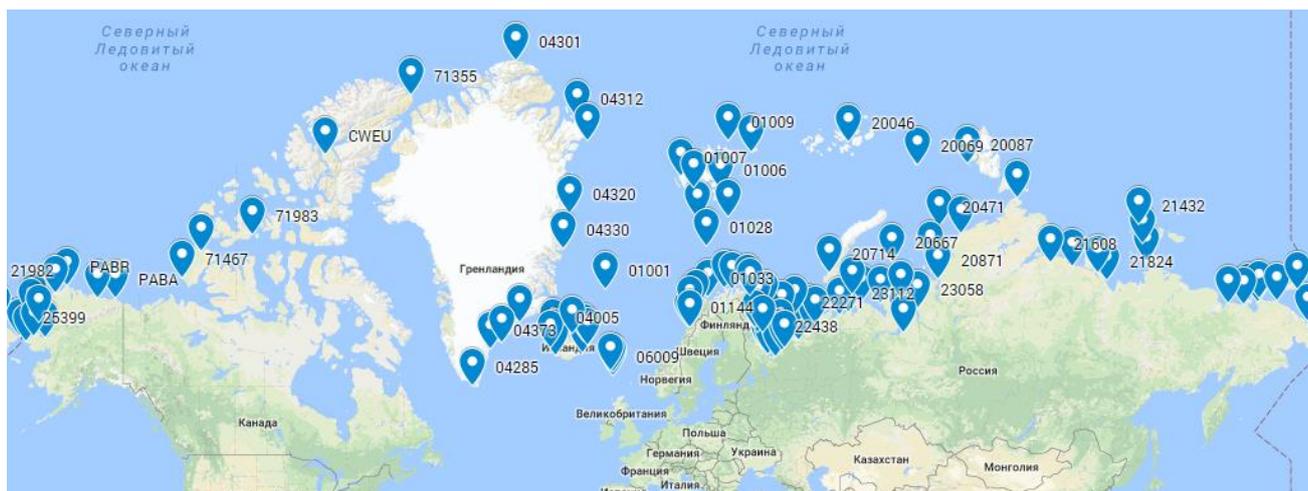


Рис. 1. Метеорологические станции в Арктике

Из рис. 1 видно, что метеостанции расположены не регулярно, есть районы с низкой плотностью покрытия, поэтому существует проблема восстановления пропусков у «изолированных» станций. У каждой станции свой диапазон покрытия, шаг по времени и, соответственно, пропуски. Пропуски в измерениях, сгруппированные по морям, представлены на рис. 2.

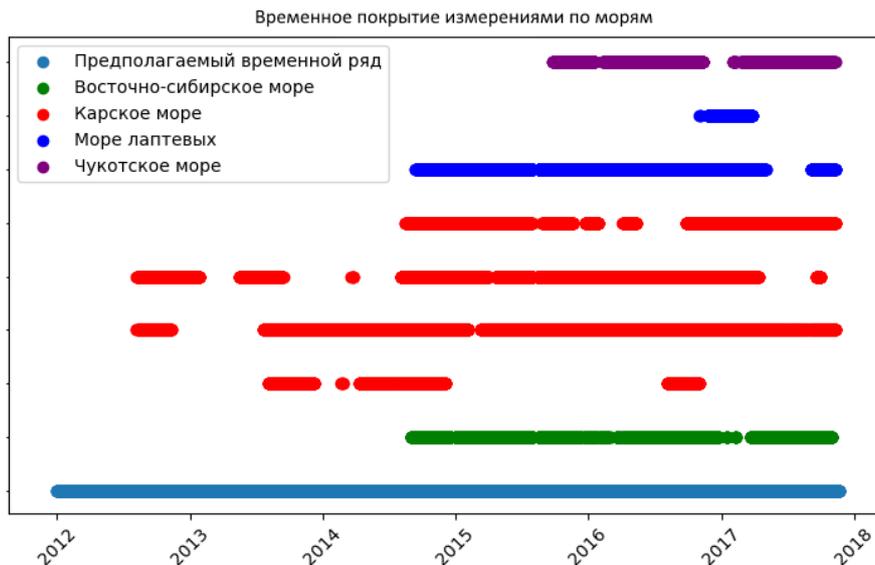


Рис. 2. Пропуски в данных (по морям Арктики)

Также в данных были обнаружены нетипичные значения и выбросы, которые были отброшены. Выбросами считались значения  $x \notin [\bar{x} - 5\sigma; \bar{x} + 5\sigma]$ ,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение. Такой диапазон был выбран для того, чтобы не пропустить значения, обусловленные экстремальными метеорологическими явлениями (например, ураганы).

Существуют различные методы восстановления пространственных данных [2]. В нашем случае для восстановления пропусков использовался метод Extended principal components analysis (ePCA), являющийся расширением традиционного PCA для работы с пространственно-временными корреляциями, наблюдаемыми в погодных и климатических данных [3]. Для восстановления временного ряда в каждой точке были использованы временные ряды соседних станций, находящихся на удалении не более 500 км. Таким образом, станции были разделены на 6 групп, в каждой из которых проводилось восстановление на основании данных со всех станций группы. Следует отметить, что при использовании этого метода необходимо учитывать временную зависимость временных рядов [3]. Рассматривая временной ряд длины  $N$ , данный как  $X_N = (x_1, x_2, \dots, x_N) \forall x > 2$  с ненулевыми элементами. Пусть  $L > 2$  будет временным окном, тогда  $2 < L < N$ . Далее представляем временной ряд в последовательность  $K = N - L + 1$  сдвинутых векторов, которые известны как траекторная матрица [4], который представляет собой вектор состояния:

$$\mathbf{x}_t = (x_{t1}, \dots, x_{tp}, x_{t+1,1}, \dots, x_{t+1,p}, \dots, x_{t+L-1,1}, \dots, x_{t+L-1,p}). \quad (1)$$

Восстановление данных – это решение уравнения:

$$\mathbf{R}\mathbf{V} = \lambda\mathbf{V}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{V}$  – собственные вектора;  $\lambda$  – собственные значения и  $\mathbf{R}$  – расширенная ковариационная матрица (включающая как пространственные так и временные зависимости):

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R'(t=0) & \dots & R'(t-n) \\ \dots & R'(t=0) & \dots \\ R'(t-n) & \dots & R'(t=0) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

С помощью данного метода авторы восстановили пропуски во измерениях с окном  $\pm 5h$  для всех групп станций, используя 5 главных компонента для экспериментов, при этом они обуславливали 95% изменчивости. После этого были рассчитаны метрики ошибок (Absolute Error и Root Mean Square Error). Рис. 3 показывает пример использования метода ePCA для восстановления данных. В данном примере были получены значения ошибок MAE  $1,32^\circ\text{C}$  и RMSE  $1,82^\circ\text{C}$ .

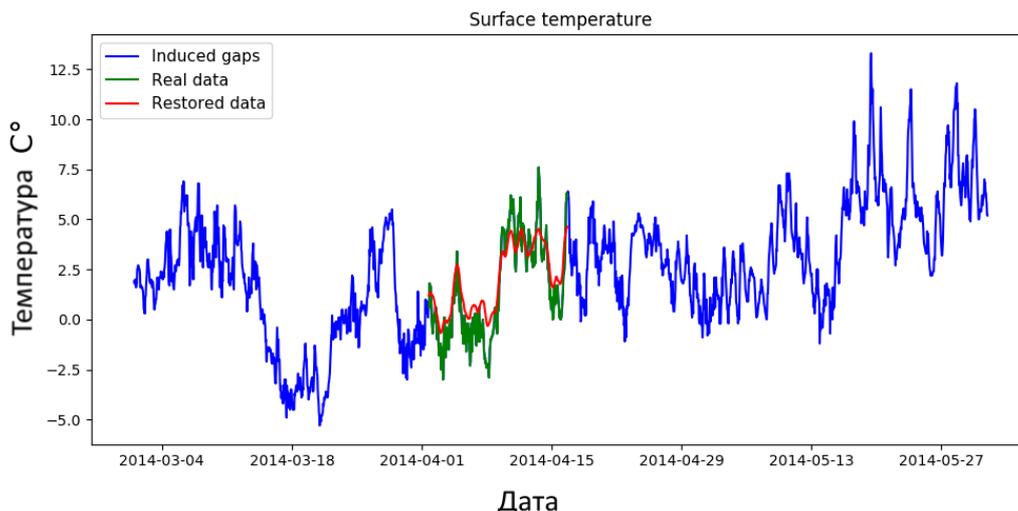


Рис. 3. Пример восстановления пропуска в измерениях температуры

Данная работа посвящена проблемам работы с данными измерений. Исследована возможность восстановления данных измерений. Были проведены эксперименты для тестирования эффективности восстановления данных, используя реальные данные измерений 125 метеорологических станций. В рассмотренных данных были обнаружены проблемы в качестве: пропуски, выбросы, нетипичные значения. Рассмотренный метод восстановления гидрометеорологических данных может быть применен для любых пространственно-временных измерений.

#### Литература

1. Graybeal D., DeGaetano A. and Eggleston K. Complex Quality Assurance of Historical Hourly Surface Airways Meteorological Data // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. – 2004. – V. 21(8). – P. 1156–1169.
2. Josse J. and Husson F. Handling missing values in exploratory multivariate data analysis methods // *Journal da la Société Française de Statistique*. – 2012. – V. 153(2). – P. 1–21.
3. Araya-Lopez J., Kalyuzhnaya A., Kosukhin S., Ivanov S., Boukhanovsky A. Data Quality Control for St. Petersburg Flood Warning System // *Procedia Computer Science*. – 2016. – V. 80. – P. 2128–2140.
4. Golyandina N., Zhigljavsky A. *Singular Spectrum Analysis for Time Series*. – Berlin: Springer, 2013. – 120 p.



**Ховричев Михаил Аркадьевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, студент группы № М4118с

Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика

e-mail: mikhovr@gmail.com



**Балахонцева Марина Андреевна**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, к.т.н., мл.н.с.

e-mail: mbalakhontceva@corp.ifmo.ru

УДК 004.6

**ИНТЕГРАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ  
В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ТЕКУЩИЕ ТРЕНДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**Ховричев М.А.**

**Научный руководитель – к.т.н., мл.н.с. Балахонцева М.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617037 «Интеллектуальные технологии в задачах Р4-медицины».

В работе обобщены основные результаты научной деятельности последних лет касательно процессов получения, обмена и использования данных из разнородных источников в сфере здравоохранения. Сделан обзор тенденций и потенциальных векторов технологического развития этих процессов. Проведено исследование возможности интеграции системы контроля и управления доступом ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России с его медицинской информационной системой. Объектом интереса представляется мобильность сотрудников медицинского учреждения и связь с предоставлением персонализированной медицинской помощи.

**Ключевые слова:** интеграция данных, медицинские информационные системы, персонализированная медицина, анализ данных, медицинская информатика.

Одним из следствий технологического прогресса является увеличение объема генерируемых и накапливаемых данных, разработки устройств хранения и фиксации, методологий представления данных и понятийных схем. В связи с этим повышается разнородность источников данных. Это усложняет построение комплексных систем, а также унификацию, агрегацию и анализ. Тем не менее, результатом возросшего интереса к наукам о данных стало переосмысление процесса интеграции: фокус исследований сместился с инженерии систем управления базой данных (СУБД) на проблемы сетевого взаимодействия источников, быстрой обработки данных, а также на семантику предметной области с целью качественного извлечения знаний.

В сфере здравоохранения вопрос обеспечения интеграции разнородных источников данных стоит особенно остро. Процесс оказания медицинской помощи становится персонализированным, а значит, клиницистам необходимо учитывать максимально возможное количество факторов, влияющих на здоровье пациента. Множество этих факторов включает в себя не только индивидуальную информацию о пациенте, но и

информацию о предыдущих лечениях, о том, какая помощь оказывается сейчас и т.п. Вся эта информация не может быть получена из какого-то одного источника, что и диктует необходимость постоянной интеграции.

В рамках задачи оказания медицинской помощи в условиях профильного учреждения (например, больницы) имеет смысл условно разделить интеграцию источников данных на «внутреннюю», т.е. между информационными системами учреждения и «внешнюю», вовлекающую контролируемые медучреждением источники. В медицинских центрах основная информация по пациентам и эпизодам хранится в базах медицинских информационных систем (МИС). Помимо этого, большой объем информации поступает с различных устройств, фиксирующих физические показатели пациентов. Корректная организация внутренних хранилищ – ключ к снижению влияния неоднородности. При этом необходимо учитывать, будут ли на данных производиться вычисления, их объем и т.д. Применение методологий Big Data к биомедицинским данным рассмотрено в [1].

Медицина – пример предметной области, богатой терминологией и связями между понятиями. Исследование медицинских данных по эпизодам обычно предполагает обращение к онтологиям и кодификаторам: UMLS (Unified Medical Language System), МКБ (международная классификация болезней) и др. Рассмотрено несколько вариантов онтологического подхода к интеграции разнородных источников данных. Например, SNOMED CT позволяет интегрировать данные, структурированные в форме онтологических баз знаний, даже если онтологии в каждом источнике данных разные. Существует подход, позволяющий интегрировать МИС и исследовательские системы, переопределяя процессы Extraction-Transform-Load, таким образом отображая СУБД МИС на онтологическую базу знаний [2]. В настоящий момент открытым вопросом остается возможность сохранения множественных связей между концептами при таком способе отображения, т.е. нет преобразования иерархий. Это существенное ограничение онтологий может быть преодолено с использованием модели связанных данных (Linked Data Model). Связь в них выстраивается на основе смысловой близости с помощью семантических сетей.

В большинстве своем алгоритмы на медицинских данных используются для построения интеллектуальных моделей (например, систем поддержки принятия клинических решений) [3]. Организация входного потока для алгоритмов машинного обучения – еще одна цель интеграции разнородных источников данных. Наиболее проблемными местами здесь являются:

- зашумленность данных (от шума избавляться не рекомендуется, если речь идет о предсказании клинических исходов);
- пропущенные или отсутствующие значения (так как пациенты очень редко находятся под постоянным наблюдением);
- вариативность схем кодирования;
- вариативность размерности, разреженность и несбалансированность данных [4].

Самым сложным моментом в проблеме персонификации медицинской помощи является приватность данных, препятствующая «внешней» интеграции данных из разнородных источников. Необходимость соблюдения приватности зачастую сводит на нет попытку улучшить обмен данными на разных МИС между разными медучреждениями. Даже анонимизированные данные, полученные из разных источников, могут раскрыть личность пациента. Пациенты неохотно предоставляют личные данные о своем организме, так как теряют над ними контроль. Подходящей парадигмой для обеспечения приватности и возможности контролировать передачу данных является блокчейн. Еще одним преимуществом является связывание всех взаимодействий пациента с разными медучреждениями в единой истории, что полностью решает проблему персонификации. На текущий момент существует несколько рабочих прототипов таких систем специально для здравоохранения, например MedRec и BBDS [5].

В рамках работы было проведено исследование современных технологий в интеграции информационных систем в области здравоохранения. Прикладным результатом работы является эксперимент с интеграцией системы контроля и управления доступом и МИС в ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России. По результатам эксперимента было выявлено, что интеграция позволит выявлять происходившие в медучреждении события более достоверно: при сопоставлении временных меток и событий после унификации представлений было выявлено, кому именно оказывал помощь тот или иной сотрудник медучреждения. Извлечение новых знаний при интеграции разнородных систем даст возможность оптимизировать нагрузку на медперсонал и повысить эффективность оказываемой помощи.

### **Литература**

1. Merelli I., Pérez-Sánchez H., Gesing S., D'Agostino D. Managing, Analysing, and Integrating Big Data In Medical Bioinformatics: Open Problems and Future Perspectives // *BioMed Research International*. – 2014. – V. 2014. – P. 1–13.
2. Mate S., Köpcke F., Toddenroth D. et al. Ontology-Based Data Integration between Clinical and Research Systems // *PLOS ONE*. – 2015. – V. 10. – № 1. – P. 1–20.
3. Syomov I.I., Bolgova E.V., Kovalchuk S.V. et al. Towards Infrastructure for Knowledge-based Decision Support in Clinical Practice // *Procedia Computer Science*. – 2016. – V. 10. – № Supplement C. – P. 907–914.
4. Feldman K., Faust L., Wu X. et al. Beyond Volume: The Impact of Complex Healthcare Data on the Machine Learning Pipeline // *Towards Integrative Machine Learning and Knowledge Extraction*. – 2017. – P. 150–169.
5. Azaria A., Ekblaw A., Vierra T., Lippman A. MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management // *2016 2<sup>nd</sup> International Conference on Open and Big Data (OBD)*. – 2016. – P. 25–30.

**Ходненко Иван Владимирович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
студент группы № М4115сНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: Ivan.Khodnenko@corp.ifmo.ru

УДК 656.142:519.87

**МЕТОД ПОИСКА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ С ПОМОЩЬЮ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ  
ИЗОХРОН НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПЕШЕХОДНЫХ ДОРОЖЕК****Ходненко И.В.****Научный руководитель – Кудинов С.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617035 «Методы исследования урбанизированных территорий и моделирования городских процессов на основе разнородных данных, генерируемых большим городом».

При выборе места для размещения на территории города некоторых организаций необходимо подобрать максимально выгодное местоположение, учитывая специфику бизнеса и необходимость достижения большего охвата клиентов. Один из способов выбора является анализ карты изохрон, т.е. изолиний одновременности достижения цели. Существуют различные способы построения данной карты, но ни одна из них не учитывает возможность движения пешеходов по местности, используя отсутствующие на официальных картах стихийные тропы. В представленной работе показано, что моделирование и учет троп может менять карту изохрон. Также в работе предложен инструмент ее построения с учетом стихийных троп.

**Ключевые слова:** изохроны, карта изохрон, стихийные тропы, пешеходная сеть, оптимальный маршрут.

С развитием городских территорий и инфраструктуры происходит рост потребности населения в магазинах, заведениях общественного питания, офисах и других организациях, предполагающих регулярное наличие посетителей [1]. Для удовлетворения этой потребности и обеспечения рентабельности коммерческого заведения важен выбор такого места его размещения, при котором обеспечивался бы максимальный охват клиентов. Одним из факторов, влияющих на количество клиентов, является пешеходная доступность объекта, характеризующаяся продолжительностью пешеходного пути к нему [2]. Для каждого вида коммерческой деятельности характерен свой предел величины этого значения. На данный момент существуют разные подходы отображения пешеходной доступности, и простейшим из них для визуального анализа является построение карты изохрон. Самые популярные методы показаны на рис. 1.

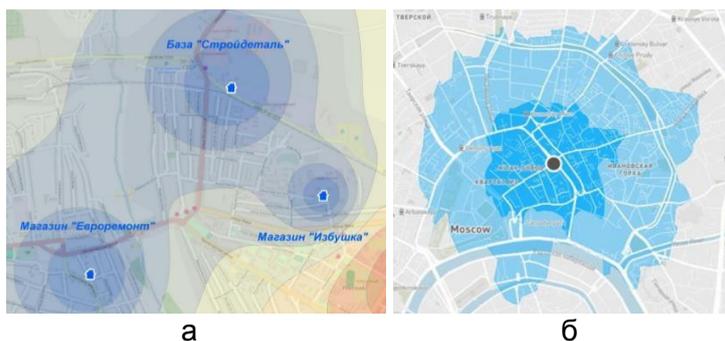


Рис. 1. Карта изохрон: по радиусу (а); по дорогам с помощью OSM-данных (б)

Градиент обозначает различные временные зоны пешеходной доступности рассматриваемого объекта. Карта изохрон по радиусу учитывает в своем подходе только значения расстояний до выделенных точек. Подход с использованием OpenStreetMap (OSM)-данных ориентируется на полученные дороги, что позволяет повысить точность в результирующей карте. Упомянутые методы подходят для обширной области, но в пределах одного или нескольких кварталов точность результата может отличаться от действительности из-за присутствия стихийных троп. Данный вид троп искажает время пешеходной доступности до объектов, что ведет к неточным результатам. Во-первых, это связано с отсутствием информации о стихийных тропах на официальных картах. Вследствие этого при поиске путей для передвижения только по OSM-дорогам может возникнуть ситуация, при которой полученная траектория пути имеет большую протяженность, и присутствуют более короткие пути, которые не будут учтены, что показано на рис. 2, а. Во-вторых, пешеходы не всегда выбирают для передвижения прямые траектории. На рис. 2, б, отражен случай, в котором алгоритм поиска пути по прямолинейным траекториям не будет работать, так как пешеходы в указанном примере выбирают тропу (по красной линии), которая является общей для нескольких направлений к нескольким объектам.



Рис. 2. Примеры стихийных троп: короткие маршруты (а); длинный маршрут (б)

Основным инструментом определения стихийных троп в данной работе является Ant Road Planer – алгоритм поведенческого агентного моделирования движения пешеходов через открытые городские территории, учитывающий появление стихийных троп на месте озелененных участков. Входными данными для него является размеченная карта участка местности. Размечаются все значимые элементы, такие как непроходимые препятствия (реки, озера, дома и пр.), проходимые препятствия (дороги, растения и невысокие ограждения), тротуары и точки притяжения. Точки притяжения делятся на генераторы, аттракторы и универсальные. Генераторы – это точки, в которых берет начало путь агентов в алгоритме. Аттракторы же – это точки, являющиеся пунктами назначения агентов. На переданную карту накладывается гексагональная сетка, исключая места препятствий. Указанный вид сетки был выбран из-за особенностей ее строения, ввиду того, что все ребра у нее имеют равную длину, независимо от поворота карты. Также следует отметить, что каждому ребру графа задается вес, зависящий от местности, на которую он наложен. Выявление стихийных троп происходит в процессе моделирования передвижения пешеходов от генераторов до аттракторов. Поиск пути происходит посредством алгоритма A\*, который является модификацией алгоритма Дейкстры с дополнительной эвристикой. При пересечении газонов по ребрам графа вес ребер уменьшается, что и ведет к определению стихийных троп.

На момент построения карты изохрон места стихийных троп уже определены основным алгоритмом. Так как при определении дистанций между исходной точкой и каждой точкой карты нет нужды учитывать какие-либо особенности найденного пути, а важна лишь количественная оценка расстояния, то было принято решение использовать алгоритм Дейкстры. Данный алгоритм поочередно обрабатывает вершины графа,

ориентируясь на их веса. Использование весов ребер графа, зависящих от типа местности, важно при учете стихийных троп. В качестве заключительного этапа отображается карта изохрон поверх исходной карты, где различными цветами отображаются интервалы времени, необходимые для достижения точки в данной области (рис. 3, а).



Рис. 3. Пример карты изохрон (а); перекресток улицы Рокоссовского и Невского проспекта (б)

Для оценки работы алгоритма был рассмотрен перекресток улицы Рокоссовского и Невского проспекта в городе Волгограде, показанный на рис. 3, б.

По обе стороны Невского проспекта находятся офисные здания и жилые дома. Предприятия общественного питания находятся только по одну сторону. Красными линиями поперек улицы показаны официальные пешеходные переходы, которые не всегда используются при пересечении пешеходами этой улицы. Большинство пешеходов переходят дорогу между этими официальными переходами, что показано синими линиями. Для этого случая карта изохрон была построена двумя способами: только по тротуарам (рис. 4, а) и используя стихийные тропы (рис. 4, б).

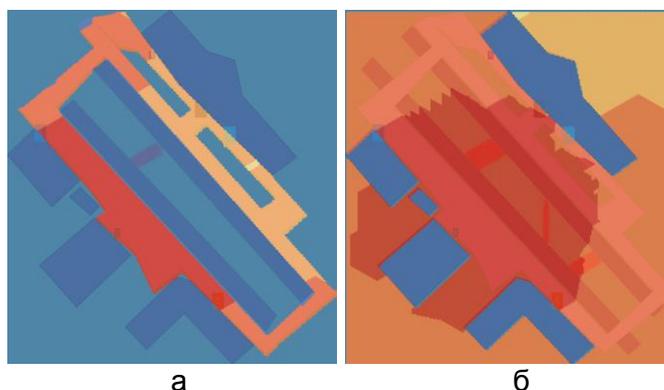


Рис. 4. Оценочная карта изохрон: по тротуарам (а); со стихийными тропами (б)

В представленной оценке (рис. 4) выделяются три временные зоны. Красная область показывает интервал в 1 мин от исходной точки. Оранжевый цвет указывает область в 2 мин, желтый цвет – 3 мин. Данный пример показывает, что стихийные тропы способствуют сокращению пути в два раза. Проведенные эксперименты показывают, что средняя экономия пути при использовании стихийных троп достигает 20–30%, что было подтверждено в работе [3]. Полученные результаты подтверждают, что учет стихийных троп влияет на время пешей доступности, отображенной на карте изохрон. Существует гипотеза, что скорость пешехода зависит от ландшафта и рельефа местности [4], поэтому в дальнейшей работе будет проверено наличие корреляции между вышеперечисленными характеристиками и скоростью пешеходов, и модификация алгоритма построения карты изохрон на основе полученных результатов.

**Литература**

1. Explosive growth of independent High Street stores in first half of 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bira.co.uk/growth-independent-stores-2017-compared-2016/>, своб.
2. Al-Widyan F. et al. An effort-based evaluation of pedestrian route choice // Scientific Research and Essays. – 2017. – V. 12. – № 4. – P. 42–50.
3. Mudron I., Pachta M. Pedestrian network design and optimisation based on pedestrian shortcuts and needs // Geoinformatics for City Transformation. – 2013. – P. 175–184.
4. Landscape Experience and the Speed of Walking [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/286406247\\_Landscape\\_Experience\\_and\\_the\\_Speed\\_of\\_Walking](https://www.researchgate.net/publication/286406247_Landscape_Experience_and_the_Speed_of_Walking), своб.

**Чинарева Ксения Михайловна**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений,  
студент группы № М4122Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика  
и информатика

e-mail: xenia.chin@gmail.com

УДК 001.891.32

**ОБЗОР МЕТОДОВ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ  
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС****Чинарева К.М.****Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель Карсаков А.С.**

Работа посвящена изучению опыта использования технологий дополненной реальности в образовательном процессе. Результатами работы явились: обзор литературы по вопросу исследования, обзор технологий дополненной реальности, применяемых в сфере образования, и сравнительный анализ с технологиями виртуальной реальности в образовании.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, виртуальная реальность, game-based learning, SDK, marker-based AR, markerless AR.

Несмотря на то, что сама технология дополненной реальности появилась еще во второй половине двадцатого века и начала активно развиваться в 1990-х, последнее десятилетие ознаменовалось всплеском интереса к приложениям, использующим AR (дополненную реальность). Исследования не раз подтверждали положительный эффект от занятий с применением AR-технологий, которые в значительной степени облегчают усвоение материала и повышают интерес учащихся к предмету.

Целью данного исследования явилось изучение имеющейся литературы об использовании технологий дополненной реальности в образовании.

Самым распространенным методом дополненной реальности является метод, основанный на маркерах, суть которого сводится к тому, что программа сопоставляет трехмерную модель с маркером – распознанным изображением – и помещает виртуальный объект в видеопоток [1]. Помимо него, достаточно широко применяется метод «локации», основанный на информации о местонахождении пользователя, получаемой с помощью GPS. Большая часть обучающихся пользуется мобильными приложениями AR, очки и шлемы виртуальной реальности, по-прежнему, распространены мало [2].

Существующие решения для создания приложений дополненной реальности можно разделить на три группы. Нативные приложения от крупных компаний, такие как Google (Google Tango), Apple (Apple ARKit) и Microsoft (Microsoft Mixed Reality), существенно облегчат создание контента под конкретную платформу, однако, потребуют от разработчика навыки программирования в конкретной среде разработки. Помимо этого, существенным недостатком нативных решений является отсутствие кроссплатформенности. Вэб-технологии дополненной реальности (WebAR, AR.js) не зависят от платформы, не требуют отдельного приложения и отличаются открытым кодом. Их существенным недостатком является то, что в данный момент возможности вэб-технологий AR очень ограничены. Гибридные SDK (Wikitude, Vuforia, EasyAR, Kudan AR Engine, ARToolkit и др.), преимуществом которых является кроссплатформенность, на данный момент представляются наиболее оптимальным решением для создания AR-контента.

Методология обучения студентов технологиям AR представляет собой набор общих рекомендаций, каждое образовательное учреждение самостоятельно определяет содержания

курсов. Большая часть курсов предполагает наличие у студентов базовых знаний о компьютерной графике. В зарубежных учреждениях высшего образования обучение технологиям AR проходит в рамках отдельных курсов (Harvard, Stanford), учебных программ (Deakin University, University of Bradford) и учебных проектов (University of California), зачастую параллельно с обучением технологиям виртуальной реальности.

Естественные науки лидируют по числу приложений AR, применяющейся в обучении, также они предоставляют широкие возможности в области медицины и точных наук. Помимо этого, популярностью пользуются приложения для изучения иностранных языков и развивающие игры для детей. Перспективными направлениями для развития технологий AR в сфере образования являются книги с дополненной реальностью, AR-игры, так называемые *discovery-based learning* (сопровождение знакомства с новой информацией технологиями AR), моделирование объектов и тренировка практических навыков. Благодаря AR-технологиям обучающиеся могут отрабатывать навыки, для тренировки которых ранее потребовалось бы дорогостоящее оборудование или симуляторы [3].

Образовательные игры с AR – перспективное направление разработки новых приложений. «Серьезные игры» являются площадкой для эффективного обучения благодаря совмещению основных признаков игры и направленностью на освоение нового материала [4]. Игры с AR отличаются от видеоигр меньшим временем разработки и легкостью установки, однако у них есть и недостатки. Так, для использования обучающей игры с AR требуются специальные устройства, например, мобильные телефоны с камерами и подключением к Интернету, что увеличивает стоимость внедрения игры в учебную программу. Кроме того, большая часть приложений с AR работают онлайн, а это означает упрощение графики и игровой механики из-за ограниченной пропускной способности соединения.

Технологии виртуальной реальности в образовании распространены меньше, но активно развиваются. Исследователи отмечают, что AR сильнее мотивирует пользователей на кооперацию [5], а стоимость разработки подобных приложений ниже. В свою очередь, приложения с технологиями виртуальной реальности отличаются более высокой иммерсивностью и зачастую проще в использовании.

Основными преимуществами внедрения AR в образовательный процесс являются облегчение процесса усвоения и запоминания материала, вовлеченность и мотивированность студентов, расширение доступных возможностей для практических занятий и (или) снижение затрат на них. Недостатки по большей части обусловлены внешними причинами: высокая стоимость, отсутствие необходимой подготовки у учителя, новизна технологии, либо связаны с риском информационной перегрузки и сужения объема внимания.

Анализ литературы и существующих решений показал, что технологии дополненной реальности в сфере образования используются фрагментарно, несмотря на огромное количество кейсов. Тем не менее, с каждым годом количество публикаций по данной теме растет. В дальнейшей работе представляется целесообразным сфокусироваться на приложениях с дополненной реальностью, помогающим в процессе обучения решать практические задачи.

## Литература

1. Kipper G., Rampolla J. *Augmented Reality: An Emerging Technologies Guide to AR*. – Syngress Media, U.S., 2012. – 158 p.
2. Akçayır M., Akçayır G. *Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature* // *Educational Research Review*. – 2017. – V. 20. – P. 1–11.
3. Yuen S., Yaoyuneyong G., Johnson E. *Augmented Reality: An overview and five directions for AR in education* // *Journal of Educational Technology Development and Exchange*. – 2011. – V. 4(1). – P. 119–140.

4. Ștefan L., Moldoveanu F. Game-based Learning with Augmented Reality – From Technology’s Affordances to Game Design and Educational Scenarios // Conference Paper – 2014. – P. 105–114.
5. Yang X., Jia Wang S. To Develop and Evaluate Children’s Cognitive Development through AnAR-Playful-Learning Approach // DesTech Conference Proceedings The International Conference on Design and Technology. – 2017. – P. 211–218.



**Ханжина Наталья Евгеньевна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра компьютерных технологий, аспирант  
Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: nehanzhina@corp.ifmo.ru



**Фильченков Андрей Александрович**

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра компьютерных технологий,  
к.ф.-м.н., доцент

e-mail: aaafil@mail.ru

УДК 004.85

**ГЛУБОКИЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ  
И КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Ханжина Н.Е.**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Фильченков А.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 713574 «Биоинформатика, машинное обучение, технологии программирования, теория кодирования, проактивные системы».

Задача классификации изображений является одной из наиболее популярных прикладных задач глубокого обучения. В то же время существует смежная задача сегментации изображений и ряд методов глубокого обучения для ее решения. Предметом исследования является архитектура глубокой нейронной сети для совместной классификации и сегментации изображений. За основу в качестве архитектуры, косвенно выполняющей эти задачи, была взята Faster R-CNN. Предлагаемая модификация Faster R-CNN состоит во внедрении концепции hypercolumns и использовании их в качестве входа для RPN и Fast R-CNN.

**Ключевые слова:** распознавание изображений, глубокое обучение, семантическая сегментация, нейронные сети, hypercolumns.

Распознавание изображений – наиболее популярная задача машинного обучения. Нейронные сети достигли высоких результатов в ее решении. Важными подзадачами являются как классификация, так и сегментация изображений. Как правило, задачи сегментации и классификации изображений с помощью нейросетей рассматриваются и решаются отдельно, однако они тесно связаны. В связи с этим интерес представляют архитектуры нейросетей для совместной сегментации и классификации. Подобные в настоящее время не разработаны, но существуют косвенные архитектуры, которые последовательно решают эти задачи в рамках одной модели обучения. Далее рассмотрим некоторые из них, а именно Faster R-CNN [1] и модель, основанную на hypercolumns [2].

Первая модель объединяет в своей структуре базовую и две основные нейронные сети: Region Proposal Network (RPN) для обучения генерации гипотез положения регионов, содержащих объекты, и Fast R-CNN [3] для классификации. RPN и Fast R-CNN используют выход последнего слоя базовой нейронной сети, которой может быть предварительно обученная ResNet [4] или любая другая архитектура глубокой сверточной нейросети, в

качестве разделяемого входа или слоя. Данные разделяемые слои подаются в первую очередь на вход RPN, являющейся целиком сверточной. Она генерирует координаты возможных областей интереса на исходном изображении и вероятность их быть объектом. Принцип действия этой нейросети состоит в использовании скользящего окна свертки, обрабатывающего в каждой точке заранее определенное количество возможных областей интереса (например, 10). Далее Fast R-CNN, используя полученные координаты, подает их на RoiPooling слой, который выделяет области интереса исходного изображения и подает каждую из них нескольким полносвязным слоям для классификации области изображения и для уточнения ее координат. RPN и Fast R-CNN вместе представляют собой единую модель, а именно Faster R-CNN, настраивающую общие веса. Функция потерь рассчитывается отдельно для задачи классификации (перекрестная энтропия), отдельно для вычисления координат областей (L1 норма). Части функции суммируются, при этом каждая нормируется на число компонент суммы.

Вторая модель основана на hypercolumn – векторе активации пикселя изначального изображения вдоль карт признаков сверточной нейросети. Рассмотрим, как hypercolumn можно использовать для сегментации и классификации [2]. Авторы предлагают подход, основанный на попиксельной классификации hypercolumn-карты признаков. Он позволяет учитывать такой признак, как расположение пикселя, являющийся полезным в некоторых случаях. Решение состоит в использовании сетки  $K \times K$  классификаторов и интерполяции между ними. При этом каждый классификатор является  $1 \times 1$  сверткой соответствующего пикселя.

За основу в качестве архитектуры, косвенно выполняющей совместную сегментацию и классификацию, была взята Faster R-CNN со сверточной нейросетью в качестве базовой. Faster R-CNN использует в качестве разделяемого слоя выходы только последнего слоя базовой нейросети. При этом успех hypercolumns, описанных выше, позволяет предположить эффективность их использования в роли разделяемого слоя. Авторы hypercolumns используют их для семантической сегментации, но не для одновременной сегментации и классификации. Таким образом, предлагаемая модификация Faster R-CNN состоит в использовании концепции hypercolumns в качестве входа для RPN и Fast R-CNN. Обе архитектуры, базовая Faster R-CNN и модифицированная с помощью hypercolumns, приведены на рисунке. Рассмотрим результаты применения модификации Faster R-CNN+hypercolumns.

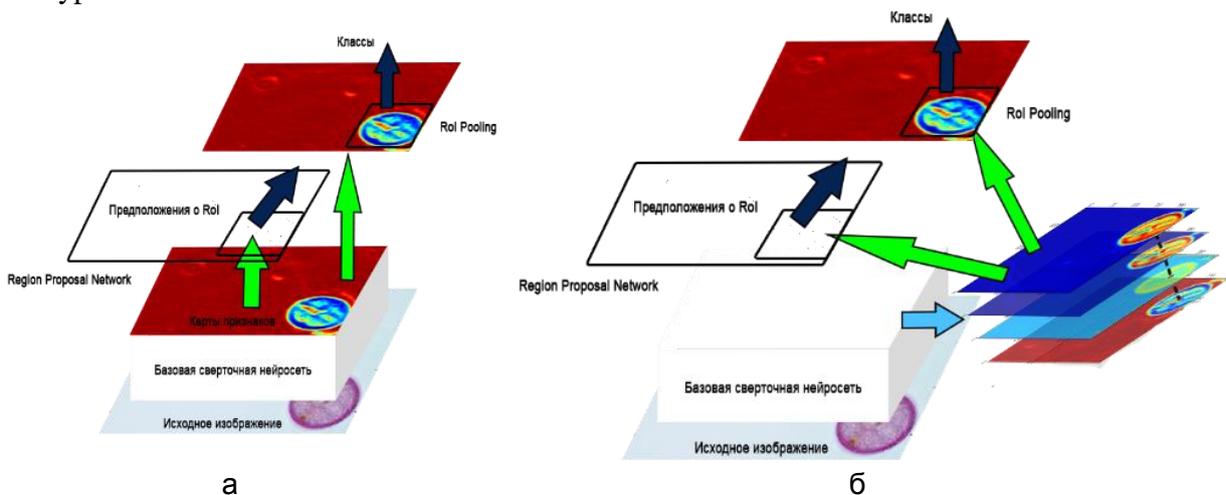


Рисунок. Архитектура Faster R-CNN (а); архитектура Faster R-CNN+hypercolumns (б)

Для оценки работы модели использовалась мера Intersection over Union (IoU). Для проведения экспериментов набор данных (фотографии пылевых зерен с оптического микроскопа) был полностью размечен, были выделены объекты и области фона. К исходным изображениям была применена базовая Faster R-CNN, она обеспечила 0,865 IoU в среднем.

При этом модифицированная архитектура обеспечила 0,823 IoU в среднем. Таким образом, ожидаемый результат от применения hypercolumns не был достигнут. Возможно причиной этого является использование сверточной нейросети в качестве базовой. Также причиной может быть большое количество гиперпараметров модели. Улучшение результата и дальнейшие модификации остаются предметом будущих исследований.

### **Литература**

1. Ren S. et al. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks // Advances in neural information processing systems. – 2015. – P. 91–99.
2. Hariharan B. et al. Hypercolumns for object segmentation and fine-grained localization // Proceeding of CVPR. – 2015. – P. 447–456.
3. Girshick R. Fast R-CNN // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. – 2015. – P. 1440–1448.
4. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 770–778.

**Авдеева Анастасия Сергеевна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
студент группы № М4121Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: ananaskelly@mail.ru

УДК 004.93'11

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСКИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ ШУМА И РЕЧИ**

Авдеева А.С.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Шуранов Е.В.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В работе рассмотрены различные алгоритмы шумоочистки и решения задачи разделения сигнала на шум и речь. Также предложен алгоритм разделения на основе нейросетевой архитектуры U-Net, представлены полученные результаты.

**Ключевые слова:** нейронные сети, шумоочистка, разделение сигнала.

**Введение.** Задача разделения сигнала на шум и речь, выделения из смеси отдельных дикторов является одной из сложнейших в обработке сигналов. Основной проблемой является большая вариативность условий – разные дикторы, виды шума, отличные акустические условия. Все эти факторы приводят к тому, что создать оптимальный устойчивый алгоритм весьма затруднительно.

На сегодняшний день для решения этой задачи применяется множество алгоритмов – NMF, различные нейросетевые архитектуры: deep clustering, DAN, autoencoders.

В целом данную задачу можно разбить на два широких класса – одноканального и многоканального разделения. В данной работе рассматривался одноканальный случай.

Работа была организована следующим образом: сначала был представлен некоторый обзор существующих решений, далее предлагался алгоритм разделения одноканального сигнала с помощью нейронной сети U-Net [1], затем были представлены полученные результаты.

Определение маски для разделения смеси шума и речи. В независимости от алгоритма в качестве входных данных в основном используются спектрограммы сигнала, часто их нормализуют и логарифмируют, так как диапазон значений спектрограммы может быть велик. В качестве выходных данных распространен подход построения маски – бинарной или относительной. Бинарная маска присваивает каждому частотно-временному бину спектрограммы преобладающий в нем класс – шум или речь, обозначаемый 0 и 1 соответственно. Относительная – значение между 0 и 1, показывающее соотношение между классами в данном бине.

Существуют подходы по решению задачи с помощью NMF [2], deep attractor network [3], autoencoder [4]. Результаты некоторых из этих подходов были рассмотрены в более ранних работах [5]. В последние годы в различных задачах – обработки и анализа больших данных, естественных языков, и компьютерном зрении, наиболее впечатляющих результатов позволяют достигать нейросетевые алгоритмы. В области обработки сигналов также есть несколько алгоритмов, показывающих достойные результаты.

Одним из самых успешных является алгоритм deep clustering [6]. Идея алгоритма состоит в том, чтобы обучить сеть строить отображение частотно-временных бинов спектрограммы в некоторое  $n$ -мерное пространство, а затем проводить там кластеризацию, например, методом  $k$ -средних. Архитектура сети – два BLSTM-слоя по 600 нейронов и один

полносвязный слой размерности, равной размерности пространства отображения.

U-Net представляет собой сверточный autoencoder с дополнительными связями между слоями. Реализованная сеть повторяет архитектуру [1] за исключением того, что при обратном проходе, перед осуществлением свертки, тензоры дополняются нулями таким образом, чтобы на выходе получить маску, размер которой равен размеру исходного изображения.

Одним из преимуществ данной архитектуры является достаточной большой размер входного окна – это позволяет обучать сеть различать паттерны, присущие разным типам музыки. В предыдущих решениях использовался гораздо меньший размер окна, например, 8 фреймов. Были проведены исследования влияния различных параметров, в том числе и размера окна, влияние размера быстрого преобразования Фурье (БПФ) и типа маски на результат (табл. 1).

Таблица 1. Влияние размера БПФ и типа маски на результат

Название базы	Количество слоев	Размер БПФ	Тип маски	SDR
dc_v2 & rev.	4	512	IBM	6,90
dc_v2 & rev.	4	512	IRM	7,50
dc_v2 & rev.	4	1024	IBM	8,25

В табл. 2 отражены эксперименты с конфигурацией сети для электронной музыки.

Таблица 2. Эксперименты с конфигурацией сети для электронной музыки

Название базы	Количество слоев	Размер БПФ	Тип маски	SDR
dc_v42	4	512	IBM	5,7
dc_v42	8	512	IBM	6,8
dc_v42	16	512	IBM	7,6

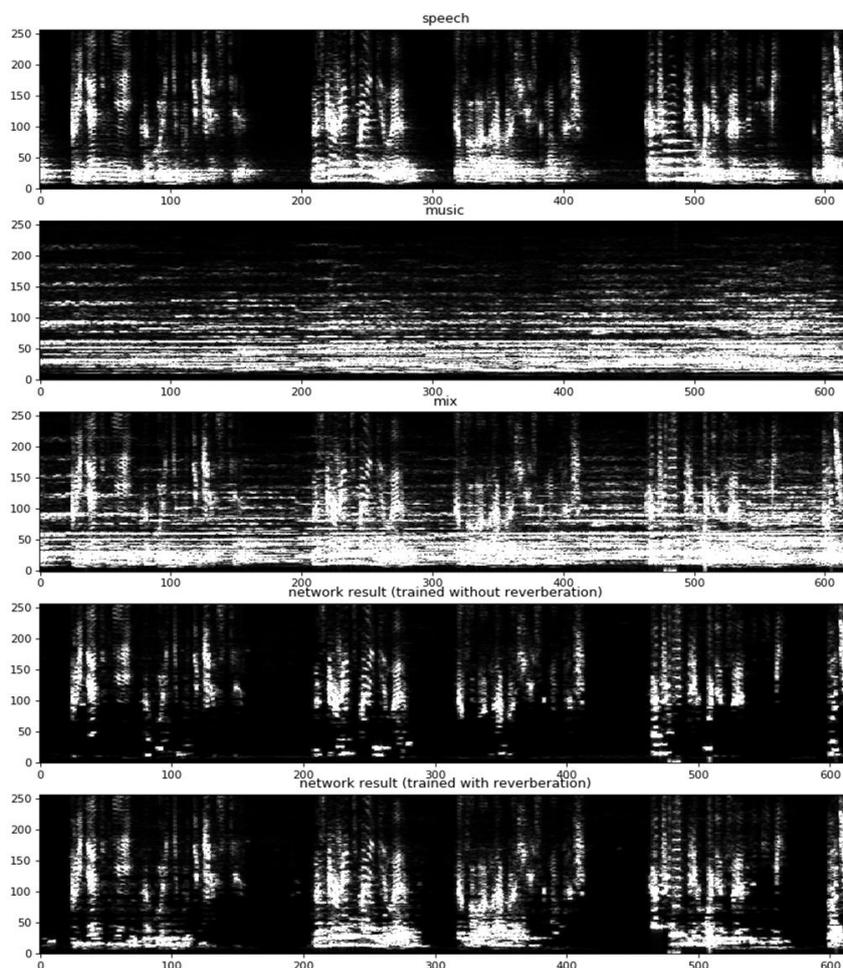


Рисунок. Результаты работы модели на смеси речи с классической музыкой

На рисунке показаны результаты работы модели на смеси речи с классической музыкой и разница между моделью, обученной на данных с реверберацией и без. На спектрограмме видно, что модель, обученная с реверберацией, гораздо лучше восстанавливает исходный сигнал.

**Выводы.** Был проведен обзор различных методов шумоочистки и разделения одноканального сигнала, предложен алгоритм, использующий нейросетевую архитектуру U-Net для задачи разделения сигнала, рассмотрены различные конфигурации сети, проведены эксперименты на различных наборах данных. Была найдена оптимальная архитектура, позволяющая построить модель, в некоторой степени устойчивую к изменению акустических условий.

### Литература

1. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf>, своб.
2. Weiss R., Bello J. Identifying Repeated Patterns in Music Using Sparse Convolutional Non-Negative Matrix Factorization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.167.6951&rep=rep1&type=pdf>, своб.
3. Yi Luo, Chen Z, Mesgarani N. Speaker-independent Speech Separation with Deep Attractor Network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1707.03634.pdf>, своб.
4. Grais E.M., Plumbley M.D. Single Channel Audio Source Separation Using Convolutional Denoising Autoencoders [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1703.08019.pdf>, своб.
5. Матвеев Ю.Н., Шуранов Е.В., Авдеева А.С., Щемелинин В.Л., Крылова Е.В. Система автоматического определения местоположения объектов на основе акустических данных // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. – 2017. – № 1. – С. 313–315.
6. Hershey J.R., Chen Z., Roux Le J., Watanabe S. Deep clustering: Discriminative embeddings for segmentation and separation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.merl.com/publications/docs/TR2016-003.pdf>, своб.



**Агафонов Юрий Олегович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
студент группы № М4121

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: agafoov1995@gmail.com

**УДК 004.93'11**

**МАКЕТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО КАНАЛА НА ОСНОВЕ  
MFCC-ПРИЗНАКОВ**

**Агафонов Ю.О.**

**Научный руководитель – к.т.н. Шуранов Е.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В работе рассмотрены варианты решения задачи идентификации фрагмента мультимедийного канала в речевом сигнале, зашумленном воздействием вышеуказанного канала. Задача является актуальной, так как при известном шумовом воздействии появляется возможность проведения качественного подавления шума в сигнале. В качестве признаков акустических событий выбраны MFCC-коэффициенты, которые хорошо себя зарекомендовали в идентификации речевых сигналов. Программная реализация идей, изложенных в работе, выполнена на языке Python.

**Ключевые слова:** MFCC-признаки, распознавание речи.

Как известно, амплитудно-частотная характеристика сигнала не совсем точно отражает слышимость того или иного звука человеком. В связи с этим вводят эмпирически подобранные единицы громкости. Одной из таких единиц является мел: единица высоты звука, основанная на восприятии звука нашими органами слуха.

Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)-коэффициенты вычисляются с помощью размещения спектра сигнала на соответствующей ему мел-шкале и дальнейшего вычисления энергии сигнала, преобразованного одним из мел-фильтров. Мел-фильтр представляет собой треугольную оконную функцию. Каждое преобразование дает отдельный мел-частотный спектральный коэффициент, который уже можно использовать в качестве признака. А применив дискретное косинусное преобразование к полученному набору коэффициентов, получаем набор MFCC-коэффициентов. Для вычисления MFCC-коэффициентов в работе использована функция MFCC из библиотеки `python_speech_features`.

Подробное описание алгоритма построения MFCC-коэффициентов содержится в [1, 2].

Имеется база данных мультимедийных каналов, одним из которых зашумляется некоторый речевой сигнал. Задача заключается в поиске по базе конкретного мультимедийного канала и конкретного фрагмента в нем, который присутствует в сигнале, подверженном воздействию шума, за как можно более короткое время.

Проблема заключается в том, что простой перебор полной базы на современных компьютерах занимает недопустимо большое время, в связи с чем возникает необходимость в более быстрых алгоритмах поиска необходимых данных в базе.

Если представить, что нужно найти фрагмент в одном заранее известном файле в базе данных, то эта задача не составляет особого труда. Следовательно, необходимо определить, в каком файле базы наиболее вероятно содержится искомый фрагмент.

В связи с этим возникает идея разбиения поставленной задачи на две более простые подзадачи, последовательное выполнение которых приведет к нужному результату.

Первую подзадачу можно сформулировать следующим образом: требуется вычислить вероятность для каждого файла базы, с которой искомый фрагмент может находиться в этом файле. После этого отсортировать полученные значения в порядке убывания, тем самым получив список наиболее вероятных «кандидатов» для дальнейшего поиска.

Вторая подзадача заключается в том, что нужно последовательно перебирать наиболее приоритетные файлы по списку, полученному после решения первой подзадачи, до тех пор, пока не будет найден нужный файл.

Наибольший интерес при предложенном подходе решения представляет первая подзадача, так как в случае ее некачественного решения исходная задача сводится к простому перебору всех возможных вариантов, выигрыш в скорости поиска будет отсутствовать.

Для реализации вышеописанного алгоритма вычисления вероятностей имеется множество вариантов решений. В данной работе рассмотрены два подхода, а также их слияние.

Первый подход заключается в поиске для каждого файла базы средних значений MFCC-коэффициентов. Средние значения MFCC-коэффициентов также вычисляются и для зашумленного сигнала [3, 4], после чего рассчитывается коэффициент корреляции этих значений с каждым из полученных в базе значений. Наибольшее значение будет соответствовать максимальному совпадению. После вычисления полученных значений производится сортировка по убыванию, тем самым получается требуемый вектор наиболее приоритетных файлов базы.

Второй подход подразумевает предположение о том, что набор MFCC-коэффициентов, полученных для каждого файла базы, является многомерной случайной величиной с нормальным законом распределения (1):

$$f(x, \mu, \Sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-(x-\mu)^T \Sigma^{-1} (x-\mu)}, x \in R^n, \quad (1)$$

где  $X$  – множество реализаций неизвестной случайной величины, для которой осуществляется поиск наиболее подходящих параметров распределения (1);  $\Sigma$  – ковариационная матрица;  $\mu$  – математическое ожидание.

Сделав такое предположение, можно построить функцию правдоподобия (2):

$$p(X, \mu, \Sigma) = \prod_{i=1}^m f(x_i, \mu, \Sigma), x_i \in X. \quad (2)$$

Решение первой подзадачи таким образом можно свести к решению задачи о поиске точки экстремума функции (2) по всем файлам базы:

$$\mu^*, \Sigma^* = \arg \max p(X, \mu, \Sigma). \quad (3)$$

Файл из базы, для которого ее значение будет максимально, и будет считаться искомым.

Задача точного поиска нужного момента начала фрагмента мультимедийного канала, по сути, является задачей поиска подстроки в строке. Однако в рассматриваемом случае отрывок не является точной копией фрагмента нужного канала из базы в силу шумовых воздействий. В связи с этим применение стандартных алгоритмов, решающих задачу поиска подстроки в строке, не рассматривалось.

Идея предлагаемого метода решения довольно проста: зашумленный сигнал последовательно накладывается на потенциальный оригинал, а затем рассчитывается коэффициент корреляции Пирсона для каждого MFCC-коэффициента, после чего выполняется суммирование полученных значений. Наложение, при котором эта сумма достигнет своего максимального значения, будет соответствовать моменту времени, соответствующему началу фрагмента мультимедийного канала.

Чтобы подобрать пороговое значение  $s$  для сумм корреляций коэффициентов, использована следующая математическая модель:

$$s = \mu + k\sigma,$$

где  $\mu$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение. Подобрал необходимое значение коэффициента  $k$ , можно достичь ситуации, в которой пороговое значение  $s$  будет превышаться только в случае, когда найден искомый фрагмент. Этой модели соответствует рис. 1.

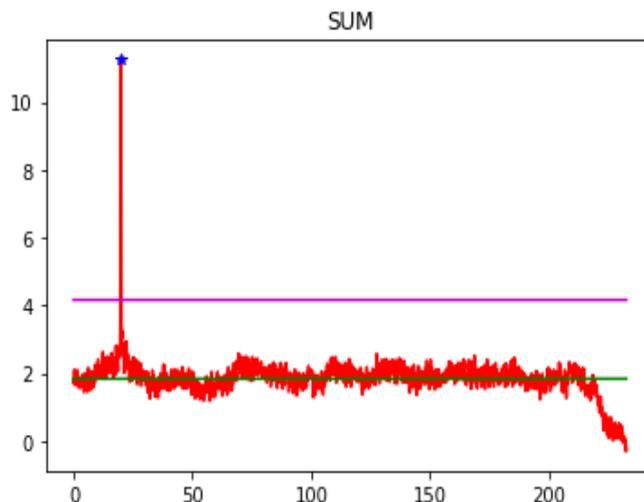


Рис. 1. Превышение установленного порога максимальным значением

В качестве оценки результатов работы алгоритма точного поиска использовались два показателя: FA и FR. Первый показывает, при каких значениях  $k$  возможен ошибочный выбор файла в базе, второй – при каких значениях  $k$  значение корреляции для искомого файла не превысит порога  $s$ , что будет означать отсутствие выбора или ошибочное определение нужного файла. Если эти графики будут пересекаться в нуле на оси  $k$ , то это будет значить, что ошибки отсутствуют вовсе.

Результаты работы алгоритма медленного поиска фрагмента приведены на рис. 2, а. Результат можно считать хорошим, так как получен допустимый процент ошибки даже при очень низких значениях отношения сигнал/шум (Signal to noise ratio, SNR).

Результаты работы алгоритма быстрого поиска наиболее подходящего мультимедийного канала удобнее всего отражать при помощи диаграмм. На рис. 2, б, горизонтальная ось диаграмм показывает предсказанную быстрым алгоритмом позицию заранее известного мультимедийного канала, который выступал в роли шумового сигнала, в сравнении со всем остальными каналами из базы. При  $SNR = 0$  результаты работы оказались удовлетворительными, однако, при понижении этого значения результат работы алгоритма заметно ухудшается.

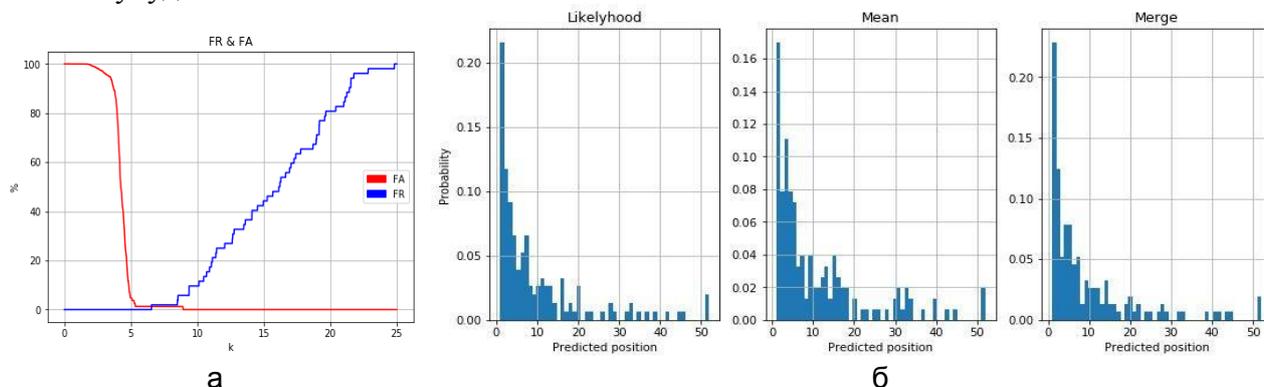


Рис. 2. Графики FR и FA для метода точного поиска фрагмента (а); диаграммы результатов алгоритма быстрого поиска в базе данных (б)

**Литература**

1. Davis S., Mermelstein P. Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences // *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. – 1980. – V. 28. – № 4. – P. 357–366.
2. Huang X., Acero A. and Hon H. *Spoken Language Processing: A guide to theory, algorithm, and system development*. – Prentice Hall, 2001.
3. Столбов М.Б., Зубов Г.Н. Программные средства шумочистки записей речи // *Речевые технологии*. – 2014. – Т. 1-2. – С. 103–113.
4. Матвеев Ю.Н. Исследование информативности признаков речи для систем автоматической идентификации дикторов // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 2013. – № 2(56). – С. 47–51.



**Белозерчик Александр Сергеевич**

Год рождения: 1970

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, студент группы № М4223

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: a.belozerkhich@gmail.com



**Кабаров Владимир Иосифович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, ст. преподаватель

e-mail: kabarov@speechpro.com

**УДК 004.891.3**

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ  
УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ КЛИЕНТОВ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ПРИ ГОЛОСОВЫХ ОБРАЩЕНИЯХ В КОНТАКТНЫЕ ЦЕНТРЫ**

**Белозерчик А.С., Кабаров В.И.**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н. Рыбин С.В.**

В работе рассмотрены возможности использования количественно-временных параметров устной речи в диалоге оператора контактного центра с клиентом для оценки качества обслуживания и удовлетворенности клиентов. Приведен пример практического использования количественно-временных параметров в задачах контактного центра, намечен план дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** распознавание речи, автоматический анализ текстов, искусственный интеллект, речевая аналитика, контактные центры.

Производительность и точность технологии распознавания речи (ASR) достигли уровня, позволяющего к текстам распознанной спонтанной устной речи эффективно применять методы автоматического анализа текста (АОТ) – мультидисциплинарного направления, сочетающего в себе методы специальной лингвистической обработки и анализа языковых единиц с использованием математических методов анализа данных и машинного обучения.

Развитие технологий ASR и АОТ способствовало развитию коммерческих систем анализа речевой информации, имеющих обобщенное название системы речевой аналитики (РА). Большинство таких систем в решении аналитических задач опираются на ресурсоемкие методы анализа различных языковых единиц текста [1], при этом количественные и временные характеристики речи, отражающие невербальные признаки устной речи или же общий характер коммуникации в диалоге, для анализа практически не используются. Настоящая работа содержала описание метода анализа спонтанной устной речи телефонных переговоров в контактном центре, который основан на анализе ряда количественно-временных параметров (КВП) речи дикторов.

В качестве источника КВП телефонных диалогов операторов контактного центра с клиентами был использован набор параметров телефонного соединения и речевой активности дикторов, которые используются в системе РА Smart Logger разработки

компании ООО «Центр речевых технологий». Примеры параметров КВП Smart Logger представлены в таблице, полный перечень содержится в пользовательской документации, общее количество КВП – 29 параметров.

Таблица. КВП системы PA Smart Logger

№	Название параметра
1.	Параметры речевой активности
1.1.	Доля одновременной речи, %
1.2.	Доля речи клиента, %
1.3.	Длительность максимального участка речи клиента, с
1.4.	Длительность молчания, с
1.5.	Количество перебиваний речи клиента оператором, Int
1.6.	Доля разговора, когда оба молчат, %
1.7.	Доля речи оператора относительно речи клиента, %
2.	Параметры телефонного соединения
2.1.	Время ожидания в очереди, с
2.2.	Длительность вызова, с
2.3.	Длительность максимального удержания вызова, с
2.4.	Инициатор окончания звонка оператор, bool
2.5.	Количество переводов звонка, Int
3.	Дополнительные параметры
3.1.	Число повторных звонков клиента за день, Int

КВП можно разделить на три условные группы: параметры речевой активности, технологические параметры телефонного соединения и дополнительные параметры, которые могут содержать любую другую информацию, важную для описания контекста коммуникативной ситуации, например, количество повторных звонков клиента, его пол или возраст, и др.

В качестве исходной разметки с оценками удовлетворенности клиентов использовались индикаторы, характеризующие эмоциональное состояние дикторов по голосу. В системе Smart Logger данные индикаторы опирались на акустические признаки речи, а в качестве первичных признаков используются следующие параметры устной речи: скорость, громкость, мелодичность, ритмичность, интонированность.

Таким образом, с помощью системы Smart Logger были отобраны фонограммы с признаками возбуждения клиентов, обусловленного недовольством низким качеством обслуживания. В качестве дополнительного параметра отбора проблемных фонограмм использовались экспертные оценки, содержащиеся в оценочных картах, которые заполняются супервизорами по результатам контрольного прослушивания звонков.

В результате анализа зависимостей между уровнем удовлетворенности клиентов и значениями КВП было выявлено, что в 84% случаев низкие значения удовлетворенности отмечаются в диалогах, для которых доля речи клиента превышает 65%.

Данная эмпирическая закономерность логически объяснима. Действительно, диалог оператора и клиента по стандартному сценарию предполагает, что разговор ведет оператор, давая развернутые ответы на вопросы клиента. В данном случае доля речи оператора будет существенно больше доли речи клиента, соотношение речевой активности оператора и клиента для типового сценария соответствует, как правило, принципу Парето (80/20).

В том случае, если клиент высказывает претензию, стандартная схема коммуникации изменяется, практически, зеркально – разговор ведет клиент, который пытается донести

свою проблему, и развернуто излагает суть своей претензии. При этом показатели его речевой активности значительно выше нормы.

Выявленные на практике закономерности очевидны и находят свое развитие в дальнейших возможных методах количественного анализа коммуникативных и языковых единиц для оценки бизнес-показателей в работе контактного центра.

В планах проведение исследований по выявлению зависимостей между уровнем удовлетворенности клиентов и КВП с использованием нейронных сетей. Данный метод и полученные результаты описаны в работе [2].

Отдельного внимания заслуживает подход к анализу зависимостей между уровнем удовлетворенности клиентов и качественными характеристиками текстов распознанных телефонных переговоров или чатов. В частности, в [3] говорится об исследованиях Е.И. Горошко, посвященных различиям в морфологии и синтаксисе текстов, написанных «мужским» и «женским» стилями. В качестве параметров, определяющих такие различия, упоминаются такие характеристики текста, как предметность, активность, динамизм, качественность. Предложены методы численной оценки этих параметров на основе подсчета частей речи:

$$\begin{aligned} \text{Предметность} &= \frac{P_n + P_p}{P_a + P_v}, \\ \text{Качественность} &= \frac{P_a + P_{adv}}{P_n + P_v}, \\ \text{Динамизм} &= \frac{P_v}{P_n + P_a + P_p}, \end{aligned}$$

где  $P_n$  – количество существительных в анализируемом тексте;  $P_p$  – количество местоимений в анализируемом тексте;  $P_a$  – количество прилагательных в анализируемом тексте;  $P_v$  – количество глаголов в анализируемом тексте;  $P_{adv}$  – количество причастий в анализируемом тексте.

Опыт авторов работы с реальными фонограммами переговоров в контактном центре позволяет предположить, что характеристики активности, динамизма, предметности применительно к текстам распознанных переговоров с клиентами могут являться индикаторами уровня их удовлетворенности качеством обслуживания.

## Литература

1. Mishne G., Carmel D., Hoory R., Roytman A., Soffer A. Automatic Analysis of Call-center Conversation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.99.4046&rep=rep1&type=pdf>, своб.
2. Paprzycki M., Abraham A., Guo R. and Muklamala S. Data Mining Approach for Analyzing Call Center Performance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/cs/papers/0405/0405017.pdf>, своб.
3. Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э., Клышинский Э.С., Лукашевич Н.В., Сапин А.С. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных. – М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. – 269 с.

**Верхоляк Оксана Владимировна**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
студент группы № М4220Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

email: overkholyak@gmail.com

УДК 004.934.2

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ LSTM  
В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ПО ГОЛОСУ****Верхоляк О.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Карпов А.А.**

Целью работы являлся анализ метода контекстного моделирования эмоциональных состояний, основанного на глубокой нейросетевой архитектуре с длинной кратковременной памятью. Контекст определялся как фиксированная последовательность аудиокадров, непосредственно предшествующая или следующая за данным аудиокадром. Задачи включали в себя эксперименты с базой данных IEMOCAP, состоящей из диалогов, наигранных или симпровизированных профессиональными актерами. Результаты представлены по распознаванию трех уровней валентности и активации в виде невзвешенного среднего recall (UAR).

**Ключевые слова:** автоматическое распознавание эмоций, рекуррентные нейронные сети с длинной кратковременной памятью, моделирование контекста, IEMOCAP.

База данных IEMOCAP [1] содержит в себе высказывания 10 актеров, разбитые на диалоги. Количество высказываний в каждом диалоге разнится в диапазоне от 10 до 90, гистограмма распределения показана на рис. 1. Диалоги записаны на английском языке и содержат в себе заранее подготовленные сценарии из наиболее распространенных жизненных ситуаций. Актерам также позволялось использовать импровизацию, что значительно приближает содержание к естественно выражаемым эмоциям. В каждом диалоге участвовала пара с противоположным друг другу полом. Полный объем корпуса составляет порядка 12 часов аудиовизуальных данных. В данном исследовании использовалась только аудиомодальность для моделирования акустических характеристик сигнала.

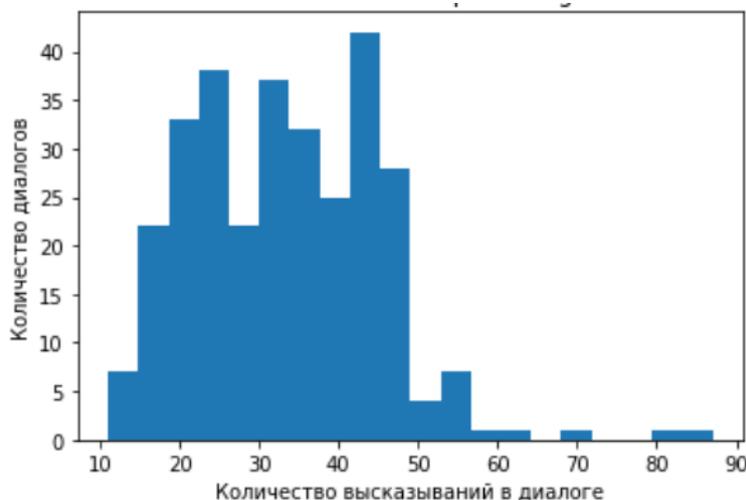


Рис. 1. Гистограмма количества высказываний в диалогах IEMOCAP

Каждому высказыванию присваивалась категориальная метка (возможно, несколько) и 3 следующих значения: валентность, активация и доминанция. Распределение вышеуказанных значений по трем классам представлено на рис. 2. Класс LA соответствует низкой активации (Low Activation), класс HN – высокой активации и негативной валентности (High Negative) и HP – высокой активации и позитивной валентности. Из рис. 2 видно, что три класса имеют достаточно высокую дискриминативность по двум параметрам, кроме доминанции, которая в данных экспериментах не участвует.

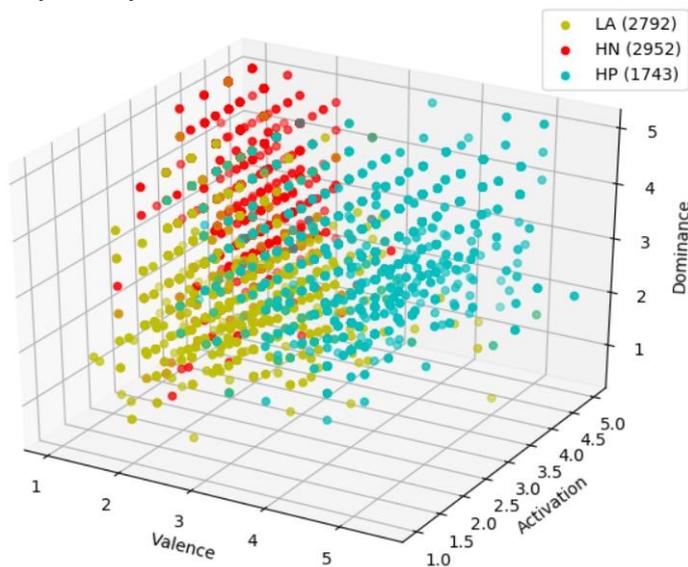


Рис. 2. Распределение значений активации и валентности по 3-м классам

В данном исследовании использовались супрасегментные признаки, полученные с помощью извлечения низкоуровневых признаков на каждом кадре и последующем применении различных функционалов (максимум, минимум и т.д.) Для извлечения и обработки признаков использовалась утилита свободного доступа OpenSmile [2] с конфигурационным файлом 2011 года, который, как было показано в [3], предоставляет оптимальное представление признаков. Длина вектора признаков в конечном представлении равнялась 4139.

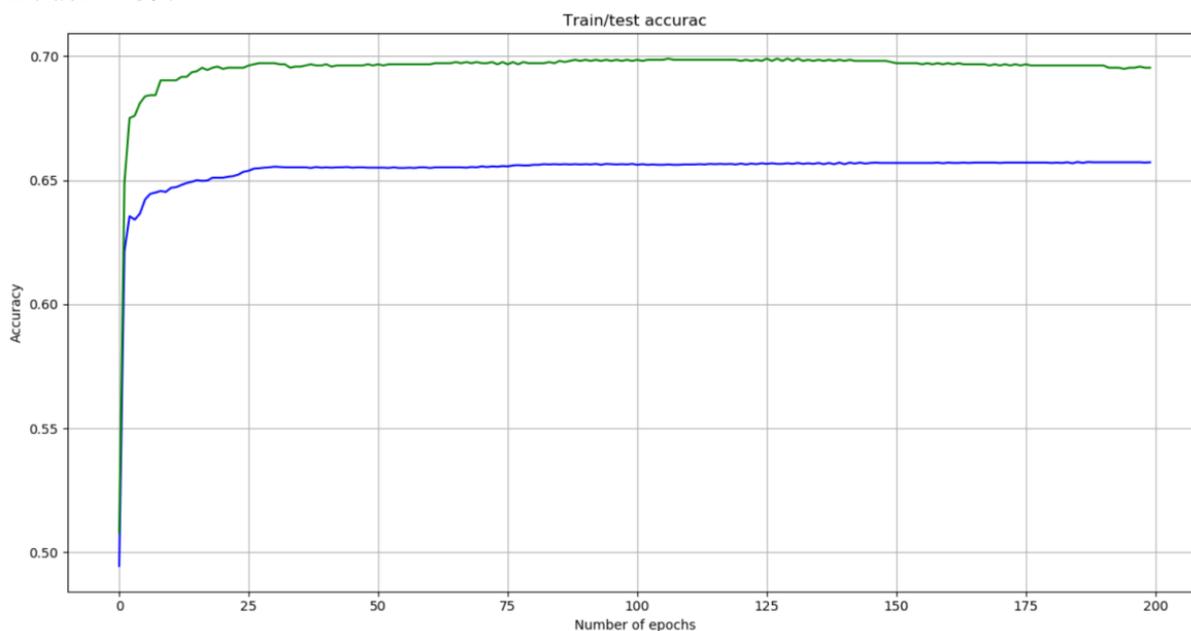


Рис. 3. Кривая обучения. Точность распознавания в зависимости от эпох обучения. Зеленый цвет – обучающие данные, синий цвет – тестовые данные

Архитектура с длинной кратковременной памятью (LSTM) обладает высокой эффективностью моделирования временных последовательностей за счет длинной кратковременной памяти, которая позволяет учитывать произвольно длинную контекстную информацию и избежать проблемы исчезающих градиентов [4]. В данной работе экспериментальная установка заключалась в обучении регрессионной модели на основе LSTM для двух параметров (валентности и активации) отдельно. К результатам предсказаний регрессионной модели применялись два пороговых значения, разбивающие множество значений на три класса. Для оценки качества распознавания применялось невзвешенное среднее значение recall, чтобы элиминировать эффекты несбалансированности 3-х классов. Размер анализируемого контекста в ходе экспериментов варьировался от 5 до 25 высказываний. Типичная кривая обучения представлена на рис. 3.

**Выводы.** Результаты обучения показывают, что модель обучается достаточно быстро, и уже к 25-й эпохе достигает своей максимальной производительности. Разница между кривой обучающих данных и тестовых данных говорит о переобучении модели и необходимости применять такие методы, как регуляризация и dropout. Использование двунаправленной модели, позволяющей анализировать контекст не только предыдущий, но и последующий, также имеет потенциал к улучшению качества распознавания.

### Литература

1. Busso C., Bulut M., Lee C., Kazemzadeh A., Mower E., Kim S., Chang J., Lee S., and Narayanan S. IEMOCAP: Interactive emotional dyadic motion capture database // *Journal of Language Resources and Evaluation*. – 2008. – V. 42. – № 4. – P. 335–359.
2. Eyben Florian, Martin Wöllmer and Björn Schuller. Opensmile: the munich versatile and fast open-source audio feature extractor // *In Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia*. – 2010. – P. 1459–1462.
3. Verkholyak O., Karpov A. Combining utterance-level and frame-level feature representations for emotion classification from speech // *In Proc. IEEE International Symposium «Video and audio signal processing in the context of Neurotechnologies»*. – 2017. – P. 31.
4. Кипяткова И.С., Карпов А.А. Разновидности глубоких искусственных нейронных сетей для систем распознавания речи // *Труды СПИИРАН*. – 2016. – Вып. 49. – № 6. – С. 80–103.



**Главач Мирослав**

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: mhlavac@kky.zcu.cz



**Карпов Алексей Анатольевич**

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, д.т.н., профессор

e-mail: karpov@iias.spb.su

**UDC 004.8**

**LIPSID DETECTION WITH CNN**

**Главач М., Карпов А.А.**

**Научные руководители:** д.т.н., профессор Карпов А.А.; д.т.н., профессор Железны М.

This paper presents a preliminary work done in the task of lips reading by providing additional information for speaker specific adaptation. A neural network is created for the task of classification with the last but one layer providing feature representation of the input images. Images of speaker's lips are extracted from the UWB-05-HSCAVC dataset.

**Keywords:** convolutional neural network, images, lips, visual speech.

The problem of lip reading consists of tasks of the region of interest detection and the speech recognition. In current state-of-the-art methods, the whole region of interest (lips or whole face) is processed by the use of neural networks. Because every speaker has different characteristics of lips and their movement we propose a method of adaptation based on analysis of the region around the speaker's lips. This approach is based on previous research in the task of audio speech recognition on the method named iVector [1]. This method adapts the speech recognition algorithm to improve the recognition for the current speaker.

iVector is a feature representation of speaker and surrounding environment which has a fixed length. These features were developed for the purpose of speaker identification, but due to their good performance and low computational demands, they are popular in speech recognition too.

**LipsID.** The iVector method creates a low dimensional feature vector to represent the speaker. In the same way, the proposed LipsID method creates a feature vector by creating a Deep Neural Network to perform the task of classification and then separating the last layer to provide a feature vector from the trained network. The network topology was chosen from previous experiments as VGG-M [2] adaptation. It consists of two convolutional layers followed by max-pooling. This block is repeated two more times and then followed by three fully connected layers. The full topology is described in the following table.

The activation functions used for convolutional layers are ReLU, fully connected layers have linear activations and the last fully connected layer has softmax activation function. After each

other convolution there is a batch normalisation layer and after the first two fully connected layers there is a dropout layer with 50% probability.

The network was trained using Stochastic Gradient Descent method with parameters of learning rate = 0.1, decay =  $10^{-6}$ , momentum=0.9.

Table. LipID network topology

Conv2D(64.3×3.CReLU)	Conv2D(128.3×3.ReLU)	Conv2D(256.3×3.ReLU)	FC(4096)
Conv2D(64.3×3.ReLU)	Conv2D(128.3×3.ReLU)	Conv2D(256.3×3.ReLU)	Dropout(0.5)
Batch Normalization	Batch Normalization	Batch Normalization	FC(4096), DO
Maxpooling(2×2)	Maxpooling(2×2)	Maxpooling(2×2)	FC(64)

**Training data.** Images were taken from UWB-05-HSCAVC [3]. This data set was recorded at the University of West Bohemia. It consists of recordings with 100 different speakers, 39 males, 61 females, in a laboratory environment. Every speaker is recorded in one session. The text of the corpus is in Czech language and contains all the phonemes from the Czech language. The speaker reads 200 sentences from which first 50 sentences are common for every speaker and the rest sentences are different. Synchronization of audio and video streams is done by clapperboard.

We have used a keypoint detection algorithm Chehra to find facial keypoints and then used the mouth keypoints positions to extract the regions around the mouth. Chehra is a keypoint detector based on statistical modelling. The model adapts during the detection process to provide better results. We have got 83 32 images with annotation of the speaker by randomly choosing from all the annotated images. The selection process was implemented to choose the same number of images for each speaker. The data only contains 64 speakers as the rest of the database was not available at the moment of training the network. We have created two sets of the data:

1. Training data – 74 994;
2. Testing data – 8 333 images.

The training took 50 epochs with categorical cross-entropy as the loss function and finished with the error of  $6 \times 10^{-6}$ . The accuracy finished at 99.1%.

This trained network can be then used to provide feature representation for the lips – LipsID. By separating the last classification layer and using the fully connected layer to provide 4096 features (Figure).

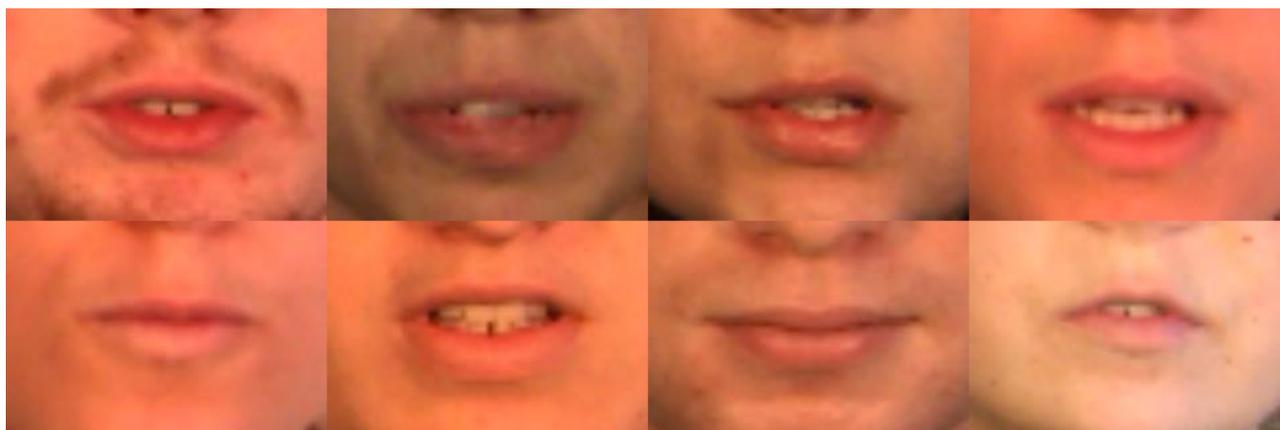


Figure. Neural Network training data examples

The method LipsID to provide features from lips images was presented in this paper. A vector of 4096 features is generated by the last but one fully connected layer. In the future work, the network will be trained to analyse sequences of continuous lips movement to provide a feature vector for the whole sequence. This will be done by either using 3D convolutional layers [4] or by using LSTM [5] recurrent layers.

**References**

1. Saon G., Soltau H., Nahamoo D., Picheny M. Speaker adaptation of neural network acoustic models using i-vectors // In Proc. IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding. – 2013. – P. 55–59.
2. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf>, своб.
3. Císar P., Železný M., Krňoul Z., Kanis J., Zelinka J., Müller L. Design and recording of Czech speech corpus for audio-visual continuous speech recognition // In Proc. International Conference on Auditory-Visual Speech Processing. – 2005. – P. 1–4.
4. Ji S., Xu W., Yang M., Yu K. 3D Convolutional Neural Networks for Human Action Recognition // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2013. – V. 35. – P. 221–231.
5. Gers F.A., Schmidhuber J., Cummins F. Learning to forget: continual prediction with LSTM // In IET Conference Proceedings. – 1999. – P. 850–855.

**Закуанова Маргарита Ринатовна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, студент группы № М4121

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: rita\_zakuanova@mail.ru

**Калиновский Илья Андреевич**

Год рождения: 1990

ООО «ЦРТ-инновации», научный сотрудник, к.т.н.

e-mail: kalinovskiy@speechpro.com

**УДК 004.932.2****ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СПУФИНГ-АТАК НА ЛИЦЕВУЮ БИОМЕТРИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА ТЕКСТУРЫ ЛИЦА****Закуанова М.Р.** (Университет ИТМО), **Калиновский И.А.** (ООО «ЦРТ-инновации»)**Научный руководитель – к.т.н. Щемелинин В.Л.** (ООО «ЦРТ-инновации»)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В работе рассмотрено применение LBP-дескриптора для решения задачи детектирования спуфинг-атак на лицевую биометрическую систему. Приведены результаты обучения различных классификаторов на гистограммах LBP-дескрипторов, построенных для реальных и фальсифицированных изображений лиц из базы CASIA Face Anti-Spoofing Database. Предложена модель, достигающая 80% точности классификации.

**Ключевые слова:** спуфинг-атака, биометрия, распознавание лиц, LBP.

В настоящее время с развитием информационных технологий все чаще потребность человека в обеспечении собственной безопасности и сохранности имущества решается средствами биометрических систем аутентификации. Получение доступа происходит после анализа биометрических показателей: отпечатков пальца, голоса, черт лица, сетчатки глаза. Самой уязвимой частью данных систем является сенсор, который получает информацию о человеке. Злоумышленники для получения доступа могут использовать муляжи отпечатков пальцев, линзы, фотографии или видеозаписи для обмана системы. Попытка подмены биометрических признаков называется спуфинг-атакой. Наиболее популярны системы, оперирующие изображениями лица человека, так как при распознавании лица нет необходимости в физическом контакте с оборудованием [1]. На данный момент не существует идеального решения задачи детектирования спуфинг-атак, так как на каждое новое выпущенное решение, злоумышленниками подбираются пути обхода. Также существует необходимость поиска компромиссного решения исходя из стоимости оборудования, точности и времени идентификации. Так, например, системы, использующие дополнительные датчики или 3D-сканеры, имеют высокую эффективность в детектировании спуфинг-атак, однако затраты на внедрение такого оборудования весьма высоки.

В данной работе рассмотрен вариант решения задачи детектирования спуфинг-атак с помощью LBP-дескриптора, который позволяет кодировать текстуру изображения.

Локальные бинарные шаблоны (Local Binary Patterns, LBP) – это текстурный дескриптор, который обрел популярность в 2002 году благодаря работе [2]. LBP вычисляет локальное представление текстуры, которое строится путем сравнения интенсивности каждого пикселя с интенсивностями его соседей из некоторой окрестности.

$$LBP_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^p, \quad (1)$$

где  $s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ ;  $g_c$  – значение центрального пикселя в градациях серого;  $g_p$  – значение  $p$ -го пикселя в градациях серого.

Первым шагом в построении дескриптора LBP является представление изображения в градациях серого. Далее для каждого пикселя выбирается окрестность размера  $R$ , окружающая центральный пиксель и количество пикселей  $P$ . Затем для центрального пикселя вычисляется значение LBP по формуле (1) и сохраняется в выходной двумерной матрице с той же размерностью, что и входное изображение. Однако в дальнейшем для классификации изображений необходим вектор признаков, который получается путем построения гистограммы преобразованного изображения.

Таким образом, применяя описанный выше подход, каждому изображению ставится в соответствие  $P$ -мерный вектор, описывающий текстуру реальных и фальсифицированных изображений лиц.

Исходные данные базы CASIA (CASIA Face Anti-Spoofing Database) [3] представлены в виде видеофайлов. Обучающая выборка включает в себя 30 человек, тестовая – 20. Каждый человек представлен на 3 оригинальных видеозаписях и 9 подложных. Видео имеют различную степень качества записи: низкое, нормальное, высокое. Спуфинг-атаки осуществляются с использованием распечатанной подложной фотографии, распечатанной фотографии с отверстиями для глаз и планшета с воспроизводимым видео (рис. 1).

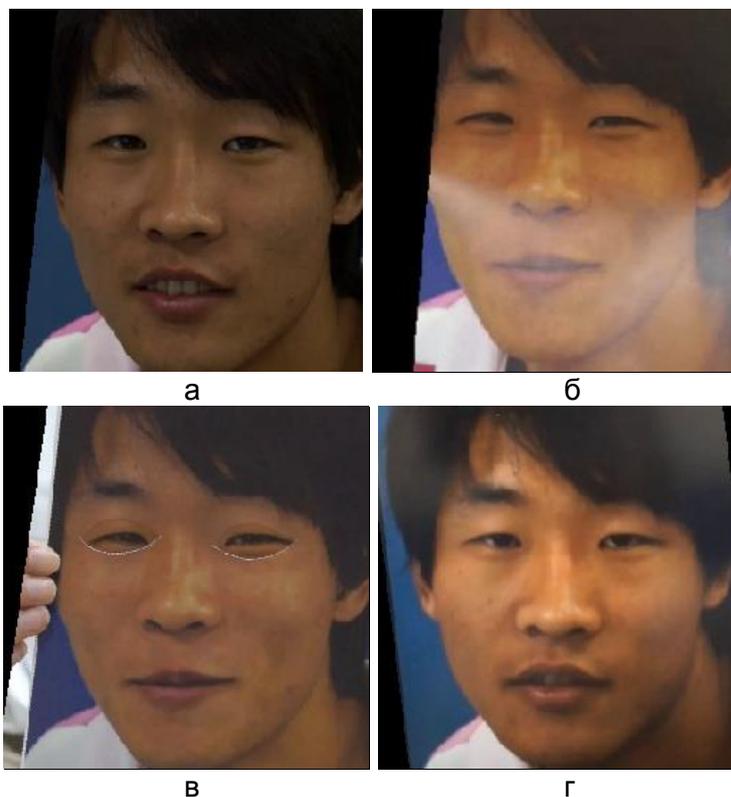


Рис. 1. Примеры изображений из базы CASIA: реальное (а); подложная фотография (б); подложная фотография с вырезанными глазами (в); планшет (г)

Предобработка базы была осуществлена следующим образом. Все видео разбивались на кадры, затем для каждого из них запускался детектор лица, и осуществлялась обрезка изображения до размера  $256 \times 256$  пикселей, с целью взятия «полезной» информации, относящейся только к области лица. Далее выполнялась конвертация изображения в градации серого, и рассчитывались гистограммы LBP-дескрипторов (рис. 2).

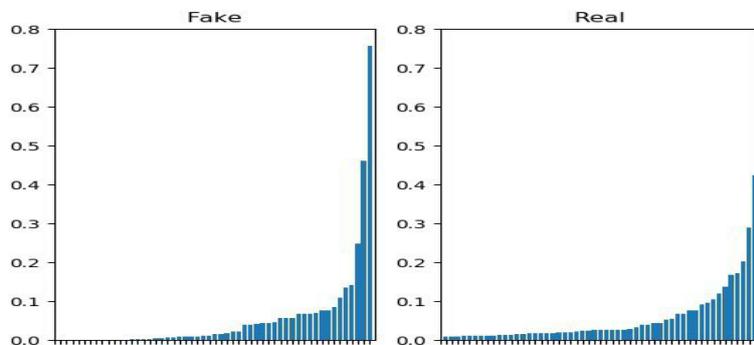


Рис. 2. Пример средних LBP-гистограмм для фальсифицированного и реального классов

Таблица 1. Используемые классификаторы

Классификатор	Описание	Заданные параметры
LinearSVC	Модификация метода машин опорных векторов, позволяющая решать задачи многоклассовой классификации. Осуществляет поиск разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором в исходном пространстве признаков	$C=10$ , $random\_state=42$ , $probability=True$
Random Forest	Алгоритм случайного леса использует ансамбль из множества решающих деревьев. Каждое дерево строится на отдельном подмножестве обучающей выборки	$n\_estimators=25$ , $max\_depth=15$
Extra Trees	Модификация случайных лесов. Основное отличие состоит в стратегии выбора порога для каждого узла дерева, используемого отбора признаков-кандидатов, который в данном случае задается случайным образом	$n\_estimators=25$ , $max\_depth=15$

Для решения задачи классификации LBP-гистограмм были использованы различные алгоритмы из библиотеки scikit-learn [4] (табл. 1). Обучаемая модель получает в качестве входных данных список векторов признаков изображений и список классов, к которому относится конкретный вектор: реальный или фальсифицированный.

Для оценки результатов работы алгоритма детектирования спуфинг-атак использовались следующие показатели: FAR (False Acceptance Rate), FRR (False Recognition Rate), доля правильно классифицированных видеотестовой выборки (accuracy).

В табл. 2 приведены предварительные результаты исследования влияния различных значений параметров расчета LBP-дескрипторов (количество пикселей, радиус) на качество классификации тестовой выборки для 3-х типов классификаторов при пороге  $T=0,5$ .

Таблица 2. Результаты экспериментов

Обучающая выборка	Параметры LBP	Метрики	LinearSVC	Random Forest	Extra Trees
Обучение на всех данных	(24, 8)	FRR	0,979	0,613	0,635
		FAR	0,001	0,082	0,075
		Accuracy, %	75	80	81

Обучающая выборка	Параметры LBP	Метрики	LinearSVC	Random Forest	Extra Trees
Обучение на всех данных	(16, 2)	FRR	0,997	0,607	0,646
		FAR	0,001	0,059	0,052
		Accuracy, %	75	80	80
Использование только спуфинг-атак с планшета	(16, 2)	FRR	0,589	0,385	0,394
		FAR	0,427	0,378	0,368
		Accuracy, %	51	62	62
Обучение только на видео высокого разрешения	(16, 2)	FRR	1	1	1
		FAR	0	0,003	0,001
		Accuracy, %	75	75	75
Отношение количества реальных фотографий к подложным в обучающей выборке 2:1	(16, 2)	FRR	0,184	0,264	0,273
		FAR	0,452	0,251	0,238
		Accuracy, %	57	77	78

На рис. 3 приведены графики FAR, FRR для моделей Extra Trees, обученных на всех данных и только на видео высокого разрешения. При этом тестирование последней модели также было выполнено только на соответствующем подмножестве тестовых данных. Качество классификации гистограмм LBP-дескрипторов, построенных по видео высокого разрешения, выше, так как на реальных изображениях низкого разрешения появляются артефакты, схожие с признаками фальсифицированных изображений.

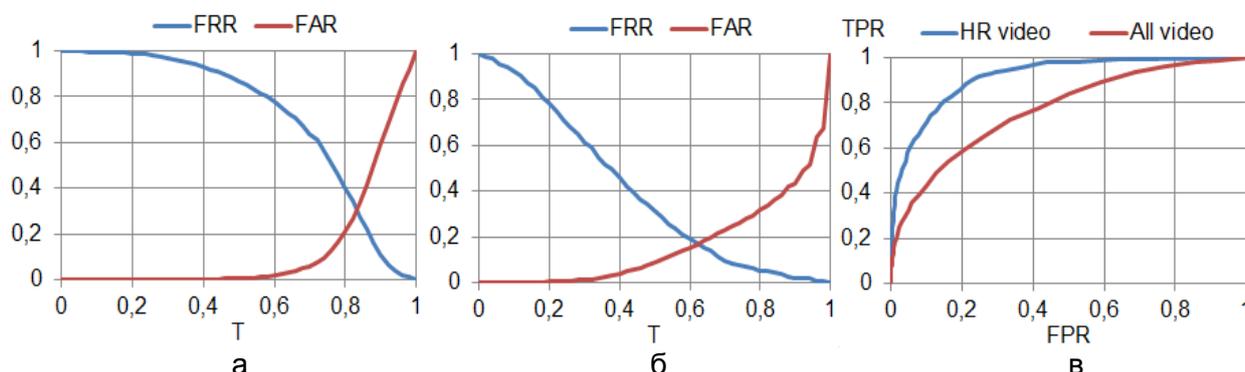


Рис. 3. Графики FRR, FAR для всей выборки (а) и для видео высокого качества (б); ROC-кривые (в)

Таким образом, при использовании всех подмножеств данных из базы CASIA удалось добиться правильного определения принадлежности личности к реальному или фальсифицированному классу в 80% случаев, при этом в случае использования видеозаписей только высокого качества надежность достигает 91%.

## Литература

1. Лаврентьева Г.М., Матвеев Ю.Н., Щемелинин В.Л. Разработка технологии автоматической бимодальной верификации по лицу и голосу с защитой от использования подложных биометрических образцов // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2017. – Т. 4. – С. 4–8.
2. Ojala T., Pietikäinen M., Mäenpää T. Machine Vision and Media Processing // University of Oulu P.O.Box 4500. – 2002. – 35 p.
3. Описание CASIA Face Anti-Spoofing Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/FaceAntiSpoofDatabases.asp>, своб.
4. Scikit-learn documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scikit-learn.org/stable/>, своб.

**Казиева Назым**

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: kaznaz@list.ru

**Матвеев Юрий Николаевич**

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, д.т.н.

e-mail: matveev@speechpro.com

УДК 612-087-1

**ШТРИХОВОЕ КОДИРОВАНИЕ В БИОМЕТРИИ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯХ****Казиева Н., Матвеев Ю.Н.****Научный руководитель – д.т.н. Матвеев Ю.Н.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В работе обсуждалась проблема применения штрихового кодирования в биометрии и ее приложениях. Представлен обзор существующих решений этой проблемы в биометрии по ее основным модальностям – лицу и его фенотипу, радужной оболочке глаза, отпечаткам пальцев, ДНК, голосу и т.д. Показана динамика роста емкости штрих-кодов, определен выбор их типов для использования в лицевой биометрии, приведены примеры новых решений на базе цветных QR-кодов.

**Ключевые слова:** биометрия и ее модальности, штриховое кодирование, линейные, двумерные и цветные штрих-коды.

**Введение.** В последние годы в нашу повседневную жизнь широко вошли штриховые коды: мы читаем их на рекламных щитах, на чеках в магазинах и платежных поручениях в банках, видим на купленных товарах и продуктах, бирках одежды и багажа, используем в регистрационных талонах, представляем себя на бейджах и стикерах и т.д.

При этом сами штрих-коды «живут своей самостоятельной жизнью» и, стремительно развиваясь, «захватывают» все новые и новые приложения. Сначала простые линейные штрих-коды трансформировались в композитные (составленные из нескольких линейных), потом в двумерные штрих-коды (читаемые в любых направлениях), а в настоящее время уже появились цветные трехслойные и многослойные штрих-коды.

Среди применений штрихового кодирования (ШК) интерес представляют биометрия и ее приложения – медицина и криминалистика. Так, в медицине ШК используются в информационных системах для регистрации, учета и сопровождения пациентов медучреждений, составления медкарт и направлений на процедуры, выписок и рецептов. Поскольку в таком документообороте используются соответствующие штрих-коды, то идентификация пациентов, составление всех документов реализуется очень быстро. В то же время в биометрии, и особенно в лицевой биометрии и связанной с ней криминалистике, ШК используются менее активно и, как показывает практика – буквально в единичных примерах.

При этом необходимость использования ШК в биометрии отмечалась с конца прошлого века, чему примером является статья, написанная 20 лет назад [1]. И совсем

недавно в России принято решение об использовании биометрии в банковских транзакциях, а также введение новой формы ОСАГО с использованием QR-кода, что, возможно, активизирует применение и ШК в биометрии.

С учетом изложенного в настоящей работе представлен обзор известных решений по проблеме ШК в биометрии по ее основным модальностям (лицу и его фенотипу, радужной оболочке глаза, отпечаткам пальцев, ДНК, голосу), и определены задачи на пути решения проблем применения штрихового кодирования в лицевой биометрии.

**Обзор решений штрихового кодирования в биометрии.** На рис. 1 приведены примеры штрих-кодов из трех информационных систем (ИС). Штрих-код на рис. 1, а, используется в ИС компании «Аэрофлот», на рис. 1, б, – в ИС реестра уникальных идентификаторов ученых (ORCID), на рис. 1, в, – в ИС торгового предприятия «Пятерочка». Эти примеры ШК связаны с мобильностью людей, их профессиональной деятельностью и текущими делами, что также связано с идентификацией людей в их повседневной жизни.

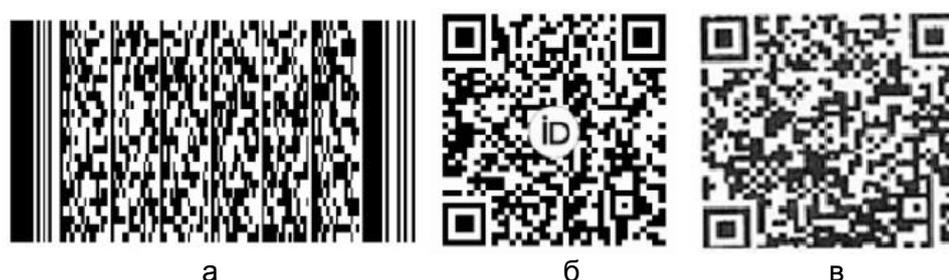


Рис. 1. Примеры штрих-кодов информационных систем

Первое применение линейного штрих-кода для идентификации человека в момент выполнения им электронной транзакции было представлено в работе [2]. Штрих-код был нанесен на руку человека, но по факту он не являлся его биометрическим идентификатором. И тут следует отметить, что биометрическая информация о человеке является достаточно объемной по размеру и специфической по способу ее получения и представления. Исходя из этого, ее запись и использование в рамках первых линейных штрих-кодов была достаточно проблематичной.

Проблема получения биометрической информации о человеке и уменьшения объема этой информации и сейчас еще актуальна, о чем свидетельствует публикация [3]. В работе [3] выполнен анализ применения штриховых кодов для биометрии лица, произведена оценка изученных и предложенных решений.

Следует отметить, что в работе [4] представлен подход к идентификации личности в ограниченной популяции людей на основе генетического штрих-кода. Способ кодирования последовательности нуклеотидов (по факту ДНК) показан на рис. 2. Способ не стандартный и, поэтому авторы работы [3] перевели последовательность нуклеотидов из [4] с информацией о нем в QR-код, который показан с правой стороны. При этом необходимо добавить, что вся информация (включая и последовательность нуклеотидов) легко читаются из QR-кода мобильными устройствами с программами чтения QR-кодов.

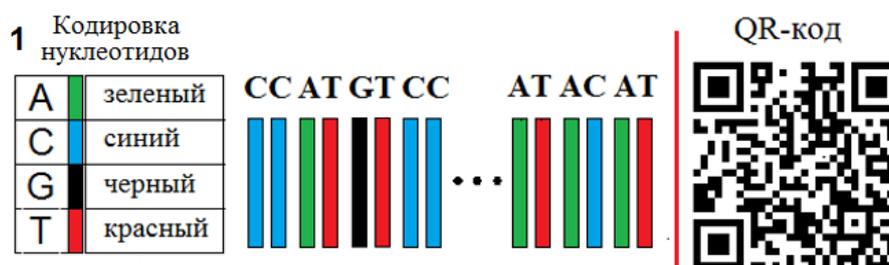


Рис. 2. Последовательность нуклеотидов и способы ее представления

В общем же случае идентификационная часть ДНК человека может включать нескольких сотен нуклеотидов, что может затруднить ее запись в ШК.

Следующим примером из работы [5] авторы развили идею «биологического штрих-кода человека» и показали способ записи фенотипа лица человека в форме линейного штрих-кода EAN-8 и EAN-13. Это позволило идентифицировать лицо каждого человека даже в условиях изменения его выражения и возраста. Как отмечают авторы [3], развитие этого подхода можно ожидать с применением Code 128, а также цветных линейных и цветных двумерных штрих-кодов.

Характеристики перечисленных выше штрих-кодов можно найти на сайте: Barcode Comparison Chart <http://www.makebarcode.com/specs/barcodechart.html> [3].

В последнее время в технологии штрихового кодирования используются цветные двумерные штрих-коды (Color 2D barcode [3]), которые «решают проблему емкости штрих-кодов» и, таким образом, открывают новые возможности для использования штрихового кодирования в биометрии и ее приложениях. Цветные двумерные штрих-коды могут содержать три и более слоев. Например, цветной QR-код с тремя слоями является по факту цветным изображением, каждый слой которого является отдельным QR-кодом. Емкость такого ШК составит  $3 \times 7098$  буквенно-цифровых знаков. В общем случае цветной QR-код и содержит хотя бы один слой с QR-кодом, а в оставшихся слоях – любую другую информацию (например, изображения в шкале GRAY).

### Литература

1. Soldek J. et al. Image Analysis and Pattern Recognition in Biometric Technologies // Proceedings International Conference on the Biometrics: Fraud Prevention, Enhanced Service. – 1997. – P. 270–286.
2. Heeter T.W. Method for verifying human identity during electronic sale transactions. Patent US 5878155. Publication date: 02.03.99.
3. Кухарев Г.А., Казиева Н., Цымбал Д.А. Технологии штрихового кодирования для задач лицевой биометрии: современное состояние и новые решения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 1. – С. 72–86.
4. Гарафутдинов Р.Р. и др. Генетическое штрихкодирование как подход к идентификации личности на примере популяции русских Республики Башкортостан // Вестник биотехнологии. – 2012. – Т. 8. – № 3. – С. 19–25.
5. Кухарев Г.А., Матвеев Ю.Н., Щеголева Н.Л. Экспресс-метод формирования штрих-кода по изображениям лиц // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. – 2014. – № 90(2). – С. 99–106.



**Калиев Арман**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: kaliyev.arman@yandex.kz



**Рыбин Сергей Витальевич**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: rybin@speechpro.com

УДК 004.934.5

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ФОНЕМ**

**Калиев А., Рыбин С.В.**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Рыбин С.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

Целью работы являлся обзор методов определения длительностей фонем для синтеза речи на основе глубоких нейронных сетей.

**Ключевые слова:** синтез речи, речевые сигналы, длина фонем, нейронные сети, акустические параметры.

Методы определения длин фонем имеют достаточно долгую историю. Так, для формантных систем синтеза речи длина фонем определялась с помощью записанных правил [1]. Для конкатативных систем не требовалось предсказывания длин фонем, так как конкатативные системы сами содержали отрезки речевых сигналов, которые затем склеивались [2].

Появление статистического параметрического синтеза речи, основанного на скрытых марковских моделях (СММ), инициировало создание моделей определения длин фонем [3, 4]. В частности, при синтезе речи на основе СММ [5, 6] были использованы полумарковские модели [3] с гауссовским распределением длительностей фонем (рис. 1).

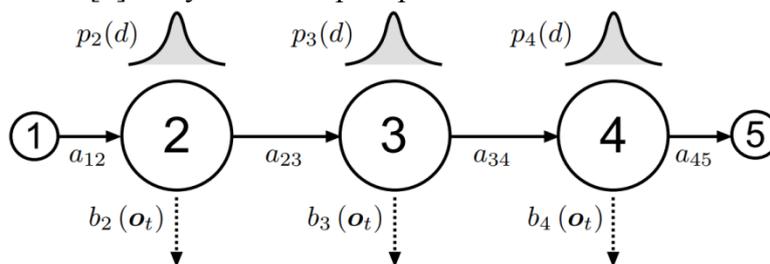


Рис. 1. Пример полумарковской модели с гауссовским распределением длительностей фонем

Современные системы синтеза речи используют глубокие нейронные модели для предсказания просодических и акустических параметров. В 2016 году группа ученых во главе Симоном Кингом в Университете Эдинбурга представила модель глубокой нейронной сети для предсказания длин фонем [7]. Данная глубокая нейронная сеть состояла из 6 слоев, где в каждом слое было 256 узлов. Для оптимизаций нейронной сети использовался параметр среднеквадратического отклонения. Сама программа была написана на языке Theana. Обучение шло на речевом корпусе, известном под именем «Эмма» [8]. Корпус состоял из 170 минут записей, или из 92 тысяч произнесенных фонем. По результатам исследования С. Кинг и др. обучили нейронную сеть, которая предсказывала длину фонем с отклонением не более 32,5 мс. По их данным для 90% процентов тестовой выборке нейронная сеть показывала отклонение не более 17 мс.

Уже в 2017 году ученые Б. Чен и др. эту же проблему решали с помощью нейронных сетей типа LSTM (Long short-term memory) [9] (рис. 2). Ими были представлены три модели нейронных сетей LSTM с разными архитектурными решениями. Но полученные окончательные результаты незначительно различались между тремя моделями сетей. Часто разница в точности между наиболее худшей и наиболее точной моделью была не более 2 мс.

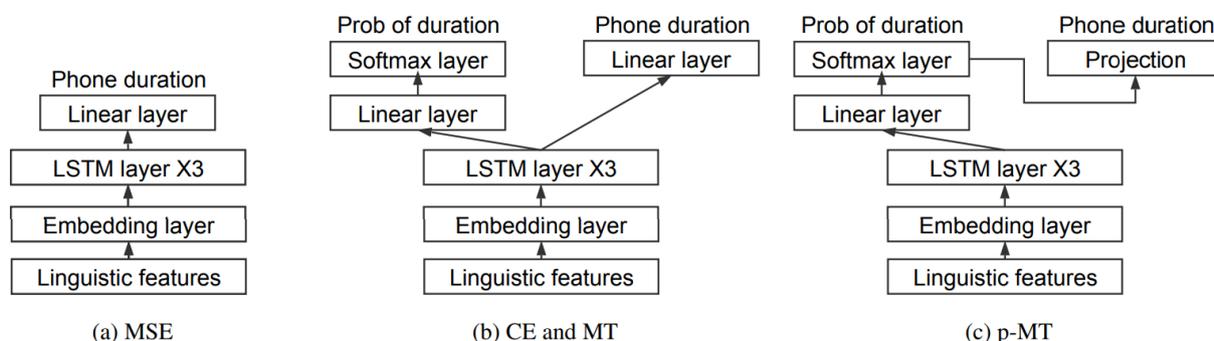


Рис. 2. Три модели нейронных сетей, представленные группой Б. Чен и др. для предсказания длины фонем

Б. Чен и др. для обучения нейронных сетей использовали два корпуса. Первый китайский корпус «XINJUM», состоял из 13 ч мужской речи, или из 15 тысяч предложений. Второй корпус состоял из 600 предложений женской речи на английском. По окончании обучения лучшая модель нейронной сети для китайского корпуса предсказывала длительность фонем с отклонением не более 20 мс, а для английского корпуса лучшая модель нейронных сетей – с отклонением не более 28 мс.

Очевидно, что в настоящее время нейронные сети становятся наиболее эффективным методом предсказания длин фонем для синтеза речи. Однако вариация моделей и архитектур нейронных сетей не дают столь серьезных улучшений результатов предсказания. Связывается это с тем, что качество собранного корпуса, лингвистическая и акустическая разметки остаются определяющими составными элементами в разработке таких моделей. В этой связи ученые при решении таких задач, выделяют до 600 акустических и лингвистических параметров каждой фонемы и его слова. Однако увеличение входных признаков и усложнение архитектуры нейронных сетей негативно влияют на время вычисления при обучении и тестировании.

## Литература

1. Klatt D.H. Review of text-to-speech conversion for English // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1987. – V. 82. – № 3. – P. 737–793.
2. Bulyko I., Ostendorf M. Joint prosody prediction and unit selection for concatenative speech synthesis // Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 2001. – V. 2. – P. 781–784.
3. Zen H., Tokuda K., Black A.W. Statistical parametric speech synthesis // Speech Communication. – 2009. – V. 51. – № 11. – P. 1039–1064.

4. King S. An introduction to statistical parametric speech synthesis // *Sadhana*. – 2011. – V. 36. – № 5. – P. 837–852.
5. Zen H., Nose T., Yamagishi J., Sako S., Masuko T., Black A., Tokuda K. The HMM-based speech synthesis system (HTS) version 2.0. The 6th ISCA Workshop on Speech Synthesis // *Congress Proceedings*. – 2007. – P. 294–299.
6. Соломенник А.И., Чистиков П.Г., Рыбин С.В., Таланов А.О., Томашенко Н.А. Автоматизация процедуры подготовки нового голоса для системы синтеза русской речи // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 2013. – Т. 56. – № 2. – С. 29–32.
7. Henter G.E., King S., Ronanki S., Watts O., Wester M., Wu Z. Robust TTS duration modelling using DNNS // 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing // *Congress Proceedings*. – 2016. – P. 5130–5134.
8. Austen J., Crowther S. *Emma* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://librivox.org/emma-by-jane-austen-solo/>, своб.
9. Chen B., Bian T., Kai Y. Discrete Duration Model for Speech Synthesis. *Interspeech 2017 // Congress Proceedings*. – 2017. – P. 789–793.

**Грубер Иван**

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: grubiv@kky.zcu.cz

**Карпов Алексей Анатольевич**

Год рождения: 1978

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, д.т.н., профессор

e-mail: karpov@iias.spb.su

**UDC 004.8****RESNET VS DENSENET: COMPARISON OF THE STATE-OF-THE-ART ARCHITECTURES FOR FACE CLASSIFICATION****Грубер И., Карпов А.А.****Научные руководители: д.т.н., профессор Карпов А.А.; д.т.н., профессор Железны М.**

This paper presents a comparison of two state-of-the-art feed-forward neural network architectures, which were both introduced during the last two years - ResNet and newer DenseNet, for face recognition task. The neural networks were trained, tested and compared on challenging Casia-WebFace database. We perform an experiment of classification of the closed subset. The experiment confirms the superiority of the newer architecture.

**Keywords:** face recognition, facial biometrics, computer vision, deep neural networks.

Face recognition (FR) has been probably the most intensively studied topics in biometrics and computer vision for last few years. It receives huge attention because compared to other biometrics techniques (for example fingerprints), FR has the potential to non-intrusively recognize subject without any further cooperation of the subject. However, despite such big popularity, face recognition task can be hardly called solved. Due to the dramatic advancement of neural networks in recent years, most hand-crafted feature descriptors for FR (and image classification generally) become obsolete. The two most popular feed-forward neural network architectures for image classification tasks are ResNet [1] and DenseNet [2]. Both papers are holders of the CVPR best article of 2016, 2017 respectively.

In this paper, we present a quick comparison of these architectures in a task of face classification of the closed subset. For both, training and testing was used challenging Casia-WebFace database [3].

This paper is organized as follows: in Section 2 I discuss presented neural network architectures; in Section 3 can be found a description of the used database; in Section 4 we describe the experiment and show obtained results; and in Section 5 I draw a conclusion and discuss the future research.

**Deep Neural Network Architecture.** In the work we tested two popular neural network architectures – ResNet [1] and DenseNet [2]. Both of them are state-of-the-art architectures used for image recognition.

Firstly, we train deep residual network with an architecture based on ResNet-50. It was proposed by He et al. to address a problem of degradation during learning very deep neural networks. During testing, authors observed counter-intuitive phenomenon – adding more layers to

the architecture causes higher training error. Historically this problem occurred, because of vanishing/exploding gradients during backpropagation, however, this phenomenon has been largely addressed by normalized initialization and intermediate normalization layers. Therefore, this degradation of training accuracy indicates that not all systems are similarly easy to optimize.

Authors address the degradation problem by introducing a deep residual learning framework. Instead of learning each group of stacked layers directly fit a desired underlying mapping, they let these layers fit a residual mapping. Let  $H(x)$  be the desired underlying mapping of a group of stacked layers with  $\mathbf{x}$  denoting the input to the first of these layers. Based on the hypothesis that multiple nonlinear layers can asymptotically approximate complicated functions, multiple nonlinear layers should be able to asymptotically approximate the residual function, i.e.  $F(x)=H(x)-x$ . The original function thus becomes  $F(x)+x$ . Although both forms should be able to asymptotically approximate the desired functions, the ease of learning is different. The formulation of  $F(x)+x$  we realized by the shortcut connections as element-wise addition (Fig. 1).

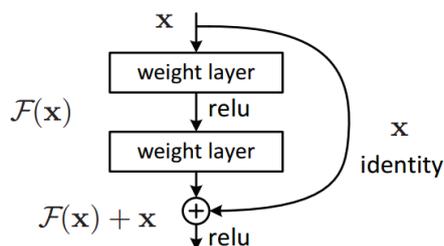


Fig. 1. Residual learning: a building block [1]

Formally building block is defined as:

$$\mathbf{y} = F(\mathbf{x}, \{W_i\}) + \mathbf{x},$$

where  $\mathbf{x}$  is the input vector,  $\mathbf{y}$  is the output vector of the layers and  $F(\mathbf{x}, \{W_i\})$  represents the residual mapping to be learned. The main advantage of this configuration is that the computational complexity of element-wise addition is negligible. The dimensions of  $\mathbf{x}$  and  $F$  must be equal, however, if this is not the case, then a linear projection of  $\mathbf{x}$  can be performed. The function  $F$  can represent multiple fully-connected or convolution layers, in the latter case the element-wise addition is performed channel by channel.

Secondly, we train densely connected convolutional network. It was proposed by Huang et al. and according to them, this approach has three main advantages:

1. it alleviate the vanishing-gradient problem;
2. it strengthen feature propagation and encourages feature reuse;
3. it substantially reduce the number of parameters.

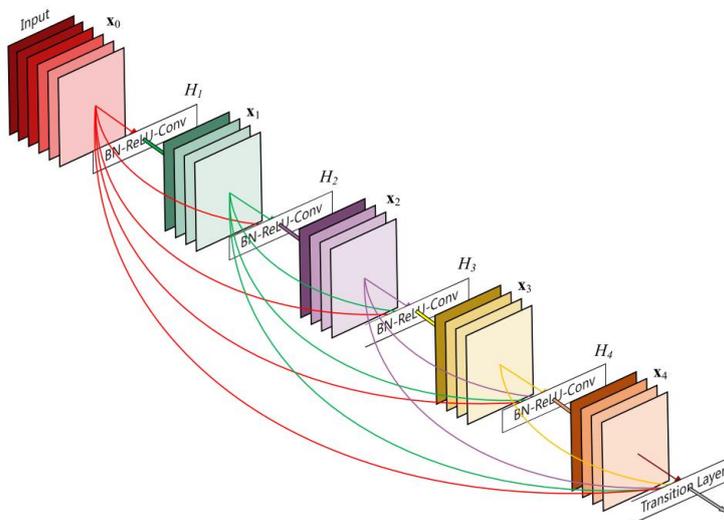


Fig. 2. A 5-layer dense block with a growth rate of  $k = 4$ ; each layer takes all preceding feature-maps as input

The main idea of this architecture is following: each layer is connected to every other layer in feed-forward fashion, i.e. each layer obtains additional inputs from all preceding layers and passes on its own feature-maps to all subsequent layers. In contrast to ResNet, these additional features are not summed together, instead, they are combined by concatenation (Fig. 2). That means, each layer adds a small set of feature-maps to the collective knowledge of network, therefore final classifier can make a decision based on all feature-maps in the network.

Formally the output of  $l$ -th layer is defined as follows:

$$y_l = F([x_0, x_1, \dots, x_{l-1}]),$$

where  $[x_0, x_1, \dots, x_{l-1}]$  refers to concatenation of the feature-maps produces in layers  $0, 1, \dots, l-1$ .

Both neural network architectures were implemented in Python 2 using Caffe deep learning framework [4].

**Casia-WebFace database.** As a training set for tested neural networks was chosen Casia-WebFace database [3]. Casia-WebFace database is the third biggest publicly available database for face recognition (the bigger ones are The Megaface dataset [5] and MS-Celeb-1M dataset [6] only) and contains 494414 RGB images of 10575 subjects with resolution of  $250 \times 250$  pixels. All images were semi-automatically collected from the Internet, i.e. persons are captured in variable conditions including pose, illumination, occlusion, age variations, haircut changes, sunglasses, etc. Most faces are centered on the images. For exemplary images see Fig. 3.



Fig. 3. Exemplary images from Casia-WebFace database [7]

For the training, we decided to use only identities, which have at least 100 images presented. This leaves me with 181901 images for 925 identities. In order of CNN training, the resolution of all images was decreased to  $64 \times 64$  pixels. To enrich these data we generated flipped version of each image. To further enriching training set and balancing counts of images per identity (which is very important for neural network training) we used data augmentation. To be more concrete, we modified images with Gaussian blur, noise, and brightness transformations. This leads to 908953 images in total. The database was appropriately split (each unique image with all its augmentations was in the same subset) into three subsets – training, validation and testing set, whereas 70% of images were used for the training set, 15% for the validation (development) set and 15% for the testing set.

**Experiments and results.** In experiments, we evaluated the networks on the face classification of closed subset task, i.e. we want from the networks to classify the input into one of 925 trained classes. ResNet-50 and DenseNet-121 architectures were both downloaded with

pretrained weights (both networks were originally trained on ImageNet challenge [8]). Then, both architectures were fine-tuned with 120 *k* iterations with mini-batch size 64. During the fine-tuning of ResNet were weights of convolutional layers in first 14 residual blocks fixed, whereas for DenseNet we fixed weights of first 3 densely connected blocks. For updating weight parameters *W* of both architectures were used standard SGD optimization with momentum =0.9 and weight decay = $5 \times 10^{-4}$ . As loss function, standard Softmax loss was used for both architectures. Comparison of results of classification is shown in Table.

Table. Comparison of classification recognition rates

Architecture	Development set	Test set	Number of parameters
ResNet-50	91.5%	90.7%	31085632
DenseNet-121	96.6%	96.2%	7901056

DenseNet architecture decreased the recognition error by more than 5% on both, development and test set. This is approximately 60% of relative error decrease. These results are even more significant from a point of view of a number of parameters of the used architectures. While the older architecture has approximately 31 million parameters, the newer one has approximately 8 million only, which is almost four times less. This fact confirms the results from the original DenseNet article and it also shows us a huge boost of parameters efficiency.

In this paper, we make a quick comparison of two best feed-forward neural network architectures for image classification. Overall, the experiment shows the superiority of the DenseNet over Resnet.

In our future research, we would like to focus on testing of DenseNet connected with some state-of-the-art loss function (for example Angular Softmax loss or Congenerous cosine loss). In our opinion, with this approach, it is possible to improve state-of-the-art results of the face recognition task in real-world conditions.

## References

1. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition // In Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 770–778.
2. Huang G., Liu Z., v.d. Maaten L., Weinberger K.Q. Densely connected convolutional networks // In Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2017. – P. 2261–2269.
3. Yi D., Lei Z., Liao S., Li S.Z. Learning face representation from scratch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1411.7923.pdf>, своб.
4. Jia Y., Shelhamer E., Donahue J., Karayev S., Long J., Girshick R., Guadarrama S., Darrell T. Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ucb-icsi-vision-group.github.io/caffe-paper/caffe.pdf>, своб.
5. Kemelmacher-Shlizerman I., Seitz S. M., Miller D., Brossard E. The megaface benchmark: 1 million faces for recognition at scale // In Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 4873–4882.
6. Guo Y., Zhang L., Hu Y., He X., Gao J. MS-Celeb-1M: A dataset and benchmark for large scale face recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1607.08221.pdf>, своб.
7. Gruber I., Hlaváč M., Železný M., Karpov A. Facing face recognition with ResNet: Round one // In Proc. 3rd International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – 2017. – P. 67–74.
8. Russakovsky O., Deng J., Su H., Krause J., Satheesh S., Ma S., Huang Z., Karpathy A., Khosla A., Bernstein M., Berg A. C., Fei-Fei L. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge // International Journal of Computer Vision. – 2015. – V. 115. – № 3. – P. 211–252.

**Кассу Ахмад-Рамез Маджед**

Год рождения: 1977

ООО «Центр речевых технологий», к.т.н.

e-mail: kassu@speechpro.com

**Семенов Юрий Николаевич**

Год рождения: 1977

ООО «Центр речевых технологий»

e-mail: semenov-y@speechpro.com

**Кабаров Владимир Иосифович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
ст. преподаватель

e-mail: kabarov@speechpro.com

**УДК 004.93****ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПЛАТФОРМЕ  
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (РЕГИСТРАЦИЯ,  
ХРАНЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ/ВЕРИФИКАЦИЯ, ОБРАБОТКА И АНАЛИТИКА)****Кассу А-Р.М.** (ООО «Центр речевых технологий»), **Семенов Ю.Н.** (ООО «Центр речевых технологий»), **Кабаров В.И.** (Университет ИТМО)**Научный руководитель – к.т.н. Кассу А-Р.М.**

(ООО «Центр речевых технологий»)

В работе рассмотрены вопросы архитектурных особенностей построения мультимодальных систем (на примере платформы GridID) в зависимости от их функционального назначения, а также проведен обзор состава и свойств их компонентов на базе разрабатываемых решений и практики внедрений.

**Ключевые слова:** биометрия, модальность, система, платформа, образец, идентификация, верификация, контроль доступа, база данных.

Для рассмотрения компонентной структуры объекта исследования было введено понятие платформы мультимодальной биометрии (ПМБ).

**Назначение и классификация ПМБ.** ПМБ как аппаратно-программное обеспечение предназначена для построения информационных и автоматизированных систем посредством подбора необходимых компонент для обработки персональных биометрических данных (БД) разной модальности. С точки зрения вида обрабатываемой информации (физических параметров человека), эти системы развивались от внедрения одномодальных, бимодальных до мультимодальных систем.

Проведем классификацию внедрений самой сложной, третьей категории, в форме «Система, ее главная функция и применение».

1. Системы контроля доступа:
  - услуги верификации (банки и финансы, коммуникации);
  - прослеживание или «треккинг» (физический контроль и перемещение на территории объектов).
2. Системы безопасности:
  - мониторинг, поиск и аналитика (фиксация событий и их участников во время ДТП, террористических актов, актов вандализма на мероприятиях массового скопления людей, превентивная и оперативно-розыскная деятельность и пр.).
3. Системы идентификации физических лиц:
  - поиск и подтверждение личности в банках крови;
  - поиск и подтверждение личности на пограничном контроле;
  - идентификация и авторизация в образовательных учреждениях/удаленное/образование/контроль/тестирование.

Более частные примеры внедрений.

1. Телемедицина:
  - идентификация пациента при общении с доктором;
  - попытка идентификации диагноза по получению метрик от пациента (фотография МРТ, УЗИ и пр.).
2. Регистрация биометрических данных мигрантов для облегчения контроля:
  - при получении разрешения на работу;
  - при получении разрешения на жительство;
  - при работе с уликами при криминалистическом расследовании.

Также необходимо отметить и другой вид классификации систем, по видам биометрии, требующих и не требующих кооперации со стороны объекта контроля (физического лица). К примеру, процесс съема фотографии лица требует слабой кооперации (расположение и угол захвата), в то время как съем голоса не требует никакой кооперации со стороны диктора, а отпечаток пальца требует прямого контакта, также как и образцы сетчатки глаза и ДНК.

Понимание этих и других классификаций позволит более точно описывать рабочий процесс (сценарий) требуемых решений, тем самым более корректно осуществлять выбор компонентов и условий реализации (пользовательский интерфейс, вид хранения данных, параметры запросов, способ интеграции с внешними системами, анализ общего решения по идентификации и др.).

**Компоненты решений ПМБ.** Платформа мультимодальной биометрии должна включать в своем составе минимально необходимый и достаточный набор функциональных компонентов [1–3], позволяющий обеспечивать реализацию систем с биометрическими данными разного рода назначения. Возможность гибкого и многофункционального комбинирования элементов платформы позволит соответствовать требованиям каждого вида применения (таблица).

Ярким примером программно-аппаратной разработки систем с ПМБ является продуктовая линейка, являющаяся разработкой компании ООО «ЦРТ», которая состоит из 4 основных видов решений, описанных схематично на рис. 1.

Таблица. Матрица «вид системы x-компоненты»

Виды систем с БД	Компоненты ПМБ				
	Система сбора образцов	Система учета БД	Механизмы поиска и идентификации	Механизм верификации	Инструменты аналитики
Системы контроля доступа	Стационарные, периодические	Ограниченная БД	Да	Да	–

Виды систем с БД	Компоненты ПМБ				
	Система сбора образцов	Система учета БД	Механизмы поиска и идентификации	Механизм верификации	Инструменты аналитики
Системы безопасности	Мобильные и стационарные, разовые	Расширяемая БД	Включая режим отслеживания	Иногда	Специализированный состав по целевым объектам
Системы идентификации личности	Да	Зависит от масштаба решения	По каждому виду биометрии/Комбинированные в виде общего решения	Иногда	–
Поисково-аналитические системы	Да, включая законный перехват данных	Зависит от масштаба решения	По каждому виду биометрии/Комбинированные в виде общего решения	Да	Расширенный состав по каждой модальности и связей

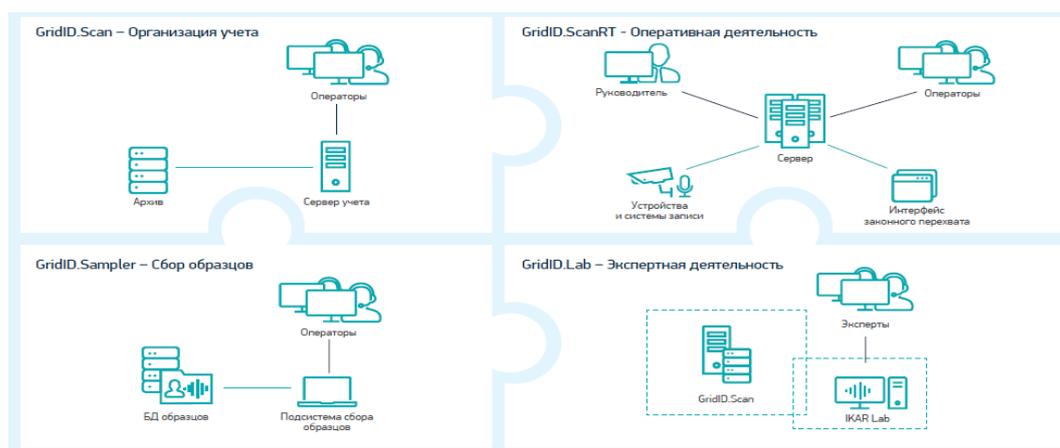


Рис. 1. Сервисная платформа биометрической системы (GridID)

Таким образом, для организации учетных данных служит система GridID.Scan, состоящая из рабочих станций, операторов, базы данных хранения учетной информации и сервера обработки биометрических данных (с функциями построения моделей, поиска и сравнения).

Для организации процесса сбора биометрических образцов (в данном случае, бимодальных «голос, лицо»), применяется аппаратно-программный комплекс GridID.Sampler. Он может быть реализован как стационарная или как мобильная станция, имеющая возможность соединяться с другими системами (например, с GridID.Scan) для передачи моделей собранных образцов, информационных карточек объектов, для дальнейших процессов хранения и обработки.

Система GridID.ScanRT призвана решать задачи оперативного поиска и анализа биометрических данных в виде горячих списков поисково-идентификационных задач. Как правило, это задачи служб безопасности на локальном или национальном уровне.

Система GridID.Lab – это комплекс аппаратно-программных средств для проведения более узких задач, связанных с экспертизой биометрических образцов (в частности, голоса и

лица), таких как экспертная идентификация, проверка аутентичности материалов, улучшение качества образцов, обработка шумов, стенографирование содержимого записей и т.д. Такой класс задач традиционно применяется в экспертно-криминалистических центрах (ЭКЦ).

На рис. 2 продемонстрированы связи между объектами платформы и взаимодействие ролей пользователей.

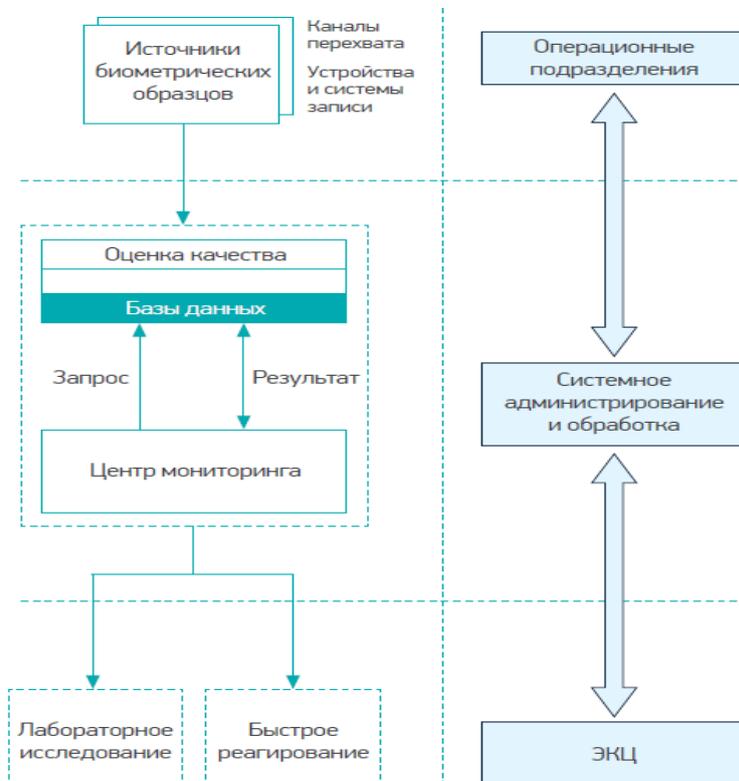


Рис. 2. Процесс обработки данных и взаимодействие ролей в системе GridID

Масштабы хранения биометрических данных определяют масштабы предлагаемых решений на базе ПМБ. Например, хранение в обязательном порядке оригинала биометрических данных соответствующей разметки, выделяющей биометрически-значимый материал биометрической модели, и потоки обработки данных, являются важными условиями для функционирования территориально-распределенных комплексов, поддерживающих различные виды биометрии с широким спектром поисково-аналитических задач.

Таким образом, проведен краткий обзор компонентного состава систем на базе ПМБ, выявлены свойства их применения в типовых решениях. Приведенная классификация типов систем и их характеристик не является полной. На практике учет этой информации позволяет производить более точную оценку требуемых ресурсов при внедрении проектов.

## Литература

1. Матвеев Ю.Н. Технологии биометрической идентификации личности по голосу и другим модальностям // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2012. – № 3(3). – С. 46–61.
2. Козлов А.В., Кудашев О.Ю., Матвеев Ю.Н., Пеховский Т.С., Симончик К.К., Шулипа А.К. Система идентификации дикторов по голосу для конкурса NIST SRE // Труды СПИИРАН. – 2012. – Т. 25. – № 2. – С. 350–370.
3. Тепляков А.В., Кабаров В.И., Кассу А.-Р.М. Использование мультимодальной системы VoiceGrid для решения задач по учету фонограмм речи, фотоизображений лиц и биометрической идентификации // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2016. – Т. 2. – С. 267–270.

**Копеев Курмет**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
студент группы № М4221Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: 226236@niuitmo.ru

УДК 621.391.8

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМА РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА ЗАДЕРЖКИ И СУММИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ДВУХЭЛЕМЕНТНЫХ МИКРОФОННЫХ РЕШЕТОК****Копеев К.****Научный руководитель – к.т.н. Столбов М.Б.**

В работе рассмотрена оценка эффективности алгоритма формирования диаграммы направленности с использованием архитектуры поперечной двухэлементной решетки.

**Ключевые слова:** микрофонная решетка, диаграмма направленности, пространственный отклик.

Тематика микрофонных решеток развивается в течение 30 лет, и на протяжении всего этого времени внимание уделялось двухэлементным решеткам в связи с тем, что их проще всего реализовать. Есть два класса двухэлементных решеток: с продольной архитектурой – это микрофоны, организованные в линию и направленные по линии распространения звука целевого источника, и поперечной архитектурой – это микрофоны, организованные в линию и направленные перпендикулярно распространению звука целевого источника [1]. Общая схема обработки сигналов двухэлементных микрофонных решеток (MP2) приведена на рис. 1. Основными задачами обработки сигналов MP2 является выделение целевых сигналов на фоне диффузных и когерентных помех [2]. Целью данной работы являлась оценка эффективности алгоритма формирования диаграммы направленности (ДН) с использованием архитектуры поперечной двухэлементной решетки.

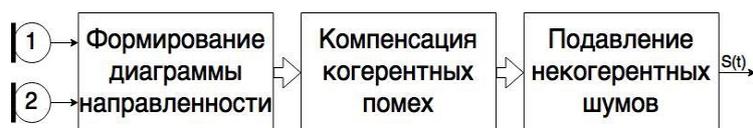


Рис. 1. Общая схема обработки сигналов MP2

Формирование ДН осуществлялась с использованием алгоритма задержки и суммирования (Delay And Sum, DAS). Алгоритм DAS выравнивает фазы сигналов целевого источника и суммирует эти сигналы впоследствии. Обработка сигналов выполнялась в частотной области.

Рассмотрим случай двух источников сигналов (целевого и помехи). Сигналы микрофонов могут быть записаны в частотной области в следующем виде:

$$\mathbf{M}(f, k) = \mathbf{S}(f, k)\mathbf{D}(f, \theta_S) + \mathbf{V}(f, k),$$

где  $\mathbf{M}(f, k)$  – вектор сигналов микрофонов;  $\mathbf{S}(f, k)$  – сигнал целевого источника;  $\mathbf{D}(f, \theta_S)$  – вектор направления целевого источника;  $\mathbf{V}(f, k)$  – вектор шума;  $f$  – индекс частоты;  $k$  – индекс кадра.

$$\mathbf{D}(f, \theta_S) = [e^{j\Phi_S}, e^{-j\Phi_S}]^T,$$

где  $\Phi_S$  – фазовый сдвиг целевого сигнала относительно точки центра между микрофонами:

$$\Phi_S = \pi d \frac{\sin(\theta_S)}{\lambda} = \pi d f \frac{\sin(\theta_S)}{c},$$

где  $\theta_s$  – угол направления на источник целевого сигнала относительно перпендикуляра к линии микрофонов;  $d$  – расстояние между микрофонами;  $\lambda$  – длина волны, соответствующая частоте  $f$ ;  $c$  – скорость звука.

Задача заключалась в оценке сигнала целевого источника  $S(f, k)$  и ослаблении шума. Сигнал на выходе МР2, направленный в сторону целевого источника, вычисляется как взвешенная сумма сигналов микрофонов:

$$Y(f, k) = W_1(f, \theta_s) * M_1(f, k) + W_2(f, \theta_s) * M_2(f, k)$$

где  $W_1(f, \theta_s)$  и  $W_2(f, \theta_s)$  – комплексные весовые коэффициенты; \* – символ комплексного сопряжения.

Для формирования луча (главного лепестка) МР2 в направлении источника целевого сигнала следует взять следующие весовые коэффициенты:

$$W(f, \theta_s) = \frac{1}{2} [e^{j\Phi_s}, e^{-j\Phi_s}]^T.$$

В этом случае комплексные весовые коэффициенты на каждой частоте компенсируют относительные фазовые сдвиги целевого сигнала, поступающего на микрофоны, приводя их сигналы к общей фазе. При этом амплитуда сигналов не меняется. В случае  $\theta_s = 0$  сигнал на выходе МР2 вычисляется простым суммированием сигналов микрофонов:

$$W(f, \theta_s) = \frac{1}{2} [1, 1]^T.$$

Рассмотрим пространственный отклик МР2. Пусть сигнал  $X(f, k)$  поступает с направления  $\theta_x$ . Пространственный отклик  $B(f, \theta_x)$  (модуль передаточной функции) системы определяется соотношением [1]:

$$B(f, \theta_x) = \left| \frac{Y(f, k)}{X(f, k)} \right| = |W^H(f, \theta_s) D(f, \theta_x)|.$$

Можно показать, что [3]:

$$B(f, \theta_x) = |\cos(\Phi_x - \Phi_s)|$$

Графики пространственного отклика МР2 представлены на рис. 2, а.

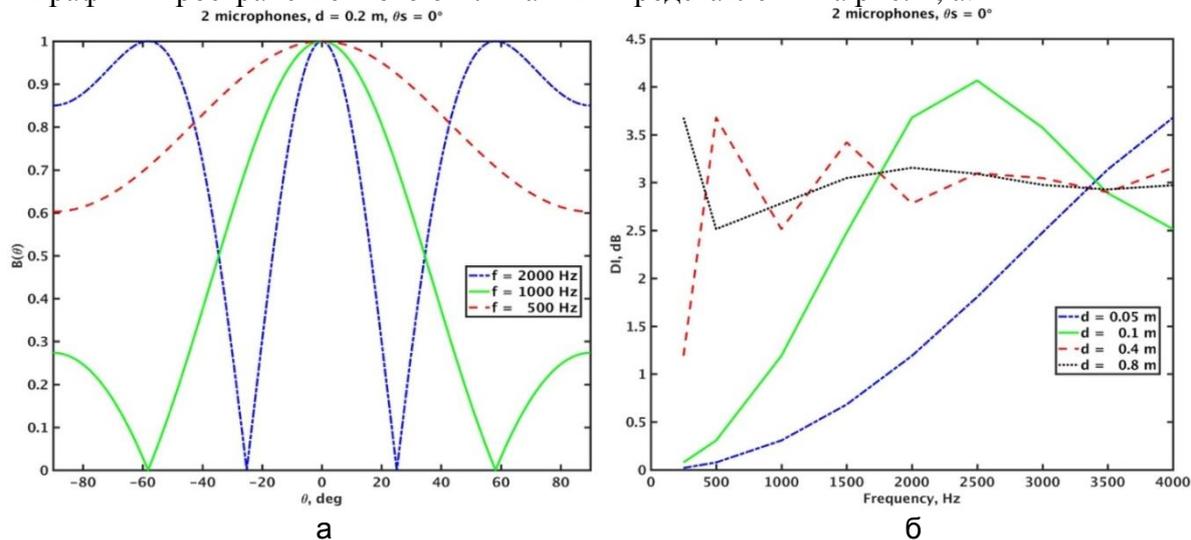


Рис. 2. Пространственный отклик МР2 (а); индекс направленности (б)

Из графиков (рис. 2, а) следует, что в диапазоне низких частот пространственный отклик имеет слабую направленность, а в диапазоне высоких частот – высокую.

Возможным решением проблемы плохой направленности является увеличение расстояния между микрофонами.

Степень направленности МР2 определяется индексом направленности (Directivity Index, DI) [1]. DI характеризует отношение пространственного отклика МР2 с направления главного лепестка по сравнению со средним пространственным откликом для всех направлений:

$$DI(f) = \frac{B(f)_{omni-directional\ noise}}{B(f)_{directional\ noise}}$$

Для поперечной MP2 индекс направленности определяется следующим образом:

$$DI(f) = 10 \lg \frac{2}{1 + \frac{\sin(\frac{2\pi f d}{c})}{\frac{2\pi f d}{c}}}$$

Графики  $DI(f)$  для разных расстояний между микрофонами представлены на рис. 2, б.

Другим критерием эффективности является коэффициент передачи MP2 ( $gSNR$ ) [4], характеризующий улучшение отношения сигнал/шум (ОСШ) в MP2 по сравнению с ОСШ одного микрофона:

$$gSNR(f) = \frac{SNR_{Array}}{SNR_{Sensor}}$$

Формула  $gSNR$  для MP2 выглядит следующим образом:

$$gSNR(f) = 10 \lg \frac{2}{1 + \frac{\sin(\frac{2\pi f d}{c})}{\frac{2\pi f d}{c}}}$$

Графики  $gSNR(f)$  для разных значений  $d$  представлены на рис. 3.

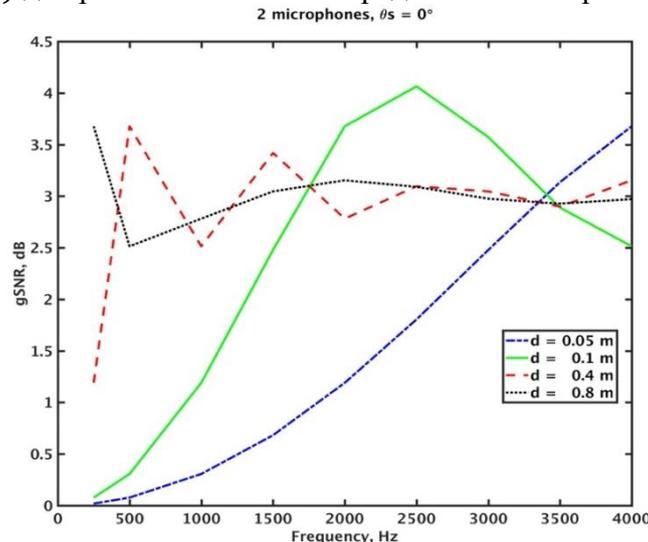


Рис. 3. Коэффициент передачи MP2

Из рис. 3 следует, что степень направленности MP2 в диапазоне низких частот может быть повышена с помощью увеличения расстояния между микрофонами.

**Выводы.** Формирование ДН на основе алгоритма задержки и суммирования является оптимальным для случая некоррелированных шумов. Формирование главного лепестка ДН в направлении целевого источника дает эффект в следующих условиях:

- когда есть один доминирующий источник фонового шума;
- когда источник шума находится близко к MP2;
- когда MP2 находится в свободном пространстве (реверберация и эхо не воздействуют на микрофоны).

Учет дополнительной информации о шуме может позволить реализовать более эффективные алгоритмы формирования ДН.

### Литература

1. Brandstein M. and Ward D. Microphone Arrays. Signal Processing Techniques and Applications. – Springer, 2001. – 402 p.
2. Fischer S., Kammeyer K., Simmer K. Adaptive Microphone Arrays for Speech Enhancement in Coherent and Incoherent Noise Fields // Proc. 3rd meeting of the Acoustical Society of

America and the Acoustical Society of Japan. – 1996. – P. 1–30.

3. Столбов М.Б., Перельгин С.В. Алгоритмы двухэлементной микрофонной решетки для выделения речевых сигналов в присутствии когерентных помех // Цифровая обработка сигналов. – 2017. – № 4. – С. 34–39.
4. Монзиго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. – Радио и связь, 1986. – 448 с.



**Куан Чонг Тхе**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: quantrongthe1984@gmail.com

УДК 621.391.8

**АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ  
МИКРОФОННЫХ РЕШЕТОК С ПРОДОЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ  
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ**

**Куан Ч.Т.**

**Научный руководитель – к.т.н. Столбов М.Б.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

Рассмотрен алгоритм обработки сигналов двухэлементных микрофонных решеток с продольной архитектурой. Проанализирована зависимость пространственного и частотного отклика двухэлементных микрофонных решеток от параметров алгоритма обработки и расстояния между микрофонами.

**Ключевые слова:** формирование диаграммы направленности, дифференциальные микрофонные решетки.

**Введение.** Двухэлементные микрофонные решетки получили распространение благодаря простоте, компактности и низкой стоимости. В работе [1] рассмотрены алгоритмы выделения речевых сигналов с использованием двухэлементных микрофонных решеток (MP2) с поперечной архитектурой. Цель данной работы заключалась в рассмотрении алгоритмов выделения речевых сигналов с использованием MP2 с продольной архитектурой.

**Модель сигнала.** Двухэлементная дифференциальная микрофонная решетка (ДМР2) состоит из двух ненаправленных микрофонов, разнесенных на расстояние  $\delta$ . Направление прихода сигнала задается углом  $\theta$  относительно оси, проходящей через микрофоны. Сигнал со второго микрофона задерживается и вычитается из сигнала первого микрофона (рис. 1) [2].

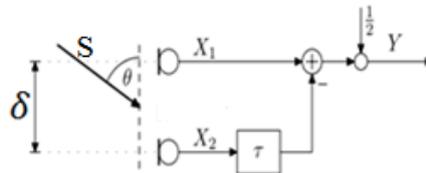


Рис. 1. Схема двухэлементной дифференциальной микрофонной решетки

Сигналы на первом и втором микрофоне в кратковременном частотном представлении (STFT) определяются так:

$$X_1(\omega, \theta, k) = e^{j\omega \frac{\tau_0}{2} \cos \theta} S(\omega, k),$$

$$X_2(\omega, \theta, k) = e^{-j\omega \frac{\tau_0}{2} \cos \theta} S(\omega, k),$$

где  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота;  $f$  – частота;  $\tau_0 = \delta/c$  – задержка звука между двумя соседними микрофонами,  $\delta$  – расстояние между микрофонами,  $c$  – скорость звука (340 м/с);  $k$  – индекс кадров.

Сигнал на выходе ДМР2 определяется так:

$$Y(\omega, \theta, k) = \frac{1}{2}(X_1(\omega, \theta, k) - X_2(\omega, \theta, k) \times e^{-j\omega\tau}) = jS(\omega, k)e^{-j\frac{\omega\tau}{2}} \sin\left(\frac{\omega}{2}(\tau_0 \cos\theta + \tau)\right).$$

Передаточная функция (ПФ)  $H_D(\omega, \theta)$ :

$$H_D(\omega, \theta) = \frac{Y(\omega, \theta, k)}{S(\omega, k)} = je^{-j\frac{\omega\tau}{2}} \sin\left(\frac{\omega}{2}(\tau_0 \cos\theta + \tau)\right). \quad (1)$$

**Характеристики ДМР2.** Из (1) следует, что ПФ зависит от параметров:  $\tau$ ,  $\tau_0$ . Зависимость ПФ от угла и частоты характеризует пространственный и частотный отклик ДМР2. На рис. 2 приведены пространственные отклики ДМР2 ( $\delta=0,02$  м,  $f=800$  Гц) для различных величин задержки  $\tau$ : кардиоида ( $\tau = \tau_0$ ), диполь ( $\tau = 0$ ), гиперкардиоида ( $\tau = \frac{1}{3}\tau_0$ ).

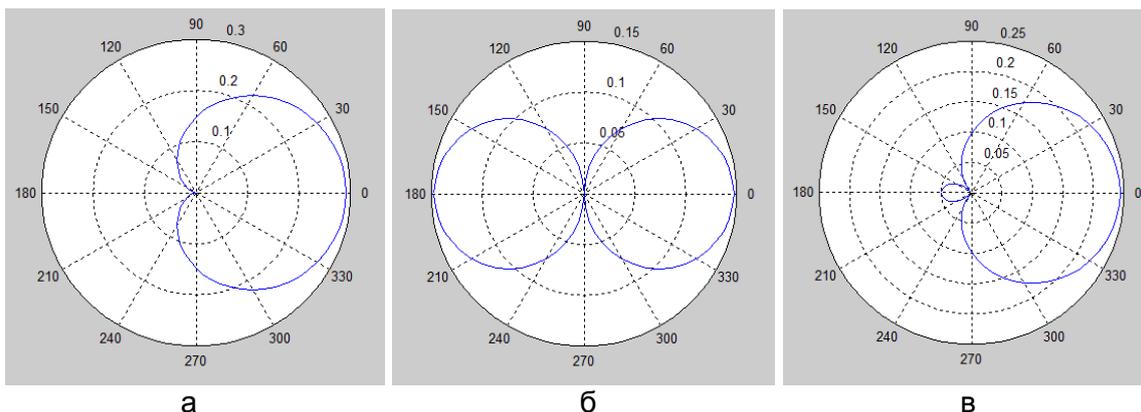


Рис. 2. Пространственный отклик ДМР2,  $f = 800$  Гц: кардиоида (а); диполь (б); гиперкардиоида (в)

ДМР2 с разными пространственными откликами могут применяться для решения различных задач обработки речевых сигналов. Так гиперкардиоида обеспечивает максимальную направленность среди всех схем ДМР2.

Амплитуда пространственного отклика ДМР2 увеличивается с ростом частоты. На рис. 3 показан пространственный отклик кардиоиды при различных частотах.

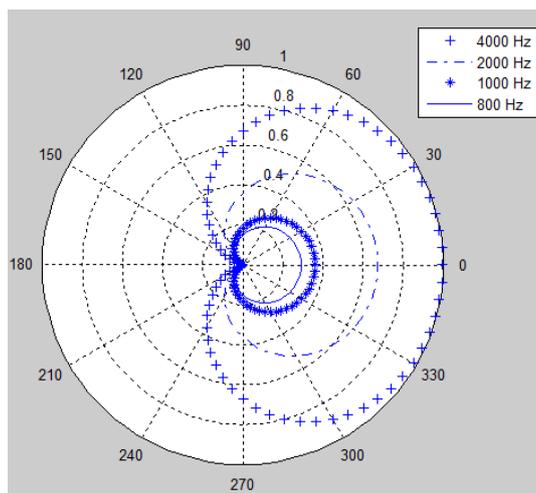


Рис. 3. Пространственный отклик ДМР2 (кардиоида)

На рис. 4, а, показан частотной отклик ДМР2 (кардиоида) для угла  $\theta = 0^\circ$ .

Из графика следует, что частотный отклик ДМР2 в направлении целевого источника (как и в других направлениях) зависит от частоты. Для обеспечения равномерного частотного отклика необходимо применение эквалайзера, амплитудно-частотная характеристика которого определяется формулой [2]:

$$W_{eq}(\omega) = \begin{cases} \frac{1}{\sin(\frac{\pi}{2} \frac{\omega}{\omega_c})} & 0 < \omega < \omega_c \\ 1 & \omega > \omega_c \end{cases},$$

где частота отсечки  $\omega_c = \frac{\pi}{\tau + \tau_0} = \frac{\pi}{2\tau_0} = \frac{\pi c}{2\delta}$ .

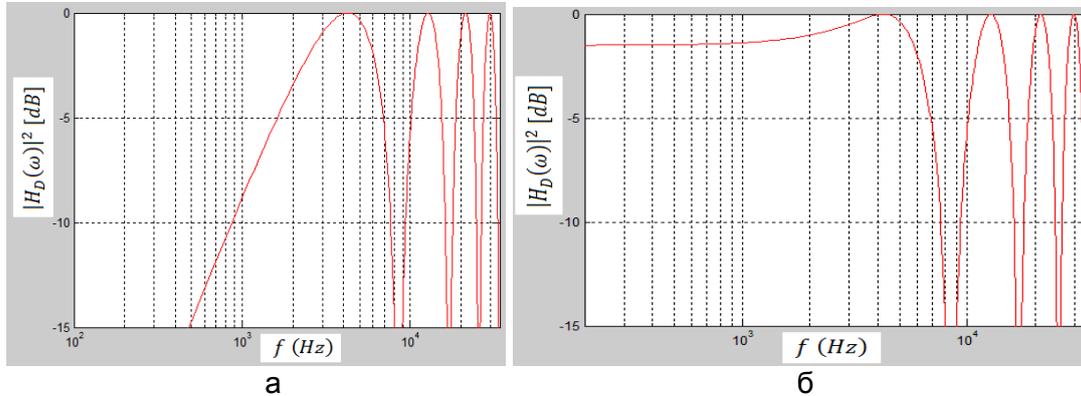


Рис. 4. Частотной отклик ДМР2 (кардиоида) для угла  $\theta = 0^\circ$  (а); после применения эквалайзера (б)

На рис. 4, б, приведен скорректированный эквалайзером частотный отклик кардиоиды.

После применения эквалайзера частотный отклик МР2 становится равномерным до частоты отсечки. Для осуществления временного сдвига сигнала микрофона и реализации эквалайзера обработку сигналов целесообразно проводить в частотной области.

Способность микрофонной решетки подавлять диффузный шум характеризуется индексом направленности (ИН) (Directivity Index, DI) [3]. Он определяется на каждой частоте как отношение чувствительности (отклика) МР к звуку, приходящему с направления луча к средней чувствительности (отклику) МР, к звукам диффузного поля, приходящим со всех направлений на соответствующей частоте. Другими словами, он равен отношению между откликом МР на звук, приходящий с целевого направления к мощности звуков, приходящих со всех направлений. DI можно рассчитать, используя передаточную функцию [3]:

$$DI(\omega) = \frac{|H_D(\omega, \theta=0^\circ)|^2}{\frac{1}{2} \int_0^\pi |H_D(\omega, \theta)|^2 \sin\theta d\theta}.$$

В работе [2] с учетом формулы (1) для  $H_D(\omega, \theta)$  приведено выражение для ИН:

$$DI(\omega) = 2 \frac{\sin^2(\frac{\omega}{2}(\tau_0 + \tau))}{1 - \text{sinc}(\omega\tau_0) \cdot \cos(\omega\tau)},$$

где  $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$ .

На рис. 5 приведен график  $DI(f)$  в случае кардиоиды.

Из графика следует, что в низкочастотном диапазоне ДМР2 с характеристикой кардиоиды способна обеспечить увеличение отношения сигнал/шум приблизительно вдвое.

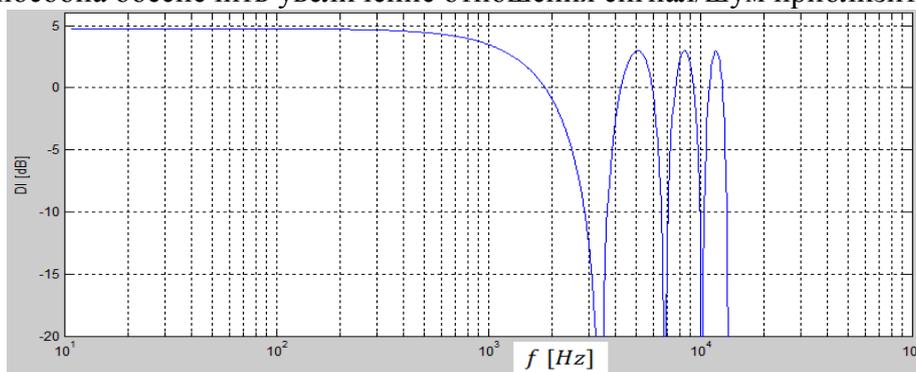


Рис. 5. Индекс направленности ДМР2 в случае кардиоида

**Выводы.** В работе исследованы пространственный и частотный отклик ДМР2 с продольной архитектурой для дифференциального алгоритма обработки. Для задачи выделения речи сделан вывод о целесообразности реализации алгоритмов обработки сигналов в частотной области. В низкочастотном диапазоне ДМР2 с характеристикой кардиоиды способна обеспечить увеличение отношения сигнал/шум приблизительно вдвое.

### Литература

1. Столбов М.Б., Перельгин С.В. Алгоритмы двухэлементной микрофонной решетки для выделения речевых сигналов в присутствии когерентных помех // Цифровая обработка сигналов. – 2017. – № 4. – С. 34–39.
2. Buck M. and Roßler M. First order differential microphone arrays for automotive applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://research.nuance.com/wp-content/uploads/2014/11/FIRST-ORDER-DIFFERENTIAL-MICROPHONE-ARRAYS.pdf>, своб.
3. Brandstein M. and Ward D. (Eds.). Microphone Arrays: Signal Processing Techniques and Applications. – Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2001.

**Лисицкий Евгений Игоревич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
студент группы № М4223Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: 173842@niuitmo.ru

УДК 004.428

**ГЕНЕРАЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ  
ДОМОМ»****Лисицкий Е.И.****Научный руководитель – к.т.н. Шуранов Е.В.**

В работе рассмотрена проблема генерации пути перемещения пользователя и генерации данных о внутреннем освещении для обучения и тестирования систем «Умного дома», основанных на технологиях машинного обучения. Данная задача актуальна для случаев, если изначально отсутствуют данные, или их количество недостаточно для корректного обучения системы.

**Ключевые слова:** машинное обучение, «Умный дом», генерация данных.

При разработке систем, основанных на машинном обучении, одним из основных этапов является сбор баз данных для обучения и тестирования разработанной модели, например, для моделей идентификации диктора могут потребоваться речевые базы [1]. Для систем «Умного дома» [2] задача сбора баз данных особенно проблематична, так как не каждый человек может позволить собирать информацию с датчиков внутри его дома, а само количество таких домов очень мало. Также это осложнено тем, что для корректного обучения могут потребоваться данные за большой промежуток времени, еще существует огромное множество различных вариаций конфигураций дома и поведения пользователя или пользователей системы.

Для решения этой проблемы можно по заранее известному усредненному поведению пользователя за неделю и конфигурации его дома сгенерировать данные для предобучения, чтобы системе потребовалось значительно меньше реальных данных или не потребовалось вообще. Также такие сгенерированные данные можно использовать для тестирования различных моделей и поиска оптимальной.

Путь пользователя внутри дома можно сгенерировать на основе информации о его среднем поведении в течение недели, для этого формируются основные точки в комнате, которые он может посетить, и средний промежуток времени, который он может там провести. Каждую такую точку мы можем обозначить как вершину графа. Ребро – как путь от одной точки к другой. У каждой точки есть среднее время, которое там проводит пользователь, и возможное отклонение от этого времени. Среди точек также существуют точки, через которые пользователь может попасть в комнату или уйти из нее, каждая такая точка содержит информацию о том, в какую или из какой комнаты ведет она. На рисунке показано, как примерно выглядят такие точки на карте комнаты. Как видно из рисунка, путь от точки к точке прямой и не учитывает расположение вещей и мебели в комнате. Для решения такой проблемы требуется добавить описание расположения мебели и разбить комнату на небольшие блоки. Тогда для поиска пути можно будет использовать алгоритм  $A^*$  [3] который часто используется в задачах поиска пути при симуляции движения человека в сфере компьютерных развлечений.

Формально, вышеописанный граф можно описать так:

–  $G$  – граф, описывающий комнату:

$$G := (V, E),$$

где  $V$  – множество вершин графа или же, другими словами, точки, которые может посетить пользователь в комнате;  $E$  – множество переходов от одной точки другой;

–  $S$  – множество входных и выходных точек  $S \in E$ .

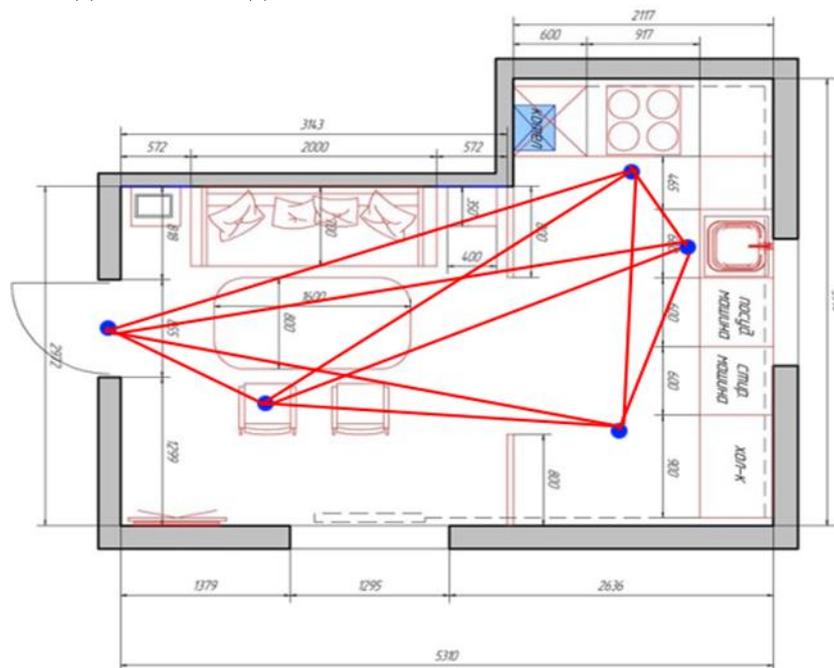


Рисунок. Пример контрольных точек на схеме комнаты

Для симуляции прохода по комнате выбирается случайное количество точек в отдельный массив из графа  $G$ , которые должен посетить пользователь, массив должен обязательно включать одну входную и выходную точку. Проходя последовательно по данным точкам, формируется путь пользователя в комнате. Путь в данном случае представляет собой список координат пользователя каждую секунду.

Для генерации информации о внутреннем освещении следует знать информацию о текущем времени и внешнем освещении. Но так как в каждой точке планеты время рассвета и заката разное, то следует генерировать данные относительно положения пользователя и определенной даты. Этого можно достичь с помощью уравнения восхода Солнца [4], которое изображено в формуле:

$$\cos \omega_0 = \frac{\sin \alpha - \sin \varphi \times \sin \delta}{\cos \varphi \times \cos \delta},$$

где  $\omega_0$  – часовой угол Солнца, при закате имеет положительное значение, при восходе – отрицательное;  $\varphi$  – географическая широта исследуемой позиции;  $\delta$  – склонение Солнца;  $\alpha$  – высота центра солнечного диска.

Также уровень освещенности может зависеть относительно погодных условий, исторические данные о погоде в определенном месте можно найти на специализированных сайтах, которые предоставляют информацию о погоде.

Пользуясь полученными данными о внешнем освещении можно сгенерировать информацию об освещении внутри дома. Для этого следует добавить коэффициенты, которые бы характеризовали расположение окон, уровень заграждения окон, например, для симуляции штор или другие объекты, и коэффициент источника внутреннего освещения для случаев, если оно включено.

Пользуясь вышеописанной информацией можно сделать программный модуль для генерации данных о перемещении пользователя и внутреннем освещении дома. Это будет полезно для предобучения или тестирования моделей, которые управляют «Умным домом».

**Литература**

1. Кабаров В.И., Алсуфьев А.А. Создание речевых баз данных на польском и чешском языках для целей идентификации диктора // Альманах научных работ молодых ученых XLV научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. – 2016. – Т. 1. – С. 55–57.
2. Amit B., Surekha B. Smart Home System Design based on Artificial Neural Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.iaeng.org/publication/WCECS2011/WCECS2011\\_pp106-111.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCECS2011/WCECS2011_pp106-111.pdf) (дата обращения: 12.02.2018).
3. Sai Varsha Konakalla A Star Algorithm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cs.indstate.edu/~skonakalla/paper.pdf> (дата обращения: 12.02.2018).
4. Whitman A. A Simple Expression for the Equation of Time [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www58.homepage.villanova.edu/alan.whitman/eqoftime.pdf> (дата обращения: 12.02.2018).



**Лукьянец Евгений Александрович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: leugenea@gmail.ru

**УДК 004.93**

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА  
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА**

**Лукьянец Е.А.**

**Научный руководитель – д.т.н. Матвеев Ю.Н.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В последние годы видеобиометрия занимает одно из приоритетных мест среди методов идентификации и верификации пользователей. Широкое применение методов видеобиометрии обусловлено высокой надежностью, простотой и удобством использования для пользователей, а также обширностью применения. В связи с этим в исследовании нуждаются также алгоритмы, позволяющие применять системы видеобиометрии в сценариях с большой нагрузкой и большим количеством доступных вычислительных ресурсов.

**Ключевые слова:** видеобиометрия, верификация, идентификация, балансировка, высоконагруженные системы.

Одним из наиболее используемых применений систем распознавания личности по изображению лица – это идентификация лиц в потоке [1]. Другим важнейшим применением систем распознавания личности по изображению лица являются контрольно-пропускные системы [2]. В обоих случаях для системы критичны следующие свойства:

1. максимальное быстродействие при использовании всех предоставленных вычислительных ресурсов;
2. отзывчивость системы на действия пользователя;
3. отзывчивость системы на изменения нагрузки.

Учитывая приведенные выше требования, система идентификации лиц должна предоставлять асинхронный интерфейс для построения лицевых идентификационных моделей (Face Identification Record, FIR).

Для достижения необходимого результата предлагается создавать внутри системы несколько движков идентификации, каждый из которых обладает следующими параметрами, которые могут варьироваться:

- режим работы: CPU / CUDA / OpenCL (возможно, другие);
- конкретная реализация;
- количество потоков (только для CPU-движков);
- возможность построения нескольких моделей за одно выполнение алгоритма построения моделей (чаще всего это batch size для нейронных сетей, только для GPU-движков).

Соответственно, интерфейс построения модели должен состоять из одного метода:

*list ModelFuture createBreals(list Image),*

вызов этого метода является практически мгновенным (доли миллисекунды), т.е. не задерживает выполнение потока вызывающего. В то же время *ModelFuture* является

классической реализацией концепта Future: при готовности результата, он будет помещен в представителя этого класса, а вызов метода  $get()$  заблокирует поток выполнения до момента завершения вычисления результата.

В каждый момент времени для каждого конкретного  $i$ -го движка в системе можно вычислить следующие характеристики:

- $batchSize[i], bs[i]$  – максимальное количество моделей, которое может быть построено за одно выполнение алгоритма построения моделей;
- $timeForForward[i], tff[i]$  – время построения  $bs[i]$  моделей;
- $numberOfTasksInQueue[i], nqt[i]$  – количество задач, уже находящихся в очереди для данного движка;
- $lastForwardStart[i], lfs[i]$  – время начала последнего построения моделей.

В условии приведенных характеристик необходимо более точно сформулировать решение, которое необходимо найти: необходимо минимизировать момент времени в будущем, когда будет выполнена последняя из поступивших на построение моделей задач.

Предлагается следующий подход для решения задачи:

- для каждой из поступивших задач:
  1. для каждого из движков  $W[j]$  посчитать время окончания его работы  $endTime[j]$ , если в него добавить очередную задачу:
  2.  $endTime[j] = (tff[j] - (now - lfs[j])) + ((nqt[j] / bs[j] + 1) \times tff[j])$ ;
  3. добавить задачу в очередь того движка, для которого значение будет  $endTime[j]$  минимальным.

Описанная выше архитектура балансировщика задач для системы распознавания личности по изображению лица возволит, с одной стороны, максимально использовать предоставляемые вычислительные ресурсы, а с другой – минимизировать момент времени, когда все задачи будут выполнены. Также, благодаря использованию асинхронных структур данных, система не будет блокировать выполнение клиентских задач, что повышает отзывчивость системы на действия пользователя.

## Литература

1. ЦРТ. ФК «Зенит» и компания ЦРТ поделились опытом использования видеобиометрии для обеспечения безопасности на стадионах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.speechpro.ru/media/news/2015-05-01>, своб.
2. Волкова С.С., Матвеев Ю.Н. Применение сверточных нейронных сетей для решения задачи противодействия атаке спуфинга в системах лицевой биометрии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17. – № 4. – С. 702–710.



**Макаров Ростислав Николаевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, студент группы № М4121

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: makarov-@outlook.com

УДК 004.934.5

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНАЛЬНОГО КОНТУРА НА СИНТАГМЕ**

**Макаров Р.Н.**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Рыбин С.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В работе представлены результаты первого этапа для построения модели нейронной сети – сбора и нормализации данных. Были собраны и сегментированы данные из корпуса аудиокниг. Реализован алгоритм по нахождению тонального контура и мел-частотных кепстральных коэффициентов.

**Ключевые слова:** машинное обучение, нейронные сети, синтез речи, тональный контур.

Цель работы – построение модели тонального контура с помощью глубокого обучения.

Проделав поиск по открытым базам данных (датасетам) [1], авторы не обнаружили подходящих вариантов, поэтому возникла необходимость самим подготовить необходимые данные. В связи с трудностями сбора корпуса различных эмоциональных категорий было решено использовать корпус аудиокниг для адаптации будущей нейросети к различным эмоциональным состояниям дикторов.

Информационной базой был набор аудиокниг, распространенных аудиоформатов. Встала необходимость нормализовать данные, чтобы работать с отдельными синтагмами [2]. Проведя эксперименты на существующих открытых системах, авторы в качестве сегментатора аудиофайлов выбрали библиотеку aeneas [3] для языка Python. После сегментации аудиокниг по синтагмам [4] необходимо определить тональный контур и набор мел-частотных спектральных коэффициентов (Mel Frequency Cepstral Coefficients, MFCC).

Главная цель исследования – создание эмоционального синтезатора речи. Тональный контур является одним из основных критериев определения эмоциональности человеческой речи [5], поэтому создание качественного классификатора, предсказывающего тональный контур – одна из важных задач научно-исследовательской работы.

Под тональным контуром будем понимать последовательность (траекторию) значений  $F_0$  (частоты основного тона (ЧОТ)), на синтагме. ЧОТ можно определить, как частоту вибрации голосовых связок. С акустической точки зрения ЧОТ является первой гармоникой речевого сигнала [6]. Для каждого человека базовая частота основного тона индивидуальна и зависит от строения гортани. Однако есть средние значения для мужского и женского голоса – от 80 до 210 и от 150 до 320 соответственно [7].

Алгоритм по определению ЧОТ должен давать минимальные ошибки первого и второго рода для вокализованных и невокализованных звуков.

**Описание алгоритма.** Для определения ЧОТ алгоритм проходит по аудиофайлу скользящим окном ширины одного кадра (512 отсчетов), с половинным перекрытием. Для сглаживания границ сигнала была выбрана оконная функция Ханна (Хеннинга):

$$w_k = 0,5 \left( 1 - \cos \left( \frac{2\pi k}{N-1} \right) \right), k = 0, 1, \dots, N-1.$$

Для увеличения точности нахождения ЧОТ каждый кадр дополняется нулями до размерности 16384.

Далее вычисляем преобразование Фурье на кадре и пытаемся определить ЧОТ как выраженный пик на определенном промежутке частот. Если этого сделать не удастся (несколько пиков или отсутствие выраженных пиков) подключаем дополнительный метод – кепстральный.

При кепстральном методе – вычисляем кепстр (обратное преобразование Фурье от логарифма модуля спектра сигнала). График кепстра вокализованного кадра сигнала представлен на рис. 1, а. По оси абсцисс на графике расположен период основного тона. Находим наибольший пик в определенном временном промежутке, вычисляем и переводим период основного тона в частоту.

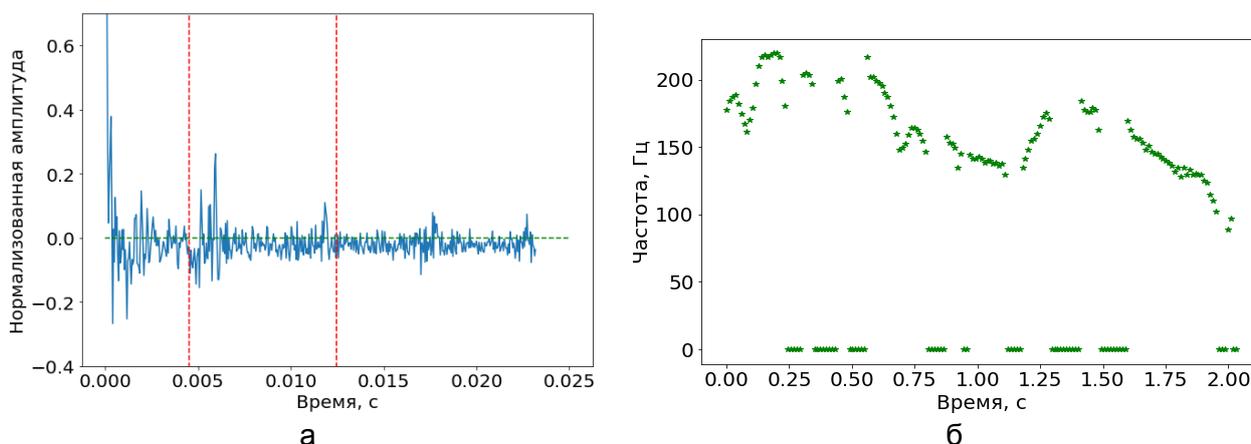


Рис. 1. Графики: кепстра вокализованного сигнала (а); тонального контура предложения «Идите сейчас же сюда, есть печенье!» (б)

Результат работы алгоритма представлен на рис. 1, б.

Сравнение работы представленного алгоритма с разметкой по ЧОТ, предоставленной базовым предприятием – Центром речевых технологий, показало сопоставимые результаты.

Кроме ЧОТ алгоритм определяет вектор MFCC для каждого кадра. Набор мел-частотных кепстральных коэффициентов – это сжатое представление спектра речевого сигнала с учетом восприятия речи человеком. MFCC вычисляются следующим образом [8]:

1. вычисляется дискретное преобразование Фурье исходного сигнала;
2. полученный спектр располагается определенным образом на мел-шкале.

Мел – это «психофизическая единица высоты звука», основанная на субъективном восприятии среднестатистическими людьми. Зависит в первую очередь от частоты звука (а также от громкости и тембра). Другими словами, это величина, показывающая, насколько звук определенной частоты «значим» для нас.

Перевод частот в мел-шкалу осуществляется по следующей формуле:

$$m = 1125 \times \ln \left( 1 + \frac{f}{700} \right).$$

Создается «гребенка» фильтров треугольных оконных функций, с помощью которой суммируется количество энергии на определенном диапазоне частот;

3. полученные результаты логарифмируются – таким образом, понижается чувствительность коэффициентов к шумам;
4. затем вычисляется дискретное косинусное преобразование;
5. полученная последовательность и есть MFCC.

Для вычисления MFCC была использована библиотека `python_speech_features` [9].

Результаты вычисления MFCC представлены на рис. 2.

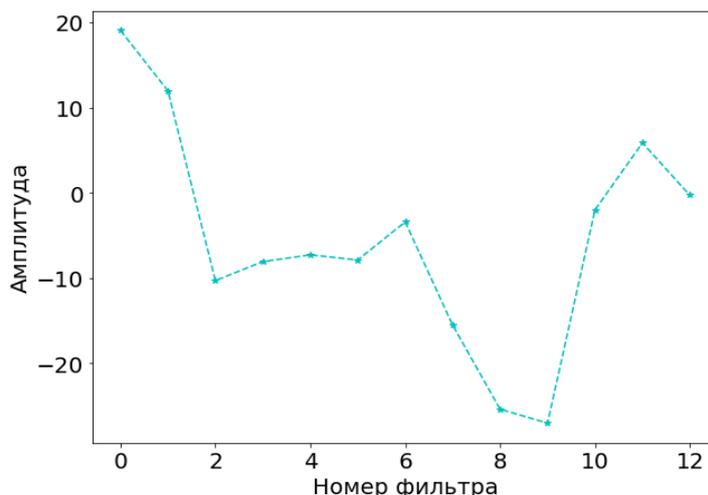


Рис. 2. Значения MFCC-сигнала

### Выводы

1. Создан и сегментирован набор аудиокниг для дальнейшей обработки в нейронной сети.
2. Разработан и реализован алгоритм определения параметров тонального контура на синтагме: ЧОТ и MFCC.

### Литература

1. Топливо для ИИ: подборка открытых датасетов для машинного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/mailru/blog/339496/> (дата обращения: 26.01.2018).
2. Чистиков П.Г., Хомицевич О.Г., Рыбин С.В. Статистические методы автоматического определения мест и длительности пауз в системах синтеза речи // Изв. вузов. Приборостроение. – 2014. – Т. 57. – № 2. – С. 28–32.
3. aeneas [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.readbeyond.it/aeneas/> (дата обращения: 26.01.2018).
4. Щерба Л.В. Фонетика французского языка. – М.-Л.: Учпедгиз, 1937. – 256 с.
5. Hart J., Collier R., Cohen A. A perceptual study of intonation. An experimental approach to speech melody. – Cambridge University Press, 1990. – P. XV+212.
6. Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф. Общая фонетика. – М.: РГГУ, 2001. – 592 с.
7. Ashby M., Maidment J. Introducing Phonetic Science. – Cambridge University Press, 2005. – 232 p.
8. Sahidullah Md., Saha Goutam. Design, analysis and experimental evaluation of block based transformation in MFCC computation for speaker recognition // Speech Communication. – 2012. – V. 54. – № 4. – P. 543–565.
9. python\_speech\_features [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://github.com/jameslyons/python\\_speech\\_features/](https://github.com/jameslyons/python_speech_features/) (дата обращения: 26.01.2018).

**Мауленов Калыбек**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
студент группы № М4121Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: 226236@niuitmo.ru

УДК 004.93

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАЗРЕЖЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОИСКА И РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ****Мауленов К.****Научный руководитель – д.т.н. Матвеев Ю.Н.**

Проведен сравнительный анализ методов разреженного представления и преобразования изображений для поиска и распознавания лиц. Рассмотрены различные методы спектрального представления изображений, метод анализа ближайших соседних точек.

**Ключевые слова:** разреженное представление, система распознавания, вычислительная сложность, преобразование.

В условиях усиления внешних миграционных процессов в целях налаживания трансграничного контроля и борьбы с различного рода преступностью правоохранительные структуры и органы безопасности все активнее используют системы распознавания лиц. Их относят к системам неявного наблюдения [1], в них включена возможность идентификации и наблюдения за объектом на расстоянии, без непосредственного взаимодействия [2].

Несмотря на разнообразие используемых методов, структура систем распознавания лиц остается практически всегда одинаковой и работает следующим образом: есть какое-то исходное изображение, которое необходимо найти; оно подается на вход системы; в нем производится предобработка, и при необходимости детекция или локализация изображения лица; из исходного изображения извлекаются признаки с помощью экстрактора признаков; далее производится селекция или редукция пространства признаков; полученные признаки сравниваются с признаками, которые имеются в базе, при этом если в базе находятся изображения лиц в исходной форме то сначала аналогичные операции экстракции, селекции/редукции признаков производятся и для них, только после этого производится сравнение и вывод наиболее подходящего (близкого) изображения.

Сегодня существует тенденция изменения систем распознавания лиц в свете перехода к новому подходу, при котором в базе находится всего лишь одно или несколько изображений, которые необходимо найти, на вход же подается не одно изображение, а целый поток. В этом случае необходимо говорить не о непосредственном распознавании, а, скорее, о поиске лиц (в потоке данных) [3].

Основным критерием построения реальной системы поиска лиц является скорость, позволяющая системе работать в реальном режиме времени, производя поиск в потоке данных.

Проблемы практического использования систем поиска лиц в реальных условиях связаны с очень большим пространством признаков. По этой причине появляется задача уменьшения или представления исходного пространства признаков меньшим, сжатым или разреженным представлением.

К примеру, на входе простой системы задано цифровое изображение, строго отвечающее стандартам размера, качества и содержательности информации в исходных изображениях, используемых в задачах биометрии, единственным (или наибольшим)

объектом является лицо человека. Если размер исходного изображения составляет  $M \times N$  пикселей, то при использовании яркостных признаков для представления лица размерность  $\dim$  (dimension) вектора признаков составит  $MN$  ( $\dim=MN$ ). Например, для  $M=112$  и  $N=92$ ,  $\dim=10304$ . Но исходное изображение может иметь размеры в 4–5 раз большие (например,  $M>500$  и  $N>400$ ), что будет соответствовать  $\dim>200000$ , и это для одного изображения [3].

Учитывая то обстоятельство, что система предназначена для работы с очень большими базами (и быстрой динамикой изменений их состава), становится невозможно говорить о решении поставленной задачи поиска/распознавания лиц в режиме реального времени.

Отсюда вытекает задача представления изображения вектором признаков существенно меньшего, чем  $MN$ , размера. Решением данной задачи являются методы сжатия изображений и методы, основанные на разреженном представлении.

Разреженные представления используются для хранения сравнительно небольшого объема данных, которые располагаются в большой области данных.

Методы разреженного представления имеют широкую популярность не только в обработке изображения, но и в обработке сигналов в целом. Они служат для представления сигнала (изображения) в общем, лишь по ограниченному числу признаков, и при необходимости с возможностью его восстановления по этим признакам. Методы разреженного представления изображения в целях распознавания, работают не напрямую с исходными данными, а основываются на более простых методах сжатия и преобразования изображения. В большинстве случаев это методы:

- дискретного косинусное преобразования (Discrete Cosine Transform, ДКП);
- преобразования Фурье (FT);
- дискретного вейвлет-преобразования (Discrete Wavelet Transform, ДВП);
- преобразования Карунена–Лоэва (KLT);
- анализа ближайших соседних точек (Nearest Neighbor Discriminant Analysis, NNDA).

Рассмотрим подробнее эти методы и алгоритмы, в которых они применяются.

**Дискретное косинусное преобразование.** Дискретное косинусное преобразование (ДКП) – ортогональное преобразование, имеющее очень важное значение в области обработки сигналов, начиная от сжатия аудиосигналов до сжатия изображения, а также для спектрального представления информации.

Основной идеей подхода является представление данных изображения коэффициентами их дискретных преобразований (трансформантами). ДКП очень тесно взаимосвязано с дискретным преобразованием Фурье, но в отличие преобразования Фурье, использует только вещественные числа.

Пиксели изображения имеют корреляцию по двум направлениям, а не только по одному. В связи с этим методы сжатия изображений используют двумерное ДКП, которое задается формулой:

$$G_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2n}} C_i C_j \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} p_{xy} \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{2n}\right),$$

при  $0 \leq i, j \leq n - 1$ . Изображение разбивается на блоки пикселей  $p_{xy}$  размера  $n \times n$ , и уравнения используются для нахождения коэффициентов  $G_{ij}$  для каждого блока пикселей. Если допускается частичная потеря информации, то коэффициенты квантуются [4].

ДКП тесно связано с дискретным преобразованием Фурье и является гомоморфизмом его векторного пространства.

**Быстрое преобразование Фурье.** Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – является алгоритмом быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Наиболее распространенный алгоритм БПФ – алгоритм Кули–Тьюки, при котором ДПФ от  $N=N_1 N_2$  выражено суммой ДПФ более малых размерностей  $N_1$  и  $N_2$ . В общем виде формула ДПФ выглядит следующим образом:

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn}.$$

При использовании алгоритма преобразования Кули–Тьюки, берем за основание 2, и выражаем ДПФ как сумму двух частей: сумму четных индексов  $m=2n$  и сумму нечетных индексов  $m=2n+1$ . В результате упрощений, обозначив ДПФ четных индексов  $x_{2m}$  как  $E_k$  (англ. even – четный) и ДПФ нечетных индексов  $x_{2m+1}$  как  $O_k$  (англ. odd – нечетный), для  $0 \leq m \leq \frac{N}{2}$  получается:

$$X_m = E_m + e^{-\frac{2\pi i}{N} m} O_m,$$

$$X_{m+\frac{N}{2}} = E_m - e^{-\frac{2\pi i}{N} m} O_m.$$

Данная запись является базой алгоритма Кули–Тьюки с основанием 2 для вычисления БПФ [4].

Методы ДКТ и БПФ могут иметь большую информационную избыточность в связи с тем, что изображения в этих методах разбиваются на блоки, между которыми возникает корреляция. Это подход, позволяющий снизить межблочную избыточность и фрагментарность преобразования, рекурсивное блочное кодирование, а также ДВП и его различные виды.

**Дискретное вейвлет-преобразование.** ДВП является близким видом преобразования к ДКП, но его преимущество в том, что нестационарности сигнала локализуются в малом числе вейвлет-коэффициентов. Это приводит к возможности лучшего восстановления нестационарного сигнала по неполным данным, и решает проблемы, встречающиеся в БПФ и ДКП.

Обычное ДВП для входного сигнала, которое представляется массивом  $2n$  чисел, группирует элементы по 2 и образует от них сумму и разность. Группировка сумм проводится рекурсивно для образования следующего уровня разложения. В итоге получается разность  $2^{n-1}$  и 1 общая сумма.

Общим полезным свойством вейвлетов является то, что они не только раскладывают сигнал на некоторое подобие частотных полос, но и представляют временную область, т.е. моменты возникновения тех или иных частот в сигнале [4].

**Преобразование Карунена–Лоэва.** Преобразование Карунена–Лоэва имеет также большую сравнительную близость к косинус-преобразованию. В преобразовании KLT вычисляется самый оптимальный базис для нескольких векторов, в отличие от всех остальных видов преобразований, которые являются преобразованиями с постоянным базисом.

Базисные векторы для KLT вычисляются с помощью пикселей исходного изображения, т.е. они зависят от исходных данных. В конкретном методе сжатия эти векторы записываются в сжатый файл для использования декодером. Ко всему прочему не известен быстрый метод вычисления данных векторов. Все эти факторы делают метод KLT исключительно теоретическим без реальных приложений [4].

**Анализ ближайших соседних точек.** Задача поиска ближайшего соседа заключается в отыскании среди множества элементов, расположенных в метрическом пространстве, элементов близких к заданному, согласно некоторой заданной функции близости, определяющей это метрическое пространство. В зависимости от используемого алгоритма в прикладной задаче, сложности алгоритма также соответственно могут быть разные. Наиболее распространенными алгоритмами по разбиению пространства являются диаграммы Вороного и различные алгоритмы, основанные на древовидной структуре [5].

Диаграммы Вороного конечного множества точек  $S$  на плоскости представляют такое разбиение плоскости, при котором каждая область этих разбиений образует множество точек, более близких к одному из элементов множества  $S$ , чем к любому другому элементу множества.

**Заключение.** Таким образом, не трудно заметить, что большинство описанных методов берут за основу один и тот же подход – ортогональное преобразование данных. К примеру, дискретное косинусное преобразование, по сути, является гомоморфизмом векторного пространства дискретного Фурье преобразования, и их отличие в том, что Фурье работает с более общими комплексными числами, а косинусное преобразование – с действительными числами. Алгоритм дискретного вейвлет-преобразования также является очень близким видом преобразования к дискретному косинусному преобразованию, конечно, здесь необходимо отметить, что из-за разбиения на блоки у дискретного косинусного преобразования снижается качество восстанавливаемого изображения при больших коэффициентах сжатия. По этой причине сжатие изображения посредством дискретного вейвлет-преобразования представляет большой интерес, так как оно может быть эффективно применено к целым изображениям, и при этом в них не будут присутствовать артефакты блочного разбиения. Также косинус-преобразование имеет большую сравнительную близость с преобразованием Карунена–Лоэва.

Исключением является метод анализа ближайших соседних точек, который отличается от всех остальных. Стоит отметить, что вычислительная сложность NNDA на практике больше, чем у вышеперечисленных подходов, даже для алгоритма с модификацией. При больших объемах данных решающий алгоритм должен удовлетворять заданным требованиям к допустимой погрешности поиска и вычислительной сложности, которые, как правило, находятся в обратной зависимости.

### Литература

1. Матвеев Ю.Н. Исследование информативности признаков речи для систем автоматической идентификации дикторов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56. – № 2. – С. 47–51.
2. Кухарев Г.А. Поиск изображений лиц в больших базах данных // Мир измерений. – 2009. № 4. – С. 22–30.
3. Кухарев Г.А., Каменская Е.И., Матвеев Ю.Н., Щеголева Н.Л. Методы обработки и распознавания изображений лиц в задачах биометрии. – СПб.: Политехника, 2013. – 388 с.
4. Лекции по цифровой обработке изображений // Научная библиотека избранных естественно-научных изданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://sernam.ru/lect\\_d.php](http://sernam.ru/lect_d.php), своб. (дата обращения: 10.01.2018).
5. Surya Kant Tyagi and Pritee Khanna. Face Recognition Using Discrete Cosine Transform and Nearest Neighbor Discriminant Analysis // International Journal of Engineering and Technology. – 2012. – V. 4. – № 3. – P. 311–314.



### Мирзаянова Светлана Владимировна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, студент группы № M4121

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: ptitzalone@gmail.com

УДК 004.934.5

## СИСТЕМЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО СИНТЕЗА

Мирзаянова С.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Затворницкий А.П.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В работе проведено сравнительное исследование систем синтеза речи. Рассмотрены новейшие системы, представленные в 2016 и 2017 году: WaveNet, Deep Voice, Tacotron. Изучены оценки качества данных систем, представленные компаниями Google и Baidu, разработавшими перечисленные системы.

**Ключевые слова:** синтез речи, нейросетевой синтез, Tacotron, WaveNet, Deep Voice, фонемы, MOS.

Системы синтеза речи строились по разным методикам. Самыми совершенными до недавнего времени считались два подхода. Первый из них – это конкатенативный синтез с выбором фрагментов, т.е. процесс соединения воедино маленьких заранее записанных звуковых фрагментов [1]. Второй способ – это статистический параметрический синтез речи, в котором плавные траектории произношения синтезировал вокодер. Он решал многие проблемы конкатенативного синтеза с артефактами на границах между фрагментами. Однако в обоих случаях синтезированный звук звучит неестественно по сравнению с человеческой речью. Рассмотрим возможности использования нейронных сетей в системах синтеза речи на примерах систем Tacotron, WaveNet, Deep Voice.

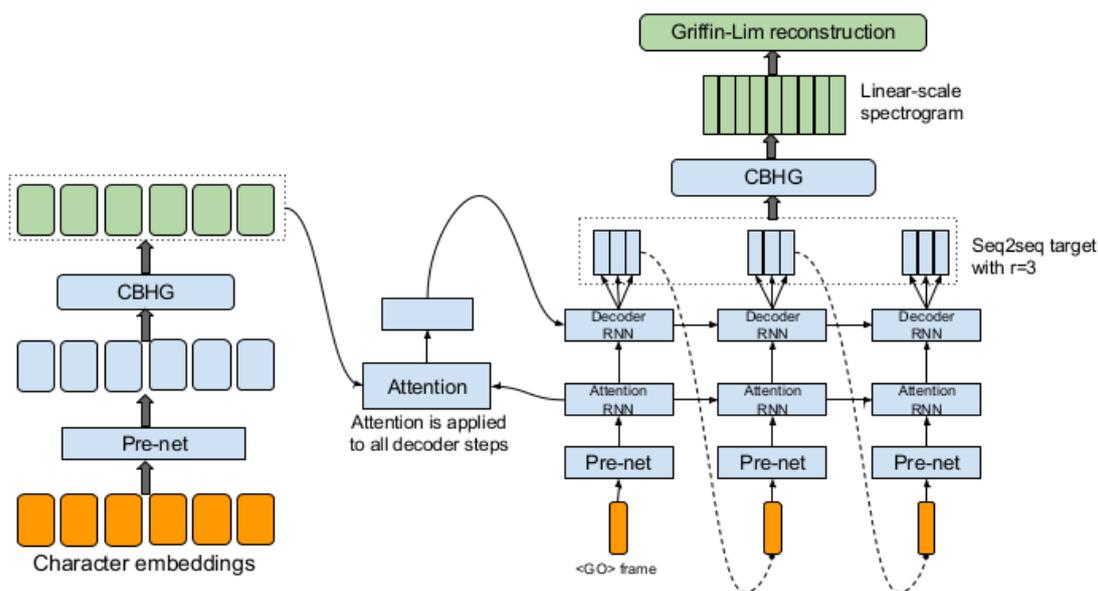


Рис. 1. Архитектура модели Tacotron

В основе системы синтеза речи Tacotron лежит рекуррентная нейронная сеть [2]. Данная система принимает на входе последовательность символов, а на выходе выдает последовательность спектрограмм, которые затем переводятся в звук. Такая реализация системы позволила преодолеть существенные недостатки предшествующих систем синтеза речи, таких как параметрические и конкатенативные системы. Как видно на рис. 1, разрозненные этапы синтеза в старых моделях заменены одним сквозным модулем, реализующим преобразование символов текста в звуковые данные в виде необработанных спектрограмм. После чего к спектрограммам применяется алгоритм Гриффина–Лима, преобразующий их в звуковые файлы.

Система синтеза речи Deep Voice представлена компанией Baidu Research в начале 2017 года. Она основана на использовании глубоких нейросетей, заменяющих модули предшествующих систем синтеза речи. Система TTS состоит из пяти основных блоков:

1. модуль транскрипции графем в фонемы;
2. модуль сегментации;
3. модуль продолжительности фонемы;
4. модуль определения основной частоты;
5. модуль синтеза звука.

В системе Deep Voice используются последовательно несколько нейросетей (рис. 2). В блоке преобразования графем в фонемы используется рекуррентная глубокая сеть. В блоке сегментации границы фонем определяются адаптированной системой свертки рекуррентных нейросетей. Длительность фонемы и ее основная частота предсказываются в одной нейросети, на выходе которой формируется длительность фонемы, вероятность того, что она имеет основной тон и 20 значений основной частоты, равномерно расположенных по предсказанной длительности. Блок синтеза звука построен на разновидности модели WaveNet. Таким образом, система Deep Voice содержит в себе 4 нейросетевых блока [3].

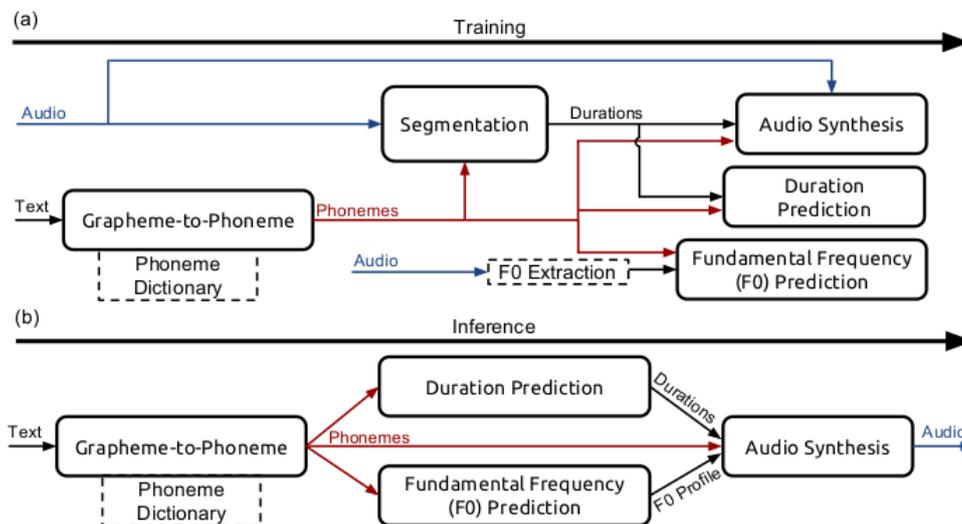


Рис. 2. Диаграмма системы Deep Voice, изображающая (а) процедуру обучения и (б) процедуру вывода, с входами слева и с выходами справа

Такая структура позволяет системе DeepVoice обучаться с нуля, используя набор коротких аудиоклипов и соответствующих текстовых стенограмм. Во вторых, требуются минимальные инженерные решения для применения этой системы на новых данных.

Звуковой движок WaveNet представлен компанией Deep Mind в 2016 году. В WaveNet производится обучение глубокой сверточной нейронной сети с использованием фрагментов реальных человеческих голосов. Также система получает информацию о правилах лингвистики и фонетики, соответствующих каждому отдельному случаю. В процессе работы системы показывают строку текста и дают «слушать» соответствующий набор звуков. После этого

система пробует синтезировать речь человека, используя ряд фрагментов. Делается это пошагово, с обучением на примере каждого конкретного фрагмента (рис. 2). На каждом шагу семплинга значение вычисляется из вероятностного распределения, посчитанного сетью. Затем это значение возвращается на вход, и делается новое предсказание для следующего шага [4].

Таким образом, главный недостаток WaveNet в том, что этот метод требует большого количества машинного времени и ресурсов, так как он генерирует 16000 сэмплов в секунду. В связи с чем он не рассматривался сразу для использования в реальных приложениях. Даже несмотря на то, что показывал лучший результат синтезированной речи в 2016 году, уже довольно близкий к речи человека. Однако в 2017 году его производительность была улучшена в 1000 раз, также улучшилось качество голоса.

Среди последних достижений в развитии систем синтеза речи известны случаи совместного использования перечисленных выше систем. Так, система Tacotron в сочетании с WaveNet (вместо алгоритма Гриффина–Лима) получившая название Tacotron 2, значительно улучшила показатели качества синтезированной речи. Кроме того, система Deep Voice также использует в своем составе WaveNet и за прошлый год успела представить модернизации системы Deep Voice 2 и Deep Voice 3.

Данные оценки качества систем синтеза речи приведены на рис. 3. Сравнение производилось относительно естественной речи человека.

Name	MOS
Parametric	3.492 ± 0.096
Tacotron (Griffin-Lim)	4.001 ± 0.087
Concatenative	4.166 ± 0.091
WaveNet (Linguistic)	4.341 ± 0.051
Ground Truth	4.582 ± 0.053
<b>Tacotron 2 (this paper)</b>	<b>4.526 ± 0.066</b>

Рис. 3. Результаты сравнения оценок MOS для систем синтеза речи и естественной речи человека

Как видно из рис. 3 последняя реализация системы Tacotron 2 по качеству звучания речи близка к реальной речи человека. Немного ниже результаты движка WaveNet [5].

Система Deep Voice тестировалась отдельно и сначала показывала довольно низкие результаты, но в течение 2017 г. компания Baidu Research успела выпустить две обновленные версии Deep Voice 2 и Deep Voice 3, последняя из которых показала качество звучания речи, сравнимое с Tacotron 2. К сожалению, в представленных результатах проводилось сравнение между моделями, но не было сравнения с естественной речью человека.

Таким образом, оценка результатов работы изученных систем показала, что наиболее перспективной разработкой является система Tacotron 2 с использованием звукового движка WaveNet. Система Deep Voice 3 также имеет высокие результаты, но ее структура является более сложной, что может привести к большему количеству ошибок при ее использовании.

## Литература

1. Соломенник А.И., Чистиков П.Г., Рыбин С.В., Таланов А.О., Томашенко Н.А. Автоматизация процедуры подготовки нового голоса для системы синтеза русской речи // Изв. вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56. – № 2. – С. 29–32.
2. Yuxuan Wang et al. Tacotron: Towards end-to-end speech synthesis // In Interspeech, 2017.
3. Arik S.O. et al. Deep Voice: Real-time neural text-to-speech // In ICML. – 2017. – P. 4006–4010.
4. Aaron van den Oord et al. WaveNet: A generative model for raw audio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1609.03499v2.pdf>, своб.
5. Shen J. et al. Natural TTS Synthesis by conditioning WaveNet on MEL spectrogram predictions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1712.05884.pdf>, своб.



**Мироненко Александр Алексеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, студент группы № М4121

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: hexkritor@yandex.com

УДК 004.93'11

**АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА**

**Мироненко А.А.**

**Научный руководитель – к.т.н. Щемелинин В.Л.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В работе были рассмотрены различные методы и подходы, используемые для распознавания лиц на изображении. Технологии распознавания лица могут быть использованы во многих областях современной человеческой деятельности. Несмотря на большое количество готовых решений в этой области, их исследование по-прежнему представляет интерес, так как возможно приведет к их усовершенствованию.

**Ключевые слова:** распознавание лиц, метод Виолы–Джонса, метод каскадов.

**Цель работы** – рассмотреть методы для распознавания лиц и провести сравнительный анализ используемых методов.

Технологии распознавания лица могут быть использованы во многих областях современной человеческой деятельности. Например, нахождение определенного человека в социальных сетях по фотографии. Некоторые предприятия используют лицевую биометрическую систему в качестве пропуска. Более того, применение технологий распознавания может быть использовано спецслужбами для поиска людей в толпе.

Существует множество методов и подходов для распознавания лица [1], и каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, но имеют общую структуру, которая разбивается на три этапа:

1. детектирование лица на изображении;
2. выявление опорных точек лица [2];
3. построение портретной характеристики, используемой для сравнения лиц (рисунок).

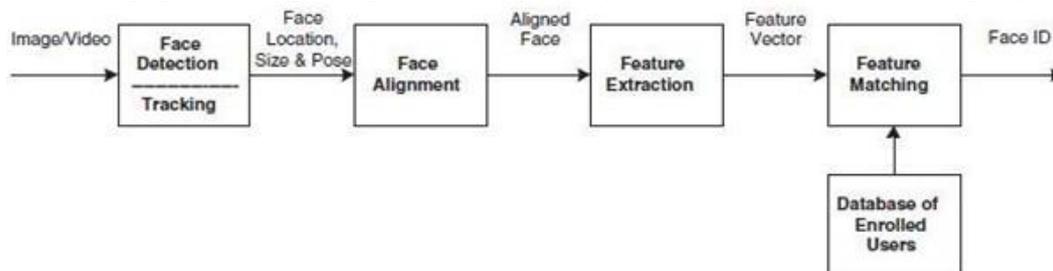


Рисунок. Процесс распознавания лица

В данной работе были рассмотрены два метода: метод Виолы–Джонса и метод каскадов. Эти методы имеют схожий подход со скользящим окном, в котором происходит поиск лица на участке изображения.

Метод Виолы–Джонса для нахождения лица в окне использует примитивы Хаара, которые позволяют вычислять суммарную интенсивность изображения в пределах примитива за линейное время [3]. Для повышения эффективности этого метода также используется адаптивное усиление (AdaBoost), в основе которого используется сильный классификатор, состоящий из множества слабых классификаторов, способных угадывать присутствие объекта в больше, чем 50% случаев. Нахождение лица осуществляется при помощи скользящего окна в  $24 \times 24$  пикселя, которое в ходе работы увеличивается в 1,25 раза после полного сканирования изображения текущим окном в 10 раз. Результатом работы метода будут координаты прямоугольника, внутри которого находится изображение лица. Опорные точки лица находятся по схожему принципу нахождения лица на изображении.

Достоинства:

- быстрое получение результата, позволяющее использовать этот метод в системах распознавания в режиме реального времени [4];
- простота реализации сильного классификатора.

Недостатки:

- для получения оптимального сильного классификатора требуется большая обучающая выборка, из-за чего возможно переобучение классификатора.

Метод каскадов основывается на использовании множества слабых классификаторов, разбитых на несколько равных подгрупп. При обработке изображения подгруппа классификаторов вычисляет значение нахождения лица на изображении [5]. Если значение превышает допустимый порог, то изображение передается на обработку следующей подгруппе, в противном случае метод возвращает отсутствие лица на данном изображении. Сама обработка происходит при помощи скользящего окна в  $24 \times 24$  пикселя, которое в ходе работы увеличивается в 1,25 раза после полного сканирования изображения текущим окном. Результатом работы метода будут координаты прямоугольника, внутри которого находится изображение лица. Опорные точки находятся при детектировании изображения.

Достоинства:

- возможность предварительной остановки во время обработки изображения;
- низкие затраты по памяти [5];
- выявление признаков лица на этапе обработки.

Недостатки:

- наличие слабых классификаторов с высокой вероятностью распознавания;
- высокая сложность разбиения классификаторов на подгруппы.

## Литература

1. Лаврентьева Г.М., Матвеев Ю.Н., Щемелинин В.Л. Разработка технологии автоматической бимодальной верификации по лицу и голосу с защитой от использования подложных биометрических образцов // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2017. – Т. 4. – С. 4–8.
2. Melnikov A., Akhunzyanov R., Kudashev O., Luckyanets E. Audiovisual liveness detection // ICIAP. – 2015. – V. 9280. – P. 643–652.
3. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицын В.Г. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы-Джонса, вейвлет-преобразования и метода главных компонент // Изв. ТПУ. – 2012. – Т. 320. – № 5. – С. 54–59.
4. Viola P., Jones M.J. Robust real-time face detection // International Journal of Computer Vision. – 2004. – V. 57. – № 2. – P. 137–154.
5. Dong Chen, Shaoqing Ren, Yichen Wei, Xudong Cao, Jian Sun. Joint Cascade Face Detection and Alignment // European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2014. – V. 320. – № 5. – P. 109–122.



**Олейник Андрей Леонидович**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: aoleinik@corp.ifmo.ru

**УДК 004.93**

## **РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА МНОГОМОДАЛЬНЫХ И МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ ДАННЫХ**

**Олейник А.Л.**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Кухарев Г.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

Работа посвящена разработке единого подхода к совместной обработке мультисенсорных лицевых и голосовых данных. Проанализированы задачи совместной обработки таких данных, рассмотрены возможные подходы к их решению, поставлена задача реконструкции. На основе одномерных и двумерных проекционных методов решены задачи взаимной реконструкции мультисенсорных изображений лиц и реконструкции контура рта по голосу. Проведенные эксперименты показали работоспособность предложенных методов. Оба решения имеют идентичную структуру, а модель связи выделенных исходных признаков является общей для этих решений, что позволяет говорить о единообразии предложенных методов.

**Ключевые слова:** многомодальные данные, мультисенсорные данные, реконструкция, проекционные методы, регрессия.

В настоящее время все больший интерес научного сообщества вызывают задачи обработки и анализа связанных наборов данных различной физической природы. Подобные задачи ставятся в рамках таких областей, как кросс-модальный мультимедийный поиск (Cross-Modal Multimedia Retrieval, CMMR), распознавание «гетерогенных» изображений лиц (Heterogeneous Face Recognition, HFR) [1], многомодальные системы человеко-машинного взаимодействия, многомодальные биометрические системы.

В общем случае под модальностью понимают способ представления (кодирования) информации, пригодный для восприятия человеком. При этом в различных областях используются несколько разные трактовки данного термина. Так, в рамках CMMR в качестве модальностей выступают данные, отражающие различные аспекты одного и того же объекта, – текст, изображения, аудиозаписи. В биометрии под модальностями понимаются такие характеристики как лицо, голос, папиллярные линии пальца (биометрические модальности). В данной работе в качестве звуковой и визуальной модальностей выступают параллельные записи голоса и лица.

Другим аспектом рассматриваемой проблемы являются мультисенсорные изображения лиц (рис. 1), к которым относят фотоизображения, скетчи (рисунки и фотороботы), изображения в ближнем и тепловом инфракрасном спектре, а также трехмерные изображения лиц.

Целью данной работы являлась разработка единого (т.е. основанного на одних и тех же методах) подхода к совместной обработке голосовых и мультисенсорных лицевых данных.

В системах обработки многомодальных и мультисенсорных данных можно выделить два этапа: выделение признаков и их совместная обработка.

Существует два основных подхода к выделению признаков: «инженерный» (feature engineering) и «обучение признаков» (feature learning).



Рис. 1. Примеры мультисенсорных изображений лиц

«Инженерный» подход использует априорные знания об изучаемом объекте (и потому не требует обучающей выборки). При этом существует риск потери полезной информации или, наоборот, сохранения избыточной.

Подход на основе обучения признаков универсален, так как экстрактор признаков формируется на обучающей выборке с учетом конкретной решаемой задачи. Такой подход позволяет решать задачу снижения размерности, что особенно важно в контексте задач обработки изображений.

Методы анализа данных можно разделить на следующие группы:

1. методы регрессии и трансформации данных позволяют выполнять переход между различными представлениями данных, что важно в контексте рассматриваемых задач обработки многомодальных и мультисенсорных данных;
2. методы снижения размерности позволяют удалить из исходных данных избыточную информацию;
3. методы моделирования данных могут применяться для повышения репрезентативности данных;
4. методы кластеризации позволяют выявлять структуру данных;
5. методы классификации необходимы для решения ряда задач распознавания и поиска. В контексте данной работы эти методы не рассматривались, так как классификатор строился с учетом конкретной практической задачи.

В данной работе был предложен подход на основе взаимной реконструкции наборов данных, связанных в пары. В основе этого подхода лежит общая схема на основе регрессии частичных наименьших квадратов (Partial Least Squares regression, PLS-регрессия) [2].

Представлено два варианта системы:

1. взаимная реконструкция мультисенсорных изображений лиц (рис. 2). В табл. 1 показаны результаты сравнения исходных и реконструированных по скетчам в исходном и низком разрешении фотографий. В этом случае экстрактор признаков построен на основе двумерного анализа главных компонент (2DPCA/2DKLT). В качестве критерия сходства лиц использован индекс структурного подобия [3]. Эксперименты проведены на базе фотографий и скетчей CUFS [4]. Полученные данные позволяют утверждать, что даже в худшем случае подобие между исходными и реконструированными фотографиями выше, чем между исходными фотографиями и скетчами;
2. реконструкция контура рта по голосу (рис. 3). В табл. 2 приведены полученные значения ошибки реконструкции. В качестве ошибки реконструкции  $\epsilon$  использовано среднее расстояние между точками «истинного» и реконструированного контуров рта, нормированное на среднюю ширину рта. В таблице помимо среднего значения  $\bar{\epsilon}$  приведены также медиана  $\epsilon_{0,5}$  и 0,95-квантиль  $\epsilon_{0,95}$ . Последнее позволяет оценить качество реконструкции в «плохих» случаях. Также в табл. 2 показаны результаты для варианта системы с предварительной кластеризацией звуковых признаков. Эксперименты проведены на аудиовизуальной базе VidTIMIT [5]. Результаты показали, что

предложенный подход успешно решает задачу реконструкции контура рта по голосу, а ошибка реконструкции остается в разумных пределах даже в «плохих» случаях.

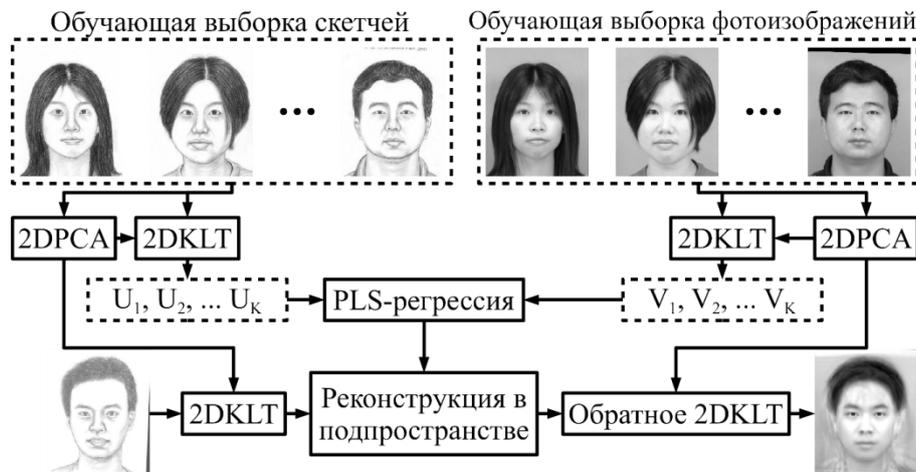


Рис. 2. Структура системы взаимной реконструкции мультисенсорных изображений лиц

Таблица 1. Результаты оценки качества реконструкции изображений лиц

	Сравнение исходных фотографий и скетчей			Сравнение исходных и реконструированных из скетчей фотографий		
	mean	std	max	mean	std	min
Скетчи в исходном разрешении	0,48	0,07	0,65	0,81	0,04	0,71
Скетчи в низком разрешении	0,48	0,05	0,59	0,73	0,03	0,64

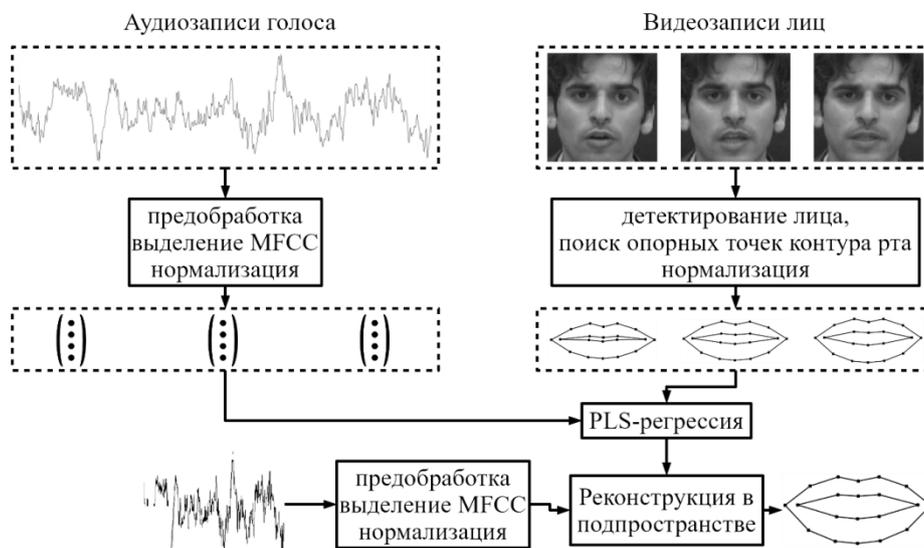


Рис. 3. Структура системы реконструкции контура рта по голосу

Таблица 2. Значения ошибки реконструкции, полученные с помощью различных вариантов предложенного подхода

Метод реконструкции	Ошибка реконструкции		
	среднее $\bar{\epsilon}$	медиана $\epsilon_{0,5}$	0,95-квантиль $\epsilon_{0,95}$
PLS (5 компонент)	0,0240	0,0220	0,0447
PLS + кластеризация (5 компонент)	0,0238	0,0218	0,0439

В данной работе проанализированы задачи совместной обработки голосовых и мультисенсорных лицевых данных, рассмотрены возможные подходы к их решению. Представлены методы взаимной реконструкции мультисенсорных изображений лиц и

реконструкции контура рта по голосу, эксперименты показали работоспособность предложенных методов. Во всех случаях используется PLS-регрессия и различные методы выделения признаков, что позволяет говорить о единообразии представленных методов.

Предложенные решения могут применяться в ряде областей, таких как поиск по базам мультисенсорных изображений лиц, автоматизированные системы видеонаблюдения, биометрический контроль доступа, многомодальные системы человеко-машинного взаимодействия, а также в криминалистике.

### Литература

1. Кухарев Г.А., Матвеев Ю.Н., Олейник А.Л. Алгоритмы взаимной трансформации изображений для систем обработки и поиска визуальной информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17. – № 1. – С. 62–74.
2. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. – Черноголовка: ИПХФ РАН, 2005. – 160 с.
3. Wang Z. et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE transactions on image processing. – 2004. – V. 13. – № 4. – P. 600–612.
4. CUFS dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/archive/facesketch.html> (дата обращения: 25.04.2015).
5. The VidTIMIT Audio-Video Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://conradsanderson.id.au/vidtimit/> (дата обращения: 24.05.2015).



**Пальков Василий Александрович**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
студент группы № М4223

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: vasilypalkov@gmail.com

УДК 004.93

**ВЫДЕЛЕНИЕ ЗРАЧКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ ЛИЦА**

**Пальков В.А.**

**Научный руководитель – к.т.н. Щемелинин В.Л.**

С увеличением качества фото- и видеоматериалов, а также упрощением доступа к цифровой аппаратуре анализ пользователя на изображении все чаще находит свое применение в современном мире. Появляются системы управлением компьютером на основе взгляда и системы идентификации пользователя на основе уникальных черт, таких как радужная оболочка глаза. В этом случае ставится задача нахождения и выделения на изображении человеческого лица зрачка. В данной работе предложен подход к выделению зрачка, и приведена алгоритмическая реализация данного подхода.

**Ключевые слова:** OpenCV, Python, обнаружение, выделение зрачка, глаз.

В современном мире задача выделения зрачка все чаще находит свое применение в продуктах бесконтактного управления компьютером, идентификации пользователя, а также в интеллектуальных системах анализа поведения пользователя. В данной работе описан один из подходов к выделению зрачка человека на изображении его лица.

Задачу выделения зрачка на изображении лица можно разбить на следующие шаги:

1. выделение на изображении лица человека;
2. выделение на изображении лица глаз;
3. выделение на изображении глаз зрачка.

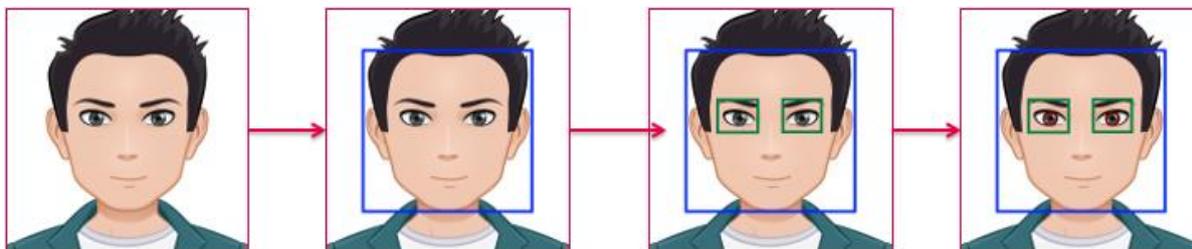


Рисунок. Иллюстрация шагов выделения зрачка на изображении лица человека

В первых двух шагах для выделения лица и глаз предлагается использовать метод Виолы–Джонса. Его предложили Паул Виола и Майкл Джонс в 2001 году [1]. Данный подход позволяет обнаруживать объекты на изображениях и, хотя алгоритм может распознавать различные классы изображений, основной задачей при его создании было обнаружение лиц [2]. Реализация данного метода имеется в составе библиотеки компьютерного зрения OpenCV (функция cvHaarDetectObjects()). Далее в работе примеры кода приводились с использованием библиотеки OpenCV и языка Python. Так, ниже приведен код, реализующий два первых этапа и возвращающий массив с координатами глаз на предоставленном изображении человека.

```
1. def getEyes(image):  
2.     eyes = []
```

```

3.         gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
4.         faces = FACE_CASCADE.detectMultiScale(gray, scaleFactor=1.1,
minNeighbors=3, minSize=(65, 65))
5.         for (x_,y_,w_,h_) in faces:
6.             cv2.rectangle(gray, (x_,y_), (x_+w_,y_+h_), (255,0,0), 2)
7.             face_area = gray[ y_:y_+h_, x_:x_+w_ ]
8.             eyes.append(EYE_CASCADE.detectMultiScale(face_area))
9.         return eyes

```

На изображении зрачок представляет собой темный круг на белом глазном яблоке. Для нахождения зрачка на третьем, завершающем шаге, предлагается использовать функцию поиска кругов `HoughCircles` из пакета `OpenCV`. Данная функция возвратит все окружности, подходящие по заданным параметрам функции. Для выделения единственной, верной, окружности зрачка предлагается использовать сравнение гистограмм окружностей. Окружность, содержащая наибольшее число темных пикселей, будет соответствовать зрачку. В этом случае последовательность действий для выделения зрачка выглядит следующим образом:

1. предобработка: обесцвечивание, выравнивание гистограммы и повышение уровня контраста;
2. поиск окружностей на изображении глаза;
3. поиск окружности, содержащей наибольшее число темных пикселей.

Ниже приведен код, который реализует описанный метод поиска зрачка на изображении глаза.

```

1.     def createCircularMask(h, w, center=None, radius=None):
2.         if center is None:
3.             center = [int(w/2), int(h/2)]
4.         if radius is None:
5.             radius = min(center[0], center[1], w-center[0], h-center[1])
6.
7.         Y, X = np.ogrid[:h, :w]
8.         dist_from_center = np.sqrt((X - center[0])**2 + (Y-center[1])**2)
9.
10.        mask = dist_from_center <= radius
11.        return mask
12.
13.    def getIris(image, circles):
14.        iris = None
15.        h, w = image.shape
16.
17.        for c in circles:
18.            center = [c[0], c[1]]
19.            radius = c[2]
20.
21.            mask = createCircularMask(h, w, center, radius)
22.            masked_img = image.copy()
23.            masked_img[~mask] = 256
24.
25.            hist,bins = np.histogram(masked_img.ravel(),256,[0,256])
26.            if iris is None:
27.                iris = [c[0], c[1], radius, np.median(hist)]
28.            elif iris[3]<np.median(hist):

```

```
29.             iris = [c[0], c[1], radius, np.median(hist)]
30.         return iris
31.
32.     def getEyeball(image):
33.         eyeball = []
34.
35.         image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
36.         cv2.equalizeHist(image)
37.         circles =
cv2.HoughCircles(image,cv2.HOUGH_GRADIENT,1,20,param1=50,param2=30,minRadius=0,max
xRadius=0)
38.         if len(circles[0]) > 0:
39.             eyeball = getIris(image, circles[0])
40.         return eyeball
```

Для функций `HoughCircles` параметры устанавливаются индивидуально, исходя из исходных изображений. Описание параметров находится в документации пакета `OpenCV` [3].

В данной работе был описан подход для выделения зрачка человека на изображении лица, а также приведена алгоритмическая реализация предложенного подхода.

### Литература

1. Viola P., Jones M. Robust Real-time Object Detection. International Journal of Computer Vision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cs.cmu.edu/~efros/courses/AP06/Papers/viola-IJCV-01.pdf>, своб.
2. Метод Виолы–Джонса: Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_Виолы\\_–\\_Джонса](https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Виолы_–_Джонса), своб.
3. Hough Circle Transform: OpenCV 2.4.13.6 documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough\\_circle/hough\\_circle.html](https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough_circle/hough_circle.html), своб.

**Петров Олег Евгеньевич**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: petrov-o@speechpro.com

УДК 004.934.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ГРАФОВ В ЗАДАЧАХ  
РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ****Петров О.Е.****Научный руководитель – д.т.н. Матвеев Ю.Н.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

В рамках работы были исследованы особенности построения архитектуры систем распознавания речи на основе вычислительных графов. Многопоточная обработка речевых данных может быть разделена на вычислительные блоки, для каждого из которых определены наборы входных и выходных данных. Такой подход позволяет оптимально использовать ресурсы системы и применять многопоточные реализации алгоритмов, сохраняя при этом масштабируемость системы.

**Ключевые слова:** распознавание речи, речевые информационные системы, вычислительные графы, сопрограммы, масштабирование речевых информационных систем.

На сегодняшний день речевые системы распознавания и синтеза речи имеют сложную многоуровневую архитектуру. Проектирование таких систем требует специальных знаний в предметной области. Существует целый ряд подходов и решений, одним из которых является использование вычислительных графов [1].

Архитектура систем автоматического распознавания речи включает в себя следующие основные компоненты:

- модули шумочистки и отделения полезного сигнала;
- акустическая модель (АМ), которая позволяет оценить распознавание речевого сегмента с точки зрения схожести на звуковом уровне. Для каждого звука изначально строится модель, которая описывает произнесение этого звука в речи;
- языковая модель (ЯМ), которая позволяет определить наиболее вероятные для данного языка или тематики последовательности слов;
- декодер, представляющий собой программный компонент системы распознавания, который совмещает данные, получаемые в ходе распознавания от акустических и языковых моделей, и на основании их объединения определяет наиболее вероятную последовательность слов, которая и является конечным результатом распознавания слитной речи.

Процесс распознавания речи можно разделить на следующие этапы:

- оцифрованный речевой сигнал поступает в модуль акустической адаптации, который управляет модулем расчета параметров речи, необходимых для распознавания;
- в сигнале выделяются участки, содержащие речь, для которых производится оценка параметров речи;
- параметры речи поступают в основной блок системы распознавания – декодер, который и определяет наиболее вероятную последовательность слов для данного речевого сигнала.

Современные системы могут иметь и более сложную архитектуру:

- блок расчета признаков речи может включать целый каскад обработчиков;
- может использоваться несколько нейронных сетей (НС) различных топологий и конфигураций как последовательно, так и параллельно [2];
- разные базовые (сырые) признаки на входах разных НС (GTF, Pitch, PLP, ...) [3];
- может потребоваться несколько проходов (i-vectors, CMN).

Основная идея предлагаемого подхода заключается в том, чтобы каждый узел представить в виде блока, каждый из которых характеризовался бы своим набором моделей, а также входных и выходных данных. Количество входов и выходов из блока неограничено. Модели могут быть разделяемы между потоками или даже типами блоков. Семантика блока может быть самой разной, начиная от тривиальных операций умножения матрицы на скаляр, заканчивая сложными операциями вроде рескоринга сеток по языковой модели. Уровень атомарности операций не регламентируется. Каждый блок может быть представлен более мелкими блоками.

Классическим механизмом распараллеливания процесса распознавания речи является разделение фонограмм по отдельным потокам. Иначе говоря, набор фонограмм делится на количество потоков и обрабатывается независимо, каждая группа в своем потоке. Использование общих моделей через разделяемую память позволяет снизить накладные расходы. Однако использование параллельных алгоритмов для, к примеру, многопоточного декодирования при таком подходе выигрыша не даст. Напротив, накладные расходы на создание дополнительных потоков только замедлят скорость работы системы, так как каждый поток обработки фонограммы будет создавать потоки внутри себя, не координируя этот процесс на уровне всей системы. Если алгоритмов, порождающих свои внутренние потоки, будет становится больше, то и количество общих потоков на систему будет быстро расти, что в конечном итоге сведет на нет все преимущества использования многопоточных алгоритмов [4]. Такой подход, очевидно, не позволяет оптимально использовать ресурсы системы.

Каждый блок принимает на вход определенную порцию данных. Один из методов реализации логики обработки входных данных – использование единого метода, отвечающего за обработку. Его работа описывается следующими шагами.

1. Вызывающая сторона подготавливает порцию данных для обработки и передает их в соответствующий метод вычислительного блока.
2. Метод обработки оценивает, достаточно ли их. Если их недостаточно, то данные буферизируются, а управление возвращается вызывающей стороне.
3. Если данных достаточно, то они обрабатываются, а для всех дочерних вычислительных блоков процедура повторяется.

Таким образом, шаг за шагом, данные «проталкиваются» по связанным вычислительным блокам. Каждую итерацию внутренние буферы заполняются, и вычисление передается дальше. Этот подход имеет несколько преимуществ:

- он прост в реализации и требует минимальных знаний в области многопоточного программирования;
- понятное масштабирование системы. Добавление потоков позволяет практически линейно увеличивать скорость обработки, пока мы не достигнем ограничения по ядрам процессора.

К минусам подхода можно отнести следующее:

- неоптимальное распределение нагрузки. Часть времени потребуется, чтобы заполнить буферы, т.е. основной пик нагрузки приходится на конец времени обработки фонограммы;
- часть вычислений может выполняться на GPU [5], что приводит к тому, что во время передачи данных на устройство и непосредственно вычислений соответствующий поток распознавания простаивает;

– одна фонограмма обрабатывается только на одном ядре.

Альтернативным подходом может быть использование сопрограмм. Каждый вычислительный блок представляется сопрограммой, которая обрабатывает данные, как только они были получены. Для случая, когда данных для обработки нет, соответствующий блок находится в ожидании, не используя ресурсы системы. Переключениями занимается система, распределяя нагрузку между блоками. Это позволяет равномерно разделить нагрузку в процессе обработки и минимизировать время простоя.

К преимуществам использования сопрограмм можно отнести следующее:

- нет ограничений на создание сопрограмм, в системе их может быть очень много. Большая часть сопрограмм находится в ожидании;
- появляется возможность использовать многопоточные реализации алгоритмов внутри вычислительных блоков;
- есть возможность задействовать все ресурсы системы.

Среди минусов можно выделить:

- сложная декомпозиция на блоки. Размер вычислительных блоков может влиять на производительность;
- сложность реализации.

В ходе данной работы был описан метод построения систем распознавания речи, с использованием вычислительных графов и сопрограмм, который позволяет оптимально использовать ресурсы системы и применять многопоточные реализации алгоритмов, сохраняя при этом масштабируемость системы.

## Литература

1. Лисицкий Е.И., Шуранов Е.В. Обзор библиотек для ускорения разработки программ для многопоточной обработки данных на языке C++ // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/6165/6165.pdf>, своб.
2. Убский Д.С., Менделев В.С. Распознавание эмоций в речи на основе слияния нейронных сетей // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/6160/6160.pdf>, своб.
3. Романенко А.Н., Матвеев Ю.Н., Минкер В. Перенос знаний в задаче автоматического распознавания русской речи в телефонных переговорах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 236–242.
4. Kisun You, Jike Chong, Youngmin Yi. et al. Parallel scalability in speech recognition // IEEE Signal Processing Magazine. – 2008. – V. 26. – № 6. – P. 124–135.
5. Yu D., Eversole A., Seltzer M.L. et al. An introduction to computational networks and the computational network toolkit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2014/08/CNTKBook-20160217.pdf>, своб.



**Томашенко Наталья Александровна**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: tomashenko@speechpro.com



**Хохлов Юрий Юрьевич**

Год рождения: 1969

ООО «ЦРТ-инновации», ведущий программист

e-mail: khokhlov@speechpro.com



**Черных Ирина Александровна**

Год рождения: 1981

ООО «ЦРТ-инновации», научный сотрудник

e-mail: chernykh-i@speechpro.com



**Кабаров Владимир Иосифович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, ст. преподаватель

e-mail: kabarov@speechpro.com

**УДК 004.934.2**

**БЫСТРЫЙ ДЕКОДЕР ДЛЯ ПОИСКА НЕСЛОВАРНЫХ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОНЕМНЫХ ПОСТЕРИОГРАММНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ**

**Томашенко Н.А.** (Университет ИТМО), **Хохлов Ю.Ю.** (ООО «ЦРТ-инновации»),  
**Черных И.А.** (ООО «ЦРТ-инновации»), **Кабаров В.И.** (Университет ИТМО)

Предложен новый подход к решению задачи поиска в речевых данных несловарных, т.е. отсутствующих в словаре системы распознавания (OOV), ключевых слов, за счет декодирования с использованием высокоуровневых признаков – апостериорных вероятностей фонем, извлекаемых из результирующей словной решетки. Предложенный подход обеспечивает высокую точность и скорость поиска OOV ключевых слов, а также низкое потребление памяти

**Ключевые слова:** речь, поиск ключевых слов (KWS), несловарные (OOV) слова, автоматическое распознавание речи (ASR), апостериорные вероятности фонем (PPB), декодер.

**Введение.** Задача поиска ключевых слов (keyword search, KWS) активно исследуется в течение последнего десятилетия. Поиск несловарных (out-of-vocabulary, OOV) слов – тех слов, которые неизвестны системе заранее на этапе обучения, – одна из фундаментальных

проблем исследований, посвященных этой теме. В связи с ростом интереса к разработке систем автоматического распознавания речи для малоресурсных языков проблема поиска несловарных слов стала особенно актуальной.

В литературе предложено множество методов для решения поставленной проблемы. Большинство современных KWS-систем основаны на индексированном поиске. Речевой индекс может быть получен из системы автоматического распознавания речи в виде словных сеток или сетей спутывания (Confusion Networks, CNs) [1]. Существует два обширных класса методов поиска несловарных слов. Первый класс методов основан на представлении несловарных слов с использованием так называемых «подсловных единиц» (subword units) [2, 3]. Второй класс методов основан на использовании приближений несловарных слов близкими по звучанию последовательностями словарных слов [4].

В данной работе предложен инновационный подход к решению задачи поиска несловарных ключевых слов. Этот подход основан на использовании апостериорных вероятностей фонем в качестве признаков (phoneme posterior based, PPB) и новой стратегии декодирования для этих признаков. Он был успешно реализован на конкурсе OpenKWS 2016, организованном NIST, как часть системы, представленной командой ЦРТ [5].

**Признаки на основе апостериорных вероятностей фонем (PPB).** PPB-признаки предложено получать путем вычисления апостериорных вероятностей на дугах словной сети декодера, полученной в процессе распознавания речи. Для каждого временного интервала  $t$  рассчитывается  $p_t^n$ , достоверность фонемы  $ph_n$ .

Для вычисления апостериорных вероятностей на дугах из словных сетей используется алгоритм прямого-обратного хода (forward-backword):

$$P(l|O) = \frac{\sum_{q \in Q_l} p_{acc}(O|q) \lambda^{\frac{1}{2}} P_{lm}(w)}{P(O)}, \quad (1)$$

$$p_t^n = P(o_t \in ph_n) = \sum_{l \in S_n(o_t)} P(l|O), \quad (2)$$

$$\mathbf{p}_t = (p_t^1, \dots, p_t^N), \quad (3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент масштабирования;  $q$  – путь, соответствующий последовательности слов  $w$  в словной сети декодера;  $Q_l$  – набор путей, проходящих сквозь дугу  $l$ ;  $p_{acc}(O|q)$  – акустическое правдоподобие;  $P_{lm}(w)$  – вероятность слова  $w$ , полученная из языковой модели;  $P(O)$  – итоговая вероятность всех путей через сеть;  $P(o_t \in ph_n)$  – вероятность соответствия данного фрейма  $o_t$  фонеме  $ph_n$ ;  $S_n(o_t)$  – набор всех дуг, относящихся к фонеме  $ph_n$  в сетке в момент времени  $t$ ;  $P(l|O)$  – апостериорная вероятность дуги  $l$  в сетке;  $\mathbf{p}_t$  – вектор PPB-признаков, каждая координата которого представляет собой вероятность принадлежности данного фрейма конкретной фонеме;  $N$  – количество фонем

Для сглаживания фонемных вероятностей используется матрица спутывания  $\mathbf{M}$ , обучаемая методом «без учителя». Она может быть представлена как матрица размерности  $\mathbf{N} \times \mathbf{N}$ :  $\mathbf{M} = \{\mu_1, \dots, \mu_N\}$ , где каждая координата  $\mu_n$  – среднее, вычисленное по всем векторам  $\mathbf{p}_t$ , которые соответствуют фонеме  $ph_n$ :  $s_t = (1 - \alpha)\mathbf{p}_t + \alpha \mu_n$ , значение параметра  $\alpha$  зависит от размера и полноты сети декодера: для наиболее полных сетей вклад модели спутывания нивелируется.

**Быстрый OOV-декодер.** Топология используемого для декодирования графа представляет собой фонемный конечный автомат (Finite State Automat, FSA). FSA создается для каждого несловарного слова независимо и содержит все возможные варианты произношения (согласно фонетической транскрипции) этого слова.

Для оценки вероятностей примем следующее: пусть  $H$  – текущая гипотеза ключевого слова  $K$ , что соответствует последовательности фонем  $K = \langle \phi_1, \dots, \phi_M \rangle$ . Тогда показатель вероятности для этой гипотезы вычисляется в два шага:

1. оценка вероятности фонем в текущей гипотезе:

$$P(\varphi_i) = \frac{1}{L_i} \sum_{t=t_{start}(\varphi_i)}^{t=t_{end}(\varphi_i)} \mathbf{s}_t^{\varphi_i}, \quad (4)$$

где  $L_i = t_{end}(\varphi_i) - t_{start}(\varphi_i) + 1$  – длина текущей фонемы  $\varphi_i$  в гипотезе  $H$ ;  $t_{start}(\varphi_i)$  и  $t_{end}(\varphi_i)$  – первый и последний кадры фонемы  $\varphi_i$  в  $H$  соответственно;  $s_t^{\varphi_i}$  –  $\varphi_i$ -ая координата вектора  $\mathbf{s}_t$ ;

2. расчет вероятности всей гипотезы  $H$  как средней вероятности всех фонем текущего ключевого слова:

$$P(H) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P(\varphi_i). \quad (5)$$

Текущая гипотеза отклоняется, если ее вероятность становится ниже заданного порогового значения  $\Theta_{beam}$ . Максимальное количество возможных гипотез в декодере эквивалентно числу состояний конечного автомата (FSA).

**Результаты экспериментов.** Были проведены эксперименты, направленные на сравнение подходов к поиску несловарных слов с использованием: приближений словарными словами (прокси-подход), разработанного OOV-декодера, гибридного решения, на основе перечисленных алгоритмов. Эксперименты проводились для речевых данных на малоресурсном грузинском языке из коллекции IARPA Babel Program. Эффективность подходов оценивалась с использованием максимальной взвешенной по ключевым словам характеристики (Maximum Term Weited Value, MTWV) и показателя скорости RTF (Real-Time Factor) – величины, определяемой как отношение времени, затраченного на распознавание фонограмм, к суммарной длительности фонограмм.

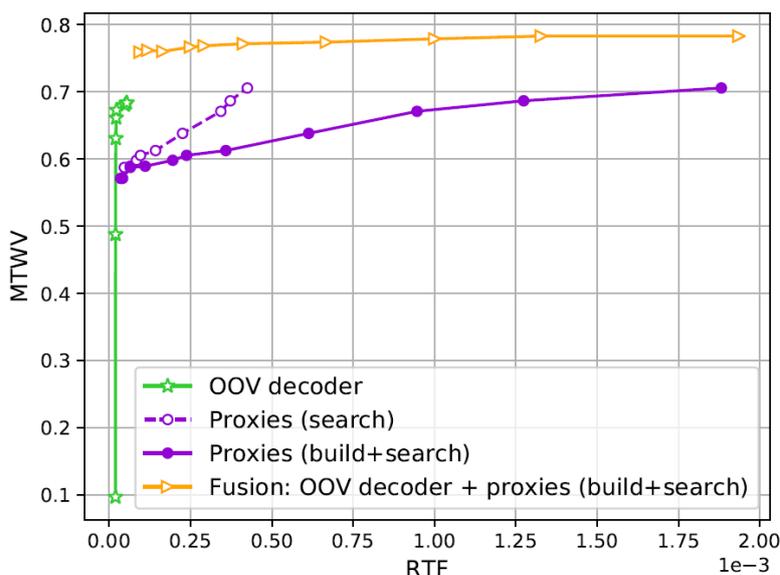


Рисунок. Сравнение различных подходов к поиску OOV-слов

Сравнение двух подходов к поиску несловарных ключевых слов (рисунок) демонстрирует, что OOV-декодер значительно превосходит поиск, основанный на прокси-подходе (proxies), с точки зрения MTWV при сопоставимой скорости обработки. Отметим, что для прокси-подхода важна не только скорость поиска, но также и скорость генерации графа на основе взвешенных конечных преобразователей (Weighted Finite State Transducers, WFST). Данная стадия обозначена как «build». Полученные результаты также показывают, что наиболее эффективным подходом является комбинация двух методов – гибрида прокси-подхода и OOV-декодера.

## Литература

1. Mangu L., Brill E., Stolcke A. Finding consensus in speech recognition: word error minimization and other applications of confusion networks // Computer Speech & Language. – 2000. – V. 14. – № 4. – P. 373–400.

2. Szoke I., Burget L., Cernocky J., Fapso M. Sub-word modeling of out of vocabulary words in spoken term detection // In 2008 IEEE Spoken Language Technology Workshop. – 2008. – P. 273–276.
3. Hartmann W., Le V.B., Messaoudi A., Lamel L. and Gauvain J.-L. Comparing decoding strategies for subword-based keyword spotting in low-resourced languages // Interspeech. – 2014. – P. 2764–2768.
4. Logan B., Van Thong J.-M. Confusion-based query expansion for oov words in spoken document retrieval [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.academia.edu/26627689/Confusion-based\\_query\\_expansion\\_for\\_oov\\_words\\_in\\_spoken\\_document\\_retrieval](http://www.academia.edu/26627689/Confusion-based_query_expansion_for_oov_words_in_spoken_document_retrieval), своб.
5. Khokhlov Y., Medennikov I., Romanenko A., Mendeleev V., Korenevsky M., Prudnikov A., Tomashenko N., Zatornitsky A. The STC keyword search system for OpenKWS 2016 evaluation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/319185182\\_The\\_STC\\_Keyword\\_Search\\_System\\_for\\_OpenKWS\\_2016\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/319185182_The_STC_Keyword_Search_System_for_OpenKWS_2016_Evaluation), своб.



**Убский Дмитрий Сергеевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра речевых информационных систем,  
аспирант

Направление подготовки: 090601 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: ubskiy@speechpro.com

УДК 004.932.2

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ НА ПРИМЕРЕ ГРУЗИНСКОЙ РЕЧИ

Убский Д.С.

Научный руководитель – д.т.н. Матвеев Ю.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

Для успешного многоязычного распознавания речи требуются признаки, приблизительно одинаково применимые для всех целевых языков. В данном исследовании произошло сравнение различных систем извлечения акустических признаков речи на основе нейронных сетей, разработка собственной системы извлечения признаков и сравнение с существующими.

**Ключевые слова:** распознавание речи, многоязычное распознавание речи, акустические признаки, узкое горлышко, bottleneck.

Узкое горлышко – это слой нейронной сети меньшей размерности, чем соседние слои. Пример структуры такой нейронной сети представлен на рисунке. Такие слои обычно используются для представления данных вектором меньшей размерности. Например, такие слои используются в автокодировщиках для нелинейного уменьшения размерности входа.

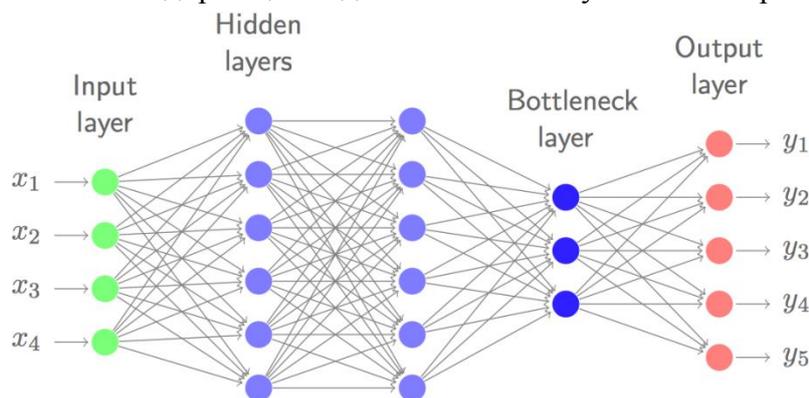


Рисунок. Структура нейронной сети с узким горлышком

Основной целью исследования являлось сравнение акустических признаков, полученных при помощи нейронных сетей различной архитектуры.

1. Архитектура многоязычной полносвязной сети (SDBN). SDBN представляет собой полносвязную нейронную сеть из шести слоев размерностью 2048 до узкого горлышка и двумя слоями после [1, 2]. SDBN была обучена на многоязычных данных проекта Babel [3] на признаках PLP от MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients), основном тоне и  $i$ -векторах.
2. Архитектура русскоязычной полносвязной сети (DNN BN). DNN BN представляет собой полносвязную нейронную сеть из шести слоев размерностью 1536 до узкого горлышка и

двумя слоями после [1]. SDBN была обучена на русскоязычных данных на банках мел-фильтров и  $i$ -векторах.

3. Архитектура русскоязычной остаточной сети (ResNet BN). ResNet BN представляет собой глубокую сверточную нейронную сеть с остаточными связями между слоями [4]. Всего до узкого горлышка сеть насчитывает 25 слоев. После узкого горлышка сеть имеет шесть полносвязных слоев. ResNet BN была обучена на русскоязычных данных на банках мел-фильтров и  $i$ -векторах.
4. Архитектура многоязычной сверточной сети (CNN BN). CNN BN представляет собой сверточную нейронную сеть из 13 сверточных слоев до узкого горлышка и одного полносвязного слоя после. CNN BN изначально задумывалась как упрощенная версия ResNet BN, но в связи с ограничениями на скорость обучения и прямого прохода через нейронную сеть от остаточных связей решено было отказаться, что, в свою очередь, привело к уменьшению глубины сети. CNN BN была обучена на многоязычных данных проекта Babel [3] на банках мел-фильтров и основном тоне. Свертка по банкам мел-фильтров и основному тону проводится отдельно.

**Эксперименты.** На основе каждого набора признаков была построена TDNN (Time Delay Neural Network) одинаковой архитектуры. TDNN обучены на идентичном наборе данных. Для сравнения использованы данные грузинского языка из набора данных Babel [3]. Результаты экспериментов представлены в таблице.

Таблица. Результаты экспериментов

Размерность TDNN	Learning rate	Признаки	Best WER
1024	0,008	SDBN	63,70%
		DNN BN	60,74%
		ResNet BN	59,45%
		CNN BN	62,84%

**Заключение.** В рамках проведенной работы были проведены сравнения архитектур нейронных сетей с узким горлышком, а также была обучена модель с узким горлышком для извлечения акустических признаков с учетом сравнительного анализа. Многоязычная сверточная сеть показала несколько лучшие результаты, чем полносвязная многоязычная сеть, но худшие, чем русскоязычные модели. Потери в качестве могут объясняться отсутствием дикторозависимых признаков в новой модели.

### Литература

1. Khokhlov Y., Medennikov I., Romanenko A., Mendeleev V., Korenevsky M., Prudnikov A., Tomashenko N., Zatzvornitsky A. The STC keyword search system for OpenKWS 2016 evaluation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/319185182\\_The\\_STC\\_Keyword\\_Search\\_System\\_for\\_OpenKWS\\_2016\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/319185182_The_STC_Keyword_Search_System_for_OpenKWS_2016_Evaluation), своб.
2. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun. Deep Residual Learning for Image Recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1512.03385.pdf>, своб.
3. IARPA Babel program [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iarpa.gov/index.php/research-programs/babel>, своб.
4. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 770–778.



**Фельдина Евгения Александровна**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: feldinazhenja@ya.ru

УДК 004.891.2

**ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ЗА СЧЕТ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОРАБОТОК ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ**

**Фельдина Е.А.**

**Научный руководитель – д.т.н. Матвеев Ю.Н.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617040 «Синтез эмоциональной речи на основе глубокого машинного обучения».

Задачей работы являлось повышение уровня автоматизации обслуживания с целью уменьшения количества переводов на оператора в чате и голосом канале. Для достижения поставленной цели произведен выбор функциональных доработок и их реализация на существующем сценарии обслуживания.

**Ключевые слова:** диалоговая система, функциональные доработки, уровень автоматизации, сценарий обслуживания, система контроля версий, default-ветка, логи компонентов, инструменты визуализации, noMatch, интеграционные ветки.

Сценарий обслуживания – это иерархический конечный автомат, в котором каждое состояние представляет собой предположение системы о намерениях пользователя.

Уровень автоматизации – отношение количества не переведенных на оператора диалогов к общему количеству диалогов.

В качестве функциональных доработок были выбраны:

- семантический анализ по схеме сущность-действие/характеристика;
- расширение списка синонимов;
- счетчик попаданий в темы;
- новая технология работы с системой контроля версий;
- аналитика логов-компонентов с помощью инструментов визуализации;
- меню подсказок при noMatch;
- введение системы кодов ошибок в интеграционных ветках сценария обслуживания.

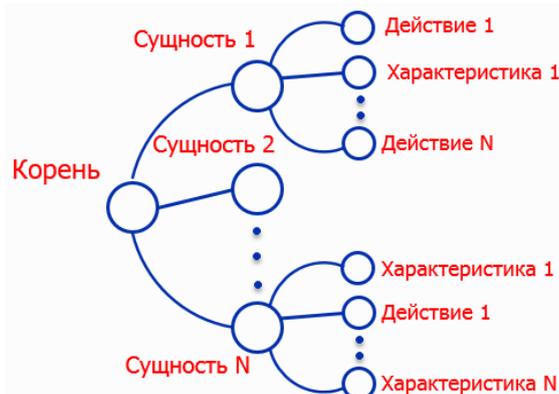


Рис. 1. Схема сущность-действие/характеристика

По результатам семантического анализа предметной области по схеме сущность-действие или сущность-характеристика создана древовидная схема, представленная на рис. 1. Сравнение данной схемы с существующей структурой сценария обслуживания позволяет найти непроработанные ветки сценария обслуживания и дополнить его.

Каждая сущность, действие, характеристика из схемы на рис. 1 расширяется синонимами, дополняется словоформами [1]. Данный шаг позволяет увеличить вариативность обрабатываемых системой вопросов.

Счетчик попаданий в тему позволяет задавать логику взаимодействия диалоговой системы с пользователем после последовательного/непоследовательного попадания в одну и ту же тему. Количество попыток попадания пользовательских вопросов в одну и ту же тему является настраиваемым параметром. На рис. 2 представлена схема процесса обработки вопроса пользователя с использованием счетчика попаданий в тему.

Кроме того, счетчик попаданий может захватывать несколько тем: при последовательном попадании в определенную цепочку тем реакция диалоговой системы может быть отличной от стандартной (если порядок тем нарушен).



Рис. 2. Схема процесса обработки вопроса пользователя с использованием счетчика попаданий в тему

Новая технология работы с системой контроля версий позволяет распараллелить активности участников проекта [2]. Для каждой функциональной доработки создается отдельная ветка. После завершения работ в созданную ветку подтягиваются изменения из default-ветки, разрешаются конфликты, проводится автоматическое тестирование. Далее ветка с реализованным функционалом сливается в default-ветку.

Использование инструментов визуализации данных позволяет упростить аналитику логов-компонентов диалоговой системы, ускорить поиск возникающих инцидентов, строить наглядные отчеты [3]. Многофункциональный и в то же время наглядный интерфейс позволяет использовать различные фильтры для поиска диалогов по различным критериям, склеивать события различных компонентов системы для отображения процесса обработки сессии на стороне диалоговой системы.

Если диалоговая система не распознала вопрос пользователя (не определила тему обращения), то система предлагает пользователю меню подсказок. Меню подсказок при

noMatch состоит из нескольких уровней [4]. На первом уровне пользователю предлагается выбрать тематику или выйти из меню на оператора, если ни одна из предложенных тематик не подходит. На втором уровне пользователю предлагается выбрать тему или перейти на оператора.

Система кодов ошибок в интеграционных ветках сценария обслуживания позволяет ускорить поиск инцидентов в проблемных сессиях [5].

### Литература

1. Хомицевич О.Г., Рыбин С.В., Аничкин И.М. Использование лингвистического анализа для нормализации текста и снятия омонимии в системе синтеза русской речи // Изв. вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56. – № 2. – С. 42–46.
2. Yiming Yang and Christopher G. Chute. An example-based mapping method for text categorization and retrieval // ACM Trans. Inf. Syst. – July 1994. – V. 12. – № 3. – P. 252–277.
3. Bing Liu, Wynne Hsu, and Yiming Ma. Integrating classification and association rule mining [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aaai.org/Papers/KDD/1998/KDD98-012.pdf>, своб.
4. Ghosh A., Bhaskar P., Pal S., Bandyopadhyay S. Rule Based Plagiarism Detection using Information Retrieval [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/221159979\\_Rule\\_Based\\_Plagiarism\\_Detection\\_using\\_Information\\_Retrieval\\_-\\_Notebook\\_for\\_PAN\\_at\\_CLEF\\_2011](https://www.researchgate.net/publication/221159979_Rule_Based_Plagiarism_Detection_using_Information_Retrieval_-_Notebook_for_PAN_at_CLEF_2011), своб.
5. Suendermann D. et al. From rule-based to statistical grammars: Continuous improvement of large-scale spoken dialog systems // Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2009. – P. 4713–4716.

**Айтуганов Дмитрий Андреевич**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3401Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: dmaituganov@gmail.com

**Ткешелашвили Нино Мерабиевна**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: ninomt@cs.ifmo.ru

**Жмылёв Сергей Александрович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: korg@cs.ifmo.ru

**УДК 004.94****СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ НАГРУЗКИ В СИСТЕМАХ  
С ОЧЕРЕДЯМИ****Айтуганов Д.А., Ткешелашвили Н.М., Жмылёв С.А.****Научный руководитель – аспирант Жмылёв С.А.**

В работе выполнен сравнительный анализ способов прогнозирования нестационарной нагрузки. Сравнение производилось между моделями AR, MA, ARMA, ARIMA, а также искусственными нейронными сетями на базе многослойного персептрона. В качестве проверочных и обучающих множеств использовались статистические данные, полученные в результате измерений разрабатываемой многопользовательской системы.

**Ключевые слова:** прогнозирование нагрузки вычислительной системы, модель ARIMA, многослойный персептрон.

**Введение.** В последнее время большое распространение получили различные сервисы-агрегаторы, объединяющие данные из нескольких источников в один. Такие сервисы, по своей сути, являются многопользовательскими системами с нестационарной нагрузкой.

Для обработки запроса от одного пользователя агрегатору может потребоваться совершить несколько десятков или сотен запросов к сторонним сервисам. Так как пользователи могут запрашивать одну и ту же информацию, то самый распространенный способ снижения нагрузки – это использование промежуточных буферов, так называемых кэшей. Но данный способ приводит к снижению актуальности предоставляемых агрегатором данных и может быть использован только для предупреждения избыточной нагрузки системы. По этой причине прогнозирование нагрузки – одна из важнейших задач,

возникающих в ходе разработки алгоритма распределения нагрузки, определяющего источник данных агрегатора: кэш или внешний ресурс.

Для выбора наиболее точного метода прогнозирования авторами был произведен сравнительный анализ, представленный в данной работе. Для обучения и проверки были использованы статистические данные, полученные с помощью разрабатываемого сервиса-агрегатора. Сбор статистики осуществлялся каждые 300 мс. Пример данных можно увидеть на рис. 1.

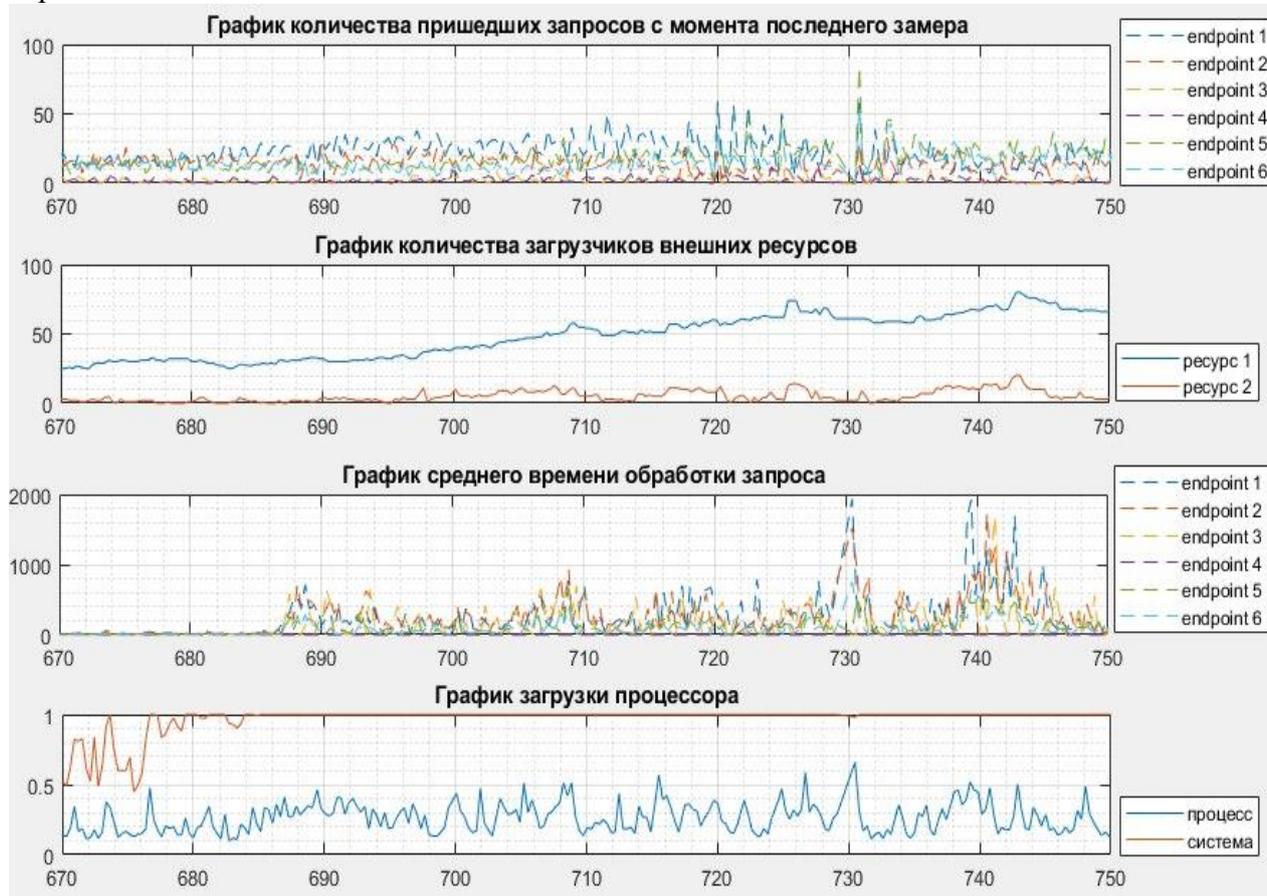


Рис. 1. Статистические данные сервиса-агрегатора

**Модели AR, MA, ARMA, ARIMA.** ARIMA( $p, k, q$ ) – модель анализируемого процесса  $X_t$ , может быть записана в виде:

$$\Delta^k X_t = \sum_{i=1}^p a_i \Delta^k X_{t-i} + b + \sum_{j=1}^q \theta_j b_{t-j},$$

где  $a_i, b, b_i$  – параметры модели;  $\Delta^k X_t$  – оператор разности временного ряда порядка  $d$  (последовательное взятие  $d$  раз разностей первого порядка – сначала от временного ряда, затем от полученных разностей первого порядка, затем от второго порядка и т.д.).

При  $k=0$  имеем модель ARMA, при  $k=0$  и  $q=0$  – модель AR, а при  $p=0$  и  $k=0$  – модель MA.

Все перечисленные модели используются для прогнозирования временных рядов на один или несколько шагов вперед на основании его предыдущих значений [1, 2]. Они были рассмотрены как способ прогнозирования нагрузки процессора в реальном времени. Но один из основных недостатков этих моделей – необходимость повторного расчета коэффициентов при получении новых данных. Исходя из этого, была поставлена задача: определение моделей с минимальными порядками и минимальным количеством обучающих данных при адекватной точности прогнозирования.

Для расчета ARIMA-моделей была использована Java-библиотека с открытым исходным кодом Workday/timeseries-forecast. На одних и тех же входных данных по нагрузке

процессора, собранных за 50 мин работы системы, были построены модели с порядками  $p \leq 11, k \leq 3$  и  $q \leq 11$ . Количество обучающих данных  $n$  варьировалось от 10 до 4000.

Оценка точности модели производилась по следующему алгоритму:

- рассчитывалась ARIMA-модель с порядками  $p, k$  и  $q$  на последовательных значениях нагрузки с  $i$ -го по  $i + n - 1$ ;
- рассчитывался прогноз  $f$  следующего шага  $- i + n$ ;
- происходила нормализация спрогнозированного значения по следующему правилу: если  $f < 0$ , то  $f_n = 0$ ; если  $f > 1$ , то  $f_n = 1$ ;
- фиксировалась ошибка – разница между фактическим значением временного ряда и нормализованным значением  $f_n$ ;
- выполненные действия повторялись при  $i = i + 1$ .

После завершения работы данного алгоритма вычислялась средняя квадратическая ошибка модели порядков  $p, k, q$  с количеством обучающих данных, равным  $n$ . Результаты представлены в табл. 1. Результаты прогнозов данных моделей изображены на рис. 2.

Таблица 1. Сравнение моделей прогнозирования

Порядок модели	Количество обучающих данных	Средняя квадратическая ошибка
Наиболее точные модели		
ARIMA(0, 1, 3)	700	0,103599
AR(9)	800	0,103868
ARMA(8, 1)	800	0,104518
MA(1)	15	0,116628
Простые модели с наибольшей точностью		
AR(1)	43	0,107305
AR(2)	60	0,108484
AR(1)	24	0,108498

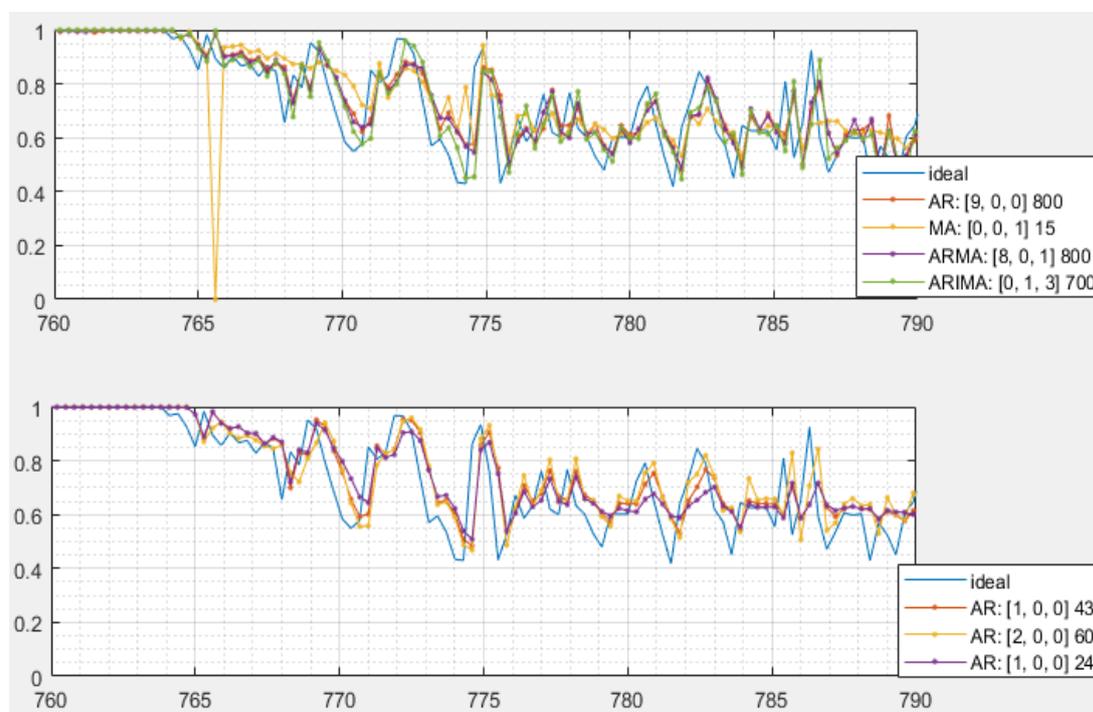


Рис. 2. Прогноз нагрузки процессора

На рис. 2 можно отметить, что резкие скачки нагрузки не прогнозируются ни одной из моделей. Кроме того, наиболее точные модели вычисляют повторение исходного ряда, но смещенного по времени. По сути, эти значения нельзя считать прогнозом.

**Искусственная нейронная сеть на базе многослойного персептрона.** Нейросетевые методы хорошо себя зарекомендовали как средство моделирования динамических систем при неизвестной априори математической модели динамической системы: нейронная сеть может быть обучена на известных примерах моделируемой последовательности и затем использоваться для прогнозирования на новых, ранее не виденных нейросетью примерах данных [3]. Существует два базовых метода наделения нейронных сетей свойствами, необходимых для прогнозирования поведения динамических систем: добавление линий задержек и добавление рекуррентных связей. Был выбран первый метод, так как присущие ему недостатки не влияют на решение рассматриваемых в работе задач, а его обучение происходит проще.

На вход нейронной сети подается 16 динамических характеристик, а также  $(n-1)$  предыдущих значений для каждой из характеристик. На выходе ожидается бинарное значение: 1 – до следующего замера данные должны браться из кэша; 0 – данные выгружаются непосредственно с внешних ресурсов. Так как при слишком высокой нагрузке повышается среднее время обработки запросов, то в качестве прогнозируемого значения возьмем факт превышения данной характеристикой у любого endpoint-а какого-то порогового значения (в пределах данной работы – 90 мс).

Для составления и обучения нейронной сети был использован Java-фреймворк с открытым исходным кодом – Encog. В качестве обучающего был взят тот же участок данных, что использовался при построении моделей ARIMA. Были поставлены следующие задачи:

- выбор структуры нейросети, имеющей наибольшую точность по результатам обучения;
- оценка точности сети на тестовой выборке данных.

В результате экспериментов наибольшую точность на тестовых данных показала нейронная сеть с четырьмя линиями задержек для каждой из характеристик, тремя скрытыми слоями и функциями активации гиперболического тангенса для нейронов скрытых и выходного слоев. В виде тестовых были взяты еще два участка статистических данных длиной 50 и 20 мин. Точность оценивалась по факту значения ошибки – числа неверно спрогнозированных бинарных значений относительно общего числа прогнозов на всех обучающих и тестовых данных. Значение ошибки для лучших конфигураций нейронных сетей можно увидеть в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение конфигураций нейронных сетей

Конфигурация нейронной сети			Ошибка на обучающих данных, %	Ошибка на тестовых данных, %		Общая ошибка, %
Количество линий задержек	Количество скрытых слоев	Функции активации		Выборка 1	Выборка 2	
4	3	tanh	0,12	3,49	4,02	1,70
4	2	tanh	0,22	3,34	4,83	1,81
4	1	tanh	0,95	3,14	3,70	2,00

При этом было отмечено, что при добавлении тестовых выборок в обучающие данные, процесс обучения двух- и трехслойных нейронных сетей из табл. 2 сходится, и процент общей ошибки уменьшается. Результат добавления тестовых данных в обучающую выборку можно увидеть на рис. 3.

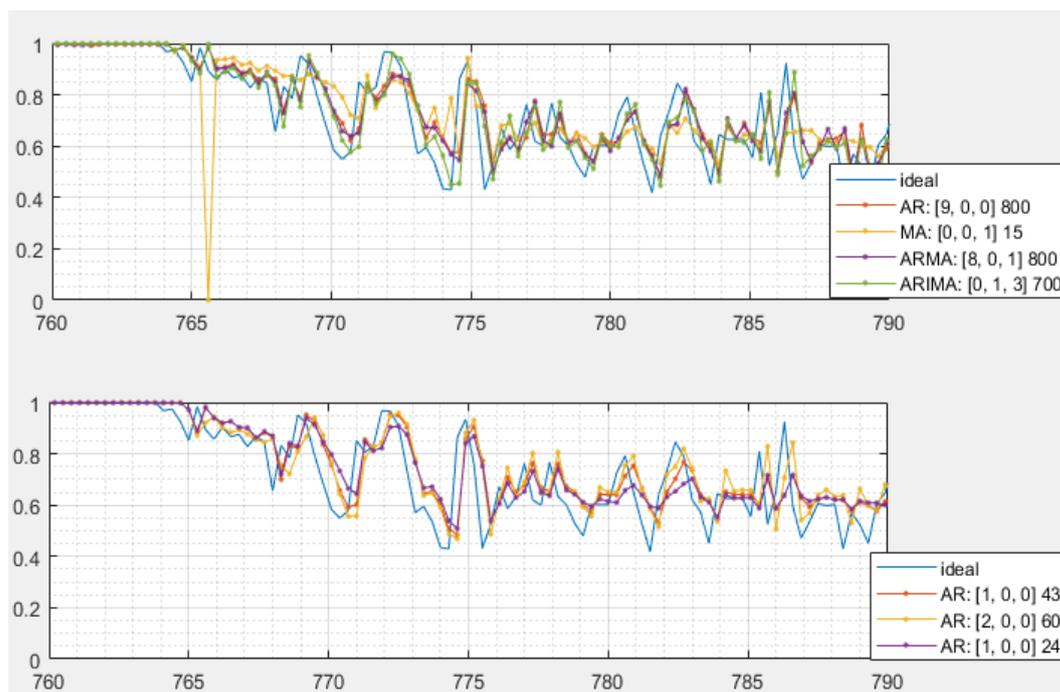


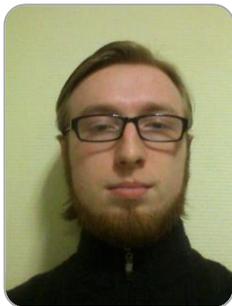
Рис. 3. Результаты прогнозирования нейросетевой модели

**Выводы.** По результатам данной работы, можно сделать следующие выводы.

1. Модели AR, MA, ARMA, ARIMA не подходят для прогнозирования нагрузки процессора, в силу недостаточной точности на данном виде временного ряда.
2. Модель прогнозирования, составленная на базе многослойного персептрона, имеет хорошую точность при прогнозировании пиков времени обработки запросов, и будет использоваться в дальнейшем. Но необходимо модифицировать обучающую выборку, и выполнить эксперименты с величиной шага прогнозирования для увеличения точности получаемых результатов.

### Литература

1. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие. – Невинномысск, 2006. – 221 с.
2. Анализ временных рядов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://baguzin.ru/wp/analiz-vremennyh-ryadov/>, своб.
3. Чернодуб А.М. Обучение рекуррентных нейронных сетей методом псевдорегуляризации для многошагового прогнозирования на примере хаотического процесса Маккея–Гласа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://foibg.com/ibs\\_isc/ibs-28/ibs-28-p16.pdf](http://foibg.com/ibs_isc/ibs-28/ibs-28-p16.pdf), своб.



**Анощенко Дмитрий Игоревич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № Р4102

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: s55078m@gmail.com



**Пенской Александр Владимирович**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра вычислительной техники, к.т.н., доцент

e-mail: aleksandr.penskoj@gmail.com

УДК 004.415.532.2

**ВЕРИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЫСОКОУРОВНЕВОГО СИНТЕЗА  
АППАРАТНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ**

**Анощенко Д.И.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Пенской А.В.**

В работе проведен анализ проблем верификации систем высокоуровневого синтеза аппаратных вычислителей. Рассмотрены методы верификации сложных программных систем, акцент сделан на методе автоматизированного тестирования, основанном на проверке формальных свойств алгоритмов. Предложено решение для задачи тестирования системы высокоуровневого синтеза вычислительной платформы NITTA на основе рассмотренных методов.

**Ключевые слова:** высокоуровневый синтез, верификация, тестирование, тестирование на основе свойств.

**Введение.** Системы высокоуровневого синтеза (High-Level Synthesis, HLS) являются средствами автоматизации процессов проектирования электронных устройств, которые представляют собой сложные, комплексные программные продукты, объединяющие в себе вопросы вычислительных архитектур и теории компиляторов [1]. Задачей таких систем является синтез прикладного алгоритма, описанного на языке высокого уровня, в цифровую схему, представленную на уровне регистровых передач (Register Transfer Level, RTL) с использованием языков описания аппаратуры (Hardware Description Language, HDL).

При проектировании систем HLS важным этапом их разработки является верификация алгоритмов синтеза. Процесс верификации является сложной задачей, в некоторых случаях увеличивающей бюджет в разы. Это позволило сформулировать цель работы: разработка и апробация методики автоматизированного тестирования системы высокоуровневого синтеза NITTA.

**Системы высокоуровневого синтеза.** Цель HLS – повысить эффективность разработки и верификации аппаратных вычислителей и обеспечить высокую гибкость архитектуры в процессе проектирования. Они позволяют описывать поведение разрабатываемых устройств на языках программирования высокого уровня (зачастую на языке программирования C), в то время как инструмент автоматически решает задачу синтеза целевого вычислителя на HDL [2].

На ранних этапах синтеза происходят оптимизации алгоритма, далее выполняются оптимизации микроархитектуры и генерируется RTL спецификации с использованием характерного для каждой системы HLS метода высокоуровневого синтеза.

Представленный в работе обзор механизмов верификации систем HLS выполнен на примере NITTA – системы высокоуровневого синтеза реконфигурируемой вычислительной платформы реального времени на базе ПЛИС [3]. Используемый метод синтеза основан на имитационном моделировании вычислителя, в рамках которого осуществляется перебор возможных вариантов вычислительного процесса.

Микроархитектура целевого вычислителя формируется из набора вычислительных блоков (ВБ) реализованных на языках HDL, осуществляющих обработку и хранение данных, взаимодействие с периферийным оборудованием и т.д. Для синтеза целевого вычислителя необходимо корректное и достаточное представление доступных ВБ в рамках САПР, что осуществляется при помощи соответствующих моделей. Именно модель ВБ задает список поддерживаемых функций (далее – функциональные блоки, ФБ), организует вычислительный процесс и генерирует управляющее программное обеспечение. При этом реализация ВБ выполненная на HDL должна быть согласована с моделью в составе САПР.

**Подход к тестированию.** Одним из базовых инструментов верификации программного обеспечения является система типов, которая позволяет статически проанализировать исходный код на формальную непротиворечивость. Предпочтительными языками для реализации систем высокоуровневого синтеза являются языки со строгой статической типизацией, так как они являются комплексными программными продуктами с множеством внутренних взаимосвязей, автоматическая формальная проверка которых позволяет значительно сократить затраты на тестирование. Однако проверки на непротиворечивость недостаточно, так как могут присутствовать и алгоритмические ошибки.

Классический подход на основе модульного тестирования (unit testing) позволяет проверять работу алгоритмов на заранее заданном наборе входных данных. Задача высокоуровневого синтеза является комплексной и допускает огромное количество вариаций входных данных (алгоритм и решения, принимаемые системой синтеза). Рассматриваемая вычислительная платформа не является исключением. Многообразие вычислительных блоков, возможность их конфигурации и реализация одним ВБ множества ФБ делает задачу разработки тестовых наборов затратной, и как следствие, экономически не целесообразной.

Определим требования к методу тестирования:

- должен предоставлять механизм компактного описания больших наборов входных данных и проверки результата;
- должен обеспечивать высокий уровень покрытия исходного кода тестами.

Альтернативой классическому подходу к верификации на основе тестов являются формальные методы и средства доказательства корректности программ (например, Coq), позволяющие записывать утверждения относительно исходного кода и доказывать их как математические теоремы. Они позволяют доказать, что некоторое утверждение всегда выполняется алгоритмом. Однако они имеют высокий порог вхождения и экономически целесообразны лишь в узком классе задач. Отчасти схожим подходом является метод тестирования на основе проверки свойств – Property Based Testing (PBT), где также выдвигаются утверждения (свойства), но проверка осуществляется не формальным, а опытным способом.

Данный подход позволяет вместо написания тестов на основе конкретных наборов данных, описывать свойства вида: «для любых данных выполняется условие ...». При этом входные данные могут генерироваться автоматически согласно заданным правилам, что позволяет в автоматическом режиме провести проверку на большом наборе данных. Если свойства выполняются, то можно утверждать, что реализация корректна. В случае

несоответствия свойству, инструмент выдаст конкретный набор входных данных, для которых тест оказался неудовлетворительным [4].

Модульное тестирование применяется в рассматриваемом проекте для проверки моделей ВБ на ошибки внутренней логики и соответствия модели реализации на HDL языке.

**Метод верификации.** Описываемая вычислительная платформа реализуется с использованием языка программирования Haskell. В качестве инструмента для тестирования была выбрана библиотека QuickCheck, одна из наиболее известных и применяемых библиотек в PVT, предоставляющая инструменты для работы со свойствами и генераторами случайных входных данных [5].

Для генерации наборов входных данных для тестируемых функций в составе библиотеки QuickCheck определен класс типов «Arbitrary» (наиболее близкой по смыслу формулировкой в соответствии с ОПП будет интерфейс «Arbitrary»). Он позволяет описать генератор тестового набора для тестирования САПР, например: функциональных блоков, переменных и констант, решений, принимаемых системой синтеза.

Процесс тестирования на основе свойств в рассматриваемом проекте представлен на рисунке и включает следующие шаги:

1. выполняется генерация функциональных блоков, определяющих алгоритм, в соответствии с возможностями ВБ. Процесс генерации описывается для каждого типа функциональных блоков с помощью класс типов «Arbitrary»;
2. в соответствии со сгенерированным алгоритмом происходит автоматический процесс синтеза, где решения принимаются случайным образом, включая: привязку ФБ к ВБ и планирование вычислительного процесса;
3. на основе полученного описания, генерируется RTL-реализация целевого аппаратного вычислителя и его машинный код;
4. осуществляется проверка свойств:
  - проверка на соответствие работы ВБ и его аппаратной реализации средствами симуляции;
  - формальная проверка полноты выполнения работы ВБ.

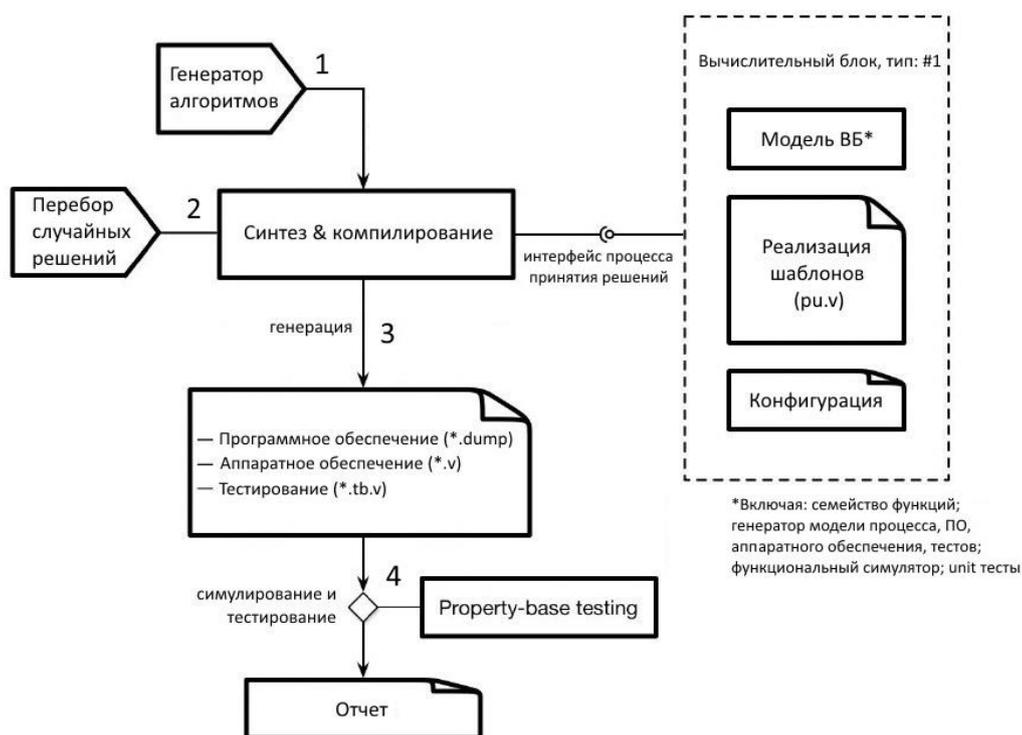


Рисунок. Метод тестирования

Данная процедура повторяется много раз. Это позволяет экспериментально проверить корректность работы системы синтеза на большом наборе тестовых данных и обеспечить высокий уровень покрытия исходного кода тестами.

В совокупности, это позволяет автоматизировать процесс тестирования компонент САПР и обеспечить высокий уровень доверительности к его работе.

**Заключение.** В работе достигнуты следующие результаты:

1. рассмотрен вопрос тестирования системы высокоуровневого синтеза NITTA;
2. выявлены недостатки классического подхода к тестированию применительно к задачам разработки средств высокоуровневого синтеза и сформулированы рекомендации к выбору механизма тестирования;
3. описан способ верификации на основе проверки свойств;
4. применен метод тестирования на основе проверки свойств в проекте по разработке системы высокоуровневого синтеза NITTA.

### Литература

1. Gajski D.D., Ramachandran L. Introduction to high-level synthesis // IEEE Design & Test of Computers. – 1994. – V. 11. – P. 44–54.
2. Martin G., Smith G. High-Level Synthesis: Past, Present, and Future // IEEE Design & Test of Computers. – 2009. – V. 11. – P. 18–25.
3. Пенской А.В. Разработка и исследование архитектурных стилей проектирования уровневой организации встроенных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / Пенской А.В. – СПб., 2016. – 169 с.
4. Fink G., Bishop M. Property-based testing: a new approach to testing for assurance // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. – 1997. – V. 22. – P. 74–80.
5. Introduction to QuickCheck [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://wiki.haskell.org/Introduction\\_to\\_QuickCheck1/](https://wiki.haskell.org/Introduction_to_QuickCheck1/), своб.



**Балакшин Павел Валерьевич**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, к.т.н.

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

**УДК 004.896**

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ**

**Балакшин П.В.**

В работе рассмотрена одна из наиболее перспективных областей автоматизации – роботизированная автоматизация процессов. Проведено сравнение распространенного программного обеспечения для роботизированной автоматизации процессов. Сформированы простейшие начальные рекомендации для пользователей для сокращения времени выбора программного обеспечения. Определены дальнейшие направления исследования.

**Ключевые слова:** роботизированная автоматизация, бизнес-процесс, RPA, RDA.

Автоматизация любого ручного труда практически всегда приводит к повышению эффективности процесса или производства. Особенно данный прогресс очевиден и необходим для замены рутинных ручных процессов, в которых легко совершить ошибку. Так как весь мир активно использует вычислительные машины различного рода и назначения, то целесообразно применять современные технологии для автоматизации задач, выполняемых человеком на компьютерах или при непосредственном участии компьютерных устройств. Одной из наиболее перспективных областей автоматизации сегодня является роботизированная автоматизация процессов (Robotic Process Automation, RPA) – программное обеспечение, которое выполняет различные бизнес-процессы, имитируя взаимодействие человека с различного рода информационными системами [1]. Однако для корректного и эффективного использования такого программного обеспечения необходимо иметь четкое представление о текущем положении дел. Потому целью данной работы являлся сравнительный анализ существующих программных средств роботизированной автоматизации процессов для сокращения времени поиска требуемой системы RPA. В настоящее время на рынке представлены только иностранные программные средства, а малочисленные обзоры, представленные в подавляющем большинстве случаев на иностранных языках, в основном раскрывают понятие RPA и сравнивают лишь две-три системы. Данная работа предназначена для представления широкому кругу читателей большего числа существующих программных средств и помощи в выборе системы в зависимости от пользовательских задач.

Классификации видов роботизированной автоматизации процессов условны. Разные компании используют свои собственные термины для обозначения различных видов автоматизации. Одной из наиболее распространенных классификаций является классификация компании Pegasystems [2]. Согласно ее подходу, существует два вида роботизированной автоматизации, которые могут использоваться как отдельно, так и совместно:

– Robotic Process Automation (RPA) – роботизированная автоматизация процессов, аппаратная или автономная автоматизация. Робот выполняет свою работу автономно, полностью заменяя пользователя. RPA работает как с устаревшими приложениями, так и с

текущими информационными процессами, и обычно устанавливается на виртуальных серверах;

- Robotic Desktop Automation (RDA) – настольная роботизированная автоматизация или интерактивная автоматизация. Робот помогает человеку, выполняя большую часть работы.

В данном случае RPA является подвидом общей технологии, которая также называется RPA. Возникающая путаница понятий и несогласованность терминов связаны с тем, что технология роботизированной автоматизации процессов находится на начальном этапе развития и еще не были выработаны общие стандарты и соглашения. Хорошим примером, позволяющим лучше понять технологию RPA, является «вращающееся» кресло, представленное на рисунке. Оно последовательно взаимодействует как с разнородными входными данными, так и с системами хранения и обработки данных.

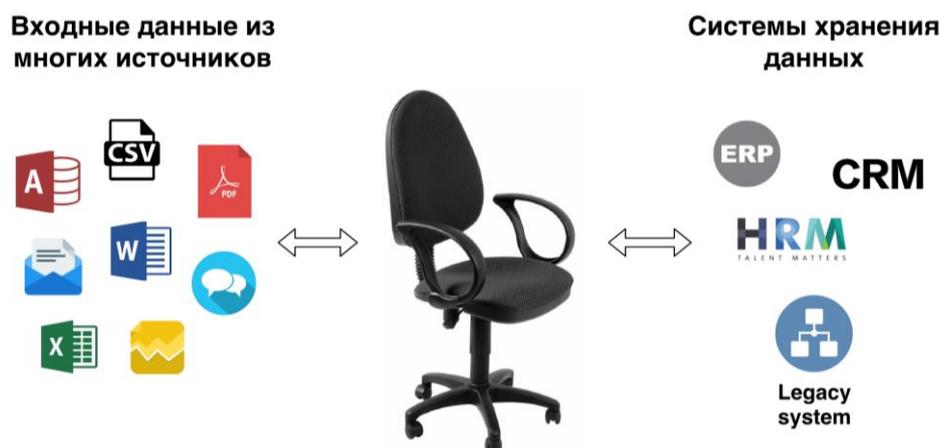


Рисунок. Процессы «вращающегося» кресла

В рамках исследования были поставлены и решены следующие задачи:

1. определить типичные пользовательские задачи;
2. определить достоинства и недостатки использования технологии RPA;
3. провести сравнение программного обеспечения от лидеров рынка;
4. сформировать начальные рекомендации для выбора PRA-системы.

К типичным пользовательским задачам были отнесены процессы, которые можно разбить на однозначные правила (например, администрирование отпусков и больничных), процессы, выполняющиеся часто и в больших количествах или со значительными пиками в нагрузке (например, обработка банковских выписок), процессы, в которых люди склонны совершать ошибки (например, табельный учет и выверка данных по расчету заработной платы) и ряд других [3].

По итогам рассмотрения современной научно-технической литературы про RPA, специализированных форумов, документации от лидеров рынка, курсов для подготовки по PRA-сертификации от компании Regasystems и отзывов российских и иностранных компаний были определены достоинства и недостатки использования технологии роботизированной автоматизации бизнес-процессов. Достоинства состоят в следующем:

1. уменьшение затрат в среднесрочной и долгосрочной перспективе [4];
2. повышение производительности, заключающееся в возможности работы 24/7, и значительное ускорение процессов;
3. легкость масштабируемости;
4. гибкость и простота настройки;
5. точность и безошибочность, практически полное исключение «человеческого фактора»;
6. отсутствие требования доступа к исходному коду или к API;
7. отсутствие требования обязательного изменения или переработки текущих бизнес-процессов и существующих технологий;

8. освобождение от монотонной работы. Роботы располагают к тому, чтобы сотрудники были переориентированы на более полезные и творческие задачи, более ценные виды деятельности;
9. создание улучшенной аналитики.

В то же время технология RPA имеет ряд недостатков:

1. начальные и скрытые расходы. К ним относятся как первоначальные затраты (к примеру, консультирование и внедрение), так и повторяющиеся затраты (к примеру, конфигурация и адаптация к среде);
2. достаточно большой порог вхождения;
3. нагрузка на IT-команду, заключающаяся в правильном восприятии технологии RPA и некотором возможном изменении IT-инфраструктуры;
4. меньше возможностей для наблюдения и контроля, так как обычно роботы выполняют процессы в фоновом режиме.

В рамках исследования был составлен список лидеров рынка RPA и их продуктов, представленных далее в таблице.

Таблица. Сравнение программного обеспечения для RPA

Компания-поставщик, расположение главного офиса	Продукт	Основное назначение системы	Пробная бесплатная версия, дни	Доступные языки интерфейса	Поддержка технологии OCR/ICR	Автоматизация входа пользователя в систему / приложения
Automation Anywhere, США	Automation Anywhere Enterprise	Интеллектуальная роботизированная автоматизация процессов	–	Английский	+	Credential management
Blue Prism, Великобритания	Blue Prism	Автоматизация многих видов приложений и платформ	–	Английский	+	Автоматизированное управление учетными данными
HelpSystems, США	Automate Enterprise	Комплексная автоматизация предприятия	30	Английский	+	Указание данных учетной записи для входа в систему
NetCart, Швеция	Visual Cron	Автоматизация рабочего места	45	32 языка, включая английский и русский	–	Мастер управления ключами и сертификатами
Pegasystems, США	Pega 8 Express	Автоматизация многих видов приложений и платформ, включая интеллектуальную роботизацию	30	Английский	+	Credential Store
Softomotive, Греция	WinAutomation Professional	Автоматизация настольных и сетевых задач для частных лиц и небольших компаний	30	Английский	–	Автоматический вход в систему и разблокирование рабочей станции

Компания-поставщик, расположение главного офиса	Продукт	Основное назначение системы	Пробная бесплатная версия, дни	Доступные языки интерфейса	Поддержка технологии OCR/ICR	Автоматизация входа пользователя в систему / приложения
UiPath, США	UiPath Community	Автоматизация крупных компаний	60	Английский	+	Управление учетными данными Windows и Web
WorkFusion, США	Smart Process Automation	Автоматизация процессов с помощью виртуальных роботов	–	Английский	+	Key Management

В рамках исследования были скачаны бесплатные версии некоторых RPA-продуктов, проведен ряд тестов. В качестве материалов для тестов были использованы:

- примеры CRM- и Mainframe-систем, встроенные в бесплатные тестовые версии;
- взаимодействие программы Windows Calculator и браузера Google Chrome;
- чтение и конвертация данных из файлов табличного процессора Microsoft Excel;
- авторизация и навигация по спортивным сайтам в браузерах Internet Explorer, Google Chrome и Mozilla Firefox.

В результате были сформулированы следующие рекомендации:

1. Automate от компании Help Systems подходит для автоматизации рабочего места в небольших компаниях и частными лицами, чья основная деятельность значительно связана с процессами, которые могут быть автоматизированы;
2. Automate Enterprise подходит для использования в крупных корпорациях с целью комплексной автоматизации предприятий;
3. UiPath Community целесообразно использовать для автоматизации пользовательских задач при условии их незначительной доли в рабочем процессе, а также для знакомства с технологией RPA;
4. Pega Express позволяет успешно работать со множеством приложений, имеющих достаточную долю повторяемых элементов, быстро и эффективно взаимодействует с различного рода CRM-приложениями.

В дальнейшем необходимо продолжить сравнение существующих и новых RPA-систем, исследовать преимущества и недостатки альтернативных способов автоматизации (например, использование макросов, аутсорсинг бизнес-процессов).

### Литература

1. Роботизированная автоматизация процессов – НФП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nfp2b.ru/services/rpa/>, своб.
2. Pega: Customer Engagement and Operational Excellence Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pega.com>, своб.
3. Kroll C., Bujak A., Darius V., Enders W., Esser M. Robotic Process Automation - Robots conquer business processes in back offices // Capgemini Consulting and Capgemini Business Services. – 2016. – P. 10–15.
4. Яцкевич М. Мифы RPA: роботы всемогущие и бесполезные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itweek.ru/ai/article/detail.php?ID=199245>, своб.



**Громов Владимир Владимирович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р4102

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия  
e-mail: gromov@vladimir.one



**Кустарев Павел Валерьевич**

Год рождения: 1971

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
к.т.н., доцент

e-mail: kustarev@corp.ifmo.ru

**УДК 004.051**

**МНОГОЯДЕРНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ**

**Громов В.В., Кустарев П.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустарев П.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 416032 «Разработка роботизированного комплекса мультисенсорного 3D-зрения».

В работе рассмотрены фреймворки многоядерного программирования, а также возможность их применения в гетерогенных вычислениях во встраиваемых системах на примере проекта мультисенсорного комплекса 3D-зрения. Проведен обзор фреймворков OpenCL, CUDA, OpenACC, OpenMP и C++ AMP, в результате чего был осуществлен выбор фреймворков для комплекса 3D-зрения.

**Ключевые слова:** гетерогенные вычисления, фреймворк, многоядерное программирование, встраиваемые системы, компьютерное зрение, NVidia Tegra, FPGA, ARM.

Одним из трендов последнего десятилетия является развитие технологий многоядерного программирования, в том числе и гетерогенных вычислений, когда в составе одного вычислителя имеется несколько вычислительных модулей с разной архитектурой, например, CPU и GPU. Перспективным направлением являются гетерогенные вычисления для встраиваемых систем, чтобы добиться значительного увеличения производительности. Например, скорость выполнения алгоритмов программного обеспечения (ПО) можно увеличить при помощи распараллеливания, причем количество потоков может значительно превышать количество ядер CPU. Тогда имеет смысл переносить вычисления на GPU, который позволяет эффективно организовать вычисления большого количества потоков. С другой стороны, если распараллеливание алгоритма не представляется возможным, либо процесс обмена данными между потоков занимает больше времени, чем вычисления, тогда следует использовать CPU.

На рис. 1 представлена скорость расчета двух алгоритмов на двух платформах.

Первая платформа с фреймворком OpenCL производит вычисления на процессоре, а вторая – на графическом ускорителе [1]. И эффективность вычислений варьируется в несколько раз в зависимости от платформы как в большую, так и меньшую сторону.

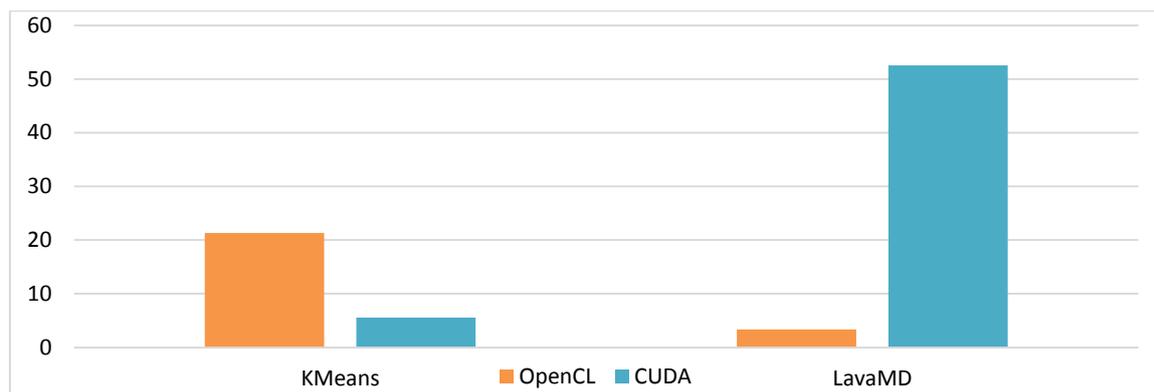


Рис. 1. Время выполнения алгоритма, секунды

В проекте Университета ИТМО «Комплекс мультисенсорного 3D-зрения» [2] для вычислений используется гетерогенный встраиваемый вычислитель, который включает в себя СнК XC7Z015, имеющий в своем составе 2 ядра ARM Cortex A9 с векторным сопроцессором Neon и блок FPGA. Также может быть установлен модуль расширения NVidia Tegra TK1, который имеет на одном кристалле 4 CPU ARM Cortex-A15, и GPU с 192 ядрами CUDA.

Актуальным вопросом является распараллеливание процессов и использование различных вычислителей в программной системе. Камнем преткновения является синхронизация и обмен данными между процессами на уровне задач операционной системы, данных и алгоритмов. Организация вычислительного процесса на гетерогенных вычислителях требует использовать дополнительные фреймворки или функции операционной системы.

Первым подходом для реализации гетерогенных вычислений является использование специализированных технологий для каждого типа вычислителя, причем заранее закрепляются алгоритмы для каждого типа вычислителя. В таком случае возникают сложности с взаимодействием процессов и кроссплатформенностью. При данном подходе в проекте пришлось бы использовать ARM GCC/G++ компиляторы с поддержкой инструкций Neon (языки C/C++), фреймворк CUDA для GPU NVidia со специальным диалектом языка C, а также Xilinx Vivado Toolchain для FPGA (языки VHDL или Verilog). Обмен данными происходил бы при помощи системных функций Linux. Преимуществом данного подхода является высокая производительность, поскольку ПО разрабатывается с учетом особенностей архитектуры вычислителей, а средства разработки для GPU и FPGA поддерживаются производителями данного оборудования. Недостатком является сложность и длительность разработки, поскольку увеличиваются, как и объем работы, так и требования к навыкам разработчика.

Второй подход, который рассмотрен в данной работе, предполагал использование фреймворков для реализации гетерогенных вычислений. Фреймворк – это программная платформа, которая определяет структуру программной системы и позволяет облегчить разработку, и объединить разные компоненты большого программного проекта. Фреймворки для гетерогенных вычислений позволяют распараллеливать один и тот же код для различных типов вычислителей, а также синхронизировать обмен данных между ними.

Подход позволяет сократить время и упростить процесс разработки гетерогенных систем, поскольку сокращается объем работы и уменьшаются требования к навыкам разработчика. Недостатком является уменьшение производительности системы, поскольку при разработке не учитываются все особенности архитектуры вычислителей.

В табл. 1 представлена сравнительная характеристика фреймворков для многоядерного программирования, в табл. 2 представлены поддерживаемые вычислители, которые могут использоваться во встраиваемых системах.

Таблица 1. Сравнительная характеристика фреймворков многоядерного программирования

Характеристика	OpenCL	CUDA	OpenACC	OpenMP	C++ AMP
Аппаратные платформы	CPU, GPU, FPGA, DSP	GPU NVidia	CPU, GPU, FPGA	CPU, GPU	CPU, GPU
Язык API	Расширение для C/C++	Расширение для C/C++	Директивы компилятора для C/C++ и Fortran		Расширение для C/C++
Операционная система	Кроссплатформенные				Windows
Последнее обновление	16.05.2017		01.10.2015	15.11.2015	12.10.2013
Лицензия	Freeware			BSD/MIT	–
Примечание	поддержка AMD Stream Processor				

Таблица 2. Поддержка вычислителей для встраиваемых систем

Процессор	OpenCL	CUDA	OpenACC	OpenMP	C++ AMP
ARM	Да	Интеграция с Tegra	Платная версия	Да	Да
NVidia Tegra	Неполная	Полная	Неполная	Неполная	Нет
MIPS	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
RISK-V	Да	Нет	Нет	Нет	Нет

Интерес для проекта комплекса мультисенсорного 3D-зрения представляют фреймворки OpenCL, CUDA и OpenMP благодаря поддержке используемых вычислителей и кроссплатформенности. Фреймворк C++ AMP представляет ограниченный интерес, поскольку предназначен для операционной системы Windows, а OpenACC в бесплатной версии не поддерживает ARM.

Специализированный фреймворк CUDA предназначен для программирования GPU вычислителей от NVidia и позволяет эффективно вычислять большое количество потоков.

OpenCL и OpenMP являются фреймворками общего назначения, поддерживают широкий круг вычислителей, а разработанное с ними ПО имеет невысокую зависимость от аппаратного обеспечения.

Фреймворк OpenCL представляет собой расширение языка стандарта C99 с большим количеством настроек и функциональностью, что позволяет эффективно организовать гетерогенные вычисления.

Фреймворк OpenMP позволяет использовать директивы для компилятора для распараллеливания языковых конструкций. Ниже приведен пример кода для перемножения матриц с распараллеливанием цикла с независимыми данными для графического ускорителя.

```
#pragma acc kernels loop independent
for(int i = 0; i < n; i++)
for(int j=0; j < n; j++){
c[i][j]=+a[i][k]*b[k][j];
}
}
```

На практике, OpenMP имеет значительно худшую производительность по сравнению с OpenCL и CUDA за счет меньшей функциональности, но зато позволяет значительно увеличить скорость разработки.

На примере комплекса мультисенсорного 3D-зрения, который позволяет построить трехмерную модель помещения по данным со стереокамер и лазерного дальномера, вычислительный процесс может выглядеть следующим образом.

На рис. 2 представлена поддержка вычислителей фреймворками OpenCL и CUDA.

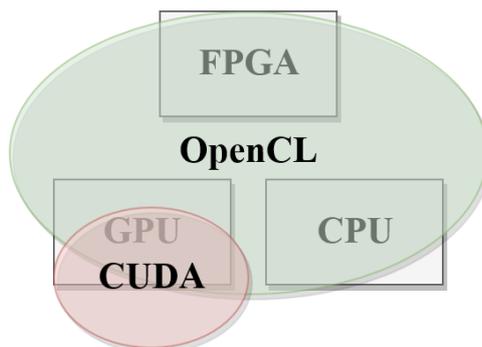


Рис. 2. Поддержка вычислителей фреймворками OpenCL и CUDA

Метод построения карты глубины с расчетом облака точек, который представлен в библиотеке OpenCV, можно вычислять на FPGA, исходя из результатов быстрогодействия в источнике [3]. Причем возможно использовать реализацию из источника, либо методы библиотеки OpenCV с поддержкой OpenCL.

Следует отметить, что многие библиотеки поддерживают фреймворки многоядерного программирования. Таким образом, можно значительно увеличить производительность, если скомпилировать библиотеку с необходимыми флагами.

Фильтрацию и корректировку облака точек по данным с лидара, а также построение полигонов следует выполнять на NVidia Tegra и FPGA с использованием фреймворка CUDA, поскольку операции с трехмерной графикой предпочтительнее делать на GPU. При этом возможно использование фреймворка OpenCL, но в пользу первого выступает то, что он официально разрабатывается и поддерживается разработчиками от NVidia.

И наконец, снятие данных с лидара и стереокамеры и сетевое взаимодействие можно осуществить на процессоре ARM. Для задействования ресурсов двухъядерного процессора следует применить фреймворк OpenCL.

В рамках работы были выбраны для использования фреймворки OpenCL и CUDA, поскольку OpenCL позволит произвести вычисления и обмен данными между гетерогенными вычислителями, а CUDA позволит повысить быстродействие на NVidia Tegra при работе с трехмерной моделью.

В результате проанализированы фреймворки многоядерного программирования во встраиваемых системах. Дальнейшим развитием темы является портирование алгоритмов 3D-зрения с использованием данных фреймворков и последующее измерение быстродействия.

## Литература

1. Memeti S., Li L., Pillana S., Ko lodziej J., Kessler C. Benchmarking OpenCL, OpenACC, OpenMP, and CUDA: programming productivity, performance, and energy consumption [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://homepage.lnu.se/staff/saplax/papers/arms\\_cc\\_2017.pdf](http://homepage.lnu.se/staff/saplax/papers/arms_cc_2017.pdf), своб.
2. Быковский С.В., Кустарев П.В., Дидин Е.В., Громов В.В., Драница А.В. Мобильные системы 3D сканирования среднего радиуса действия // Control Engineering. – 2018. – № 73. – С. 34–37.
3. Open-source FPGA Stereo Vision Core released [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://danstrother.com/2011/06/10/fpga-stereo-vision-core-released/> (дата обращения: 20.09.2017).



**Жмылёв Сергей Александрович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: korg@cs.ifmo.ru



**Киреев Валерий Юрьевич**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3311

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: valeriykireev@gmail.com



**Усков Иван Владимирович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3411

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: ivanuskov@cs.ifmo.ru



**Пашнин Александр Денисович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3411

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: adpashnin@cs.ifmo.ru

УДК 004.651

**БЕЗОПАСНОЕ ХРАНИЛИЩЕ СЕРТИФИКАТОВ ОБ ОБРАЗОВАНИИ  
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN**

**Жмылёв С.А., Киреев В.Ю., Усков И.В., Пашнин А.Д.**

**Научный руководитель – ассистент Клименков С.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615869 «Методы проектирования ключевых систем информационной инфраструктуры».

В работе предложен подход к организации хранилища сертификатов об образовании с использованием технологии blockchain, позволяющего защитить информацию от злонамеренной модификации, сохранив при этом возможность автономной проверки достоверности данных организациями-партнерами. В ходе работы была описана архитектура системы и определены перспективы развития реализованного хранилища.

**Ключевые слова:** blockchain, база данных, онлайн-образование, сертификат, хранилище.

В настоящее время все более широкое распространение получает так называемая технология blockchain. В частности, об этом свидетельствует большое количество публикаций на данную тему, датированных 2017 годом [1–3]. Многие организации при проектировании хранилищ для достоверных данных стремятся использовать эту технологию. Под достоверными данными при этом можно понимать любую сформированную доверенной организацией информацию, выраженную в виде последовательности байт, причем эта информация гарантированно не была изменена злоумышленником.

В рамках проекта по разработке федеральной ГИС «Открытое образование» перед авторами была поставлена задача разработать хранилище данных, предназначенное для хранения информации о сертификатах, получаемых слушателями по итогам прослушивания онлайн-курсов, а также данных текущей успеваемости слушателей на этих курсах. Так как эта информация является очень важной (к примеру, эти данные могут учитываться работодателем в процессе трудоустройства слушателей), было очень важно обеспечить ее надежное и бесперебойное хранение, а также защиту от злонамеренной модификации. Вследствие этого в качестве основы для разрабатываемого хранилища было решено использовать технологию blockchain.

Технология blockchain является одним из способов подтверждения достоверности данных, наряду, например, с широко используемой технологией электронной подписи данных третьей стороной [4]. Blockchain представляет собой линейную последовательность блоков с хранимыми данными и некоторой метайнформацией (как минимум, хеш-суммой родительских блоков), а достоверность данных гарантируется соседними блоками [3]. Положим, необходимо добавить в blockchain хранилище  $i$ -й блок. Для расчета хеш-суммы родительских блоков в  $i$ -м блоке может быть использована следующая схема (рис. 1).

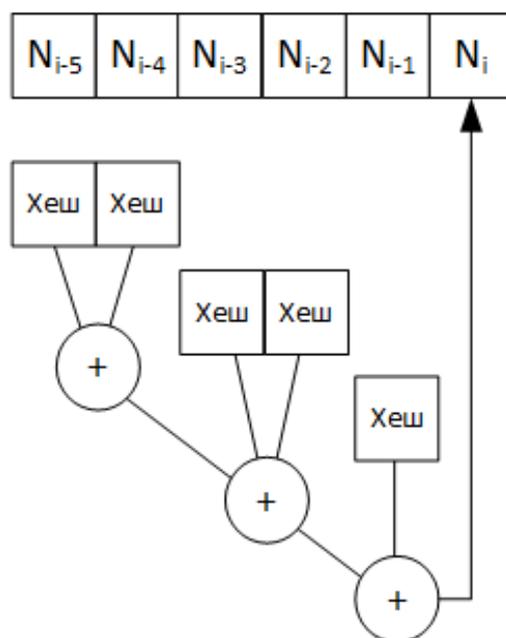


Рис. 1. Схема расчета хеш-суммы в  $i$ -м блоке

Таким образом, если злоумышленник в хранилище такого типа изменит какой-либо блок данных, то при выполнении проверочной процедуры, заключающейся в повторном расчете хеш-сумм родителей и сверке записанных в blockchain данных и рассчитанных, такое несанкционированное изменение данных будет выявлено.

В связи с ограниченным числом вузов-партнеров, способных разместить в своих вычислительных центрах клиентское программное обеспечение для работы с blockchain, и вытекающей из этого невозможностью создания кворума, необходимого для

подтверждения достоверности добавления данных в цепочке блоков, было принято решение использовать в качестве основного хранилище на центральном узле системы. Таким образом, система построена по централизованной схеме – все локальные blockchain-хранилища вузов-партнеров сохраняют данные только о выданных данным вузом сертификатах и результатах текущей успеваемости слушателей, и эти данные периодически синхронизируются с центральным хранилищем. Используемая при этом структура хранимых данных показана на рис. 2, где поле «Высота» хранит суммарную высоту blockchain в блоках.

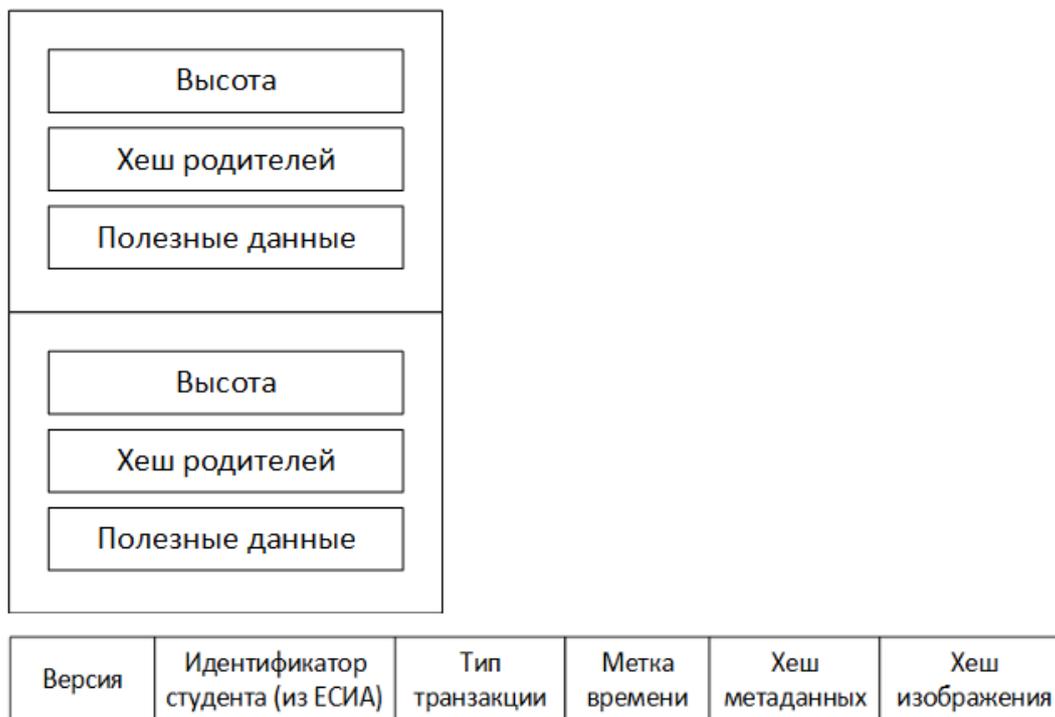


Рис. 2. Структура blockchain и полезных данных

Для обеспечения высокой доступности системы был организован вычислительный кластер, работающий в режиме active-active, при котором нагрузка распределяется между всеми узлами кластера, которые параллельно ее обрабатывают. Для решения задачи синхронизации записываемых данных в blockchain-хранилище на общей системе хранения данных, была выбрана кластерная файловая система OCFS2 (The Oracle Cluster File System). Ключевым ее достоинством при выборе послужила поддержка распределенных операций блокирования файла. Таким образом, если один из узлов кластера производит запись в blockchain, он может временно выполнить блокирование ресурса и изменить содержимое файла в эксклюзивном режиме. Структурное описание blockchain-файла хранится в специальном индексе, также расположенном на общей системе хранения данных. Для ускорения чтения последних добавленных блоков предусмотрен блоковый кеш, а центральным элементом является разработанная библиотека функций на языке C99, подключенная к каждому узлу кластера через интерфейсный модуль. Фактически, программа выполняется на каждом узле кластера параллельно.

На схеме размещения (рис. 3) видно, что копии blockchain-файла распространяются также и на все вузы-партнеры программы, взаимодействующие с ними через собственные информационные системы университета (ИСУ). Поэтому в случае отказа, например, канала доступа к сети Интернет, вуз-партнер может осуществить автономную проверку достоверности любого сертификата. Для аутентификации при доступе к централизованному хранилищу используется единая система идентификации и аутентификации (ЕСИА).

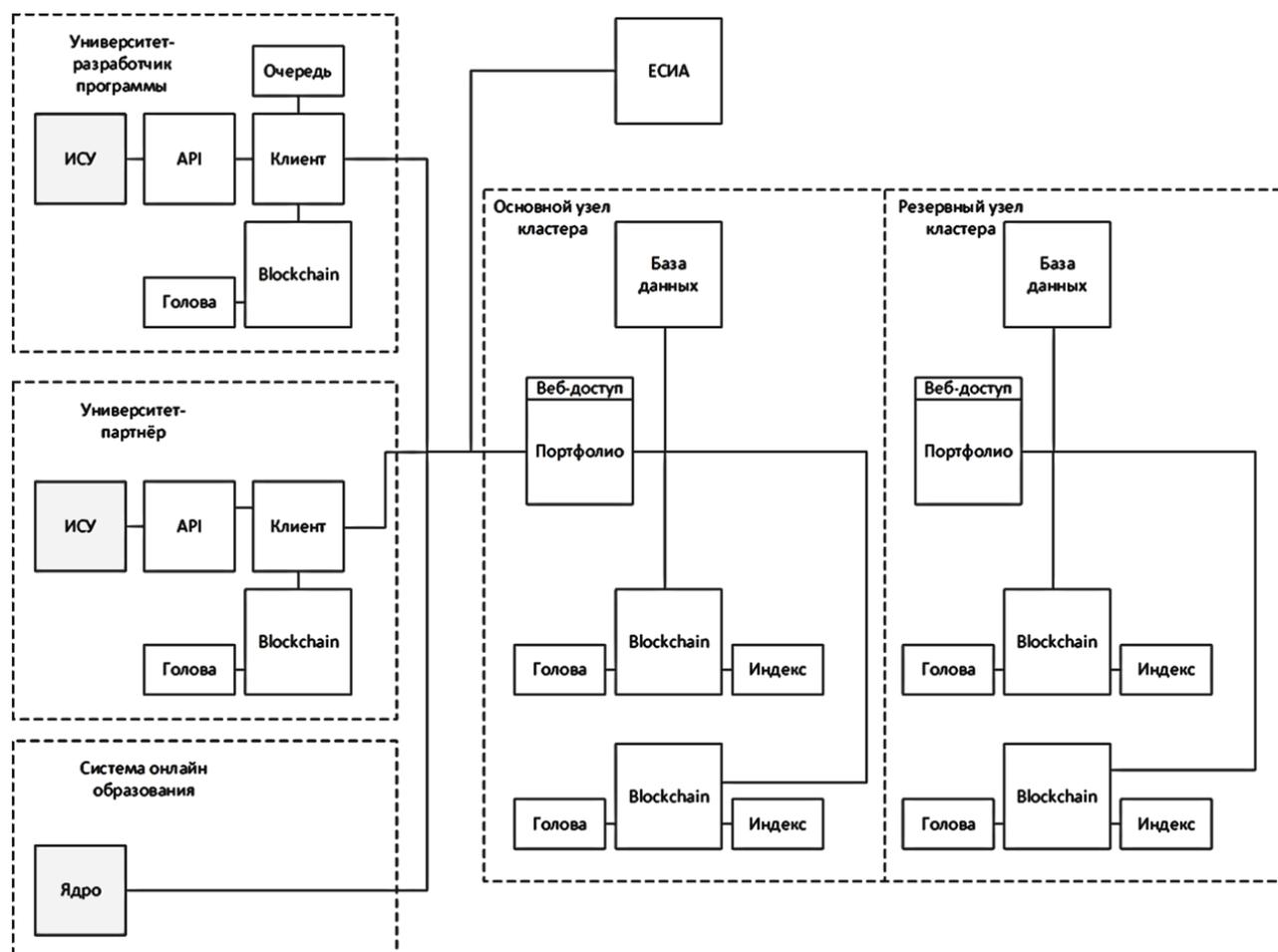


Рис. 3. Схема размещения

Вопрос распределения блоков данных между всеми участниками проекта решен за счет добавления высоты blockchain в его индекс. Таким образом, вуз-партнер может отправить запрос на получение не всей цепи блоков, а только добавленных с момента предыдущей синхронизации. Поскольку в программе регламентировано участие до девяти сот вузов, предполагается, что запросы на несколько новых блоков будут актуальны. С учетом средней частоты синхронизации принято решение организовать кеш добавленных блоков объемом в 3 Гб. Это позволит хранить добавленные за последние сутки блоки и оперативно отправлять их партнерам по запросу.

Разработанная система была протестирована на наборе данных, состоящем из 2 млн сертификатов. В результате тестовой эксплуатации размер цепи с сертификатами составил 2192 Мб со средним временем добавления нового блока 0,87 мс (экспериментально установлен доверительный интервал 0,09 мс). Данной скорости добавления записей достаточно для внесения 1,5 млн сертификатов в сутки.

Перспективами развития системы являются перенос части вычислений на криптографические или графические ускорители, а также уменьшение плотности метаданных за счет упаковки данных о нескольких сертификатах в один блок данных.

В ходе настоящей работы было установлено, что централизованное blockchain-хранилище является наиболее подходящим для задачи хранения сертификатов об образовании, и в таких хранилищах не имеет смысла рассчитывать хеш-сумму более чем двух родительских блоков. На основе выбранного подхода была предложена архитектура кластерного хранилища сертификатов и данных текущей успеваемости для платформ онлайн-образования, результатом практической реализации которой стал программный модуль на языке C99, интегрированный в состав написанного на платформе Java портала федеральной ГИС.

**Литература**

1. Lansiti M., Lakhani K.R. The Truth About Blockchain // Harvard Business Review. – 2017. – P. 118–127.
2. McPhee C., & Ljitic A. Editorial: Blockchain // Technology Innovation Management Review. – 2017. – V. 7(10). – P. 3–5.
3. Lu Q., Xu X. Adaptable Blockchain-Based Systems: A Case Study for Product Traceability // Software IEEE. – 2017. – V. 34. – P. 21–27.
4. Хильченко Л.Н., Бондаренко В.В. Электронная подпись и правовое регулирование ее использования в России и других странах // Постулат. – 2018. – № 1(27). – С. 104.

**Киреев Валерий Юрьевич**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3311Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: valeriykireev@gmail.com

**Мартынчук Илья Геннадьевич**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р4110Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: mt4.ilja@gmail.com

**Жмылёв Сергей Александрович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: korg@cs.ifmo.ru

**УДК 004.94****АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ  
ПРОЦЕССОВ****Киреев В.Ю., Мартынчук И.Г., Жмылёв С.А.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Алиев Т.И.**

При проектировании облачных систем возникает задача оценки нагрузки на аппаратное обеспечение. Типовое решение проблемы – выделение ресурсов на основе суммы максимальных интенсивностей входных потоков, что не подходит для нестационарных потоков. Предложен метод аналитического описания реальных процессов и метод аппроксимации нестационарных периодических распределений. Практическая значимость заключается в повышении точности управления облачными системами за счет применения аналитических методов прогнозирования нагрузки.

**Ключевые слова:** нестационарное распределение, облачная система, аппроксимация, композиция, управление.

Рассмотрим типовую облачную систему. В общем случае в ней можно выделить следующие роли: владелец центра обработки данных (ЦОД), арендатор облачной системы, пользователь облачной системы. При проектировании облачной системы владельцу ЦОД необходимо оценить максимальную нагрузку на приобретаемое аппаратное обеспечение. Эта задача может быть решена с помощью описания предполагаемой нагрузки в терминах теории массового обслуживания, на основе которого может быть определен состав приобретаемого аппаратного обеспечения.

Нагрузка, в зависимости от временных характеристик, может быть как стационарной, так и нестационарной. При этом характер нагрузки может быть обусловлен изменением: параметров закона распределения, функции распределения с сохранением параметров (в частности, математического ожидания) как функции распределения, так и его параметров.

Можно выделить следующие классы нестационарных процессов: периодические, аperiodические (например, затухающие) и хаотические. Поскольку реальные нагрузочные процессы не обладают свойством стационарности, широко используемые аналитические методы теории массового обслуживания не подходят для их описания и исследования. Это затрудняет решение задачи проектирования облачной системы. В связи с этим возникает необходимость разработки методики исследования нестационарных процессов. Процессы, определяющие нагрузку на облачные вычислительные системы, относятся к классу периодических нестационарных процессов, ввиду естественной периодичности в нагрузке, создаваемой реальными пользователями таких систем. Например, сетевая активность крупнейшей в России точки обмена данными MSK-IX показана на рис. 1 [1].

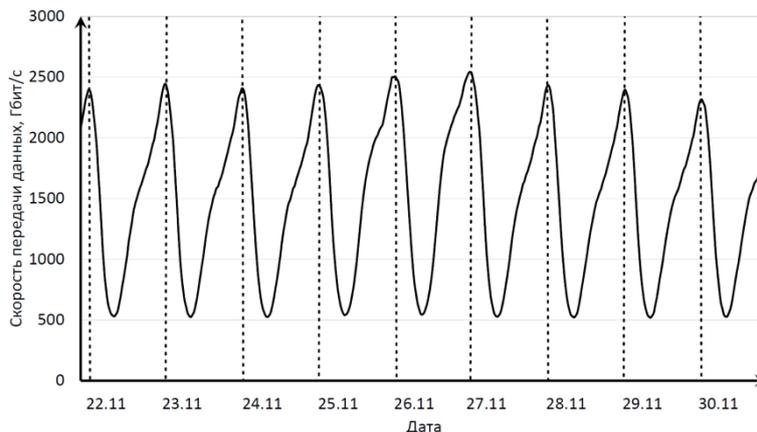


Рис. 1. Суммарный транзитный трафик через узлы MSK-IX в неделю

Из рис. 1 видно, что протекающие в сетях передачи данных процессы имеют синусоидальный характер, следовательно, для их аппроксимации целесообразно воспользоваться функцией синуса.

Типичное решение проблемы выделения и перераспределения ресурсов при проектировании вычислительных систем основывается на использовании максимальных значений интенсивностей входящих потоков запросов [2]. Суммарная интенсивность при перераспределении систем вычисляется как сумма максимальных интенсивностей составляющих. Такой подход может привести к неоптимальному распределению нагрузки и увеличению количества бездействующих вычислительных ресурсов.

В соответствии с этим была сформулирована цель работы: найти способ аналитического исследования нестационарных процессов. Для достижения поставленной цели необходимо было предложить способ композиции нестационарных процессов; выполнить проверку предложенного способа с помощью имитационного моделирования; по результатам моделирования выявить свойства системы, зависящие от характера интенсивности входных потоков; сформулировать требования к методу аппроксимации периодических нестационарных распределений; разработать метод аппроксимации нестационарных распределений; выполнить тестирование разработанного метода.

Для решения задачи проектирования облачных систем с нестационарными процессами важно выявить свойства композиции нестационарных распределений. Пусть два нестационарных процесса заданы нестационарными распределениями  $f(x, t)$  и  $g(x, t)$ , тогда:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x, t) = a(\lambda_f(t), x) \\ \lambda_f(t) = c(t) \end{array} \right\}; \left\{ \begin{array}{l} sum(x, t) = a(\lambda_f(t), x) \otimes b(\lambda_g(t), x) \\ \lambda_{sum}(t) = c(t) + d(t) \end{array} \right\};$$

$$\left\{ \begin{array}{l} g(x, t) = b(\lambda_g(t), x) \\ \lambda_g(t) = d(t) \end{array} \right\}; \left\{ \begin{array}{l} comp(x, t) = (a(\lambda_f(t), x) + b(\lambda_g(t), x))/2 \\ \lambda_{comp}(t) = c(t) + d(t) \end{array} \right\}.$$

Для вычисления суммы этих процессов сделано предположение, что функция плотности распределения  $sum(x, t)$  может быть представлена как свертка исходных

плотностей распределения, а для вычисления их композиции, плотность распределения  $comp(x, t)$  можно рассчитать как полусумму. В обоих случаях результирующая функция изменения параметра распределения может быть определена как сумма исходных. При этом средняя и максимальная интенсивность потока заявок может быть найдена как сумма соответствующих значений  $\overline{\lambda(t)} = \overline{c(t)} + \overline{d(t)}$  и  $\lambda_{\max}(t) = c_{\max}(t) + d_{\max}(t)$ .

Для проверки этих предположений был использован имитационный метод математического моделирования. Эксперименты выполнялись в среде имитационного моделирования Anylogic Professional 7.0.1, в которой построена имитационная модель, представленная на рис. 2.

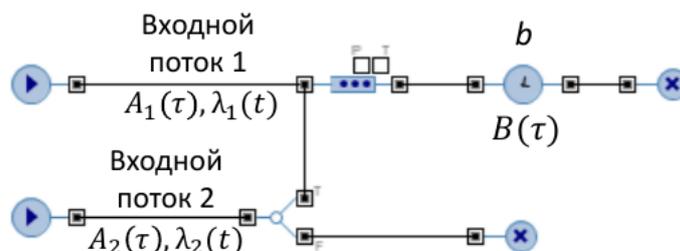


Рис. 2. Модель для проверки метода

Параметры данной модели:  $\lambda_i(t)$  – интенсивности входных потоков;  $b$  – время обработки заявок;  $A_1(\tau)$  и  $A_2(\tau)$  – функции плотности распределения входного потока;  $B(\tau)$  – функция распределения времени обслуживания.

Характеристики:  $\rho$  – средняя загрузка.

В качестве функций плотностей распределений выбраны экспоненциальные, а в качестве функций, задающих интенсивности – синусоида и пила, поскольку интенсивность исследуемых реальных систем по форме близка к ним.

В ходе многочисленных имитационных экспериментов была доказана правомочность этих предположений.

Рассмотрим также задачу аппроксимации нестационарных распределений. Пусть имеется ряд нестационарно распределенных данных  $X = (x_0, x_1, \dots, x_N)$ , интенсивность распределения которых  $\lambda$  меняется по некоторому периодическому закону в зависимости от времени:  $\lambda(t)$ , функция распределения случайной величины при этом не изменяется.

Пусть  $\lambda(t)$  является периодической функцией, имеющей форму синусоиды с периодом  $T$ . Тогда можно найти такую функцию  $\lambda'(t) = A * \sin(\omega(t) + \phi_0) + C$ , где  $A$  – амплитуда синуса,  $\phi_0$  – начальная фаза,  $C$  – сдвиг по оси ординат, которая будет максимально соответствовать исходной  $\lambda(t)$ . При этом в качестве меры соответствия можно выбрать коэффициент корреляции Пирсона  $r$ .

Таким образом, задача аппроксимации набора  $X$  сводится к подбору таких значений  $A$ ,  $\phi_0$ ,  $\omega$  и  $C$ , при которых  $\lambda(t)$  и  $\lambda'(t)$  имеют наибольшее значение коэффициента корреляции  $r$ .

На первом этапе метода предлагалось получить набор усредненных значений  $\lambda_i$ , ( $i \in (0..mT), m \in \mathbb{N}$ ) длиной в один или несколько периодов функции  $\lambda(t)$  с помощью усреднения измеренных значений  $X$  в точках  $i + kT$ , где  $k = (0, 1, 2, \dots, \frac{N}{mT} - 1)$ . Так как  $\int_0^{2k\pi} (A \sin(t) + C) dt = 2k\pi C$ ,  $C$  является средним значением функции  $\lambda(t)$ . Таким образом,  $C$  может быть получено как  $C = \frac{\sum_{i=0}^N \lambda_i}{N}$ , где  $N$  – количество значений  $\lambda$ , кратное периоду. Амплитуда синусоиды  $A$  может быть вычислена с помощью среднего квадратического значений  $\lambda_i$ :  $A = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=0}^N \lambda_i^2}{N}}$ . Или, с учетом значения  $C$ , искомое  $A = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=0}^N (\lambda_i - C)^2}{N}}$ .

Полученные значения  $A$  и  $C$  позволяют определить начальную фазу  $\phi_0$ , таким образом получив искомое выражение  $\lambda'(t)$ . Для этого возьмем ее значение в точке  $t = 0$ :  $\lambda(0) = \lambda_0 =$

$A \sin(\phi_0) + C$ . Выражая  $\phi_0$ , получаем два возможных значения:  $\phi_{0(1)} = \arcsin\left(\frac{\lambda_0 - C}{A}\right)$  и  $\phi_{0(2)} = \pi - \arcsin\left(\frac{\lambda_0 - C}{A}\right)$ . Для выбора истинного значения  $\phi_0$  из полученных  $\phi_{0(1)}$  и  $\phi_{0(2)}$ , можно воспользоваться коэффициентом корреляции Пирсона. Функция с истинным значением  $\phi_0$  лучше коррелирует с  $\lambda(t)$ .

В результате моделирования выявлено свойство, что если сумма средних значений интенсивности не превышает интенсивность обслуживания, то, вне зависимости от суммы максимальных значений интенсивностей, система не перейдет в постоянно перегруженное состояние. Таким образом, при достаточных емкостях накопителей в таких системах массовых потерь не возникает. Выявленное свойство позволяет делать выводы о целесообразности перераспределения нестационарной нагрузки в облачных системах для решения задачи автоматического масштабирования облака. Однако открытым остается вопрос выбора подходящих емкостей накопителей, чтобы система функционировала корректно, без массовых потерь заявок.

С учетом доверительных интервалов с доверительной вероятностью 95% и общепринятой погрешности имитационного моделирования в 5% можно сделать вывод, что при неизменных средних интенсивностях входящих потоков суммарная интенсивность является их суммой.

Разработан метод аппроксимации периодических нестационарных распределений. Предлагаемый численный метод позволяет аппроксимировать периодические нестационарные распределения, изменение которых во времени имеет синусоидальный характер. Метод опробован с различными видами синтетических сигналов и во всех случаях демонстрирует высокую степень соответствия результатов исходным данным.

Результаты экспериментов с доверительными интервалами представлены в таблице.

Таблица. Результаты экспериментов

Тип волны	Коэффициент корреляции при экспоненциальном распределении	Коэффициент корреляции при распределении Эрланга, $k=5$
Синусоида	$0,890 \pm 0,002$	$0,973 \pm 0,002$
Треугольная	$0,671 \pm 0,006$	$0,915 \pm 0,001$
Пилообразная	$0,712 \pm 0,002$	$0,765 \pm 0,001$
Прямоугольная (коэффициент скважности 2)	$0,68 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,02$
Прямоугольная (коэффициент скважности 7/10)	$0,58 \pm 0,03$	$0,71 \pm 0,04$

В частности, можно сделать вывод, что для случая низкого коэффициента вариации ( $v = \frac{1}{\sqrt{5}}$ , распределение Эрланга пятого порядка), метод в результате задает функцию  $\lambda'(t)$ , сильно коррелирующую с исходной  $\lambda(t)$  для синусоидальной и треугольной волны и, в целом, приемлемые результаты во всех остальных случаях.

## Литература

1. Акционерное общество «Центр взаимодействия компьютерных сетей «МСК-IX» (АО «ЦВКС «МСК-IX»). Суммарный трафик участников, передаваемый через MSK-IX. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.msk-ix.ru/traffic/> (дата обращения: 13.02.2018).
2. Aliev T.I., Rebezova M.I., Russ A.A. Statistical Methods for Monitoring Travel Agencies in the Settlement System // Automatic Control and Computer Sciences. – 2015. – V. 49. – № 6. – P. 321–327.

**Коломойцев Владимир Сергеевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирантНаправление подготовки: 100601 – Информационная безопасность

e-mail: dek-s-kornis@yandex.ru

УДК 004.056.53

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ В СХЕМАХ  
ЗАЩИЩЕННОГО ДОСТУПА КАК ЭЛЕМЕНТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ****Коломойцев В.С.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Богатырев В.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

В работе исследованы варианты построения схемы доступа «Связующий узел». Оценена эффективность рассматриваемых вариантов реализации схемы доступа «Связующий узел». Показана зависимость задержек в обслуживании от распределения ресурсов сервера для располагающихся на нем программных средств информационной защиты системы.

**Ключевые слова:** межсетевые экраны, сетевая организация, защита информации, информационная безопасность, надежность.

Эффективность вычислительных систем (ВС) и сетей во многом определяется организацией схемы защищенного доступа к ее ресурсам, при проектировании которой должен достигаться компромисс используемых программно-аппаратных средств с учетом стоимости, надежности, безопасности производительности и отказоустойчивости как подсистемы защиты, так и системы в целом [1].

Системы защиты ВС должны предусматривать противодействие от: несанкционированного доступа (НСД), вредоносного программного обеспечения (ПО), повреждения или хищения информации и т.д. Программно-аппаратные средства, выполняющие задачи защиты могут включать: межсетевые экраны (МЭ), антивирусные средства, криптошлюзы, защищенные хранилища [1].

Для достижения поставленной задачи исследованы варианты построения отказоустойчивой системы защищенного доступа «Связующий узел», и обоснование выбора вариантов совместного использования программно-аппаратных средств защиты, в том числе распределения ресурсов сервера для располагающихся на нем программных средств информационной защиты системы.

Схема защищенного доступа «Связующий узел» основывается на классической схеме доступа «Прямое соединение», использующей последовательное соединение всех ключевых элементов и узлов ВС между собой [2]. Для качественной и бесперебойной работы ВС, ее ключевые элементы, как правило, резервируются. В состав типовой схемы защищенного доступа «Связующий узел» входят: группа серверов, на которых располагается подавляющее число всего ПО, осуществляющего процесс защиты информации в ВС, и две группы маршрутизаторов, предназначенных для связи внешней сети, группы серверов и конечных узлов ВС между собой. Типовое представление схемы защищенного доступа «Связующий узел», показано на рисунке.

Данные, поступающие из внешней сети в ВС, сначала попадают на первую группу

маршрутизаторов, которые, в свою очередь, оценив то, что они не являются поврежденными, отправляют их на группу серверов для анализа на наличие в них какого-либо вредоносного содержимого. Набор ПО, располагающийся на группе серверов, выбирается в зависимости от целей ВС, финансовых ограничений организаций на ее построение и потенциальных угроз информационной безопасности.

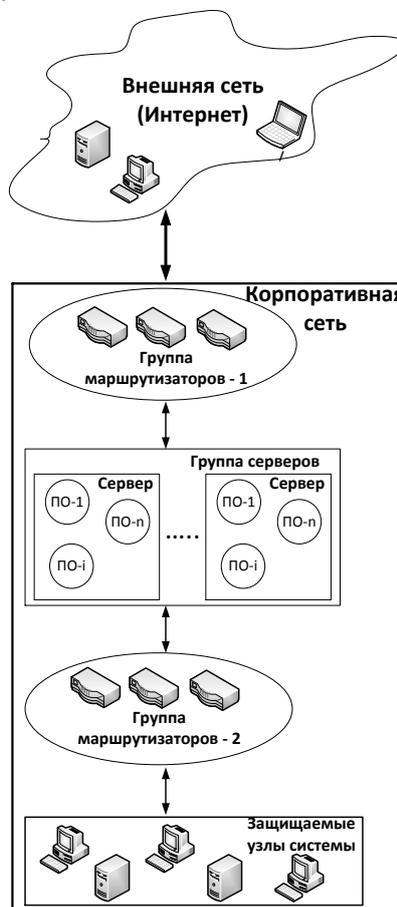


Рисунок. Схема защищенного доступа «Связующий узел»

Проанализировав полученные данные и удостоверившись, что они не несут угрозы, сервер направляет их на вторую группу маршрутизаторов для последующей отправки на требуемый конечный узел ВС. На конечных узлах ВС, располагается индивидуальное ПО для защиты информации, предназначенное для борьбы со специфичными для каждого узла ВС угрозами.

Применение двух групп маршрутизаторов необходимо для увеличения информационной защищенности ВС и позволяет существенно понизить шансы НСД на оконечные узлы ВС со стороны внешнего нарушителя [1, 2].

В связи с тем, что в основе построения схемы защищенного доступа «Связующий узел» лежит схема защищенного доступа «Прямое соединение», то она может быть расширена дополнительными аппаратными средствами защиты (МЭ, средствами предотвращения вторжения и т.д.), располагающимися как до первой группы маршрутизаторов (на входе в корпоративную сеть), так и сразу после нее. Данный шаг позволяет снизить вычислительную нагрузку на группу серверов, а также повысить уровень информационной защищенности ВС.

При выборе и оптимизации вариантов построения схемы защищенного доступа типа «Связующий узел» требуется найти кратность резервирования узлов в каждой из групп, при которой достигается минимально возможное среднее время пребывания запроса в системе (СВПЗС)  $T_s$  с учетом ограничений на стоимость реализации системы  $C$  [3, 4].

Затраты на реализацию рассматриваемой системы защиты равны:

$$C = c_1 N + c_0 \sum_i m_i,$$

где  $c_0, c_1$  – стоимость маршрутизаторов и серверов;  $N$  – число серверов, а  $m_i$  – число маршрутизаторов в  $i$ -ой группе.

Пусть общее количество ресурсов, выделяемых на сервере на реализацию информационной защиты, имеет ограничение  $Q$ , а для поддержания нормального уровня функциональности (работоспособности) средств защиты требуется:

$$\sum_i n_i q_i \leq Q,$$

где  $q_i$  – затраты ресурсов сервера на поддержание нормальной работоспособности  $i$ -го ПО;  $n_i$  – число копий (в случае резервирования)  $i$ -го ПО;  $q_i \geq r_i$ , где  $r_i$  – минимальное количество ресурсов сервера, необходимых для работы  $i$ -го ПО.

Тогда в условиях ограниченности ресурсов общее снижение потенциально возможной производительности для всей совокупности ПО защиты будет:

$$k_i = k = Q / \sum_i q_i n_i.$$

При разграничении ресурсов на различное ПО защиты, снижение потенциального уровня возможной производительности  $i$ -го ПО определим как:

$$k_i = u_i / q_i n_i,$$

где  $u_i$  – количество выделяемых ресурсов для работы  $i$ -го ПО.

Каждый узел схемы доступа представим системой массового обслуживания типа М/М/1 с бесконечной очередью. При распределении потока запросов на обслуживание в  $n$  узлов, СВПЗС для каждого из узлов находится как:

$$T = \nu / (1 - \nu \lambda / n),$$

где  $\nu$  – среднее время обслуживания запроса в узле;  $\lambda$  – интенсивность потока запросов. Для системы последовательно соединенных узлов общее СВПЗС будет определяться как:

$$T_s = \sum_i T_i.$$

Оптимизация системы защиты включает поиск распределения числа узлов каждого типа, обеспечивающего минимум СВПЗС при условии ограничения стоимости реализации системы  $C$  и соблюдения условий стационарности режима обслуживания [3, 5].

После прохождения группы маршрутизаторов входной поток фильтруется, и его интенсивность на серверах будет ниже, чем на маршрутизаторах. Аналогично, после того, как ПО сервера удалит все найденное во входном потоке вредоносное содержимое – на вторую группу маршрутизаторов поступит меньший входной поток.

В рамках данного исследования, предположим, что между маршрутизаторами и ПО, располагающимся на серверах, имеются общие зоны определения и устранения угроз информационной безопасности, в результате чего, часть угроз определяемых и устраняемых одним видом ПО сервера (или иным средством безопасности в составе схемы доступа) может быть также устранено другим видом ПО [2].

Таким образом, СВПЗС для указанной системы, состоящей из двух групп маршрутизаторов и двух видов ПО (ПО-1 и ПО-2), располагающихся на каждом из серверов, вычисляется как:

$$T_s = \frac{V_M}{1 - Y/m_1} + \frac{V'_1}{1 - d_1 F_1} + \frac{V'_2}{1 - d_2 F_2} + \frac{V_M}{1 - d_3 \cdot Y/m_2}.$$

$$\text{Причем} \quad V'_i = \nu_i k_i; \quad Y = \lambda V_M; \quad F_i = \lambda V'_i / N n_i; \quad d_1 = (1 - LWA_0 p_0);$$

$$d_2 = 1 - LW(p_1(A_1 - l_{10}) + p_0(A_0 - l_{10}) + l_{10}(1 - \bar{p}_0 \bar{p}_1)); \quad d_3 = 1 - LW(p_1 S_1 + (1 - \bar{p}_0) R_e + p_2 S_2 + (l_{10} - l_{00})(1 - \bar{p}_0 \bar{p}_1) + (l_{20} - l_{00})(1 - \bar{p}_0 \bar{p}_2) + (l_{21} - l_{00})(1 - \bar{p}_1 \bar{p}_2) + l_{00}(1 - \bar{p}_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)),$$

где  $R_e = (A_0 - l_{20} - l_{10} + l_{00})$ ;  $S_1 = (A_1 - l_{21} - l_{10} + l_{00})$ ;  $S_2 = A_2 - l_{21} - l_{20} + l_{00}$ ,  $\bar{p}_i = (1 - p_i)$ , а  $A_0, A_1, A_2$  – доли угроз (ошибок) от общего множества угроз, обнаруживаемых маршрутизатором с вероятностью  $p_0$ ; ПО-1 – с вероятностью  $p_1$  и ПО-2 – с вероятностью  $p_2$ ;  $l_{00}$  – доля угроз от общего множества угроз, обнаруживаемых и устраняемых маршрутизатором, ПО-1 и ПО-2;  $l_{10}$  – маршрутизатором и ПО-1;  $l_{20}$  – маршрутизатором и ПО-2;  $l_{21}$  – ПО-1 и ПО-2;  $L = \lambda_T / \lambda$  – доля угроз в канале связи, где  $\lambda_T$  – интенсивность входного потока угроз,  $\lambda$  – интенсивность общего входного потока (в том числе угроз);  $W = |E|/|H|$ , где  $|E|$  – кардинальное число множества  $E$  (множество угроз, которые способен обнаружить и устранить набор средств в составе системы защиты информации);  $|H|$  – кардинальное число множества  $H$  (множество угроз информационной безопасности, с которыми необходимо бороться в рамках конкретной ВС).

Приведем результаты расчета при:  $A_0=25\%$ ;  $A_1=50\%$ ;  $A_2=80\%$ ;  $p_0=0,9$ ;  $p_1=0,925$ ;  $p_2=0,925$ ;  $\lambda=50 \text{ с}^{-1}$ ;  $l_{00}=22,5\%$ ;  $l_{10}=22,5\%$ ;  $l_{20}=25\%$ ;  $l_{21}=30\%$ ;  $W=1$ ;  $L=0,4$ ;  $V_M=0,015 \text{ с}$ ;  $v_1=0,025 \text{ с}$ ;  $v_2=0,05 \text{ с}$ ;  $c_0=15 \text{ у.е.}$ ;  $c_1=90 \text{ у.е.}$  и ограничении средств на построение системы  $C=400 \text{ у.е.}$

Если ресурсов сервера хватает для полноценной работы ПО-1 и ПО-2:  $q_1=35$ ,  $r_1=20$  и  $q_2=65$ ,  $r_2=30$ , а  $Q=100$ , то минимальное СВПЗС будет  $T_s=0,185 \text{ с}$ . Если ресурсов сервера недостаточно для полноценной работы двух ПО:  $q_1=40$ ,  $r_1=20$  и  $q_2=70$ ,  $r_2=35$ , а  $Q=100$ , то минимальное СВПЗС системы равно  $T_{s1,1}=0,204 \text{ с}$ , когда допускаем снижение производительности ПО-1 и  $T_{s1,2}=0,224 \text{ с}$ , когда снижаем производительность ПО-2. Во втором случае, когда оба ПО используются на одинаковом уровне производительности  $T_{s2}=0,214 \text{ с}$ .

Полученные результаты демонстрируют, что в зависимости от выбранного варианта распределения ресурсов между ПО сервера минимальное СВПЗС может быть различным.

В работе предложена двухуровневая схема защищенного доступа «Связующий узел», включающая две группы маршрутизаторов и группу серверов, программно реализующих функции защищенного доступа к информации. Предложена математическая модель и приведен расчет среднего времени пребывания запроса в системе при использовании двух видов программного обеспечения защиты информации, располагающихся на сервере.

Оценена эффективность рассматриваемых вариантов реализации схемы защиты «Связующий узел». Показано, влияние вариантов распределения вычислительных ресурсов сервера на среднее время пребывания запроса в системе.

## Литература

1. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. The fault-tolerant structure of multilevel secure access to the resources of the public network // Communications in Computer and Information Science. – 2016. – V. 678. – P. 302–313.
2. Коломойцев В.С., Богатырев В.А. Вероятностно-временные показатели при поэтапном применении средств защиты информации // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 11(161). – С. 37–43.
3. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Своевременность обслуживания в многоуровневых кластерных системах с поэтапным уничтожением просроченных запросов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – № 2. – С. 28–35.
4. Богатырев В.А., Кармановский Н.С., Попцова Н.А., Паршутина С.А., Богатырев С.В. Имитационная модель поддержки проектирования инфокоммуникационных резервированных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16. – № 5(105). – С. 831–838.
5. Богатырев В.А., Паршутина С.А. Модели многопутевой отказоустойчивой маршрутизации при распределении запросов через сеть // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2015. – № 12. – С. 23–28.

**Коломойцев Владимир Сергеевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирантНаправление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: dek-s-kornis@yandex.ru

УДК 004.056.53

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДВУХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИЩЕННОГО  
ДОСТУПА ПРИ РАЗНОЙ СТОИМОСТИ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В НЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ****Коломойцев В.С.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Богатырев В.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

В работе показаны два способа построения двухуровневой системы информационной защиты предоставляющей удаленный доступ к ресурсам внешней сети. Проведен сравнительный анализ возможностей рассматриваемой схемы доступа для различных вариантов ее построения.

**Ключевые слова:** межсетевые экраны, сетевая организация, защита информации, информационная безопасность, надежность.

Принцип организации защищенного подключения корпоративной сети к сетям общего пользования существенно влияет на безопасность и надежность работы вычислительной системы (ВС). Однако эффективность методов обеспечения информационной безопасности напрямую зависит от количества материальных средств, затраченных на их реализацию.

Зачастую информационная защита узлов корпоративной сети ограничивается внутренними средствами узла сети – антивирусными средствами, системой защиты от несанкционированного доступа, защищенным хранилищем данных и т.д. – а также установленным на входе в корпоративную сеть межсетевым экраном с фильтрацией пакетов [1]. Такие меры приводят к тому, что практически вся работа по ликвидации угроз из внешней сети ложится на оконечный узел. В случаях, когда необходимо обеспечить информационную безопасность критически важных узлов системы, ограничение лишь данным мерами и средствами является недостаточным [1, 2].

В связи с этим следует использовать схему защиты, позволяющую обеспечить комплексную информационную безопасность, например, схему доступа «Прямое соединение» [1].

Рассматриваемая схема подразумевает под собой последовательное подключение нескольких устройств обеспечения информационной безопасности, соединенных между собой маршрутизаторами. Это позволяет при сравнительно небольших временных и экономических затратах построить схему защищенного доступа, способную обеспечить безопасность от сформированного круга информационных угроз. Такая схема доступа имеет высокий показатель масштабируемости и реконфигурации, а также позволяет достигнуть требуемого уровня отказоустойчивости и производительности ВС. В работе исследованы возможности данной схемы, с использованием двух групп маршрутизаторов для надежного объединения всех элементов схемы между собой. Рассмотрено использование в составе схемы двух аппаратных средств защиты.

Доступ к узлам корпоративной сети в схеме доступа «Прямое соединение», с использованием двух групп маршрутизаторов и двух аппаратных средств защиты можно осуществить двумя способами, показанными на рис. 1 и 2.

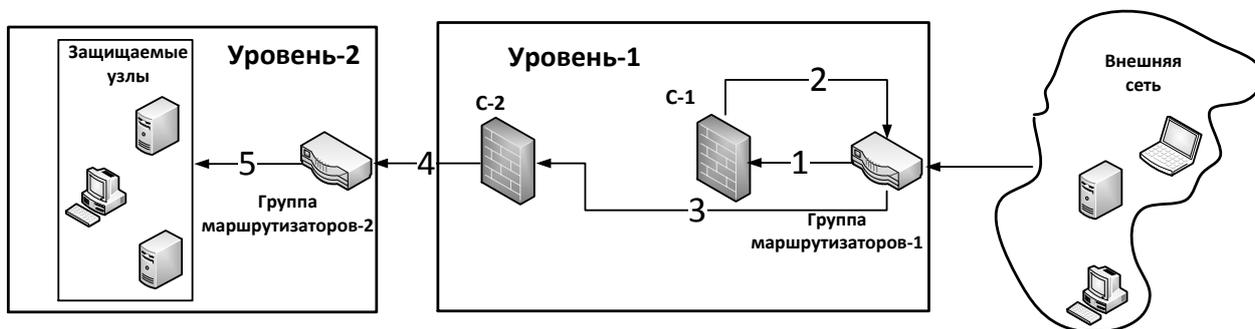


Рис. 1. Первый типовой вариант построения схемы доступа «Прямое соединение» с использованием двух групп маршрутизаторов

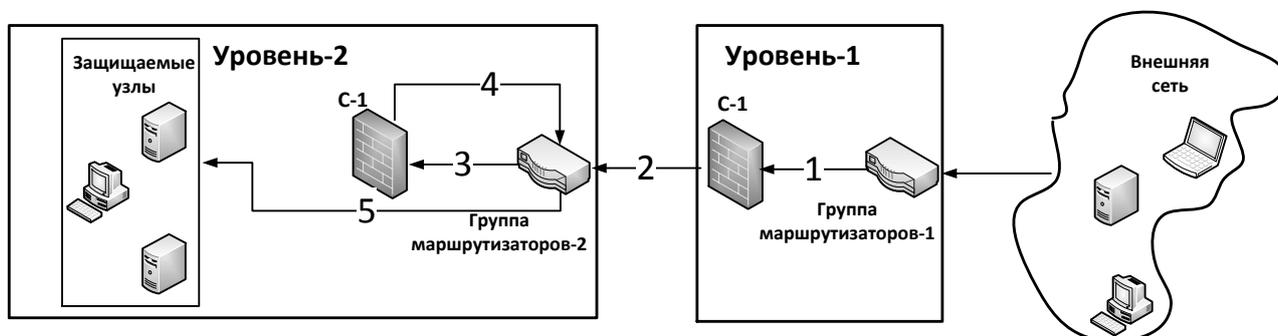


Рис. 2. Второй типовой вариант построения схемы доступа «Прямое соединение» с использованием двух групп маршрутизаторов

Общий принцип работы схемы доступа «Прямое соединение» в обоих способах доступа к узлам корпоративной сети будет выглядеть следующим образом. На входе во внутреннюю сеть установлены маршрутизаторы, объединенные в единую группу (кластер). После маршрутизатора установлено аппаратное средство первого типа (С-1), направленное на борьбу с вредоносным трафиком. Далее информация поступает на маршрутизатор и, после чего, на аппаратное средство второго типа (С-2) для устранения угроз иного рода или же поиска и устранения тех же угроз, но иными способами или методами.

В частном случае средства защиты обоих типов борются каждый со своим типом угроз информационной безопасности, что направлено на работу по точечной ликвидации информационных угроз. Однако нередко бывает, что их работа частично перекрывается друг другом, чтобы увеличить шансы нахождения и устранения угроз системой безопасности.

В первом случае (рис. 1) данные после прохождения первой группы маршрутизаторов попадают на С-1 (шаг 1). Далее они возвращаются обратно в первую группу маршрутизаторов (шаг 2) и, после чего, передаются на С-2 (шаг 3). Обработав поступившие данные, С-2 передает их второй группе маршрутизаторов (шаг 4), которая, в свою очередь, отправляет их на требуемые конечные узлы системы (шаг 5).

В то же время во втором случае (рис. 2), данные после прохождения первой группы маршрутизаторов также попадают в С-1 (шаг 1). Отличием является то, что после С-1 данные уже будут отправлены второй группе маршрутизаторов (шаг 2). После получения данных, вторая группа маршрутизаторов отправляет их в С-2 (шаг 3), который, после выполнения своей части работы, возвращает их снова второй группе маршрутизаторов (шаг 4). После чего данные уже отправляются на требуемые конечные узлы (шаг 5).

С организационно-технической точки зрения оба варианта построения схемы заслуживают внимания и требуют детального анализа своих возможностей. Проведена оценка возможностей каждого из варианта построения системы с точки зрения надежности.

Для рассматриваемых вариантов доступа по схеме «Прямое соединение» необходимо найти кратность резервирования узлов в каждой из групп, при которой достигается максимально возможный уровень надежности системы при минимально возможном среднем времени пребывания запроса в системе с учетом ограничений на стоимость реализации системы [2].

Затраты на реализацию системы защиты:

$$C_{1,2} = c_0 \sum_i n_{0i} + c_1 n_1 + c_2 n_2,$$

где  $c_0$  – стоимости маршрутизаторов;  $c_1$  – средств С-1;  $c_2$  – средств С-2;  $n_{0i}$  – число маршрутизаторов в  $i$ -ой группе;  $n_1$  – число средств С-1;  $n_2$  – число средств С-2.

Надежность системы защиты определим как:

$$P_{1,2} = P_{01} P_{m1} P_{02} P_{m2}.$$

где  $P_{m1} = \sum_{i=1}^{n_1} \delta_{i1} C_{n_1}^i r_1^i (1-r_1)^{n_1-i}$ ,  $P_{m2} = \sum_{i=1}^{n_2} \delta_{i2} C_{n_2}^i r_2^i (1-r_2)^{n_2-i}$ . При условии, что маршрутизаторы в каждой из групп являются одинаковыми:

$$P_{01} = \sum_{i=1}^{n_{01}} \delta_{i01} C_{n_{01}}^i r_0^i (1-r_0)^{n_{01}-i}, P_{02} = \sum_{i=1}^{n_{02}} \delta_{i02} C_{n_{02}}^i r_0^i (1-r_0)^{n_{02}-i},$$

где  $\delta_{i1}, \delta_{i2}, \delta_{i01}, \delta_{i02}$  условия обеспечения стационарности режима работы узлов, принимающих значение «1», если условия стационарности выполняются и «0» в противном случае.

Оптимизация системы защиты включает поиск распределения числа узлов каждого типа, обеспечивающего максимум надежности всей системы в целом при условии ограничения стоимости реализации системы  $C_1 \leq C$ ,  $C_2 \leq C$  и соблюдения условий стационарности режима обслуживания [3, 4].

В результате накладываемых ограничений на обеспечения стационарности режима работы узлов условия  $\delta_{i1}, \delta_{i2}, \delta_{i01}, \delta_{i02}$  определяются исходя из требований для:

$$\text{Вариант 1: } (1+d_2)\lambda v_0/n_{01} < 1; d_1\lambda V_1/n_1 < 1; d_3\lambda V_2/n_2 < 1; \lambda d_4 v_0 n_{02} < 1.$$

$$\text{Вариант 2: } \lambda v_0 n_{01} < 1; d_1\lambda V_1/n_1 < 1; \lambda(d_2+d_4)v_0 n_{02} < 1; d_3\lambda V_2/n_2 < 1,$$

где  $d_i$  – доля входного потока после отфильтрования ранее расположенным узлом [5];  $v_0, v_1, v_2$  – среднее время обслуживания запроса в маршрутизаторах, средствах С-1 и средствах С-2;  $\lambda$  – интенсивность потока запросов.

Результаты расчетов надежности, в зависимости от налагаемых ограничений на пропускную способность системы, определяемые с помощью известной интенсивности входного потока  $\lambda$ , при  $r_0=0,8, r_1=0,9, r_2=0,9; v_0=0,025$  с,  $v_1=0,04$  с,  $v_2=0,075$  с,  $C=500$  у.е.,  $d_1=0,91, d_2=d_3=0,7, d_4=0,6$ , представлены на рис. 3, а, – для  $c_0=10$  у.е.,  $c_1=15$  у.е.,  $c_2=25$  у.е.; на рис. 3, б, – для  $c_0=10$  у.е.,  $c_1=25$  у.е.,  $c_2=40$  у.е.

Как видно из представленных выше рис. 1 и 2, вариант схемы с использованием единой группы маршрутизаторов для зоны, где располагаются все аппаратные средства, направленные на обеспечение информационной защищенности ВС и второй группы маршрутизаторов для зоны с оконечными узлами ВС, обеспечивает надежность ниже, чем второй вариант построения схемы доступа. Причем, чем выше разница между ценами каждого из аппаратных средств, входящих в состав схемы доступа, тем выше становится разница надежности между обоими вариантами построения схемы доступа.

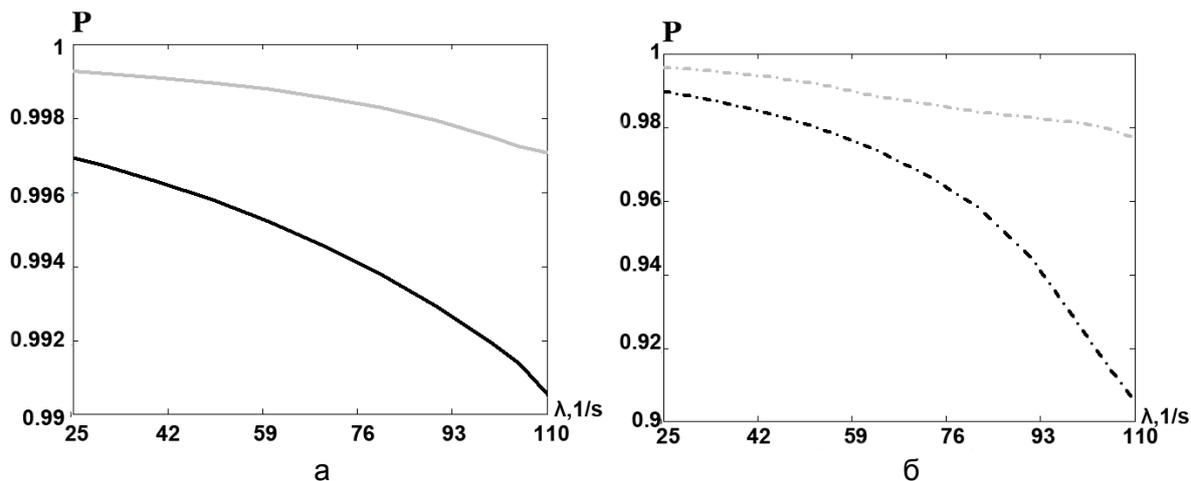


Рис. 3. Надежность схем доступа с учетом входного потока запросов при:  $c_0=10$  у.е.,  $c_1=15$  у.е.,  $c_2=25$  у.е. (а);  $c_0=10$  у.е.,  $c_1=25$  у.е.,  $c_2=40$  у.е. (б).

Черная сплошная линия – Вариант 1; серая сплошная линия – Вариант 2

Опираясь на данные ранних исследований, что оба варианта показывают практически одинаковый уровень производительности и обеспечения информационной безопасности, можно считать, что надежность является решающим фактором при выборе одного из рассматриваемых вариантов построения схемы доступа [1, 5].

В работе произведен анализ возможностей схемы доступа «Прямое соединение», с использованием двух групп маршрутизаторов. Показанная схема доступа позволяет организовать защищенное подключение оконечного узла внутренней сети к ресурсам, расположенным во внешней сети путем создания двухуровневой системы защиты. Показано, что вариант построения схемы «Прямое соединение», использующий одну группу маршрутизаторов, объединяющий часть из имеющихся аппаратных средств защиты, и вторую группу маршрутизаторов для объединения оставшейся части аппаратных средств защиты с оконечными узлами вычислительной системы, обладает более высоким уровнем надежности, чем другой из представленных вариантов построения схемы доступа.

## Литература

1. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. The fault-tolerant structure of multilevel secure access to the resources of the public network // Communications in Computer and Information Science. – 2016. – V. 678. – P. 302–313.
2. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Своевременность обслуживания в многоуровневых кластерных системах с поэтапным уничтожением просроченных запросов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – № 2. – С. 28–35.
3. Bogatyrev V.A., Parshutina S.A. Redundant Distribution of Requests Through the Network by Transferring Them Over Multiple Paths // Communications in Computer and Information Science. – 2016. – V. 601. – P. 199–207.
4. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Многоэтапное обслуживание запросов, критичных к задержкам ожидания, в многоуровневых системах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17. – № 5(111). – С. 872–878.
5. Коломойцев В.С., Богатырев В.А. Вероятностно-временные показатели при поэтапном применении средств защиты информации // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 11(161). – С. 37–43.

**Кормилицын Константин Александрович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: kormilicinkostia@gmail.com

УДК 004.052.42

**ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ФИКСАЦИИ ПОВЕДЕНИЯ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ****Кормилицын К.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустарев П.В.**

На сегодняшний день при проектировании автоматизированных систем управления на тестирование и верификацию тратится до 70% времени и ресурсов. В последнее время все более активно используется компьютерное моделирование, что сильно уменьшает, но, к сожалению, в полной мере не защищает от ошибок. В связи с этим проверку необходимо вести многократно, итерационно на разных этапах проектирования и уровнях абстракции, вплоть до реализации на конкретной «целевой» компьютерной платформе. В работе рассмотрены способы верификации автоматизированных систем управления на уровне целевой платформы (реализации) с использованием математических моделей.

**Ключевые слова:** верификация АСУ, математические модели, конечные автоматы, системный монитор, системы на кристалле.

Комплексная верификация разрабатываемых автоматизированных систем управления (АСУ) может занять до 70% времени и стоимости проектирования; при этом функциональная проверка может занять более половины от этого времени. С помощью компьютерного моделирования удается обнаружить и исправить только 53% ошибок [1]. Оставшаяся часть ошибок диагностируется на этапе натурных испытаний или эксплуатации. В связи с этим необходимо проводить исследования и постоянно совершенствовать методы верификации на этих этапах. Возможным способом и, соответственно, этапом верификации АСУ может быть проверка реализации алгоритма (функции) управления на базе математической модели (ММ). Одной из задач в рамках такого подхода является получение ММ поведения АСУ на целевой платформе и ее последующее сравнение с эталонной ММ, заданной изначально. Таким образом, необходимо выбрать метод, позволяющий зафиксировать и сохранить поведение АСУ в реальных условиях эксплуатации, на реальных задачах. В данной работе авторы выделили и оценили некоторые, наиболее часто применяемые методы фиксации поведения вычислительных систем в составе АСУ, с целью выделения одного или нескольких, на базе которых можно развивать методологию натурной верификации АСУ.

**Журнал событий.** Журнал событий – это один из самых распространенных на сегодняшний день методов отладки, который при проектировании большинства систем закладывается разработчиками. Основная идея метода заключается в логировании «значимых» для системы событий. Событием считается любая смена состояния наблюдаемой системы. Основными преимуществами данного метода являются простота реализации и универсальность [1]. При всей универсальности данного метода на сегодняшний день отсутствуют соответствующие стандарты, что усложняет применение на практике. Еще одна проблема: данный подход не позволяет вести наблюдение за системой на протяжении длительного времени, что объясняется прямой зависимостью размера журнала событий от времени работы системы при ограниченном объеме встроенной памяти. Модификацией метода является ведение журнала неисправностей. При этом ощутимо

повышается время наблюдения за счет сохранения меньшего количества информации, но, к сожалению, данный подход не позволяет отследить последовательность событий, приводящих к неисправности.

**Синтез математических моделей.** Задача ставится следующим образом: есть множество входных воздействий и выходных реакций системы, и множество, состоящее из «внутренних» состояний системы. Между этими множествами необходимо найти математическую связь – построить математическую модель функционирования системы [2]. Далее выполняется анализ математической модели известными (различными) методами.

Таким образом, для верификации необходимо иметь механизм логирования входных и выходных сигналов, и на этом наборе данных необходимо искать математическую зависимость. Первой проблемой является определение необходимого момента для фиксации состояния системы. Второй проблемой является высокая вычислительная сложность и ресурсозатратность. Более того, в настоящий момент автору не удалось найти программное обеспечение, позволяющее синтезировать сложные динамические системы, когда заранее неизвестна ее (системы) структура. Исходя из этого, верификации подлежат только четко и детально описанные системы.

**Эталонная модель.** Метод на основе эталонной модели является упрощением синтеза ММ. Основная идея заключается в приведении экспериментальных данных к заранее известной зависимости. Тем самым мы не решаем задачу синтеза неизвестной функции, а лишь подбираем правильные коэффициенты для заранее известной функции. К сожалению, не всегда можно заранее предугадать функцию системы, и поэтому во многих случаях данный метод сложно применим. Одной из модификаций данного способа может служить подход, описанный в работе [3]. Он заключается в подборе множества непересекающихся эталонных ММ.

**Представления модели в виде графа.** Данный метод является частным случаем метода эталонной модели. Анализ литературы [3] показывает, что в общем случае вся совокупность задач, решаемых АСУ, может быть представлена в виде графа. Следовательно, задача синтеза модели объекта сводится к декомпиляции конечного автомата. В работе [4] описан данный подход к решению задачи. Основным недостатком является ограниченная применимость метода к так называемым «сложным системам», когда АСУ состоит из нескольких слабосвязанных «вложенных» АСУ. Синтез конечных автоматов по экспериментальным данным в таком случае сильно затруднителен, так как по анализу лишь входных и выходных сигналов мы не можем привязать событие к одной конкретной АСУ, а следовательно, необходимо создавать дополнительные модули, отвечающие за распределения событий по нескольким системам.

**Анализ методов фиксации поведения.** Из таблицы видно, что ни один из рассмотренных методов фиксации поведения АСУ не является удовлетворительным по комплексу отобранных требований, важных, с точки зрения автора, для практики проектирования.

Таблица. Сравнение методов фиксации

Параметр	Журнал событий	Синтез математических моделей	Эталонная модель	Представления модели в виде графа
Необходимые данные	Упорядоченный список событий	Набор входных и выходных сигналов	Набор входных, выходных сигналов и эталонная функция	Набор входных, выходных сигналов и журнал событий

Параметр	Журнал событий	Синтез математических моделей	Эталонная модель	Представления модели в виде графа
От чего зависит полнота представления	От детальности списка событий	От времени наблюдения	От времени наблюдения и правильности выбора эталонной функции	От времени наблюдения и детализации списка событий
Способ детекции неисправности	Анализ журнала событий	Сравнение математической модели объекта с синтезируемой	Сравнение математической модели объекта с синтезируемой	Анализ графа
Основной недостаток	Степень детализации зависит напрямую от времени наблюдения	Высокая вычислительная сложность, отсутствие регламентируемого времени наблюдения	Выбор эталонной функции	Способ детекции перехода между вершинами графа

Объединяя элементы перечисленных выше подходов, был синтезирован метод фиксации поведения системы, названный «программно-распределенный комплекс детекции неисправности».

Данный метод должен работать в среде с ограниченными вычислительными ресурсами – накапливать данные о поведении в памяти встроенных контроллеров АСУ. Целесообразно разделить комплекс на два блока. Первый – непосредственно интегрируемый в целевую систему и записывающий происходящие события (подсистема «логирования»). Второй реализован на базе инструментального компьютера и производит декомпиляцию ММ.

На взгляд автора, целесообразно представлять систему в виде графа, где каждая вершина отдельная ММ. Таким образом, мы сможем описывать единым образом объекты любой сложности. Поиск ММ осуществляется по методу, описанному в работе [3], при данном подходе мы сокращаем вычислительные ресурсы, требуемые на синтез ММ, хотя и увеличиваем необходимый объем памяти за счет хранения совокупности моделей. В процессе синтеза ММ нам необходимо решить задачу декомпиляции графа. Как было рассмотрено ранее, для этого необходимо разработать специальное программное обеспечение для детекции перехода между вершинами.

На рисунке представлена архитектура системы логирования, которая состоит из следующих блоков:

- блок захвата сигнала (БЗС);
- система регистрации событий, выполняющая роль анализа программного состояния системы, которая должна фиксировать моменты перехода от одного логического блока к другому. В итоге мы будем иметь возможность воссоздать граф системы управления при синтезе модели;
- система обработки информации с датчиков. К сбою в работе системы могут приводить множество факторов и один из таких факторов – это влияние окружающей среды. Таким образом, с данными, полученными с датчиков, мы можем актуализировать модель с учетом влияния окружающей среды;
- система хранения информации (память) – данный блок должен иметь возможность адаптироваться под ресурсы системы, тем самым увеличивая или уменьшая окно наблюдения.

Работа данного комплекса состоит из двух основных этапов. Первый – накопление данных в режиме реального эксперимента. В этот момент работает лишь система логирования информации и отсутствует соединение с системой анализа для того, чтобы избежать возможные нарушения временных характеристик системы из-за передачи данных от наблюдаемой системы к системе анализа. На втором этапе в офлайн-режиме происходит передача данных на систему анализа данных, которая выполняет последовательно следующие действия:

1. считывание записанных данных с системы сбора;
2. декомпиляция конечного автомата на основе данных, полученных о программном состоянии наблюдаемой системы;
3. распределение полученных данных для каждого отдельного состояния конечного автомата;
4. для каждого состояния проведение синтеза математической модели.

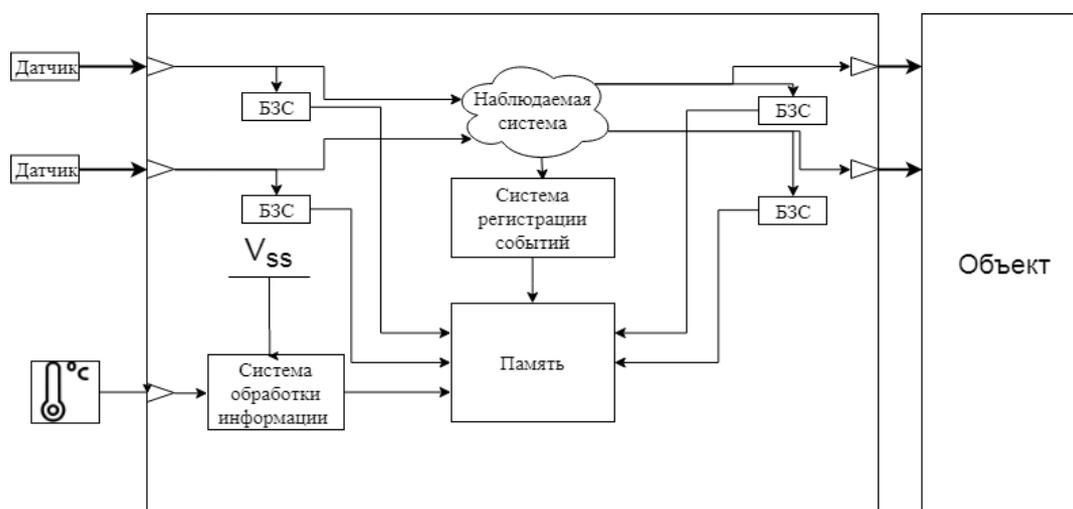


Рисунок. Архитектура системы логирования

**Заключение.** В работе были рассмотрены различные способы фиксации поведения встроенной системы. Были рассмотрены основные недостатки, присущие наиболее известным методам. Учитывая эти недостатки и стремясь их устранить, авторы предложили метод «программно-распределенный комплекс детекции неисправности», являющийся симбиозом нескольких из рассмотренных подходов. Была представлена соответствующая архитектура системы логирования. Благодаря представленному подходу – за счет автоматического синтеза ММ и последующего сравнения с эталонной ММ, можно в значимой степени сократить время верификации АСУ, повысить их надежность. В дальнейшем запланирована реализация представленного метода и его апробация на реальных данных.

### Литература

1. Быковский С.В. Метод встроенного функционального мониторинга с динамической актуализацией модели поведения для систем на кристалле: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Место защиты: Университет ИТМО, 2015. – 113 с.
2. Ильин А.А., Ильин Р.А., Анкудинов К.А. Математическое обеспечение синтеза математических моделей сложных динамических процессов по выборке данных их предыстории // Изв. ТулГУ. Технические науки. – 2012. – Вып. 3. – С. 305–311.
3. Яковлев А.В., Яковлев А.В., Петренко С.В. Синтез математической модели автоматизированной системы управления специального назначения с микроядерной архитектурой // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 1. – С. 160–169.
4. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Структурно-параметрический синтез математических моделей объектов исследования по экспериментальным данным // Морская техника и технологии. – 2009. – № 1. – С. 110–115.

**Литвинов Павел Александрович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3400Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: p.litvinov7@gmail.com

**Цопа Евгений Алексеевич**

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
ассистент

e-mail: evgenij.tsopa@cs.ifmo.ru

УДК 004.457

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ КАЛМАНА И МАДЖВИКА  
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТАБИЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ****Литвинов П.А.****Научный руководитель – ассистент Цопа Е.А.**

Работа посвящена сравнению двух популярных алгоритмов для фильтрации шумов от микроэлектромеханических систем датчиков и их применимость к стабилизации объектов в режиме реального времени. Проведены сравнительные экспериментальный и аналитический анализы алгоритмов и выявлено, что при схожих результатах алгоритм Калмана может быть реализован в целых числах.

**Ключевые слова:** алгоритм Калмана, алгоритм Маджвика, стабилизация объектов.

Вопрос непрерывной стабилизации объектов актуален во многих сферах: автомобильное производство, оборонная промышленность, аэрокосмическая промышленность, киноиндустрия и т.д. Одной из основных задач является фильтрация шумов в сигнале, поступающем с датчиков в реальном времени. Например, в сигнале от микроэлектромеханического акселерометра. В нем инерционная масса закреплена на подвесах к неподвижным креплениям. При наличии ускорения инерционная масса отклонится от начального положения, тем самым отклонятся и прикрепленные к ней электроды. Емкость между движущимися и неподвижными электродами изменится и съемники это зафиксируют. В такой схеме причин, из-за которых могут возникнуть шумы, огромное множество: это могут быть механические колебания, расходящиеся от удара по столу, электромагнитные волны и т.п. В рамках данной работы были рассмотрены два алгоритма для фильтрации шумов от микроэлектромеханических 3-х осевого гироскопа, 3-х осевого акселерометра и 3-х осевого магнитометра. Первый из алгоритмов – фильтр Калмана хорошо изучен и применяется с 60-х годов прошлого века для итерационной фильтрации данных [1]. Второй – фильтр Маджвика – появился сравнительно недавно, в 2010 году, автор изначально позиционировал его как лучший фильтр для стабилизации объектов [2].

В первой части исследования было аналитическое сравнение. Алгоритмы используют внутри себя разный математический аппарат. Аппроксимация шума методом Калмана – это ряд итерационных матричных вычислений [3]. В качестве средства для описания положения объекта в пространстве используются углы Эйлера. В основе фильтра есть две фазы:

предсказание и коррекция. В фазе предсказания мы пытаемся предугадать, какое значение придет с датчика в следующий момент времени на основе предыдущего значения и известного нам закона распределения. В фазе коррекции мы корректируем предсказанное значение на основе полученного значения и весового коэффициента. В методе, предложенным Маджвиком, используются кватернионы [4] для описания положения объекта в пространстве. Поскольку фильтр изначально разрабатывался для применения в системах стабилизации, то в его основе лежит парадигма единой оценки положения объекта в пространстве на основе данных с акселерометра, гироскопа и магнитометра. Сами по себе кватернионы представляют собой систему из гиперкомплексных чисел, образующих векторное пространство размерностью четыре над полем вещественных чисел. Кватернионы отлично подходят для описания положения объекта в пространстве и не имеют таких проблем, как складывание рамок в углах Эйлера. На каждой итерации вычисления, как и в фильтре Калмана, используются матричные вычисления, но из-за наличия комплексной составляющей в кватернионах качество фильтрации в целых числах неуклонно деградирует после каждой итерации. Фильтр Калмана же напротив – отлично себя показывает в вычислениях в целых числах. Также стоит отметить, что фильтр Маджвика имеет только два регулируемых параметра, в то время как фильтр Калмана имеет значительно больше возможностей для настройки и калибровки под конкретную задачу и может быть откалиброван под конкретный набор датчиков с уникальными характеристиками. В обоих фильтрах присутствует линейная регрессия итерации. Одним из решений для фильтра Калмана является предложенная Бахманом [5] аппроксимация методом наименьших квадратов. В классической реализации фильтра Маджвика используется аппроксимация методом градиентного спуска.

Вторым этапом было проведено экспериментальное исследование фильтров. Для сравнения были выбраны два случая: объект в движении и объект в статике. Эталонные данные для сравнения были получены с использованием высокоточного инкрементального энкодера. Стоит отметить, что тестовый стенд был собран из немагнитных материалов, чтобы исключить наводки на магнитометр. С помощью магнитного компаса было измерено направление магнитного поля Земли. Было проведено по 10 тестов для движущегося и стационарного объектов. Для частоты эксперимента неотфильтрованные данные с датчиков сначала были записаны, и лишь потом сохраненные одинаковые данные отфильтрованы обоими фильтрами. Стоит отметить, что конфигурация стенда позволяла использовать оба фильтра в режиме реального времени при отсутствии задержек. Ниже приведена сравнительная таблица полученных абсолютных отклонений от эталонных значений.

Таблица. Полученные абсолютные значения отклонений

Угол отклонения	Фильтр Калмана, °	Фильтр Маджвика, °
Крен(φ) подв.	0,77	0,62
Крен(φ) неподв.	0,75	0,59
Тангаж(φ) подв.	0,82	0,64
Тангаж(φ) неподв.	0,79	0,52
Курс(φ) подв.	1,11	1,11
Курс(φ) неподв.	1,07	1,06

По данным таблицы видно, что у фильтра Маджвика отклонение от эталонных результатов несколько ниже, но явного фаворита нет. Отклонение у фильтра Калмана, в сравнении с фильтром Маджвика, в десятые, а местами и сотые, доли градуса может являться как статистической погрешностью, так и плохо подобранными коэффициентами для данного тестового стенда. В рамках испытаний фильтра Калмана использовалась аппроксимация методом наименьших квадратов, в фильтре Маджвика данные с датчиков аппроксимировались методом градиентного спуска.

Таким образом, фильтр Маджвика подходит для небольших систем стабилизации за счет легкости настройки алгоритма и применимости в современных встраиваемых системах низкого ценового сегмента. Фильтр Калмана, в совокупности с возможностью аппроксимации, пусть и за счет увеличения вычислительной сложности, а также возможностью более гибкой настройки калибровочных коэффициентов под конкретные физические реализации систем, а также условия эксплуатации, может применяться в условиях промышленной эксплуатации. Линейная регрессия обоих фильтров может быть решена аппроксимацией. Также необходимо учесть, что фильтр Калмана показывает отличные результаты, когда известна траектория движения. К примеру, резкий удар по автомобилю, чтобы сработали подушки безопасности или пилотируемый запуск ракет. Также фильтр Калмана может применяться в системах с целочисленной арифметикой.

### Литература

1. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
2. Madgwick S.O.H. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. – Technical report, University of Bristol University, UK, 2010. – 32 p.
3. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
4. Гриценко В.А. Арифметика кватернионов и ряды Эйзенштейна // Аналитическая теория чисел и теория функций. – Л.: Изд-во «Наука», Ленинград. отд., 1987. – С. 82–90.
5. Bachmann E.R. et al. Orientation Tracking for Humans and Robots Using Inertial Sensors // Proc. of 1999 IEEE International Symposium on Computation in Robotics and Automation. – 1999. – P. 187–194.



**Маркитантов Максим Викторович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р4110

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия  
e-mail: m.markitantov@yandex.ru



**Тропченко Александр Ювенальевич**

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
д.т.н., профессор  
e-mail: tau@cs.ifmo.ru

УДК 004.8

**МЕТОДЫ БИОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Маркитантов М.В.**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Тропченко А.Ю.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615892 «Исследование и разработка в области информационных технологий».

В работе рассмотрены нейросетевые технологии распознавания человека по голосу и по изображению лица в биометрических системах.

**Ключевые слова:** биометрические системы, распознавание личности, нейронные сети.

В последние годы биометрия стала неотъемлемой частью жизни людей. В некоторых странах, например, без биометрических данных нельзя получить загранпаспорт и визу. Правительственные организации различных стран считают, что биометрия – один из самых эффективных способов идентификации беженцев и тех, кто нелегально пересекает границу.

Биометрические системы могут применяться, как для решения внешних задач при обслуживании клиентов (идентификация пользователей платежных систем, пассажиров определенного рейса, и т.д.), так и внутри компании, например, при контроле доступа, управлении правами пользователей информационных систем, учете рабочего времени.

Биометрия представляет собой систему распознавания людей по одной или более физических или поведенческих черт.

Биометрические данные можно разделить на два основных класса:

- физиологические – связаны с «формой тела». К ним относятся лицо, отпечатки пальцев, геометрия руки, радужная оболочка, ДНК, форма ушей, сетчатка глаза;
- поведенческие – связаны с поведением человека. К ним относятся подпись, голос, походка, клавиатурный почерк и др.

При построении биометрических систем целесообразно использовать нейронные сети.

**Многослойные нейронные сети (МНС).** Состоят из нескольких слоев. Нейроны на одном слое связаны с нейронами на другом, и каждое соединение имеет связанный вес. Функциями активации могут быть разновидности линейных, пороговых и сигмоидных функций [1].

При классификации образов на вход подается изображение в каком-либо виде, или набор ранее извлеченных ключевых признаков изображения, на выходе нейрон с максимальной активностью, который указывает принадлежность к определенному классу. При распознавании человека по изображению лица такой метод хорош для задач разграничения доступа небольшой группы лиц.

Для извлечения ключевых характеристик изображения, можно использовать метод главных компонент. Для набора изображений лиц собственные векторы могут быть представлены в виде изображений, такие изображения похожи на лица и называются собственными лицами (eigenfaces). Сумма собственных векторов, умноженных на соответствующие им главные компоненты, представляет собой реконструкцию изображения.

Для распознавания по голосу нужно произвести предобработку произнесенной фразы в цифровой сигнал, из которой удаляются шум и паузы. Вектора признаков формируются с помощью кепстральных коэффициентов для каждого фрагмента речевого сигнала длительностью 20 мс. Такие нейронные сети успешно применяются с одним диктором и позволяют производить текст-зависимую идентификацию по голосу.

Недостатки МНС:

- выбор архитектуры сети (количество нейронов, слоев, характер связей);
- проблема локального минимума;
- выбор шага (скорости) обучения – при малом шаге время обучения будет большим, и сеть может застревать в локальных минимумах, а при больших шагах возможно расхождение процесса обучения или паралич сети.

**Нейронные сети высокого порядка.** Содержат один слой, но на входы нейронов поступают значения, являющиеся произведением двух или более компонент входного вектора [1].

Может распознавать образы, имея обобщенное изображение без различных поворотов и масштабов.

Позволяют точнее выделить особенности нескольких дикторов с помощью нелинейной трансформации одного пространства признаков в другое.

**Радиально-базисные нейронные сети (РБНС).** Состоят из двух слоев. Первый слой описывается радиально-базисной функцией активации:

$$y = \exp\left(\frac{-S^2}{2\sigma^2}\right)$$

Второй слой – это набор кластеров в пространстве образов. Он позволяет уменьшить значение функции активации нейронов при удалении от центра кластера.

Такие сети позволяют учесть топологию пространства изображения, что говорит о перспективности данных сетей.

В области распознавания голоса исследования показывают, что в отличие от многослойной нейронной сети, радиально-базисная нейронная сеть дает лучшие результаты, как в производительности, так и в точности классификации [2]. Сравнение сетей приведено в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Сравнение на основе случайных тренировочных наборов

	Верификация			Идентификация
	FR (%)	FA (%)	Total Error (%)	Error (%)
МНС	5,89	0,37	0,57	2,06
РБНС	5,01	0,11	0,28	1,02

Таблица 2. Сравнение на основе лучших тренировочных наборов

	Верификация			Идентификация
	FR (%)	FA (%)	Total Error (%)	Error (%)
МНС	1,42	0,06	0,11	0,00
РБНС	0,71	0,00	0,03	0,00

**Сверточные нейронные сети.** Состоят из нескольких слоев. Эти слои бывают двух типов, которые чередуются друг с другом:

- сверточный слой включает в себя для каждого канала свой фильтр, ядро свертки которого обрабатывает предыдущий слой по фрагментам;
- подвыборочный слой уменьшает масштаб плоскостей путем локального усреднения выходных значений нейронов.

Для сверточной нейронной сети характерны высокая скорость обучения и быстрое действие. Она устойчива к различным смещениям, поворотам, изменениям ракурса, масштаба и прочим искажениям. Сверточная нейронная сеть является перспективой для дальнейших разработок в области распознавания изображений трехмерных объектов, в том числе человеческих лиц.

Использование сверточной нейронной сети совместно с глубокой нейронной сетью в области распознавания по голосу (рис. 1) позволяет извлечь локальные шаблоны из спектрограммы, полученной в результате предварительной обработки речи [3].

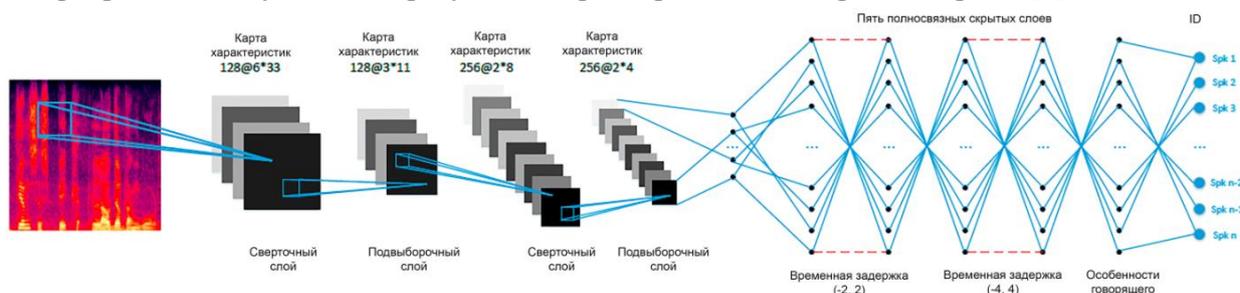


Рис. 1. Структура сверточной нейронной сети для распознавания по голосу

**Рекуррентные нейронные сети.** Один из видов нейронных сетей, где связи между элементами образуют направленную последовательность (рис. 2). Благодаря этому появляется возможность обрабатывать серии событий во времени или последовательные пространственные цепочки. В отличие от МНС, рекуррентные сети могут использовать свою внутреннюю память для обработки последовательностей произвольной длины.

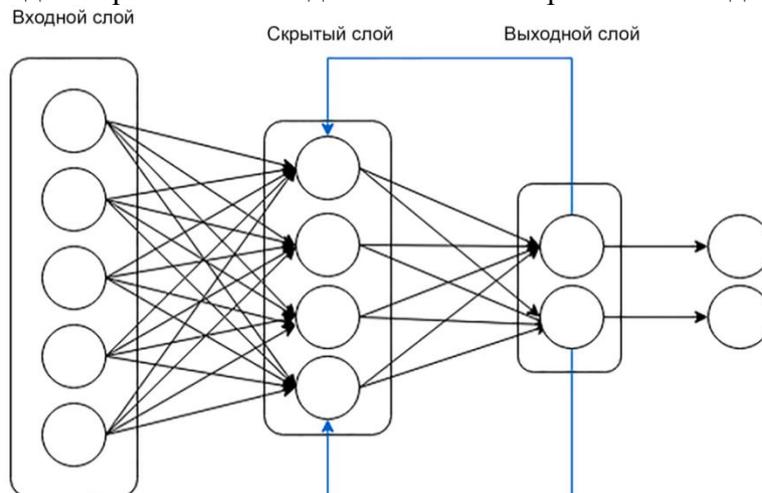


Рис. 2. Структура рекуррентной нейронной сети

Рекуррентная нейронная сеть хороша для использования в приложениях, где важна контекстная информация для правильной классификации, например, в обнаружении ритма языка [4]. Такие нейронные сети, в отличие от МНС, смещают фокус на особенности всей речи. К сожалению, контекстная информация может храниться в памяти сети только в течение ограниченного периода времени.

Таким образом, для обработки изображений идеально подходят сверточные нейронные сети, а для анализа речи – рекуррентные нейронные сети. Исходя из этого, в дальнейшем исследовании мультимодальной биометрии планируется рассматривать сверточную нейронную сеть для распознавания по изображениям лиц, а рекуррентную нейронную сеть для распознавания по голосу, так как:

- сверточные нейронные сети используют схему взаимодействия между нейронами и вдохновляются организацией зрительной коры животного, индивидуальные нейроны которой устроены таким образом, что они реагируют на перекрывающиеся области, облицовывающие поле зрения, поэтому они идеально подходят для обработки изображений и видео;
- рекуррентные нейронные сети могут использовать свою внутреннюю память для обработки информации о временных рядах, поэтому идеально подходят для анализа текста и речи.

### Литература

1. Брилюк Д.В., Старовойтов В.В. Распознавание человека по изображению лица нейросетевыми методами. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2002. – 54 с.
2. Finan R.A., Sapeluk A.T., Damper R.I. Comparison of Multilayer and Radial Basis Function Neural Networks for Text-Dependent Speaker Recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/document/549207>, своб.
3. Larsson J. Optimizing text-independent speaker recognition using an LSTM neural network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:759404/FULLTEXT01.pdf>, своб.
4. Li L., Chen Y., Shi Y., Tang Z., Wang D. Deep Speaker Feature Learning for Text-independent Speaker Verification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1705.03670.pdf>, своб.



**Бабиков Александр Александрович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3402

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: atom150396@gmail.com



**Меинов Артём Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3402

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: svek.95@gmail.com



**Румянцева Мария Юрьевна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р3402

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: ms70c3@gmail.com

**УДК 004.41**

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РЕАБИЛИТАЦИИ ЛЮДЕЙ  
С ОГРАНИЧЕННОЙ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

**Бабиков А.А., Меинов А.С., Румянцева М.Ю.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Ключев А.О.**

В работе рассмотрена возможность и процесс создания аппаратного комплекса для реабилитации людей после инсульта или с детским церебральным параличом. Данный комплекс является средством механотерапии – использования аппаратов для реабилитации людей вместо занятий с врачом, что позволяет проводить реабилитацию на дому. В процессе работы рассмотрены методы механотерапии, разработана конструктивная и аппаратная часть устройства, обоснован выбор комплектующих, написано программное обеспечение комплекса, позволяющее использовать комплекс для реабилитации людей с недостатком мышечной активности. Также рассмотрено создание биологической обратной связи для данного комплекса. Полученное устройство может найти применение для людей с ограниченными возможностями мышц.

**Ключевые слова:** механотерапия, аппаратный комплекс, встраиваемая система, биологическая обратная связь, информационно-управляющая система, реабилитация, биомехатронное устройство.

**Введение.** В последние годы проводятся исследования в области создания реабилитационных систем для пациентов, перенесших инсульты, травмы или хирургические вмешательства, повлекшие за собой нарушения двигательных функций, или имеющих заболевания, приводящие к нарушению мышечной активности. Проведенные мероприятия с применением различных устройств называются механотерапией.

Результатом проведения правильной механотерапии становятся выраженные позитивные изменения организма. Например, усиливается кровообращение в пораженных

суставах, что способствует уменьшению болезненности, укрепляются мышцы, повышается их тонус, функционирование суставов постепенно восстанавливается, позволяя пациенту совершать движения различной амплитуды.

Цель работы – разработать программно-аппаратный комплекс (ПАК), помогающий в реабилитации людей с недостатком мышечной подвижности локтевого сустава (на первом этапе).

Задачами данной работы были:

1. проанализировать необходимость применения аппаратов механотерапии в реабилитации больных;
2. проанализировать аналогичные комплексы;
3. составить модель движения руки;
4. реализовать аппаратную часть информационно-управляющей системы;
5. реализовать программную часть управления устройством;
6. реализовать систему обратной связи;
7. сконструировать корпус устройства.

ПАК применяется для обеспечения улучшения качества жизни, профилактики контрактур и т.д. пациенту наряду с традиционными медикаментозными и физиотерапевтическими процедурами. В процессе работы проводились консультации с медицинским персоналом.

**Обзор предметной области.** В мире существуют разработки по аналогичной тематике, но они имеют свои особенности. Например, разработка Курского государственного университета представляет собой устройство для реабилитации нижних конечностей [1], что имеет свои особенности. Но разработки в этой сфере подтверждают, что тема действительно актуальна.

Также в коммерческой среде существуют аппараты фирмы ORMED [2], но они разработаны за границей, что ведет к высокой цене на устройство. Они представляют комплексную, но только пассивную терапию суставов. Такие же возможности представляет аппарат фирмы ARTROMOT [3].

Система ARMEO [4] предоставляет только активные движения с компенсацией веса, без возможности пассивных упражнений, но имеет возможность мотивационных программ. Это аппарат, как и предыдущие, имеет большие размеры.

Созданный авторами аппарат представляет комплексную пассивную и активную терапию не только суставов, но и мышц, а также предоставляет возможность использования мотивационных упражнений.

### **Содержание исследования**

1. ПАК. Результатом работы является ПАК, представляющий собой информационно-управляющую систему. На данный момент он реализован на платформе Atmel, но планируется перенос на платформу pic32 и реализация собственной платы управления со встроенными управляющими устройствами.

В качестве математической модели использовали модель, исследованную в работе Курского государственного университета [5]. В дальнейшем планируется разработать собственную модель движения. Проведен расчет параметров конструкции, ее веса и возможности углов поворота. Определены мощности двигателей, управляющих системой. Мощность двигателей рассчитывалась из среднего веса и длины руки.

Конструкция состоит из двух неподвижных частей, одна из которых находится на плече, другая на предплечье. Части устройства соединены между собой шарниром. За движения отвечают два независимых друг от друга сервопривода. Один сервопривод предназначен для осуществления поворота руки в локтевом суставе с заданной скоростью до достижения заданного угла в продольном направлении (сгиб руки), второй

сервопривод осуществляет движение того же типа в поперечном направлении (поворот предплечья). Таким образом, можно осуществлять любые движения руки – подъем предплечья, поворот, круговые движения в двух плоскостях. Устройство на руке представлено на рисунке.

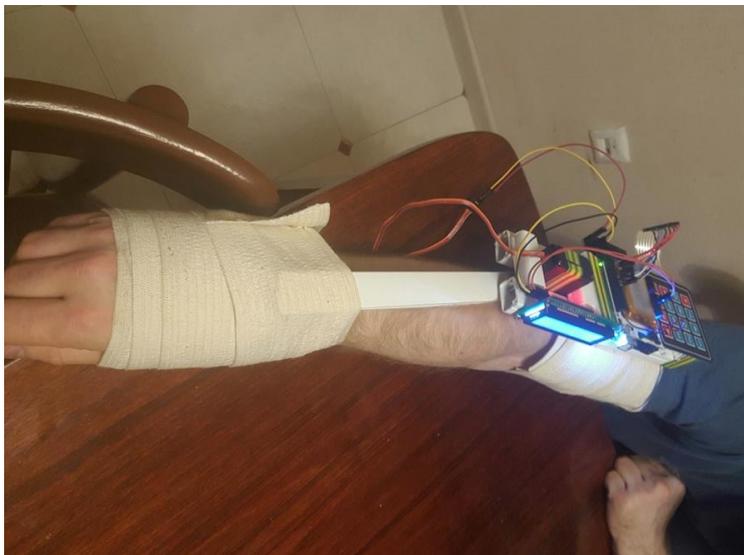


Рисунок. Аппарат на руке

Крепление к конечности осуществляется с помощью липучки. Данное крепление мягкое, прочное, не причиняет неудобств для кожи и позволяет плотно зафиксировать аппаратный комплекс на конечности. Для безопасного крепления используется фиксация в нескольких точках – на плече, у локтя, на запястье. Корпус управляющей части и трубки, составляющие каркас устройства, планируется изготовить с помощью 3D-принтера.

Пассивный режим предназначен для пациентов, которые не могут управлять своими конечностями. При этом аппарат сам сгибает на определенный угол руку в локтевом суставе, при этом не создавая дискомфортных ощущений. Если пациент может сам двигать рукой, но при этом мышцы слишком слабы для самостоятельного сгибания, можно использовать активный режим, при котором аппарат компенсирует нагрузку на руку, регулируя силу сопротивления на мышцы.

2. Система биологической обратной связи (БОС). В настоящий момент в разработке система БОС для создания мотивационной программы упражнений. Система БОС поможет оценить двигательную активность мышцы и сохранить эти данные для дальнейшего анализа и наблюдения динамики. Также БОС применяется для создания компьютерной программы, которая позволит повышать качество выполнения упражнений, так как пациент сможет видеть, что именно он делает.

Для реализации системы БОС будет создана математическая модель движения локтя и сопоставлена с реальными данными, полученными с акселерометра, расположенного на устройстве. Эти данные в режиме реального времени будут передаваться на компьютер или мобильное устройство и управлять объектом на экране. Также эти данные можно использовать для оценки качества движений (на основе данных о скорости, смещения в плоскости или остановок в процессе упражнения). Также на основе этих данных будет реализована частичная компенсация движения при активных упражнениях.

**Заключение.** В процессе работы разработан аппаратно-программный комплекс для реабилитации с помощью пассивных движений, определены будущие направления развития, и начата работа над системой обратной связи. В дальнейшем возможно добавление систем электромиографии для более точного определения двигательной функции мышц.

**Литература**

1. Яцун С.М., Яцун А.С., Турлапов Р.Н. Разработка и исследование реабилитационного устройства для механотерапии нижних конечностей // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-9. – С. 1909–1911.
2. Интернет-сайт компании ORTORENT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ortorent.ru/brendy/artromot> (дата обращения: 19.12.2017).
3. Интернет-сайт компании ORMED [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ortorent.ru> (дата обращения: 20.11.2017).
4. Интернет-сайт компании Kinetec [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kinetec.at/> (дата обращения: 22.11.2017).
5. Яцун С.М., Тарасов Е.С. Исследование кинематики реабилитационного мехатронного устройства для кинезимотерапии локтевого сустава // *Актуальные проблемы физического воспитания и спорта: материалы VIХ Международной научно-практической конференции молодых ученых: в 2-х томах под ред. М.О. Лянной*. – 2014. – Т. II. – С. 226–230.



**Пенской Александр Владимирович**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет информационных технологий  
и программирования, кафедра вычислительной техники,  
к.т.н.

e-mail: aleksandr.penskoj@gmail.com

УДК 004.942

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Пенской А.В.**

Актуальные задачи в области интеграции систем и глобальной оптимизации их функционирования требуют глубокого понимания внутренних процессов. Системная динамика исследует поведение сложных систем. В основе этой дисциплины лежит моделирование динамических процессов при помощи численных методов. Процессы моделирования требуют серьезных затрат вычислительных ресурсов (время и энергопотребление). Работа посвящена оптимизации процесса системно-динамического моделирования за счет использования специализированных вычислителей на базе программируемых логических интегральных схем. Рассмотрена возможность моделирования в реальном масштабе времени.

**Ключевые слова:** системная динамика, ПЛИС, специализированные вычислители, высокоуровневый синтез, реальное время.

**Введение.** Дисциплина системной динамики (system dynamics [1]) посвящена моделированию и исследованию комплексных технических, экономических, социальных и прочих систем. Сегодня актуальными областями для ее применения являются такие перспективные направления, как Умный город, Индустрия 4.0, Интернет вещей, киберфизические системы и т.д. Для успешного решения задач в данных областях требуется создание множества сложных моделей, что, в свою очередь, требует серьезных вычислительных ресурсов для моделирования. В данной работе предложено использование реконфигурируемой вычислительной платформы (ВПл) НИТТА для моделирования динамических систем на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Применение специализированных вычислителей позволит значительно повысить эффективность процесса моделирования с точки зрения временных и энергетических затрат [2], а также реализовать его в реальном времени. Последнее актуально в области разработки встроенных и киберфизических систем (ВсС и КФС) для проведения испытаний и задачи создания «цифрового двойника» [3]. Для достижения этих результатов: анализируются особенности процесса моделирования динамических систем; рассматриваются разные варианты ВПл; ставится задача по адаптации ВПл НИТТА для задач системной динамики; проектируется испытательный стенд.

**Особенности процесса моделирования.** Модель в системной динамике (рисунок) представляет совокупность стоков (stocks – численные параметры или характеристики исследуемой системы, например, температура чашки; в русской литературе стоки часто именуется «уровнями») и потоков (flows – взаимосвязи между стоками с привязкой ко времени, например, передача тепла от чашки к окружающей среде). Набор атомарных операций (система команд), используемых для описания потоков, обычно фиксирован. Результат процесса моделирования – таблица, где строки описывают состояние системы в заданный момент.

Моделирование является итеративным процессом, где на каждом шаге рассчитываются новые значения для всех стоков (решается система математических выражений). Ввод внешних данных, как правило, не требуется. Итерации выполняются строго последовательно и имеют следующие свойства:

- объем вычислений детерминирован, а значит, может выполняться в реальном времени;
- алгоритм не имеет регулярной структуры, что препятствует эффективному использованию графических процессоров;
- значения разных стоков могут рассчитываться параллельно, что позволяет говорить о перспективности использования ПЛИС.

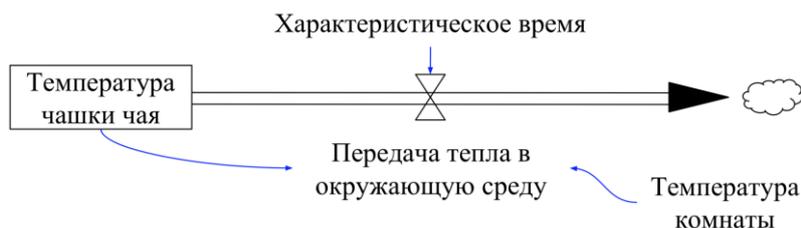


Рисунок. Пример модели динамической системы [1]

Как правило, целью процесса моделирования является анализ графиков и трендов, определение режима системы. При этом в исследуемой модели часто меняются отдельные потоки и соответствующие им выражения, константы и исходные состояния.

**Выбор вычислительной платформы.** Сегодня для моделирования в большинстве случаев используется специализированное программное обеспечение (ПО). Выбор ПО весьма разнообразен: от серьезных коммерческих продуктов с мощным пользовательским интерфейсом до бесплатных и открытых консольных утилит, зачастую, не совместимых между собой. Это порождает трудности для сообщества системной динамики, препятствующие эффективному взаимодействию специалистов.

Один из путей решения этой проблемы – создание облачных систем моделирования [4], ориентированных на интеграцию различных инструментов моделирования, унификацию пользовательского интерфейса и организацию эффективного взаимодействия между специалистами. Построение таких систем концентрирует в одном месте много вычислительных ресурсов, используемых для решения узкого класса задач с постоянной загрузкой. Это делает актуальной задачу повышения эффективности процесса моделирования за счет использования специализированных аппаратных вычислителей. Важна также скорость подготовки и запуска модели.

Вышесказанное позволяет заключить, что применение реконфигурируемой ВПл реального времени НИТТА [5] для повышения эффективности процесса моделирования динамических систем – целесообразно. Также моделирование в реальном времени позволяет использовать динамические модели для симуляции операционного окружения при проведении испытаний и разработке систем реального времени, включая ВcС и КФС.

**Вычислительная платформа НИТТА.** НИТТА – реконфигурируемая вычислительная платформа реального времени на базе ПЛИС, позволяющая создавать специализированные вычислители, соответствующие особенностям системно-динамического моделирования. В ее основе лежат следующие методологические принципы:

1. модель-ориентированная инженерия (Model-Based Engineering). Значительное число современных средств разработки специализированных вычислителей ориентировано на разработчиков ВcС и систем на кристалле (СнК). Как следствие, они используют привычные для них инструменты: языки программирования, системы сборки и хранения исходного кода, САПР. Альтернативный подход – работа с моделями, выраженными в понятном и привычном для прикладных специалистов виде, запуск которых реализуется при помощи соответствующих САПР. Например, MATLAB, Simulink, AnyLogic и др. В

рассматриваемом проекте разработка системно-динамических моделей будет производиться в открытом формате XMILE, для чего будет создан соответствующий транслятор;

2. высокоуровневый синтез (High-level synthesis, HLS). Направление HLS посвящено вопросу: «Как создавать аппаратное обеспечение без учета специфики цифровых схем?» Центральное место здесь занимает структурная организация вычислителя, привязка вычислительного процесса к тактовому сигналу, организация параллельной и конвейерной работы. Оригинальный метод HLS ориентирован на максимальную прозрачность для пользователя и занимает центральное место в ВПл НИТТА;
3. совместное проектирование (HW/SW CoDesign). Принцип совместного проектирования заключается в параллельной разработке программного и аппаратного обеспечения, что позволяет добиться высокого уровня интеграции и, как следствие, высокой эффективности. Это достигается за счет уже упомянутого оригинального метода HLS. Также явное выделение программной составляющей позволяет решить одну из проблем существующих систем HLS, а именно – длительный процесс синтеза целевой системы, что препятствует их использованию в задачах моделирования. Использование ВПл НИТТА позволит быстро модифицировать и запускать новые модели, прибегая к изменению аппаратной составляющей только в случае крайней необходимости.

Использованные подходы позволили сформировать ВПл с уникальным сочетанием особенностей, среди которых: высокая производительность и минимальные накладные расходы; глубокая реконфигурируемость; быстрый процесс синтеза; повторное использование аппаратной составляющей; управляемость и контролируемость процесса синтеза.

**Уровневая организация вычислительной платформы НИТТА.** Есть множество способов описания ВПл, САПР и других инструментальных средств. Опыт показывает, что лучшим из них является уровневая организация, где демонстрируются используемые представления целевого вычислительного процесса и дается характеристика переходов между ними. Это позволяет компактно продемонстрировать ключевые технические особенности ВПл НИТТА, а также сформулировать задачи по ее адаптации к области системной динамики. В рамках ВПл НИТТА определены следующие уровни представления вычислительного процесса:

1. прикладной уровень (Frontend Level) – язык прикладного программирования и его инструментальные средства. В рассматриваемой задаче используется язык XMILE, для чего реализуется транслятор в промежуточный уровень;
2. промежуточный уровень (Intermediate Level) – универсальное представление для ВПл НИТТА, к которому должны приводиться все реализуемые прикладные алгоритмы. Представляет собой расширенный вариант модели вычислений синхронных потоков данных (Synchronous Data Flow), средствами которой описывается один шаг моделирования. Процесс трансляции в представление внутреннего уровня именуется HLS. Модификация данного уровня с учетом особенностей задач моделирования позволит внедрить дополнительные алгоритмические оптимизации, а также ускорить процесс HLS;
3. внутренний уровень (Internal Level) – совокупность микроархитектуры целевого процессора, моделей его вычислительных блоков, распределения прикладного алгоритма по вычислительным ресурсам и расписания вычислительного процесса в виде пересылок данных между вычислительными блоками. Данный уровень требует реализации дополнительного набора вычислительных блоков для полной поддержки языка XMILE и оптимизации вычислительного процесса;
4. уровень реализации (Backend Level) – совокупность программного и аппаратного обеспечения (микропрограмма и описание вычислителя на языке Verilog), автоматически преобразуемое в целевую систему. Данный уровень может требовать ручной оптимизации аппаратной составляющей, с учетом особенностей используемой ПЛИС.

Представление прикладного уровня должно создаваться специалистом из области системной динамики. Представления других уровней формируются динамически в процессе работы САПР ВПл НИТТА в автоматическом режиме либо с минимальным участием человека для «тонкой оптимизации».

**Испытательный стенд.** Для работы над проектом и проведения испытаний разрабатывается стенд. Состав оборудования для него подбирается с учетом доступности, возможности использования стенда в проектах по разработке ВcС, КФС и СнК, а также перспективности освоенных технологий. В настоящий момент зафиксированы следующие элементы:

1. контроллер. Обеспечивает: управление процессом моделирования, передачу входных данных для процесса моделирования и получение результатов. Используется одноплатный компьютер Electric-imp-5, созданный для Интернета вещей (Internet of Things), обеспечивающий канал для подключения к облачной инфраструктуре и программируемый на языке высокого уровня Squirrel;
2. вычислитель. Обеспечивает выполнение процесса моделирования в реальном времени. Для его реализации используется плата DE-0 Nano на основе ПЛИС Cyclone IV, конфигурируемая и программируемая средствами ВПл НИТТА.

Взаимодействие контроллера и вычислителя осуществляется при помощи интерфейсов SPI и I<sup>2</sup>C, где первый используется для передачи данных, а второй для управления процессом моделирования. Выбор данных интерфейсов обусловлен их распространенностью. В случае если испытания покажут эффективность подхода в целом, то интерфейсы будут заменены на альтернативные варианты с большей пропускной способностью, а контроллер и вычислитель будут конструктивно объединены в рамках СнК.

**Заключение.** В настоящий момент описанный выше проект находится на этапе прототипа. Его целью является оценка экономического эффекта от использования специализированных вычислителей на базе ПЛИС для рассматриваемого класса задач. Проведение испытаний будет осуществляться совместно с проектом sdcloud.io [3]. Для этого в настоящий момент решаются следующие задачи:

- выполняется оценка погрешности моделирования при использовании различных типов данных и численных методов в площади и скорости целевого вычислителя;
- расширяется номенклатура вычислительных блоков в библиотеке ВПл НИТТА;
- проектируются протоколы для управления моделированием и сохранения результатов;
- разрабатывается транслятор моделей во входной язык ВПл НИТТА.

### Литература

1. Houghton J., Siegel M. Advanced data analytics for system dynamics models using PySD // Proceedings of the 33rd International Conference of the System Dynamics Society. – 2015.
2. Hartenstein R., Kaiserslautern T., Karlsruhe K. SE Curricula are Unqualified to Cope with the Data Avalanche [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hartenstein.de/publications/CS.pdf>, своб.
3. Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems – A Cyber-Physical Systems Approach – Second Edition. – MIT Press, 2017. – 564 p.
4. Perl I., Mulyukin A. and Kossovich T. Continuous execution of system dynamics models on input data stream // 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – 2017. – P. 371–376.
5. Пенской А.В. Разработка и исследование архитектурных стилей проектирования уровневой организации встроенных систем : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. – СПб., 2016. – 169 с.



**Савин Алексей Анатольевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № Р4200

Направление подготовки: 09.04.01 – Вычислительные системы и сети  
e-mail: leshasavin@gmail.com



**Жмылёв Сергей Александрович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника  
e-mail: korg@cs.ifmo.ru

УДК 004.94

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЗАЯВОК В СИСТЕМАХ С ОЧЕРЕДЯМИ  
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НАГРУЗКЕ**

**Савин А.А., Жмылёв С.А.**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Алиев Т.И.**

В работе исследованы нестационарные процессы, создающие временные перегрузки в системах с очередями. С помощью аналитического метода получены зависимости до начала потерь от параметров системы для нескольких типов временных перегрузок. Также построена имитационная модель системы массового обслуживания с нестационарным потоком и экспериментально получены оценки времени до начала потерь. Полученные значения были проанализированы на соответствие с аналитическими расчетами.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, нестационарные процессы, кластеры, масштабирование.

Процессы, протекающие в реальных системах, имеют нестационарный характер, т.е. их характеристики изменяются с течением времени [1]. Причинами подобных изменений могут служить различные факторы. В вычислительных системах, например, такие изменения обусловлены естественной периодичностью нагрузки, создаваемой пользователями. Данная работа посвящена переходным нестационарным процессам, создающим временные перегрузки в системах с очередями.

Целью работы являлись выявление свойств систем с очередями в зависимости от типа временной перегрузки и анализ времени до начала потерь заявок в таких системах. Большинство результатов для систем с очередями получено в предположении о стационарности нагрузки, при этом точные методы расчета характеристик получены только для некоторых частных математических моделей [2]. Исходя из этого, для выявления свойств систем, испытывающих временные перегрузки, необходимо обратиться к имитационному методу математического моделирования. В работе построены имитационные модели таких систем, выполнено моделирование различных видов переходных процессов.

Рассчитаем время потери первой заявки в системе. Пусть на вход системе подается поток заявок с постоянной интенсивностью  $\lambda_1$  (рис. 1, а), при этом соответствующая ей нагрузка  $u_1 < 1$ . Затем в течение времени переходного процесса  $T_{\Pi}$  система испытывает перегрузочный период, в котором интенсивность непрерывно возрастает по закону  $\lambda = \lambda(t)$ .

В конце периода  $T_{II}$  интенсивность принимает некоторое значение  $\lambda_2$  при этом соответствующая ей нагрузка  $y_2 > 1$ .

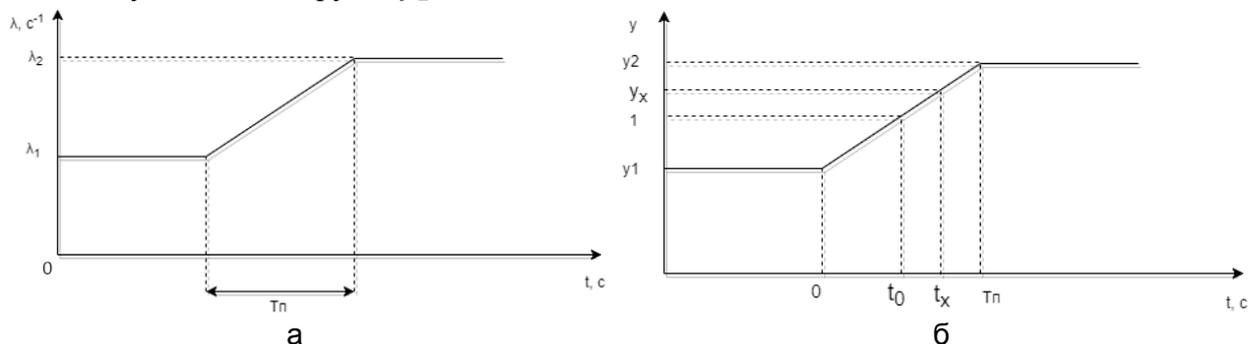


Рис. 1. Графики интенсивности входящего потока заявок (а) и нагрузки в системе массового обслуживания (б)

Предположим, что интенсивность входящего потока заявок и длительность обслуживания – детерминированные величины. Рассмотрим график нагрузки от времени  $y(t)$  (рис. 1, б).

В этом случае заявки всегда будут быстрее обрабатываться, чем поступать, до наступления момента времени  $t_0$ , при котором  $y(t_0) = 1$ . Очередь начнет заполняться только после момента времени  $t_0$  до момента времени  $t_x$ , когда очередь будет заполнена полностью. За промежуток времени от  $t_0$  до  $t_x$  в систему поступит  $m(t) = \int_{t_0}^{t_x} \lambda(t) dt$  заявок. За это же время будет обслужено  $n(t) = \mu(t_x - t_0)$  заявок. В результате время  $t_x$  можно рассчитать, когда разность поступивших и обслуженных заявок заполнит очередь емкостью  $L$ :  $m - n = L$ . Получается соотношение:

$$\int_{t_0}^{t_x} \lambda(t) dt - \mu(t_x - t_0) = L. \quad (1)$$

В частном случае, когда в перегрузочный период нагрузка возрастает линейно:  $y(t) = y_1 + kt = 1 + k(t - t_0)$ , где  $k = \frac{y_2 - y_1}{T_{II}}$ , получаем соотношение  $y_x = 1 + k(t_x - t_0)$ , значит

$$t_x - t_0 = \frac{y_x - 1}{k}. \quad (2)$$

Используя соотношение (2), число поступивших заявок будет равно:

$$m = \int_{t_0}^{t_x} \lambda(t) dt = \frac{1}{b} \int_{t_0}^{t_x} y(t) dt = \frac{1}{b} \int_{t_0}^{t_x} (1 + k(t - t_0)) dt = \frac{1}{b} \left( t_x - t_0 + k \frac{(t_x - t_0)^2 - (t_0 - t_0)^2}{2} \right) = \frac{1}{b} \left( t_x - t_0 + k \frac{(t_x - t_0)^2}{2} \right) = \frac{1}{b} \left( \frac{y_x - 1}{k} + \frac{k}{2} \left( \frac{y_x - 1}{k} \right)^2 \right) = \frac{1}{b} \left( \frac{2y_x - 2}{2k} + \frac{y_x^2 - 2y_x + 1}{2k} \right) = \frac{1}{b} \frac{y_x^2 - 1}{2k}. \quad (3)$$

$$n = \mu(t_x - t_0) = \frac{y_x - 1}{kb}. \quad (4)$$

Тогда из соотношений (3) и (4) получаем:

$$L = m - n = \frac{1}{b} \left( \frac{y_x^2 - 1}{2k} - \frac{2y_x - 2}{2k} \right) = \frac{1}{b} \frac{(y_x - 1)^2}{2k},$$

отсюда получаем формулу:

$$y_x = \sqrt{2bLk} + 1. \quad (5)$$

Из формулы (5) можно легко узнать время первой потери  $t_x$ , зная, что  $t_x = \frac{y_x - y_1}{k}$ .

Получаем формулу времени для первого отказа:

$$t_x = \frac{\sqrt{2bLk} + 1 - y_1}{k}. \quad (6)$$

Попробуем с помощью метода имитационного моделирования выяснить, насколько выведенная формула будет соотноситься с полученными результатами, при условии, что интенсивности входящего потока и интенсивности обслуживания будут иметь экспоненциальное распределение.

Проведем опыт, в котором интенсивность входящего потока будет меняться от значения  $\lambda_1$  до значения  $\lambda_2$  линейно. Обозначим  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ . Тогда формулу (5) можно записать в таком виде:  $y_x = \sqrt{\frac{2bL\Delta\lambda}{T_{II}}} + 1$ . Для начала будем варьировать величину  $\Delta\lambda$  и измерять  $y_x$ . Для большей достоверности данных будем проводить каждый эксперимент по 100 раз, и будем считать доверительный интервал исследуемой величины. Полученная зависимость приведена на рис. 2, а.

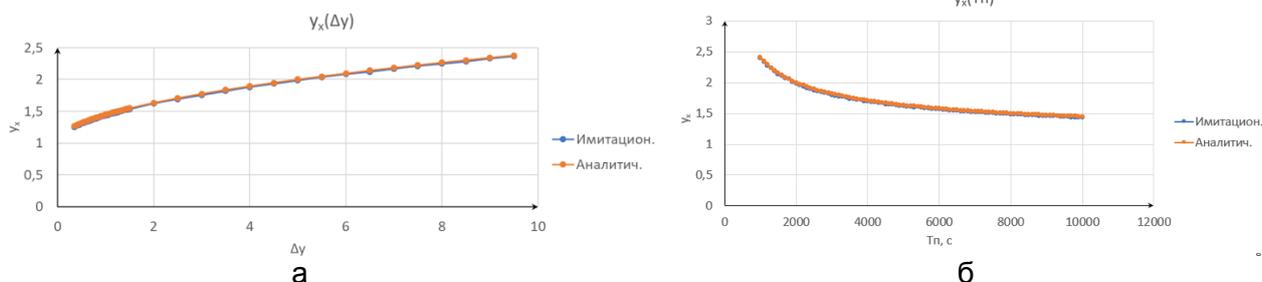


Рис. 2. Зависимость нагрузки при первой потере от разности исходных начальной и конечной нагрузки (а); от периода перегрузки (б)

Будем менять длительность перегрузки  $T_{II}$ . Полученная зависимость приведена на рис. 2, б.

После этого будем варьировать среднее время обслуживания  $b$ . Полученная зависимость приведена на рис. 3, а.

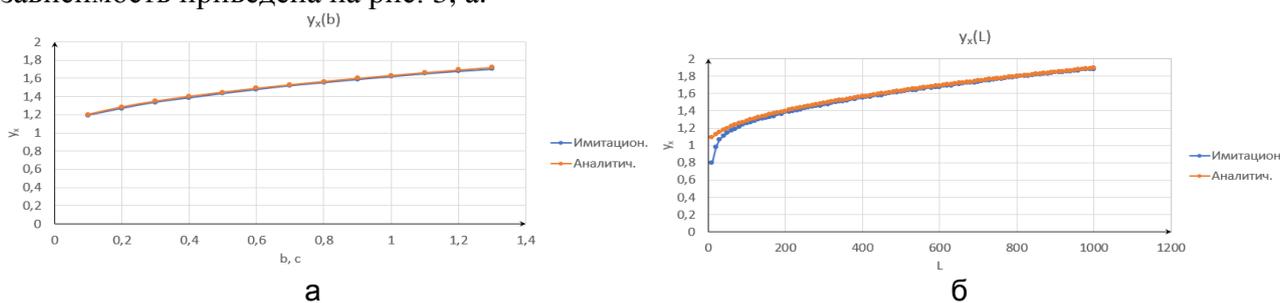


Рис. 3. Зависимость нагрузки при первой потере от среднего времени обслуживания (а) и от емкости накопителя (б)

Затем будем варьировать емкость накопителя  $L$ . Полученная зависимость приведена на рис. 3, б.

Как мы видим, результаты имитационного моделирования практически полностью совпадают за исключением случая, когда емкость накопителя мала. Стоит отметить, что для недетерминированного процесса, первая потеря возможна еще до того момента, как нагрузка станет равна 1, что, в свою очередь, невозможно для детерминированного процесса.

Для линейно возрастающей нагрузки эксперименты подтверждают коррелирующий характер нагрузки при первом отказе  $y_x$  и таких параметров, как  $k$  – тангенса угла наклона возрастания нагрузки;  $b$  – среднего времени обслуживания прибора;  $L$  – емкости накопителя.

В дальнейшем планируется усовершенствовать формулу исходя из того, что интенсивности входящего потока и обслуживания – не детерминированы. Также стоит задача вывести формулу времени первого отказа не только для линейно возрастающей интенсивности, но и для некоторых других характеров ее изменения. Также для оценки инертности системы, т.е. насколько быстро она реагирует на изменения нагрузки, планируется исследовать время выхода системы из стационарного состояния в момент начала действия перегрузочного периода. Еще один важный параметр, который необходимо рассмотреть – время до возвращения системы в стационарное состояние, когда перегрузочный период уже закончит свое действие. Это позволит определить, с какой периодичностью система способна выдерживать подобные перегрузки.

**Литература**

1. Бабишин В.Д., Давыдов А.Н. Метод оперативного анализа нестационарных случайных процессов на основе разложения исследуемой функции в интеграл Фурье // Прикладная информатика. – 2011. – № 6(36). – С. 49–55.
2. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с.



**Садырин Даниил Сергеевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники,  
студент группы № P4201

Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: cyberguru007@yandex.ru

**УДК 004.056.53**

**ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ЭКСПЛОЙТАМ НА ПРИКЛАДНОМ УРОВНЕ В OS LINUX**

**Садырин Д.С.**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Щеглов А.Ю.**

В работе была рассмотрена актуальная проблема противодействия атакам на вычислительную систему, использующим уязвимости в компьютерных программах. Рассмотрены различные типы ошибок в прикладных программах и способы их устранения, а также концепция разработки системы защиты под OS Linux.

**Ключевые слова:** эксплойты, ошибки в ПО, вредоносные программы, компилятор, gcc, язык ассемблер, операционная система, glibc, OS Linux.

Вредоносные программы, которые нацелены на определенные уязвимости (так называемые «эксплойты»), распространены очень широко. В ежемесячных рейтингах зловредов, составляемых экспертами «Лаборатории Касперского», эксплойты лидируют по числу занимаемых позиций. Атака эксплойта может быть нацелена на различные компоненты вычислительной системы, такие как операционные системы, прикладное программное обеспечение (ПО), браузеры. Защита от еще не обнаруженных эксплойтов (так называемых эксплойтов «нулевого» дня) является актуальной задачей в сфере информационной безопасности [1–6].

Целью эксплойта является перехват потока управления программы, для этого необходимо получить контроль над значением регистра IP (Instruction Pointer).

В OS Linux существует ряд технологий, направленных на борьбу с эксплойтами: ASLR, NX, Stack Canary, Safe Unlink, RELRO. Со временем атакующие научились обходить эти защиты, поэтому стало очевидно, что данных технологий недостаточно. Для создания новых защитных механизмов необходимо подробно рассмотреть типы самых популярных уязвимостей и понять, как противодействовать их эксплуатации.

Для защиты от атак переполнения стека (Stack Overflow) выбрана концепция shadow stack, в соответствии с которой адрес возврата перед входом в функцию сохраняется в отдельной области памяти, а при выходе из нее проверяется на целостность. Область памяти для хранения данных представляет собой двусвязный список в структуре процесса task\_struct в ядре.

Эксплойты, использующие уязвимости переполнения кучи (Heap Overflow) основаны на повреждении метаданных чанка выделенной памяти. Метаданные чанка представляются в виде структуры, содержащей служебную информацию о нем, такую как: размер данных, указатели на предыдущий и последующий чанки. Перезапись этой информации и последующее освобождение чанка могут привести к записи данных по произвольному адресу в памяти процесса.

Для противодействия этой атаке необходимо осуществлять контроль целостности метаданных путем подсчета их хеш-суммы и последующего сравнения. Это можно сделать путем модификации механизмов работы аллокатора. В OS Linux используется dmalloc: Doug Lea's memory allocator.

Уязвимость Use-After-Free является одной из самых часто встречаемых на сегодняшний день. Она заключается в том, что программист после освобождения динамически выделенной памяти по указателю, снова производит обращение к данным, содержащимся по данному указателю. В выделенной памяти могут содержаться какие-либо структуры с указателями, перезаписав которые при определенном сценарии, можно получить выполнение произвольного кода.

Защита от атак Use-After-Free может осуществляться путем отслеживания обращений к висячим указателям (dangling pointer). Для этого во время выполнения программы запоминаются адрес динамически выделенной памяти, и адрес указателя на нее. Далее при освобождении памяти, всем указателям, ссылающимся на данную память, присваивается специально выбранное константное значение. При обращении к уже освобожденной памяти по указателю, произойдет обращение по адресу, равному выбранному константному значению. В этом случае произойдет исключение SIGSEGV, которое с помощью механизма сигналов можно отследить. Также предотвращается повторное освобождение памяти (уязвимости типа Double Free).

Еще одной целью атакующего часто становится механизм виртуальных функций в C++. Для использования механизма виртуальных функций компилятор создает таблицу виртуальных методов (vtable). Обычно создается отдельная vtable для каждого класса. После создания объекта указатель на эту vtable, называемый виртуальный табличный указатель или VPTR, добавляется как первый член данного объекта. При вызове виртуальной функции, производится вызов функции с соответствующим смещением из таблицы, на которую указывает VPTR. Имея возможность перезаписать VPTR указателем на контролируемую таблицу, атакующий может получить контроль над выполнением программы. Для защиты от данной атаки необходимо осуществлять контроль адреса VPTR.

Помимо механизма виртуальных таблиц необходимо защитить непрямые вызовы – «indirect calls». Это ассемблерные команды типа call eax. Адрес перехода извлекается из регистра. Для защиты на этапе компиляции составляется битовая карта всех возможных адресов перехода. На этапе выполнения производится проверка на принадлежность адреса данной таблице.

При эксплуатации различных уязвимостей в OS Linux атакующий может осуществлять перезапись указателей в GOT (Global Offset Table). Это специальная секция в исполняемом ELF-файле, используемая в механизме динамического связывания. В GOT содержатся абсолютные адреса для всех статических данных используемой программы. Перезапись адресов по смещениям, соответствующим адресам функций, приводит к получению контроля над выполнением программы.

Защита от перезаписи GOT осуществляется путем рандомизации адреса загрузки данной секции. Для этого необходимо модифицировать загрузчик исполняемых ELF-файлов (он находится в файле elf/rtld.c).

Также было реализовано шифрование PLT-секции для защиты от атак, использующих чтение памяти процесса. Инструкции jmp qword ptr заменяются на relative jmp на выделенную область памяти, в которой производится расшифровка настоящего адреса GOT и прыжок на него. Тем самым адрес GOT-секции не хранится в памяти в открытом виде. Ключ для расшифровки генерируется случайным образом и сохраняется в структуре tcbhead\_t (Thread Control Block) в glibc.

Еще необходимо осуществлять контроль секций .dynamic, .ctors, .dtors. Перезапись указателей в этих секциях может также быть целью атакующего. Для предотвращения перезаписи необходимо модифицировать загрузчик ELF-файлов.

Также к способам борьбы с эксплуатацией могут быть добавлены способы модификации самого кода программы, такие как: «замусоривание» кода, изменение пролога и эпилога, перемешивание функций. Это позволяет сделать невозможным для атакующего использование адресов инструкций программы в эксплойте из-за их непредсказуемости и

противодействовать таким техникам как Jump Oriented Programming или Call Oriented Programming.

Вышеперечисленные защиты можно реализовать на уровне компилятора, написав к нему расширение. В OS Linux используется компилятор GCC и системная библиотека glibc. В процессе компиляции GCC использует внутренне представление программы в формате GIMPLE. Таким образом, при наличии исходного кода программы, производится ее компиляция с использованием расширения, в котором реализована логика защитных механизмов. Также необходима модификация системной библиотеки glibc. Если исходного кода программы нет, то необходимо применить ПО для динамической бинарной инструментации (к примеру, Intel Pin tool).

### **Литература**

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2016. – 991 с.
2. Anley C., Heasman J., Lindner F., Richarte G. The Shellcoder's Handbook: Discovering and Exploiting Security Holes – Canada: Wiley Publishing, Inc., 2007. – 718 p.
3. Common Weakness Enumeration (CWE) is a list of software weaknesses [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cwe.mitre.org/data/index.html>, своб.
4. Эксплойты, зеродеи, их опасность и ее профилактика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-kaspersky.livejournal.com/113537.html>, своб.
5. Динамическое связывание в Windows и Linux [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/analytics/278480.php>, своб.
6. GIMPLE – GCC Wiki [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gcc.gnu.org/wiki/GIMPLE>, своб.

**Антонова Анастасия Александровна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4270Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: nany.antonova@yandex.ru

**Меженин Александр Владимирович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru

УДК 004.94

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 3D-ДАННЫХ В ВИДЕ ОБЛАКА ТОЧЕК, ИМЕЮЩИХ  
РАЗЛИЧНУЮ ПЛОТНОСТЬ****Антонова А.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Меженин А.В.**

В работе рассмотрены вопросы эффективной визуализации облака точек, полученного путем лазерного сканирования. Создан тестовый проект визуализации 3D-данных, имеющих различную плотность.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, наземное лазерное сканирование, облако точек, тепловая карта, плотность облака точек, CloudCompare, Unity3D, 3ds Max.

Современные технические средства как, например, наземное лазерное сканирование или некоторые системы видеонаблюдения, позволяют получить большие объемы данных в виде облаков точек, где каждая точка, как правило, определяется координатами в пространстве. Обработка подобных данных является актуальной и вычислительно сложной задачей, оперирующей большими массивами данных [1]. Кроме того, само облако точек является малоинформативным и неудобным для восприятия человеком способом хранения информации, что ставит задачу его эффективной визуализации [2]. Данная задача имеет перспективы в использовании в области систем видеонаблюдения и распознавания образов, что позволяет считать ее актуальной.

Для решения этой проблемы, было предложено использовать тепловую карту, адаптируя этот метод для 3D-пространства. Тепловые карты способны визуализировать дополнительные переменные за счет использования цветовой шкалы. За основу данной шкалы в случае визуализации облака точек было решено взять плотность точек – величину, отражающую количество точек в единице объема. Это позволит человеку увидеть распределение точек в пространстве, сократив при этом количество отображаемых объектов. Схожие концепции визуализации с помощью тепловых карт для 3D-пространства используются в некоторых системах, например, таких как Unity Analytics, Google Maps или VR Heatmap (рис. 1). Однако данные системы не работают с такими массивами данных, как облака точек, являются закрытыми, а также имеют некоторые другие особенности визуализации, что позволяет утверждать, что предложенный метод визуализации данных в виде облака точек с помощью тепловых карт является авторским.

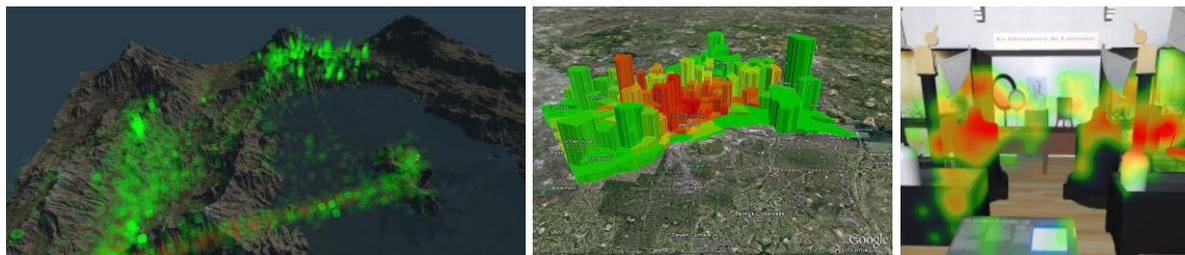


Рис. 1. Тепловые карты Unity Analytics, Google Maps, VR Heatmap

Чтобы наглядно продемонстрировать преимущества данного решения, был создан проект визуализации 3D-данных в виде облака точек, имеющих различную плотность. Проект реализован в среде разработки Unity с использованием языка программирования C#.

Для использования в качестве входных данных было создано несколько тестовых облаков точек. Для этого в программе 3ds Max были созданы базовые формы и сохранены в формате obj (рис. 2).

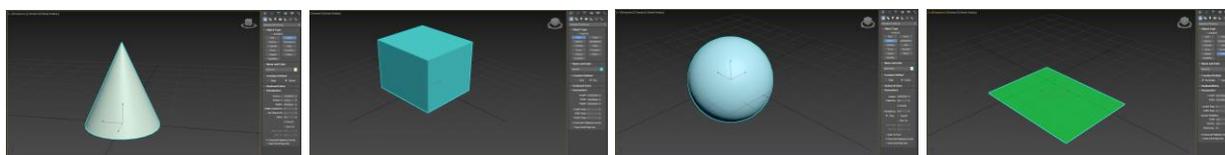


Рис. 2. Создание базовых форм в программе 3ds Max

С помощью стандартных средств программного продукта CloudCompare на основе моделей формата obj были сгенерированы облака точек и экспортированы в формате CSV для последующей программной обработки в среде разработки Unity3D (рис. 3).

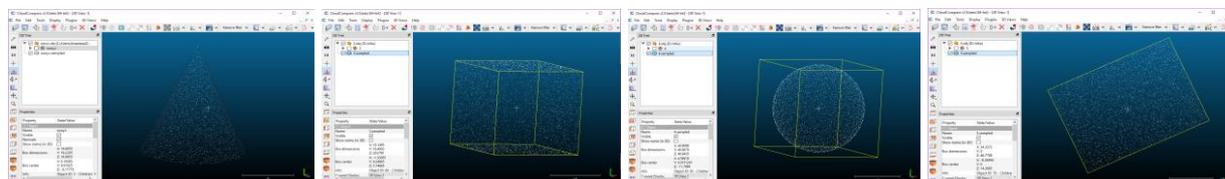


Рис. 3. Результаты работы программы CloudCompare

Данные облака точек были загружены в Unity3D для использования в качестве входных данных. Для разбиения пространства, занимаемого облаком точек, был написан скрипт на языке программирования C#. Скрипт обрабатывает каждую точку облака, получая на его основе набор координат центров кубов и значения плотности точек, входящих в куб. Значение плотности сравнивалось с цветовой шкалой (рис. 4) и, таким образом, присваивался определенный цвет кубу. Также для удобства отображения данных задавалась прозрачность цвета.



Рис. 4. Цветовая шкала плотности

В результате работы данного скрипта была получена объемная тепловая карта, отображающая плотность точек данного облака, изображенная на рис. 5.

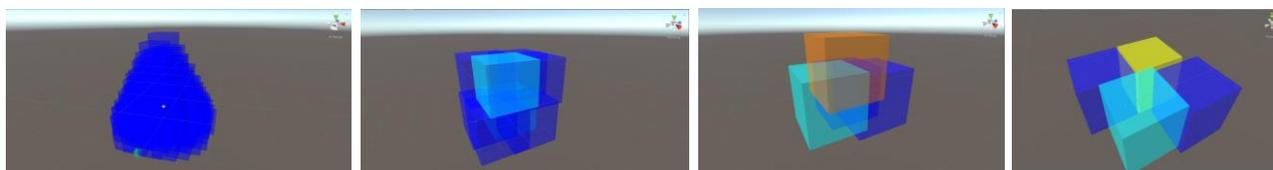


Рис. 5. Результаты работы скрипта

Для исследования времени работы данного программного решения скрипт протестирован на двух комплексах тестовых входных данных, учитывающих размеры и форму облаков точек соответственно. В табл. 1 представлены результаты работы скрипта на первом комплексе входных данных.

Таблица 1. Время работы скрипта на первом комплексе входных данных

Номер эксперимента	Количество точек облака	Время работы алгоритма, мс
1	1000	1851
2	2000	3520
3	3000	3605
4	4000	4917
5	5000	6682
6	6000	7931
7	7000	10412
8	8000	12138
9	9000	12480
10	10000	13128

В табл. 2 представлены результаты работы скрипта на втором комплексе входных данных.

Таблица 2. Время работы скрипта на втором комплексе входных данных

Номер эксперимента	Форма облака	Время работы, мс	Время работы, мс
1	конус	8437	10690
2	цилиндр	3482	2624
3	параллелепипед	2380	1974
4	сфера	2596	4002
5	плоскость	2594	3614
	Длина ребра куба 1		Длина ребра куба 20

Исходя из полученных данных, а также учитывая алгоритм работы скрипта, можно отметить зависимость скорости выполнения скрипта от объема входных данных, формы облака и размер куба (рис. 6).

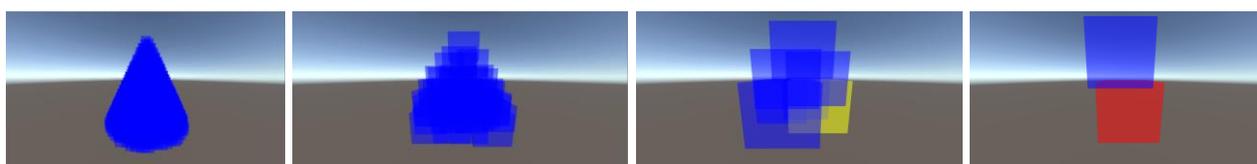


Рис. 6. Зависимость результатов работы скрипта от размера куба

Таким образом, для визуализации облаков точек было предложено разработать аналог тепловой карты для 3D-пространства, использующий в качестве переменной, отображаемой цветом, плотность точек облака. В Unity3D с использованием языка программирования C# было спроектировано решение, визуализирующее предложенным образом облако точек, и проведено исследование скорости его работы.

## Литература

1. Vosselman G. Fusion of Laser Scanning Data, Maps, and Aerial Photographs for Building Reconstruction // Geoscience and Remote Sensing Symposium. – 2002. – P. 85–88.
2. Меженин А.В. Виртуальные 3D среды как средство верификации и тестирования при проектировании // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 21. – С. 105–110.



**Васильева Мария Сергеевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, студент группы № Р4170

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: vasilieva.kras@gmail.com



**Меженин Александр Владимирович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru

**УДК 004.94**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЙ INDOOR-НАВИГАЦИИ В СРЕДЕ UNITY**

**Васильева М.С., Меженин А.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Меженин А.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

В работе рассмотрены вопросы моделирования систем внутреннего позиционирования на этапах проектирования, разработана имитационная модель, позволяющая определить потенциальное положение приемника исходя из показателя уровня принимаемого сигнала RSSI.

**Ключевые слова:** системы внутреннего позиционирования (Indoor-навигация), предиктивное моделирование, Unity.

В настоящее время реализованы различные системы GPS-навигации – бытовые, на мобильных устройствах и более точные для промышленности, на транспорте, в военных приложениях. Однако в закрытых помещениях сигналы спутников практически недоступны, поэтому для целей навигации разрабатываются специальные системы внутреннего позиционирования, так называемые системы Indoor-навигации. Благодаря большим коммерческим перспективам, это направление становится все более востребованным и уже привлекло внимание таких крупных компаний на рынке, как Google, Apple, Qualcomm, Broadcom, Sony.

Один из способов организации системы внутреннего позиционирования – размещение маяков, которые периодически посылают пакеты установки соединения [1]. Приемниками могут быть различные мобильные устройства с установленными приложениями. Для успешной реализации системы внутреннего позиционирования необходимо определить необходимое количество маяков и решить задачу их размещения. Для этого обычно используются различные имитационные модели. Для расчета зон покрытия в зависимости от мощности, расположения маяков и приемника авторами разработано приложение на платформе Unity.

Практика создания имитационных, предиктивных моделей применяется для Wi-Fi сетей. Примером может служить продукт компании D-Link – Wi-Fi Planner Pro [2]. Программа позволяет до расстановки точек доступа на местности определить площадь

покрытия сети, полученные результаты представляют собой двухмерные тепловые карты (цветом показано, где сигнал сильный, а где рассеивается). Такие модели позволяют наиболее эффективным образом проектировать сети.

В среде Unity была создана двухмерная модель, которая позволяет определить координаты потенциального приемника. Расстояния от источника до приемника вычисляются исходя из зависимости от показателя уровня принимаемого сигнала RSSI (рис. 1).

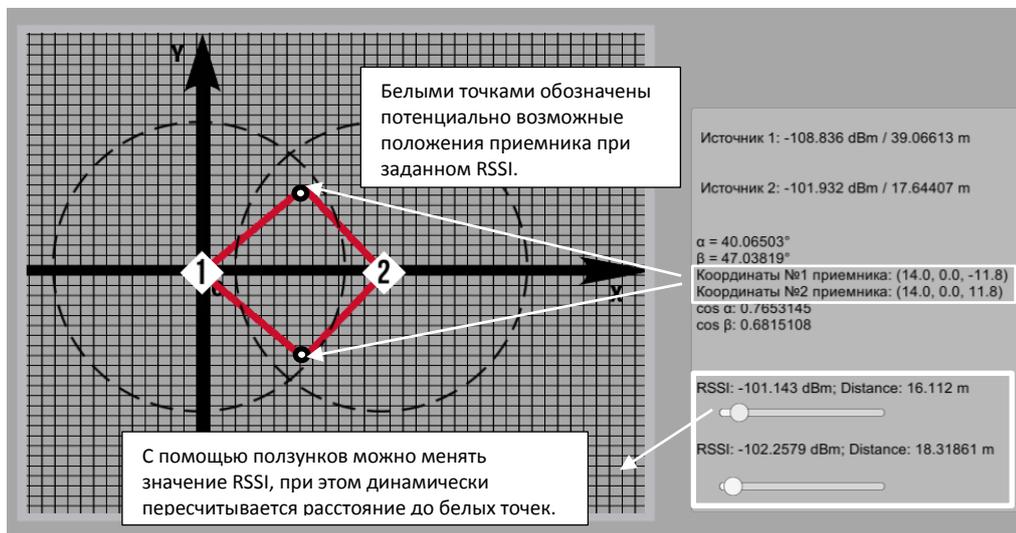


Рис. 1. Снимок экрана двухмерной имитационной модели: определение потенциально возможных координат

Задача определялась следующими условиями: даны два источника сигнала (маяки), расположенные на заданной дистанции друг от друга, необходимо определить, где находится приемник, если известны значения RSSI от каждого источника в координатах приемника. Из условий задачи следует, что существует два варианта положения приемника, поэтому определенные координаты авторы называют потенциально возможными (рис. 2).

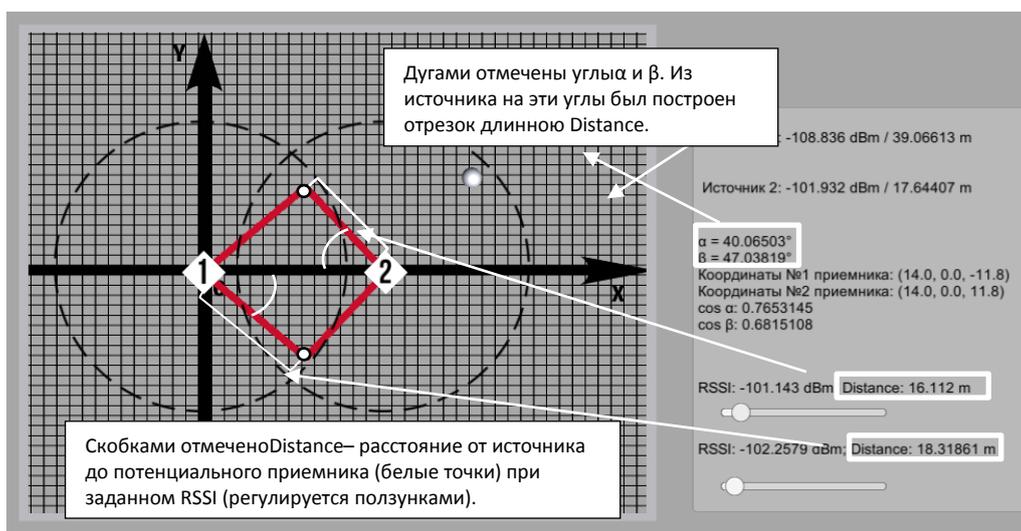


Рис. 2. Снимок экрана двухмерной имитационной модели: пояснения

Чтобы определить потенциально возможные координаты приемника, авторы действовали в следующей последовательности: определение расстояния от источника до приемника (выразили расстояние из формулы RSSI); определение косинусов углов (теорема косинусов). Отрезки длиной, равной расстоянию от источника до приемника, были

отложены на вычисленный ранее угол. Точки пересечения отрезков представляют собой потенциальные положения приемников.

Для однозначного решения задачи (один вариант координат приемника) необходимо действовать по тому же алгоритму, но использовать три источника сигнала.

Таким образом, модель при изменении значений RSSI в точках потенциальных приемников динамически вычисляет потенциальные координаты приемника и выводит их на экран, а также дает графическое представление заданной ситуации.

В работе использовался движок Unity, который обычно применяется для разработки игр. Однако разработчики применяют его и в исследовательских целях в различных областях науки. Примером могут служить такие работы: имитационная модель биомедицинских и геномных данных или модель вывода из эксплуатации блока АЭС [3, 4]. В статье «Моделирование технических систем в среде Unity 3D» авторы объясняют данный факт схожестью этапов создания игры и имитационной модели, а также приводят преимущества разработки в Unity, такие как: высокоуровневый язык программирования C#, кроссплатформенность и наличие большого количества плагинов и ресурсов в AssetStore для создания проектов [5]. Кроме того, Unity 3D – движок, что позволяет перенести модель в трехмерное пространство.

В дальнейшем планируется продолжать работу над предиктивной моделью, но уже в трехмерном пространстве. Для этого авторами разрабатывается способ визуализации сигнала от источника в виде облака точек. Предполагается, что данный способ будет пригоден не только для маяков Indoor-навигации, но и для различных теоретических данных. Готовая имитационная модель позволит эффективно расставлять маяки (в том числе разной мощности) в трехмерном пространстве, учитывая рассчитанную площадь покрытия сети.

## Литература

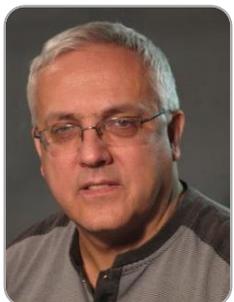
1. Меженин А.В. Виртуальные 3D среды как средство верификации и тестирования при проектировании // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 21. – С. 105–110.
2. Wi-Fi Planner Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dlink.ru/tools/wi-fi/>, своб.
3. A Visualization System for Analyzing Biomedical and Genomic Data Sets Using Unity3D Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://crpit.com/confpapers/CRPITV164Khalifa.pdf>, своб.
4. Имитационная модель вывода из эксплуатации блока АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://neolant.ru/solutions/intersystemfusion/news\\_detail.php?ID=1280](http://neolant.ru/solutions/intersystemfusion/news_detail.php?ID=1280), своб.
5. Ульянов Р.С., Прокопьев С.В., Делибалтов В.В. Моделирование технических систем в среде Unity 3D // Молодой ученый. – 2015. – № 11. – С. 452–455.

**Геворкян Аделина Арменовна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № Р4170Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: geborkyan.adelina@yandex.ru

**Меженин Александр Владимирович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru

УДК 004.94

**ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ДЛЯ ПОИСКА НАТУРНЫХ СЪЕМОК  
КИНОФИЛЬМОВ****Геворкян А.А., Меженин А.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Меженин А.В.**

В ходе работы исследованы возможности применения приложений дополненной реальности в области кинематографии для поиска локаций натуральных съемок. Было создано приложение дополненной реальности для распознавания фасадов зданий.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, видеоискатель, трекинг.

Дополненная реальность одна из популярных современных компьютерных технологий. Приложения дополненной реальности как способ наложения графической информации на любой реальный объект используется в различных областях. В кинопроизводстве приложения дополненной реальности могут использоваться в качестве средств поиска локаций натуральных съемок кинофильмов. Поиск локаций осуществляется с помощью технологии видеоискателя, имитирующей показатели объективов и матрицы камеры, что позволяет определять композицию кадра, создавать раскадровку и тем самым значительно упрощать съемки. Однако приложения с такой технологией являются достаточно дорогостоящими, либо не универсальными для различных операционных систем, что является неудобным и не доступным для малобюджетного кино, студентов, обучающихся по специальностям в этой области [1–7].

Создание простого приложения дополненной реальности с технологией видеоискателя и при этом пригодного для использования в различных операционных системах могло бы стать используемым среди студентов киновузов, небольших кинокомпаний для упрощения кинопроизводства.

Дополненная реальность подразумевает наложение какой-либо графической информации на снимаемый объект. Это происходит за счет захвата объекта и определения его местоположения в пространстве – трекинга. В большинстве приложений реализуется захват небольших областей, это происходит за сопоставления положения объекта и последовательности кадров. Графическая информация может накладываться неточно при достаточно резких движениях объекта. Эффективней идет наложения информации на объекты неподвижные.

Приложения дополненной реальности зачастую позиционируются как средства развлечения, например, Pokemon Go, или возможности наложения графических объектов в сети Instagram. Но существует и применение в приложениях для туризма, например GeoTravel, которое позволяет накладывать информацию на здания и оповещать пользователя о его местоположении.

На данный момент становится актуальным применение технологии дополненной реальности в кинематографе для поиска локаций съемок кинофильмов. Такие приложения содержат алгоритм трекинга.

Видоискатель – это элемент камеры, который проецирует картину, снимаемую объективом, при помощи линз, встроенных в камеру, что позволяет увидеть оператору или фотографу кадр, получаемый при наводке камеры. Приложения дополненной реальности позволяют пользоваться видоискателем только с помощью смартфона. Моделируя объективы фото и видеокамер, такие приложения позволяют визуализировать то, что впоследствии пользователь хочет увидеть в кадре будущего фильма и, таким образом, ускорить процесс кинопроизводства.

Помимо настройки композиции кадра существует возможность цветокоррекции, изменение экспозиции, наложение фильтров, кадрирование и прочие функции, которые позволяют увидеть, как будет выглядеть «картинка» непосредственно в самом фильме. Подобный алгоритм полезен не только операторам, но и режиссерам, так как значительно упрощают процесс рисования раскадровки.

Основная проблема заключается в том, что приложения с технологией видоискателя являются дорогостоящими, особенно для студентов киновузов, реализующих свои первые проекты в кинематографе. Было принято решение о создании приложения дополненной реальности с алгоритмом видоискателя в виде бесплатного приложения, универсального для операционных систем iOS и Android. Алгоритм видоискателя позволит самостоятельно задавать фокусное расстояние и разрешение кадра, что приведет к упрощению выбора объектива камеры для съемки фильма.

Помимо алгоритма видоискателя планируется использовать технологию трекинга с целью наложения дополнительной графической информации на здания. Эта информация будет представлять собой так называемые «декорации» уже снятых кинофильмов. Таким образом, пользователь сможет находить локации известных фильмов, используя Интернет и определение местоположения. Приложение будет оповещать пользователя о его нахождении в локации съемок какого-либо фильма, и при наводке камеры пользователь сможет увидеть, как выглядело его местоположение в каком-либо фильме (рис. 1).

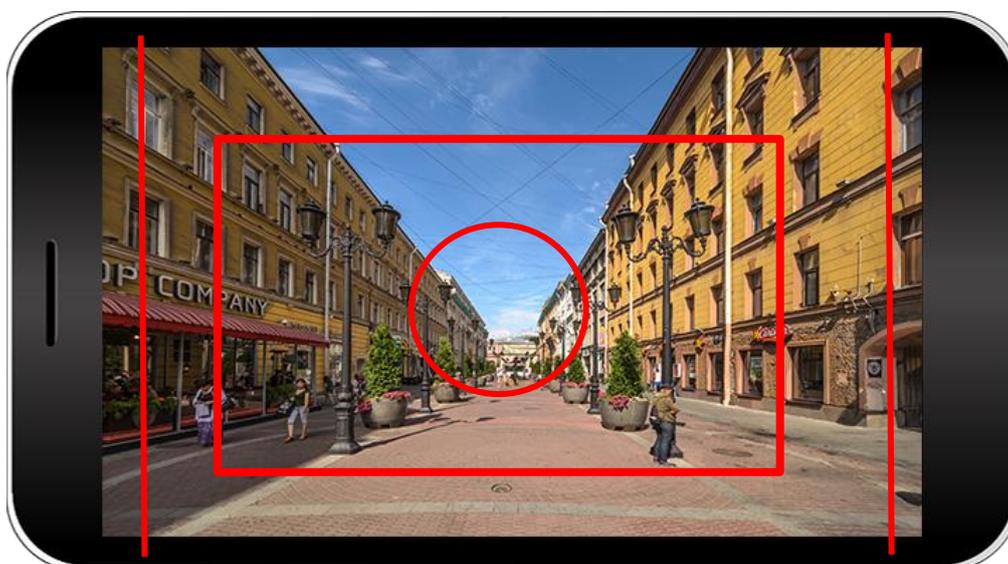


Рис. 1. Прототип приложения с видоискателем

В ходе работы было создано приложение в среде Unity с использованием платформы Vuforia для разработки приложений дополненной реальности, показывающее работу технологии трекинга, при съемке объекта с разных ракурсов. На первом этапе были созданы выборки изображений, для чего фотографировались различные фасады зданий с изменением ракурса съемки.

Фотографии фасадов загружались в базу данных, которая открывалась в игровом движке. В Unity создается объект, который присваивается к маркеру. В качестве маркеров использовались изображения фасадов, а объектами являлись трехмерные геометрические фигуры (рис. 2). Так как некоторые фасады были сфотографированы с разных ракурсов, то каждому ракурсу присваивалась своя геометрическая форма.

В ходе тестирования приложения было распознано большинство сфотографированных фасадов при смене углов съемки. Это позволило реализовать достаточно точное наложение графической информации при захвате неподвижных объектов. В дальнейшем планируется преобразовать геометрические фигуры в более сложную графическую информацию с целью наложения ее на фасады зданий.

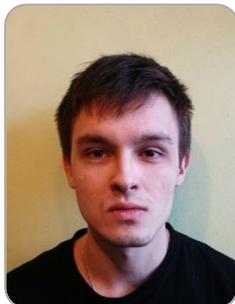


Рис. 2. Скриншот интерфейса приложения дополненной реальности на базе Unity при распознавании фасадов зданий

Достижение цели исследования станет достаточно широким шагом в области доступности технологий дополненной реальности. Для студентов алгоритм видеоискателя может стать максимально востребованным, а кинореальность с поиском натуральных съемок вызовет большой интерес у пользователей.

### Литература

1. Augmented Works, Travel Guide with AR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.augmentedworks.com/app/travel-guide-with-ar-augmented-geotravel/>, своб.
2. Etips Travel Apps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://etips.com/#etips-travel-apps>, своб.
3. ARki: Augmented Reality Architectural Visualization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.darfdesign.com/arki.html>, своб.
4. Интерактивные технологии. Оптический трекинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eligovision.ru/ru/know-how/tracking/>, своб.
5. Увлекательная реальность. Дополненная реальность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://funreality.ru/technology/augmented\\_reality/](http://funreality.ru/technology/augmented_reality/), своб.
6. Извозчикова В.В., Меженин А.В. 3D-моделирование методов съемки мобильными видеосистемами // Программные продукты и системы. – 2016. – № 3. – С. 163–167.
7. Меженин А.В. Виртуальные 3D-среды, как средство верификации и тестирования при проектировании // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 21. – С. 105–110.



**Дюльдин Кирилл Сергеевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4272

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: dyuldin\_kirill@mail.ru



**Ханило Вячеслав Александрович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4272

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: khaniloslava@yandex.ru

**УДК 004.5**

**СПЕЦИФИКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ РАБОТЕ  
С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ  
ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОГО ЦЕНТРА**

**Дюльдин К.С., Ханило В.А.**

**Научный руководитель – к.педагог.н. Локалов В.А.**

В работе была исследована специфика человеко-машинного взаимодействия при работе с автоматизированной информационной системой информационно-методического центра Московского района Санкт-Петербурга с целью повышения эффективности процесса обработки данных.

**Ключевые слова:** человеко-машинное взаимодействие, информационная система, психология.

Рабочий процесс многих компаний требует от сотрудников взаимодействия с универсальным программным обеспечением. Работа в универсальных программных средствах возможна, но далеко неэффективна, так как интерфейс подобных инструментов слишком избыточен и не удовлетворяет задачам в полной мере. Для качественного человеко-машинного взаимодействия (ЧВМ) необходимо разрабатывать специализированные программные средства, ориентируясь на конкретную группу пользователей. Интерфейс может существенно повысить эффективность работы в программном средстве, если при его проектировании учитывать контекст взаимодействия, потребности и способности пользователя [1].

В каждом из 18 районов Санкт-Петербурга функционируют информационно-методические центры (ИМЦ). Основным направлением деятельности ИМЦ является непрерывный мониторинг подведомственных образовательных учреждений, который состоит из этапов сбора, обработки и анализа данных. За 2017 год в ИМЦ Московского района проведено 430 онлайн-опросов, получены 19903 заполненные анкеты от 114 образовательных учреждений. Обработка собираемых данных производится в MS Excel, что является универсальным программным средством и не удовлетворяет потребностям и способностям сотрудников ИМЦ в полной мере. По этой причине существует потребность в автоматизации обработки собираемых данных, а именно – создании программного средства для объединения данных различных опросов (таблиц) и их последующей обработки.

Необходимый функционал программного средства:

– объединение однородных таблиц (аналогично SQL оператору UNION);

- объединение таблиц разной структуры по определенному условию (аналогично SQL оператору JOIN);
- обработка данных таблицы (выборка, сортировка, фильтрация);
- экспорт данных в формат XLSX.

Для людей, которые не имеют опыта работы с инструментами обработки данных, может быть проблематично пользоваться функционалом разрабатываемого приложения, в особенности функциями объединением таблиц. Чтобы упростить данный процесс и сделать его понятным для сотрудников ИМЦ, необходимо исследовать специфику ЧМВ, а именно – определить существенные психологические характеристики, влияющие на взаимодействие, и, на их основе, сформировать психологический портрет пользователя.

Был проведен анализ личностных (актуальный уровень развития, когнитивные стили, акцентуации характера, направленность, эмоционально-волевые качества, темперамент) и индивидуальных (гендерные, возрастные, анатомические, особенности нервных процессов) особенностей пользователя [2]. В плане личностных характеристик наиболее значимым фактором для ЧМВ является интеллектуальное развитие в контексте опыта работы с программными инструментами, а также специфических знаний, связанных с обработкой данных и позволяющих ускорить процесс обучения. Также значительную роль играют такие когнитивные стили как гибкость – ригидность, полезависимость – полнезависимость, рефлексивность – импульсивность [3]. В контексте индивидуальных характеристик решающую роль играет возраст пользователей.

Для построения психологического портрета пользователя были использованы следующие методы исследования: анкетирование, устный опрос, наблюдение. Число респондентов – 19. Психологический портрет сформирован в виде диапазонов значений выявленных существенных психологических характеристик. Полученные диапазоны представлены на рис. 1–3.

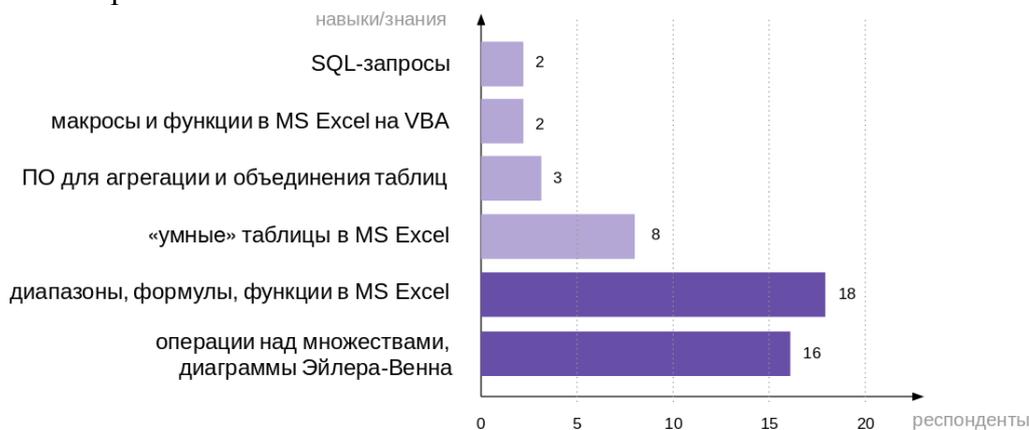


Рис. 1. Разброс опыта и знаний пользователя

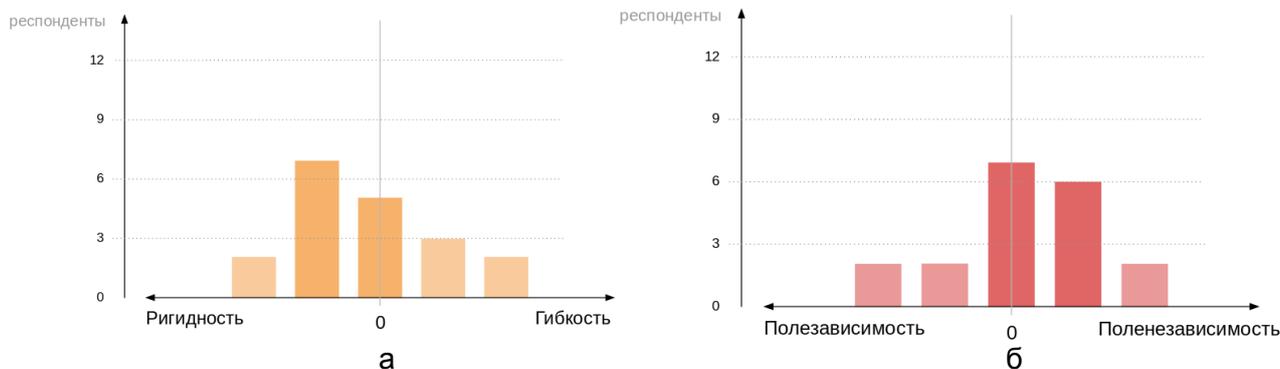


Рис. 2. Разброс значений познавательного контроля (а) и по типу восприятия (б)

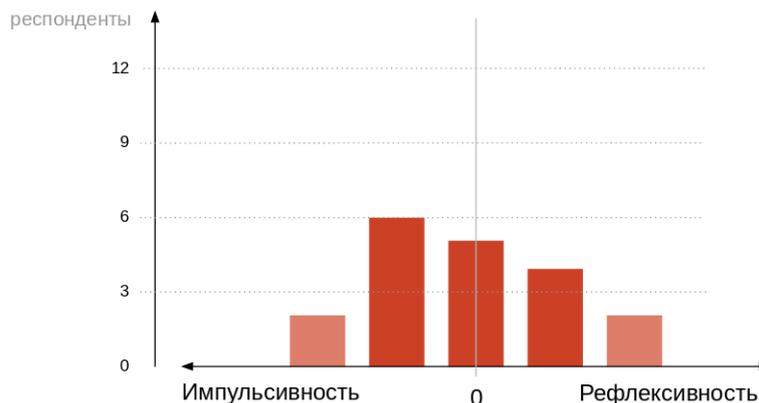


Рис. 3. Разброс значений по типу реагирования

На основе полученных данных были определены диапазоны допустимых значений. Допустимый разброс по уровню подготовки находится в пределах «базовые знания MS Excel» – «понимание основных операций над множествами на основе диаграмм Эйлера–Венна». Также определены следующие диапазоны допустимых значений по разновидностям когнитивных стилей:

- познавательный контроль: «склонность к ригидности» – «нейтральность»;
- тип восприятия: «нейтральность» – «склонность к полнезависимости»;
- тип реагирования: «склонность к импульсивности» – «нейтральность» – «склонность к рефлексивности».

Выявленные психологические характеристики, а также разбросы допустимых значений по каждой из них, будут учтены при проектировании пользовательского интерфейса с целью повышения эффективности человеко-машинного взаимодействия в ИМЦ Московского района.

### Литература

1. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человеко-ориентированное проектирование техники, программных средств и среды: учебник. – М.: Логос, 2001. – 356 с.
2. Ананьев Б.Г. Личность, субъект деятельности, индивидуальность. – М.: Директ-Медиа, 2008. – 134 с.
3. Дифференциальная психология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://psyera.ru/articles/differencialnaya-psihologiya> (дата обращения: 25.01.2018).

**Игнатенко Яков Павлович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № Р4170Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: yaignatenko391@gmail.com

**Смолин Артем Александрович**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.философ.н.

e-mail: artikus@inbox.ru

УДК 778.534.9

**АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВА УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЪЕКТИВОВ  
В КАМЕРЕ ДЛЯ СЪЕМКИ ВИДЕО 360****Игнатенко Я.П., Смолин А.А.****Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

В работе представлен анализ преимущества увеличения количества объективов в камере для съемки видео 360. Выделены основные преимущества и недостатки увеличения количества объективов, а также представлены результаты эксперимента по измерению минимального расстояния до объекта при съемке на камеры с двумя и шестью объективами.

**Ключевые слова:** видео 360, камеры 360, минимальное расстояние, объективы, артефакты.

Создание продуктов в технике видео 360 – сложный технологический процесс, который накладывает определенные ограничения на оборудование и процесс съемки.

Панорамное видео создается с помощью специализированной технологии. На креплении, также называемом риггом, располагаются камеры, таким образом, чтобы их совместные углы обзора покрывали 360° вокруг ригга. После одновременной съемки на все камеры, на стадии постобработки, видеопотоки синхронизируются и «сшиваются» (т.е. объединяются) в одно общее изображение. Одним из стандартов панорамного видео является сферическая развертка – сшитая сфера 360×360 разворачивается на кадр с соотношением сторон 2:1 (эквидистантная развертка), что позволяет кодировать панорамное видео с помощью стандартного кодека H.264. Благодаря тому, что видео растягивается на всю сферу, устанавливаются высокие требования к разрешению видео. Высокое для традиционного видео разрешение 4K в видео 360° оставляет зрителю в поле его зрения разрешение не более 720 p. Таким образом, увеличение разрешения является ключевым способом улучшения качества видео.

Одним из способов увеличения исходного разрешения является использование большего количества объективов. Это приводит к тому, что отпадает необходимость растягивать изображение на большую плоскость сферы.

При сшивке видео алгоритм сравнивает пиксели в одном из кадров соседних камер, пытаясь найти похожие до определенной степени пиксели [1]. Если автоматическая сшивка не удовлетворяет требованиям, во всех специализированных программах существует возможность ручной правки. После этого все видео сшивается по установкам этого кадра.

Таким образом, качество сшивки изображения зависит от того, насколько сильно изображения соседних камер перекрывают друг друга, так как это позволит алгоритму найти больше схожих точек. Например, при использовании двух камер с линзами Entaniya FishEye 220, каждая из которых имеет угол поля зрения  $220^\circ$ , угол перекрытия камер не более  $80^\circ$ . При использовании 8 камер даже со стандартными линзами, имеющими угол поля зрения  $180^\circ$ , угол перекрытия камер составляет около  $135^\circ$ .

Одной из важных характеристик видео, снятого в формате  $360^\circ$ , является количество швов. Данные области изображения наиболее часто становятся источниками артефактов видео [2].

Артефакты алгоритма сшивки часто происходят из-за того, что алгоритм не может найти похожие пиксели между изображениями соседних камер. Например, если человек стоит перед ярким окном, алгоритму сложно определить соответствующие друг другу пиксели, поскольку все они имеют одинаковый цвет, и в этой области нет деталей. Аналогично, если слишком много точек, которые выглядят одинаково, могут возникнуть такие же проблемы. Если человек стоит перед обоями с тонкими вертикальными полосками, алгоритм не сможет определить какие пиксели должны совпадать между собой.

Для того чтобы избежать подобных артефактов, следует снимать объекты с похожими повторяющимися деталями так, чтобы они не попадали на границы швов (не находились на периферии фреймов каждой из камер). Увеличение количества объективов приводит к увеличению проблемных зон, что может быть критично при определенных типах съемки.

Использование линз с меньшим углом обзора позволяет уменьшить aberrации, но также уменьшает угол взаимного перекрытия. У камер, использующих меньшее количество объективов, расположенные близко объекты искривляются настолько сильно, что это приводит к ощущению нереалистичности снимаемых объектов и появлению артефактов.

Кроме того, они могут полностью занять всю область взаимного перекрытия камер, что делает невозможным сшить видео без незаметных для зрителя швов, либо вовсе приведет к техническому браку. Данное минимальное расстояние сшивки становится критически важным при съемке видео в ограниченном пространстве, где многие объекты находятся рядом с камерой. Стоит отметить, что использование широкоугольных линз приводит к искажению перспективы. Объекты кажутся дальше, чем есть на самом деле, поэтому снимаемые объекты требуется располагать ближе к камере [3].

Зависимость расстояния до объекта прямо пропорциональна расстоянию между камерами, т.е. чем ближе объект съемки приближается к камере, тем ближе камеры должны быть друг к другу. В противном случае одна камера может видеть объект, в то время как соседняя камера не может, или может, но с большими искажениями, неподдающимися устранению.

Очевидно, что чем ближе камеры друг к другу, тем больше камер вам необходимо для покрытия  $360^\circ$ , и тем меньше они должны стать, в аспекте их геометрических характеристик. Уменьшение размера камеры, приводит к уменьшению датчиков, что приводит к ухудшению качества изображения и низкой светочувствительности. Уменьшение динамического диапазона критично для съемок с недостаточной освещенностью. Например, при съемке заката или концерта темные детали не будут распознаны камерой или будут практически неразличимы зрителю, кроме того, появится больше шумов. Зрителю будет сложно сфокусировать взгляд на близких к камере объектах при использовании гарнитур виртуальной реальности. Минимальная рекомендованная дистанция для Oculus Rift 0,75 м.

Увеличение количества объективов повышает стоимость камеры, поэтому становится важно знать, насколько значителен прирост в технических и визуальных показателях видео. На данный момент разработчики камер стараются «удешевить» технологию. Но все еще остаются популярными пользовательские ригги на основе камер GoPro. Наиболее популярными являются конструкции с двумя и восьмью камерами. Во втором случае камеры крепятся в вершинах куба. При этом стоимость второго решения в 4 раза больше. Многие

создатели видео продукции встают перед выбором между количеством объективов и ценой камеры. При этом им важно понимать, для какого типа съемки необходимо увеличение количества объективов в камере.

Для измерения минимального расстояния снимаемого объекта до камеры был проведен эксперимент. Так как количество аберраций и качество сшивки зависит от степени попадания объекта на все снимающие камеры, в ходе эксперимента было важно учитывать размеры объектов съемки. В качестве объектов съемки были выбраны человек ростом 168 см, кресло размерами 42 см на 90 см и штатив высотой 190 см и диаметром 2 см.

Все объекты последовательно были сняты на обе камеры на расстоянии 1,5 м, 1 м, 0,5 м, 0,3 м, и 0,2 м. Далее изображения были автоматически сшиты в программе Kolor Autopano Video Pro 2.5. При невозможности корректно сшить изображения с помощью автоматического алгоритма сшивки, была произведена попытка корректировки сшивки инструментами программы Kolor Autopano Giga 4.0 путем добавления контрольных точек. Полученные результаты были внесены в таблицу и проанализированы.

Таблица. Результаты эксперимента

Расстояние до камеры	Два объектива			Шесть объективов		
	Человек	Кресло	Штатив	Человек	Кресло	Штатив
1,5 м	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов
1 м	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов
0,5 м	Устранимый ореол	Отсутствие артефактов	Устранимый ореол	Отсутствие артефактов	Отсутствие артефактов	Наличие артефактов
0,3 м	Наличие артефактов	Устранимый ореол, высокая аберрация	Наличие артефактов	Устранимый ореол	Устранимый ореол	Наличие артефактов

При съемке всех трех объектов на обеих камерах не возникало неустраняемых артефактов и критических искажений. В дальнейшем исследовании следует уменьшить максимальную дистанцию до объекта до 0,5 м.

Камера с шестью объективами позволяет снимать человека без артефактов на расстоянии до 0,2 м. При этом изображение с камеры с двумя объективами на расстоянии 0,3 м уже не удастся сшить.

Противоположная ситуация возникла при съемке кресла. Камера с двумя объективами снимает до 0,3 м без артефактов, при уменьшении расстояния появляется ореол и значительные искажения. Камера с шестью объективами на расстоянии меньше 0,3 м снимает с неустраняемыми артефактами, но с меньшим искажением по сравнению с первой камерой. Это связано с тем, что для одного из объективов кресло занимает практически все изображение, а для других только небольшую часть. При этом в такие объективы кресло попадает только на периферию снимаемого изображения. Искажение на периферии больше, кроме того, алгоритму сложно найти похожие пиксели из-за неравномерности попадания объекта на изображения разных объективов.

Результаты съемки штатива на камере с двумя объективами похожи на результаты съемки кресла, но искажения в этом случае намного заметнее и появляются на расстоянии 0,5 м. Камера с шестью объективами не искажает штатив, но и не позволяет корректно совместить изображения камер без потери в качестве совмещения фона. Это связано с тем, что штатив находится на стыке швов изображений с трех объективов, причем в каждое из

них попадает только часть штатива. Так как он имеет одинаковую фактуру без бликов с равномерным цветом, алгоритм шивки не может сопоставить пиксели из разных изображений – они все имеют одинаковый цвет. Таким образом, было выявлено, что камера с шестью объективами снимает с меньшим искажением. При съемке человека, когда значительная часть объекта попадает в изображения всех трех соседних камер, она позволяет уменьшить минимальное расстояние до объекта примерно в два раза (0,4 м у камеры с двумя объективами) и снимает без значительных искажений и на расстоянии до 0,2 м.

Высота объекта больше влияет на появление артефактов, так как при съемке штатива они появились на расстоянии 0,5 м, против менее 0,3 м при съемке кресла.

Еще одним выводом является то, что если при близкой съемке объекта на камеру с шестью объективами швы соседних изображений проходят неравномерно по объекту, возможны появления артефактов.

Таким образом, в ходе проведенных экспериментов были сделаны выводы о том, что камера с шестью объективами снимает с меньшими искажениями, высота объекта влияет больше его ширины. Также было выявлено влияние фактуры объекта и расположения объекта относительно объективов.

### **Литература**

1. Optical Flow Stitching – The Future of 360 Video Post [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://speedvr.co.uk/vr-post-production/optical-flow-stitching-the-future-of-360-video-post/>, своб.
2. Making360: an open source guide for 360° video creators [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kickstarter.com/projects/2138627788/making360-a-guide-for-360-video-creators>, своб. – 2016.
3. The Cinematic VR Field Guide. A Guide to Best Practices for Shooting 360° [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jauntxr.com/cdn/uploads/jaunt-vr-field-guide.pdf>, своб.

**Ильин Евгений Дмитриевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4270Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика

и вычислительная техника

e-mail: Hudognik145@yandex.ru

**Смолин Артем Александрович**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.философ.н.

e-mail: artikus@inbox.ru

УДК 004.9

**МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КРОВОТОКА****Ильин Е.Д.****Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

В работе рассмотрены различные способы к подходу визуализации потоковых и вихревых движений и на основе изученных материалов отобран наиболее подходящий в рамках темы работы.

**Ключевые слова:** линии тока, траектории частицы, streaklines, временные линии.

Визуализация данных является одним из наиболее используемых и удобных способов подачи информации, при которой пользователь может эффективно проводить ее анализ, сравнение, изучение и т.п. [1–10].

Данное явление также коснулось и медицинской сферы, где активно применяются различные методы визуализации. Ввиду того, что многие процессы, протекающие в человеческом организме, невозможно рассмотреть невооруженным взглядом без применения физического воздействия, то в данном случае представление тех или иных свойств организма при помощи мультимедийных технологий может поспособствовать в их более полном и тщательному изучению.

Целью работы являлась разработка наиболее удобного и информативного метода визуализации динамического человеческого кровотока на основе существующей математической модели, применяемой к анатомическому атласу, собранному в среде разработки Unreal Engine 4.

Визуализация потоков может быть вычислительной или экспериментальной. Вычислительная визуализация, в свою очередь, делится на два основных метода: аналитический метод и метод текстурной адвекции. Аналитический метод, такой как метод топологической визуализации, имеет ряд серьезных недостатков – при увеличении частоты частиц серьезно увеличивается вычислительная нагрузка, при этом обратное действие затрудняет чтение результатов визуализации.

Метод текстурной адвекции в отличие от геометрического и топологического методов, позволяет продемонстрировать общую картину течения, что приближает подобный метод к экспериментальному.

Одним из первых известных методов был метод точечных шумов (Spot noise). Суть его заключается в визуализации функций интенсивности или точек в какой-то области,

создающие завихрения вследствие движения потока. Подобный метод позволял создавать симуляцию, схожую с экспериментальной визуализацией, и был приемлем как к стационарным, так и не стационарным потокам, однако, был трудоемок в плане вычислений, а итоговое изображение было низкого качества.

Следующий метод – это метод линейной интегральной свертки (Line Integral Convolution, LIC). На сегодняшний день является одним из наиболее популярных методов. При визуализации нормализуются расчеты интегралов, что позволяет регулировать яркость и контрастность каждого пикселя. Качество визуализации при этом можно усовершенствовать при помощи специальных фильтров и подвижных текстур. Происходит свертывание входной текстуры шума с использованием фильтра нижних частот вдоль симметрично двунаправленных линий тока, ориентированных по пикселям, для использования пространственной корреляции в направлении потока. LIC синтезирует изображение, которое обеспечивает глобальное плотное представление потока. Преимуществами данного метода являются возможность предоставить итоговое изображение в высоком качестве и относительно легкая реализация, но при этом это довольно трудоемкий процесс в контексте производительности, и данный метод можно применить исключительно к стационарным потокам.

Следующий метод является усовершенствованием того, о котором говорилось выше, это метод линейной интегральной свертки для нестационарных потоков (UFLIC). В данном случае используется схема рассеяния, точно соответствующая значению времени и стратегии последовательной подачи текстуры для достижения очень высокой временной и пространственной когерентности. На каждом временном отрывке происходит процесс рассеяния значения, которое окрашивает каждый пиксель. Значения, полученные каждым пикселем за отдельный временной промежуток, накапливаются и свертываются для получения соответствующего кадра. Минусом же данного метода является низкая вычислительная производительность вследствие многоступенчатой интеграции каналов.

Аппаратно-ускоренная текстурная адвекция – название следующего метода (НАТА).

Суть его заключается в том, что используется непрягая адресация текстуры к пикселю, что обеспечивает высокую скорость текстурной адвекции, а также аддитивное и субтрактивное текстурное смешивание для обеспечения быстрого текстурного свертывания. Преимущество данного метода заключается в почти интерактивной частоте кадров, достигаемой за счет специальных видеокарт, также данный метод подходит как к стационарным, так и к нестационарным потокам. Однако ввиду технических особенностей визуализации итоговое изображение имеет низкое качество, ввиду высокой зернистости.

Метод Лагранджа–Эйлера (LEA) использует обратную одноэтапную интеграцию по траекториям для поиска предыдущего кадра для частицы, которая рассеивает значение текстуры в целевом пикселе текущего кадра и смешивает последовательные текстуры. Говоря подробнее, данный метод был разработан для визуализации нестационарного потока с высокой частотой кадра, несмотря на независимость от аппаратного ускорения. Для вычисления каждого значения пикселя в кадре используется обратная интеграция, чтобы восстановить в последнем временном шаге след способствующей частицы, в котором многократно проводилась адвекция текстуры с соответствующим ей индексом значения, и шумом, введенным в зоны тока. Преимуществом данного метода является интерактивная частота кадров и возможность задавать произвольную форму интересующих областей. Однако данный метод дает плохую пространственную когерентность, что выражается в неясном направлении потока.

Следующий рассматриваемый метод основан на текстурах (Image-Based Flow Visualization, IBFV). Основная идея состоит в том, чтобы создать текстуру шума на обычной

сетке, а затем согнуть эту сетку в соответствии с потоком. Затем происходит смешивание полученных кадров. Таким образом, на выходе получается версия шума, смещенная в соответствии с потоком. Этот простой в использовании, эффективный и универсальный метод может эмулировать широкий спектр методов, таких как графики стрелок, линии тока, временные интервалы, точечный шум, LIC и топологический анализ с высокой частотой кадров с использованием основных аппаратных функций. Также IBFV использовался для визуализации потока на трехмерных изогнутых поверхностях. IBFV был даже расширен до трехмерных потоков, разложив 3D-адвекцию на плоские и продольные адвекции. Преимуществами данного метода можно назвать интерактивную частоту смены кадров, а также симуляцию множества визуализирующих техник. Однако зачастую изображение получается шумным и размытым.

Далее приводится сравнительная таблица перечисленных выше методов.

Таблица. Сравнение методов

Метод	Временная согласованность	Пространственная согласованность	Представление
UFLIC	Высокая	Высокая	Низкая частота кадров
НАТА	Хорошая	Много шумов	Почти интерактивная частота кадров
IBFV	Хорошая	Шум и размытие	Интерактивная частота кадров
LEA	Хорошая	Трудно определить направление потоков	Интерактивная частота кадров
UFAC	Компромисс между шумным изображением и прерывающейся анимацией		Интерактивная частота кадров

Исходя из данной таблицы и того, что было описано ранее, можно прийти к выводу, что для настоящей работы в данном случае наиболее подходящим методом являлся метод IBFV, так как в готовящемся приложении подразумевается визуализация с интерактивно меняющимися потоками движения, для чего необходима интерактивная частота смены кадров, а качество итогового изображения является приемлемым в рамках задания.

### Литература

1. Nils Daniel Forkert. 4D Blood Flow Visualization Fusing 3D and 4D MRA Image Sequences // Journal of magnetic resonance imaging. – 2013. – P. 20.
2. Birkeland A. Doppler-based 3D Blood Flow Imaging and Visualization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2013/Viola\\_Ivan\\_2013\\_D3D/Viola\\_Ivan\\_2013\\_D3D-Paper.pdf](https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2013/Viola_Ivan_2013_D3D/Viola_Ivan_2013_D3D-Paper.pdf), своб.
3. Blanco P.J., Leiva J.S., Feijoo R.A. and Buscaglia G.C. Black-box decomposition approach for computational hemodynamics: One-dimensional models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045782510003518>, своб.
4. 3d animation blood flow (V-Ray) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.animares.com/cms/archive/3120>, своб.
5. Laramee R.S., Hauser H., Zhao L., Post F.H. Topology-Based Flow Visualization, The State of the Art [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://visualisation.tudelft.nl/Publications-new/2007/LHZIP07a/LHZIP07a.pdf>, своб.
6. Vector Field Visualization: Texture-based Method [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.cs.uh.edu/~chengu/Teaching/Fall2015/Lecs/Lec11.pdf> (дата обращения: 22.10.2017).

7. Flow Visualization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zhanpingliu.org/research/flowvis/flowvis.htm> (дата обращения: 14.11.2017).
8. Texture-Based Flow Visualization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www3.nd.edu/~cwang11/research/vis13-tutorial-weiskopf.pdf> (дата обращения: 5.10.2017).
9. Волков К.Н. Методы визуализации вихревых течений в вычислительной газовой динамике и их применение при решении прикладных задач // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 3(91). – С. 1–10.
10. Денисов О.Е., Левашов И.А., Кузьмин А.В. Информационная система для изучения анатомии человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.archealth.ru/tekushchee-izdanie/zdorove-i-medicine/istoriya-medicine/13yasuneya01c3654963>, своб.

**Капутерка Эвелина Александровна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № Р4172Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: kap-ehvelina@yandex.ru

**Балканский Андрей Александрович**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
ст. преподаватель

e-mail: aabalkanskii@corp.ifmo.ru

**Лавров Алексей Валерьевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
ст. преподаватель

e-mail: lavrov@corp.ifmo.ru

**Смолин Артем Александрович**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.философ.н.

e-mail: artikus@inbox.ru

**УДК 004.5****ЮЗАБИЛИТИ-ТЕСТИРОВАНИЕ САЙТА ГОСУДАРСТВЕННОГО  
МУЗЕЙНО-ВЫСТАВОЧНОГО ЦЕНТРА РОСФОТО****Капутерка Э.А., Балканский А.А., Лавров А.В.****Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

В работе описано исследование юзабилити интерфейса сайта государственного музейно-выставочного центра РОСФОТО с использованием технологии отслеживания движения глаз пользователей. В результате проведенного тестирования сформирован ряд рекомендаций по улучшению юзабилити тестируемого сайта.

**Ключевые слова:** юзабилити, юзабилити-тестирование, РОСФОТО, критичность, встречаемость.

Важнейшим показателем качества проектирования информационной системы является ее доступность для пользователей [1]. В работе описано применение юзабилити-тестирования для анализа качества взаимодействия в интерфейсе сайта государственного

музейно-выставочного центра РОСФОТО. Целью работы являлось формирование рекомендаций по улучшению показателей юзабилити этого сайта.

В ходе проведения юзабилити-тестирования изучается, насколько хорошо пользователи могут выполнить ту или иную конкретную задачу во взаимодействии с сайтом, в результате чего можно как подтвердить или опровергнуть уже выдвинутые гипотезы, так и обнаружить совершенно новые проблемы в человеко-компьютерном взаимодействии [2]. Для проведения данного тестирования был составлен сценарий, включающий в себя 8 заданий, а также ряд вопросов к пользователям. Каждое задание было включено в сценарий для проверки той или иной гипотезы.

При проведении юзабилити-тестирования использовался метод наблюдения, а также велась запись с экрана монитора. Также применялся метод интервью, в ходе которого была получена дополнительная информация.

Тестирование проводилось с использованием технологии отслеживания движения глаз пользователей. Движение взгляда пользователя отслеживалось с помощью специального устройства – eye-tracker (в данном исследовании использовалось устройство марки Tobii). С его помощью исследователь может не только в реальном времени следить за тем, на какой элемент интерфейса смотрит испытуемый, но и имеет возможность записать это на видео для дальнейшего анализа.

С помощью тестирования проверялись следующие гипотезы, которые были выдвинуты, в том числе сотрудниками музея:

1. главная страница перегружена информацией, из-за чего пользователям может быть трудно выполнить ряд целевых действий по нахождению какой-либо информации на главной странице;
2. малый слайдер событий не является необходимым блоком главной страницы, дублируя уже представленную информацию. Лишние элементы не только не имеют смысла и занимают место на странице, но и могут также отвлекать пользователя от целевых элементов;
3. сложно найти раздел «Виртуальный музей» даже при целенаправленном поиске. Это важный аспект взаимодействия, так как музей РОСФОТО планирует активно развивать этот раздел сайта.

Нужно было также найти ответы на некоторые вопросы.

1. Достаточно ли доступна самая приоритетная для пользователя информация: график работы музея и его месторасположение, а также расписание мероприятий?
2. Где лучше всего с точки зрения удобства для пользователя, его ожиданий, расположить блок с новостями?

На основе гипотез и вопросов были сформированы задания для респондентов:

1. посмотреть график работы музея в какой-либо день (с главной страницы);
2. найти событие, которое проводится в музее и нравится, и зарегистрироваться на него. При решении этой задачи пользователем можно выяснить, во-первых, используется ли малый слайдер событий для переходов на страницу расписания выставок, и, во-вторых, где в первую очередь пользователи ищут информацию о проводимых в музее мероприятиях;
3. посмотреть новости музея. Эта задача позволяет получить информацию о пользе малого слайдера, а также выявить наиболее удобный для пользователя путь к разделу «Новости»;
4. перейти на страницу РОСФОТО в социальной сети «ВКонтакте». Задание также позволит оценить потребность в наличии малого слайдера событий на главной странице;
5. зайти в магазин музея РОСФОТО;
6. зайти в виртуальный музей. Задача призвана проверить гипотезу о неоптимальном расположении ссылки на раздел «Виртуальный музей» (в подпункте верхнего меню пункта «Коллекция»). Также с помощью технологии отслеживания движения глаз и наблюдения за пользователем можно получить информацию о том, где пользователи ожидают увидеть искомый раздел, где они его ищут в первую очередь;

7. посмотреть, какие экскурсии устраиваются в музее, и пойти до поля записи на одну из них;
8. открыть страничку музея в социальной сети «ВКонтакте».

Гипотеза о перегруженности страницы проверялась с помощью использования технологии отслеживания движения глаз, наблюдения за поведением пользователей и проведением интервью.

Всего в тестировании участвовало 10 человек: один – возрастом до 19-ти лет, 5 – от 20-ти до 24-х лет, 5 возрастом от 25-ти до 34-х, два человека – 35–44-х лет.

Таблица 1. Время, затраченное респондентами на некоторые задания (в секундах)

Респонденты	Задания			
	1 График работы	2 Поиск события	3 Поиск новостей	6 Виртуальный музей
Респ. 1	2	16	20	42
Респ. 2	3	23	21	46
Респ. 3	2	29	31	101
Респ. 4	1	18	16	28
Респ. 5	5	50	74	87
Респ. 6	4	25	26	55
Респ. 7	2	26	21	20
Респ. 8	1	45	20	122
Респ. 9	1	50	8	56
Респ. 10	3	38	10	48
Среднее	2,4	32	24,7	60,5
Медиана	2	27,5	20,5	51,5
Стандартное отклонение	1,3	12,8	18,6	32,6

Результаты выполнения респондентами первого задания свидетельствуют о том, что пользователи быстро находят на главной странице такую информацию, как график работы музея, стоимость билетов (табл. 1).

Однако в результате проведения тестирования был обнаружен ряд юзабилити-проблем, которые были классифицированы по двум критериям: критичность и встречаемость (табл. 2). Такое ранжирование помогает выявить те проблемы, которые необходимо устранить в первую очередь.

Таблица 2. Критичность юзабилити-проблем

1	Длительное время выполняется второстепенная задача
2	С трудом выполняется важная задача или не удается выполнить второстепенную задачу
3	Не удается выполнить частотную задачу

Перечень проблем, обнаруженных в ходе проведения юзабилити-тестирования:

1. трудность нахождения виртуального музея. Встречаемость – 10 из 10, критичность – 2. Среднее время выполнения этой задачи испытуемыми – 60,5 с, что является критичным. Время выполнения этого задания более чем вдвое больше времени выполнения заданий на нахождение событий музея, а также новостей.

Юзабилити-проблема обусловлена тем, что ссылка на раздел «Виртуальный музей» находится в нетипичном месте, не там, где пользователь ожидает ее увидеть.

В результате наблюдения за поведением респондентов с применением технологии отслеживания глаз можно выделить места, где они ожидали увидеть ссылку на раздел

«Виртуальный музей». Пять респондентов ожидали найти ее во вкладке «Визит в музей». Затем люди, как правило, пытались найти ссылку на искомый раздел на главной странице, а далее продолжали поиск в разделе «Экскурсии». Еще один человек в первую очередь ожидал увидеть ссылку на Виртуальный музей сайта РОСФОТО в разделе «Экскурсии»;

2. сложность в обнаружении новостей музея. Встречаемость – 7 из 10, критичность – 1.

Пользователям сложно обнаружить новости, так как ссылка на этот раздел находится в футере или малом слайдере на главной странице, в то время как большинство респондентов (7) ожидали увидеть ее как одну из вкладок в верхнем меню. В итоге 6 человек перешли в раздел новостей через малый слайдер событий, 3 – через футер сайта, а один респондент не справился с заданием.

Однако стоит отметить, что в действительности поиск новостей на сайте музея не является наиболее частотной задачей;

3. пользователям не очевидно, что сначала в магазине открываются категории товаров, а не изображения конкретных товаров. Встречаемость – 4 из 10. Еще 3 респондента поняли это спустя несколько действий. Критичность проблемы – 1.

Возникновению данной проблемы способствует и маленькая подпись с названием категории, и то, что на изображении категории конкретный товар;

4. неочевидно значение значков социальных сетей в верхней правой части страницы.

Встречаемость – 3, критичность – 1.

Данная проблема может быть вызвана наличием у пользователей паттерна взаимодействия: устойчивая ассоциация иконки социальной сети (при отсутствии подписи «Поделиться») с функцией перехода на страницу в социальной сети;

5. пользователь не понял, почему на странице о выставке нет кнопки «Купить билет».

Встречаемость – 2 из 10, критичность – 1. Это произошло из-за того, что пользователь не заметил информацию о выставке, например, то, что она выездная.

Помимо того, что были непосредственно обнаружены юзабилити-проблемы, также был получен ряд эпизодичных рекомендаций от некоторых пользователей, связанных как непосредственно с улучшением юзабилити-сайта, так и с взаимодействием с музеем в общем.

Так, 5 из 10 респондентов сказали о том, что, по их мнению, главный слайдер событий слишком большой. Один из них хотел бы видеть его меньше именно в высоту. Но один из респондентов (до 20 лет), напротив, положительно высказался о размерах большого слайдера событий.

Также, если говорить о перегруженности главной страницы, можно сделать следующий вывод по итогам юзабилити-тестирования: у четырех респондентов вызывали дискомфорт информационные блоки в нижней части главной страницы, они казались им недостаточно упорядоченными.

При формировании выводов на основе результатов тестирования необходимо учитывать частотность встреченных проблем и рекомендаций.

Было замечено, что в большинстве случаев для того, чтобы просмотреть события музея люди используют малый слайдер событий. Также 4 респондента обратились к нему, чтобы открыть страницу музея в социальной сети «Instagram». Еще 6 человек зашли в раздел новостей музея с помощью малого слайдера, однако, следует иметь в виду, что, если бы его не было, пользователи, вероятно, могли бы не менее успешно выполнить задание с помощью ссылки в футере сайта. Кроме того, стоит отметить, что 5 человек при первом просмотре главной страницы не обратили внимания на блок с новостями в малом слайдере событий.

Для наиболее достоверного ответа на вопрос о пользе малого слайдера событий рекомендуется провести дополнительное исследование, чтобы на его результаты не оказывал влияние тот факт, что человек в течение какого-то времени выполнял задание по просмотру главной страницы, в результате чего и мог обратить внимание на малый слайдер, хотя в обычных условиях, возможно, этого бы не случилось.

Таким образом, можно сформулировать следующие рекомендации по улучшению показателей юзабилити-сайта:

- изменить местоположение ссылки на раздел «Виртуальный музей». Можно или вынести ее в верхнее меню сайта, или поместить в раздел «Визит в музей», где ее ожидало увидеть большинство респондентов (при условии, что ссылки нет в верхнем меню). Также можно разместить информационный блок о виртуальном музее на главной странице сайта;
- разместить ссылку на новости музея, например, в верхнем меню;
- обозначить то, что значки социальных сетей справа на большом слайдере событий исполняют функцию «Поделиться», а не являются ссылкой на страницу РОСФОТО в социальной сети;
- упорядочить информацию в блоках внизу на главной странице или же убрать блоки, дублирующие информацию;
- показать пользователю, что на странице магазина сначала открываются категории товаров, а не конкретные единицы товаров;
- обозначить то, что на некоторые выставки вход бесплатный, а также возможно стоит сильнее выделить информацию о том, что выставка выездная.

### Литература

1. Сергеев С.Ф. Методы тестирования и оптимизации интерфейсов информационных систем: учеб. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2013. – 117 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9241-210-2012. Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем. – Введен 12.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2013. – 32 с.



**Корнилова Людмила Андреевна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4170

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: lmila.korn@gmail.com



**Смолин Артем Александрович**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.философ.н.

e-mail: artikus@inbox.ru

УДК 004.522

**ОСОБЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ОПЫТА НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ**

**Корнилова Л.А., Смолин А.А.**

**Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

В работе рассмотрены некоторые аспекты пользовательских интерфейсов и диалоговых систем, разработанные для людей с нарушением зрительных функций, проанализированы требования к интерфейсам приложений. Также рассмотрены некоторые конкретные элементы дизайна диалоговой системы, которые могут быть использованы для повышения эффективности взаимодействия слепых пользователей с интерфейсом.

**Ключевые слова:** интерфейс, диалоговая система, слабовидящие, слепые, доступная среда.

Существующие программные системы часто достаточно просты и удобны для пользователя, они обычно не очень удобны для людей с ограниченными возможностями по зрению. Причина в графическом интерфейсе и отсутствии функций, удовлетворяющих особые потребности слепых. Речевой синтезатор и считыватель экрана по-прежнему представляют собой базовые средства, которые используются слепыми пользователями для получения информации с помощью компьютера [1–4].

Нынешняя разработка систем взаимодействия человека и компьютера с помощью разговорной речи приносит новые надежды и ожидания, а также новые проблемы. Разработка подходящих стратегий диалога, которая, по-видимому, является одним из важнейших аспектов развития диалоговых систем, очень важна для людей с ослабленным зрением. Этот аспект подчеркивается тем фактом, что для людей с ослабленным зрением компьютеры являются одним из важнейших источников информации.

В некоторых приложениях практически нет различий в использовании пользовательского интерфейса между зрячим и слабовидящим пользователем. Это, например, случай диалоговых систем, доступных по телефону. Однако многие системы используют графику как важную выходную информацию, и в основном они также не предполагают, что пользователь может быть слепым, и поэтому игнорируют конкретные потребности таких пользователей:

– система должна обеспечивать удобное управление с помощью комбинации речевых команд и клавиатуры (команды «горячих клавиш»);

- команды речи должны поддерживаться речевым (системным) командным словарем, который позволяет выражать команду несколькими способами, делая управление системой более интуитивно понятным;
- простота настройки и конфигурации – очень важная особенность системы, особенно для слепых пользователей, которые часто используют систему в течение длительного времени;
- очень важно, чтобы пользователь мог быстро получить информацию и дать информационный обзор;
- ориентация пользователя должна поддерживаться информацией о позиции, которая всегда доступна в речевой форме.

Одна из наиболее важных проблем в разработке систем разговорной речи для слепых пользователей, заключается в том, как быстро передать различные части информации и как предоставить достаточную информацию обеспечивая полную ориентацию пользователя. Основной способ управления этим – это, конечно, использовать звук. Это можно сделать в форме:

- синтезированного голоса, создаваемого речевым синтезатором на основе слога. Этот тип звука может использоваться для генерации выходных сообщений и чтения текстовых данных. Используемый синтезатор речи должен применять базовые просодические функции для повышения качества речевого вывода и для различения различных типов высказываний. Он также должен иметь возможность использовать различные типы голоса, которые могут быть настроены пользователем;
- сэмплированного голоса, который может использоваться для всех сообщений обратной связи для пользователя. Различные типы выборочных голосов используются, чтобы помочь пользователю различать различные типы сообщений;
- звука, создаваемого звуковым синтезатором, волновыми таблицами или специальными образцами. Этот тип неречевого звука используется, во-первых, для звуков окружающей среды, применяемых для обеспечения обратной связи с действиями пользователя, во-вторых, он может использоваться для наушников.

Неответственный звук и гибкое использование различного типа речевого типа могут существенно помочь ускорить общение. С другой стороны, это может также запутать пользователя, если он или она незнакомы с соответствующим значением. Следовательно:

- система должна выяснить, взаимодействует ли она с новичком или опытным пользователем. Это можно сделать либо путем обнаружения его из пользовательских реакций, либо путем объявления пользователя;
- в зависимости от установленного опыта пользователя система выбирает соответствующую стратегию, т.е. уровень связи, который объединяет явную и неявную информацию;
- в любое время пользователь может использовать команду EXPLAIN, которая объясняет значение неявной информации и, следовательно, изучает ее с помощью системы;
- система проверяет связь; если она обнаруживает, что пользователь демонстрирует тенденцию слишком часто использовать EXPLAIN (или если пользователь вообще не использует EXPLAIN), она переключает уровень связи;
- пользователь может отключить описанное выше «регулирование», чтобы включить режим обучения или установить уровень связи.

Разработка пользовательских интерфейсов и систем разговорного общения, ориентированных на людей с ослабленным зрением, создает определенные проблемы, которые можно частично решить путем адаптации стратегии диалога. Но также остается еще много нерешенных проблем, а компьютеры и смартфоны не доступны людям с ограниченными возможностями по зрению в той же мере, что и зрячим людям.

**Литература**

1. Alonso F., Fuertes J.L., González Á.L., Martínez L. A Framework for Blind User Interfacing // ICCHP. –2006. – V. 4061. – P. 1031–1038.
2. Eisenstein J., Vanderdonckt J., Puerta A. Adapting to Mobile Contexts with UserInterface Modeling // Third IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. – 2000. – P. 83–92.
3. Fuertes J.L., González Á.L., Mariscal G., Ruiz C. Applying a Methodology for Educating Students with Special Needs: A Case Study // International Conference on Systems, Computing Sciences and Software Engineering. – 2008. – P. 229–234.
4. Menkhaus G., Fischmeister S. Dialog Model Clustering for User Interface Adaptation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/d65d/38504993e2596e735e3ebe9bd3d0bf6b93d2.pdf>, своб.

**Корнилова Людмила Андреевна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № Р4170Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: lmila.korn@gmail.com

**Смолин Артем Александрович**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.философ.н.

e-mail: artikus@inbox.ru

УДК 004.522

**ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ  
ВОЗМОЖНОСТЯМИ ПО ЗРЕНИЮ****Корнилова Л.А., Смолин А.А.****Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

Графические пользовательские интерфейсы современных операционных систем значительно увеличивают скорость взаимодействия, но для слепых пользователей скорость взаимодействия осталась неизменной, если не снизилась. Именно по этой причине основное внимание при создании доступной среды не должно заключаться в интерпретации современного графического интерфейса пользователя, а на том, чтобы создать пользовательский интерфейс для слепых, основанный на их поведенческих характеристиках, и обеспечить им независимую и приятную среду.

**Ключевые слова:** удобство использования, восприятие, слепые пользователи, слабовидящие, доступная среда.

В настоящее время в Российской Федерации насчитывается около одного миллиона людей, имеющих нарушения зрительной функции. А в мире эта цифра приближается к 200 млн [1–4].

Многие в России считают, что слабовидящие люди редко выходят из дома, не пользуются смартфонами, и что гаджеты им вовсе не нужны. Но это не так – компьютеры, интернет и смартфоны расширили возможности не только обычных пользователей, но и групп населения с ограниченными возможностями.

Для многих незрячих переход с устаревших кнопочных устройств на сенсорные – вопрос сложный, поскольку сенсорный экран в руках незрячего заставляет менять привычки и философию взаимодействия с гаджетом.

В осязательном восприятии слепых и слабовидящих происходит специализация пальцев рук. В качестве примера можно привести процесс чтения слепыми рельефного шрифта, где разделение функций рук и специализация пальцев проявляются с предельной отчетливостью. Указательный палец правой руки выполняет поисковую функцию, предварительно различая группировки рельефных точек – букв, слогов, слов; указательный палец левой руки уточняет полученные впечатления; пальцы правой руки читают строку, в

то время как пальцы левой руки находят следующую; большие пальцы выполняют опорную функцию и т.д. Благодаря разделению и специализации функции пальцев рук становится возможным определение границ страницы и расположения текста. Аналогичные действия необходимы для работы с экраном смартфона, только «страница» в данном случае будет пустая.

Один из лучших способов оценить эффективность дизайна продукта – это хороший пользовательский опыт. Пользовательский опыт – это то, как человек чувствует продукт, систему или услугу. Опыт пользователя подчеркивает эмпирические, аффективные, осмысленные и ценностные аспекты взаимодействия человека с компьютером. Как видно из названия, пользовательский опыт ориентирован на пользователя.

Доступность – это общий термин, используемый для описания степени, в которой продукт, устройство, сервис или окружающая среда являются доступными как можно большему количеству людей.

Например, iPhone и iPad включают в себя набор функций, специально предназначенных для обеспечения доступности пользователей с особыми потребностями, например, VoiceOver, Белый на черном, Масштабирование, гигантские шрифты, и т.д.

Различные программы доступа не всегда просты в использовании в основном из-за того, что они работают, читая графические пользовательские интерфейсы, которые не предназначены для слепых. Существуют особые требования к юзабилити, которые должны выполняться при разработке двойного интерфейса, т.е. графического пользовательского интерфейса, адаптированного для слепых пользователей. К ним относятся адекватность задач, эквивалентность поведения, преодоление семантических потерь и независимость устройства. Вследствие этого, разработка человеко-компьютерных интерфейсов, основанных на задаче, домене, диалоге, презентации, платформе и пользовательской модели должны быть изменены, чтобы учесть эти требования.

Чтобы обеспечить сопоставимое удобство использования графического интерфейса зрячими и слепыми пользователями, необходимо:

- обеспечить более простой, более привлекательный опыт для слепых пользователей, используя интерфейс человека;
- обеспечить пользователю систему с высокой степенью удобства использования, систему, которая позволит слепому пользователю выполнить простые задачи;
- предоставить пользователю необходимые инструкции, чтобы пользователь никогда не чувствовал себя потерянным в программе;
- обеспечить опыт, который будет одинаково трудоемким в каждой задаче.

Модель, ориентированная на пользователя, служит для того, чтобы интерфейс мог быть правильно разработан в соответствии с потребностями слепых людей и на основе их эвристического взаимодействия. В проектной модели, ориентированной на пользователя, каждый дизайн основан на обратной связи конечного пользователя. Обратная связь анализируется и переоценивается для обеспечения лучшего дизайна, конечный продукт централизованного дизайна является результатом постоянной обратной связи и оценки.

## Литература

1. Alonso F., Fuertes J.L., González Á.L., Martínez L. A Framework for Blind User Interfacing // ICCHP. – 2006. – V. 4061. – P. 1031–1038.
2. Bigham J.P., Cavender A.C., Brudvik J.T., Wobbrock J.O., Ladner R.E. WebinSitu: A Comparative Analysis of Blind and Sighted Browsing Behavior // ASSETS'07. – 2007. – P. 15–17.
3. Hassenzahl M., Tractinsky N. User experience – a research agenda // Behavior & Information Technology. – 2006. – V. 20. – № 2. – P. 91–97.
4. Takagi H., Asakawa C., Fukuda K., Maeda J. Accesibility Designer: Visualizing accesibility for the blind // ASSETS'04. – 2004. – P. 18–20.

**Королева-Мартыновская Кристина Константиновна**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, студент группы № P4172

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: k.martynovskaya@gmail.com

**Карсаков Андрей Сергеевич**

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет информационных технологий и программирования, кафедра высокопроизводительных вычислений, к.т.н., доцент

e-mail: karsakov@corp.ifmo.ru

УДК 004.514

**ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ОБЛАСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ГЕОДАННЫХ****Королева-Мартыновская К.К., Карсаков А.С.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Карсаков А.С.**

В работе описано настольное приложение TerraXT, разработанное в исследовательском институте Университета ИТМО для визуального анализа многомерных пространственных гидрометеорологических данных. Также приведен обзор текущего состояния области визуализации и визуального анализа геоданных.

**Ключевые слова:** визуализация данных, виртуальный глобус, моделирование климата, большие данные, геоинформационные системы.

Изменение климата влияет на нашу экологию, условия жизни и коммерческую деятельность. Моделирование погоды, климата и природных явлений позволяет прогнозировать возможные изменения. Сочетание различных переменных климатических моделей с пространственными данными из разных источников помогает выявлять корреляции и изучать ключевые процессы природных явлений.

Проект TerraXT разработан в исследовательском институте eScience Университета ИТМО. TerraXT позволяет визуализировать различные сценарии предварительно вычисленных погодных и климатических изменений на виртуальном глобусе. Благодаря использованию виртуального глобуса можно получить визуализацию любых информационных полей с минимальными искажениями. На данный момент сценарии описывают районы Балтийского моря и Северного ледовитого океана.

Глобус является базовым слоем. В качестве следующего слоя могут использоваться разные карты: Google, Yandex, OpenStreetMap и т.д. Верхние слои служат для анализа динамически изменяющейся климатической информации. Для визуализации слоев применяются следующие типы данных:

- скалярные – это численное значение в каждый момент времени в любой отдельной ячейке сетки, например: температура воды или воздуха, атмосферное давление;
- векторные – это комбинация двух скалярных полей, описывающая динамический процесс, например: скорость и направление морского течения, дрейф льда;
- данные из точки – это скалярные или векторные данные для конкретной точки в конкретный момент времени.

Векторная переменная, в свою очередь, может быть представлена в виде слоя стрелок и в виде слоя линий потока. Слой стрелок представляет собой сетку стрелок, показывающую направление потока в каждой ячейке. Слой линий потока представляет собой плавные линии, показывающие динамику потока (рисунок).

Также слои можно классифицировать по смысловому значению:

- атмосферные данные – скорость и направление ветра, атмосферное давление, температура воздуха на разной высоте;
- водные данные – скорость и направление течения, температура воды на разной глубине, давление воды на разной глубине. Учитывается состояние воды. Для твердого состояния – льда – характерны: дрейф, сплоченность.

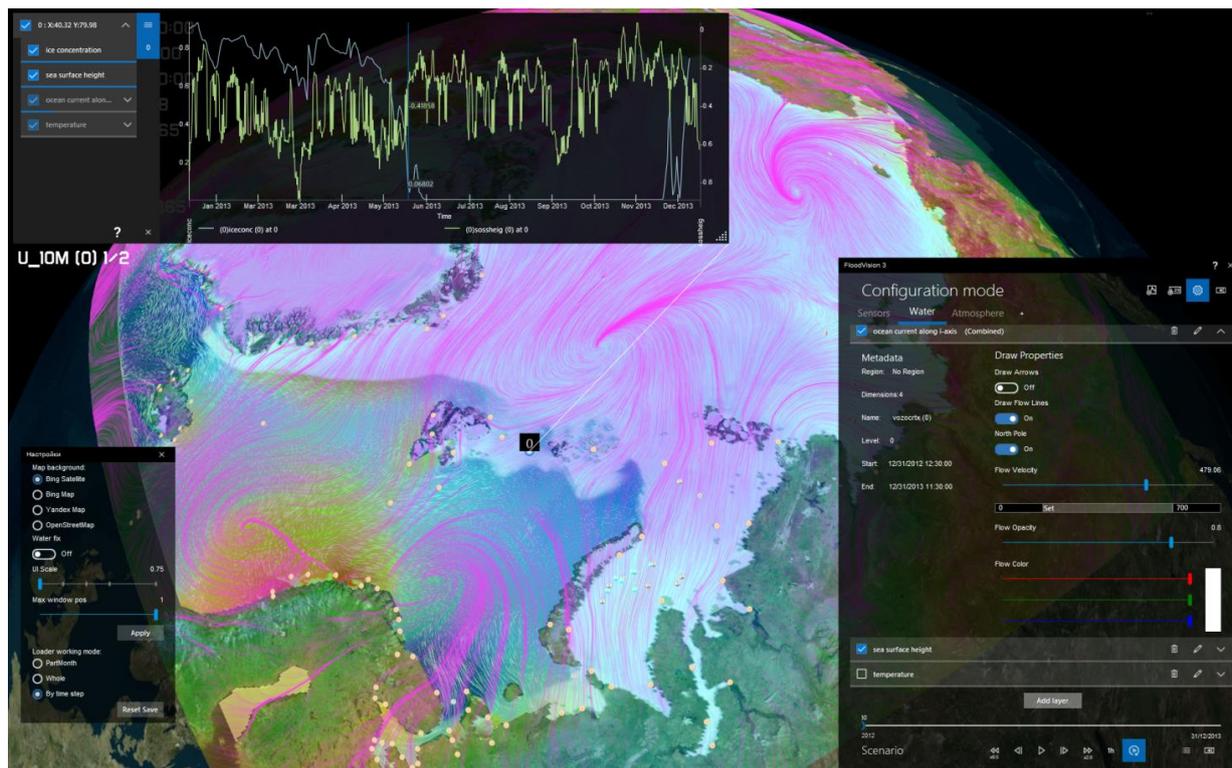


Рисунок. Интерфейс приложения TerraXT

Отсюда возникает первая проблема, как продемонстрировать большое количество разнородных, динамически изменяющихся во времени и пространстве гидрометеорологических данных? Например: показать дрейф льда отлично от течения воды, учитывая разные глубины.

Американским метеорологическим сообществом в 1993 году были предложены 15 цветов для визуализации метеорологических явлений и погодных особенностей, таких как: шторм, температура, холод, снег, дождь, инфракрасное излучение и т.д. [1]. Ученые метеорологи до сих пор используют эти рекомендации.

Спустя два года, в 1995 году, появилась отдельная дисциплина – геоинформационная визуализация. В период с 2007 по 2015 внимание было направлено на использование интерактивных карт и картографических технологий для поддержания интерактивного визуального анализа сложной, объемной и неоднородной информации, включающей измерения, выполненные в пространстве и времени [2].

Геоинформационные технологии продолжительное время активно используются во множестве прикладных областей, в то время как методы визуализации многомерных пространственных данных с применением этих технологий на данный момент находятся в стадии активного развития.

Разрабатываемые методы и подходы визуализации многомерных пространственных данных позволяют эффективнее производить визуальный анализ гидрометеорологических данных.

Изучение климата и погоды важно в те моменты, когда можно предположить, что наша среда и условия жизни изменятся в ближайшие десятилетия из-за изменений в климатической системе. Трехмерная визуализация является подходящим инструментом для лучшего понимания пространственных наборов данных, результатов моделирования. В отличие от 2D-визуализации, где можно визуализировать несколько переменных в совокупности, 3D-визуализация позволяет визуально оценивать и анализировать большие и разнородные наборы данных [3].

Однако при моделировании климата, погоды и природных явлений производятся большие объемы данных.

Размер объема гидрометеорологических данных может варьироваться от сотен мегабайт до терабайт и больше. В то время как растет размер набора геоданных, растет и количество полей данных. Становится сложнее обрабатывать, оценивать и объяснять явления, используя только численный анализ. В результате визуальный анализ остается основным инструментом для этих данных [4].

Двадцать лет назад интерактивные карты использовались в основном учеными для анализа и выдвижения гипотез в их профессиональной деятельности. В последнее время интерактивные карты широко используются для исследований в различных дисциплинах, с разных типов устройств, в разных местах [2].

Требования современной науки изменились. Появилась необходимость создавать системы, которые дают возможность изучать информацию не только посредством таблиц с числовыми данными и 2D-карт, но и с помощью 3D-сред визуализации [5].

Тема актуальна, так как решение проблемы визуализации многомерных пространственных гидрометеорологических данных позволит разработать методы визуализации этих данных. На основе этих методов возможно будет разработать удобную для пользователя, снижающую когнитивную нагрузку, систему управления массивами гидрометеорологических данных.

В области визуализации геоинформации существует большое количество web и настольных приложений. Рассмотрим приложение Panoply [6], которым пользуются сотрудники ИТМО для визуального анализа геоданных.

Panoply – это настольное кроссплатформенное приложение для анализа климата. Работает на базе операционных систем Macintosh, Windows, Linux. В этом приложении есть возможность проводить анализ графиков из массива данных. Визуализировать один или два слоя гидрометеорологической информации посредством 2D-карт. Объединять два массива данных с географической привязкой на одном графике.

Достоинства:

- наличие возможности получить график для анализа;
- возможность загружать собственные данные.

Недостатки:

- несовременный сложный интерфейс, требующий обучения;
- можно анализировать только два слоя одновременно;
- отсутствует анимация для динамического анализа;
- две проекции;
- 2D-карты для анализа.

Изменилось не только визуальное представление географической информации, но и контекст использования устройств, и требования пользователей. В связи с этим существует потребность в разработке интерактивных систем для анализа многомерных пространственных данных. Необходимо создать удобный интерфейс для управления такой

системой и массивами многомерных пространственных данных.

Необходимо решить две ключевые задачи: разработать унифицированные методы и подходы к визуализации многомерных пространственных гидрометеорологических данных и разработать интерфейс управления системой визуального анализа многомерных пространственных гидрометеорологических данных.

Результат решения поставленных в исследовательской работе проблем может быть использован сотрудниками научно-исследовательских институтов для прогнозирования, моделирования и анализа различных природных явлений таких как: наводнения, дрейф льда, погода, климат и других гидрометеорологических данных. Также посредством системы можно будет проводить демонстрации гидрометеорологических исследований с целью получения финансирования научных исследований в области геоинформации и метеорологии.

### Литература

1. Guidelines for Using Color to Depict Meteorological Information: IIPS Subcommittee for Color Guidelines // American Meteorological Society. – 1993. – № 9. – P. 1709–1713.
2. Andrienko G., Andrienko N., Dykes J., Kraak M., Robinson A., Schumann H. GeoVisual analytics: interactivity, dynamics, and scale // Cartography and Geographic Information Science. – 2016. – № 1. – P. 1–2.
3. Helbig C., Bauer H., Rink K., Wulfmeyer V., Frank M., Kolditz O. Concept and workflow for 3D visualization of atmospheric data in a virtual reality environment for analytical approaches // Springer. – 2014. – № 72. – P. 3767–3780.
4. Golubev K., Zagarskikh A., Moiseev A., Karsakov A. Floodvision: A Tool for Fast and Comfortable Scenario-Based Visual Analysis of a Large Climate Datasets // Procedia computer science. – 2017. – V. 119. – P. 298–306.
5. Claudel M., Nagel T., Ratti C. From Origins to Destinations: The Past, Present and Future of Visualizing Flow Maps // Built Environment. – 2016. – № 42(3). – P. 338–355.
6. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/> (дата обращения: 10.12.2017).

**Коротких Алексей Евгеньевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № Р4270Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: littlefrid@gmail.com

**Меженин Александр Владимирович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru

УДК 004.925

**ТЕХНОЛОГИИ ТРЕКИНГА КАМЕРЫ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ****Коротких А.Е., Меженин А.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Меженин А.В.**

В работе рассмотрено понятие трекинга камеры в реальном времени. На основе обзора существующих решений описаны некоторые из способов трекинга камеры в реальном времени, а также рассмотрены возможные способы реализации некоторых функций, необходимых для осуществления трекинга.

**Ключевые слова:** трекинг камеры в реальном времени, превизуализация, системы превизуализации, съемки.

С момента появления в кино комбинированных съемок существует проблема реализации трекинга камеры. Под трекингом камеры понимается отслеживание значений ее параметров, например, местоположение или фокусное расстояние, во времени. Треком камеры называют упорядоченный по времени набор таких значений. В данной работе трекинг камеры рассмотрен в рамках его применения в системах on-set превизуализации, что предполагает получение трека в реальном времени.

Для осуществления корректного совмещения изображения с камеры и виртуальной среды, необходимо знать точку в пространстве, откуда камера ведет съемку, ее ориентацию, параметры линзы и т.п. Значения этих параметров передаются в виртуальную среду и применяются к виртуальной камере. Решив задачу по получению этих значений для каждого кадра, иными словами, получая трек камеры в реальном времени, виртуальная камера будет повторять движения реальной камеры. Более подробно данный процесс представлен на рис. 1.

Для решения задач по определению положения и ориентации камеры в пространстве в существующих системах применяют три способа.

Первый основан на использовании инерционных датчиков, например, акселерометров. Однако данные, получаемые с их помощью, часто несут в себе много шума, корректно сгладить который получается не всегда, что приводит к значительным ошибкам в получаемом треке камеры. На практике такой способ трекинга часто используют в качестве дополнительного средства.

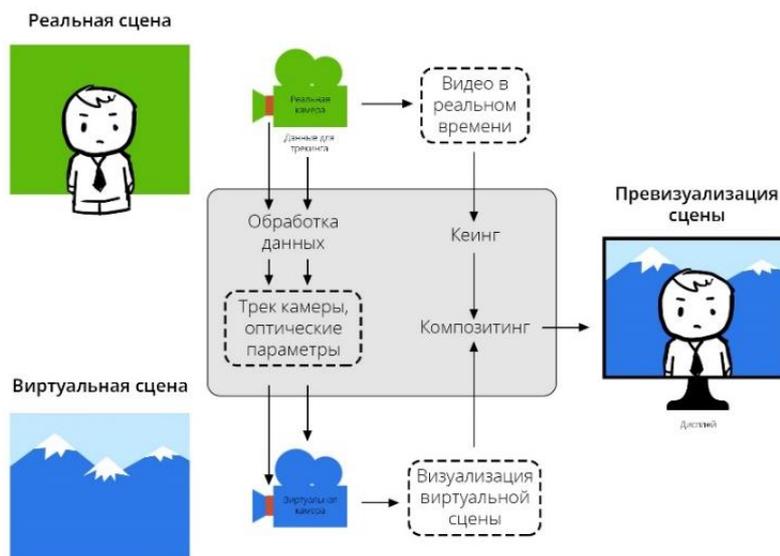


Рис. 1. Процесс комбинирования реальной съемки и виртуальной среды

Два других способа используют оптический трекинг, основанный на анализе изображений. В одном случае обрабатывается изображение, получаемое специальной камерой, закрепленной на основной камере (камера, трек для которой необходимо получить), в другом обрабатываются изображения с камер, располагаемых по периметру рабочей области основной камеры.

В ситуации с камерой, закрепленной на основной, приходится работать с одним изображением. В этом случае используется либо безмаркерный трекинг, распознающий естественные контрасты окружения, либо трекинг по маркерам [1]. Первый способ используется в системе SolidTrack, второй в системах Airtrack и Viewga. Главным плюсом безмаркерного трекинга является быстрая подготовка к работе, чего нельзя сказать о трекинге по маркерам. Однако в некоторых ситуациях трекинг по маркерам позволяет определять трек камеры более точно, нежели безмаркерный трекинг. Например, при использовании инфракрасной подсветки и светоотражающей поверхности маркеров результат становится менее зависим от окружения и освещенности сцены. Также оба этих способа являются достаточно дешевыми, так как, не считая специального программного обеспечения и некоторых аппаратных средств, необходима только одна камера.

В ситуации с камерами, расположенными по периметру съемочной площадки, маркеры крепятся к основной камере. В реальном времени осуществляется анализ получаемых с камер изображений, на основе которого воссоздается трек основной камеры. Для получения корректного трека необходимо иметь достаточное количество камер по периметру съемочной площадки (зависит от параметров съемочного объекта, например, размеров или количества декораций, характера съемок), знать их точное положение и максимально точно синхронизировать их по времени. Потребность в большом количестве камер обусловлена двумя видами ошибок, возникающих при таком способе трекинга.

Во-первых, это перекрытие. Под перекрытием понимается ситуация, когда какой-либо объект перекрывает собой маркер так, что камера перестает его видеть. В этом случае, чтобы не потерять информацию о движении данного маркера, необходимо иметь изображения с других камер, на которых данный маркер все еще виден. Данная проблема присутствует и в ситуации с трекингом с помощью одной камеры, для ее решения во время перекрытия маркеров информация может браться с инерционных датчиков.

Во-вторых, путаница маркеров. Данная ошибка представляет собой неверную идентификацию маркеров на изображениях с различных камер. Решить данную проблему, помимо увеличения количества камер, можно за счет использования активных маркеров. В отличие от пассивных, они каким-либо образом содержат в себе информацию, по которой

камеры однозначно могут определить маркер. Пассивные же не имеют различий, и их идентификация осуществляется за счет алгоритмических методов.

Примерами систем, использующих трекинг с применением множества камер, служат Insight VCS от OptiTrack, vCam от Pendulum Studios.

В данной работе более подробно был рассмотрен трекинг по маркерам с помощью камеры, закрепленной на основной. Этот вид трекинга, как говорилось ранее, подразумевает наличие на съемочном объекте маркеров. Получая изображение с помощью камеры, закрепленной на основной, маркеры, попавшие на него, определяются программным путем, после чего на основе данных об этих маркерах рассчитывается положение камеры относительно них [2]. Исходя из данного алгоритма, процесс трекинга камеры можно разделить на несколько этапов:

- подготовка (расстановка маркеров, калибровка камеры);
- определение маркеров;
- определение положения и ориентации камеры.

Рассмотрим этап определения маркеров. Этот этап предполагает определение на приходящем с камеры изображении маркеров: их положения на изображении и их однозначную идентификацию. Чтобы осуществить это, потребуется соответствующая система маркеров. В качестве такой системы авторами использован словарь, генерируемый библиотекой ArUco. ArUco – библиотека для приложений дополненной реальности на базе OpenCV [3].

Словарь, генерируемый библиотекой ArUco, представляет собой набор квадратных маркеров, каждый из которых состоит из черной рамки и двоичной квадратной матрицы, определяющей идентификатор маркера (рис. 2). Черная граница служит средством для более эффективного распознавания маркера. Закодированная матрица позволяет не только однозначно определить идентификатор маркера, но и каждый его угол, что позволяет идентифицировать и определить позицию маркера при любом его повороте [4]. Функционал библиотеки позволяет задавать размер словаря (количество маркеров в нем) и размер маркера (порядок матрицы).

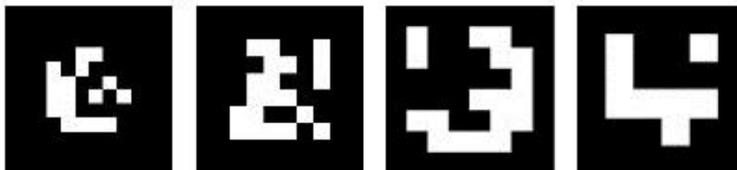


Рис. 2. Примеры маркеров, сгенерированных библиотекой ArUco

Словарь создается с помощью функции `cv::aruco::getPredefinedDictionary`:

```
cv::Ptr<cv::aruco::Dictionary> dict;
```

```
dict = cv::aruco::getPredefinedDictionary(cv::aruco::DICT_4X4_250).
```

После того, как словарь создан, необходимо определить маркеры на приходящем с камеры изображении. В данном случае под определением маркера понимается идентификация маркера и определение координат его вершин на кадре. Для этого была использована функция библиотеки ArUco `cv::aruco::detectMarkers()`. В качестве аргументов для этой функции указываются входящий массив, соответствующий изображению, на котором определяются маркеры (*frame*), словарь (*dict*), и два исходящих массива, в один из которых будет записываться информация о координатах вершин маркеров с сохранением порядка, а в другой информация об их идентификаторах (*corners*, *ids*):

```
std::vector<int> ids;
```

```
std::vector<std::vector<cv::Point2f>> corners;
```

```
cv::aruco::detectMarkers(frame, dict, corners, ids).
```

Для определения маркеров в реальном времени необходимо применять эту функцию для каждого поступающего с камеры изображения.

Для проверки корректности работы алгоритма можно воспользоваться функцией `cv::aruco::drawDetectedMarkers()`, которая позволяет добавить на изображении информацию об обнаруженных маркерах (рис. 3):

```
cv::aruco::drawDetectedMarkers(frame, corners, ids).
```

В результате выполнения функции для каждого из маркеров на основе полученной информации о них рисует границы маркера, указатель верхней левой вершины маркера в его оригинальной позиции и идентификационный номер маркера в используемом словаре (рис. 3).

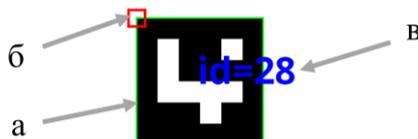


Рис. 3. Элементы, отображаемые функцией `drawDetectedMarkers()`: границы маркера (а); верхняя левая вершина маркера (б); идентификатор маркера (в)

Пример кадра, полученного с помощью реализованной в Unreal Engine 4 функции определения маркеров, представлен на рис. 4.

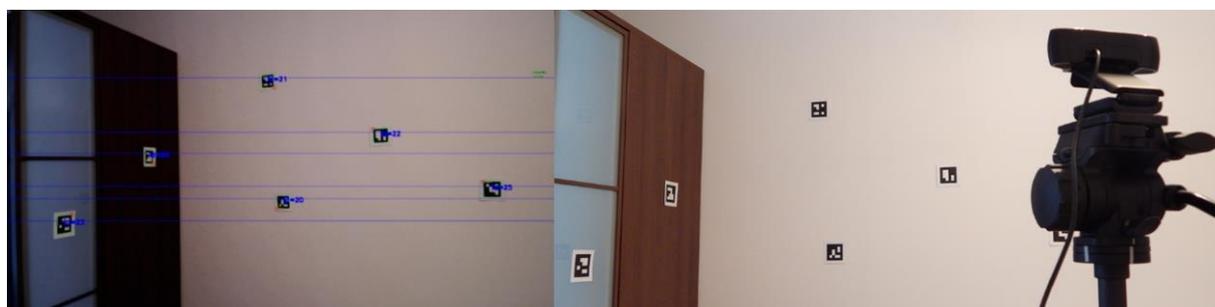


Рис. 4. Результат определения маркеров

В результате исследования был проведен обзор существующих способов трекинга камеры в реальном времени и с помощью библиотек OpenCV и ArUco на базе Unreal Engine 4 реализованы некоторые из функций, необходимых для его осуществления. В ходе дальнейших исследований планируется провести серию экспериментов с целью определения оптимальных условий съемки для эффективного определения маркеров.

## Литература

1. Solidtrack. Specifications of our real time tracking solution [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solid-track.com/solidtrack-vfx/real-time-tracking-solution> (дата обращения: 18.01.2018).
2. Lightcraft. Camera Tracking [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lightcrafttech.com/overview/real-time-camera-tracking/> (дата обращения: 18.01.2018).
3. ArUco: a minimal library for Augmented Reality applications based on OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uco.es/investiga/grupos/ava/node/26> (дата обращения: 18.01.2018).
4. Detection of ArUco Markers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.opencv.org/3.4.0/d5/dae/tutorial\\_aruco\\_detection.html](https://docs.opencv.org/3.4.0/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html) (дата обращения: 18.01.2018).

**Ксенофонтова Анна Геннадьевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4272Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: anya-ksenofontova@yandex.ru

**Смолин Артем Александрович**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.философ.н.

e-mail: artikus@inbox.ru

УДК 004.514

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СИСТЕМЫ  
АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕНОМА ЧЕЛОВЕКА****Ксенофонтова А.Г., Смолин А.А.****Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

В работе рассмотрено проектирование пользовательского интерфейса на основе ментальной модели пользователей. Отличие моделей представления и моделей реализации. Рассмотрены способы избавления от проблем, существующих в пользовательском интерфейсе системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека.

**Ключевые слова:** информационная система, пользовательский интерфейс, геном, проектирование, принципы проектирования.

Геном человека является неисчерпаемым источником для изучения и анализа. Сам термин «геном» был введен в 1920 году генетиком Г. Винклером и используется для описания совокупности генов, заключенных в гаплоидном наборе хромосом организмов одного биологического вида [1]. Приблизительно он состоит из трех миллиардов оснований и содержит до 100 000 генов. В последние годы наблюдается стремительный прогресс в области молекулярной генетики человека. Это связано с работами по расшифровке генома человека.

Целью данной работы являлось повышение эффективности использования существующего пользовательского интерфейса (рис. 1) для системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека.

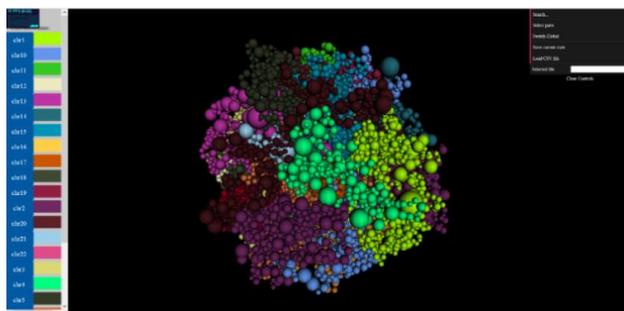


Рис. 1. Пользовательский интерфейс системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека

В рамках поставленной цели была выдвинута следующая гипотеза. Интерфейс системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека, спроектированный на основе ментальных моделей пользователя, позволит увеличить эффективность выполнения задач с его помощью.

Эффективность выполнения задач будет оцениваться по времени выполнения задачи, количеству совершенных ошибок и количеству действий пользователя для решения задачи.

Один из важнейших принципов проектирования при подходе, ориентированном на пользователя, является следующий: пользовательские интерфейсы должны строиться на основе ментальных моделей пользователя, а не на основе моделей реализации [2, С. 59].

Ментальная модель отражает видение пользователя, его представление о работе, которую предстоит выполнить, о цели и задачах, и о том, как система поможет достичь этих целей.

Модель реализации отражает техническую сторону разработки: архитектуру приложения, языки программирования, базу данных, а также правила работы приложения, заложенные разработчиком.

Модель представления является связующим звеном между моделью реализации и ментальной моделью и отражает видение проектировщика интерфейса. Одной из ключевых целей проектировщика является максимальное приближение к ментальной модели пользователя, а следовательно, глубокое понимание пользовательского представления о работе, которая будет выполняться с помощью системы.

Следует стремиться к тому, чтобы визуальная структура интерфейса полностью соответствовала смысловой, тем самым снижая сложность взаимодействия с интерфейсом. В этом случае пользователь легко может понять, как в представленной ему когнитивной структуре, решить поставленную перед ним задачу. Отсюда вытекает следующий принцип проектирования: взаимодействия, ориентированные на цели, отражают ментальные модели пользователя [2, С. 60].

Еще одним важнейшим моментом при проектировании интерфейса является обратная связь или отзывчивость, т.е. визуальное отображение возможности действия и отклика на действие, совершенное пользователем.

Способы решения выявленных в текущем интерфейсе проблем:

- добавление отзывчивости. В рамках разрабатываемого интерфейса для системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека отзывчивость системы на действия пользователя выражается в следующих действиях: при наведении на объекты, с которыми можно взаимодействовать, изменяется форма курсора, при взаимодействии с панелями инструментов текущий раздел выделяется цветом, включение функций сопровождается появлением символа «галочки» (рис. 2);

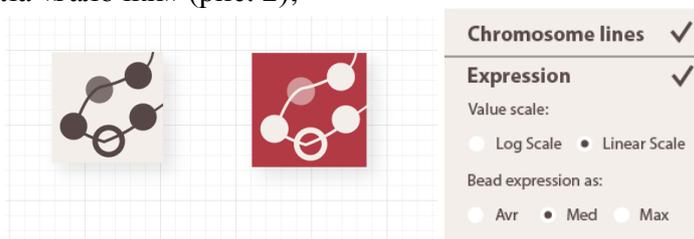


Рис. 2. Отзывчивость интерфейса системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека

- добавление панели инструментов для обеспечения простого доступа к часто используемым функциям;
- использование графических обозначений в панели инструментов для ускорения работы пользователей, уже знакомых с системой. И добавление текстовых подсказок для новичков (рис. 3);



Рис. 3. Графические обозначения на панели инструментов

– группировка имеющихся функций в смысловые блоки. Группировка функций поможет снизить когнитивную нагрузку на пользователя, и пользователю будет проще ориентироваться в системе, так как детализация функционала будет происходить пошагово (изначально видны только крупные категории, далее при выборе категории открываются функции для работы с этой категорией).

На основе выделенных принципов и анализа существующих проблем были внесены существенные изменения в структуру пользовательского интерфейса системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека (рис. 4).

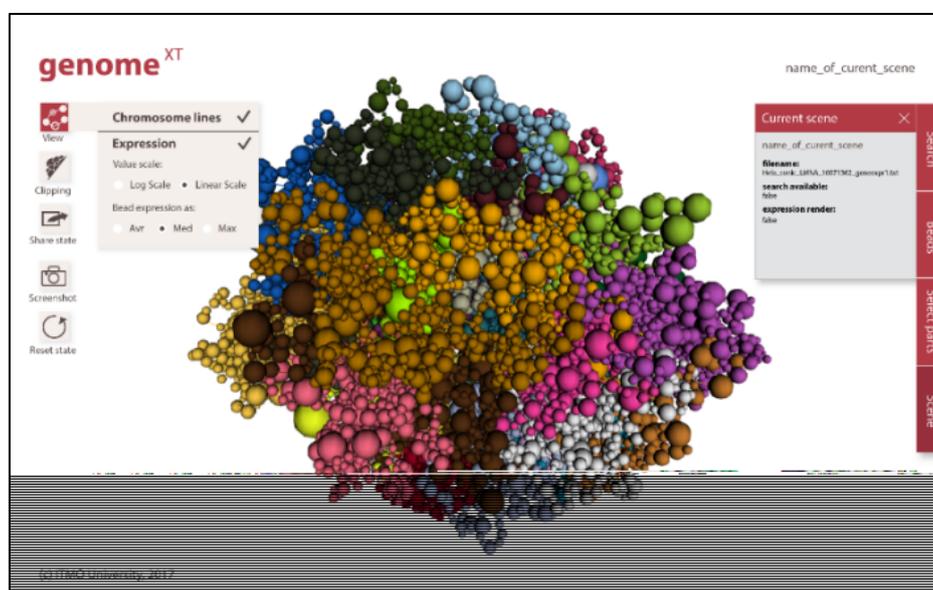


Рис. 4. Макет интерфейса системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека

Для подтверждения или опровержения гипотезы необходимо провести тестирование, предоставив пользователям возможность поработать с исходным интерфейсом и с модернизированным, и проанализировать эффективность работы в обоих случаях [3].

### Литература

1. База знаний по биологии человека. Геном: общие сведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://humbio.ru/humbio/genexp/00056f71.htm> (дата обращения: 25.01.2018).
2. Купер А. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2017. – 720 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9241-210-2012. Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем. – Введен 12.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2013. – 32 с.



**Лавров Алексей Валерьевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
ст. преподаватель

e-mail: alelavrov@live.ru



**Сизиков Валерий Сергеевич**

Год рождения 1939

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
д.т.н., профессор

e-mail: sizikov2000@mail.ru

УДК 535.338.1, 519.642.3, 519.6, 519.853.6

**РАЗДЕЛЕНИЕ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ ЛИНИЙ НЕПРЕРЫВНОГО СПЕКТРА  
ПУТЕМ ЕГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСТИННЫХ  
ПРОФИЛЕЙ ЛИНИЙ**

**Лавров А.В., Сизиков В.С.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

В работе описана предлагаемая методика разделения (сепарации) непрерывных перекрывающихся спектральных линий. Профиль каждой линии моделируется гауссианом или лоренцианом и обрабатывается суммарный спектр  $z$ . Количество  $N$  и параметры линий оцениваются методом производных. Для повышения точности дифференцирования предложено использовать сглаживающие сплайны, а для дальнейшего уточнения истинных параметров линий используется минимизация функционала невязки модифицированным методом координатного спуска с применением способа сужающихся ограничений, а также для сравнения методом Нелдера–Мида. Приведены численные иллюстрации.

**Ключевые слова:** разделение (сепарация) линий спектра, дифференцирование суммарного спектра, минимизация функционала невязки, гауссианы и лоренцианы, метод координатного спуска с ограничениями, сплайны, MatLab.

Одной из актуальных задач спектроскопии является задача о разделении (сепарации) непрерывных перекрывающихся спектральных линий [1–5]. Перекрытие линий может возникнуть из-за их близости или вследствие воздействия на излучающее вещество магнитного или электрического поля, в результате чего каждая линия расщепляется (эффект Зеемана или Штарка) на ряд близких пиков-компонент. Перекрытие спектральных линий может возникнуть также из-за взаимодействия молекул вещества, что ведет к движению молекул и к доплеровскому уширению линий и, как следствие, к их (частичному) наложению.

В этих случаях необходимо разделить перекрывающиеся линии в спектре некоторым способом. Особенностью данной задачи является то, что линии невозможно разделить технически, даже используя спектрометр с повышенной разрешающей способностью. Технически можно уточнить суммарный профиль линий, но сами линии по отдельности не

разрешить. Линии (их профили) можно разделить только математико-компьютерным путем. Данная задача относится к так называемым обратным задачам второго типа (когда в принципе невозможно восстановить искомую функцию без математической обработки) [6, С. 20].

**Постановка задачи.** Пусть в спектре присутствуют  $N$  непрерывных (протяженных) линий с профилями интенсивности  $z_j(\lambda)$ ,  $j = \overline{1, N}$ , где  $j$  – номер линии, а  $\lambda$  – длина волны. Полагаем, что измеряется суммарный спектр-профиль  $z(\lambda)$ , равный сумме  $N$  линий-компонент:

$$z(\lambda) = \sum_{j=1}^N z_j(\lambda) + \delta z, \quad a \leq \lambda \leq b, \quad (1)$$

где  $[a, b]$  – пределы суммарного спектра, а  $\delta z$  – шум. В настоящей работе не рассматривалось сглаживающее влияние аппаратной функции спектрометра на суммарный спектр. Полагается, что такое влияние устранено [4].

Требуется на основе измеренного суммарного зашумленного спектра  $z(\lambda)$  определить количество  $N$  линий-компонент и их профили  $z_j(\lambda)$ . В общем случае эта задача не имеет однозначного решения, поэтому обычно используют моделирование профилей линий некоторыми функциями (гауссианами, лоренцианами и т.д.).

**Существующие решения.** В методе Фурье-самодеконволюции спектра [2] для разрешения перекрывающихся линий используется аподизация – усечение интерферограммы, по которой с помощью преобразования Фурье вычисляется спектр в фурье-спектрометрах [6, С. 224]. За счет аподизации ширины линий искусственно уменьшаются (до 5 раз). В результате истинные профили линий-компонент искажаются ради их разрешения. Этот метод позволяет определить количество линий-компонент и их центральные длины волн, но не позволяет определить параметры их профилей (амплитуду и полуширину).

Некоторые методы основаны на использовании производных от спектра [1, 3–5, 7]. Суть методов состоит в том, что нули или экстремумы производных указывают на линии.

Однако реальный (не модельный) измеренный спектр обычно зашумлен, и его численное дифференцирование выполняется со значительными погрешностями [5, 7]. Для решения этой проблемы авторами предложено аппроксимировать спектр сглаживающим сплайном и дифференцировать сплайн, как это успешно сделано в работах [5, 7].

**Моделирование линий и их аналитическое дифференцирование.** Если моделировать каждую линию  $z_j(\lambda)$  гауссианом (гауссовой функцией):

$$z_j(\lambda) = A_j \exp\left(-\frac{(\lambda - \bar{\lambda}_j)^2}{2\sigma_j^2}\right), \quad j = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где  $A_j$  – амплитуда линии;  $\bar{\lambda}_j$  – координата максимума;  $\sigma_j^2$  – дисперсия, при этом  $\tau_j = \sqrt{2 \ln 2} \sigma_j = 1,1773 \sigma_j$  – полуширина гауссиана по уровню 0,5, то аналитическое дифференцирование гауссиана дает формулы для производных порядков 2 и 4 от  $z_j(\lambda)$  по  $\lambda$  [3–7], из которых можно определить  $A_j$  и  $\sigma_j$  [7]:

$$A_j = 3 \frac{[z_j''(\bar{\lambda}_j)]^2}{z_j^{IV}(\bar{\lambda}_j)}, \quad \sigma_j = \sqrt{3 \frac{-z_j''(\bar{\lambda}_j)}{z_j^{IV}(\bar{\lambda}_j)}}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (3)$$

Если же каждая линия  $z_j(\lambda)$ ,  $j = \overline{1, N}$ , – лоренциан [4, 7] (ср. (2)):

$$z_j(\lambda) = A_j \frac{\tau_j^2}{(\lambda - \bar{\lambda}_j)^2 + \tau_j^2}, \quad (4)$$

где  $\tau_j$  – полуширина лоренциана по уровню 0,5, то [7]

$$A_j = 6 \frac{[z_j''(\bar{\lambda}_j)]^2}{z_j^{IV}(\bar{\lambda}_j)}, \quad \tau_j = \sqrt{12 \frac{-z_j''(\bar{\lambda}_j)}{z_j^{IV}(\bar{\lambda}_j)}}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (5)$$

Заметим, что на практике невозможно дифференцировать непосредственно линии  $z_j(\lambda)$ , а можно дифференцировать только суммарный спектр  $z(\lambda)$  (1). В результате параметры отдельных линий будут определяться по производным суммарного спектра с погрешностями. Поэтому нужно использовать более точные методы сепарации линий (модифицированный метод координатного спуска [5, 7] и др.), полагая в качестве начальных приближений значения  $N$ ,  $A_j$ ,  $\bar{\lambda}_j$  и  $\sigma_j$ , оцененные по методу производных.

**Численные иллюстрации.** Сравним результаты сепарации (разделения) линий-компонент методом Фурье-самодеконволюции (ФСД) [2] и методом минимизации функционала невязки (МФН) [4–7] на следующем примере из [2].

Даны две перекрывающиеся линии-лоренциана вида (4). Амплитуды линий равны  $A_1 = 1$ ,  $A_2 = 0,75$ , координаты максимумов линий  $\bar{\lambda}_1 = 572$ ,  $\bar{\lambda}_2 = 578$ , полуширины линий  $\tau_1 = \tau_2 = 4$ , а расстояние между пиками  $\Delta = \bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1 = 6$ . Спектр задан численно с шагом дискретизации  $h=0,5$ ; пределы:  $a=540$ ,  $b=610$ . Число узлов по  $\lambda$  равно  $n = (b - a)/h + 1 = 141$ . Все величины в произвольных единицах, отличных от единиц в [2], где вместо  $\lambda$  использовано  $1/\lambda$  – волновое число в  $\text{см}^{-1}$ .

Метод ФСД в работе [2] разделил линии, определил  $\Delta = \bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1$ , но занижил (в 5,3 раза) их полуширины  $\tau$  (с 4 до 0,75), т.е. исказил профили линий.

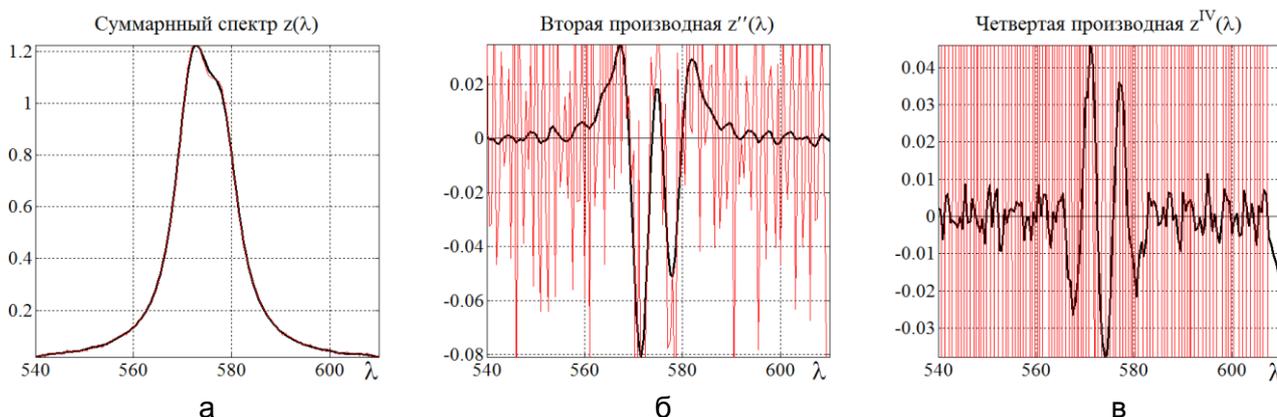


Рис. 1. Суммарный спектр  $z(\lambda)$  незашумленный (черная линия) и зашумленный (красная линия (а); производные 2-го и 4-го порядков от зашумленного спектра (красные линии) и от сглаживающего сплайна (черные линии) (б, в)

Используем для сравнения метод МФН. Добавим к суммарному спектру  $z(\lambda)$  1%-ный шум ( $\delta z=0,005$ ). Используем метод производных, а именно, вычислим численно (с помощью m-функции `diff.m` системы MatLab) производные  $z''(\lambda)$  и  $z^{IV}(\lambda)$  от зашумленного суммарного спектра  $z(\lambda)$ . Из рис. 1 видно, что зашумление суммарного спектра даже умеренным 1%-ным шумом ведет к большим погрешностям производных  $z''(\lambda)$  и  $z^{IV}(\lambda)$ , к так называемым «пилообразным» решениям (ср. [6, С. 232]), по которым невозможно

выделить ограниченное количество экстремумов производных  $z''(\lambda)$  и  $z^{IV}(\lambda)$ . Такое поведение производных связано с тем, что дифференцирование (тем более высокого порядка) зашумленных функций является некорректной (сильно неустойчивой) задачей.

Чтобы сделать вычисление производных устойчивым и умеренно гладким, используем аппроксимацию зашумленного суммарного спектра  $z(\lambda)$  сглаживающим кубическим сплайном с помощью  $m$ -функции `csaps.m`. После сглаживания были вычислены с помощью  $m$ -функции `diff.m` производные  $z''(\lambda)$  и  $z^{IV}(\lambda)$  (рис. 1, б, в, черным цветом). Видим, что производная  $z''(\lambda)$  от сглаженного сплайна имеет два отрицательных экстремума, а производная  $z^{IV}(\lambda)$  – два положительных экстремума, и эти экстремумы дают значения  $\bar{\lambda}_1 = 571,5$  и  $\bar{\lambda}_2 = 578$ , близкие точным значениям  $\bar{\lambda}_1 = 572$  и  $\bar{\lambda}_2 = 578$ .

По рис. 1 можно в соответствии с формулами (5) оценить значения  $A_1$ ,  $\tau_1$ ,  $A_2$  и  $\tau_2$ :

$$A_1 = 0,9049, \quad \tau_1 = 4,7307, \quad A_2 = 0,5728, \quad \tau_2 = 4,7329. \quad (6)$$

Значения (6) заметно отличаются (особенно  $A_2$ ) от точных значений

$$A_1 = 1, \quad \tau_1 = 4, \quad A_2 = 0,75, \quad \tau_2 = 4, \quad (7)$$

что объясняется не только зашумлением, но и тем, что дифференцируется суммарный спектр  $z(\lambda)$ , а непосредственно линии  $z_j(\lambda)$  невозможно дифференцировать в силу их недоступности. Это порождает погрешности в определении параметров линий даже в отсутствие шумов, поэтому требуется их дальнейшее уточнение.

**Уточнение параметров линий.** Для уточнения параметров линий используем модификацию метода координатного спуска (КС) [7]. Согласно методу КС, компоненты  $z_j(\lambda)$ ,  $j = \overline{1, N}$ , суммарного спектра  $z(\lambda)$  моделируем гауссианами (см. (2)) или лоренцианами (см. (4)), у каждой линии по три искомым параметра: амплитуда  $A_j$ , координата максимума  $\bar{\lambda}_j$  и полуширина  $\tau_j$  (или СКО  $\sigma_j$ ).

Далее  $3N$  параметров (где  $N$  – число линий-компонент) объединяем в один вектор

$$p = [A_1, \bar{\lambda}_1, \tau_1, \dots, A_N, \bar{\lambda}_N, \tau_N] \quad (8)$$

длиной  $3N$  (в нашем примере  $N=2$ ). Параметры  $p_J$ ,  $J = \overline{1, 3N}$ , находим путем минимизации функционала невязки между результатами измерений и расчета:

$$F = \sum_{i=1}^n (\tilde{z}_i - z_i)^2, \quad (9)$$

где  $\tilde{z}_i = \tilde{z}(\lambda_i)$  – измеренные значения суммарного спектра,  $z_i = z_i(p)$  – рассчитанные значения суммарного спектра,  $n$  – число дискретных отсчетов  $\lambda$ , а  $p$  – единый вектор (8).

Вводятся также ограничения на параметры  $p_J$  в виде:

$$p_{\min_J} \leq p_J \leq p_{\max_J}, \quad J = \overline{1, 3N}. \quad (10)$$

В результате расчетов методом КС получены параметры линий:

$$p = [1,0129; 572,04; 4,0332; 0,740; 578,06; 3,9353], \quad (11)$$

почти совпадающие с точными значениями (подробности метода – в [7]).

На рис. 2 представлены линии-лоренцианы, восстановленные методом КС по зашумленным данным, но сглаженным сплайном. Результаты восстановления методом Нелдера–Мида (НМ) выглядят практически такими же.

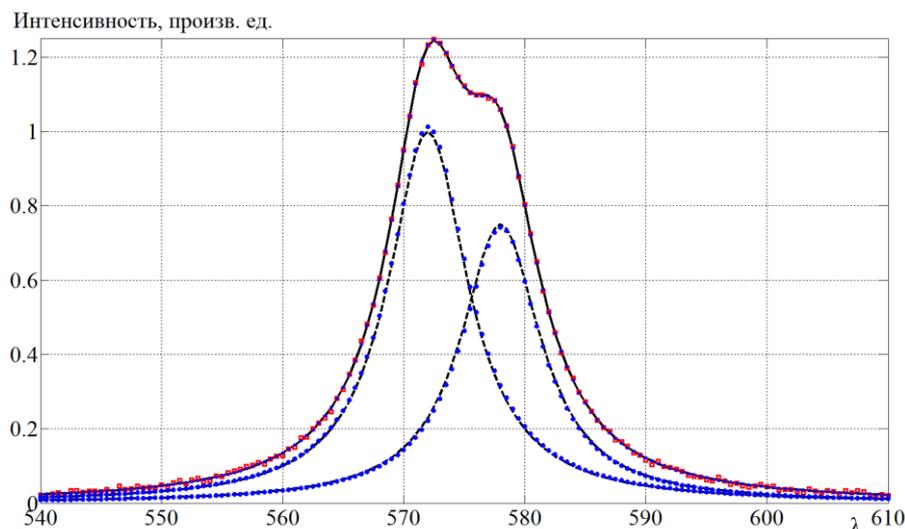


Рис. 2. Восстановление линий-лоренцианов методом КС. Непрерывная черная линия – точный суммарный спектр  $z(\lambda)$ ; две пунктирные синие линии – точные профили линий с параметрами (7); красные квадратики – зашумленный суммарный спектр  $z(\lambda)$ ; синие точки – профили двух линий, рассчитанные методом КС и НМ

**Заключение.** В работе построена следующая цепочка действий в предлагаемой методике разделения линий. Вычисляются численно производные 1-го, 2-го, 3-го и 4-го порядков от, вообще говоря, зашумленного суммарного спектра  $z(\lambda)$  с использованием сглаживающего сплайна (рис. 1). По производным делается оценка количества линий  $N$  и их координат  $\bar{\lambda}_j$ . Выполняются оценки других параметров линий: амплитуд  $A_j$  и полуширин  $\tau_j$  гауссианов согласно (3) или лоренцианов согласно (5) по производным 2-го и 4-го порядков согласно новым выведенным формулам. Далее эти оценки могут быть начальными приближениями при более точном определении параметров линий методами КС и НМ (рис. 2).

### Литература

1. Giese A.T., French C.S. The analysis of overlapping spectral absorption bands by derivative spectrophotometry // *Applied Spectroscopy*. – 1955. – V. 9. – № 2. – P. 78–96.
2. Kauppinen J.K., Moffatt D.J., Mantsch H.H., Cameron D.G. Fourier self-deconvolution: a method for resolving intrinsically overlapped bands // *Applied Spectroscopy*. – 1981. – V. 35. – № 3. – P. 271–276.
3. Манойлов В.В., Заруцкий И.В. Возможности алгоритма сверток с производными для оценки параметров масс-спектров, содержащих наложившиеся пики // *Научное приборостроение*. – 2009. – Т. 19. – № 4. – С. 103–108.
4. Сизиков В.С., Лавров А.В. Сепарация непрерывных линий, взаимно перекрывающихся и сглаженных аппаратной функцией // *Оптика и спектроскопия*. – 2017. – Т. 123. – № 5. – С. 678–688.
5. Сизиков В.С., Лавров А.В. Исследование погрешностей некоторых методов разделения перекрывающихся спектральных линий в условиях воздействия помех // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2017. – Т. 17. – № 5. – С. 879–889.
6. Сизиков В.С. Прямые и обратные задачи восстановления изображений, спектроскопии и томографии. – СПб.: Лань, 2017. – 412 с.
7. Сизиков В.С., Лавров А.В. Сравнение различных методов разделения непрерывных перекрывающихся спектральных линий // *Оптика и спектроскопия*. – 2018. – Т. 124. – № 6. – С. 723–731.

**Махлай Дмитрий Олегович**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
ассистент

e-mail: teslandroid@gmail.com

**Чернева Вероника Ивановна**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
ассистент

e-mail: chernnika@gmail.com

**УДК 004.925****МЕТОД ВЕКТОРНОЙ РЕСТАВРАЦИИ ТЕКСТУР ДЛЯ 3D-РЕКОНСТРУКЦИИ  
УТРАЧЕННОГО ЗДАНИЯ НА ПРИМЕРЕ 3D-РЕКОНСТРУКЦИИ ФЕДОРОВСКОГО  
ГОРОДКА****Махлай Д.О., Чернева В.И.**

В работе рассмотрен векторный способ воссоздания изображений для текстур, которые будут использованы для виртуальной трехмерной реконструкции. Приведены преимущества векторного способа воссоздания изображения для текстур при 3D-реконструкции объектов культурного наследия. Предложенная методика векторной реставрации текстур продемонстрирована на примере реконструкции росписи «Сибирское Царство» из интерьера Башенной Палаты Федоровского (русского) городка в Царском Селе.

**Ключевые слова:** реставрация изображения, векторная графика, Феодоровский городок, виртуальная реконструкция, цифровое культурное наследие.

Главное преимущество векторного редактора по сравнению с растровым заключается в том, что результат строится по формулам. Это значит, что любую деталь можно быстро изменить, и программа мгновенно пересчитает изображение без потери качества. Благодаря этому векторная отрисовка декоративных текстур имеет целый ряд преимуществ:

- возможность быстрого исправления контуров, что является важным фактором при работе со специалистами по атрибуции, изучающими настенные росписи;
- возможность сделать любое количество копий повторяющихся элементов без потери качества;
- возможность дублировать и отразить готовый элемент, чтобы быстро создать симметричную основу для моделирования схожего контура с индивидуальными особенностями;
- возможность изменить быстро одну и ту же роспись, чтобы отразить разные состояния сохранности для 3D-реконструкции или для виртуального музея, благодаря быстрой корректировке материала инструментами текстурной заливки;
- возможность изменить размер полотна для разных задач (публикация иллюстрации в журнале или воссоздание стены в масштабе 1:1);
- обратимость результата изменения размера или контура без потери в качестве;
- возможность гибкого редактирования паттернов для текстурных заливок, заполняющих векторные контуры в зависимости от задачи;

– возможность быстрого экспорта и печати текстурных разверток с «референсами» для специалистов-реставраторов.

В результате проведения работ по воссозданию текстур для Башенной Палаты в здании Трапезной Федоровского городка был описан метод векторной реставрации текстур [1]. Он строится из трех последовательных этапов: подготовительного, исследовательского и оценочного.

Роль подготовительного этапа состоит в том, чтобы результат реставрации текстур был обоснованным. Для этого необходимо подготовить базу исходных материалов и провести предварительный сравнительный анализ, чтобы спланировать дальнейший ход разработки.

Важность проведения подготовительного этапа видна на примере проекта реконструкции церкви на Нередице [2], где на этапе сбора материала в архивах были обнаружены акварельные наброски, по которым стало возможным достоверное восстановление декоративного слоя.

К сожалению, при работе над нашим проектом, референсов было недостаточно, поэтому проведенные работы включали дополнительный этап «гипотез» – прорисовку сохранившихся контуров для оценки объема восстановительных работ.

В нашем проекте модель этапа можно представить в следующем виде:

1. подготовка «референсов» (фотографий) для работы;
2. сбор графической информации для уточнения гипотез;
3. прорисовка по «референсу» основных векторных контуров;
4. оценка объемов восстановления;
5. изучение основных форм и закономерностей в изображении.

На этапе исследования важно сформулировать гипотезы содержания утерянной информации и обосновать их, проведя сравнительный анализ между получившимися эскизами и исходными материалами. Этап строится по следующему принципу:

1. сопоставление утраченных фрагментов с повторяющимися элементами фрески;
2. восстановление утраченных фрагментов путем сопоставления векторных контуров и архивных материалов для детализации спорных фрагментов;
3. создание текстурных элементов для заполнения контуров;
4. сопоставление контуров и текстур разными способами, в зависимости от задачи.

Целью оценочного этапа является подтверждение гипотез. С одной стороны, здесь важно грамотно сопоставить имеющиеся наработки с исходниками. С другой, после самостоятельной работы с архивными данными и восстанавливаемым изображением, следует найти возможность консультации с компетентными специалистами, чтобы подтвердить выдвинутые гипотезы. Этап состоит из:

1. качественной оценки полученной виртуальной копии росписи путем сравнения и сопоставления различных источников. При необходимости проведение быстрой корректировки векторных контуров;
2. работы с архивным материалом, арт-экспертами и стенописцами для подтверждения достоверности результата воссоздания текстур.

Следует отметить, что воссоздание текстур векторным способом невозможно без частичного применения возможностей растрового редактора изображений. Необходимые операции по подготовке референсов-фотографий и текстурных паттернов проводятся в растровых редакторах, после чего переносятся в векторный редактор для реализации дальнейшего метода.

Предложенная методика векторной реставрации текстур демонстрируется на примере реконструкции росписи «Сибирское Царство» из интерьера Башенной Палаты Федоровского (русского) городка в Царском Селе [3]. Здание сильно пострадало во время взрыва бомбы в период Великой Отечественной Войны.

Основная сложность работы над воссозданием текстур данного объекта культурного наследия заключается в том, что в архивах практически отсутствуют материалы с проектами

росписей. Ситуация осложняется тем, что проект Государева городка является уникальным архитектурным объектом начала 20 века, поэтому росписи интерьеров не имеют явных аналогов и прототипов среди памятников архитектуры того же времени. В данный момент объект закрыт для посещения даже специалистам-историкам, нет возможности провести 3D-сканирование и сделать актуальные детализированные фотографии разрушенного декоративного слоя купола Башенной палаты.

Для наглядности метода было принято решение восстанавливать утраченный фрагмент изображения текстуры «Сибирское царство», так как часть полотна факсимильной копии отсутствовала в архиве музея.



Рис. 1. Образцы реставрации: интерьер Башенной Палаты (а); фрагмент фрески (б); факсимильная копия фрески (в); эскиз росписи (г)

В поиске материалов для реконструкции нашей команде помогли архивы музея-института семьи Рерихов. Несколько лет назад над воссозданием росписей трудились студенты из Академии Художеств, оставив ряд материалов музею. Благодаря работе профессора Крылова на момент воссоздания текстур нашей команде удалось получить факсимильные копии (рис. 1, в) двух росписей купола, гипотетические эскизы (рис. 1, г) всех росписей купола, а также две фотографии декоративного слоя купола (рис. 1, а, б), сделанные примерно в 2009 году [3].

Кроме того, была проведена иконография изображения, и принято решено найти наиболее старое из доступных изображений герба Сибирского царства (рис. 2, б). В результате было обнаружено оцифрованное изображение герба-литографии из книги Царский Титулярник [4], которое при наложении на изображение росписи, практически полностью совпадало по расположению элементов (рис. 2, в). На этом этапе была выдвинута гипотеза того, что художники, работая над росписями (рис. 2, а) Государева городка, закономерно могли использовать Царскую библиотеку и найти это изображение для референса росписи.



Рис. 2. Процесс векторной реконструкции: фрагмент факсимильной копии с утратой (а); литография герба «Сибирское Царство» 1672 г. (б); фрагмент работы над воссозданием текстуры по референсам (в)

В дальнейшем найденное изображение герба, фотография фрагмента росписи и факсимильная копия использовались как основные референсы для реконструкции векторных

контуров текстуры. На этапе исследования проводилось сопоставление контуров с тремя изображениями, поиск закономерностей в утратах (рис. 3, а). Так, при детальном рассмотрении фотографии были обнаружены светлые отпечатки (рис. 3, б), оставшиеся на месте осыпавшегося красочного слоя. По этим следам удалось обнаружить ключевые точки воссоздания лап, стрел, тетивы, разделения красочного слоя тела соболей (рис. 3, в) на несколько оттенков.

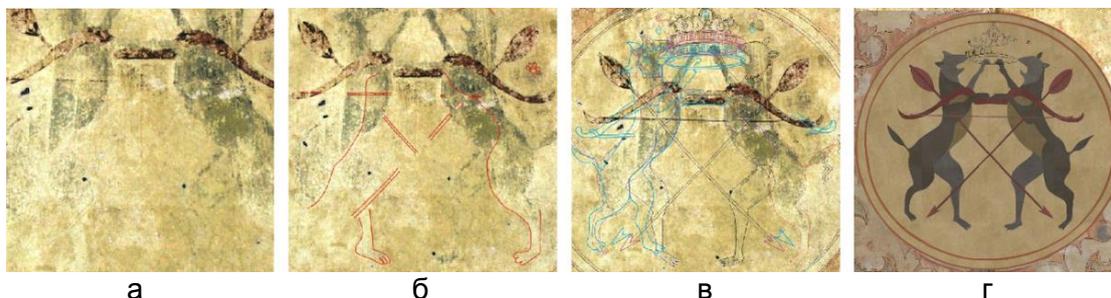


Рис. 3. Процесс конструирования контуров: деталь росписи с утратами (а); обозначение светлых отпечатков (б); построение контуров форм (в); пример готовых контуров с текстурной заливкой (г)

Этап оценивания находится в подготовительной стадии. Планируется демонстрация результатов экспертам-историкам для подтверждения выдвинутых гипотез. На финальной стадии работы с текстурой росписи был обнаружен еще один светлый отпечаток, который указывал на другое положение лапы правого соболя. Так как изображения представляют собой векторные контуры с текстурной заливкой, на изменение лапы потребовалось всего несколько минут (рис. 4). Кроме того, на финальной стадии было обнаружено, что документ был создан в формате A1, в то время как реальная высота факсимильной копии текстуры составляет около 3 м. На изменение размера изображения было затрачено менее 1 мин, при этом качество текстуры осталось неизменным.



Рис. 4. Пример быстрого изменения деталей на финальном этапе воссоздания текстур росписи

В результате использования векторного метода реконструкции декоративного слоя текстуры, был получен прототип контуров росписи «Сибирское царство». Полученный прототип может быть представлен в разных состояниях сохранности в зависимости от того, какой текстурой будет заполнен контур: текстура с восстановленным слоем или текстура с сохранением следов старины. Изменение контуров, заливок и размеров не занимает много времени и позволяет менять результат без ухудшения качества. Такая мобильность дает возможность оперативных правок текстур при консультации с экспертами-историками по достоверности полученных результатов. Данный критерий является одним из основных при работе над воссозданием объектов культурного наследия в 3D-реконструкции.

## Литература

1. Лавров А.В., Сопроненко Л.П., Акулаева Е.А. Виртуальная реконструкция Трапезной палаты Феодоровского городка с использованием технологий виртуальной реальности // Информационный бюллетень ассоциации История и компьютер. – 2016. – № 45. – С. 113–115.

2. Церковь Спасо-Преображения на Нередице. Копии фресок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.neredita.ru/Fresc/copy\\_history.htm](http://www.neredita.ru/Fresc/copy_history.htm), своб.
3. Сопроненко Л.П., Акулаева Е.А. Сбор и обработка материалов для мультимедийной системы «Архитектурно-художественный комплекс Феодоровский городок в Царском Селе как пример русского стиля» // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2017. – Т. 5. – С. 15–18.
4. Государев Титулярник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rgada.info/4/index2.php?str=401&opisanie=401.%201672%20%D0%B3.%20%E2%80%93%20>, своб.



**Сергиенко Андрей Александрович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет прикладной инженерии и компьютерных технологий, кафедра графических технологий, студент группы № Р4170

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: master-ac@yandex.ru



**Сизиков Валерий Сергеевич**

Год рождения 1939

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, д.т.н., профессор

e-mail: sizikov2000@mail.ru

УДК 621.397.3, 519.642.3

**СПОСОБЫ КОРРЕКЦИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

**Сергиенко А.А., Сизиков В.С.**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Сизиков В.С.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

Человеческому глазу и техническому зрению часто присуща нечеткость видения. В случае человеческого глаза она исправляется очками или заменой хрусталика на искусственный. В случае же технического зрения нечеткость можно также устранить корректирующими линзами, но можно и путем математической обработки измеренного нечеткого изображения. В работе представлены устойчивые методы и алгоритмы восстановления нечетких измеренных изображений путем решения интегральных уравнений.

**Ключевые слова:** человеческое и техническое зрение, нечеткое (искаженное) изображение, способы коррекции зрения, интегральные уравнения, устойчивые методы, MatLab.

**Введение.** Задача улучшения как человеческого, так и технического зрения является актуальной. Человеческому глазу часто свойственны нечеткость, аберрации и т.д. Они обусловлены чаще всего тем, что хрусталик глаза слишком выпуклый (будет близорукость) или излишне уплощен (будет дальнозоркость) (рис. 1 [1, С. 46]).

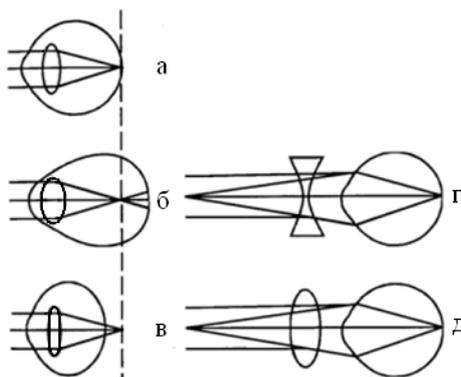


Рис. 1. Ход лучей от объекта и построение изображения на сетчатке нормального (а); близорукого (б) и дальнозоркого глаза (в). Коррекция зрения с помощью линз (г, д)

Эти недостатки в случае человеческого глаза обычно исправляют очками, контактными линзами или даже заменой хрусталика на искусственный.

В случае же технического зрения (устройство регистрации изображений) нечеткость можно также устранить корректирующими линзами. Однако имеется возможность считывать нечеткое изображение с «глазного дна» устройства и обработать его математически с использованием компьютера или специализированного вычислительного устройства и, тем самым, устранить нечеткость.

**Примеры нечеткого технического видения.** Пример математической обработки нечетких изображений космических объектов – восстановление изображений, измеренных телескопом «Хаббл», путем их обработки [2, С. 105]. На рис. 2, а, б, – примеры нечеткого технического видения – смазанное и дефокусированное изображения. Роль технического зрения на рис. 2, а, играет следящая система, а на рис. 2, б, – микроскоп, состыкованный с компьютером.

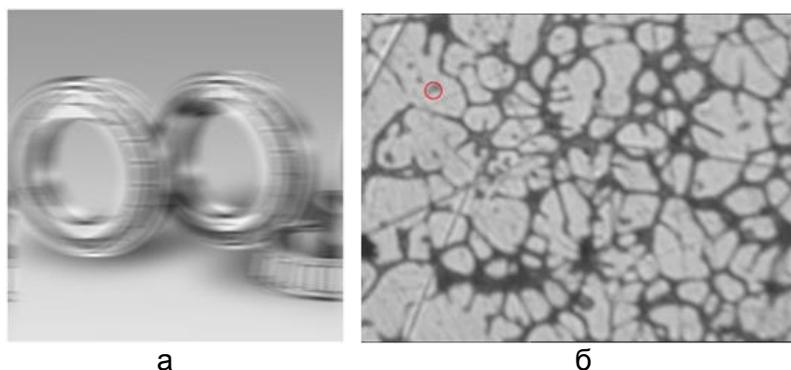


Рис. 2. Изображение подшипников на конвейере, смазанное из-за рассогласования движения конвейера и следящей системы (а); дефокусированное изображение расплавленного металла (в кружке – две близкие точки с расстоянием  $\delta_1=18$  пкс) (б)

Эти нечеткие изображения можно откорректировать математико-компьютерным путем, сняв нечеткие изображения с «сетчатки» технического глаза и обработав их математически (см. дальше). В этом состоит отличие технического зрения от человеческого.

**Математическое устранение смазывания изображения.** Изображение может быть смазанным из-за движения объекта или камеры слежения (рис. 2, а). Задача восстановления смазанного изображения, полученного техническим зрением, сводится к решению интегрального уравнения (ИУ) Фредгольма I рода (в каждой у-строке изображения) [2, 3]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(x-\xi)w_y(\xi)d\xi = g_y(x) + \delta g, \quad (2)$$

причем ось  $x$  (а также  $\xi$ ) направлена вдоль смаза, а  $y$  – перпендикулярно смазу, при этом

$$h(x) = \begin{cases} 1/\Delta, & -\Delta \leq x \leq 0, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (3)$$

– функция рассеяния точки (ФРТ),  $\Delta$  – величина смаза,  $w$  и  $g$  – интенсивности на истинном и смазанном изображениях,  $\delta g$  – шум.

Задача решения ИУ (2) является некорректной (существенно неустойчивой). Устойчивое решение ИУ (2) дает, например, метод регуляризации Тихонова (РТ) [2, 3]:

$$w_{\alpha y}(\xi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{H^*(\omega)G_y(\omega)}{|H(\omega)|^2 + \alpha\omega^{2p}} e^{-i\omega\xi} d\omega, \quad (4)$$

где

$$G_y(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g_y(x) e^{i\omega x} dx, \quad H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) e^{i\omega x} dx \quad (5)$$

– преобразования Фурье (ПФ),  $\alpha > 0$  – параметр, а  $p \geq 0$  – порядок регуляризации.

На рис. 3 – восстановление изображения подшипников методом РТ согласно (4), (5) по разработанной на MatLab m-функции `desmearingf.m` [2]. Видим, что изображение восстановилось качественно, при этом можно использовать быстрый алгоритм восстановления [2].

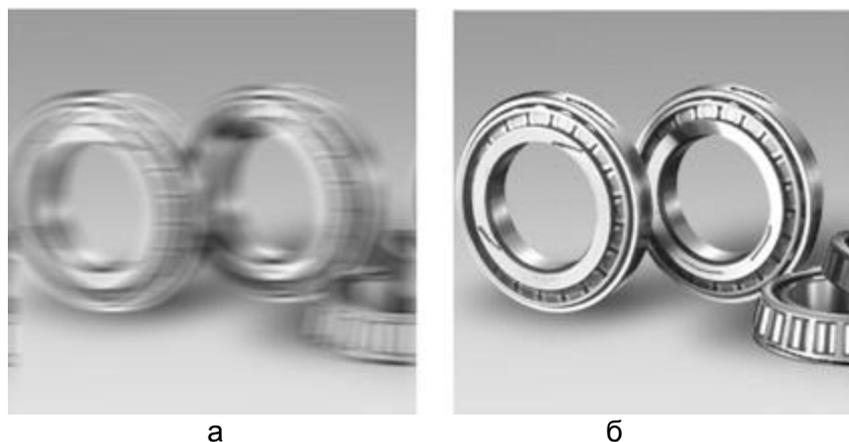


Рис. 3. Смазанное изображение подшипников на конвейере (рис. 2) (а); изображение, восстановленное методом РТ ( $\alpha=10^{-4}$ ,  $p=1$ ) (б)

Еще пример – цветной снимок земной поверхности из космоса (с самолета Concorde) (рис. 4).



Рис. 4. Изображение, смазанное и зашумленное смазанным импульсным шумом (а); изображение после устранения смаза методом РТ, но с шумом (б); четкое изображение после фильтрации шума медианным фильтром (в)

**Математическое устранение дефокусирования изображения.** Изображение может быть дефокусированным из-за неправильной настройки фокуса видеокамеры (рис. 3) или из-за остаточной сферической aberrации зеркала телескопа, как в случае с телескопом «Хаббл» [2]. Задача устранения дефокусирования изображения описывается двумерным интегральным уравнением Фредгольма первого рода типа свертки:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x - \xi, y - \eta) w(\xi, \eta) d\xi d\eta = g(x, y) + \delta g, \quad (6)$$

где (если ФРТ – однородный диск радиуса  $\rho$ ) [2, 3]

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi\rho^2}, & \sqrt{x^2 + y^2} \leq \rho, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (7)$$

Здесь  $g(x, y)$  – интенсивность на дефокусированном снимке;  $w(\xi, \eta)$  – искомая интенсивность на неискаженном снимке;  $h(x, y)$  – ядро интегрального уравнения (функция рассеяния точки в простейшем случае).

Устойчивое решение ИУ (6) методом регуляризации Тихонова (РТ) и преобразования Фурье (ПФ) имеет вид (ср. (4), (5)) [2]:

$$w_{\alpha}(\xi, \eta) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty-\infty}^{\infty} \frac{H^*(\omega_1, \omega_2)G(\omega_1, \omega_2)}{|H(\omega_1, \omega_2)|^2 + \alpha(\omega_1^2 + \omega_2^2)^p} e^{-i(\omega_1\xi + \omega_2\eta)} d\omega_1 d\omega_2, \quad (8)$$

где  $H(\omega_1, \omega_2)$  и  $G(\omega_1, \omega_2)$  – двумерные преобразования Фурье функций  $h(x, y)$  и  $g(x, y)$ .

На рис. 5 – пример восстановления дефокусированного изображения  $w$  расплавленного металла (наблюдаемого в микроскоп) путем решения ИУ (6) методом регуляризации Тихонова согласно (8).

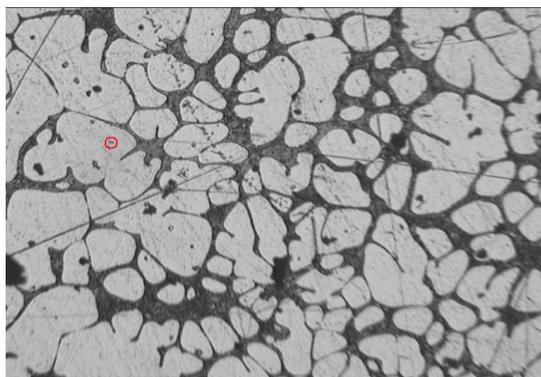


Рис. 5. Восстановленное изображение методом РТ и ПФ

Рис. 5 демонстрирует восстановление четкого изображения. На рис. 2, б, обведены красным кружком две близкие детали с расстоянием  $\delta_1 = 18$  пкс на пределе разрешения по критерию Рэля [2]. А на рис. 5 обведены две другие близкие детали с расстоянием  $\delta_2 = 4$  пкс также на пределе разрешения. Отношение  $\delta_1/\delta_2 = 4,5$  говорит о том, что в результате математической обработки изображения разрешение микроскопа повысилось в 4,5 раза.

**Заключение.** Выполнено сравнение методов, алгоритмов и способов улучшения зрения человеческого глаза и технического зрения. Если зрение человеческого глаза можно улучшить известными способами (использовать очки, заменить хрусталик), то зрение технических устройств регистрации изображений (съёмочных камер, следящих систем и т.д.) можно улучшить также путем математико-компьютерной обработки нечетких (смазанных, дефокусированных) изображений. Продемонстрировано восстановление смазанных и дефокусированных изображений путем решения интегральных уравнений методом регуляризации Тихонова. Данная методика может быть использована для обработки изображений технических деталей, снимков земной поверхности из космоса, для повышения разрешающей способности устройств наблюдений (микроскопов, телескопов, съёмочных камер и т.д.).

### Литература

1. Основы психофизиологии. Учебник / Отв. ред. Ю.И. Александров. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 340 с.
2. Сизиков В.С. Прямые и обратные задачи восстановления изображений, спектроскопии и томографии с MatLab. – СПб.: Лань, 2017. – 412 с.
3. Сизиков В.С., Степанов А.В., Меженин А.В., Бурлов Д.И., Экземпляров Р.А. Определение параметров искажений изображений спектральным способом в задаче обработки снимков поверхности Земли, полученных со спутников и самолетов // Оптический журнал. – 2018. – Т. 85. – № 4. – С. 19–27.



**Сизиков Валерий Сергеевич**

Год рождения 1939

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
д.т.н., профессор

e-mail: sizikov2000@mail.ru



**Меженин Александр Владимирович**

Год рождения: 1959

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru



**Бурлов Дмитрий Игоревич**

Год рождения 1988

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
ассистент

e-mail: burloff@mail.ru



**Степанов Андрей Валерьевич**

Год рождения: 1961

Крымский федеральный университет,  
д.т.н., профессор

e-mail: abc17101@yandex.ua



**Экземпляров Роман Алексеевич**

Год рождения: 1985

ООО «ВАУ СЕРВИС», Санкт-Петербург,  
руководитель группы программистов

e-mail: rexe@yandex.ru

УДК 621.397.3, 519.642.3

**МАТЕМАТИКО-КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИСКАЖЕННЫХ СНИМКОВ  
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ СО СПУТНИКОВ И САМОЛЕТОВ  
ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ**

**Сизиков В.С.** (Университет ИТМО), **Меженин А.В.** (Университет ИТМО), **Бурлов Д.И.**  
(Университет ИТМО), **Степанов А.В.** (Крымский федеральный университет),  
**Экземпляров Р.А.** (ООО «ВАУ СЕРВИС», Санкт-Петербург)

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Сизиков В.С.** (Университет ИТМО)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем:  
управление, вычисления, безопасность».

В работе решена задача устранения искажений (смазывания, дефокусирования, зашумления) аэрокосмических изображений (снимков) поверхности Земли, полученных при ее дистанционном зондировании. Тип искажения (смазывание или дефокусирование) и значения параметров искажений (величина  $\Delta$  и угол  $\theta$  смаза, а также размер пятна дефокусирования) определяются спектральным методом. Определение типа и параметров искажения позволяют повысить точность восстановления изображения путем решения интегральных уравнений (некорректная задача). Приведены результаты обработки искаженных снимков некоторого участка земной поверхности.

**Ключевые слова:** искаженные изображения земной поверхности, смазывание, дефокусирование, зашумление, функция рассеяния точки, спектральный метод оценки параметров искажений, устранение искажений, интегральные уравнения, MatLab.

**Введение.** Актуальной задачей является изучение земной поверхности с помощью оптических устройств регистрации изображений – съемочных камер, следящих систем и т.д., установленных на спутниках или самолетах, в частности, беспилотных летательных аппаратах, путем получения снимков различных участков земной поверхности [1, С. 42]. Это – одна из задач мониторинга физических сред с удаленным доступом. Однако такие изображения могут иметь искажения: смазывание за счет движения спутника или самолета, дефокусирование из-за неправильной установки фокуса камеры и зашумление атмосферным шумом. В данной работе выполнено сравнение с результатами работы [2].

На рис. 1 представлены три снимка  $500 \times 800$  пкс некоторой (одной и той же) области земной поверхности с различной функцией рассеяния точки (ФРТ). Размеры и искажения снимков такие же, как в работе [2], но снимки другие, чем в [2].

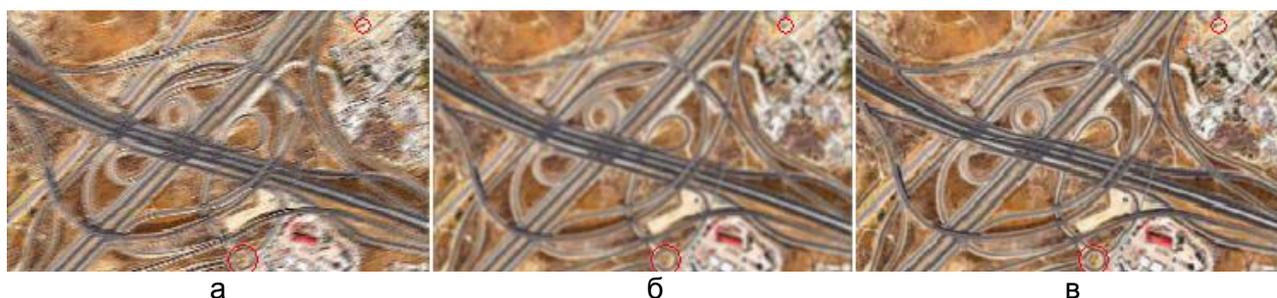


Рис. 1. Три снимка земной поверхности с различными (неизвестными) ФРТ

На снимках красными кружками обведены некоторые мелкие детали, по которым можно судить об их разрешении или неразрешении. По искаженным снимкам обычно трудно определить тип искажения (смаз или дефокусирование), а также тип шума (импульсный, гауссов и т.д.). Кроме того, важной задачей является численная оценка параметров искажений: величины  $\Delta$  и угла  $\theta$  смаза, а также размера пятна дефокусирования (расфокусировки).

**Восстановление изображений.** Восстановление искаженных изображений выполняется эффективно путем решения интегральных уравнений (ИУ). Если изображение смазано, то решается набор ИУ Фредгольма I рода (в каждой  $y$ -строке изображения) [2]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(x - \xi) w_y(\xi) d\xi = g_y(x) + \delta g, \quad (1)$$

причем ось  $x$  (и  $\xi$ ) направлена вдоль смаза, а  $y$  – перпендикулярно смазу, при этом

$$h(x) = \begin{cases} 1/\Delta, & -\Delta \leq x \leq 0, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (2)$$

– ФРТ, обычно пространственно-инвариантная (разностная);  $w$  и  $g$  – интенсивности на неискаженном (искомом) и искаженном (измеренном) изображении соответственно;  $\Delta$  – величина смаза;  $\delta g$  – помеха. В (1)  $y$  играет роль параметра. Задача решения ИУ (1) является

некорректной, поэтому ИУ (1) обычно решается методом преобразования Фурье (ПФ) с регуляризацией Тихонова (ПФРТ) или методом параметрической фильтрации Винера (ПФВ) [2].

Если же изображение дефокусировано, то решается 2-мерное ИУ [2]:

$$\int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x-\xi, y-\eta) w(\xi, \eta) d\xi d\eta = g(x, y). \quad (3)$$

В уравнении (3), если ФРТ – однородный диск радиуса  $\rho$ , то

$$h(x, y) = \begin{cases} 1/\pi\rho^2, & \sqrt{x^2 + y^2} \leq \rho, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (4)$$

а если ФРТ – гауссиана с СКО  $\sigma_r$ , то

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_r^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_r^2}. \quad (5)$$

Однако методы ПФРТ и ПФВ весьма чувствительны к точности знания параметров искажения  $\Delta$ ,  $\theta$ ,  $\rho$ ,  $\sigma_r$  [2]. Поэтому нужен эффективный метод оценки этих параметров.

**Спектральный метод.** В качестве такого метода используем спектральный метод [2]. Выполним 2-мерное преобразование Фурье (ПФ) искаженного изображения  $g(x, y)$ :

$$G(\omega_x, \omega_y) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{i(\omega_x x + \omega_y y)} dx dy, \quad (6)$$

где  $\omega_x$  и  $\omega_y$  – частоты Фурье. На рис. 2 представлены модули Фурье-спектров  $|G(\omega_x, \omega_y)|$  применительно к искаженным изображениям  $g(x, y)$ , приведенным на рис. 1.

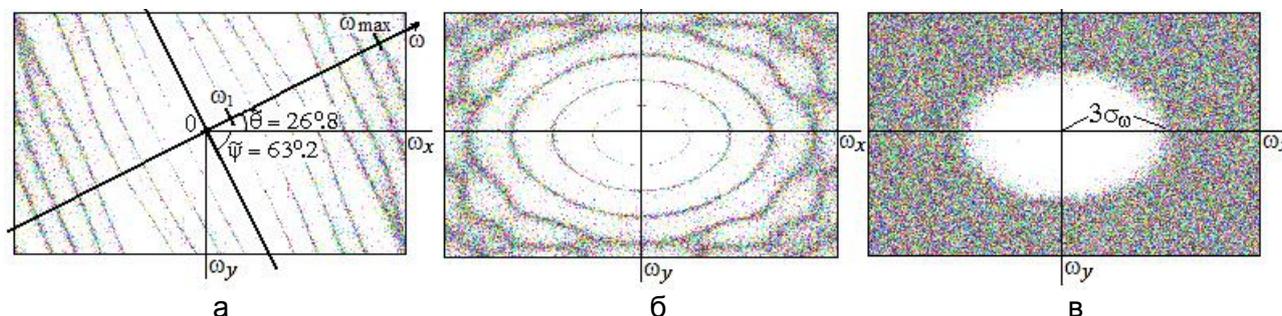


Рис. 2. Модули спектров  $|G(\omega_x, \omega_y)|$  от изображений  $g(x, y)$

Видим, что спектры существенно разные. Спектр на рис. 2, а, указывает, что на рис. 1, а, – смазанное изображение (см. (1) и (2)). Спектр на рис. 2, б, указывает, что на рис. 1, б – дефокусированное изображение, причем ФРТ – однородный диск (см. (3) и (4)). Спектр на рис. 2, в, указывает, что на рис. 1, в, – дефокусированное изображение, причем ФРТ – гауссиана (см. (3) и (5)). Такие типы спектров характерны для различных искаженных изображений [2].

Теперь остановимся на численных оценках параметров  $\Delta$ ,  $\theta$ ,  $\rho$ ,  $\sigma_r$  по спектрам рис. 2.

На рис. 2, а, проведем ось центрального квазиэллипса и перпендикулярно ей – ось  $\omega$ . Найдем угол  $\tilde{\theta}$  между горизонталью и осью  $\omega$  и угол  $\tilde{\psi} = 90^\circ - \tilde{\theta}$  (измеренные углы). Тогда  $\theta = 90^\circ - \psi$ , где [2]

$$\psi = \arctg\left(\frac{\text{tg}\tilde{\psi}}{r}\right), \quad (7)$$

причем  $\theta$  и  $\psi$  – истинные углы. Здесь  $r = M/N$ , где  $M$  – число строк, а  $N$  – число столбцов в изображении  $g$ . По рис. 2, а, по нескольким замерам определено:  $\theta = 17^\circ,52 \pm 0,15$ , что близко к точному значению угла смаза  $\theta = 17^\circ$ . Чтобы определить  $\Delta$ , измерим отношение  $\omega_{\max}/\omega_1$ , где  $\omega_1$  и  $\omega_{\max}$  – первый и последний нули спектра  $|G(\omega)|$  вдоль  $\omega$  (см. рис. 2, а). Тогда [2]

$$\Delta = 2 \frac{\omega_{\max}}{\omega_1}. \quad (8)$$

Получено в среднем по нескольким замерам:  $\Delta = 15,21 \pm 0,17$  пкс, что близко к точному значению  $\Delta = 15$ .

На рис. 2, б, спектр  $|G(\omega_x, \omega_y)|$  – набор эллипсов, причем [2]

$$\rho = 3,84/\omega_1, 7,02/\omega_2, 10,16/\omega_3, \dots, \quad (9)$$

где 3,84; 7,02; 10,16, ... – нули функции Бесселя 1-го рода, а  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$  – значения частот Найквиста (но не в пикселях), соответствующих каждой полуоси эллипса. В среднем получено:  $\rho = 4,97 \pm 0,07$ , что близко к точному значению  $\rho = 5$ .

На рис. 2, в, спектр  $|G(\omega_x, \omega_y)|$  – 2-мерная гауссиана, как и ФРТ (5). Для оценки  $\sigma_r$  используем правило «трех сигм» [2]. Оценим по рис. 2, в значение  $3\sigma_\omega$  (где  $G(\omega) \approx 0$ ). Тогда [2]

$$\sigma_r = \frac{3 [N/2]}{\pi [3\sigma_\omega]}, \quad (10)$$

где  $[\cdot]$  означает ближайшее целое в пикселях. Получено в среднем:  $\sigma_r = 1,96 \pm 0,05$  пкс, что близко к точному  $\sigma_r = 2$  пкс.

На рис. 3, а, – результат устранения смаза путем решения ИУ (1), а на рис. 3, б, в, – результаты устранения дефокусирования путем решения ИУ (3) методами ПФРТ и ПФВ (подробности – в [2]), причем значения  $\Delta$ ,  $\theta$ ,  $\rho$ ,  $\sigma_r$  определены спектральным методом.



Рис. 3. Устранение смаза (а) и дефокусирования: для ФРТ (4) (б); для ФРТ (5) (в)

**Фильтрация шума.** На рис. 3 восстановилось не только изображение, но и шум. Видим, что это импульсный шум. На рис. 4 – результат устранения шума медианным фильтром.



Рис. 4. Результаты устранения биполярного импульсного шума медианным фильтром

Сравнение мелких деталей в красных кружках на рис. 1 и 4 показывает повышение разрешения снимков за счет их математико-компьютерной обработки.

**Заключение.** Выполнено восстановление искаженных космических снимков земной поверхности путем использования спектрального метода определения параметров искажений и решения интегральных уравнений. В данной работе и в работе [2] обработаны разные снимки, но одинаковых размеров и параметров искажений. Сравнение показало, что спектры и качество обработки (рис. 2 и 4 в обеих работах) не зависят от типа снимков.

### **Литература**

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
2. Сизиков В.С., Степанов А.В., Меженин А.В., Бурлов Д.И., Экземпляров Р.А. Определение параметров искажений изображений спектральным способом в задаче обработки снимков поверхности Земли, полученных со спутников и самолетов // Оптический журнал. – 2018. – Т. 85. – № 4. – С. 19–27.

**Солодкова Виолетта Николаевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № Р4170Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: violetta.solodkova@gmail.com

**Смолин Артем Александрович**

Год рождения: 1977

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
к.философ.н.

e-mail: artikus@inbox.ru

**УДК 7.067****ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА СОВРЕМЕННЫЙ МУЗЕЙ И ВОСПРИЯТИЕ  
ПРОИЗВЕДЕНИЙ ИСКУССТВА****Солодкова В.Н., Смолин А.А.****Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

В работе рассмотрены вопросы, связанные с влиянием социальных сетей и сети Интернет на современный музей и восприятие произведений искусства.

**Ключевые слова:** восприятие искусства, социальные сети, современный музей.

С появлением Интернета и социальных сетей многие жизненные процессы претерпели изменения, в том числе и в сфере искусства. Информационное поле, окружающее произведения искусства и музей, стало более широким и доступным любому пользователю глобальной сети. Исходя из этого, вопросы, связанные с восприятием искусства и музея как института в эпоху Интернета и социальных сетей являются актуальными для изучения [1–4].

Для дальнейшего исследования рассмотрим следующий пример. Музей Соломона Гуггенхайма в Нью-Йорке согласно Google Sightsmap (карта популярных достопримечательностей в мире) является одной из самых фотографируемых достопримечательностей в мире. На рисунке представлена фотография интерьера музея в 2013 году во время выставки «Свет и Пространство» художника Джеймса Таррелла.



Рисунок. Выставка Джеймса Таррелла в музее Соломона Гуггенхайма

Художник настоял, чтобы посетители не делали фотографий пространства выставки, Таррелл считал что фотографии не смогут передать зрителю настоящего переживания искусства, которое можно получить, находясь вживую в музее. Художник не хотел, чтобы любые светящиеся экраны мобильных устройств воспрепятствовали посетителям восприятию выставки «Света и Пространства».

Тем не менее, результаты масс-медиа кампании, проведенной музеем, показали противоположную реакцию посетителей: более пяти тысяч фотографий выставки были опубликованы в социальной сети Инстаграмм.

Данный пример наглядно показывает поведение посетителей музея в век Интернета: посетители теперь хотят не только смотреть на объекты искусства, но и делать фотографии этих объектов, чтобы делиться ими с друзьями через социальные сети. Именно создание и распространение цифровых репродукций объектов искусства в век Интернета изменило привычный опыт восприятия человеком искусства.

Посетители музея фотографируют не только произведения искусства и делятся ими в социальных сетях, но также делают фотографии себя самих на фоне этих произведений. В эпоху аналоговых фотографий снимки произведений искусства несли посыл «Это то, что я видел». В эпоху цифровых фотографий посыл поменялся на «Я был там. Я это видел. Я запечатлел себя там».

Люди делают вклад в цифровую экономику путем выкладывания фотографий в социальные сети. Чем больше контента пользователи Интернета выкладывают в сеть, тем более значимым становится его ценность. Причина, по которой люди делятся контентом в Интернете, заключается в том, что социальные сети основываются на идее позитивного подкрепления. Появление новых лайков, комментариев и подписчиков выбрасывает дозу серотонина, гормона счастья в человеческом мозгу. Чем больше контента пользователь распространяет в Интернете, тем более зависимым он становится от гормона счастья. В этой связи зависимость от социальных сетей является реальным глобальным феноменом, оказывающим влияние на пользователей Интернета.

Согласно исследованиям американского исследовательского центра Pew Research Center 74% пользователей Интернета зарегистрированы в социальных сетях. Число пользователей социальной сети Facebook превысило население Китая и Индии. А количество пользователей сети Инстаграмм приближается к численности населения США.

Среди всех пользователей интернета, 54% выкладывают в социальные сети фотографии и видео, которые они сделали самостоятельно. Лишь только в самом Инстаграмме 70 миллионов новых фотографий пользователи выкладывают ежедневно.

Существует мнение, что из-за бесконтрольного появления таких цифровых репродукций произведений искусства, пользователь Интернета перестает посещать музей. Действительно между восприятием картин, находящихся в музее, и их репродукций в Интернете существует существенная разница.

В течение многих веков музеи оказывали огромное влияние, являлись авторитетом в области интерпретации искусства, художников и всего интеллектуального контента, окружающего любое произведение искусства. Музеи являлись последней культурной инстанцией, которая могла посвятить свои ресурсы на огромное количество исследований. Интернет же сегодня является каналом двухпоточного вещания: каждый пользователь может не только найти любую доступную информацию, но и добавить в сеть свою – загрузить фотографию, отредактировать статью на Википедии. Музеи пользовались доверием наряду со словарями и энциклопедиями. В современном мире доверием среди пользователей Интернета пользуются поисковые системы (Google, Yandex).

В момент, когда человек пытается найти в поисковой системе определенное произведение искусства из классической цепочки восприятия искусства, пропадает важное звено – музей. Если вбить в строке поиска Google название картины Винсента Ван Гога «Звездная ночь» (оригинал находится в МоМА – Музее современного искусства в Нью-

Йорке), ни один из найденных результатов, расположенных в топе, не приводит к веб-сайту музея МоМА.

Данный пример наглядно иллюстрирует ситуацию, в которой музей наряду с бумажной энциклопедией не является экспертом для рядового пользователя Интернета. Тем не менее, музей может приобрести авторитет в глазах пользователей путем открытия доступа к фотографированию и публикации этого контента в сети.

Цифровое представление музея через социальные сети не сможет заменить физического опыта присутствия в пространстве музея. Возвращаясь к выставке «Свет и Пространство» Джеймса Таррелла, фотографии которой попали в сеть несмотря на запрет художника. Более 420 тысяч посетителей пришли в музей для того, чтобы увидеть эту работу вживую, получить свой собственный уникальный опыт, после того, как увидели фотографии этой выставки в Инстаграмме.

Старые бизнес-модели в культурных индустриях – журналистике, публицистике, музыке, кинопроизводстве – не находят своего применения в условиях стремительного развития современных технологий и Интернета в том числе. Новые бизнес-модели в этих индустриях основываются на свободном доступе к информации.

Благодаря Интернету человечество получило беспрецедентный доступ к искусству. Роль музея онлайн состоит в бесплатном предоставлении доступа к информации об искусстве. Открывая доступ к информации, музей открывает визуальную грамотность, дискурс искусства, который сам может направлять.

Современные искусствоведы предполагают, что в ближайшее время оцифровка произведения искусства приведет к дематериализации его физического объекта и превращению его в объект социальный, определяемый информационным полем, созданным вокруг него. Первичное взаимодействие человека с произведением искусства будет осуществляться цифровым путем – онлайн в Интернете.

Музеи существуют, чтобы предавать контекст произведениям искусства, которые повествуют о людях, культурах, событиях. Будущее музеев заключается в цифровом сторителлинге – грамотном использовании цифровых устройств для расширения информационного поля предметов искусства.

### Литература

1. Medic S., Pavlovic N. Mobile Technologies in Museum Exhibitions // Turizam. – 2014. – V. 18. – P. 166–174.
2. Knudson D., Cable T., Beck L. Interpretation of Cultural and Natural Resources. – State College, PA: Venture Publishing Inc, 2003.
3. Калинина Л., Пролеткин И., Шпак М. Влияние информационных технологий на развитие музеев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.aselibrary.ru/datadocs/doc\\_572go.pdf](http://www.aselibrary.ru/datadocs/doc_572go.pdf), своб.
4. Макаров Д.В., Шутова О.В. Внедрение технологий и новых приемов в культуры работы современного музея // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – P. 783.



**Таборко Мария Александровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4272

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: taborkomaria@gmail.com

**УДК 004.5**

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ LEARNABILITY МУЛЬТИПЛИКАЦИОННОГО  
РЕДАКТОРА**

**Таборко М.А.**

**Научный руководитель – к.педагог.н. Локалов В.А.**

В работе было исследовано применение принципа многослойного интерфейса при проектировании интерфейса мультипликационного редактора.

**Ключевые слова:** человеко-машинное взаимодействие, многослойный интерфейс, learnability.

Мультипликация представляет собой составную область. Необходимо разбираться сразу во многих вещах: компьютерная графика, анимация, монтаж звука, видео. В этой связи пользователи сталкиваются сразу с рядом проблем при начале обучения мультипликации. В каждой сфере есть своя первая задача, которая позволит, выполнив пару действий, сразу увидеть какой-то результат. Так человек не потеряет мотивацию и интерес к изучению данной области. Этот параметр особенно актуален, если пользователем является ребенок, поскольку, чем младше пользователи, тем меньше вероятность, что они захотят потратить время на изучение технологии. Но начав изучение мультипликации, человек мог до этого не изучать компьютерную графику и никогда не сталкиваться с анимацией. Тогда увидев интерфейс современного профессионального редактора пользователь, скорее всего, растеряется и потратит много времени на изучение интерфейса, что сильно замедлит выполнение задачи [1–3].

Сейчас существуют два подхода решения данной проблемы. Первым является использование на первых этапах изучения специализированных детских редакторов, которые обладают уменьшенным набором функций и упрощенным интерфейсом. Недостатком данного метода является то, что по мере того как пользователь перейдет к сложным задачам, ему придется сменить используемый инструмент, потому что он не предоставляет необходимых функций. Но интерфейс детских и профессиональных редакторов слишком отличаются друг от друга (расположением инструментов и элементов управления, различаются и сами инструменты, и способы взаимодействия с объектами) и пользователям будет сложно адаптироваться, когда они откроют второй интерфейс. Исходя из этого, время, потраченное на изучение детского редактора, можно считать потраченным впустую, потому что хоть оно и дает быстрый старт при начале изучения, оно не позволяет сразу перейти к использованию другого средства.

Второй подход заключается в использовании сразу профессиональных редакторов, в данном случае, сильно увеличивается время выполнения заданий на начальных этапах обучения, большой объем инструментов рассеивает внимание пользователя. А также уровень абстракции элементов не совпадает с уровнем использования этого инструмента учеником.

Возможным решением данной проблемы является использование концепции многоуровневого интерфейса при разработке мультипликационного редактора, направленного на обучение, и рассчитанного на дальнейшее использование профессиональных средств.

Многоуровневые интерфейсы были первоначально разработаны для обеспечения универсального использования приложения и позволяют пользователям (новичкам, любителям, экспертам) эффективно использовать интерфейс, несмотря на физические особенности и уровень навыков. Такие интерфейсы обеспечивают разные типы использования приложения (от самого простого до самого сложного варианта использования), благодаря переопределению функций системы и адаптации визуальной составляющей под навыки и уровень пользователя. Данный интерфейс позволяет пользователю постепенно повышать эффективность использования программного обеспечения, сохраняя при этом постоянный контроль над ним. Новый уровень интерфейса вводится только тогда, когда он необходим для поддержки более сложных задач.

Один из важнейших вопросов при построении такого типа интерфейса является – как избежать резких изменений в эволюции приложения?

Если приложение содержит только, например, два слоя, данный подход обычно становится неэффективным. В относительно обширном приложении разница между первым и вторым уровнями будет давать слишком большие изменения для пользователя. Для разрабатываемого редактора были созданы прототипы разных уровней интерфейса. Полученный интерфейс многослойного редактора представлен на рис. 1, а, и рис. 2, а.

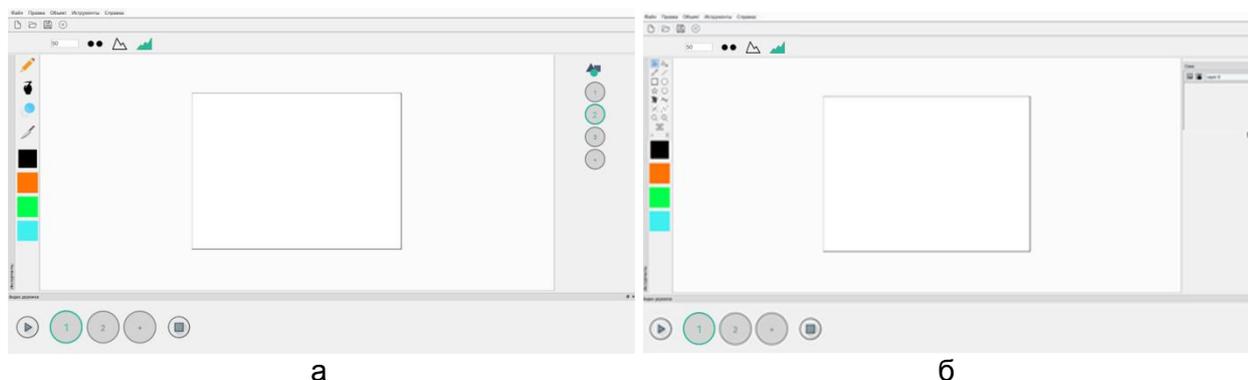


Рис. 1. Первый слой интерфейса мультипликационного редактора (а); один из возможных промежуточных слоев интерфейса мультипликационного редактора (б)

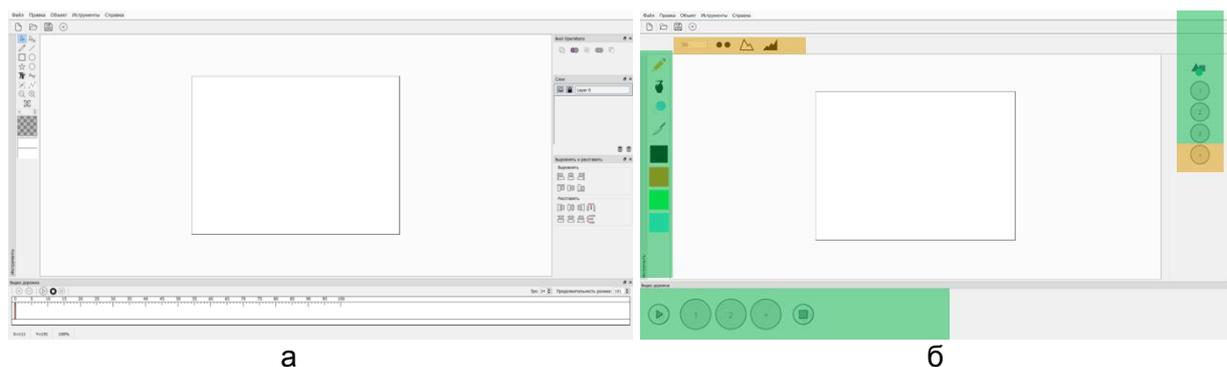


Рис. 2. Последний слой интерфейса мультипликационного редактора (а); соответствие расположения элементов с ожиданиями респондентов (б)

Для проверки насколько резкий получается переход между уровнями интерфейса, а также насколько средство подходит для дальнейшей цели – переход на использование профессиональных средств после обучения, был проведен эксперимент, респондентами которого являются люди, знакомые с профессиональными средствами. Им было предложено выполнить задание на одном из начальных уровней интерфейса разрабатываемого редактора, чтобы узнать, где они ожидают увидеть те или иные инструменты, элементы, настройки. После анализа полученных данных было выявлено, что хоть внешний вид инструментов отличается, их расположение совпадает с ожиданиями респондентов. Результат эксперимента представлен на рис. 2, б.

**Литература**

1. Hourcade J.P. Child-Computer Interaction // CreateSpace Independent Publishing Platform. – 2015. – P. 2–36.
2. Merlin B., Hurter C., Benhacene R. A solution to interface evolution issues: the multi-layer interface // Proceedings of CHI 2008, 26th CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2008. – P. 2716–2720.
3. Shneiderman B. Promoting universal usability with multi-layer interface design // Proceedings of the 2003 conference on Universal usability. – 2003. – P. 1–9.

**Устинова Алиса Игоревна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет компьютерных технологий и управления, кафедра графических технологий, студент группы № Р4270

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: alisa\_ustinova@mail.ru

**Игнатов Павел Вячеславович**

Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов, факультет искусств, кафедра режиссуры мультимедиа,

к.иск., доцент

e-mail: soundline@fromru.com

УДК 534-42

**БИНАУРАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ БИНАУРАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ****Устинова А.И.** (Университет ИТМО), **Игнатов П.В.** (Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов)**Научный руководитель – к.иск., доцент Игнатов П.В.** (Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов)

В работе рассмотрены наиболее перспективные и актуальные технологии в области синтеза бинаурального звука и особенности их применения для видео 360 и виртуальной реальности. Также проведено исследование того, насколько слушатели способны отличить бинауральную запись, сделанную на бинауральную стереопару, и бинауральную запись, синтезированную из монофонической путем бинаурального синтеза.

**Ключевые слова:** бинауральный синтез, бинауральная звукозапись, видео 360, виртуальная реальность, аудиовизуальное искусство.

Бинауральный звук (в некоторых случаях 3D-звук) – учитывает разницу по времени прихода сигналов на левое и правое ухо, разность по интенсивности между левым и правым ухом, а также их спектральную разницу. Такой звук воспринимается человеком как наиболее реалистичный и правдоподобный, так как учитывает особенности слухового восприятия и может быть получен путем записи на специальную микрофонную систему – бинауральную стереопару (иногда называют искусственной головой), либо путем бинаурального синтеза [1].

Основой бинаурального синтеза является компьютерная обработка исходного моно, стереофонического или многоканального сигнала от звукового источника фильтрами, которые моделируют передаточные функции головы (HRTF) для левого и правого уха. HRTF определяется как отношение давления, измеренного внутри слухового канала на левом PL и правом PR ухе к давлению P0, измеренному в свободном поле в точке, соответствующей центру головы (при ее отсутствии):

$$H_L = \frac{P_L(r, \varphi, \theta, f, a)}{P_0(r, f)}, \quad H_R = \frac{P_R(r, \varphi, \theta, f, a)}{P_0(r, f)}. \quad (1)$$

Передаточные функции HL и HR зависят от угла падения звукового сигнала в горизонтальной –  $\varphi$  и вертикальной плоскости –  $\theta$ , от расстояния до источника –  $r$ , от частоты –  $f$ , индивидуальных анатомических особенностей – коэффициента  $a$  [2, 3].

Также передаточные функции могут быть получены из импульсных характеристик (HRIR) через преобразование Фурье [4].

В настоящее время разработано уже достаточно большое количество программного обеспечения, которое способно из различных видов аудиозаписей (моно, стерео, амбисоник и др.) путем математических алгоритмов синтезировать бинауральный звук. И это еще один шаг на пути к созданию максимально убедительной реальности в виртуальном пространстве. Основными пользователями таких программ являются звукорежиссеры и саунд-дизайнеры.

Известно, что не всегда математические модели и алгоритмы способны в точности передать то, что происходит в реальности. Возможно, это касается и бинаурального синтеза, ведь одно дело – звук, записанный на бинауральную стереопару, которая физически учитывает особенности слухового восприятия благодаря своей конструкции, а другое дело – звук, записанный на обычный микрофон или стереопару, а затем пропущенный через систему фильтров на компьютере. Однако ощутит ли обычный пользователь, не имеющий специальной тренированности слуха разницу? А профессиональный? Данная работа направлена на то, чтобы это определить.

Для начала были получены три аудиозаписи: монофоническая (записанная на петличный микрофон, рис. 1, а), бинауральная-1 (записанная на бинауральную стереопару, рис. 1, б) и бинауральная-2 (синтезированная из монофонической).



Рис. 1. Петличный микрофон Aputure A.Lav lavalier (а); микрофон 3Dio Free Space (б)

В качестве материала для записи было решено использовать стихотворение У.Б. Йейтса «Кот и луна» в прочтении автора данной работы. Чтобы респонденты смогли оценить пространственную передачу звука, было решено, что диктор в процессе записи будет перемещаться по определенной траектории, которая будет включать в себя перемещения в горизонтальной плоскости, вертикальной плоскости и по глубине. Для упрощения задачи диктору каждая строчка стихотворения была сопоставлена с одним перемещением или фиксированным положением, всего строк в стихотворении 28, что отмечено на рис. 2.

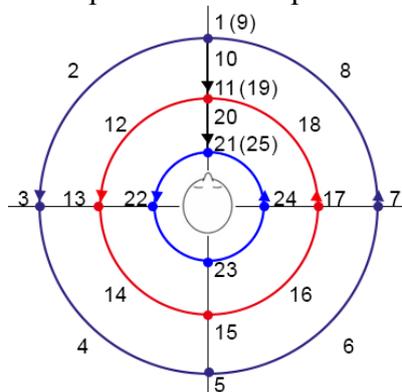


Рис. 2. Траектория перемещения диктора в горизонтальной плоскости, сопоставленная со строками стихотворения

Бинауральный синтез осуществлялся в DAW REAPER 5.4 с помощью плагина DearVR. При записи на бинауральную стереопару источник звука перемещался в трех плоскостях относительно нее: по вертикали, горизонтали и глубине. DearVR позволил в точности восстановить эту траекторию движения и применить ее к монофонической записи.

Далее был сформирован опрос, в котором респондентам было предложено ответить на 6 вопросов, часть из которых была направлена на получение необходимой информации о самих респондентах, а часть содержала вопросы касательно восприятия предложенных аудиозаписей. Предлагалось оценить ощущение перемещения источника звука по вертикали, горизонтали и глубине, а также попытаться определить траекторию движения источника звука (таблица). Аудиозаписи предлагались к прослушиванию исключительно в наушниках.

На данный момент в опросе приняло участие 25 респондентов в возрасте от 18 до 63 лет: 84% – от 18 до 30 лет, 4% от 31 до 41 года, 8% от 42 до 52 двух лет и 4% от 53 до 63 лет. Это хороший показатель, так как именно у молодежи наблюдается наибольшая острота и чувствительность слуха, которая с возрастом постепенно теряется.

76% респондентов оценили свой опыт взаимодействия со звуком как любительский, соответственно 24% отнесли себя к профессиональной категории. Наличие профессионалов среди респондентов делает выборку разноплановой, однако, 24% – это недостаточно, чтобы сравнить субъективное восприятие бинауральных фонограмм у профессионалов и любителей, хотя изначально это планировалось.

В качестве первичной обработки данных будем считать получение средней арифметической оценки для каждой записи.

Таблица. Результаты обработки данных

	Запись А (бинауральная запись)	Запись Б (монофоническая запись)	Запись В (бинауральная запись, синтезированная из моно)
По горизонтали	4	1,63	3,63
По вертикали	2,27	1,63	1,77
По глубине	4,77	1,77	2,77
Суммарная оценка	3,46	2,08	2,72

**Вывод:** при перемещении источника звука по горизонтали обе бинауральные записи были оценены выше монофонической записи-оригинала, при перемещении источника звука по вертикали обе бинауральные записи были оценены выше монофонической записи-оригинала, при перемещении источника звука по глубине обе бинауральные записи были оценены выше монофонической записи-оригинала. Однако между собой обе бинауральные записи были оценены примерно одинаково, что говорит о том, что технология бинаурального синтеза не уступает по реалистичности записи на бинауральную стереопару.

### Литература

1. Иванов Ю.М., Алдошина И.А., Игнатов П.В. Трансауральная стереофония и основы бинаурального синтеза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17469>, своб.
2. Bosun Xie. Head-Related Transfer Function and Virtual Auditory Display. – USA: J. Ross Publishing, 2013. – 505 с.
3. Игнатов П.В., Иванов Ю.М., Алдошина И.А. Бинауральная стереофония на современном этапе развития бинауральных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://science-education.ru/pdf/2015/1/203.pdf>, своб.
4. HRTF Measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html> (дата обращения: 24.06.2017).



**Филиппова Анна Станиславовна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № Р4272

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: philippovaann@gmail.com

**УДК 004.584**

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ЧАТ-БОТАМИ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Филиппова А.С.**

**Научный руководитель – к.философ.н. Смолин А.А.**

Работа была нацелена на разработку кроссплатформенного виртуального помощника (чат-бота), использование которого позволит частично автоматизировать деятельность приемной комиссии в Университетах.

**Ключевые слова:** виртуальный собеседник, чат-бот, мессенджеры.

По данным ICEF [1], сегодня во всем мире более 5 миллионов студентов получают образование за границей. И согласно статистике, в год общее количество студентов, учащихся за рубежом, во всем мире увеличивается примерно на 8%. Сегодня за границей получает образование более 56 тыс. студентов из России, что составляет 1,5% от общемирового количества. По сравнению с данными 2012 года количество студентов, уехавших учиться в другие страны, выросло на 6 тысяч.

Из статистических данных мы видим, что из года в год университеты по всему миру все больше принимают иностранных студентов, что подразумевает увеличение нагрузки с точки зрения поддержки ведения процесса их поступления на членов приемных комиссий.

Идея интерактивизации часто задаваемых вопросов (или FAQ) всегда являлась актуальной для любого публичного сервиса. Больше всего от повторяющейся рутины страдают структуры с высокой степенью бюрократии. В нашем случае – приемные комиссии в университетах. В связи с упрощением процесса подачи документов и приема таковых в электронном виде, это привело к сильному увеличению потока обрабатываемых данных. В том числе повторяющихся вопросов абитуриентов. В связи с этим создание автоматической редактируемой системы фильтрации поступающих данных является необходимым для эффективной работы.

Цель работы – абитуриенты, общаясь с ботом университета, имитирующего беседу с членом приемной комиссии, снизят количество входящих вопросов непосредственно сотрудникам и будут моментально получать актуальную информацию.

Для достижения результата необходимо сначала определить наиболее вероятные сценарии взаимодействия, включающие в себя вопросы, которые пользователи будут задавать, а также понять, как именно они будут их задавать. Для этого на первом этапе было просмотрено около тысячи вопросов в разделах (FAQ) десяти иностранных вузов. После чего было выделено более трехсот основных вопросов, разделенных по тематикам, которые вскоре дополнили ответами на основе материалов Университета Swiss Education Group.

Для тестирования получившегося дерева вопросов и ответов был написан тестовый виртуальный собеседник. Данный этап включал в себя следующие задачи: разработка API, внедрение команд, подключение к API, регистрация бота в мессенджере и настройка параметров. Полученные результаты позволили скорректировать сценарии взаимодействия и имеющиеся алгоритмы.

Исполнение предыдущего шага требовало использование платформы для создания диалогового интерфейса. Проведя обзор более двадцати существующих на рынке предложений было принято решение использовать в проекте Dialogflow. Важными особенностями данной системы являются: инструменты понимания естественного языка, помогающие создавать уникальные сценарии диалогов и анализировать взаимодействие с пользователями, машинное обучение, позволяющее постоянно совершенствовать приложение, поддержка четырнадцати языков, включая русский.

К сожалению, современные виртуальные собеседники лишь частично решают вопрос имитации разговора человека. Основу их функционирования составляет база знаний. В простейшем случае она содержит наборы возможных вопросов пользователя и соответствующих ответов на них. Наиболее распространенные методы выбора ответов в данном случае следующие: реакция на ключевые слова. В таких случаях программы анализируют предыдущие фразы пользователя и выбирают наиболее приемлемый ответ [2].

Первый этап тестирования виртуального собеседника позволил расширить список имеющихся вопросов, задаваемых пользователем и улучшил качество ответов. Также это дало направление в написание сценариев с целью реализации пользовательского меню, которое задает тон общения с чат-ботом и в доступной форме предоставляет ответы на самые популярные запросы пользователя.

Дальнейшая работа предполагает усовершенствование дерева вопросов-ответов при помощи тестирований и обучения виртуального собеседника, реализацию пользовательского меню, адаптацию созданных принципов для создания кроссплатформенной системы. Несмотря на то, что продукт еще находится в стадии разработки, он уже покрывает 70% запросов пользователей.

### **Литература**

1. Статистика международных студентов в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uis.unesco.org/>, своб.
2. Проватар А.И., Клочко К.А. Особенности и проблемы виртуального общения с помощью чат-ботов // Научные труды Винницкого национального технического университета. – 2013. – № 3. – С. 2.



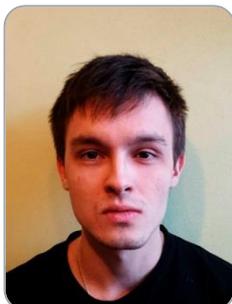
**Ханило Вячеслав Александрович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, студент группы № Р4272

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: khamiloslava@yandex.ru



**Дюльдин Кирилл Сергеевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, студент группы № Р4272

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: dyuldin\_kirill@mail.ru



**Миронов Андрей Сергеевич**

Год рождения: 1969

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, тьютор

e-mail: mr\_blum@mail.ru

**УДК 004.5**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ОБРАБОТКИ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Ханило В.А., Дюльдин К.С., Миронов А.С.**

**Научный руководитель – к.педагог.н., доцент Локалов В.А.**

В работе рассмотрен способ автоматизации процессов сбора и обработки организационно-управленческой информации для системы общего образования путем создания централизованной информационной системы. Произведена теоретическая оценка эффективности процессов до и после автоматизации по критериям длительности и количества ошибок.

**Ключевые слова:** автоматизация процессов, система образования, автоматизированная система, информационные технологии, человеко-машинное взаимодействие.

В то время как общеобразовательные учреждения занимаются реализацией образовательных программ, районные информационно-методические центры ведут непрерывный мониторинг системы образования. Мониторинг системы образования представляет собой систематическое наблюдение за состоянием и условиями осуществления образования, контингентом обучающихся, учебными достижениями обучающихся, профессиональными достижениями выпускников [1]. Данный процесс необходим для повышения качества государственных образовательных стандартов и, как следствие, повышения качества самой системы образования.

Наиболее трудоемкими этапами процесса являются сбор и первичная обработка данных. По данным информационно-методического центра Московского района Санкт-Петербурга (ИМЦ) в среднем годовая циклограмма мониторинговых запросов составляет

около 300 единиц, что при количестве 114 учебных учреждений в районе влечет до 34200 взаимодействий с целью сбора данных [2]. При таком количестве повторений одного и того же процесса становится актуальным поиск способов его автоматизации.

Для выявления возможностей для автоматизации был проведен анализ существующего процесса сбора и первичной обработки данных, построена модель (рис. 1), а также произведена декомпозиция крупных подпроцессов на ручные действия.

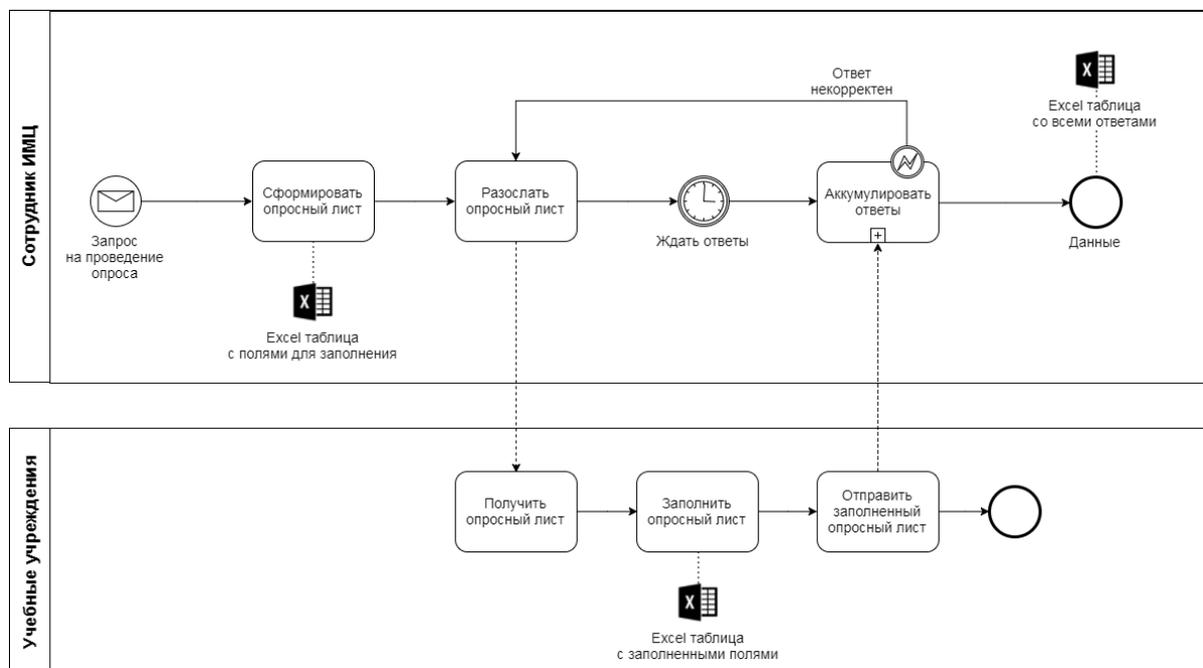


Рис. 1. Диаграмма процесса сбора данных в настоящий момент

Формирование перечня запрашиваемых данных происходит путем создания электронной таблицы в Microsoft Excel. С помощью электронной рассылки файлы с таблицами для заполнения доставляются до учебных учреждений, откуда после заполнения необходимыми данными отправляются в ИМЦ. Каждая полученная таблица с данными проверяется на корректность предоставленных данных, и в случае прохождения проверки вручную сливается в единую таблицу. Результирующие данные передаются методистам для проведения анализа и написания методических рекомендаций.

Для автоматизации процесса предлагается разработать и внедрить специализированную информационную систему со следующим функционалом:

- наличие централизованной базы данных для хранения данных по мониторингам;
- предоставление интерфейса для взаимодействия респондента и базы данных в виде опросного листа;
- инструменты для формирования и управления опросными листами;
- проверка правильности заполнения полей на основе заданных пользователем правил проверки;
- предоставление доступа респонденту к заполнению опросного листа;
- автоматическое оповещение респондентов о предоставлении доступа на заполнение с помощью почтового сервиса;
- инструменты для отображения и работы с собранными данными, их выгрузки в виде электронных таблиц Microsoft Excel.

Внедрение информационной системы с представленным функционалом призвано автоматизировать процессы взаимодействия пользователя с почтовым сервисом и ручную аккумуляцию данных из множества файлов, а также заменить программный комплекс Microsoft Excel более специализированным средством для создания опросных форм.

На рис. 2 представлена модель процесса сбора данных с использованием такой информационной системы.

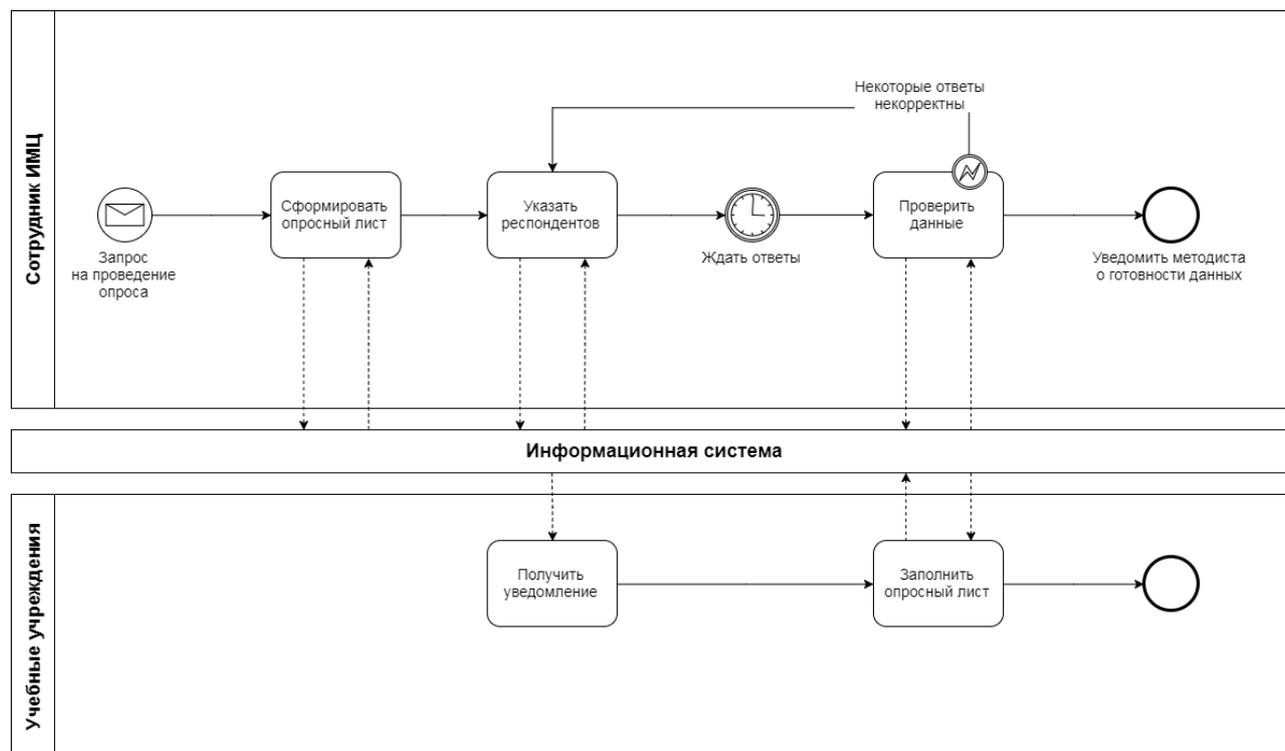


Рис. 2. Диаграмма процесса сбора данных после автоматизации

На основе представленных моделей и декомпозиции основных этапов на ручные действия была проведена теоретическая оценка эффективности на основе критериев длительности и количества возможных ошибок. По результатам оценок с помощью автоматизации общую длительность процесса можно сократить примерно в 3 раза с 60 мин до 21 мин, а количество возможных ошибок примерно в 6 раз с 464 до 82 возможных ошибок.

Таким образом, автоматизация процессов сбора и обработки данных позволит существенно сократить длительность процесса и повысить эффективность труда: отвлечь пользователя от рутинных операций и предоставить возможность квалифицированно выполнять методическую работу [3]. В дальнейшем планируется разработка информационной системы с представленным функционалом и ее внедрение в рабочий процесс информационно-методического центра.

### Литература

1. Мониторинг системы образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://минобрнауки.рф/проекты/мониторинг-системы-образования>, своб.
2. Публичный отчет ГБУ ДППО ЦПКС ИМЦ Московского района Санкт-Петербурга за 2017 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://imc-mosk.ru/verxnee-menu/svedeniya-ob-imcz/dokumenty.html>, своб.
3. Хлевная Е.А., Гарнов А.П. Модернизация бизнес-процессов организации // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2011. – № 6. – С. 4–11.

**Хромов Артем Андреевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра графических технологий,  
студент группы № P4272Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы  
и технологии

e-mail: ya.peacemaker@yandex.ru

УДК 004.4

**ДИАГНОСТИКА ТИПОВЫХ ОШИБОК УЧАЩИХСЯ, ВОЗНИКАЮЩИХ  
В ПРОЦЕССЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ****Хромов А.А.****Научный руководитель – к.педагог.н. Локалов В.А.**

В работе были рассмотрены способы диагностики ошибок учащихся, возникающих в процессе решения задач по программированию.

**Ключевые слова:** синтаксическая ошибка, семантическая ошибка, программирование.

При обучении программированию для преподавателя важно иметь возможность отследить то, какие действия предпринимает учащийся на различных этапах решения задачи, чтобы оценить уровень полученных знаний и владение материалом [1].

При анализе конечного результата решения задачи по программированию нельзя в полной мере оценить такие факторы как:

1. ход рассуждения при решении задачи;
2. действия, принимаемые учащимся при возникновении затруднений;
3. ошибки, исправленные путем компиляции исходного кода в процессе решения задачи.

Полная оценка сформированности понятий у учащихся, занимающихся программированием, позволяет преподавателю лучше построить процесс обучения [1].

В рамках работы были выдвинуты следующие гипотезы:

1. типовые ошибки учащихся, изучающих программирование, можно представить в виде структурированных моделей, отражающих последовательность действий, которые приводят к возникновению ошибки;
2. построенные модели ошибок позволят автоматизировать процесс анализа алгоритма решения поставленной задачи.

Для доказательства поставленных гипотез была поставлена задача – реализовать возможность воспроизведения последовательности действий, принимаемых по ходу решения задачи.

Для того чтобы записать последовательность действий учащихся и произвести дальнейшую их обработку, было разработано программное средство, решающее следующие задачи:

1. базовые функции среды разработки;
2. компиляция исходного кода программы;
3. запись действий учащегося в процессе решения поставленной задачи;
4. пошаговое воспроизведение сохраненной последовательности.

Под записываемым действием понимается следующее:

1. ввод одного символа;
2. удаление одного символа;
3. операция копирования;
4. операция выделения;
5. операция вставки;

6. операция компиляции исходного кода;
7. операция запуска скомпилированного кода.

В качестве основы была взята среда разработки программного обеспечения JEdit, исходный код которой находится в свободном доступе.

Интерфейс разработанного программного средства представлен на рисунке.

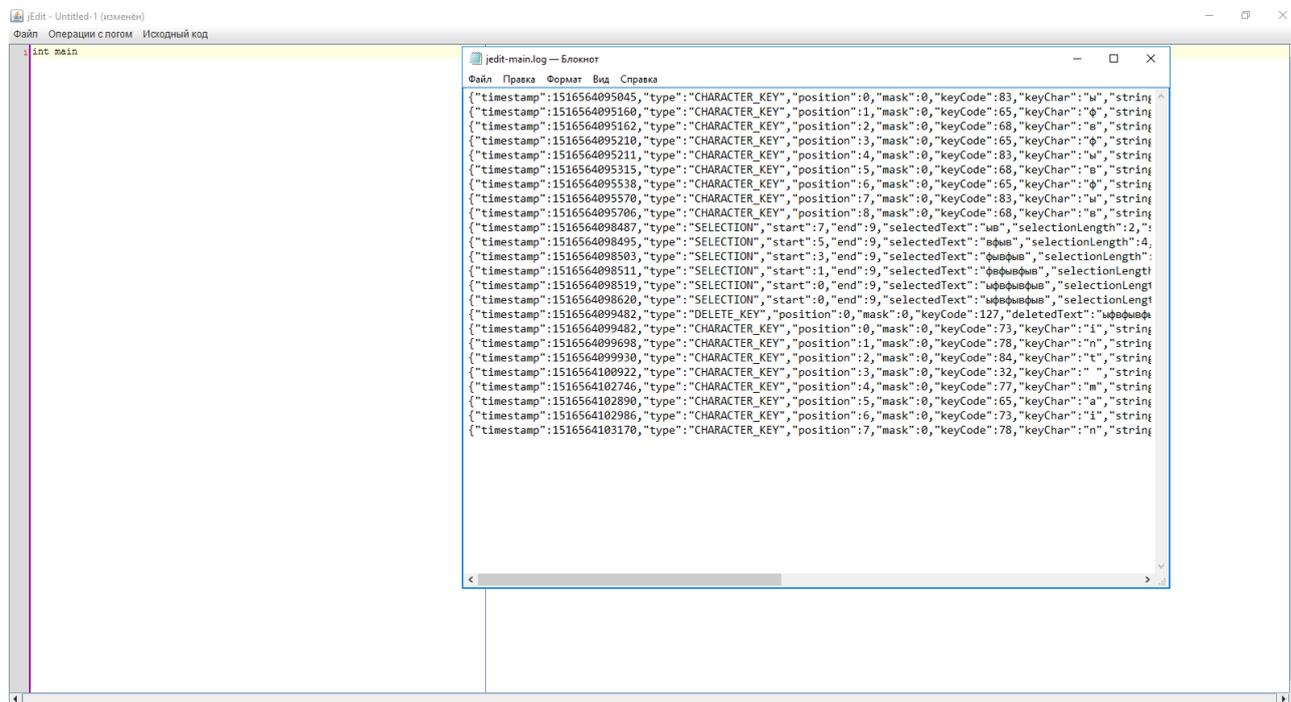


Рисунок. Интерфес программной среды разработки и пример записываемых данных

С целью получения исходных данных для дальнейшего определения ошибок был проведен эксперимент. Группе респондентов была предоставлена задача по программированию, решение которой было необходимо реализовать в разработанном программном средстве.

По результатам проведенного эксперимента удалось воспроизвести предоставленные решения поставленной задачи. Также был найден ряд синтаксических и семантических ошибок.

После того как возможность воспроизведения хода решения задача стала возможной, встал вопрос о том, как можно автоматизировать процесс поиска ошибок в предоставленном решении без непосредственного участия преподавателя. Записанные данные не подходят для автоматического определения ошибок, поскольку сохраненное действие содержит много лишней информации и не может быть выбрано как структурная единица алгоритма.

Одним из вариантов решения данной проблемы является проведение постобработки полученных в ходе эксперимента данных: за структурную единицу взять вызов метода, что позволит дифференцировать полученные результаты в структурные модели ошибок.

В качестве альтернативного варианта имеется возможность поэтапного анализа исходного кода, используя статический анализатор кода. Статический анализатор кода представляет исходный код программы в виде абстрактного синтаксического дерева. По построенной древовидной структуре имеется возможность поиска синтаксических и семантических ошибок. Помимо предоставленного набора ошибок, которые может определить статический анализатор кода, имеется возможность написания собственных правил для поиска ошибок.

Для использования инструмента статического анализа в рамках поставленной задачи необходимо определить этапы, на которых будет производиться запуск анализа. На этом

этапе предоставленное решение должно быть в состоянии промежуточной готовности, т.е. учащийся должен быть уверен в правильности своего решения. Если анализ исходного кода будет происходить на всех этапах решения задачи, то в результате будет найдено большое количество неверно определенных ошибок.

Если компилятор выдает сообщение об ошибке, то необходимо определить, является ли ошибка опечаткой либо результатом несформированного понятия. Для этого следует проанализировать действия, предпринятые для устранения ошибки. Если та же ошибка появляется при повторном запуске компиляции, то, вероятно, что это связано с непониманием материала.

Кроме того, на этапе компиляции также следует производить статический анализ предоставленного решения на наличие семантических ошибок, поскольку их компилятор определить не может.

На данном этапе работы были выделены следующие условные классификации ошибок:

1. по причине возникновения: ошибка, как следствие непонимания; опечатка;
2. по типу: синтаксическая; семантическая [2].

Важно понимать, что ошибки, относящиеся к разным типам, следует анализировать различными методами.

По найденным ошибкам и вариантам их исправления в полученных исходных данных возможно произвести классификацию. И на основании полученной классификации построить структурные модели ошибок, которые будут использованы для автоматизации поиска ошибок.

### **Литература**

1. Кнут Д. Искусство программирования. – М.: Вильямс, 2017. – Т. 1. – С. 230–413.
2. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования С. – М.: Вильямс, 2017. – 288 с.



**Акпаралиев Нурбек Акпаралиевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № Р4117

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия  
e-mail: n.akparaliyev@gmail.com



**Перл Иван Андреевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, к.т.н., доцент

e-mail: ivan.perl@corp.ifmo.ru



**Кузьмин Максим Павлович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, тьютор

e-mail: mpkuzmin@corp.ifmo.ru

**УДК 004.65**

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АНАЛИЗ TARANTOOL ДЛЯ РАЗРАБОТКИ БАЗЫ ДАННЫХ ХРАНЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Акпаралиев Н.А., Перл И.А., Кузьмин М.П.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Перл И.А.**

При создании программного продукта возникает вопрос о выборе базы данных. Это один из наиболее важных шагов при разработке приложения. Особенности проекта и его тематика будут определять, какая база данных лучше подойдет для приложения. В работе приведен сравнительный обзор различных баз данных.

**Ключевые слова:** базы данных, даталогическая модель, Tarantool, WAL, Snapshot.

**Введение.** Целью работы являлась разработка хранилища на основе Tarantool для облачной платформы InsightProject, которая систематизирует и анализирует проектные данные.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи:

1. исследовать современные высокоэффективные хранилища и сделать обоснованный выбор технического решения;
2. разработать хранилище, которое будет:
  - оптимально хранить широкий спектр проектных метрик;
  - удобен для хранения результатов и метрик, полученных в ходе комплексного мониторинга проекта;
  - обеспечивать быстрый доступ к данным при разноплановых многокритериальных запросах;
  - совместим с DSL (Domain Specific Language) запросами.

**Модель данных.** В ходе проектирования базы данных (БД) была спроектирована даталогическая модель для хранения данных с репозиториях (рисунок). Данная модель показывает основные сущности и связи между ними. Исходя из модели данных, при выборе БД следует учесть наличие таких вещей, как первичный ключ, внешний ключ, связи один к одному и один ко многим, многообразие типов данных. Для хранения проектной информации следует обратить внимания на скорость выполнения запросов базами данных, так как такая информация меняется очень часто.

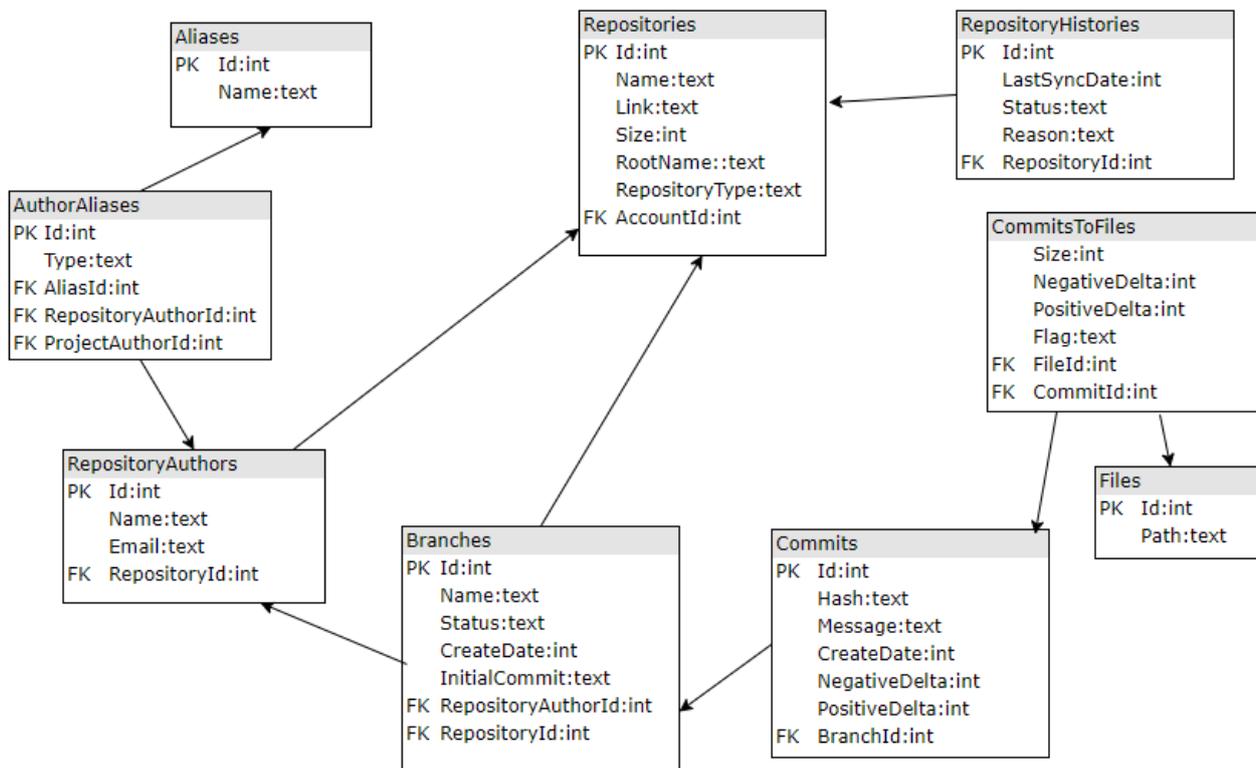


Рисунок. Даталогическая модель данных

**Сравнение баз данных.** Современные БД по способу хранения данных подразделяются на два типа:

1. дисковые БД;
2. in-memory БД.

Для хранения проектной информации выбор пал на in-memory БД по следующим причинам:

- in-memory БД намного быстрее на запись и чтение, чем дисковые, так как хранят данные в оперативной памяти, а не на физических носителях;
- многие дисковые БД работают через кэш, который тратит много ресурсов на выделение памяти для новых данных;
- при многочисленных запросах в дисковые БД происходят блокировки (мьютексы), что также замедляет любой запрос.

В ходе анализа in-memory БД была составлена сравнительная таблица. Tarantool опережает своих конкурентов многочисленным набором инструментов для манипулирования данными. На практике, при отсутствии некоторых инструментов в БД, приходится разрабатывать такие инструменты вручную, что влияет на потерю времени и эффективности в таких методах. К примеру, разработчики Redis создают вручную вторичные индексы, которые сложно поддерживать, а также они намного медленнее, чем вторичные индексы в Tarantool [1].

Таблица. Сравнение in-memory БД

Наименование базы данных	Вторичные индексы	Транзакции	Легковесные потоки	Хранимые процедуры	Композитные индексы	SQL-клиент	Протокол Memcached	Репликация
Tarantool	*	*	*	*	*	*	*(WAL,Snapshot)	*
Redis		*		*		*(alpha)	*(WAL,Snapshot)	*
Aerospike	*	*		*		*(AQL)	*	*
VoltDB		*		*	*	*	*(Command Log)	*

Tarantool – БД NoSQL, работающая на сервере приложений Lua. Основные характеристики:

- это очень быстрая in-memory БД;
- модель данных «ключ – структурированное значение»;
- каждое значение – это кортеж из произвольного количества полей;
- первый элемент кортежа – это первичный ключ, по которому осуществляется доступ ко всему кортежу;
- данные в памяти защищены логом транзакций и снапшотами на диске.

Чтение данных Tarantool осуществляет через оперативную память, а запись данных сопровождается записью в оперативную память, записью в лог транзакций (механизм WAL), снапшотами. Запись в лог транзакций осуществляется последовательно, которая достигает скорости 100 МБ в секунду, а на SSD – 250 МБ в секунду. Это делается для того, чтобы восстановить данные при перезапуске, падении сервера. Чтобы не накапливать огромный файл логов транзакций, Tarantool периодически делает снапшоты. При старте сервера Tarantool восстановит данные с снапшот-файла, затем применит все транзакции с файла для логов [2].

**Заключение.** Исследованы современные высокоэффективные БД [3, 4] и сделан обоснованный выбор технического решения на Tarantool, выявлены его преимущества:

- Tarantool – это современное in-memory хранилище для данных – самое быстрое в мире по сравнению с аналогами на рынке;
- данный инструмент – это полностью российская программная платформа, что подразумевает импортозамещение;
- продукт отлично поддерживается сотрудниками компании Mail.ru, а также есть крупное сообщество разработчиков, которое готово помочь с любыми вопросами 24/7;
- к примеру, компании Avito, Beeline внедрили Tarantool в своих проектах, – это доказывает, что программное обеспечение уже коммерчески успешное и надежное;
- спроектирована даталогическая модель БД.

### Литература

1. Уникальные возможности Tarantool [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/133435/>, своб.
2. За счет чего Tarantool такой оптимальный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/oleg-bunin/blog/340062/>, своб.
3. Как сэкономить миллион долларов с помощью Tarantool [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/mailru/blog/273695/>, своб.
4. Hasso P. A Course in In-Memory Data Management. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 297 p.



**Деменчук Влада Анатольевна**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной  
математики, студент группы № P4217

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: vladavlada94@rambler.ru

УДК 004.42

**ПРОБЛЕМА ПРОГРАММНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СО СТОРОННИМИ  
ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСАМИ И ЕЕ РЕШЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СОЗДАНИЯ  
РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ GOOGLE CHROME**

**Деменчук В.А.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Радченко И.А.**

В работе рассмотрены способы получения информации об обработчиках событий пользовательского интерфейса и основные принципы разработки расширения для браузера.

**Ключевые слова:** разработка расширений для браузера, веб-интерфейс.

**Введение.** Каждый день разработчики программного обеспечения радуют нас новыми возможностями своих веб-приложений, но все же их не всегда достаточно для удовлетворения всех потребностей пользователей, поэтому появляется необходимость в создании дополнений к базовому функционалу.

Соответственно возникает вопрос «Как добавлять новые функции в сторонние веб-приложения?». Для того чтобы это было возможно, необходимо обеспечить программное взаимодействие с их веб-элементами. Хотя список действий стандартных элементов управления определен, ряд веб-приложений использует сложные, составные элементы, собранные из простейших примитивов. Это добавляет адаптивность интерфейсам, однако, затрудняет внешнее воздействие.

Перед тем как начать управлять веб-элементами, необходимо определить, какие действия можно с ними совершать. Это можно сделать несколькими способами.

Первый способ – вручную, в консоли инструментов разработчика, каждому элементу посылать различные события или вызывать на каждом элементе функцию `addEventListener(object)`. Возвращаемое значение – объект, который содержит множество обработчиков для каждого зарегистрированного типа событий (например, «click» или «keydown») [1].

Второй способ – использовать возможности панели Event Listeners, расположенной в инструментах разработчика браузера. Она отображает обработчики событий выбранного элемента или элемента вместе с его предками [2]. Однако эта панель не позволяет увидеть обработчики событий, назначенные на дочерние элементы (элементы внутри выбранного). По этой причине недостатком данного способа является невозможность «увидеть картину в целом». Это актуально, например, в том случае, когда необходимо найти все обработчики внутри одной формы.

Третий способ, устраняющий недостаток предыдущего, – использование готового стороннего решения. Таким решением, позволяющим взаимодействовать с инструментами разработчика в автоматическом режиме, являются расширения. Расширения – это встроенные в браузер мини-программы, которые добавляют в браузер новые функции и возможности [3].

Единственным известным расширением, предоставляющим описанный функционал, является Visual Event. Это расширение подсвечивает на веб-странице все элементы, для

которых заданы обработчики событий. Visual Event получает информацию из JS-библиотек, таких как JQuery, поэтому оно отображает только обработчики, созданные с помощью совместимых библиотек. Следовательно, оно не работает с веб-страницами, не использующими поддерживаемые библиотеки [4]. Например, элементы формы, созданные при помощи фреймворка AngularJS Material [5], «не существуют» для Visual Event.

Для удобного получения информации обо всех обработчиках событий, добавленных ко всем потомкам выбранного элемента, было решено разработать собственное расширение для самого популярного браузера Google Chrome [6], которое будет удовлетворять следующим требованиям:

- простота использования и быстрый отклик;
- вывод поддерева элементов, для которых назначены обработчики, и списка обрабатываемых событий;
- отсутствие зависимости от библиотек и фреймворков.

Рассмотрим основные шаги разработки данного расширения:

- создание файла манифеста, в котором содержится вся информация о расширении (название, описание, права доступа и т.д.);
- создание devtools скрипта, загружающего обработчики событий с помощью функции `getEventListeners()`;
- создание панели для вывода обработчиков событий элементов;
- настройка коммуникации между скриптом, позволяющим получить доступ к инструментам разработчика и скриптом панели с помощью механизма передачи сообщений;
- настройка вывода дерева объектов.

Для демонстрации работы созданного расширения рассмотрим контейнер с выпадающим списком (рис. 1 и рис. 2) библиотеки AngularJS Material [7] и попытаемся, например, поменять в нем выбранное значение.

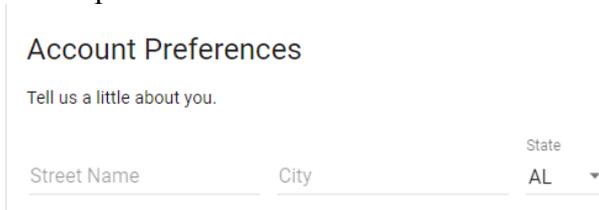


Рис. 1. Контейнер с выпадающим списком

```
<md-card class="md"> == $0
└─<md-card-title>
  └─<md-card-title-text>
    <span class="md-headline">Account Preferences</span>
    <span class="md-subhead">Tell us a little about you.</span>
  </md-card-title-text>
</md-card-title>
└─<md-card-content>
  <div layout="row" class="layout-row">
    <md-input-container class="..."></md-input-container>
    <md-input-container class="..."></md-input-container>
    <md-input-container class="md-input-has-value">
      <label for="select_43" class>State</label>
      <md-select ng-model="ctrl.userState" class="ng-valid ng-touched ng-not-empty ng-dirty ng-valid-parse" tabindex="0" aria-disabled="false" role="listbox" aria-expanded="false" aria-multiselectable="false" id="select_43" aria-invalid="false" aria-label="State">
        AL
        " style aria-owns="select_container_44">
          <md-select-value class="md-select-value" id="select_value_label_36">
            <span>
              <div class="md-text ng-binding">
                AL
              </div>
            </span>
            <span class="md-select-icon" aria-hidden="true"></span>
          </md-select-value>
        </md-select>
      </md-input-container>
    </div>
  </md-card-content>
</md-card>
```

Рис. 2. HTML-разметка выпадающего списка

Для этого сначала используем описанный выше функционал разработанного расширения и посмотрим какие действия (рис. 3) можно производить с данным нестандартным элементом, который состоит из нескольких примитивов.

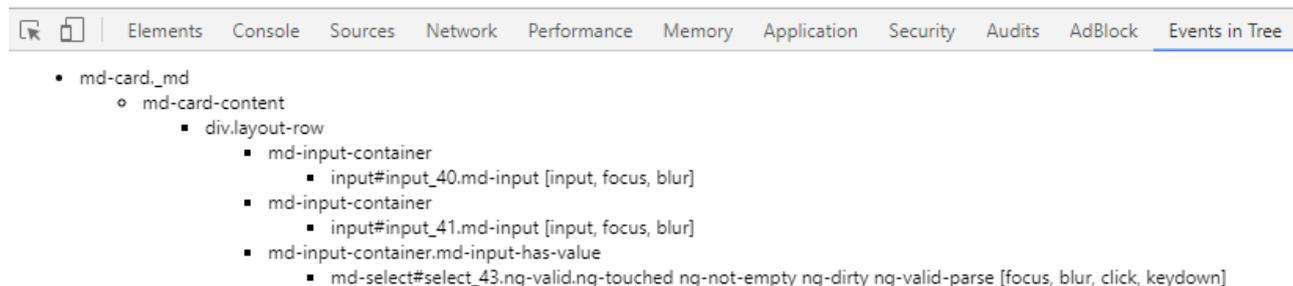


Рис. 3. Результат работы расширения для секции с выпадающим списком

Чтобы поменять в выпадающем списке выбранное значение нужно сначала его раскрыть, выбрать нужное значение и закрыть.

Во вкладке «Events in Tree» можно увидеть, что с необходимыми элементами ассоциирован обработчик события `click()`, а также дополнительную информацию, как например, `id` этих элементов. С помощью JQuery можно вызвать `click()` у элемента с `id #select_43` (`$("#select_43").click()`), и раскроется выпадающий список.

Так как раскрытый список находится за пределами рассматриваемого контейнера, то он отсутствует и на разметке, изображенной на рис. 4.

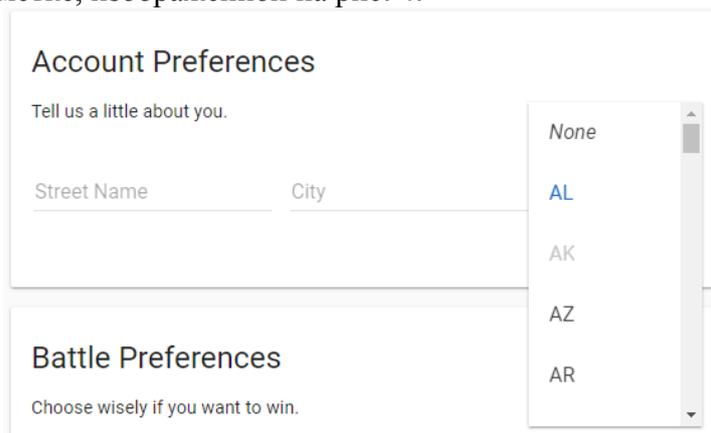


Рис. 4. Раскрытый выпадающий список

В этой связи приведем его HTML-разметку на рис. 5 и снова рассмотрим результаты работы созданного расширения (рис. 6).

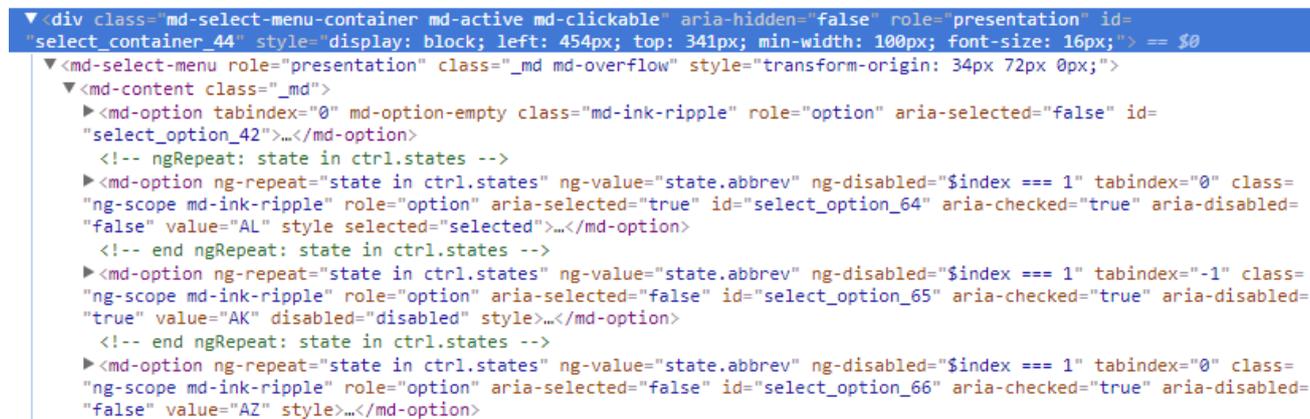


Рис. 5. HTML-разметка раскрытого выпадающего списка

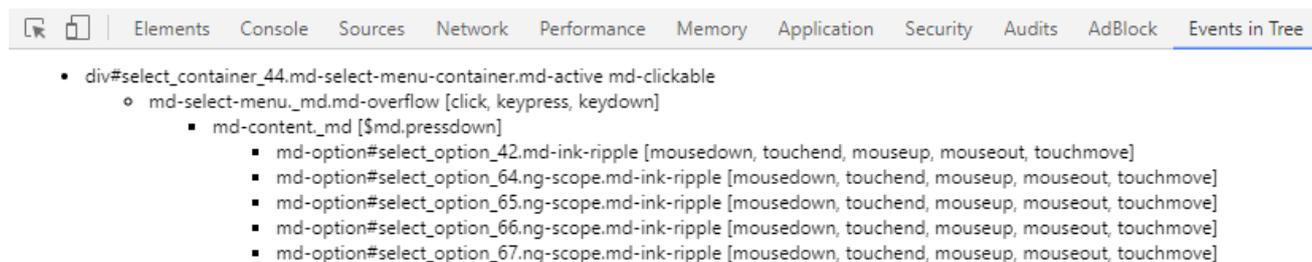


Рис. 6. Результат работы расширения для раскрытого выпадающего списка

Благодаря расширению можно увидеть, что обработчики событий есть не только у потомков, но и у родительских элементов. А те обработчики событий, что есть у родительских элементов, можно применять и к дочерним. Находим обработчик события `click()` и у соответствующего элемента выбираем нужное значение. После выполнения команды `$("#select_option_66").click()` в выпадающем списке выберется значение «AZ» и он закроется.

**Заключение.** Таким образом, разработанный плагин можно применять при разработке дополнений к сторонним веб-приложениям с целью упрощения процесса поиска обработчиков событий элементов интерфейса для внешнего взаимодействия с ними.

### Литература

1. Command Line API Reference [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/web/tools/chrome-devtools/console/command-line-reference>, своб.
2. Easily jump to event listeners [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/web/updates/2015/05/easily-jump-to-event-listeners>, своб.
3. Расширения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/support/browser/personalization/extension.html>, своб.
4. Visual Event [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sprymedia.co.uk/article/Visual+Event>, своб.
5. AngularJs Material [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://material.angularjs.org/latest/>, своб.
6. Browser Statistics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.w3schools.com/browsers/>, своб.
7. Demos – Select [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://material.angularjs.org/latest/demo/select>, своб.

**Калёнова Ольга Вячеславовна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной  
математики, аспирантНаправление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная  
техника

e-mail: ovkalyonova@corp.ifmo.ru

**Перл Иван Андреевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной  
математики, к.т.н., доцент

e-mail: ivan.perl@corp.ifmo.ru

УДК 004.415.2.043

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ ЗНАНИЙ СИСТЕМНОЙ  
ДИНАМИКИ****Калёнова О.В.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Перл И.А.**

Проектирование виртуальной библиотеки, данные в которой собираются автоматически, часто бывает осложнено по причине гетерогенности хранимых объектов. В работе описан процесс проектирования виртуальной библиотеки гетерогенных данных системной динамики при необходимом условии связывания данных между собой как способа улучшения поисковой выдачи. Приведены прототипы разрабатываемой библиотеки и обоснования принятых решений.

**Ключевые слова:** виртуальная библиотека, системная динамика, мультимодальные данные, связанные данные, поисковая выдача.

Человечество веками накапливает и хранит знания, что является необходимым условием его развития. На сегодняшний день часто возникает проблема именно в том, чтобы найти необходимую информацию в то время, когда информация явно в избытке, и она чаще всего минимально ограничивается условиями ее доступности.

Разработанный ранее подход представления мультимодальных данных позволяет организовать большой объем разрозненных гетерогенных данных [1]. На основе полученного подхода необходимо описать сущности библиотеки знаний системной динамики.

Данная библиотека разработана для платформы облачного моделирования системной динамики sdCloud. Основная целевая аудитория платформы – это академическая среда: ученые и студенты. В связи с этим важным вектором развития платформы является агрегация и предоставление доступа к знаниям системной динамики. В работе впервые осуществлена попытка разработки библиотеки гетерогенных артефактов для области системной динамики.

Основные задачи, выдвигаемые к проектируемой библиотеке знаний системной динамики:

1. расширение и распространение научного знания;
2. научная коллаборация;
3. обучение системной динамике.

Под расширением и распространением научного знания понимается предоставление связанного и релевантного доступа к статьям по системной динамике. Часто в статьях по системной динамике также содержатся модели. Если статья издается в электронном виде, то модель может быть приложена как отдельный файл, который может быть загружен и исполнен в платформе sdCloud. Как видно, для реализации первой задачи необходимо выделить сущности «статья» и «модель», а далее и создание каталогов таких сущностей, которые ко всему должны быть связаны в силу соотношения статьи и модели.

Для реализации возможности научной коллаборации необходимо предоставить пользователям способ узнавать друг друга. В самом простом случае у выделенных в библиотеке сущностей должен быть указан автор. В дальнейшем возможно создание персональной страницы автора с указанием всех публичных ресурсов, автором которых он является, и, при его согласии, минимальных контактных данных, таких как, например, адрес электронной почты.

Отдельной сложной задачей, требующей серьезного самостоятельного исследования, является обучение системной динамике. Как правило, первоначальное самостоятельное обучение какой-либо предметной области начинается с подбора литературы, а затем и подбора минимальных примеров, которые могут быть запущены и изменены в учебно-исследовательских целях. Тогда в качестве литературы в проектируемой библиотеке необходимо выделить сущность «книга». В то же время необходимые для этой задачи также сущности «статья» и «модель» уже были авторами выделены для первой задачи.

Учитывая специфику платформы и предпосылки создания библиотеки знаний системной динамики, особое внимание необходимо уделить сущности «модель». Помимо детального описания модели, хранимой в системе, должна быть реализована возможность просмотра результатов моделирования и изменение модели при копировании ее в коллекцию частных моделей пользователя.

Исходя из поставленных задач, авторы пришли к необходимости хранения в библиотеке как минимум трех различных видов каталогов:

1. каталог книг и других научных публикаций (например, монографий);
2. каталог статей;
3. каталог моделей.

При этом каждая сущность каталогов должна содержать автора. С учетом требований и ограничений пришли к необходимости реализации связанного поиска по каждому каталогу с учетом связей между ними. Тогда получаем следующие виды связей между каталогами:

1. внутренние – между сущностями одного вида:
  - книга – книга;
  - статья – статья;
  - модель – модель;
2. внешние – между сущностями различного вида:
  - книга – статья;
  - книга – модель;
  - статья – модель.

На основе разработанного ранее метода представления мультимодальных данных и, основываясь на изложенных выше требованиях к проектируемой виртуальной библиотеке знаний системной динамики, опишем процесс сбора, агрегации и представления в форме для хранения данных сущностей библиотеки.

1. Прежде всего, необходимо найти и определить список используемых источников данных. В проектируемой библиотеке предполагается в качестве источников данных также использовать доступные интернет-ресурсы, размеченные по правилам семантического веба. Это обосновывается необходимостью постоянного обновления и актуализации библиотеки. В связи с очевидно необходимым ростом количества сущностей и источников данных, актуализация данных при помощи человека-оператора,

обслуживающего виртуальную библиотеку, становится неоправданно трудоемкой задачей.

2. Для решения такой проблемы предлагается использовать специальных программных агентов, которые с определенной периодичностью проверяют и индексируют указанные им ресурсы данных. Если такой агент находит подходящую по заданным ему правилам сущность, то информация об этом передается далее в процесс.
3. Следующим же этапом является очистка и предобработка данных, полученных от программных агентов. Для этого производится анализ и дополнительные проверки полученных данных. Также происходит выделение при необходимости дополнительных сущностных представлений.
4. Все полученные сущностные представления добавляемого элемента (а, по сути, мультимодального объекта) передаются в классификаторы в соответствии с модальностями. При этом предполагается, что иерархические графы модальностей уже были построены для предыдущих элементов в системе. Таким образом, при добавлении новых данных в систему представления мультимодальных данных используется инкрементный подход. Тогда при расчете прогнозируемых, необходимых для этого операций, будем пользоваться формулами инкрементного роста системы, а не полного обучения, так как в противном случае система была бы либо статической, либо постоянно выполняла бы одну и ту же работу, получая знания, уже полученные ранее. Особое внимание также стоит уделить тому, что разрабатываемые классификаторы в первую очередь ориентированы на обрабатываемую модальность. Соответственно и методы классификации необходимо выбирать исходя из типов обрабатываемых данных.
5. На следующем этапе рассчитываются и записываются в таблицу высоты общих предков между сущностными представлениями, уже существующими в системе и добавляемыми. Данная процедура выполняется для всех модальностей, в которых существует значение сущностного представления добавляемого элемента. Стратегии расчета высот могут варьироваться и ограничиваться задаваемыми параметрами конфигурации.
6. На основе таблицы, составленной на предыдущем этапе, составляется или добавляется таблица пар мультимодальных объектов (сущностей библиотеки) с другими сущностями такого же типа (статьи/книги/модели). В этой таблице производится расчет силы связывания двух объектов между собой как количество модальностей, в которых значение высот общих предков не больше заданного. В простейшем случае, когда не вводятся значения весовых коэффициентов для модальностей, количество модальностей является значением максимальной силы связывания.
7. После этого производится расчет сил связывания и аналогичный поиск похожих элементов для сущностей других типов, т.е. за пределами каталога.

В результате, когда в базе получаем каталоги размеченных данных, становится возможным реализовать связный поиск. На основе наиболее часто используемых подходов к реализации функций поиска, в том числе по библиотечным каталогам, выявим вероятное поведение при поиске и реализуем для него подходящий интерфейс. Прежде всего, будем основываться на том, что:

1. поиск должен быть простым и содержать как можно меньшее количество элементов, необходимых к заполнению пользователем;
2. поиск должен быть гибким и находить именно то, что ожидает пользователь;
3. поисковая выдача должна быть:
  - простой для понимания;
  - предоставлять достаточный набор сведений о найденном элементе;
  - релевантным.

Как легко можно заметить, первый и второй пункты являются в общем случае противоречащими друг другу. Для обеспечения выполнимости условий поиска и их взаимной непротиворечивости частной практикой в аналогичных системах является

разделение поиска на два разных: обычный и расширенный, в котором количество элементов больше, но пользователь может детальнее сформулировать поисковой запрос.

В соответствии с поставленными условиями и целями разработаны следующие прототипы поисковой выдачи:

4. релевантная выдача (по наибольшему совпадению) по категориям (рис. 1);
5. детализация элемента поисковой выдачи (рис. 2).

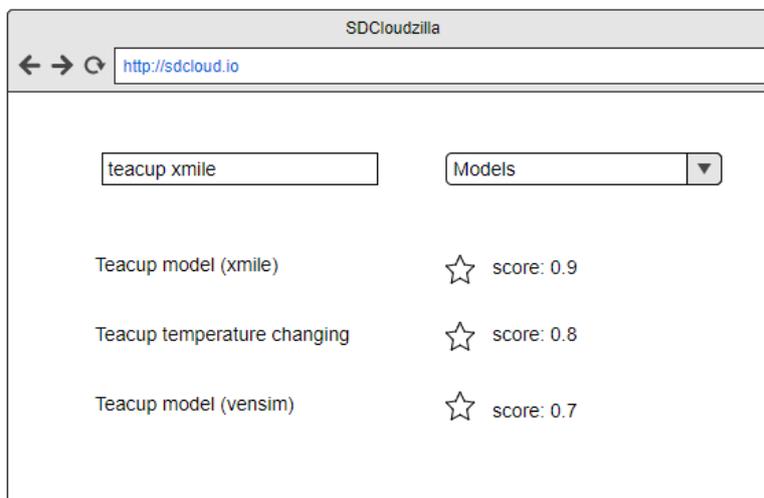


Рис. 1. Пример ранжированной поисковой выдачи

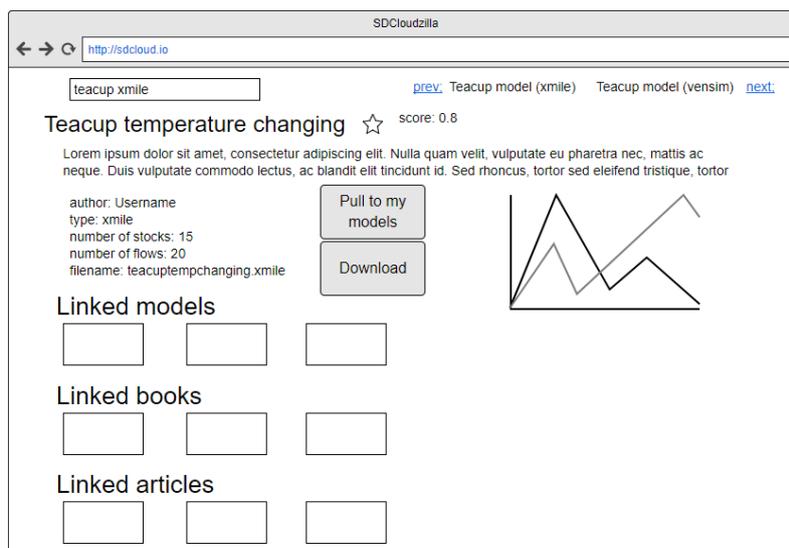


Рис. 2. Пример детализации элемента поисковой выдачи

Таким образом, в ходе данной работы была спроектирована виртуальная библиотека знаний системной динамики: описаны необходимые параметры и пути их достижения, описан процесс сбора и представления объектов в библиотеке с возможностью обнаружения новых связей в существующем наборе данных, представлены макеты страниц пользовательского интерфейса. Полученная библиотека позволяет достигать выдвигаемые к ней требования и направлена на работу с целевой аудиторией специфического сообщества системной динамики.

## Литература

1. Kalyonova O., Perl I. Revealing of Entities Interconnections in System Dynamics Modelling Process by Applying Multimodal Data Analysis Paradigm // Proceedings of the 21st Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2017. – P. 156–161.

**Ковригина Любовь Юрьевна**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной  
математики, к.филолог.н., доцент

e-mail: lyukovrigina@corp.ifmo.ru

**Муромцев Дмитрий Ильич**

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной  
математики, к.т.н., доцент

e-mail: mouromtsev@mail.ifmo.ru

УДК 004.912

**ПОНИМАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ:  
АСПЕКТЫ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА****Ковригина Л.Ю., Муромцев Д.И.**

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-36-60055 «Разработка синтаксического анализатора русской спонтанной речи методами интеллектуального анализа данных с использованием семантических баз знаний».

В работе рассмотрены методы и алгоритмы индуктивного вывода формальных грамматик, применимые для синтаксического анализа текстов на естественном языке, и описан разработанный алгоритм синтаксического анализа из текстов-расшифровок спонтанной речи в диалоговых системах.

**Ключевые слова:** автоматическое извлечение формальных грамматик, автоматический синтаксический анализ, алгоритмы DMV, CCM, DBM, синтаксический анализ спонтанной речи.

Извлечение грамматики (grammar inference) – раздел теоретической информатики, задача которого заключается в разработке методов описания, интерпретации и обучения (извлечения) формальных языков и грамматик. В этой предметной области сочетаются методы анализа формальных языков и грамматик, обработки естественного языка, теории автоматов, машинного обучения, математической логики, теории алгоритмов.

Задачи «извлечения грамматики» (empirical grammar inference) и «обучения грамматике» (grammar learning) различаются по ряду признаков [1]. Когда речь идет об обучении грамматике, то в модели обязательно присутствует «учитель» (оракул, информант), который сообщает алгоритму метаинформацию о предложении (например, относится ли данное предложение к грамматически правильным высказываниям, является ли данная цепочка допустимой для рассматриваемого класса языков (membership queries), эквивалентны ли цепочки  $a$  и  $b$  (equivalence queries). Во-вторых, при обучении грамматике алгоритму должны быть сообщены условия, при которых можно считать, что он «знает» грамматику данного языка или класса языков.

В случае же извлечения грамматики (индуктивного вывода из эмпирических данных) информант, как правило, отсутствует, а вопрос об адекватности изученной грамматики заменяется оценкой извлеченной грамматики на эмпирических данных.

К основным алгоритмам извлечения грамматик их эмпирических данных относятся алгоритмы DMV (Dependency Model with Valence) [2], COMINO [3] и DBM (Dependency and Boundary Model) [4]. Оценка этих алгоритмов проводилась на корпусе Wall Street Journal для английского языка, лучшие результаты получены с помощью алгоритма COMINO [3]. Ниже кратко описаны основные идеи перечисленных алгоритмов.

1. Алгоритм Dependency Model with Valence (DMV). В данном алгоритме структура предложения представляется в виде дерева зависимостей (ориентированного связного графа). Для выбранной вершины (head) алгоритм строит все возможные зависимости в одном направлении (например, все возможные ветвления вправо), затем останавливается, далее достраивает все возможные ветвления в другом направлении. Частью этой модели является алгоритм Inside-Outside, относящийся к классическим алгоритмам извлечения вероятностных контекстно-свободных грамматик. В ходе его выполнения подбираются значения трех параметров: вероятности ветвления  $P_{\text{ATTACH}}$  (левого или правого, преимущество у правоветвящихся конструкций), вероятности остановки  $P_{\text{STOP}}$ , вероятности  $P_{\text{ROOT}}$  определения вершины дерева в узле  $h$  и связи ее с фиктивной вершиной root.
2. Алгоритм COMINO. COMINO относится к классу дистрибутивных алгоритмов извлечения вероятностных контекстно-свободных грамматик, и показывает наиболее высокие результаты [3]. Основной идеей алгоритма является идея, заимствованная из дистрибутивной семантики: близкие по смыслу слова появляются в одинаковых контекстах. Эта идея применяется к задаче извлечения грамматики, формализуясь в виде конгруэнтного класса – класса эквивалентности, в который входят все подцепочки меток частей речи, обнаруживающиеся во входных данных, которые имеют одинаковый контекст. Анализ элементов одного конгруэнтного класса позволяет вывести правила в нормальной форме Хомского для извлекаемой вероятностной КС-грамматики.

Подробное математическое описание и опыт применения данного алгоритма для извлечения правил синтаксического анализа русской спонтанной речи изложен в работе [5].

3. Алгоритм Dependency and Boundary Model (DBM). Данный алгоритм, разработанный В. Спитковским, направлен на улучшение алгоритма DMV за счет учета дистрибуции словоформ, которые появляются на границах составляющих (начало и конец предложения, начало синтаксической группы). В определении границ во многом идет опора на расстановку знаков пунктуации.

Для применения этого алгоритма к спонтанной речи требуется установить, какие акустические и лексические признаки могут быть границами составляющих.

Разработанный алгоритм извлечения грамматики из текстов-расшифровок спонтанной речи получает на вход псевдопредложение с частеречной разметкой, на выходе алгоритма – гибридная синтаксическая структура данного псевдопредложения (информация о фразовой структуре, информация о синтаксических связях). Данная гибридная структура порождается алгоритмической композицией, в которую входят алгоритмы CCM, COMINO, DMV.

До поступления псевдопредложения на вход каждого из алгоритмов извлечения синтаксических структур, оно проходит стадию предобработки, на которой из него удаляются речевые сбои с помощью отдельного алгоритма, а потом псевдопредложение подвергается процедуре линеаризации. Смысл линеаризации заключается в том, чтобы устранить регулярную непроективность (разрывность) синтаксических групп, тем самым приблизив входное предложение к структуре, которая может быть описана (вероятностными) контекстно-свободными грамматиками.

На данном этапе линеаризация проводится в режиме «с учителем»: цепочки, порядок слов в которых должен быть перестроен, представляют собой  $n$ -граммы, для которых были указаны правила преобразования к эквивалентным проективным конструкциям. Данные конструкции хранятся в виде списка.

На стадии предобработки также упрощается синтаксическая структура именных групп, которые являются именованными сущностями: они сворачиваются к единственному тегу PNOUN (собственное существительное) и участвуют в дальнейшем анализе как единая сущность (рисунок).

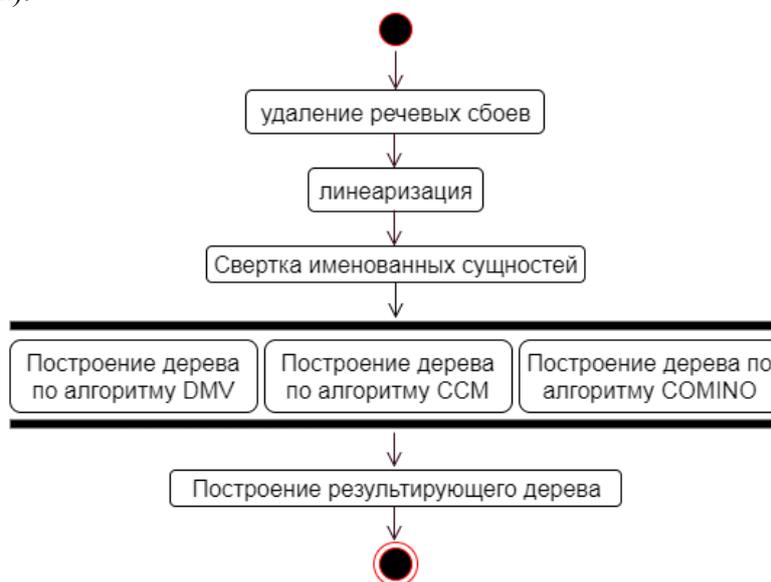


Рисунок. Алгоритм извлечения грамматики из спонтанной речи

### Литература

1. Heinz J., De la Higuera C., van Zaanen M. Grammatical inference for computational linguistics // *Synthesis Lectures on Human Language Technologies*. – 2015. – V. 8. – № 4. – P. 1–4.
2. Klein D., Manning C.D. Corpus-based induction of syntactic structure: Models of dependency and constituency // *Proceedings of the 42nd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*. – 2004. – P. 478.
3. Scicluna J., De La Higuera C. PCFG induction for unsupervised parsing and language modelling // *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. – 2014. – P. 1353–1362.
4. Spitkovsky V.I., Alshawi H., Jurafsky D. Three dependency-and-boundary models for grammar induction // *Proceedings of the 2012 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning*. – 2012. – P. 688–698.
5. Kovrigin L., Shipilo A., Sinelshchikova E. Unsupervised PCFG Inference from Russian Corpus of Phone Conversations // *Proceedings of the 19th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. – 2016. – P. 332–337.



**Куприянова Анна Дмитриевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № Р4217

Направление подготовки: 09.04.04 – Разработка программно-информационных систем

e-mail: annkupriyanova26@gmail.com



**Шилин Иван Андреевич**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: shilininivan@corp.ifmo.ru

УДК 004.912

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К ЗАДАЧЕ РАЗРЕШЕНИЯ  
КОРЕФЕРЕНЦИИ**

**Куприянова А.Д., Шилин И.А.**

**Научный руководитель – к.филолог.н., доцент Ковригина Л.Ю.**

В работе рассмотрено понятие кореференции, выполнен обзор существующих подходов к автоматическому разрешению кореференции, обоснована актуальность и выбран алгоритм решения данной задачи для русского языка.

**Ключевые слова:** кореференция, модель «сущность–упоминание», применение методов машинного обучения для распознавания кореферентных связей.

Проблема разрешения кореференции имеет большое значение в ряде задач автоматической обработки естественного языка: в системах машинного перевода, автоматического реферирования текста, извлечения фактов и автоматического пополнения баз знаний, в диалоговых системах и т.д.

Кореференция – это отношение между компонентами высказывания (местоимениями, именованными группами, именованными сущностями), которые обозначают один и тот же внеязыковой объект или ситуацию, т.е. имеют один и тот же референт. В качестве примера разрешения кореференции рассмотрим предложение: «На другое утро в школе были занятия Фуане, и Филипп решил спросить его напрямик, стоит ли ему заниматься живописью». («Бремя страстей человеческих», С. Моэм) местоимение «его» ссылается на человека по фамилии Фуане, а местоимение «ему» – на Филиппа. Между этими парами компонентов высказывания есть кореферентные отношения, и алгоритм автоматического разрешения кореференции должен разбить их на два кластера: {Фуане, его} и {Филипп, ему}.

Существуют следующие подходы к разрешению кореференции:

- эвристический – методы, основанные на правилах;
- методы, основанные на применении машинного обучения.

Эвристический подход основан на правилах, которые составлялись вручную. Явный недостаток такого подхода – сложность и трудоемкость формализации кореферентных отношений.

Задача установления кореферентных связей сводится к задачам классификации и кластеризации, которые успешно решают алгоритмы машинного обучения [1]. Рассмотрим

две модели – модель парных упоминаний (mention-pair model) и модель «сущность–упоминание» (entity-mention model). Первая рассматривает на каждом шаге очередную пару «упоминание–упоминание» при решении вопроса о наличии кореферентной связи, а вторая рассматривает упоминание (компонент) относительно уже сформированного частичного кореферентного кластера [2, 3]. Использование модели «сущность–упоминание» позволяет избежать ошибок следующего вида: если модель парных упоминаний установит наличие кореферентной связи у пар <Клинтон, Хилари Клинтон> и <мистер Клинтон, Клинтон>, тогда по свойству транзитивности кореферентных отношений эти пары попадут в один кластер {Клинтон, Хилари Клинтон, мистер Клинтон}. Однако модель «сущность–упоминание» учтет признак рода и не допустит ошибки при слиянии кластеров.

Алгоритмы машинного обучения с учителем применительно к задаче разрешения кореференции реализуются в виде модели бинарной классификации с последующей кластеризацией и модели ранжирования. Недостатком модели бинарной классификации является то, что она рассматривает все потенциальные antecedенты текущего компонента независимо друг от друга, в то время как модель ранжирования выставляет каждому потенциальному antecedенту оценку кореферентной совместимости с рассматриваемым компонентом. В связи с этим отсутствует необходимость в этапе кластеризации, так как присутствует имплицитное соревнование между потенциальными antecedентами.

Преимуществом алгоритмов машинного обучения без учителя является возможность установить кореферентные связи в случае отсутствия размеченных данных (обучающей выборки). Примерами методов разрешения кореференции, в которых используется обучение без учителя, являются попарная непараметрическая порождающая байесовскую модель, сущностная модель с использованием марковской логики, порождающая модель ранжирования и т.д.

В 2014 г. прошло соревнование алгоритмов разрешения кореференции для русского языка на Международной конференции по компьютерной лингвистике и интеллектуальным технологиям «Диалог 2014», для которого был подготовлен размеченный корпус кореференции. Большинство систем разрешения кореференции для русского в данной области находятся в закрытом доступе.

В таблице приведены результаты сравнения качества передовых моделей разрешения кореференции для английского языка по метрике  $V^3$  (цит. по [4]). Пороговая отметка (baseline) качества системы для английского языка принадлежит модели ранжирования кластеров К. Кларка и К. Мэннинга, ClusterRanker, и равняется 62,86% [4]. Аналогичный показатель качества системы для русского языка равен 31,56% для модели машинного обучения с учителем, реализованной С. Толдовой (НИУ ВШЭ) и М. Ионовым (МГУ им. Ломоносова) [5]. Приведенные данные свидетельствуют о значительном разрыве между разработками в рассматриваемой области для английского и русского языков.

Таблица. Сравнение качества моделей автоматического разрешения кореференции для английского языка

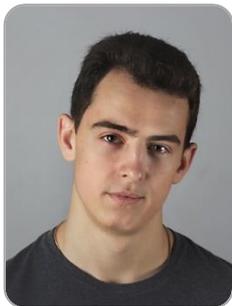
Модели	Точность, $P$	Полнота, $R$	$F_1$
Clark and Manning (2015)	65,64	56,01	60,44
Peng et al. (2015)	–	–	60,50
Wiseman et al. (2015)	66,07	55,83	60,52
Wiseman et al. (2016)	66,83	56,95	61,50
MentionRanker	69,68	56,37	62,32
ClusterRanker	70,08	56,98	62,86

В работе рассмотрена задача разрешения кореференции, описаны основные существующие подходы к разрешению кореференции и выделены их достоинства и недостатки. На основании проведенного анализа существующих подходов в качестве

наиболее предпочтительного для дальнейшего применения был выбран метод ранжирования кластеров. В дальнейшем планируется применить и провести оценку метода ранжирования кластеров для русского языка.

### **Литература**

1. Zheng J., Chapman W.W., Crowley R.S., Savova G.K. Coreference resolution: A review of general methodologies and applications in the clinical domain // *Journal of Biomedical Informatics*. – 2011. – V. 44. – P. 1113–1122.
2. McCarthy JF, Lehnert WG. Using decision trees for coreference resolution // *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. – 1995. – P. 1050–1055.
3. Yang X., Su J., Zhou G., Tan C.L. An NP-cluster based approach to coreference resolution // *COLING '04: Proceedings of the 20th International Conference on Computational Linguistics*. – 2004. – P. 226–232.
4. Clark K., Manning C.D. Improving Coreference Resolution by Learning Entity-Level Distributed Representations // *Association for Computational Linguistics Proceedings*. – 2016. – V. 1. – P. 643–653.
5. Toldova S., Ionov M. Coreference Resolution for Russian: The Impact of Semantic Features // *Computational Linguistics and Intellectual Technologies. International Conference «Dialog 2017» Proceedings*. – 2017. – P. 339–349.

**Морозов Олег Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной  
математики, студент группы № Р3418Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия  
e-mail: crash4811@gmail.com

УДК 004.514.62

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДОСТУПА  
К ПЛАТФОРМЕ ОБЛАЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SDCLOUD****Морозов О.С.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Перл И.А.**

В работе рассмотрено проектирование и создание высокоуровневого приложения для мобильных платформ в целях получения удобного доступа к платформе облачного моделирования sdCloud. Решена проблема дистанционного управления созданными моделями, включая наблюдение за процессом моделирования, отображение результатов в аналитически удобном формате, запуск и остановка моделирования, менеджмент существующих моделей.

**Ключевые слова:** облачные технологии, моделирование, SDK, API.

sdCloud – платформа для облачных вычислений системной динамики – техника моделирования, при помощи которой можно изучать сложные динамические системы и находить различные факторы, влияющие на модель. Также использован подход непрерывного моделирования, что значит постоянное исполнение модели системной динамики на реальных данных, получаемых с одинаковым промежутком времени с элементов Интернета вещей. Благодаря этому системная динамика уже не просто инструмент моделирования, а мощный инструмент анализа данных для выявления аномалий в поведении реальных системы и нахождения способов, улучшить существующую и работающую реальную систему. Однако такой подход порождает большое количество данных, которые необходимо хранить для последующего анализа, а также непрерывно используемых компьютерных мощностей, что зачастую невозможно для рядовых разработчиков [1, 2].

Именно проанализировав эти проблемы была создана платформа sdCloud, которая позволяет хранить данные на облаке, а также использовать облачные мощности для исполнения моделей и анализа данных. Теперь вопрос стоит в том, как непрерывно можно наблюдать за исполнимой моделью и вовремя реагировать на различные события. Ведь данных и генерируемых событий при анализе много, поэтому важно вовремя заметить конкретное событие для правильного реагирования. Даже в нашу эпоху технологий у человека не всегда с собой есть персональный компьютер, чтобы можно было всегда наблюдать за моделью через веб-сервис. Вопрос решается мобильной платформой, смартфоны у всех с собой и можно всегда посмотреть на данные моделирования в аналитически удобном формате. Также на помощь приходят системы уведомлений, которые присылают на телефон в спящем режиме уведомление, что в моделировании происходят необычные изменения или важные события. Примеры реализации платформы (рисунок, а), также можно увидеть примеры аналитически понятного вывода данных, список исполняемых моделей и их статус выполнения (рисунок, б). Также приложение поддерживает систему аутентификации логин-пароль, а также удобную систему трехной авторизации, выглядеть это будет как на иллюстрации (рисунок, в). Все это позволяет корректно и вовремя анализировать различные состояния системной динамики.

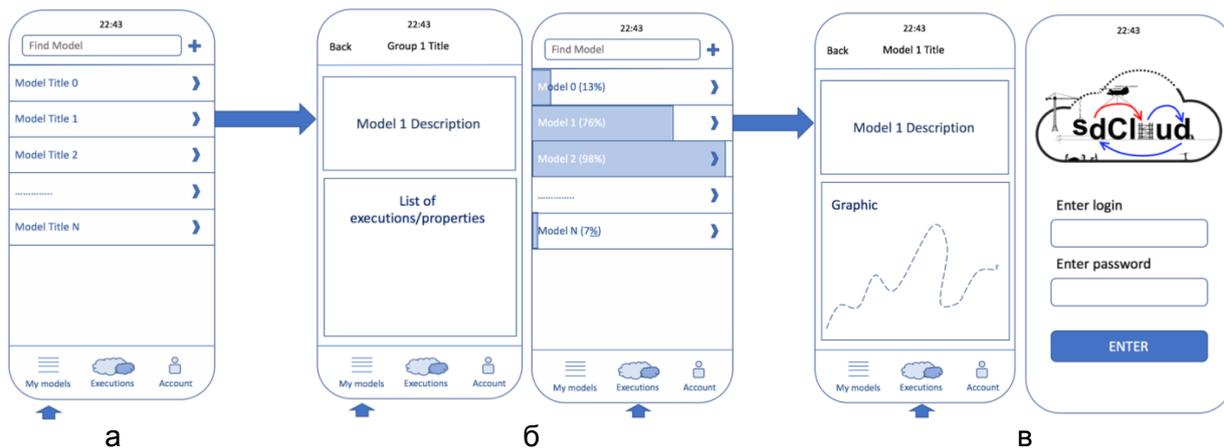


Рисунок. Примеры отображения: облачных моделей (а); исполняемых моделей (б) и экрана аутентификации (в)

### Литература

1. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 403 с.
2. Фисун А.П., Гращенко Л.А. и др. Теоретические и практические основы человеко-компьютерного взаимодействия: базовые понятия человеко-компьютерных систем в информатике и информационной безопасности. – Орел: Орловский государственный университет, 2004. – 169 с.

**Пелин Виталий Олегович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № Р3417

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: pelinvo@gmail.com

**Исаев Илья Владимирович**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: ivisaev@corp.ifmo.ru

**Перл Иван Андреевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, к.т.н., доцент

e-mail: ivan.perl@corp.ifmo.ru

УДК 004.852

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ  
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ИСТОРИЧЕСКИХ  
ПРОЕКТНЫХ ДАННЫХ****Пелин В.О., Исаев И.В., Перл И.А.****Научный руководитель – аспирант Исаев И.В.**

Цель работы – разработка механизм анализа проектных данных для выявления аномалий и прогнозирования. Задача включала обзор и сравнение различных видов искусственных нейронных сетей. В результате был сделан обоснованный выбор сети, и спроектирована система анализа проектных данных для выявления аномалий и прогнозирования.

**Ключевые слова:** прогнозирование, искусственные нейронные сети, обучение по прецедентам.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) предназначена для прогнозирования и выявления аномалий на данных по заданиям (tasks). Для этого были проанализированы следующие факторы: дата создания и последнего изменения, срок, статус, приоритет и серьезность (severity) заданий. Предметная область – автоматизация мониторинга и управления процессом разработки программного обеспечения с использованием искусственных нейронных сетей.

Широко ИНС стали известны благодаря AlphaGo (игрок в Го от Google), MSQRD (приложение для накладывания фильтров на видео в режиме реального времени) и Prisma (приложение для обработки фотографий). Причина, по которой они активно набирают популярность, в возможности решать задачи, не имеющие формализованного алгоритма решения, и задачи выявления неизвестных закономерностей. Применение нейронных сетей

для задач прогнозирования рассматривалось давно, и так как раньше длительность обучения была значительной, они не нашли серьезного практического приложения. Сейчас такие модели применяются для решения задач распознавания речи [1], постановки диагноза больному и обработки медицинских изображений [2], для прогнозирования банкротств [3] и т.д. Область их применения весьма широка, и в этой работе было рассмотрено их применение в сфере автоматизации мониторинга и управления процессом разработки программного обеспечения для прогнозирования и выявления аномалий в проектных данных.

ИНС – модель, состоящая из множества соединенных слоев (1 входной слой, 1 выходной слой и  $N$  скрытых слоев). Эти слои содержат нейроны – узлы, выполняющие преобразование входных данных в выходные. А используемая для такого преобразования функция называется функцией активации:

$$y_i = f\left(\sum_{j=0}^n x_j w_j\right),$$

где  $x$  – входной сигнал;  $y$  – выходной сигнал;  $w$  – вес связи.

Выделяют следующие виды нейронных сетей – сети прямого распространения (СПР) и рекуррентные нейронные сети (РНС). В СПР направление распространения сигнала идет только от нейронов входного слоя к нейронам выходного. А РНС характеризуются наличием обратных связей, что создают возможность решать более сложные задачи. Речь пойдет в первую очередь о работе с последовательностями. Если требуется учет данных предыдущего шага работы (они учитывают историю исходных данных), то СПР не подходят, и тогда используют РНС.

В РНС возникают проблемы, не позволяющие реализовать долгосрочную память: взрывающийся градиент (exploding gradient) и затухающий градиент (vanishing gradient). Чтобы их избежать, используются Long Short-Term Memory (LSTM). Такая сеть использует фильтры для определения способа использования информации во время вычислений и запоминающий блок (memory cell, или просто cell). Cell вместе с состоянием сети  $h$  вычисляется на каждом шаге. Благодаря этому LSTM может запоминать длинные последовательности [4, 5]. Схемы простой нейронной сети и LSTM показаны на рис. 1.

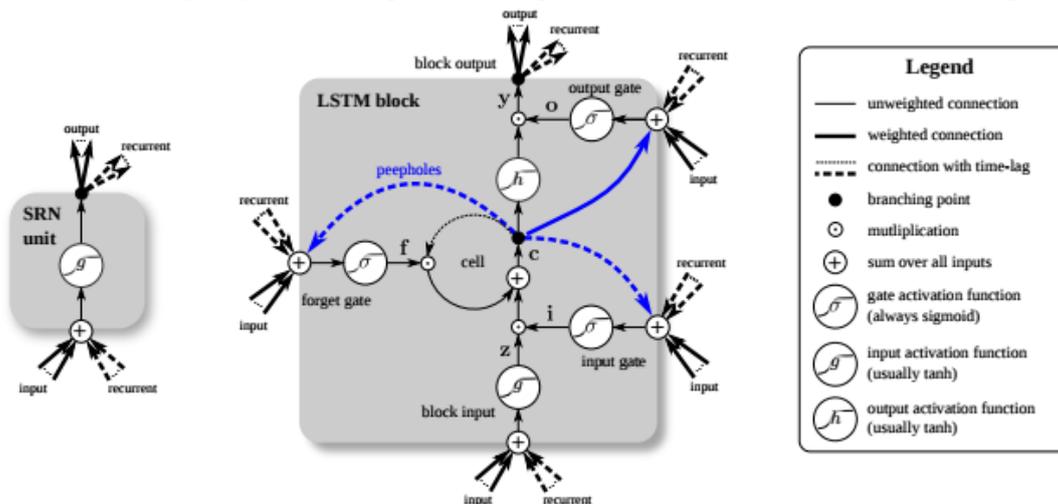


Рис. 1. Схемы SRN (Simple Recurrent Network) и LSTM (Long Short-Term Memory)

Для прогнозирования и выявления аномалий применена архитектура, использующая LSTM и Batch normalization. На рис. 2 приведена разработанная архитектура. Исходные данные в виде набора признаков будут загружены в ИНС, над ними была произведена нормализация. Это позволило сети быстрее выучить скрытые закономерности в исходных данных. Выходные сигналы – результат прогнозирования и выявления аномалий, сообщающие статус процесса разработки ПО. Эти данные используются для мониторинга его состояния и управления этим процессом.

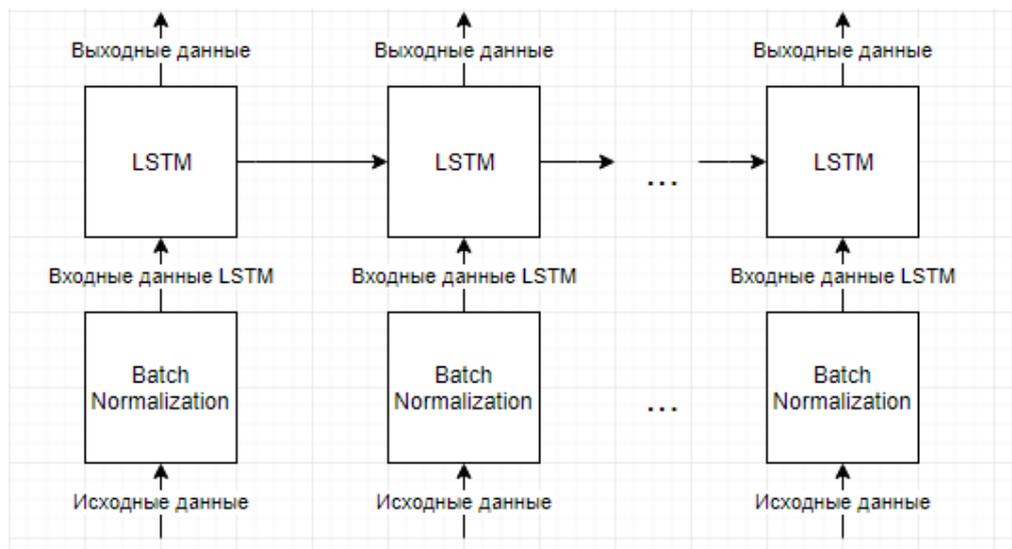


Рис. 2. Разработанная архитектура

В ходе работы были рассмотрены разновидности нейронных сетей и спроектирована система для анализа данных. Сделан обоснованный выбор в пользу LSTM. Она – ключевой элемент этой системы, потому что разрабатываемая архитектура ИНС будет применяться для анализа исторических проектных данных, в рамках которой необходимо учитывать длинную историю произошедших изменений.

### Литература

1. Dahl G., Yu D., Deng L., Acero A. Context-Dependent Pre-Trained Deep Neural Networks for Large-Vocabulary Speech Recognition // *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*. – 2012. – V. 20. – P. 30–42.
2. Cheng K., Lin J., Mao C. The application of competitive Hopfield neural network to medical image segmentation // *IEEE Transactions on Medical Imaging*. – 1996. – V. 15. – P. 560–567.
3. Jo H., Han I. Integration of case-based forecasting, neural network, and discriminant analysis for bankruptcy prediction // *Expert Systems with Applications*. – 1996. – V. 11. – P. 415–422.
4. Greff K., Srivastava R., Koutník J., Steunebrink B., Schmidhuber J. LSTM: A Search Space Odyssey // *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. – 2017. – V. 28. – P. 2222–2232.
5. The Unreasonable Effectiveness of Recurrent Neural Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effectiveness>, своб.



**Путинцева Алина Александровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № P4217

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: aaputintseva@niuitmo.ru



**Шилин Иван Андреевич**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант, ассистент

e-mail: proniment@gmail.com

УДК 004.912

**ОБЗОР ПОДХОДОВ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ  
В ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ (НА МАТЕРИАЛЕ РУССКОГО ЯЗЫКА)**

**Путинцева А.А., Шилин И.А.**

**Научный руководитель – к.филолог.н., доцент Ковригина Л.Ю.**

В работе рассмотрены существующие подходы к разметке текстов на естественном языке, содержащих эллиптические конструкции. Предложен подход к обнаружению и дальнейшему автоматическому восстановлению пропущенных элементов высказываний на основании результатов анализа частоты встречаемости фрагментов синтаксических деревьев в корпусе текстов.

**Ключевые слова:** автоматическая обработка естественного языка, эллипсис, корпус, разметка текста, синтаксическое дерево.

Автоматическая обработка текстов на естественном языке сопряжена с рядом трудностей и нетривиальных задач. В особенности это характерно для текстов, полученных в результате актов спонтанной устной речи.

Данная работа посвящена автоматическому восстановлению эллипсиса – фигуры речи, подразумевающей пропуск элемента высказывания в случаях, когда это не искажает смысл высказывания и не затрудняет его восприятие [1]. Решение этой задачи необходимо для корректной интерпретации обрабатываемого текста и является одним из начальных этапов работы с ним.

Присутствие эллипсиса в речи обусловлено, с одной стороны, стремлением к экономии языковых средств, времени и усилий: во многих случаях мысль может быть выражена в сокращенной форме и оставаться при этом понятной для слушателя [2, 3]. С другой стороны, акт спонтанной речи, как правило, сопровождается использованием невербальных средств коммуникации (жестов, мимики и т.д.), и информационная нагрузка перераспределяется между каналами общения [4], что, в свою очередь, устраняет необходимость максимальной полноты вербального изложения информации.

Пример предложения, содержащего эллипсис: «Он пьет зеленый чай, а я пью черный (чай) из Англии».

Как было замечено ранее, задача восстановления пропущенных элементов наряду с восприятием других речевых оборотов не представляет особой трудности для человека, но достаточно сложна при машинной обработке. Однако в обоих случаях используется один и

тот же прием – восстановление из контекста. При этом восстановление разных видов эллипсиса подразумевает привлечение различных видов контекста, а сложность поставленной задачи варьируется в зависимости от вида контекста.

Автоматическое восстановление эллипсиса возможно при наличии в тексте (корпусе текстов) морфологической и синтаксической разметки. Под разметкой понимается дополнительная информация о единицах корпуса, описывающая их свойства и связи друг с другом.

В рамках данной работы рассмотрено восстановление контекстуального эллипсиса – эллипсиса, подразумевающего отсылку к другим элементам текста.

Существуют различные подходы к разметке контекстуального эллипсиса:

- в национальном корпусе русского языка (подкорпус СинТагРус) и системе морфо-синтаксического анализа Treeton в синтаксических деревьях вводятся вспомогательные вершины, заменяющие пропущенные элементы;
- в Хельсинкском аннотированном корпусе русского языка наличие эллипсиса является характеристикой клаузы в целом.

В данной работе за основу были взяты положения стандарта Universal Dependencies [5], которые можно резюмировать следующим образом:

- если исключенная вершина синтаксического дерева не имеет исходящих дуг (зависимых вершин), никакая дополнительная разметка не осуществляется;
- если исключенная вершина имеет исходящие дуги (зависимые вершины), одна из вершин принимает на себя роль пропущенного элемента.

Пример разметки предложения, содержащего эллипсис, проиллюстрирован на рис. 1.

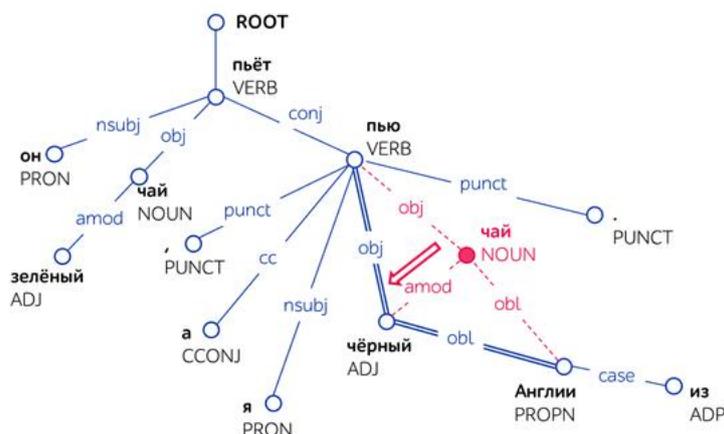


Рис. 1. Пример замещения исключенной вершины одной из зависимых

Для решения задачи восстановления контекстуального эллипсиса предложен подход, основанный на предположении, что зависимости, возникающие при замещении опускаемой вершины, имеют гораздо меньшую частоту встречаемости. Тогда малое значение относительной частоты встречаемости совокупности «вершина – зависимость – зависимое слово» в корпусе может быть признаком наличия эллипсиса на данном участке синтаксического дерева (рис. 2).

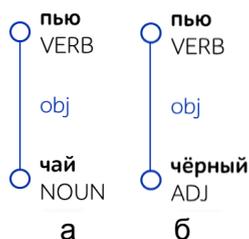


Рис. 2. Пример часто (а) и редко (б) встречающейся структуры «вершина – зависимость – зависимое слово»

Общий алгоритм восстановления эллипсиса выглядит следующим образом:

1. используя синтаксически размеченный корпус, получить статистику встречаемости всех присутствующих в нем совокупностей «вершина – зависимость – зависимое слово»;
2. подобрать граничное значение, определяющее, является ли совокупность «вершина – зависимость – зависимое слово» редко встречающейся;
3. сравнить частоту встречаемости каждой совокупности «вершина – зависимость – зависимое слово» анализируемого предложения с граничным значением и выделить редкие совокупности;
4. для каждой совокупности, полученной на шаге 3, используя контекст анализируемого предложения/соседних предложений:
  - подобрать POS-тэг для вспомогательного узла таким образом, чтобы частота встречаемости отношения между вершиной и ним была максимально возможной (рис. 3):



Рис. 3. Подбор POS-тэга для вспомогательного узла

- подобрать отношение между вспомогательным узлом и зависимым словом таким образом, чтобы его частота встречаемости была максимально возможной (рис. 4):



Рис. 4. Подбор отношения между вспомогательным узлом и зависимым словом

Реализация описанного алгоритма и ее тестирование на предложениях, содержащих эллипсис именной группы, подтвердила высказанное в начале данной работы предположение о возможности выявления и восстановления некоторых видов эллипсиса на основании значения относительной частоты встречаемости отношений в корпусе.

Таким образом, описанный в данной работе алгоритм может быть применен для решения задачи восстановления эллипсиса. В качестве дальнейшего развития предлагается учет морфологической разметки и при необходимости – изменение словоформы восстанавливаемого элемента. Также возможно усовершенствование алгоритма подбора граничного значения для поиска эллиптических конструкций.

## Литература

1. Розенталь Д.Э., Теленкова М.А. Словарь-справочник лингвистических терминов: пособие для учителя. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Просвещение, 1985. – 357 с.
2. Богданова-Бегларян Н.В. Еще раз о законе экономии в повседневной спонтанной речи // Коммуникативные исследования. – 2014. – № 1. – С. 241–251.
3. McShane M., Babkin P. Automatic Ellipsis Resolution: Recovering Covert Information from Text [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/2f89/340bb02792d0c9c4c6b87e9edba7ed948322.pdf> (дата обращения: 22.02.2017).
4. Касаева З.В. Об основных чертах устной спонтанной речи (Общие замечания) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Русская филология». – 2014. – № 2. – С. 60–68.
5. Other Constructions // Universal Dependencies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://universaldependencies.org/u/overview/specific-syntax.html> (дата обращения: 12.03.2018).

**Пьянков Евгений Викторович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № Р4117

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: piankov.evgeny@gmail.com

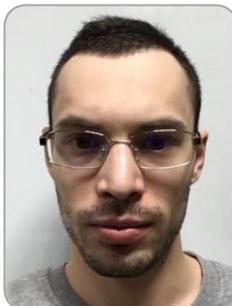
**Исаев Илья Владимирович**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: ivisaev@corp.ifmo.ru

**Тихомиров Владислав Эдуардович**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № Р3418

Направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия

e-mail: Nimatora@gmail.com

**УДК 004.434****ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО  
ЯЗЫКА ДЛЯ ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ПРОЦЕССА  
РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА****Пьянков Е.В., Исаев И.В., Тихомиров В.Э.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Перл И.А.**

В работе рассмотрена предметная область организации проектных данных в области управления проектами по разработке программного обеспечения. Исследованы подходы к построению предметно-ориентированных языков. Рассмотрен обобщенный процесс трансляции языков программирования. Приведены некоторые средства автоматического построения трансляторов предметно-ориентированных языков и описан принцип их работы.

**Ключевые слова:** DSL, предметно-ориентированный язык, синтаксический анализ, семантический анализ, синтаксическое дерево.

Данное исследование является частью работы над проектом InsightProject. Проект представляет собой облачную платформу для сбора, анализа и представления информации, описывающий процесс разработки программного обеспечения. Предполагается, что система будет предоставлять широкий спектр данных о жизненных показателях проекта, связанных с исходным кодом, задачами, автоматическими сборками, а также возможность доступа к данным посредством встроенного предметно-ориентированного языка.

Предметно-ориентированный язык (DSL) представляет собой язык, предназначенный для решения задач в конкретной узкой области применения. Выделяют два основных вида предметно-ориентированных языков: внешние и внутренние [1]. Внешние имеют отличный от основного языка приложения синтаксис. Внутренние используют язык программирования

общего назначения, однако, в определенном стиле и с использованием лишь некоторого подмножества его возможностей. В рамках проекта реализуется внешний DSL.

В общем случае процесс трансляция исходного кода предметно-ориентированного языка, как и любого другого языка программирования, в исполняемый код состоит из следующих фаз [2] и показан на рисунке.



Рисунок. Процесс трансляции исходного кода

- Лексический анализатор преобразует входящий набор символов в набор токенов.
- Синтаксический анализатор преобразует последовательность токенов в синтаксическое дерево.
- Главная задача семантического анализатора – проверка исходной программы на семантическую согласованность с определением языка. Например, это проверка типов в случае языков общего назначения.
- Генерация промежуточного кода нужна для генерации промежуточного представления исходного кода, которое должно легко генерироваться и легко транслироваться в целевой язык.
- Генерация кода – это непосредственно трансляция промежуточного представление в целевой код.

Основной задачей проектирования DSL является отображение предметной области на формальную систему, состоящую из синтаксиса и правил трансформации. Процесс построения предметно-ориентированного языка состоит из следующих этапов:

1. определение семантической модели;
2. определение синтаксической модели;
3. определение правил трансформации.

В ходе исследования предметная область организации проектных данных в области управления была формализована следующим образом. Основной сущностью исследуемой области является «проект». В разрабатываемой семантической модели сущностью, агрегирующей несколько проектов, является «домен». Самой верхней сущностью иерархии является сущность «Рабочее пространство», которое объединяет в себе несколько доменов.

В настоящее время практически ни один проект не обходится без таких инструментов, как менеджер задач, система контроля версий, инструмент непрерывной интеграции. Все эти сущности имеют непосредственное отношение к проекту и связаны иерархическими связями. В свою очередь, сущность «менеджер задач» объединяет в себе «задачи», а «система контроля версий» – «коммиты». Каждая сущность обладает рядом параметров, например, для сущности «коммит» – это параметры «дата», «автор» и т.д. Помимо иерархической связи возможны и другие виды связей, которые могут быть формально определены.

Синтаксическая модель предметно-ориентированного языка описывает возможные выражения и конструкции языка, т.е. содержит его грамматику. Синтаксическая модель и правила трансформации должны быть определены в процессе разработки транслятора. На сегодняшний день при разработке собственного языка нет необходимости разрабатывать его с нуля, включая такие компоненты, как синтаксический и лексический анализатор. Есть смысл использовать готовые средства различного рода. По сравнению с написанием собственного решения, их использование при разработке языка обладает рядом преимуществ. В первую очередь это повышение продуктивности и скорости разработки. Другим важным фактором является возможность единожды определив грамматику языка, генерировать трансляторы под разные языки программирования.

Целесообразно использовать класс инструментов, называемых генераторами компиляторов. Примерами таких инструментов являются ANTLR, Xtext, Coco/R. Принцип их работы схож и в общем виде заключается в автоматической генерации кода транслятора под определенную платформу на основе формально заданной грамматики. Обычно грамматика задается на языке, близком к РБНФ [3]. На основе этой грамматики инструмент генерирует код лексического и синтаксического анализатора на заданном языке программирования. Проведя исходный текст на разрабатываемом языке через лексический и аналитический анализаторы, на выходе будет получено синтаксическое дерево, которое может быть использовано для непосредственной генерации кода на целевом языке.

В проекте InsightProject по ряду причин выбор пал на использование инструмента ANTLR. В первую очередь он распространяется под свободной лицензией BSD. Также ANTLR является одним из наиболее популярных решений данного класса инструментов, что подтверждается большим количеством использующих его проектов, включая Groovy, Hibernate и другие. Помимо прочего, данный инструмент обладает исчерпывающей документацией и поддерживается большим сообществом разработчиков.

## Литература

1. Martin Fowler. Domain-Specific Languages // Addison-Wesley Professional. – 2010. – P. 33–35.
2. Этапы компиляции. Общая схема работы компилятора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/7\\_137533\\_etapi-kompilyatsii-obshchaya-shema-raboti-kompilyatora.html/](https://studopedia.ru/7_137533_etapi-kompilyatsii-obshchaya-shema-raboti-kompilyatora.html/), своб.
3. Форма Бэкуса–Нуара – Интуит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/26/26/lecture/801?page=7/>, своб.



**Горобченко Анна Александровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, студент группы № Р4120

Направление подготовки: 09.04.02 – Автоматизация и управление в образовательных системах

e-mail: gorobchenko.ann@gmail.com



**Русак Алена Викторовна**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: alena@cde.ifmo.ru

УДК 004.42

**ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОННОГО  
ТЕСТИРОВАНИЯ**

**Горобченко А.А., Русак А.В.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Русак А.В.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

В работе рассмотрены подходы к решению проблемы оценки достоверности результатов электронного тестирования. Определены особенности применения рассматриваемых подходов, их достоинства и недостатки. В качестве одного из вариантов решения представлена модель системы компьютерного тестирования, оценивающая достоверность результатов путем анализа параметров процесса тестирования с помощью байесовской сети доверия.

**Ключевые слова:** компьютерное тестирование, адаптивное тестирование, достоверность результатов тестирования, байесовская сеть доверия, анализ результатов тестирования.

В настоящий момент одной из наиболее популярных форм контроля знаний учащихся является компьютерное тестирование (КТ). Рост популярности КТ объясняется несколькими факторами. Во-первых, в отличие от устного опроса или бланкового тестирования КТ позволяет автоматизировать проверку результатов тестирования, тем самым повышая оперативность контроля и освобождая преподавателей от данной работы. Во-вторых, КТ обеспечивает отсутствие предвзятости со стороны проверяющего, так как проверка осуществляется автоматически. Несмотря на отмеченные преимущества, даже при условии валидности и надежности тестов КТ не гарантирует достоверность полученной оценки знаний учащегося, поскольку при классическом КТ процесс тестирования представляет собой последовательную выдачу заранее отобранных вопросов, при этом анализ результатов тестирования отсутствует. Кроме того, КТ не учитывает возможность списывания или угадывания, поэтому необходим постоянный контроль за процессом тестирования преподавателем или методистом. Перечисленные недостатки обуславливают необходимость разработки новых подходов к организации компьютерных систем тестирования, в том числе с использованием методов искусственного интеллекта, с целью повышения объективности результатов тестирования [1].

В настоящее время можно выделить два основных подхода к решению проблемы оценки достоверности результатов тестирования. Первый основан на персонализации процесса тестирования. Этот подход используется в системах адаптивного тестирования [2]. Особенностью данного подхода является способ организации процесса тестирования – каждый учащийся проходит тестирование по индивидуальной траектории, а вопросы, предъявляемые ему в процессе тестирования, зависят от его уровня знаний, который вычисляется в ходе тестирования.

Разработка компьютерной системы адаптивного тестирования включает в себя следующие шаги.

1. Создание базы знаний. Под базой знаний в системах адаптивного тестирования подразумевается база тестовых заданий, для каждого из которых установлен уровень сложности. Уровни сложности могут быть установлены преподавателем, однако, в этом случае оценка сложности вопроса будет субъективна, вследствие чего итоговая оценка за тест не всегда будет достоверна. Для того чтобы оценка сложности задания была максимально объективна, необходимо проводить апробацию заданий на большом количестве учащихся, что является достаточно трудозатратной задачей.
2. Выбор способа выдачи первого вопроса. В большинстве случаев первый вопрос выбирается либо как средний по сложности, либо на основе результатов предварительного тестирования, в ходе которого оценивается начальный уровень знаний учащегося.
3. Выбор способа построения траектории адаптивного тестирования. Этот шаг является ключевым в системах адаптивного тестирования, так как именно на данном этапе определяются методы выдачи следующего вопроса и пересчета уровня способности тестируемого. От выбора этих методов зависит объективность результатов адаптивного тестирования.
4. Выбор условия окончания тестирования. Таким образом, адаптивное тестирование является совокупностью методов решения перечисленных задач, каждый из которых влияет на достоверность итоговой оценки знаний учащегося.

Безусловно, системы адаптивного тестирования позволяют повысить объективность результатов тестирования, а также повысить эффективность процесса тестирования за счет сокращения количества вопросов. Однако адаптивное тестирование не позволяет в полной мере исключить списывание и угадывание. Также стоит отметить, что, несмотря на большое количество теоретических разработок в области адаптивного тестирования, на практике реализовано крайне мало таких систем. Это объясняется сложностью их реализации.

Второй подход к решению поставленной проблемы основан на анализе процесса тестирования. Здесь основное внимание уделяется не организации процесса тестирования, а подробному анализу этого процесса и его результатов. Такой анализ позволяет приблизить процесс КТ к устному опросу, выявить его особенности.

Для разработки компьютерной системы анализа процесса и результатов тестирования необходимо, во-первых, определить набор параметров, которые влияют на результат тестирования. Анализ выбранных параметров должен наиболее подробно описывать процесс тестирования и позволить получить оценку достоверности его результата. Параметры могут быть получены как в процессе тестирования (например, время ответов на вопросы, логика ответов), так и из электронной информационной системы учебного заведения (например, данные об успеваемости учащегося). Во-вторых, необходимо выбрать метод, с помощью которого система будет оценивать достоверность результатов тестирования на основе выбранных параметров.

В [3] описана система анализа результатов КТ, основанная на байесовской сети доверия (БСД). БСД – это направленный ациклический граф, каждая вершина которого представляет собой событие, описываемое случайной величиной, которая может иметь несколько состояний. БСД позволяет вычислить значение вероятности для одних переменных при наличии информации о других. Таким образом, определив параметры для анализа процесса

тестирования и установив вероятностные зависимости между ними, с помощью БСД можно получить оценку достоверности полученного результата.

БСД, предложенная в работе [3], представлена на рис. 1.

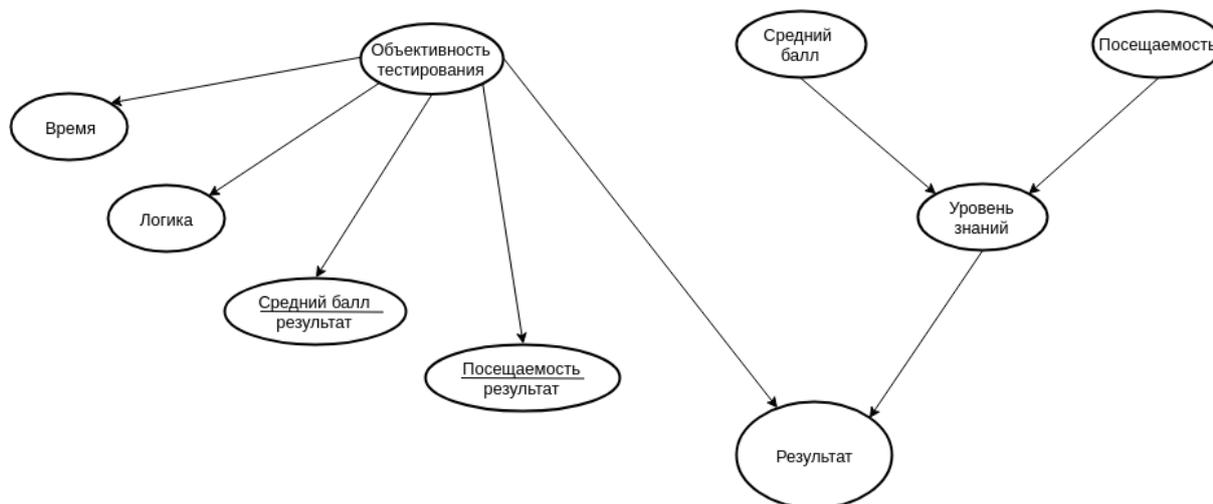


Рис. 1. Модель БСД для системы анализа процесса тестирования

Работа системы была смоделирована в программном пакете Hugin с разными значениями параметров, соответствующих различным вариантам протекания процесса тестирования. Результаты моделирования подтвердили адекватность разработанной модели. Например, в ситуации, когда учащийся с низким уровнем знаний получает отличную оценку, но при этом анализ процесса тестирования показывает, что его ответы нелогичны и даны за неправдоподобное время (что может свидетельствовать о факте списывания или угадывания ответов), система выдает заключение о том, что полученный результат недостоверен.

Однако, несмотря на удовлетворительные результаты, представленная модель явно является неполной, набор параметров можно дополнить, что приведет к более подробному анализу процесса тестирования и, как следствие, повысит достоверность полученных результатов. Кроме того, вершины – Время, Логика, Средний балл/результат, Посещаемость/результат – логичнее представить причинами, т.е. входящими в вершину Объективность тестирования. Модернизированная модель БСД представлена на рис. 2.

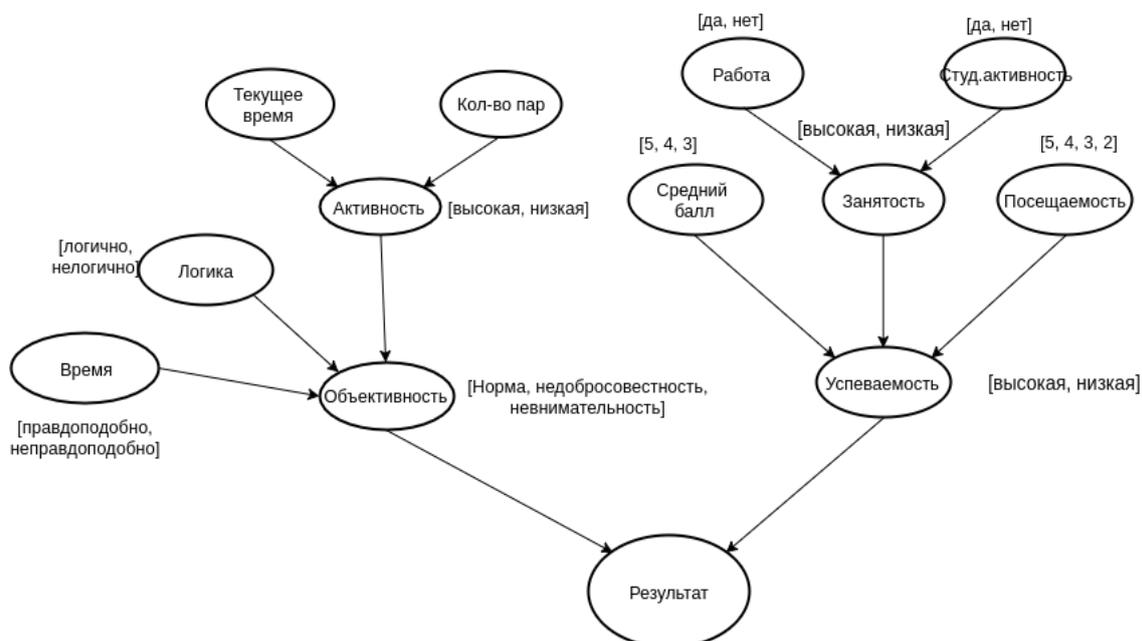


Рис. 2. Модернизированная модель БСД для системы анализа процесса тестирования

Параметры для анализа процесса тестирования, используемые в разработанной модели, можно разделить на две группы. К первой группе относятся параметры учащегося, полученные из электронной информационной системы учебного заведения.

1. Занятость. Имеет состояния «Высокая» и «Низкая». Является следствием вершин Работа и Студенческая активность.
2. Посещаемость. Имеет состояния «Высокая», «Средняя», «Низкая». Определяется процентом посещенных занятий.
3. Средний балл. Имеет состояния «5», «4», «3». Может определяться как средний балл за предыдущий семестр либо как средний балл за предметы того же профиля, к которому относится тест.
4. Успеваемость. Имеет состояния «Высокая», «Низкая». Является следствием вершин Занятость, Посещаемость, Средний балл.

Ко второй группе относятся параметры, получаемые непосредственно в процессе тестирования.

1. Активность. Имеет состояния «Высокая», «Низкая». Является следствием вершин Количество пар и Текущее время.
2. Логика ответов. Имеет состояния «Логично», «Нелогично». Определяется количеством ответов на вопросы, являющиеся ключевыми для дисциплины и более сложные вопросы, для ответа на которые необходимы базовые знания. Если учащийся отвечает на сложные вопросы, при этом не отвечая на ключевые, вершина будет иметь состояние «Нелогично».
3. Время. Имеет состояния «Правдоподобно» и «Неправдоподобно». Определяется временем ответов учащегося на каждое задание теста. Слишком быстрые ответы могут свидетельствовать об угадывании, в то время как ответы, данные за секунду до окончания отведенного времени, могут быть следствием списывания.
4. Объективность. Имеет состояния «Норма», «Оценка завышена», «Оценка занижена». Является следствием вершин Активность, Логика, Время.

Вершины, относящиеся к первой и второй группе, являются родительскими для вершины Результат.

Моделирование работы системы позволяет получить вероятность достоверности оценки, полученной за тестирование, на основе вероятностей остальных параметров. Это может служить рекомендацией для преподавателя при решении о принятии результатов тестирования.

Таким образом, системы анализа процесса и результатов тестирования позволяют повысить объективность оценки знаний учащегося, учитывая возможность списывания или угадывания ответов. Кроме того, по сравнению с системами адаптивного тестирования они более просты в реализации.

### Литература

1. Ковтун С.А., Капитан С.Н., Савельев О.О. О концепции создания интеллектуальных тестирующих систем // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 360–364.
2. Голанова А.В., Голикова Е.И. Адаптивное тестирование как одна из форм компьютерного тестирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnoe-testirovanie-kak-odna-iz-form-kompyuternogo-testirovaniya>, своб.
3. Хуен Д.Т.Т. Интеллектуальная система тестирования знаний на основе байесовских сетей доверия // Изв. ТГУ. – 2011. – № 6. – С. 494–503.



**Кузьмин Кирилл Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, студент группы № Р4122

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия систем реального времени

e-mail: wee3dood@gmail.com



**Штенников Дмитрий Геннадьевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: dshtennikov@gmail.com

УДК 004

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РЕАЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ КЛИЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Кузьмин К.С.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Штенников Д.Г.**

Работа содержит описание, сравнение технологий, используемых для разработки мобильных клиентов для систем корпоративного обучения.

**Ключевые слова:** мобильные технологии, сетевые технологии, корпоративное обучение.

**Введение.** Одним из главных и значительных изменений в образовательной среде стало изменение подхода к обучению. Появилась необходимость и возможность создавать «мобильный» контент, использовать который можно где угодно, используя лишь смартфон или иное мобильное устройство. Сами смартфоны стали доступнее, что позволило расширить круг пользователей. Кроме того, развитие сетей вышло на достаточный уровень доступности для потребителя, и, одновременно с этим, вышло на достаточный качественный уровень [1–3].

Обучение с использованием мобильных устройств позволяет гибко изменять план обучения в зависимости от конкретного обучающегося. Кроме того, подобные системы возможно совмещать с традиционным обучением и, как показывает практика, такой подход является наиболее успешным.

На основании литературных источников сформирован список основных критериев оценки технологий разработки.

Критерии оценки. При выборе технологии важно определить, какие характеристики системы являются для определенной ситуации самыми приоритетными.

Список параметров, по которым будет произведена оценка технологий, приведена ниже:

1. скорость разработки – время, которое потребуются специалистам одного уровня в каждой из технологий для решения поставленной задачи;
2. наличие специалистов – насколько легко/быстро найти специалистов для выполнения задания и дальнейшего сопровождения системы;
3. удобство разработки и отладки – показатель, указывающий, насколько развиты инструменты для разработки и отладки в данной среде/технологии;

4. охват платформ – возможность переиспользования кода на разных платформах;
5. наличие библиотек – наличие различных вариантов библиотек и инструментов.

Платформы. На текущий момент существуют две основные платформы, на которые разрабатываются мобильные клиенты – Android и iOS. Инструментарий для нативной разработки под данные платформы отличается, однако, часть технологий имеет возможность разрабатывать приложения сразу на несколько платформ, включая мобильные.

Рассмотрим различные подходы к разработке приложений, инструментарий, а также преимущества и недостатки подобных технологических решений.

Нативные приложения. Для каждой современной платформы существует свой набор инструментов для разработчиков, так называемый SDK (Software Development Kit). Он позволяет получить доступ к сервисам устройства.

В зависимости от платформы сильно изменяется инструментарий разработки. Так, для платформы Android приложения разрабатываются на языке Java или Kotlin, для iOS – это Objective-C или Swift. При выборе нативного подхода к разработке программисту доступно огромное количество библиотек и инструментов, которые сильно варьируются от платформы к платформе.

**Пример использования.** Для платформы Android встроена база данных SQLite, позволяющая хранить данные, полученные с сервера на смартфоне и использовать их в режиме офлайн. Для организации клиента можно использовать библиотеку Retrofit и язык Java или Kotlin как основной язык разработки клиента.

Оценка. По критериям оценки, введенным ранее, приведем список плюсов и минусов нативного подхода к разработке мобильного клиента:

Плюсы:

1. удобство разработки – несмотря на различия в инструментарии в зависимости от платформы, в целом, нативная разработка гораздо удобнее. Наличие развитого инструментария и отсутствие прослоек между кодом приложения и исполняемым файлом способствуют удобству подобного рода разработки;
2. скорость работы – благодаря нативному подходу к разработке достигается наибольшая производительность и скорость работы приложения;
3. юзабилити – данный подход является самым удобным для разработчика благодаря широкому набору инструментов, специфичному для каждой платформы;
4. наличие библиотек – существует большое количество библиотек различного назначения.

Минусы:

1. охват платформ – под каждую платформу приложение приходится разрабатывать с нуля;
2. наличие специалистов – из-за высокого порога вхождения в подобные технологии, а также из-за специфичности сферы достаточно сложно найти подходящего для реализации задачи специалиста.

Возможные сценарии использования. Нативные технологии разработки применяются в случае, если надежность приложения очень важна, а также в случаях, когда есть необходимость использовать аппаратные возможности мобильного устройства. Чтение QR кодов с камеры, формирование рекомендаций в соответствии с местоположением обучающего – все это реализуется с помощью нативных технологий.

**Гибридные приложения.** Удобство разработки единого веб-приложения становится очень привлекательно благодаря скорости разработки, а также возможности использовать код где угодно. Кроме того, программисты, знакомые с веб-технологиями могут сразу начинать разработку и мобильного приложения. Однако для многих приложений важна возможность читать и сохранять файлы, использовать камеру, получать уведомления, но подход со стороны веб-технологий таких возможностей не дает.

В связи с этим появился так называемый гибридный подход к разработке. В таком случае разработка логики и интерфейса происходит с использованием HTML и JS, но с использованием специального компонента браузера для внедрения в нативное приложение.

К примеру, для Android – это WebView, для iOS – UIWebView. Это все тот же браузер, но с возможностью принимать вызовы из нативного кода в JS и принимать нативной частью сообщения от JS. Также существует достаточное количество инструментов и библиотек для гибридной разработки, включая известные Ionic 2 и React Native.

Благодаря данному подходу возможен доступ к аппаратным средствам устройства, однако он сильно ограничен по сравнению с нативным подходом. Подобный подход дешевле и быстрее нативного подхода, однако, и обладает рядом недостатков.

Оценка. У гибридного подхода к разработке существует ряд преимуществ перед нативной или кроссплатформенной разработкой, а также существует ряд недостатков. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Плюсы:

1. кроссплатформенность – одно приложение может быть перенесено под любую операционную систему;
2. наличие специалистов – так как гибридные приложения используют веб-технологии, и ввиду распространения веб-технологий гораздо легче найти специалиста для подобного подхода нежели разработчика нативных приложений;
3. время разработки – если не учитывать время доводки под конкретную платформу, данный подход обладает рядом преимуществ в этом плане благодаря переиспользованию кода;
4. наличие библиотек – для подобного подхода существует обширный инструментарий, хоть и меньший, чем для нативного подхода, позволяющий решать большую часть поставленных задач.

Минусы:

1. производительность – подобные решения требуют компромиссных решений, что негативно сказывается на производительности;
2. отладка – приложения, разработанные таким способом, самые сложные в отладке.

Возможные сценарии использования. На данных технологиях разрабатываются простые приложения с доступом к материалам без особых требований к функционалу. Благодаря такому подходу можно увеличить охват аудитории, предоставив только необходимый функционал в кратчайшие сроки. Кроме того, при разработке быстрого прототипа также применяется подобный подход.

**Кроссплатформенные приложения.** Кроссплатформенные приложения – приложения, компилируемые сразу или в исполняемый файл, или в нативный код. Значительная часть кода, отвечающего за логику может быть использована повторно, а интерфейс разрабатывается отдельно. В список таких технологий входит, например, Kivy и Xamarin. Xamarin создан для разработки приложений на языке программирования C#, Kivy же позволяет разрабатывать приложения на Python.

Оценка.

Плюсы:

1. скорость работы;
2. время разработки;
3. поддержка платформ.

Недостатки:

1. наличие специалистов;
2. удобство отладки.

Возможные сценарии использования. Разработка приложения, требующего использования мультимедиа и графики, возможно на нативных технологиях и на кроссплатформенных. Выбор в сторону кроссплатформенных стоит сделать при наличии

соответствующих специалистов и возможностей разработки таким образом. Кроме того можно применить подобный подход при создании клиента для автоматизации процесса обучения, если необходимо охватить несколько платформ.

**Выводы.** Основываясь на приведенных ранее описаниях и сравнениях различных подходов следует подвести итог, в каких же случаях следует выбирать те или иные технологии и подходы к разработке:

- нативный подход – если нам необходимо ресурсоемкое приложение с наличием многослойной анимации и вычислительными функциями, сложные системы для полной автоматизации обучения, приложения, использующие взаимодействия с аппаратной частью;
- гибридный подход – при разработке приложения с несложной анимацией, адаптивным интерфейсом и несложным взаимодействием с аппаратной частью устройства;
- кроссплатформенный подход – когда необходима поддержка более чем одной платформы, однако, необходима скорость и надежность нативного приложения.

### Литература

1. Корпоративные информационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/263/4531.php/>, своб.
2. Разработка мобильных приложений [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://habrhabr.ru/company/mailru/blog/179113/>, своб.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для бакалавров. – 7-е изд. – М.: Юрайт, 2012. – 342 с.



**Летов Николай Евгеньевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных  
технологий, студент группы № Р4122

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия систем  
реального времени

e-mail: letov.nikolay@gmail.com



**Штенников Дмитрий Геннадьевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет программной инженерии  
и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных  
технологий, к.т.н., доцент

e-mail: dshtennikov@gmail.com

**УДК 004**

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Летов Н.Е.**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Штенников Д.Г.**

В работе рассмотрены подходы к визуализации структуры искусственной нейронной сети. Одна из проблем применения искусственных нейронных сетей заключается в том, что сложно понять, почему нейронная сеть определяет символ, фотографию, сказанное слово, или фрагмент естественного языка именно так, а не иначе. Создание инструмента для визуализации самой сети позволит быстрее и качественнее воспринимать параметры сети.

**Ключевые слова:** нейронные сети, визуализация.

Тема распознавания текста является одним из подразделов распознавания образов. Распознавание образов или теория распознавания образов – это раздел информатики и смежных дисциплин, развивающий основы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций и т.п. объектов, которые характеризуются конечным набором некоторых свойств и признаков.

Под распознаванием текста обычно понимают три главных метода:

1. сравнение с заранее подготовленным шаблоном;
2. распознавание с использованием критериев распознаваемого объекта;
3. распознавание при помощи самообучающихся алгоритмов, в том числе при помощи нейронных сетей.

Искусственная нейронная сеть – это сеть с конечным числом слоев из однотипных элементов – искусственных нейронов с различными типами связей между слоями. В слоях выбирается число нейронов, необходимое для обеспечения заданного качества решения задачи, а число слоев нейронов – как можно меньшее для сокращения времени решения задачи.

Одна из проблем изучения и использования искусственных нейронных сетей состоит в том, что они неспособны объяснить, каким образом они решают задачу. Внутреннее представление результатов обучения зачастую настолько сложно, что его невозможно проанализировать, за исключением некоторых простейших случаев, обычно не представляющих интереса.

На данный момент существуют приложения, позволяющие изобразить результаты вычислений нейронных сетей. Моделирование структуры же считается чисто математическим процессом, и потому средств отображения именно структуры искусственных нейронных сетей на текущий момент не так много. Существуют сервисы, которые позволяют построить структуру несложных персептронных сетей и показать их обучение на простых примерах. Однако данные решения не подходят для динамического анализа структуры сети и настроены для решения конкретных тестовых задач.

Инструмент визуализации позволяет наглядно отобразить пространственные модели искусственных нейронных сетей, анализировать структуру данных моделей.

Рассмотрим способы визуального представления искусственных нейронных сетей.

Классическим способом изображения искусственных нейронных сетей является ориентированный граф, вершинами которого являются нейроны, а ребрами – взвешенные синапсы (рис. 1). Саймон Хайкин в своем труде [1] дает определение нейронной сети через граф: «Нейронная сеть – это ориентированный граф, состоящий из узлов, соединенных синаптическими и активационными связями...».

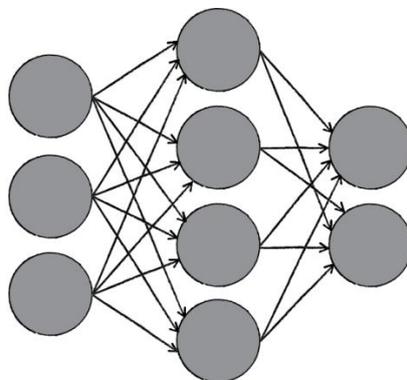


Рис. 1. Представление искусственной нейронной сети в виде графа

Такое представление, при всей своей наглядности с точки зрения структуры, может претендовать на информативность только в сетях малой размерности, т.е. 2–3 слоя, по 5–6 нейронов в каждом. К тому же следует отметить, что значения весов – главную информационную компоненту – показывать затруднительно. Изображения ребер сливаются друг с другом, накладываются, засоряя полезную площадь графического образа.

Другим способом изображения является таблица значений весов синапсов. Если рассматривать отдельный слой сети, то получается  $m$  входов, соединенных с  $n$  нейронами, т.е. прямоугольная таблица, в ячейках которой помещаются веса соответствующих синапсов. Такое представление удобно тем, что позволяет видеть практически каждую элементарную ячейку сети, но это же одновременно является и недостатком: лишняя детализация мешает видеть картину в целом, так как сложно уследить за множеством непрерывно изменяющихся цифр в динамике обучения.

В работе [2] предлагается способ представления, базирующийся на идеях когнитивной графики. Предполагается, что сеть изображается послойно, каждый слой представляется прямоугольной областью. Однако веса синапсов изображаются не цифрами, а цветными прямоугольниками. Цвет – основная идея метода. Белым цветом обозначается ноль, оттенками синего – отрицательные значения, оттенками красного – положительные. Одна такая цветовая зона обозначает один слой нейронной сети. В процессе обучения веса синапсов могут изменяться, что немедленно отразится на цветовой картине.

Отдельно стоит рассмотреть нестандартные виды нейронных сетей. Одним из таких случаев является описанная в [3] сеть со спиральной структурой. Ее особенность заключается в том, что для отслеживания изменений весов необходимо следить за тем, какие

связи, как и на что влияют. Понятно, что в виде простого графа или таблицей такую сеть показать очень сложно.

Для того чтобы решить вопрос визуализации сетей такого типа, предлагается разработать систему для визуализации нейронной сети в виде трехмерного графа с цветовой индикацией. Данный подход совмещает традиционность восприятия структуры искусственной нейронной сети в классическом графовом виде с удобством представления различной информации, позволяя использовать элементы когнитивной графики и в то же время выводить численные данные. Использование трех измерений позволит строить не только плоские структуры, но и объемные, позволяя увеличить их сложность без ущерба наглядности.

На рис. 2 представлена диаграмма компонентов предлагаемой системы. Подразумевается, что нейронная сеть будет подаваться на вход программе, которая, анализируя данную сеть будет строить граф и затем визуализировать, беря веса из исходной сети.

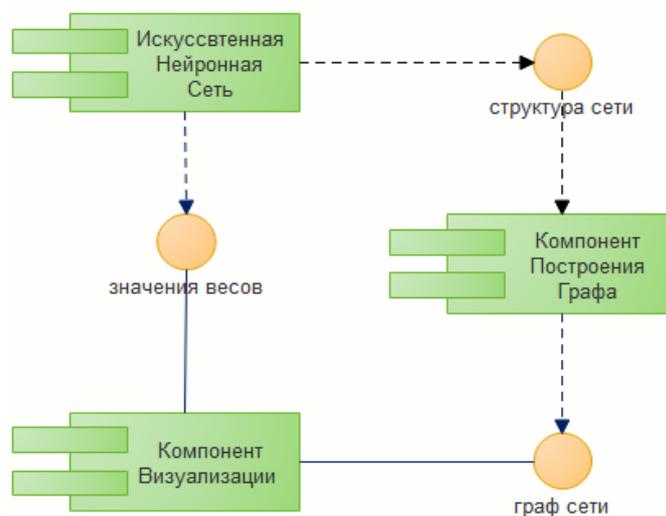


Рис. 2. Диаграмма последовательностей системы визуализации

В рамках разработки была сделана попытка визуализировать простейший вид нейронной сети со спиральной структурой (рис. 3).

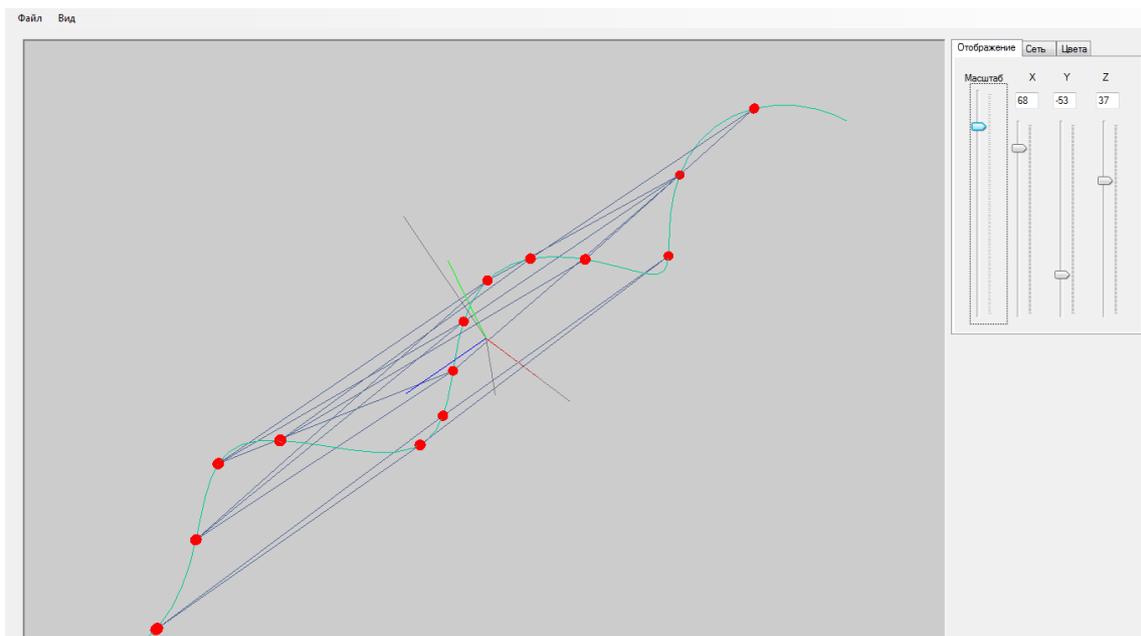


Рис. 3. Визуализация нейронной сети со спиральной структурой

Данная схема не может являться достоверной, поскольку она построена на основе не реальной нейросети, а специально построенной модели, однако уже видны преимущества рассмотрения структуры сети в трехмерном пространстве – структура воспринимается гораздо проще и нагляднее, нежели изображенная на плоскости.

Искусственные нейронные сети становятся все сложнее, и понимать, почему нейронные сети ведут себя именно так, а не иначе, все труднее. Даже эксперты не до конца понимают, как работают нейронные сети. Тем не менее, они работают. Но вопрос «как она это делает?» до сих пор остается открытым. Поэтому, несмотря на то, что в основе данных технологий лежит математика, для поддержки математического аппарата требуются дополнительные инструменты.

### **Литература**

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Таран А.В., Москаленко Ю.С. Визуализация процесса обучения нейронной сети // Труды Дальневосточного политехнического института им. В.В. Куйбышева. – 2000. – № 127. – С. 50–53.
3. Осипов В.Ю. Рекуррентная нейронная сеть со спиральной структурой слоев // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 6. – С. 28–32.



**Степанов Максим Юрьевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, студент группы № Р4120

Направление подготовки: 09.04.02 – Автоматизация и управление в образовательных системах

e-mail: maximostepanov@gmail.com



**Русак Алена Викторовна**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: alena@cde.ifmo.ru



**Штенников Дмитрий Геннадьевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: dshtennikov@gmail.com

УДК 004.42

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАИВНОГО БАЙЕСОВСКОГО  
КЛАССИФИКАТОРА В ЭЛЕКТРОННОМ ОБУЧЕНИИ**

**Степанов М.Ю.**

**Научные руководители: к.т.н., доцент Русак А.В.; к.т.н., доцент Штенников Д.Г.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Технологии киберфизических систем: управление, вычисления, безопасность».

В работе рассмотрен вариант использования наивного байесовского классификатора в электронном обучении в качестве инструмента построения траектории адаптивного тестирования для контроля знаний обучаемых.

**Ключевые слова:** электронное обучение, наивный байесовский классификатор, адаптивное тестирование, контроль знаний, теорема Байеса.

Контроль знаний учащихся является неотъемлемой частью образовательного процесса как в традиционном, так и в электронном обучении. В настоящее время разработано множество форм контроля знаний: устный или письменный опрос, самостоятельная работа, практическая или лабораторная работы, тестирование и другие.

Тестирование является одной из наиболее распространенных форм контроля знаний. Для его организации используют как традиционные, так и адаптивные подходы. При традиционном подходе тест формируется заранее, как правило, содержит строго определенное количество вопросов. Главным недостатком является низкая вариативность тестов и то, что при их формировании не учитывается уровень подготовки учащихся.

Основу адаптивного подхода [1] к проведению тестирования составляет индивидуализация траектории тестирования испытуемого, т.е. порядок предъявления ему

тестовых заданий. Задания предъявляются в зависимости от успешности выполнения и уровня сложности предыдущих. Таким образом, исключается возможность прохождения тестирования, несопоставимого уровню знаний испытуемого. Кроме этого, при данном подходе тесты имеют меньшую продолжительность, которая не сказывается на точности результатов.

В данной работе была рассмотрена возможность применения наивного байесовского классификатора для построения траектории предъявления заданий при адаптивном тестировании контроля знаний.

Наивный байесовский классификатор (НБА) – это алгоритм классификации, основанный на теореме Байеса с допущением о независимости признаков [2]. Это означает, что наличие какого-либо признака в классе не связано с наличием какого-либо другого признака.

Модели на основе наивного байесовского классификатора достаточно просты и могут применяться как при работе с большими наборами данных, так и с небольшими.

Теорема Байеса позволяет рассчитать апостериорную вероятность  $P(A/B)$  принадлежности признака ( $B$ ) к определенному классу ( $A$ ) на основе значений вероятностей  $P(A)$ ,  $P(B)$  и  $P(B/A)$ :

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}, \quad (1)$$

где  $P(A|B)$  – вероятность, что объект  $B$  принадлежит классу  $A$ ;  $P(B|A)$  – вероятность встретить объект  $B$  среди всех объектов класса  $A$ ;  $P(A)$  – априорная вероятность класса;  $P(B)$  – безусловная вероятность объекта  $B$ .

В ходе работы были выделены следующие классы и признаки для наивного байесовского классификатора:

1. классы:

– уровни сложности заданий темы;

2. признаки:

– правильность ответов на вопросы (правильно/неправильно).

Применив выделенные классы и признаки для расчета значения величины наивного байесовского классификатора, мы сможем определить вероятность, с которой тестируемый сможет правильно ответить на новый вопрос текущей сложности, и изменить уровень сложности в случае необходимости.

Тестирование по определенной дисциплине обычно содержит в себе вопросы, которые можно подразделить на темы. При применении наивного байесовского классификатора с его допущением о независимости признаков для построения траектории предъявления заданий при адаптивном тестировании [3] можно получить вероятности дать тестируемым правильный ответ на следующий вопрос в зависимости от затрагиваемой темы или всего теста целиком, что позволит подбирать и предъявлять следующий вопрос, соответствующий уровню подготовки тестируемого. В нашем случае нас интересует только вероятность дать правильный ответ на новое задание текущего уровня сложности определенной темы. В связи с этим формула (1) приобретает следующий вид:

$$P(\text{Правильно}|\text{Тема}) = \frac{P(\text{Тема}|\text{Правильно}) * P(\text{Правильно})}{P(\text{Тема})}, \quad (2)$$

где  $P(\text{Правильно}|\text{Тема})$  – значение величины наивного байесовского классификатора, показывающая вероятность правильно ответить на следующий вопрос данной темы (класса);  $P(\text{Тема}|\text{Правильно})$  – вероятность данного значения признака при данном классе;

$P(\text{Правильно})$  – априорная вероятность правильного ответа в тестировании;  $P(\text{Тема})$  – вероятность встретить данную тему в тестировании.

Для проверки рассмотренного варианта применения наивного байесовского классификатора было проведено пробное тестирование по дисциплине «информатика», содержащее четыре темы. Вопросы были подразделены на пять групп: очень простые, простые, средние, сложные, повышенной сложности. Переход между уровнями сложности для каждой темы происходил на основании показания значения наивного байесовского классификатора. В табл. 1 представлен пример правила изменения сложности темы.

Таблица 1. Таблица изменения уровня сложности

Текущий уровень сложности	Изменение уровня сложности вопросов темы	
	Возможные смены уровня сложности	Значение величины НБК
сложный	средний	0–0,35
	сложный	0,35–0,7
	повышенный	0,7–1

После ответа испытуемым на блок вопросов тестирования происходит вычисление значения наивного байесовского классификатора. Затем в сводной таблице переходов между уровнями сложности ищется текущий уровень сложности темы, и полученное ранее значение соотносится с интервалами, которые соответствуют новым уровням сложности. Так, если после ответа на 4 вопроса сложного уровня значение наивного байесовского классификатора принимает значение 0,67, то принимается решение, что изменение уровня сложности производиться не будет, так как значение попадает в интервал  $[0,35–0,7]$ , при котором не предполагается смены уровня сложности вопросов темы.

Были выделены следующие критерии остановки тестирования, основанные на значениях наивного байесовского классификатора:

1. вероятность дать правильный ответ на следующий вопрос тестирования превышает 60%;
2. вероятность дать правильный ответ на следующий вопрос тестирования ниже 20%;
3. разница между вероятностью дать правильный ответ после предыдущего вопроса и текущего менее 1%.

Тестирование начинается с 12 вопросов среднего уровня сложности для определения начального уровня знаний. Эти результаты используются для обучения классификатора. Если при завершении данного блока вопросов выполняется один из критериев остановки, то тестирование считается состоявшимся, в противном случае тестирование продолжается.

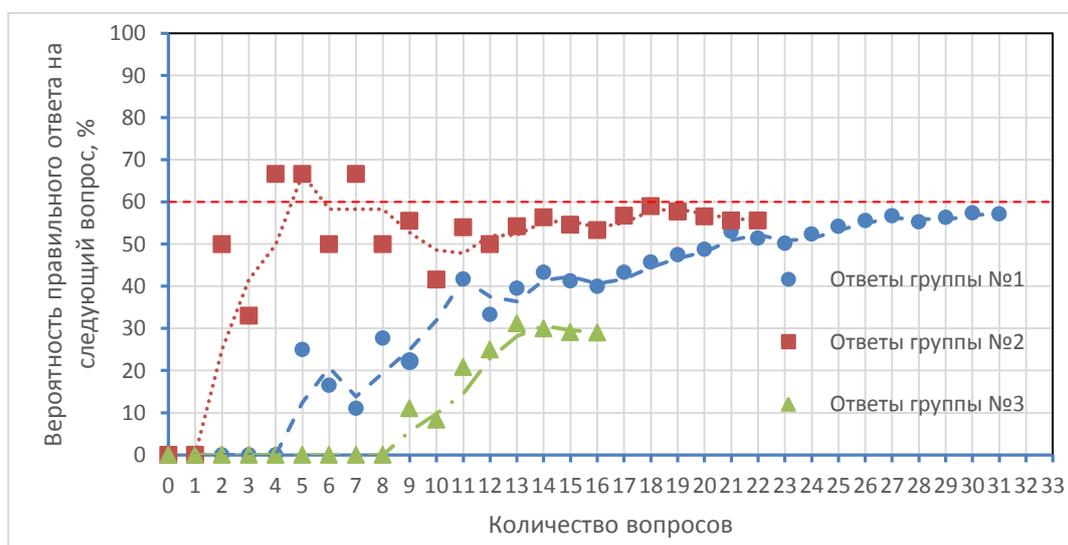


Рисунок. Изменение вероятности правильного ответа на следующий вопрос

По результатам прохождения были построены графики, основанные на критериях завершения тестирования и демонстрирующие изменение вероятности дать правильный ответ на следующее задание, основанное на показаниях наивного байесовского классификатора (рисунок).

В табл. 2 представлен пример изменения уровня сложности тем в ходе тестирования.

Таблица 2. Изменение уровня сложности тем

Тема, №	Изменение уровня сложности вопросов темы		
	начальный уровень сложности	после определения уровня знаний	по окончании тестирования
1	средний	простой	средний
2	средний	сложный	сложный
3	средний	простой	простой
4	средний	сложный	сложный

После проведения анализа полученных результатов было установлено, что изменение уровня сложности вопросов тем корректно соотносилось с реальным уровнем знаний испытуемых.

Исходя из вышеописанного, следует, что применение наивного байесовского классификатора в качестве инструмента построения траектории адаптивного тестирования вполне целесообразно. Оно позволяет отслеживать уровень знаний тестируемого и производить смену сложности предлагаемых вопросов, основываясь на вероятности дать правильный ответ на новый вопрос.

### Литература

1. Данг Х.Ф., Шабалина О.А. Полное адаптивное тестирование // Изв. ВолГТУ. – 2013. – № 14(117). – Т. 17. – С. 75–82.
2. Desmarais M.C., Pu X. Computer Adaptive Testing: Comparison of a probabilistic network approach with Item Response Theory // User Modeling Conference. – 2005. – P. 6.
3. Agarwal S., Jain N., Dholay S. Adaptive Testing and Performance Analysis using Naive Bayes Classifier. – 2015. – V. 45. – P. 70–75.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>Фролова К.С.</b> Время жизни клеточной мембраны в потоке свободных радикалов .....	4
<b>Краснова П.Е., Говоров А.И.</b> Обзор используемых инструментов поддержки мотивации студентов в интерфейсах информационно-образовательных ресурсов.....	6
<b>Малюшкин Р.В.</b> Сбор и обработка статистических данных из открытых источников для геопортала Арктической зоны Российской Федерации .....	9
<b>Панфилова О.А.</b> Проблемы автоматизации обработки результатов исследования методом метапрограмм и возможные пути их решения .....	13
<b>Пац К.М.</b> Вычисление энергии химических соединений, заданных в дискретном виде .....	16
<b>Полянская А.Д., Валитова Ю.О.</b> Программные средства для автоматизированной обработки результатов ассоциативного эксперимента .....	19
<b>Рогулева Е.А. Иванов С.Е.</b> Применение графовых методов для построения модели ранжирования публикаций в новостной ленте .....	22
<b>Телевной А.Д., Хлопотов М.В.</b> Исследование вовлеченности аудитории в сообщества социальной сети «ВКонтакте» .....	26
<b>Усик С.В., Хлопотов М.В.</b> Средства мониторинга качества данных в аналитических инструментах управления продажами компании сегмента FMCG.....	31
<b>Азизова Э.З.</b> Анализ инструментариев для проведения автоматизированного тестирования в распределенных системах .....	34
<b>Амосова А.Ф.</b> Функции безопасности системы управления базами данных Microsoft SQL Server 2017 .....	37
<b>Антонов Е.П.</b> Обзор и анализ существующих информационных систем на основе технологии блокчейн .....	41
<b>Ахтямова Э.М.</b> Методы искусственного интеллекта, применяемые в задачах классификации текстовой информации .....	45
<b>Барсков А.С.</b> Методы машинного обучения в когнитивных радиосистемах.....	48
<b>Десятов С.В., Осетрова И.С.</b> Анализ методов обработки больших данных .....	50
<b>Дитенбиер А.Е.</b> Анализ методов оценки рисков и угроз информационной безопасности .....	53
<b>Долгачев Р.Ф.</b> Сравнительный обзор API Vulkan и OpenGL .....	55
<b>Егоров П.И.</b> Создание микросервисной архитектуры на базе Amazon Elastic Container Service .....	58
<b>Еремеева А.В.</b> Применение наивного байесовского классификатора для построения рекомендательной системы .....	60
<b>Загряжская Н.И.</b> Исследование методов анализа временных рядов .....	62
<b>Зверев П.В.</b> Методы анализа Big Data логистической компании .....	64
<b>Казьмин Д.А.</b> Методы анализа безопасности данных в облачных сервисах .....	67
<b>Кислюк И.В.</b> Сравнительный анализ качества и скорости разработки команды при различных способах организации работы .....	69
<b>Королюк Н.О.</b> Методы разработки мобильного web-приложения для анализа данных социальных сетей .....	72
<b>Купина А.П.</b> Сравнительный анализ популярных технологий создания чат-ботов .....	75
<b>Мухтаров Б.А.</b> Исследование и классификация алгоритмов динамического проецирования многомерных данных.....	77
<b>Парфенов Д.А.</b> Анализ методов шифрования и защиты персональных данных в системе управления базой данных .....	80
<b>Полин Я.А., Ананченко И.В.</b> Обзор возможностей машинного обучения и нейронных сетей для борьбы со спамом в социальных сетях .....	82
<b>Распопа Е.А., Ананченко И.В.</b> Тестирование приложений на базе Sitecore Web CMS .....	84
<b>Терентьев А.В.</b> Обзор технологии дополненной реальности на базе OS Android.....	87

<b>Тимоненков Д.Ю.</b> Проект дополненной реальности IllumiRoom .....	89
<b>Хаджиев И.В., Ананченко И.В.</b> Обзор возможностей Machine learning в обеспечении качества процесса разработки.....	91
<b>Хайруллина Р.И.</b> Сравнительный анализ библиотек для распознавания текста .....	94
<b>Чазова М.С.</b> Использование Docker в методологии DevOps: непрерывная поставка решений в облако .....	97
<b>Шаркова Е.И.</b> Сравнительный анализ игровых движков Unity 2017 и Unreal Engine 4.....	101
<b>Ямщиков Д.В.</b> Блокчейн-технологии в финансовой сфере: угроза или инструмент для развития отрасли .....	105
<b>Ахмедзянова Р.Р., Самохин Н.Ю.</b> Использование контейнерной технологии для проектирования сетевой инфраструктуры, устойчивой к DDoS -атакам.....	108
<b>Самохин Н.Ю., Булькина А.Б., Ахмедзянова Р.Р.</b> Данные по утилизации ресурсов виртуальной инфраструктуры. Запросы с помощью системы очередей сообщений.....	111
<b>Вычужанин П.В., Калюжная А.В.</b> Разработка системы автоматизированной верификации гидрометеорологической вычислительной системы .....	114
<b>Кисляковский И.О.</b> Разработка эволюционного алгоритма поиска клинического пути в графе .....	118
<b>Кутузова Т.Э.</b> Методы взаимного анализа рыночной корзины для офлайн и онлайн видов представления ассортимента товаров.....	122
<b>Chassignol M., Klimova A., Bilyatdinova A.</b> The future of education: how ai will reshape educational landscape?.....	127
<b>Онищук А.Е., Ковальчук С.В.</b> Предсказательное моделирование течения и исходов хронических неинфекционных заболеваний с учетом персонификации путей течения с использованием методов машинного обучения.....	131
<b>Перепелова А.С.</b> Обзор методов скелетной анимации с использованием нейронных сетей .....	135
<b>Plandé A.J.P., Klimova A., Bilyatdinova A.</b> How artificial intelligence will change the banking sector .....	138
<b>Утеуов А.К., Лопес Х.Л., Калюжная А.В.</b> Контроль качества и восстановление пропусков в гидрометеорологических данных .....	141
<b>Ховричев М.А.</b> Интеграция разнородных источников данных и знаний в здравоохранении: текущие тренды и перспективы развития .....	145
<b>Ходненко И.В.</b> Метод поиска кратчайшего пути с помощью построения карты изохрон на основе оптимальных сетей пешеходных дорожек.....	148
<b>Чинарева К.М.</b> Обзор методов внедрения технологий дополненной реальности в образовательный процесс.....	152
<b>Ханжина Н.Е.</b> Глубокие нейронные сети для совместной сегментации и классификации изображений.....	155
<b>Авдеева А.С.</b> Определение маски для разделения смеси шума и речи .....	158
<b>Агафонов Ю.О.</b> Макет определения мультимедийного канала на основе MFCC-признаков .....	161
<b>Белозерчик А.С., Кабаров В.И.</b> Методы анализа данных в практических задачах исследования удовлетворенности клиентов качеством обслуживания при голосовых обращениях в контактные центры.....	165
<b>Верхоляк О.В.</b> Моделирование временных зависимостей с помощью LSTM в задаче распознавания эмоций по голосу.....	168
<b>Главач М., Карпов А.А.</b> LipsID detection with CNN.....	171
<b>Закуанова М.Р., (Университет ИТМО), Калиновский И.А. (ООО «ЦРТ-инновации»).</b> Детектирование спуфинг-атак на лицевую биометрическую систему посредством анализа текстуры лица .....	174
<b>Казиева Н., Матвеев Ю.Н.</b> Штриховое кодирование в биометрии и ее приложениях .....	178

<b>Калиев А., Рыбин С.В.</b> Методы определения длительности фонов.....	181
<b>Грубер И., Карпов А.А.</b> ResNet vs DenseNet: comparison of the state-of-the-art architectures for face classification.....	184
<b>Кассу А-Р.М.</b> (ООО «Центр речевых технологий»), <b>Семенов Ю.Н.</b> (ООО «Центр речевых технологий»), <b>Кабаров В.И.</b> (Университет ИТМО). Функциональные и технические требования к платформе мультимодальных биометрических решений (регистрация, хранение, идентификация/верификация, обработка и аналитика) .....	188
<b>Копеев К.</b> Оценка эффективности приема речевых сигналов с использованием алгоритма задержки и суммирования для двухэлементных микрофонных решеток .....	192
<b>Куан Ч.Т.</b> Алгоритм формирования диаграммы направленности микрофонных решеток с продольной архитектурой для выделения речевых сигналов .....	196
<b>Лисицкий Е.И.</b> Генерация данных для обучения системы управления «Умным домом» .....	200
<b>Лукьянец Е.А.</b> Разработка архитектуры программного комплекса идентификации личности по изображению лица .....	203
<b>Макаров Р.Н.</b> Определение тонального контура на синтагме.....	205
<b>Мауленов К.</b> Сравнительный анализ методов разреженного представления изображений для задач поиска и распознавания лиц.....	208
<b>Мирзаянова С.В.</b> Системы нейросетевого синтеза.....	212
<b>Мироненко А.А.</b> Алгоритмы распознавания по изображению лица.....	215
<b>Олейник А.Л.</b> Разработка единой схемы для обработки и анализа многомодальных и мультисенсорных данных .....	217
<b>Пальков В.А.</b> Выделение зрачка на изображении лица.....	221
<b>Петров О.Е.</b> Использование вычислительных графов в задачах распознавания речи .....	224
<b>Томашенко Н.А.</b> (Университет ИТМО), <b>Хохлов Ю.Ю.</b> (ООО «ЦРТ-инновации»), <b>Черных И.А.</b> (ООО «ЦРТ-инновации»), <b>Кабаров В.И.</b> (Университет ИТМО). Быстрый декодер для поиска несловарных ключевых слов с использованием фонемных постериограммных вероятностей .....	227
<b>Убский Д.С.</b> Сравнительный анализ эффективности признаков, полученных нейронными сетями для распознавания речи на примере грузинской речи.....	231
<b>Фельдина Е.А.</b> Повышение уровня автоматизации обслуживания за счет функциональных доработок диалоговой системы .....	233
<b>Айтуганов Д.А., Ткешелашвили Н.М., Жмылёв С.А.</b> Сравнительный анализ способов оценки нагрузки в системах с очередями .....	236
<b>Анощенков Д.И.</b> Верификация систем высокоуровневого синтеза аппаратных вычислителей.....	241
<b>Балакшин П.В.</b> Программное обеспечение для роботизированной автоматизации процессов .....	245
<b>Громов В.В., Кустарев П.В.</b> Многоядерное программирование для встраиваемых систем ...	249
<b>Жмылёв С.А., Киреев В.Ю., Усков И.В., Пашнин А.Д.</b> Безопасное хранилище сертификатов об образовании на основе технологии blockchain .....	253
<b>Киреев В.Ю., Мартычук И.Г., Жмылёв С.А.</b> Аналитические методы исследования нестационарных процессов .....	258
<b>Коломойцев В.С.</b> Использование выделенных вычислительных узлов в схемах защищенного доступа как элемента обеспечения информационной безопасности.....	262
<b>Коломойцев В.С.</b> Оценка надежности двухуровневой системы защищенного доступа при разной стоимости используемых в ней элементов информационной защиты .....	266
<b>Кормилицын К.А.</b> Исследования методов фиксации поведения встроенных систем управления.....	270
<b>Литвинов П.А.</b> Исследование эффективности алгоритмов Калмана и Маджвика применительно к стабилизации объектов.....	274

<b>Маркитантов М.В.</b> Методы биометрии на основе нейросетевых технологий .....	277
<b>Бабилов А.А., Меинов А.С., Румянцева М.Ю.</b> Аппаратно-программный комплекс реабилитации людей с ограниченной мышечной активностью .....	281
<b>Пенской А.В.</b> Проектирование вычислительной платформы для моделирования динамических систем .....	285
<b>Савин А.А., Жмылёв С.А.</b> Исследование потерь заявок в системах с очередями при нестационарной нагрузке .....	289
<b>Садырин Д.С.</b> Противодействие эксплойтам на прикладном уровне в OS Linux .....	293
<b>Антонова А.А.</b> Визуализация 3D-данных в виде облака точек, имеющих различную плотность .....	296
<b>Васильева М.С., Меженин А.В.</b> Моделирование приложений Indoor-навигации в среде Unity .....	299
<b>Геворкян А.А., Меженин А.В.</b> Дополненная реальность для поиска натуральных съемок кинофильмов .....	302
<b>Дюльдин К.С., Ханило В.А.</b> Специфика человеко-машинного взаимодействия при работе с автоматизированной информационной системой информационно-методического центра .....	305
<b>Игнатенко Я.П., Смолин А.А.</b> Анализ преимущества увеличения количества объективов в камере для съемки видео 360 .....	308
<b>Ильин Е.Д.</b> Методы визуализации кровотока .....	312
<b>Капутерка Э.А., Балканский А.А., Лавров А.В.</b> Юзабилити-тестирование сайта государственного музейно-выставочного центра РОСФОТО.....	316
<b>Корнилова Л.А., Смолин А.А.</b> Особенности пользовательского опыта незрячих людей ...	321
<b>Корнилова Л.А., Смолин А.А.</b> Особенности восприятия людей с ограниченными возможностями по зрению .....	324
<b>Королева-Мартыновская К.К., Карсаков А.С.</b> Обзор текущего состояния области визуализации и визуального анализа геоданных .....	326
<b>Коротких А.Е., Меженин А.В.</b> Технологии трекинга камеры в реальном времени .....	330
<b>Ксенофонтова А.Г., Смолин А.А.</b> Проектирование пользовательского интерфейса для системы анализа результатов трехмерной визуализации генома человека .....	334
<b>Лавров А.В., Сизиков В.С.</b> Разделение перекрывающихся линий непрерывного спектра путем его дифференцирования и восстановление истинных профилей линий .....	337
<b>Махлай Д.О., Чернева В.И.</b> Метод векторной реставрации текстур для 3D-реконструкции утраченного здания на примере 3D-реконструкции Федоровского городка .....	342
<b>Сергиенко А.А., Сизиков В.С.</b> Способы коррекции человеческого и технического зрения .....	347
<b>Сизиков В.С.</b> (Университет ИТМО), <b>Меженин А.В.</b> (Университет ИТМО), <b>Бурлов Д.И.</b> (Университет ИТМО), <b>Степанов А.В.</b> (Крымский федеральный университет), <b>Экземпляр Р.А.</b> (ООО «ВАУ СЕРВИС», Санкт-Петербург). Математико-компьютерная обработка искаженных снимков поверхности земли, полученных со спутников и самолетов при дистанционном зондировании .....	351
<b>Солодкова В.Н., Смолин А.А.</b> Влияние социальных сетей на современный музей и восприятие произведений искусства .....	356
<b>Таборко М.А.</b> Методы повышения learnability мультипликационного редактора.....	359
<b>Устинова А.И.</b> (Университет ИТМО), <b>Игнатов П.В.</b> (Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов). Бинауральный синтез и исследование субъективного восприятия бинауральных записей .....	362
<b>Филиппова А.С.</b> Взаимодействие с чат-ботами на основе машинного обучения .....	365
<b>Ханило В.А., Дюльдин К.С., Миронов А.С.</b> Автоматизация процессов сбора и обработки организационно-управленческой информации для системы общего образования.....	367

<b>Хромов А.А.</b> Диагностика типовых ошибок учащихся, возникающих в процессе программирования .....	370
<b>Акпаралиев Н.А., Перл И.А., Кузьмин М.П.</b> Исследовательский анализ Tarantool для разработки базы данных хранения проектной информации.....	373
<b>Деменчук В.А.</b> Проблема программного взаимодействия со сторонними веб-интерфейсами и ее решение с помощью создания расширения для Google Chrome .....	376
<b>Калёнова О.В.</b> Проектирование виртуальной библиотеки знаний системной динамики .....	380
<b>Ковригина Л.Ю., Муромцев Д.И.</b> Понимание естественного языка в диалоговых системах: аспекты синтаксического анализа .....	384
<b>Куприянова А.Д., Шилин И.А.</b> Применение методов машинного обучения к задаче разрешения кореференции .....	387
<b>Морозов О.С.</b> Проектирование мобильного приложения для доступа к платформе облачного моделирования sdCloud .....	390
<b>Пелин В.О., Исаев И.В., Перл И.А.</b> Разработка архитектуры искусственной нейронной сети для прогнозирования и выявления аномалий в исторических проектных данных .....	392
<b>Путинцева А.А., Шилин И.А.</b> Обзор подходов к восстановлению эллиптических конструкций в естественном языке (на материале русского языка).....	395
<b>Пьянков Е.В., Исаев И.В., Тихомиров В.Э.</b> Исследование методов разработки предметно-ориентированного языка для доступа к информации о состоянии процесса разработки программного продукта .....	398
<b>Горобченко А.А., Русак А.В.</b> Проблема оценки достоверности результатов электронного тестирования.....	401
<b>Кузьмин К.С.</b> Сравнительный анализ технологий реализации мобильных клиентов для систем электронного обучения .....	405
<b>Летов Н.Е.</b> Визуализация распознавания текста с использованием нейронных сетей.....	409
<b>Степанов М.Ю.</b> Возможности использования наивного байесовского классификатора в электронном обучении .....	413

**АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО  
Том 2**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Редактор

Л.Н. Точилина

Подписано к печати 19.11.2018

Заказ № 4142

Тираж 100 экз.