

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)



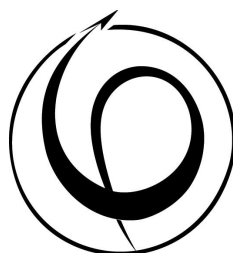
ТРУДЫ  
57-Й НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МФТИ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
П. Л. КАПИЦЫ

Всероссийской научной конференции с международным  
участием  
«Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных  
наук в области физики»

Всероссийской молодежной научной конференции  
с международным участием  
«Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных  
наук в современном информационном обществе»

24–29 ноября 2014 года

ИННОВАЦИИ И ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



Москва–Долгопрудный–Жуковский  
МФТИ  
2014

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Российская академия наук  
Московский физико-технический институт  
(государственный университет)  
Российский фонд фундаментальных исследований

ТРУДЫ  
57-й НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МФТИ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
П. Л. КАПИЦЫ

Всероссийской научной конференции с международным  
участием  
«Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных  
наук в области физики»

Всероссийской молодежной научной конференции  
с международным участием  
«Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных  
наук в современном информационном обществе»

24–29 ноября 2014 года

ИННОВАЦИИ И ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Москва–Долгопрудный–Жуковский  
МФТИ  
2014

УДК 004:005:316:33:51:65  
ББК 22.18+32.81+65.25/6  
Т78

Т78 **Труды 57-й научной конференции МФТИ: Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики», Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе». Инновации и высокие технологии.** — М.: МФТИ, 2014. — 88 с.  
ISBN 978-5-7417-0534-6

В сборник включены результаты оригинальных исследований студентов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников МФТИ и дружественных учебных и научных организаций, представляющие интерес для специалистов, работающих в области концептуального анализа и проектирования, экономики, управления развитием высоких и информационных технологий, инвестиционного анализа, распознавания изображений и обработки текста, когнитивных технологий, анализа больших массивов данных, дискретной математики.

УДК 004:005:316:33:51:65  
ББК 22.18+32.81+65.25/6

*Конференция поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (научные проекты № 14-02-20513 и № 14-37-10275).*

ISBN 978-5-7417-0534-6

© Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», 2014

# Содержание

Секция анализа данных . . . . .	7
<i>Е.М. Примако, А.А. Шпильман</i>	
Использование квазитрёхмерного подхода для моделирования самоорганизации микротрубочковых структур . . . . .	7
<i>Д.Н. Валгушев, Е.В. Бурнаев</i>	
Выделение наиболее значимых групп запросов при анализе результатов онлайн-экспериментов . . . . .	10
<i>Г.И. Туржанов</i>	
Ранжирование поисковой выдачи на основе самоподобия информационных потоков пользовательских данных в сети Интернет . . . . .	11
<i>Д.Д. Яшков, К.О. Неклюдов</i>	
Поиск аномалий в многомерных временных рядах . . . . .	13
<i>С.В. Царьков, С.С. Стенин</i>	
Статистические методы сокращения словаря $n$ -грамм для построения вероятностных тематических моделей . . . . .	14
<i>М.И. Гуцин, А.Е. Устюжанин</i>	
Оптимизация системы популярности файлов в экспериментах физики высоких энергий . . . . .	15
<i>А.Н. Машрабов</i>	
Применение языковых моделей для классификации порно запросов . . . . .	17
<i>Н.А. Чиркова</i>	
Иерархические вероятностные тематические модели . . . . .	18
<i>С.Г. Михайлюк</i>	
Симулятор RTV-розыгрыша и алгоритмы биддинга . . . . .	18
<i>А.В. Артемов, Н.А. Казеев, А.Е. Устюжанин</i>	
EventIndex – система поиска по событиям БАК . . . . .	20
<i>А.А. Изосина</i>	
Тематическая классификация телефонных обращений по автоматически распознанной речи . . . . .	21
<i>С.Г. Семенов</i>	
Эффективный подход к решению задач многоклассовой классификации документов, используя прогнозирование порогов . . . . .	22
<i>Ф.А. Пушняков</i>	
Профили пользователей, основанные на времени перепосещения . . . . .	23
Секция дискретной математики . . . . .	25
<i>А.В. Крот, Л.А. Прохоренкова (Остроумова), Е.А. Самосват</i>	
Локальный кластерный коэффициент в графах предпочтительного присоединения . . . . .	25
<i>А.Э. Хузиева</i>	
Раскраски гиперграфов с большим обхватом . . . . .	26

<i>А.В. Крот</i>	
О реализации случайных графов графами $k$ -диаметров на плоскости . . . . .	26
<i>А.Б. Скопенков</i>	
Basic embeddings of graphs into the plane . . . . .	27
<i>М.Е. Жуковский</i>	
О спектре свойства первого порядка случайного графа . . . . .	28
<i>С.Н. Хорошеньких</i>	
Модель случайного геометрического графа для беспроводных самоорганизующихся сетей . . . . .	29
<i>Н.А. Волков</i>	
Раскраски специального вида для гиперграфов . . . . .	30
<i>А.В. Куликов</i>	
Хеджирование ценового риска в присутствии объемного риска . . . . .	30
<i>И.А. Акользин, Д.А. Шабанов</i>	
О раскрасках гиперграфов с большим хроматическим числом . . . . .	31
<i>Ф.А. Пушняков</i>	
О числе ребер в индуцированных подграфах специального дистанционного графа . . . . .	32
<i>М.В. Осипов, Д.В. Мусатов</i>	
Свойства теоретико-игровой модели социальных сетей Чайес–Боргса . . . . .	34
<i>А.А. Баган</i>	
Дефект допустимого октаэдра в решетке . . . . .	34
<i>А.А. Приходько</i>	
Графы Шрейера групп, порождённых автоматами, и гиперболическая динамика в конечных полях . . . . .	35
<b>Секция когнитивных технологий . . . . .</b>	<b>36</b>
<i>М.А. Цуканов, О.П. Ульянова</i>	
Интеллектуальный подход в решении задач компьютерного зрения . . . . .	36
<i>А.С. Ингачева, В.Е. Прун, М.В. Чукалина</i>	
Исследование влияния немонохроматичности пучка на точность восстановления томографических изображений . . . . .	37
<i>М.В. Будаковский</i>	
Новый алгоритм выделения текстовых зон на изображении делового документа . . . . .	39
<i>О.В. Малюгина</i>	
Оценка качества систем автоматической классификации транспортных средств в неконтролируемых условиях . . . . .	40
<i>Н.В. Решетняк, В.В. Арлазаров, О.А. Славин</i>	
Способ минимизации затрат на создание обучающего множества для обучения классификатора символов . . . . .	42
<i>А.А. Епифанова, Д.В. Полевой, Д.П. Николаев</i>	
Оценка и прогнозирование качества работы систем потокового распознавания в различных условиях эксплуатации с помощью факторных суррогатных моделей . . . . .	44

<i>Е.И. Ершов, Д.П. Николаев</i>	
Критерий и алгоритм кластеризации при обработке изображений . . . . .	45
<i>И.А. Кунина</i>	
Автокалибровка дисторсий на фотографиях документов из неизвестных источников . . . . .	47
<i>Д.С. Сидорчук, Д.П. Николаев</i>	
Локализация номерного знака автомобиля на изображении с произвольной точки наблюдения . . . . .	48
<i>В.Е. Прун</i>	
Автоматическая калибровка стереопары в дорожных сценах . . . . .	50
<i>А.Е. Жуковский, Ю.А. Шемякина</i>	
Сравнение качества работы алгоритмов обнаружения документа на изображениях, полученных с мобильных камер . . . . .	51
<i>А.Е. Жуковский</i>	
Локализация образа банковской карты на изображении, полученном с мобильной камеры . . . . .	52
<i>Е.Е. Лимонова</i>	
Использование транспонирования при ускорении алгоритмов обработки изображений на SIMD архитектурах . . . . .	54
<i>Е.С. Пономарев</i>	
Моделирование работы системы коллективного беспилотного наземного патрулирования и разведки в условиях неидеальной связи . . . . .	55
<i>М.А. Поволоцкий</i>	
Использование алгоритмов прослеживания объектов при генерации обучающей выборки изображений в видеопотоке . . . . .	57
<i>Д.Г. Хамматова, В.В. Постников</i>	
Распознавание световых сигналов впереди идущего транспортного средства	58
<i>Ю.А. Шемякина, А.Е. Жуковский, Д.П. Николаев</i>	
Использование принципа двойственности для обобщения схемы RANSAC для сопоставления прямых . . . . .	59
<i>Д.А. Бочаров, И.А. Коптелов, Д.П. Николаев</i>	
Комбинированный метод детекции транспортных средств в системе автоматической классификации . . . . .	61
<i>В.А. Малых, И.В. Судос</i>	
Предсказание вредоносности документов для системы информационного поиска . . . . .	62
<i>И.А. Коноваленко</i>	
Метод коррекции инерциальной системы навигации беспилотного летательного аппарата на основе устойчивой детекции заданных объектов на земной поверхности по видеопотоку . . . . .	64
<i>И.О. Синотов, А.С. Корягин, Д.С. Фалеев, В.В. Постников</i>	
Детектирование и трекинг объектов дорожной сцены на платформе Google Glass . . . . .	65
<i>А.В. Мастов</i>	
Обзор методов выделения исследуемых областей в задаче детектирования мотоциклов в дорожном потоке . . . . .	66

<i>Е.Г. Кузнецова, Д.П. Николаев</i>	
Автоматически дообучающийся метод поиска и классификации объектов для распознающих систем реального времени на основе обобщенного классификатора Виолы–Джонса и покрывающих деревьев . . . . .	68
<i>Д.А. Крохина, В.В. Постников</i>	
Поиск матрицы проективного преобразования в задаче детектирования дорожной разметки . . . . .	69
<b>Секция концептуального анализа и проектирования . . . . .</b>	<b>72</b>
<i>Л.И. Гареева</i>	
Экспериментальное построение и исследование концептуальной схемы правоотношений . . . . .	72
<i>Р.М. Баширов</i>	
Исследование и программная реализация оптимальной структуры данных для вычисления интерпретации концептуальных моделей . . . . .	73
<i>И.Р. Борисов</i>	
Использование концептуальных конструкций для построения систем правового регулирования в сверхсложных предметных областях . . . . .	74
<i>К.О. Воскресенский</i>	
Роль и место операций расчистки предметной области в методологии концептуального проектирования систем организационного управления . . . . .	76
<b>Секция корпоративных информационных систем . . . . .</b>	<b>78</b>
<i>А.И. Бачурин</i>	
Математические подходы к построению систем управления научно-техническими знаниями в организациях . . . . .	78
<i>М.В. Дзюба</i>	
Улучшение контекстной подсказки для сред разработки, используемых при написании бизнес-приложений . . . . .	80
<i>Н.Ю. Старичков</i>	
Математическая постановка задачи автоматической расстановки элементов графической схемы и ее решение при помощи эвристических функций . . . . .	81
<i>А.Р. Хасанов</i>	
Использование кэширования для оптимизации работы с данными в электронных таблицах . . . . .	82
<i>А.А. Лазарев, Т.Н. Агафонова</i>	
Алгоритм формирования железнодорожных составов для случая двух станций и его расширение на случай нескольких станций . . . . .	84
<i>А.М. Дудченко, Е.Р. Гафаров, А.А. Лазарев</i>	
Подходы решения задачи составления учебного расписания . . . . .	85
<i>М.О. Мухин</i>	
Использование дополнительных возможностей оболочки Windows 7 в платформе 1С:Предприятие 8 . . . . .	86

---

## Секция анализа данных

---

УДК 004.942

### Использование квазитрёхмерного подхода для моделирования самоорганизации микротрубочковых структур

*Е.М. Примако*<sup>1</sup>, *А.А. Шпильман*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
primako.eugene@gmail.com

Микротрубочки — тонкие и длинные белковые структуры, являющиеся одной из составляющих цитоскелета. Самоорганизация микротрубочек и структуры, образованные ими (с участием моторных белков), важны для многих функций клетки, таких, как клеточная подвижность и деление [1].

Для выявления закономерностей появления таких структур неоднократно производились попытки создания компьютерной модели. При этом, как правило, исследователи ограничивались двумерными моделями, мотивируя это квазидвумерностью *in vitro* системы и вычислительной сложностью трёхмерной симуляции. Так были смоделированы многие возникающие структуры [2, 3–5]. Однако удовлетворительной модели, показывающей переход от «звезд» к «воронкам» и образование «полузвезды» на данный момент создано не было. Цель этой работы — создание модели, воспроизводящей все основные наблюдаемые *in vitro* микротрубочковые структуры и процессы их образования.

В данной работе микротрубочки моделируются как цепи из негибких сегментов, соединенных упругими сочленениями. Моторы моделируются как круги малого радиуса, которые могут при контакте с микротрубочкой с некоторой вероятностью присоединиться к ней. Моторы двухвалентны: могут присоединиться к одновременно не более чем двум микротрубочкам. После присоединения мотор движется по микротрубочке с постоянной скоростью в соответствующем направлении (в зависимости от ориентации мотора). Достигнув конца микротрубочки, мотор может отсоединиться с определенной вероятностью (зависит от типа мотора). Свободные (неприсоединенные) моторы подвержены броуновскому движению. Вязкая среда создает для движущихся микротрубочек и моторов силу сопротивления по закону Стокса [6].

Для совмещения простоты двумерной и реалистичности трёхмерной моделей был использован квазитрёхмерный подход, который заключается в том, что мы выделяем несколько двумерных слоёв, между которыми могут с заданной вероятностью переходить микротрубочки и свободные моторы. При этом между собой могут взаимодействовать только объекты, находящиеся на одном слое.

С помощью нашей модели нам удалось воспроизвести все основные наблюдаемые структуры, полученные в более ранних моделях. Также при параметрах, аналогичных наблюдениям [4], мы смогли пронаблюдать формирование «звезды» и переход в «воронку» (рис. 1) за счёт расхождения концов микротрубочек и расширения свободной области в центре капли.



Помимо этого мы провели эксперименты с изменением размера капли. При радиусе капли 20 мкм образуется «звезда» (рис. 2а). В капле радиуса 11 мкм образуется «звезда», центр которой постепенно смещается к периферии капли, превращаясь в «полузвезду» (рис. 2в). В капле радиуса 6 мкм практически сразу образуется «колодец» за счёт механических свойств микротрубочек, длина которых сильно больше диаметра капли (рис. 2б). Для сравнения, последний эксперимент был повторён с теми же параметрами, но в двумерной модели. При этом формирования «полузвёзд» не происходит (рис. 2г).

С помощью построенной модели были успешно воспроизведены все типы упорядоченных структур, наблюдавшиеся *in vitro*. Модель основана на простых физических принципах, применимость которых в данной ситуации может быть легко обоснована. С её помощью удалось воспроизвести зависимости характера процесса самоорганизации от параметров моторов и размера капли. Также была показана необходимость квазитрёхмерности для моделирования некоторых структур, наблюдавшихся *in vitro*, таких как «полузвезда».

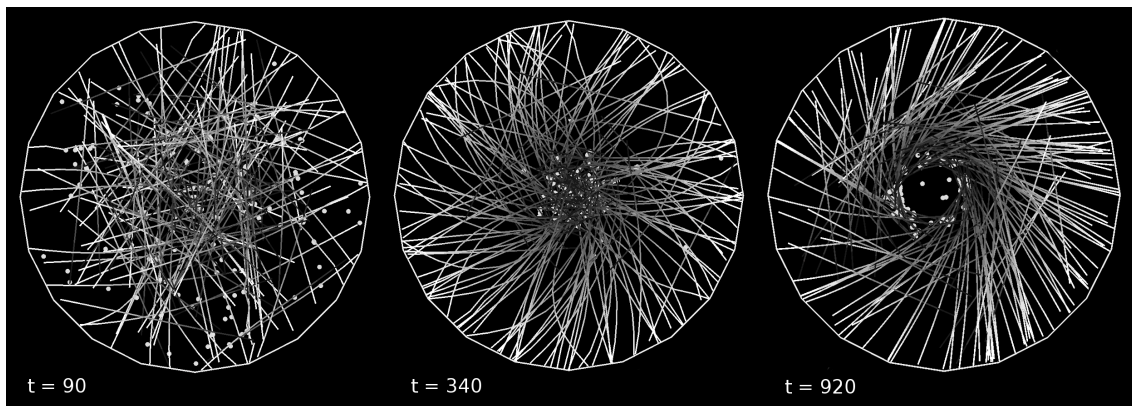


Рис. 1. Этапы формирования «воронки». Слева направо: хаотичная система, «звезда», воронка. Показан номер итерации программы

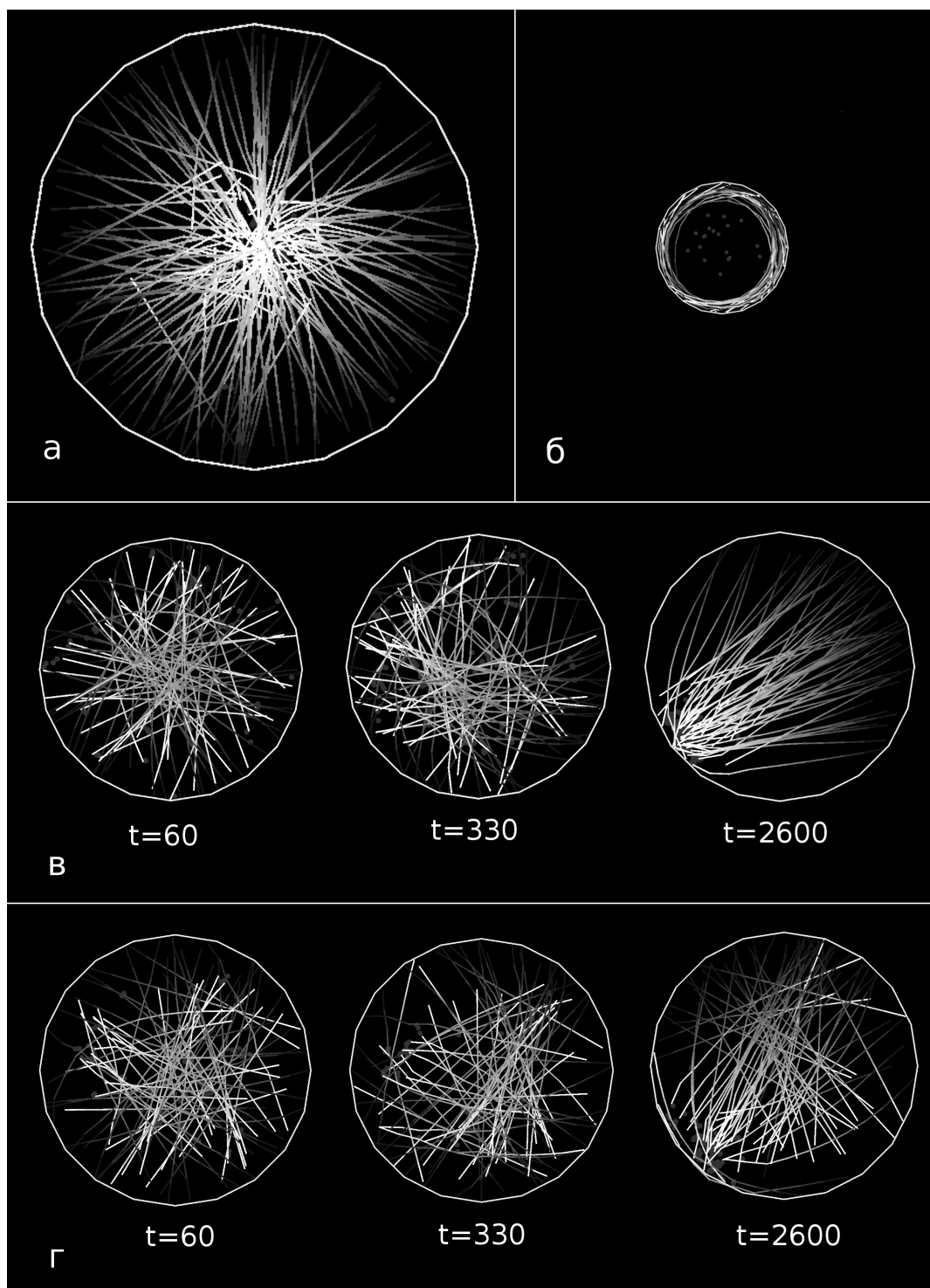


Рис. 2. Моделирование влияния размера капли на образующуюся систему микротрубочек. а) «Звезда» (22 мкм). б) «Колодец» (6 мкм). в) Этапы формирования «полузвезды». г) Двумерная модель: «полузвезда» не образуется. Показан номер итерации программы

### Литература

1. *Alberts B. [et al.]. Essential cell biology. Garland Science, 2013.*
2. *Head D.A., Briels W.J., Gompper G. Spindles and active vortices in a model of confined filament-motor mixtures // BMC Biophysics. 2009. V. 4(1). P. 18–26.*

3. *Nedelec F.J., Surrey T., Maggs A.C., Leibler S.* Self-organization of microtubules and motors // *Nature*. 1997. V. 389(6648). P. 305–308.
4. *Pinot M. [et al.]*. Effects of confinement on the self-organization of microtubules and motors // *Current Biology*. 2009. V. 19(11). P. 954–960.
5. *Surrey T., Nedelec F., Leibler S. and Karsenti E.* Physical properties determining self-organization of motors and microtubules // *Science*. 2001. V. 292(5519). P. 1167–1171.
6. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 1. Механика. М.: Наука, 1979.

УДК 004.021

## Выделение наиболее значимых групп запросов при анализе результатов онлайн-экспериментов

*Д.Н. Валгушев*<sup>1,2</sup>, *Е.В. Бурнаев*<sup>3,1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> ООО «Яндекс», <sup>3</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
valgushev@yandex-team.ru

В настоящее время поисковые сервисы активно проводят онлайн-эксперименты [1] для оценки качества своей работы. Эксперименты включают в себя А/В тестирование, а также смешивание поисковых выдач, например алгоритмом TDI [2], и помогают проверить, действительно ли какие-либо изменения, внесенные в сервис, улучшают качество этого сервиса в смысле той или иной метрики. Поэтому актуальна задача улучшения методологии проведения экспериментов.

При аналитическом исследовании результатов онлайн-экспериментов возникает необходимость детального изучения полученных результатов. В частности, необходимо уметь выделять наиболее интересные запросы и группы запросов, на которых качество работы сервиса изменилось наиболее сильно.

Для решения задачи выделения наиболее значимых групп запросов был разработан специально адаптированный метод анализа чувствительности, основанный на коэффициентах Соболя. Метод состоит из трех этапов:

1. Выделение набора потенциальных групп запросов на основе различных признаков, например, популярности, типа запроса (коммерческий, навигационный), региона пользователя и других признаков.
2. Построение регрессии исследуемой метрики качества по признакам, использованным для выделения групп.
3. Применения к полученной регрессией функции метода анализа чувствительности и расчета коэффициентов Соболя [3].

В рамках исследования метод тестировался на модельных и реальных данных и показал состоятельные результаты. Более того, при реализации метода достигнуто приемлемое время работы алгоритма, что очень важно для анализа больших объемов реальных данных.

## Литература

1. *Kohavi R. [et al.]*. Controlled experiments on the web: survey and practical guide // *Data Mining and Knowledge Discovery*. 2009. V. 18.
2. *Chapelle O. [et al.]*. Large-Scale Validation and Analysis of Interleaved Search Evaluation. *ACM Transactions on Information Systems*. 2005. V. 30.

3. *Saltelli A. [et al.]*. Global Sensitivity Analysis: the primer. New York: John Wiley & Sons, 2008. 287 с.

УДК 519.254

## Ранжирование поисковой выдачи на основе самоподобия информационных потоков пользовательских данных в сети Интернет

*Г.И. Турканов*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> ООО «Яндекс»  
turkanov@gmail.com

В связи с наблюдающимся в последние годы быстрым ростом объемов информации в сети Интернет и темпов ее обновления особую актуальность приобретает задача изучения статистических свойств данных о поисковых запросах. Сложность и многоплановость этой задачи, в свою очередь, предполагает активное использование современных теоретических методов, позволяющих более глубоко понять специфику данной предметной области.

Предлагается рассмотреть подход статистического исследования с применением теории фракталов, который позволит получить характеристики самоподобия поисковой системы [1].

Большинство существующих систем информационного поиска базируются на общих механизмах, в соответствии с которыми для выполнения ранжирования поисковой выдачи используется ранее набранная статистика по переходам пользователей на те или иные страницы. Наиболее современные системы используют более сложные алгоритмы машинного обучения, но с учетом объема информации в сети и ограничениях на время обработки поискового запроса используют, как наиболее подходящий из известных на данный момент методов, метод Байеса и его вариации с учетом особенностей той или иной системы [2].

Одной из особенностей данных исследуемой поисковой системы является неравномерность количества признаков в парах фраза-баннер (рис. 1), благодаря этой неравномерности становится возможным использование новой информации о фрактальной зависимости данных поисковой системы и перейти от ранжирования по Байесу:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} \ln(P_{f_j})}{N_i},$$

где  $P_{f_j}$  — регуляризованный CTR  $j$ -го признака в  $i$ -й паре фраза-баннер, к ранжированию с добавлением фрактальной размерности:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} \ln(P_{f_j}/E)}{N_i^\alpha},$$

где  $E$  — математическое ожидание CTR-а,  $\alpha$  — фрактальная размерность.

Фрактальная размерность  $\alpha$  определялась экстраполированием зависимости среднеквадратичного отклонения CTR от количества признаков функцией  $N^\alpha$  (рис. 2).

По результатам экспериментальных исследований наблюдается улучшение ранжирования по метрике поисковой системы на 4–5% при нескольких десятках миллионов поисковых запросов в день.

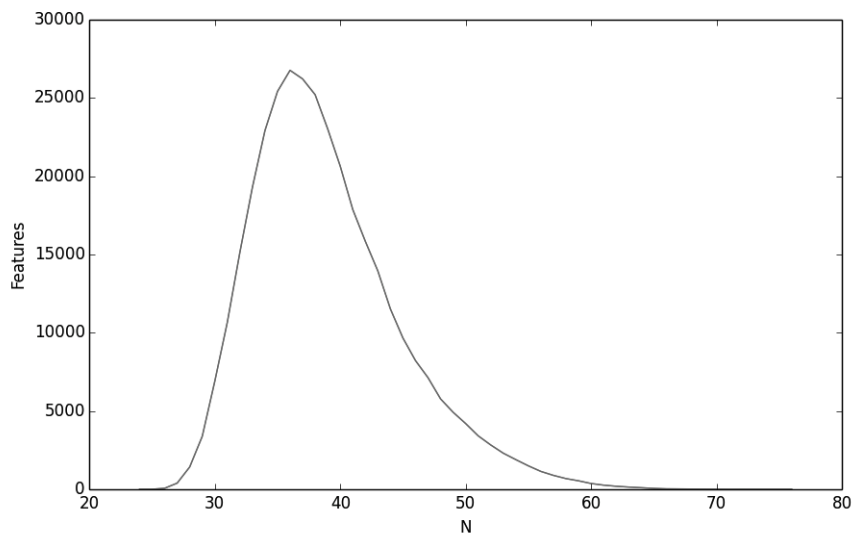


Рис. 1. Графическое представление количества пар баннер-фраза поисковой системы от количества признаков, использованных при ее создании

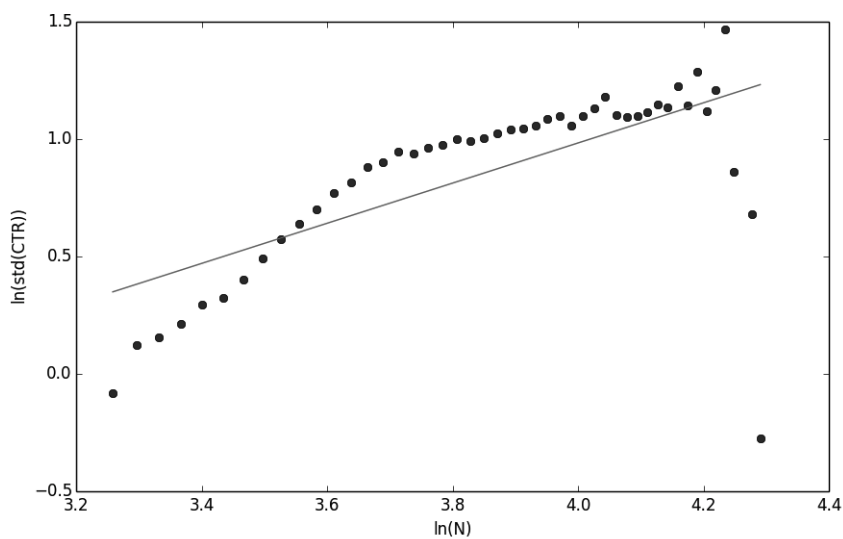


Рис. 2. Среднеквадратичное отклонение CTR пар баннер-фраза от количества признаков в них и соответствующая экстраполяция

### Литература

1. Громов Ю.Ю., Земской Н.А., Иванова О.Г., Лагутин А.В., Тютюнник В.М. Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях: учеб. пособие. Тамбов: Издательство Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. 108 с.
2. *Tipping M.E.* Sparse Bayesian learning and the relevance vector machine // *Journal of Machine Learning Research* 2001. N 1. P. 211–244.

УДК 519.237.8

**Поиск аномалий в многомерных временных рядах***Д.Д. Яшков<sup>1,2</sup>, К.О. Неклюдов<sup>1,2</sup>*<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> ООО «Яндекс»

daniil.yashkov@phystech.edu

В данной работе рассматривается задача поиска аномальных объектов, представленных многомерными временными рядами. Главной особенностью этой задачи является отсутствие экспертной разметки исходных данных. Также важной особенностью этой задачи является отсутствие формального определения аномальности. В таких условиях это понятие обычно формализуется в ходе исследования в зависимости от выбранного метода. В представленной работе мы поступаем аналогичным образом, считая формализацию понятия аномальности одной из целей исследования.

Исследуемая задача сводится к хорошо изученной задаче поиска аномалий в одномерных дискретных рядах. Это позволяет применить большое число алгоритмов, работающих с дискретными последовательностями [1]. Мы рассматриваем общий случай, считая, что исходные временные ряды могут быть как дискретными, так и непрерывными. Непрерывные ряды дискретизируются с помощью перевода в символьное представление [2], а дискретные оставляются без изменений, после чего исходные данные разбиваются на участки однородности и кластеризуются. Итоговое представление данных получается путем замены участков однородности на метки соответствующих кластеров.

Указанный метод можно применять к любым входным данным, которые удовлетворяют следующим предположениям:

- ряды описывают один и тот же процесс, происходящий с различными объектами, например: показания датчиков в течение различных полетов одного и того же самолета;
- время измерения и число временных рядов, описывающих объекты, велико;
- аномалии – маловероятные события как внутри объектов, так и на множестве объектов.

Все результаты, полученные в ходе вычислительного эксперимента, получены на реальных данных. В исследуемой задаче объектом является полёт самолёта, описанный совокупностью показаний датчиков. Показания каждого датчика записывались через равные промежутки времени на протяжении всего полёта. Таким образом, показания отдельного датчика можно рассматривать как скалярный временной ряд. Соответственно, каждый полёт описан набором скалярных временных рядов одинаковой длины или, что то же самое, векторным временным рядом. В данной работе строится алгоритм, который выделяет аномальные полёты из всего множества полётов.

Алгоритм, представленный в данной работе, обладает рядом полезных свойств:

- основной результат выдаётся в виде ранжированного списка;
- в каждом объекте найденные аномалии локализованы во времени;
- не требуется экспертная разметка;
- метод можно использовать как инструмент предварительного анализа данных.

## Литература

1. *Chandola V., Banerjee A., Kumar V.* Anomaly detection: A survey // ACM Computing Surveys (CSUR). 2009. V. 41, N 3. 15 p.
2. *Lin J., Keogh E., Lonardi S., Chiu B.* A symbolic representation of time series, with implications for streaming algorithms // Proceedings of the 8th ACM SIG-MOD workshop on Research issues in data mining and knowledge discovery, ACM, 2003. P. 2–11.

УДК 004.852

### Статистические методы сокращения словаря $n$ -грамм для построения вероятностных тематических моделей

*С.В. Царьков*<sup>1</sup>, *С.С. Стенин*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

s.v.tsarkov@gmail.com

Вероятностная тематическая модель (ВТМ) представляет коллекцию документов в виде разложения:

$$p(w|d) = \sum_{t \in T} p(w|t)p(t|d),$$

где  $T$  – множество тем,  $d \in D$  – документы коллекции,  $w \in W$  – элементы словаря (слова или  $n$ -граммы). Вероятности  $p(w|d)$  заданы, требуется найти  $p(w|t)$  и  $p(t|d)$ . Каждый документ представляет собой последовательность слов или  $n$ -грамм (слово-сочетаний из  $n$  слов).

Обычно в стандартных алгоритмах построения ВТМ (например, LDA [1]) в качестве элементов словаря используются отдельные слова (модель «мешка слов»). Использование  $n$ -грамм в ВТМ позволяет повысить интерпретируемость получаемых тем, но несет дополнительные сложности в построении модели. В работах [2, 3] предлагаются методы построения ВТМ, в которых  $n$ -граммы получаются непосредственно в процессе построения ВТМ, что требует достаточно больших затрат памяти.

Другой подход предполагает получение  $n$ -грамм с помощью лингвистических методов до построения модели [4]. Полное использование всех полученных лексически корректных  $n$ -грамм для построения ВТМ затруднительно в силу их большого числа, поэтому требуется дополнительный статистический отбор, после которого ВТМ можно строить стандартными методами (например, LDA), основываясь на модели «мешка  $n$ -грамм».

Целью данной работы является выявление статистик, подходящих для автоматического отбора  $n$ -грамм в словарь ВТМ корпуса научных документов.

В научных текстах термины предметных областей несут тематическую нагрузку в документах, поэтому для оценки статистик вычислялась полнота отбора терминов предметных областей –  $R = t/M$ , где  $t$  – общее количество терминов после отбора,  $M$  – общее количество терминов до отбора, а также степень сокращения словаря  $k = |W'|/|W|$ , где  $|W'|$  – размер сокращенного словаря,  $|W|$  – размер исходного словаря.

Для экспериментов использовалась коллекция авторефератов диссертаций из 4000 документов. Для нахождения терминов в качестве золотого стандарта использовался словарь онтологии по естественным и техническим наукам (ОЕНТ) [5]. Во

всех авторефератах было найдено  $M = 1\,070\,012$  неуникальных терминов, размер словаря  $|W| = 6\,589\,359$  уникальных  $n$ -грамм.

Оценивались следующие статистические критерии  $n$ -грамм: TF-IDF, DF, Okapi BM25, C-Value, Termhood, CValue&OkapiBM25, CValue&TF-IDF [4], средние значения TF-IDF, Okapi BM25 слов в  $n$ -грамме. По каждому критерию отдельно производилась оценка ранжирования  $n$ -грамм для сокращения словаря по убыванию и по возрастанию значений статистик. Например, отбор по убыванию DF означает, что в первую очередь в словарь попадут  $n$ -граммы с большей документной частотой.

Лучшие результаты показали следующие статистики: DF ( $k = 0,02$ ;  $R = 0,95$ , по убыванию), termhood ( $k = 0,05$ ;  $R = 0,95$ , по убыванию), CValue&OkapiBM25 ( $k = 0,02$ ;  $R = 0,93$ , по возрастанию), CValue&TF-IDF ( $k = 0,02$ ;  $R = 0,93$ , по возрастанию). На основе словарей, полученных с помощью этих статистик, были успешно построены ВТМ (методом LDA [1]) с 20, 50 и 100 темами. Ранжирование с использованием остальных статистик не позволило сократить словарь более, чем в 10 раз, с обеспечением полноты  $R$  выше 0,75.

Таким образом, лучшие статистики позволяют значительно (в 20 раз и более) автоматически сократить словарь  $n$ -грамм и обеспечить построение ВТМ с небольшими затратами памяти, сохранив практически все термины предметных областей в документах.

Работа поддержана грантами РФФИ № 14-07-31176, 14-07-00383, 14-07-00908.

### Литература

1. *Blei D.M. [et al.]*. Latent Dirichlet allocation // Journal of Machine Learning Research. 2003. V. 3. P. 993–1022.
2. *Wang X. [et al.]*. Topical n-grams: Phrase and topic discovery, with an application to information retrieval // Pro. of ICDM. 2007. P. 697–702.
3. *Griths T.L. [et al.]*. Topics in Semantic Representation // Psychological Review. 2007. 114 (2). P. 211–244.
4. *Царьков С.В.* Автоматическое выделение ключевых фраз для построения словаря терминов в тематических моделях коллекций текстовых документов // Естественные и технические науки. 2012. № 6 (62). С. 456–464.
5. *Добров Б.В., Лукашевич Н.В.* Онтология по естественным наукам и технологиям ОЕНТ: структура, состав и современное состояние // Электронные библиотеки. 2008. Т. 11. Вып. 1.

УДК 004.891.2

### Оптимизация системы популярности файлов в экспериментах физики высоких энергий

*М.И. Гуцин*<sup>1,2</sup>, *А.Е. Устюжанин*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> ООО «Яндекс»

`hushchyn.mikhail@gmail.com`

Современные эксперименты физики высоких энергий генерируют петабайты данных. Данные одного такого эксперимента хранятся в виде тысяч файлов, а их общий объем измеряется терабайтами. Исследователям необходим быстрый доступ к данным. Но объем данных велик, и лишь меньшая их часть может храниться на жестких дисках. Большая же часть результатов экспериментов храниться на магнитных лентах, которые значительно уступают в скорости жестким дискам. Целью



данной работы является оптимизация системы распределения данных между носителями по прогнозу их популярности в будущем для оптимизации использования памяти жестких дисков и обеспечения быстрого доступа к наиболее актуальным данным экспериментов.

В данной работе использовались данные одного из экспериментов на Большом андронном коллайдере. Данные представлены в виде 10 000 файлов. Каждый файл имеет такие характеристики, как имя файла, тип, конфигурацию, тип пройденной обработки, размер и другие. Также имеется недельная статистика использования файлов за два последних года. Из предварительного анализа было выявлено, что некоторые файлы активно использовались в течение первого года и не использовались в следующем году. Некоторые файлы использовались лишь в конце второго года.

В представленной работе для прогноза популярности файлов в будущем использовались методы временного анализа, алгоритмы классификации, кластеризации и регрессии. Также рассматривались комбинации этих подходов для повышения точности прогноза. Во всех моделях прогноз популярности файлов осуществлялся на 26 недель вперед.

Временные ряды файлов очень разряжены. Использовались два метода сглаживания рядов. В первом методе ряды сглаживались скользящим средним с окном в 26 недель [1]. Во втором подходе ряды представляли собой кумулятивную сумму всех использований к текущему моменту времени. Для анализа временных рядов была выбрана модель Хольта с линейным трендом [1]. Результаты анализа показали, что кумулятивные ряды дают более точный прогноз в сравнении со сглаженными скользящими средними рядами. Применение этого подхода позволило обнаружить до 80% неиспользованных в течение следующих 26 недель файлов с точностью до 90%.

Для задачи классификации использовался градиентный бустинг над деревьями [2]. На вход классификатору подавались временные ряды и дополнительная информация о файлах. Классификатор обучался на данных за 1–52 недели с известным прогнозом на 26 недель вперед. Далее обученный классификатор использовался на данных за 26–78 недели для прогноза популярности файлов на 26 недель вперед. Данный подход позволил выявить 70% неиспользованных в будущем файлов с точностью 98%.

В работе представлены варианты комбинаций методов анализа временных рядов и алгоритмов классификации для улучшения точности прогноза популярности файлов. Также представлено, как алгоритмы кластеризации и регрессионный анализ позволяют выявить дополнительные свойства данных, позволяющие еще более повысить точность прогноза популярности файлов.

## Литература

1. *Hydman R.J. [et al.]*. Forecasting with Exponential Smoothing. Berlin: Springer, 2008. 355 p.
2. *Hastie T. [et al.]*. The Elements of Statistical Learning. Berlin: Springer, 2009. 745 p.

УДК 81'33

## Применение языковых моделей для классификации порно запросов

*А.Н. Маширабов*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> ООО «Яндекс»

amashrabov@gmail.com

Всё больше и больше людей пользуются Интернетом и поисковыми системами. Пользователи испытывают недовольство от нерелевантной выдачи по их запросам, в частности, когда в выдаче содержатся страницы с порнографическим содержанием, а пользователь не ожидает в выдаче порнографию. Также в режиме «безопасного поиска» критично не показывать взрослый контент. В связи с этим важной задачей является прогнозирование желания пользователя видеть сайты с порнографическим содержанием в ответ на его запрос.

Языковые модели используются в системах машинного перевода (например, Yandex Translate) для поиска наиболее корректного варианта перевода. Для этого составляется несколько вариантов перевода и считается вероятность появления такого словосочетания в языке. Аналогичный подход можно применить для классификации запросов. Для этого составляется язык  $A$  из взрослых запросов и язык  $J$  из обычных запросов. Далее для запроса пользователя считаются две вероятности: вероятность того, что этот запрос из языка  $A$  и вероятность того, что этот запрос из языка  $J$ . На основе этих вероятностей и выносится вердикт для запроса.

$$P(w_1, w_2, \dots, w_n) \approx P(w_1) \cdot P(w_2|w_1) \cdot \dots \cdot P(w_n|w_1 \dots w_{n-1}),$$

$$P(w_1, w_2, \dots, w_n) \approx \prod_i P(w_i|w_{i-k} \dots w_{i-1}).$$

Данные формулы показывают, что необходимо уметь вычислять вероятности вида  $P(w_n|w_1 \dots w_{n-1})$ . Это можно сделать путем обработки корпуса запросов, для которых уже известен характер запроса. Среди поисковых запросов очень много низкочастотных. В связи с этим применяются различные методы сглаживания: back-off, interpolation, Good-Turing frequency estimation.

Стоит отметить, что данный подход дал существенный прирост качества по сравнению с ранее применявшимися алгоритмами. Таким образом, имплементация языковых моделей позволила повысить точность предсказания на 35%.

### Литература

1. *MacCartney B.* NLP Lunch Tutorial: Smoothing. Stanford, 2005.
2. *Chen S.F., Goodman J.* An empirical Study of Smoothing Techniques for Language Modeling. Massachusetts: Harvard University Cambridge, 1998.
3. *Heafield K., Pouzyrevsky I., Clark J.H., Koehn P.* Scalable Modified Kneser-Ney Language Model Estimation. Sofia: ACL, 2013.

УДК 004.852

## Иерархические вероятностные тематические модели

*Н.А. Чиркова*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
nadiinchi@gmail.com

Тематическое моделирование – это направление машинного обучения, решающее задачу кластеризации коллекции текстовых документов по темам. Иерархические тематические модели позволяют представить структуру коллекции в виде дерева тем, на верхних уровнях которого находятся крупные темы, а в листьях – узко-специализированные темы. Иерархические модели просты для понимания и позволяют быстро ориентироваться в большом количестве тем.

Описанный в работе подход основывается на модели вероятностного латентного семантического анализа с аддитивной регуляризацией [1]. С помощью регуляризаторов сглаживания, разреживания и декоррелирования множество тем подразделяется на предметные темы (состоящие из небольшого числа слов, редко встречающихся в других предметных темах) и фоновые (представляющие общую лексику языка и коллекции).

Тематическую иерархию предлагается строить рекурсивно. Сначала строится тематическая модель исходной коллекции с небольшим числом предметных и несколькими фоновыми темами. Тематическая модель определяет тему каждого слова в каждом документе, что позволяет разделить коллекцию по темам на подколлекции. Для каждой из них процесс повторяется рекурсивно. Деление темы на подтемы останавливается в тех темах, которые удовлетворяют одному из критериев однородности.

Построена иерархическая тематическая модель русскоязычных научных конференций в области анализа данных ММО и ИОИ с 2007 по 2013 гг. Модель представлена в виде тематического навигатора с веб-интерфейсом.

### Литература

1. *Воронцов К.В., Потапенко А.А.* Регуляризация вероятностных тематических моделей для повышения интерпретируемости и определения числа тем // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: по материалам ежегодной Международной конференции «Диалог» Бекасово, 4–8 июня, 2014. Вып. 13(20). М.: Изд-во РГГУ, 2014. С. 676–687.
2. *Zavitsanos E., Paliouras G., Vouros G.A.* Non-Parametric Estimation of Topic Hierarchies from Texts with Hierarchical Dirichlet Processes // Journal of Machine Learning Research. 2011. N 12. P. 2749–2775.

УДК 004.942

## Симулятор RTB-розыгрыша и алгоритмы биддинга

*С.Г. Михайлюк*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Яндекс»  
smix19@yandex.ru

На смену текущим схемам размещения рекламы в сети Интернет приходит биржевая схема размещения, в которой при каждом посещении интернет-пользователем любого из сайтов, подключенных к системе торгов, происходит мгновенное выставление ставок участниками торгов со стороны рекламодателей, а затем в режиме

реального времени определяется: рекламный контент какого участника будет показано. Основанные на этом принципе системы получили название RTB – «Real-Time Bidding». В силу того, что автоматически выбирается наиболее выгодное из предложений участников торгов, такая система позволяет максимизировать доход от рекламы для продавцов трафика – сайтам. Со стороны рекламодателей использование данной технологии приводит к снижению потерь на показы рекламы нецелевой аудитории, что помогает повысить конверсию и эффективность рекламных кампаний. Если качество трафика в системе, определяющееся целевой аудиторией рекламной кампании, падает или меняется его состав – рекламодатель этого даже не заметит, так как в любом случае он покупает показы только интересующих его пользователей. В итоге рекламодатель выкупает нужную ему целевую аудиторию, а не место на веб-сайте.

В данной работе рассматривается задача компьютерного моделирования процесса RTB-розыгрыша с использованием имитационного моделирования. Основной упор сделан на изучение и разработку алгоритмов игры на рынке медийной (банерной) рекламы в модели RTB на рекламных кампаниях в модели CPM, то есть когда в интересах рекламодателя стоит непосредственно показ рекламного контента пользователям, а не клики по баннерам или какие-либо целевые действия на определенном сайте. Немаловажным является оптимальная игра в независимости от текущего состояния рынка, рекламного инвентаря и рекламных кампаний посредством разработки универсальных алгоритмов, использование которых предполагает не только выход на определенное количество показов в заданных временных рамках, но и показ рекламного контента целевой аудитории рекламной кампании.

Программное обеспечение, полученное в результате решения этой задачи, существенно упрощает понимание функционирования механизмов рынка рекламы в новой модели, а также дает возможность для тестирования разрабатываемых алгоритмов игры в ситуациях, приближенных к реальным.

С помощью разработанного программного обеспечения были найдены алгоритмы игры на рынке медийной интернет-рекламы, показавшие себя в модельных ситуациях более эффективными, чем алгоритмы, применяемые в настоящее время компанией «Яндекс».

## Литература

1. *Dimitri P. Bertsekas* Auctions Algorithms. Laboratory for information and Decision Systems. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139.
2. *IAB*. RTB Project. OpenRTB API Specification. Version 2.0. January 2012.
3. *Tim Wescott*. PID without a PhD // EE Times-India, October 2000.
4. *William S. Levin, Richard C Dorf* Control System Fundamentals. CRC Press 2011.
5. *William S. Levin* Control Systems. Advanced methods. CRC Press 2011.
6. *Павловский Ю.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И.* Имитационное моделирование. М.: Изд. центр «Академия», 2008.

УДК 004.415.2.043

## EventIndex – система поиска по событиям БАК

*А.В. Артемов*<sup>1,2</sup>, *Н.А. Казеев*<sup>3,2</sup>, *А.Е. Устюжанин*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, <sup>2</sup> ООО «Яндекс»,

<sup>3</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

kazeevn@yandex-team.ru

Эксперимент LHCb генерирует порядка  $10^{13}$  событий в год. Под событием понимается информация о столкновении пучков протонов, летящих навстречу друг другу со скоростью 0,999999 скорости света. Большинство из таких столкновений не представляют интереса и отсеиваются при первичной фильтрации. Для дальнейшего анализа остаётся около  $10^{10}$  событий [1], занимающих порядка 1 ПБ места на диске. Организация хранения и обработки такого объёма данных в формате, удобном для интерактивного анализа, является нетривиальной задачей. При этом естественным требованием является возможность разделения ресурсов для обеспечения одновременной работы многих пользователей.

В данном докладе мы представляем EventIndex – распределенную систему поиска по событиям БАК. Основная её задача – быстрый выбор подмножеств событий, отвечающих заданным пользователем критериям, таким как предполагаемый канал распада, сработавшие триггеры и т.п.

Для поиска используется метainформация, извлекаемая из событий и занимающая около 0,1% (1 ТБ) их исходного объёма. Проиндексированные события хранятся в HBase [2], ключи записей (row keys) выбраны таким образом, чтобы некоторые поиски требовали только частичного сканирования набора данных, что в некоторых случаях приводит к сокращению времени поиска на несколько порядков. Чрезвычайная параллельность (embarrassingly parallel) нашей схемы поиска делает верхнюю границу времени поиска равной времени сканирования наибольшего региона (hbase region) – константе, не зависящей от объёма данных в системе. Распределение пользовательских запросов по узлам инфраструктуры происходит через реализованную на языке Python прослойку по схеме «главный-подчиненный» (master-slave). Главная программа принимает запросы пользователя, ставит их в очередь ZeroMQ [3], отправляет их в рабочие процессы, которые осуществляют запрос к распределенной БД.

Использование EventIndex позволяет значительно сократить время выборки необходимых для физического анализа событий.

## Литература

1. *Marco Cattaneo* «Event data processing in LHCb» <http://www.slideshare.net/yandex/marco-cattaneo-event-data-processing-in-lhcb>
2. «HBase: A Distributed Database for Large Datasets». The Apache Software Foundation, Los Angeles, 2010, <http://hbase.apache.org>
3. «ZeroMQ messaging library», <http://zeromq.org/>

УДК 004.93'14

## Тематическая классификация телефонных обращений по автоматически распознанной речи

*А.А. Изосина*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> ООО «Яндекс»

aleks.izosina@gmail.com

Одним из основных каналов коммуникации большинства компаний со своими клиентами является телефонная служба поддержки. Все разговоры в колл-центрах, как правило, записываются и представляют собой богатый источник информации для компании: анализируя эти записи, можно понять, с какими проблемами чаще всего сталкиваются клиенты, насколько они удовлетворены, заинтересованы ли они новыми продуктами и тому подобное. Основным препятствием для решения таких задач является необходимость прослушивать большую выборку аудиозаписей, но, применяя современные технологии распознавания речи, можно анализировать полученные автоматически аннотации разговоров, что позволяет обрабатывать большие объёмы данных без участия эксперта. Особенностью такого подхода является то, что тексты, полученные с помощью автоматической системы распознавания речи, содержат большое количество ошибок разного рода, кроме того, телефонный разговор – это спонтанная речь, для которой на настоящий момент не существует достаточно хороших алгоритмов распознавания.

В рамках данной работы исследовались методы тематической классификации по автоматически распознанной речи на данных службы поддержки сервиса Яндекс.Директ, в качестве меток классов использовались темы обращения, указанные абонентами. Аннотации записей были получены с помощью автоматической системы распознавания речи от компании Яндекс.

В работе проведено сравнение нескольких моделей классификации: наивный байесовский классификатор, выбор ближайшей темы по расстоянию Хеллингера, несколько алгоритмов с использованием векторных представлений текстов, полученных с помощью метода LDA, показано улучшение качества классификации при применении нескольких подходов к фильтрации исходных текстов.

### Литература

1. *Morchid M. [et al.]*. Improving dialogue classification using a topic space representation and a Gaussian classifier based on the decision rule // Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on. 2014. P. 126–130.
2. *Morchid M. [et al.]*. Subspace Gaussian Mixture Models for Dialogues Classification // Proceedings of 15th Annual Conference of the International Speech Communication Association. 2014. P. 1881–1884.

УДК 004.89

## Эффективный подход к решению задач многоклассовой классификации документов, используя прогнозирование порогов

*С.Г. Семенов*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
stasg7@gmail.com

В работе рассматривается задача многоклассовой классификации документов. Цель – отнести каждый документ к нескольким темам, зная набор параметров для каждого документа. Обычно в качестве параметров документа используется частотность слов или какая-либо другая статистическая мера слов (например, TF-IDF). Такая постановка задачи является актуальной и используется при рубрикации газетных и научных статей. Классификатор предлагает список тематик в порядке убывания их релевантности статье, в результате чего процесс тегирования может быть даже автоматизирован – в наиболее простых случаях. Построение многоклассового классификатора позволяет значительно сэкономить время компаниям, осуществляющим контроль СМИ, и за счет этого увеличить объем отслеживаемых ими источников информации.

Для анализа взяты данные из международного соревнования WISE 2014 Greek Media Monitoring Multilabel Classification, которое проходило летом 2014 года. Это соревнование было связано с задачей многоклассовой классификации статей греческих СМИ. Данные получены путем сканирования печатных источников, сегментации статей, оптической сегментации символов, вследствие чего данные получились довольно шумными. Каждая статья имеет экспертную отметку и была отнесена ими к одной или более тематике. По итогам соревнования использованный мной подход вошёл в топ5 мира из более чем 120 команд учёных, что доказывает его эффективность и применимость на практике.

В докладе подробно описываются этапы построения такого классификатора. Дополнительно проверяется его работа на других наборах данных. Идет сравнение по качеству со стандартными алгоритмами многоклассовой классификации текстов, делаются выводы по поводу масштабируемости и универсальности такого подхода.

### Литература

1. *Tsoumakas G., Katakis I., Vlahavas I.* Mining multi-label data. In: Maimon O., Rokach L. (eds.) *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, 2nd edn., P. 667–685. Springer, Heidelberg. 2010.
2. *Wolpert D.H.* Stacked generalization. *Neural Networks*. 1992. V. 5. P. 241–259. 546 G. Tsoumakas et al.
3. *Lesk M.E.* Word-word associations in document retrieval systems. *American Documentation* 20 (1). 1969. P. 27–38.
4. *Sill J., Tak'acs G., Mackey L., Lin D.* Feature-weighted linear stacking. CoRR abs/0911.0460. 2009.
5. *Puurula A., Bifet A.* Ensembles of sparse multinomial classifiers for scalable text classification. In: *ECML/PKDD - PASCAL Workshop on Large-Scale Hierarchical Classification*. 2012.
6. *Zhang T.* Solving large scale linear prediction problems using stochastic gradient descent algorithms. In: *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, ICML 2004*. P. 116. ACM, New York. 2004.

7. *Zadrozny B., Elkan C.* Transforming classifier scores into accurate multiclass probability estimates. In: Proceedings of the eighth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD 2002. P. 694–699.
8. *Puurula A., Read J., Bifet A.* Kaggle LSHTC4 winning solution. CoRR abs/1405.0546. 2014.
9. *Elisseeff A., Weston J.* A kernel method for multi-labelled classification // Advances in Neural Information Processing Systems 14. 2002.
10. *Nam J., Kim J., Gurevych I., Feurnkranz J.* Large-scale multi-label text classification-revisiting neural networks. CoRR abs/1312.5419. 2013.
11. *Domingos P.* The role of occam’s razor in knowledge discovery // Data Min. Knowl. Discov. 1999. 3 (4). P. 409–425.

УДК 51-77

## Профили пользователей, основанные на времени перепосещения

Ф.А. Пушняков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

pushnyakoff28@yandex.ru

Распространенным явлением является перепосещение пользователем ранее посещенных страниц, но причины для этого могут различаться. Например, пользователь может перепосещать сайт туристического агентства каждые несколько месяцев, чтобы проверить наличие горящих туров. Другой пример нам доставляет интернет-магазины – пользователь может перепосещать сайт магазина каждые несколько дней в поисках скидок или уникальных предложений. Обе ситуации дают нам пример важного паттерна пользовательского поведения, а именно времени между двумя последовательными посещениями сайта данным пользователем. В настоящей работе мы исследуем этот паттерн. Предыдущие исследования показали, что от 50-ти до 80-ти процентов от всех посещений составляют именно перепосещения. Наша работа отличается от предыдущих во многих аспектах. Тогда как [2, 3] сфокусированы на веб-страницах, наше исследование рассматривает пользовательскую увлеченность веб-страницами.

Основная цель исследования – определить понятие кривой перепосещения и исследовать её свойства. Сперва необходимо ввести временные координаты так же, как это делается в статье [2], формально,  $\{t_i\}_{i=1}^{16}$ , где  $t_1 = 1$  минута и  $t_{16} = 55\,000$  минут. Таким образом, кривая перепосещений – это вектор  $\{y_i\}_{i=1}^{16}$ , где  $y_i$  – количество перепосещений, сделанных данным пользователем в течение времени  $t$  после его предыдущего визита, где  $t \in (t_{i-1}, t_i)$  (мы считаем, что  $t_0 = 0$ ).

Понятие кривой перепосещения вводится нами впервые. Наш подход во многом схож с подходом [2], где также рассматривается распределение времен перепосещения. Отличие заключается в том, что мы рассматриваем данный объект с точки зрения пользовательского поведения, а не с точки зрения фиксированной веб-страницы. В работе мы аппроксимируем кривую степенным законом и делаем вывод, что параметр степенного закона является уникальным пользовательским свойством. Также мы обсуждаем возможные приложения полученных результатов.



## Литература

1. *Pushnyakov P., Gusev G.* User profiles based on revisitation times // In Proceedings of the companion publication of the 23rd international conference on World wide web companion (WWW Companion '14). 2014.
2. *Adar E., Teevan J., Dumais S.T.* Large scale analysis of web revisitation patterns. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08). 2008.
3. *Kawase R., Herder E.* Classification of user interest patterns using a virtual folksonomy // In Proceedings of the 11th annual international ACM/IEEE joint conference on Digital libraries (JCDL '11). 2011.

## Секция дискретной математики

УДК 519.174

### Локальный кластерный коэффициент в графах предпочтительного присоединения

*А.В. Крот*<sup>1</sup>, *Л.А. Прохоренкова(Остроумова)*<sup>2,1,3</sup>, *Е.А. Самосват*<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет),

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, <sup>3</sup> ООО «Яндекс»  
al.krot.kav@gmail.com

В последние годы возникла необходимость построения вероятностных моделей графов, которые призваны описывать рост различных реальных сетей — биологических, социальных, транспортных и др. Особое место здесь занимает Интернет. Наиболее распространенная модель графа Интернета была предложена Барабаши и Альберт в 1999 году. Позже появилось множество других моделей: LCD, Buckley-Osthus, Holme-Kim, Random Apollonian Network и многие другие. В основу всех этих моделей положена идея предпочтительного присоединения: чем больше степень некоторой вершины в графе, тем больше вероятность того, что новые вершины будут соединены с ней.

В настоящей работе исследуется целый класс моделей, обладающих идеей предпочтительного присоединения (*PA*-класс) и исследуется поведение локального кластерного коэффициента при росте сети. А именно, пусть  $T_n(d)$  — количество треугольников на вершинах степени  $d$ ,  $N_n(d)$  — количество вершин степени  $d$ . Тогда локальный кластерный коэффициент среди вершин степени  $d$  равен

$$C(d) = \frac{T_n(d)}{N_n(d) \cdot \frac{d(d-1)}{2}}.$$

В работе доказываются следующие утверждения:

**Теорема 1.** Пусть  $G_m^n$  принадлежит  $T$ -подклассу классу графов предпочтительного присоединения (*PA*-классу). Тогда

$$ET_n(d) = K(d) \cdot (n + \theta(C \cdot d^{2+1/A})),$$

где  $K(d) = \left[ \sum_{i=1}^d \frac{D(i-1)}{m[A(i-1)+B]} \right] \cdot c(m, d)$  и  $c(m, d) = \frac{\Gamma(d+\frac{B}{A})\Gamma(m+\frac{B+1}{A})}{A\Gamma(d+\frac{B+A+1}{A})\Gamma(m+\frac{B}{A})}$ , а  $\theta(x)$  — некоторая функция, такая что  $|\theta(x)| < x$ .

**Теорема 2.** Для любой модели из класса предпочтительного присоединения и для любого  $d = d(n)$  верно

$$P(A) = O(n^{-\log n}),$$

где событие  $B = |T_n(d) - ET_n(d)| \geq d^2 \cdot \sqrt{n} \cdot \log n$ .

Кроме того, для любого  $\delta > 0$  существует функция  $\varphi(n) = o(1)$  такая, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(\exists d \leq n^{A-\delta/4A+2} : B = TRUE) = 0,$$

где событие  $B = |T_n(d) - ET_n(d)| \geq \varphi(n) ET_n(d)$ .

С помощью теорем 1 и 2 также доказывается

**Теорема 3.** Пусть  $G_m^n$  принадлежит  $T$ -подклассу класса графов предпочтительно-го присоединения. Тогда

$$C(d) \sim \frac{1}{d}.$$

УДК 519.179.1

## Раскраски гиперграфов с большим обхватом

А.Э. Хузиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
atomochek@gmail.com

В работе рассматривается классическая задача П. Эрдеша и Л. Ловаса [1] о раскрасках однородных гиперграфов с большим обхватом. Требуется отыскать величину  $m(n, r, s)$ , равную минимально возможному количеству ребер в  $n$ -однородном гиперграфе с хроматическим числом больше  $r$  и обхватом больше  $s$ . Нами получена новая асимптотическая нижняя оценка  $m(n, r, s)$ . В основе доказательства лежит следующая структурная теорема о количественных характеристиках гиперграфов с большим обхватом.

Пусть  $H = (V, E)$  —  $n$ -однородный гиперграф, а  $d$  — некоторое положительное число. Вершина  $v$  называется  $d$ -легкой, если ее степень в гиперграфе  $H$  не превосходит  $d$ . В противном случае вершина называется  $d$ -тяжелой. Ребро называется  $d$ -тяжелым, если в нем более половины вершин являются  $d$ -тяжелыми. В противном случае ребро называется  $d$ -легким.

**Теорема 1.** Пусть  $a > 0$  — фиксированное число. Тогда существуют такие положительные  $c = c(a)$  и  $N = N(a)$ , что при  $d \leq c \cdot r^{(n-1)}$  и  $n > N$  любой  $n$ -однородный гиперграф  $H = (V, E)$  с обхватом больше пяти и условиями:  $\Delta(H) \leq n^a \cdot r^{(n-1)}$  и каждая вершина  $H$  содержится не более чем в  $c \cdot r^{(n-1)}$   $d$ -тяжелых ребрах, является  $r$ -раскрашиваемым.

Данная теорема улучшает предыдущий аналогичный результат Косточки–Кумбхата из работы [2].

## Литература

1. Erdős P., Lovász L. Problems and results on 3-chromatic hypergraphs and some related questions. Infinite and Finite Sets // Colloquia Mathematica Societatis Janos Bolyai. North Holland, Amsterdam. 1973. Т. 10. С. 609–627.
2. Kostochka A.V., Kumbhat M. Coloring uniform hypergraphs with few edges // Random structures and algorithms. 2009. V. 35. P. 348–368.

УДК 519.174

## О реализации случайных графов графами $k$ -диаметров на плоскости

А.В. Крот<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
al.krot.kav@gmail.com

Работа находится на границе теории случайных графов и комбинаторной геометрии. С точки зрения комбинаторной геометрии речь идет о так называемых

графах  $k$ -диаметров. Назовем граф  $G = (V, E)$  двумерным графом  $k$ -диаметров, если  $V \subset R^2$ ,  $|V| < \infty$ , а множество ребер есть множество пар вершин, расстояние между которыми равно  $k$ -му диаметру множества  $V$ .

В этой работе мы изучим вопрос о том, в каких случаях случайный граф реализуется на плоскости как граф  $k$ -диаметров. Будем рассматривать задачу в терминах модели Эрдеша–Реньи случайного графа. А именно, пусть  $V_n = \{1, \dots, n\}$ ,  $p = p(n) \in [0, 1]$  и  $G(n, p) = (\Omega_n, F_n, P_{n,p})$  – вероятностное пространство, в котором  $\Omega_n$  – множество всех графов на  $V_n$  без петель, кратных ребер и ориентации (так, что  $|\Omega_n| = 2^{C_n^2}$ ),  $F_n = 2^{\Omega_n}$ ,

$$P_{n,p}(G) = p^{|E|} \cdot (1-p)^{C_n^2 - |E|}.$$

Иными словами, берутся случайные графы на  $n$  вершинах, в которых ребра проводятся взаимно независимо с одной и той же вероятностью  $p$ .

Дадим определение пороговой вероятности  $p^*$ . Пусть  $A(n, p, k)$  – событие, состоящее в том, что случайный граф  $G(n, p)$  реализуется на плоскости как граф  $k$ -диаметров. Тогда  $p^* = \sup \{p \mid \Pr\{A(n, p, k)\} > \frac{1}{2}\}$  при  $n \rightarrow \infty$ .

Таким образом, величина  $p^*$  такова, что при  $p > p^*$  случайный граф  $G(n, p)$  с асимптотической вероятностью больше  $\frac{1}{2}$  не реализуется как граф  $k$ -диаметров на плоскости, а при  $p < p^*$  случайный граф  $G(n, p)$  с асимптотической вероятностью больше  $\frac{1}{2}$  реализуется как граф  $k$ -диаметров на плоскости.

В ходе исследования удалось получить следующие результаты:

**Теорема 1.** Для любого значения  $k$  имеет место неравенство

$$p^* \leq \frac{c^*}{n^{4k+3/4k+2}},$$

$$\text{где } c^* = \sqrt[4k+2]{\ln 2 \cdot (4k+3) \cdot C_{4k+2}^{2k+1} \cdot (2k+1)}.$$

**Теорема 2.** При  $k = 1$  пороговая вероятность для свойства случайного графа «реализовываться как граф  $k$ -диаметров на плоскости» равна  $p^* = \frac{c^*}{n^{7/6}}$ , где  $c^* = \sqrt[6]{\ln 2 \cdot 7 \cdot C_6^3 \cdot 3}$ .

**Теорема 3.** При  $k = 2$  пороговая вероятность для свойства случайного графа «реализовываться как граф  $k$ -диаметров на плоскости» равна  $p^* = \frac{c^*}{n^{11/10}}$ , где  $c^* = \sqrt[10]{\ln 2 \cdot 11 \cdot C_{10}^5 \cdot 5}$ .

**Гипотеза 1.** Для любого значения  $k$  имеет место равенство

$$p^* = \frac{c^*}{n^{4k+3/4k+2}},$$

$$\text{где } c^* = \sqrt[4k+2]{\ln 2 \cdot (4k+3) \cdot C_{4k+2}^{2k+1} \cdot (2k+1)}.$$

УДК 519

## Basic embeddings of graphs into the plane

*А.Б. Скопенков*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

dsamirov@gmail.com

A subset  $K$  of  $R^2$  is basic if for each continuous function  $f : K \rightarrow R$  there exist continuous functions  $g, h : R \rightarrow R$  such that  $f(x, y) = g(x) + h(y)$  for each point  $(x, y)$  in  $K$ . The notion of a basic embedding appeared in the course of the Kolmogorov–Arnold solution of Hilbert’s 13th problem on superpositions. We present descriptions of

basic subsets of the plane and graphs basically embeddable into the plane (solutions of Arnold's and Sternfeld's problems). We present some results and open problems on the discrete version of the property of being basic. The talk requires no special prerequisites and is accessible to students and mathematicians from different areas.

### Литература

1. *Skopenkov A.B.* A description of continua basically embeddable in  $\mathbf{R}^2$  // Topol. Appl. 65. 1995. P. 29–48.
2. *Skopenkov A.B.* Basic embeddings and Hilbert's 13th problem on superpositions // Mat. Prosvetshenie. 2010. 14. P. 143–174.

УДК 519.175.4

### О спектре свойства первого порядка случайного графа

*М.Е. Жуковский*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
dsamirov@gmail.com

Случайный граф Эрдеша–Реньи – это конечный неориентированный граф без петель и кратных ребер, все ребра которого проводятся независимо и с равной вероятностью. Говорят, что случайный граф подчиняется закону нуля или единицы, если для любого свойства, записанного на языке первого порядка, вероятность им обладать стремится либо к нулю, либо к единице. В 1988 году Дж. Спенсер и С. Шела доказали, что случайный граф Эрдеша–Реньи подчиняется закону нуля или единицы, если вероятность ребра является степенной функцией от количества вершин графа, где показатель степени – положительное иррациональное число. Если показатель степени является положительным рациональным числом, не превосходящим единицы, то закон нуля или единицы не выполнен. В этой связи рассматривается  $k$ -закон нуля или единицы. Случайный граф подчиняется  $k$ -закону нуля или единицы, если для любого свойства, выразимого формулой первого порядка с кванторной глубиной, не превосходящей  $k$ , вероятность обладать этим свойством стремится либо к нулю, либо к единице. Мы нашли различные диапазоны рациональных значений показателя степени в вероятности ребра случайного графа, при которых он подчиняется  $k$ -закону нуля или единицы. Эффект отсутствия закона нуля или единицы, в частности, вызван тем, что для некоторых простых свойств первого порядка (например, экзистенциальных) существует пороговая вероятность, которая как раз равна степени числа вершин с соответствующим рациональным показателем. Под пороговой вероятностью свойства подразумевается такая функция от числа вершин, что при вероятности проведения ребра, асимптотически меньшей этой функции, вероятность выполнения свойства стремится к нулю, а при большей – к единице (или наоборот). Разумеется, пороговых вероятностей может быть более одной для одного свойства. Множество рациональных показателей степени в вероятностях проведения ребра, которые являются пороговыми вероятностями, называется *спектром рассматриваемого свойства*. В 1990 году Дж. Спенсер доказал, что существуют свойства первого порядка с бесконечным спектром. Спектром числа  $k$  мы называем объединение спектров всех свойств, выразимых формулами первого порядка, кванторные глубины которых не превосходят  $k$ . Дж. Спенсер доказал, что при достаточно больших  $k$  число  $1/3$  является предельной точкой в спектре числа  $k$ . Наше новое исследование посвящено ответам на следующие вопросы.

1. Каковы инфимум и супремум спектра при достаточно больших  $k$ ?
2. Каково минимальное значение  $k$ , при котором соответствующий спектр бесконечен?

### Литература

1. Shelah S., Spencer J.H. Zero-one laws for sparse random graphs // J. Amer. Math. Soc. 1988. V. 1. P. 97–115.
2. Zhukovskii M.E. Zero-one  $k$ -law // Discrete Mathematics. 2012. 312. P. 1670–1688.
3. Spencer J.H. Infinite spectra in the first order theory of graphs // Combinatorica. 1990. V. 10, N 1. P. 95–102.

УДК 519.178

## Модель случайного геометрического графа для беспроводных самоорганизующихся сетей

С.Н. Хорошеньких<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
horoshenkih@frtk.ru

*Самоорганизующиеся сети* – это децентрализованные (т.е. без маршрутизаторов и выделенных точек доступа) беспроводные сети передачи данных. Хорошей математической моделью для беспроводных сетей является граф единичных кругов (unit-disk graph). Большой интерес представляют модели формирования таких сетей, поскольку они позволяют наблюдать важные свойства их структуры и тем самым помогают строить эффективные алгоритмы передачи данных.

Традиционно основной моделью для самоорганизующихся сетей служит *геометрический случайный граф*. В этой модели вершины графа появляются одновременно и независимо друг от друга в некоторой фиксированной области (зависящей только от числа вершин). В настоящей работе предложена новая модель случайного графа для беспроводной сети, в основе которой лежит следующее предположение: вершины добавляются в граф последовательно, причем каждая новая вершина появляется случайно из равномерного распределения в области покрытия графа.

Формально множество вершин графа  $V_n$  есть случайное множество из  $n$  точек в  $R^d$ . Процесс построения  $V_n$  задается индуктивно:

1.  $V_1 = \{0\}$  (первая вершина графа лежит в начале координат)
2.  $V_{n+1} = V_n \cup \{\xi_n\}$ , где  $\xi_n$  –  $d$ -мерная случайная величина, имеющая равномерное распределение в области  $v \in V_n B(v)$ ,  $B(v)$  – шар единичного объема с центром в точке  $v$ .

Для данной модели в одномерном случае получены следующие результаты:

1. Математическое ожидание площади покрытия графа зависит от числа вершин  $n$  как  $\Theta(\sqrt{n})$ .
2. Дисперсия площади покрытия графа зависит от числа вершин  $n$  как  $O(\sqrt{n})$ .

Также разработаны алгоритмы маршрутизации для данной модели в случае  $d = 2$  (на плоскости).

### Литература

1. Penrose M. Random geometric graphs. Oxford : Oxford University Press, 2003. Т. 5.

2. *Diestel R.* Graph Theory {Graduate Texts in Mathematics; 173}. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Company KG, 2000.
3. *Alon N., Spencer J.H.* The probabilistic method. John Wiley & Sons, 2004.

УДК 519.179.1

## Раскраски специального вида для гиперграфов

Н.А. Волков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
nikita.v2009@yandex.ru

Рассматривается ряд экстремальных задач о раскрасках гиперграфов специального вида. Назовем  $s$ -хроматическим числом гиперграфа  $H$  минимальное число цветов, которое требуется для такой раскраски множества его вершин, что в ней каждое ребро содержит вершины не менее  $s$  различных цветов, и обозначим его  $\chi_s(H)$ . Функция  $m(k, r, s)$  определяется как минимально возможное количество ребер гиперграфа в классе  $k$ -однородных гиперграфов с  $s$ -хроматическим числом больше  $r$ . Мы в данной работе концентрируемся на исследовании величины  $m(k, r, 3)$ , то есть будем рассматривать раскраски гиперграфов, в которых каждое ребро имеет не менее трех различных цветов.

Первым результатом работы является верхняя оценка  $m(k, r, 3)$  для любых  $r > 3$ ,  $k > 2$ :

$$m(k, r, 3) \leq \frac{r^{k-1} k^2 \ln r}{2^{k-3}}.$$

Также нами получена нижняя оценка  $m(k, r, 3)$  для любых  $k > 2$ ,  $r > 2$ :

$$m(k, r, 3) > \frac{r^{k-1}}{15k2^k}.$$

Кроме того, в работе рассмотрен вопрос об оценке максимальной степени ребра в простом  $k$ -однородном гиперграфе с 3-хроматическим числом больше  $r$ . Нами было доказано, что в этом случае максимальная степень ребра должна быть не меньше, чем

$$\frac{r^{k-2} k^{1/4}}{2^{k+6} \sqrt{\ln k}}.$$

УДК 519-21

## Хеджирование ценового риска в присутствии объемного риска

А.В. Куликов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
kulikov\_av@pochta.ru

Стандартные сырьевые и энергетические контракты дают право покупателю на покупку объема между минимумом и максимумом. То есть доход продавца определяется как  $C = V \cdot S$  и зависит не только от изменения цены, но и от объема продажи. В то же время хеджировать ценовой риск обычно компания-продавец может, а объемный риск хеджировать достаточно сложно (варианты объемного хеджирования могут быть найдены в работе [1], однако точного результата они не дают и достаточно сложны для использования на практике).

Хеджирование на энергетических рынках с использованием максимизации полезности, форвардов, опционов пут и колл было рассмотрено в работе [1], если объемный риск сам по себе не хеджируется. В данной работе с использованием подхода работы [2] мы рассматриваем аналогичную задачу для хвостового VaR. В данной работе показано, что в случае независимости цены и объема для оптимального хеджирования достаточно использовать только форварды.

Однако на реальных рынках объемы и цены не являются независимыми, а также можно использовать только опционы пут с некоторыми страйками. В работе [3] данная задача рассмотрена для объема, имеющего распределение Бернулли, и для цены, имеющей равномерное распределение с использованием VaR, хвостового VaR и опциона пут с одним страйком. В данной работе рассмотрены различные примеры оптимального хеджирования и предложен подход с минимизацией функции

$$\lambda_a(h) = P(C + h((K - S)^+ - EP(K))).$$

Также мы доказали, что в случае атомарности в минимуме у распределения объема и того факта, что носитель распределения цены при условии этого атома совпадает с исходным распределением цены, оптимально покупать минимальное количество опционов пут. Ситуации «естественного хеджирования» также рассмотрены.

### Литература

1. *Cherny A.S., Madan D.* Pricing and hedging through coherent acceptability. Preprint. <http://mech.math.msu.su/~cherny>
2. *Oum Y., Oren S., Deng S.* Hedging quantity risks with standard power options in a competitive wholesale electricity market // Naval Res. Logist. 53 (2006). N 7. P. 697–712.
3. *Валединская Н.* Минимизация VaR для модели с опционами в присутствии объемного риска: диплом в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова. М., 2011.

УДК 519.179.1

## О раскрасках гиперграфов с большим хроматическим числом

*И.А. Акользин<sup>1</sup>, Д.А. Шабанов<sup>2,1</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет),

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

[iakolzin@gmail.com](mailto:iakolzin@gmail.com)

В работе рассматривается классическая задача Эрдеша–Хайнала о раскрасках гиперграфов и некоторые смежные проблемы. Обозначим за  $m(n, r)$  минимально возможное количество ребер  $n$ -однородного гиперграфа с хроматическим числом больше  $r$ . Тогда для  $r > n$  выполнены соотношения:

$$c_1 \frac{n}{\ln n} \leq \frac{m(n, r)}{r^n} \leq C_1 n^3 \ln n,$$

где  $C_1, c_1 > 0$  — некоторые константы. Более того, нами были получены подобные оценки для величины  $d(n, r)$ , которая равна минимально возможной степени ребра в  $n$ -однородном гиперграфе с хроматическим числом больше  $r$ . Если  $r > n$ , то

$$c_2 \frac{n}{\ln n} \leq \frac{d(n, r)}{r^{n-1}} \leq C_2 n^3 \ln n,$$



где  $C_2, c_2 > 0$  — некоторые константы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-692.2014.1.

### Литература

1. Erdős P., Hajnal A. On a property of families of sets // Acta Mathematica of the Academy of Sciences. 1961. N 12:1–2. P. 87–123.
2. Erdős P. On a combinatorial problem, I // Nordisk Mat. Tidskrift. 1963. N 11. P. 5–10.
3. Erdős P. On a combinatorial problem, II // Acta Mathematica of the Academy of Sciences. 1964. N 15:3–4. P. 445–447.
4. Raigorodskii A.M., Shabanov D.A. The Erdős–Hajnal problem of hypergraph colouring, its generalizations and related problems // Russian Mathematical Surveys. 2011. N 66:5. P. 933–1002.
5. Radhakrishnan J., Srinivasan A. Improved bounds and algorithms for hypergraph two-coloring // Random Structures and Algorithms. 2000. N 16:1. P. 4–32.
6. Alon N. Hypergraphs with high chromatic number // Graphs and Combinatorics. 1985. N 1:1. P. 387–389.
7. Pluhár A. Greedy colorings for uniform hypergraphs // Random Structures and Algorithms. 2009. N 35:2. P. 216–221.
8. Erdős P., Lovász L. Problems and results on 3-chromatic hypergraphs and some related questions // Infinite and Finite Sets. 1973. N 10. P. 609–627.
9. Shabanov D.A. On  $r$ -chromatic hypergraphs // Discrete Mathematics. 2012. N 312:2. P. 441–458.
10. Alon N., Spencer J.H. The Probabilistic Method. 3<sup>rd</sup> ed. Wiley, 2008. 352 p.
11. Kostochka A.V., Rödl V. Constructions of sparse uniform hypergraphs with high chromatic number // Random Structures and Algorithms. 2010. N 36:1. P. 46–56.
12. Frankl P., Rödl V. Lower bounds for Turán problem // Graphs and Combinatorics. 1985. N 1:1. P. 213–216.
13. Sidorenko A. Upper bounds for Turán numbers // Journal of Combinatorial Theory. Series A. 1997. N 77:1. P. 134–147.
14. Beck J. A remark concerning arithmetic progressions // Journal of Combinatorial Theory. Series A. 1980. N 29:3. P. 376–379.

УДК 51

### О числе ребер в индуцированных подграфах специального дистанционного графа

Ф.А. Пушняков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Аппарат Правительства РФ  
pushnyakoff28@yandex.ru

Рассмотрим последовательность графов  $G_n = G_n(V_n, E_n) = G(n, 3, 1)$ , у которых

$$V_n = \{x = (x_1, \dots, x_n) : x_i \in \{0, 1\}, x_1 + \dots + x_n = 3\},$$

$$E_n = \{(x, y) : \langle x | y \rangle = 1\},$$

Иными словами, вершинами графа  $G(n, 3, 1)$  являются  $(0,1)$ -векторы, скалярный квадрат которых равен трем. И эти вершины соединены ребром тогда и только тогда, когда скалярное произведение соответствующих векторов равно единице. Изучение данных графов обусловлено многими задачами комбинаторной геометрии, экстремальной комбинаторики, теории кодирования: например, задачей Нелсона–Эрдёша–Хадвигера о раскраске метрического пространства, проблемой Борсука о разбиении пространства на части меньшего диаметра, задачах о числах Рамсея, задачах о кодах с одним запрещенным расстоянием.

Напомним, что независимым множеством графа называется такое подмножество его вершин, что никакие две вершины данного подмножества не соединены ребром. Числом независимости  $a(G)$  называется наибольшая мощность независимого множества. Обозначим  $a_n = a(G(n, 3, 1))$ .

Обозначим через  $r(W)$  количество ребер графа  $G$  на множестве  $W \subseteq V_n$ . Иными словами,

$$r(W) = |\{(x, y) \in E(G) : x \in W, y \in W\}|.$$

Также обозначим

$$r(l(n)) = \min_{|W|=l(n), W \subseteq V_n} r(W).$$

Заметим, что если  $l(n) \leq a_n$ , то  $r(l(n)) = 0$ , и обсуждать нечего. Если же  $l(n) > a_n$ , то очевидно, что в любом  $W \subseteq V_n$  мощности  $l(n)$  непременно найдутся ребра. Возникает интересный вопрос об изучении величины  $r(l)$ . В настоящей работе мы приведем практически полное исследование данной величины. Нами доказана следующая теорема.

**Теорема 1.** *Имеют место четыре случая:*

1. Пусть функция  $f : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  такова, что  $f(n) = o(n^2)$  при  $n \rightarrow \infty$ . Пусть функция  $l : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  такова, что для любого  $n \in \mathbb{N}$  выполнена цепочка неравенств  $n \leq l(n) \leq f(n)$ . Тогда  $r(l(n)) \sim \frac{l(n)^2}{2\alpha_n}$  при  $n \rightarrow \infty$ .
2. Пусть функция  $l : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  такова, что существуют константы  $C_1, C_2$ , с которыми для каждого  $n \in \mathbb{N}$  выполнена цепочка неравенств  $C_1 \cdot n^2 \leq f(n) \leq C_2 \cdot n^2$ . Тогда  $r(l(n)) \sim \frac{l(n)^2}{2\alpha_n}$  при  $n \rightarrow \infty$ .
3. Пусть функции  $f : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}, g : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  таковы, что выполнено  $n^2 = o(f(n))$  и  $g(n) = o(n^3)$  при  $n \rightarrow \infty$ . Пусть функция  $l : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  такова, что для каждого  $n \in \mathbb{N}$  выполнено  $f(n) \leq l(n) \leq g(n)$ . Тогда  $r(l(n)) \sim \frac{l(n)^2}{\alpha_n}$  при  $n \rightarrow \infty$ .
4. Пусть функция  $l : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  такова, что существует константа  $C$ , с которой выполнена цепочка неравенств  $C \cdot n^3 \leq l(n) \leq C_n^3$ . Пусть  $c(n) = 1 - \frac{l(n)}{C_n^3}$ . Тогда  $r(l(n)) \geq n^5 \left( \frac{1}{8} - \frac{c(n)}{4} + \frac{c(n)^2}{72} \right)$ .

Проанализируем формулировку данной теоремы. В первых двух случаях мы нашли асимптотическое значение величины  $r(l)$  при  $n \rightarrow \infty$ . Третий случай ис-

следован не до конца, но оценка, полученная в нем, обладает тем свойством, что  $r(l(n)) \sim E_n$  при  $l(n) \sim V_n$ .

УДК 519.179.2

## Свойства теоретико-игровой модели социальных сетей Чайес–Боргса

*М.В. Осипов<sup>1</sup>, Д.В. Мусатов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
osipov.matvei@gmail.com

В последнее десятилетие в связи с появлением онлайн-социальных сетей возрос как интерес к их моделированию, так и возможность изучать их свойства. Среди свойств сетей наиболее известны три: небольшой диаметр (свойство, также известное как *теория 6 рукопожатий*), высокий коэффициент кластеризации и распределённые по Парето степени узлов.

Есть два подхода к моделированию сетей: вероятностный и теоретико-игровой. Вероятностный подход дает результат более схожий с реальными сетями, но не объясняет механизмы их образования. Для большого количества вероятностных моделей была доказана выполнимость свойств распределения степеней и небольшого диаметра.

Ранние теоретико-игровые модели предполагали, что игроки платят напрямую за связь друг с другом и получают от этого некоторую выгоду. Но в таких играх было слишком мало равновесий, и эти равновесия имели слишком регулярную структуру. В 2010 году Чайес, Боргсом, Дингом и Люсье была предложена модель «хитчхайкинга», в которой связь образовывалась в результате действий не только игроков, устанавливающих связь, но и третьих игроков. В частности, связь могла быть бесплатна для обоих игроков, будучи полностью оплаченной другими игроками. Авторы также показали возможность выполнения свойств высокой кластеризации и распределения степеней.

Но диаметр в работе рассмотрен не был. Задавшись целью изучить диаметр, мы показали, что большой класс графов может быть получен с помощью данной модели. Более подробно, этот класс графов состоит из реберных графов, полученных из графов с обхватом не менее 4 и без вершин степени 2. В этом классе графов есть как графы с большим диаметром, так и с очень маленьким, а также удовлетворяющие закону распределения степеней. Таким образом, в равновесии данной модели есть графы со всеми тремя свойствами одновременно.

Дальнейшее изучение данной модели заключается в модификации модели для того, чтобы всегда получать только сети с необходимыми свойствами, а также нахождение параметров модели для реальных графов.

УДК 511.338

## Дефект допустимого октаэдра в решетке

*А.А. Баган<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
pnlbagan@gmail.com

В области исследования решеток важным параметром является дефект решетки относительно ее подрешетки. Естественно без потери общности, считать, что подрешетка – это целочисленная решетка размерности  $n$ . Чаще всего исследуют дефект

при условии того, что некоторое тело допустимо в решетке. В данной работе рассмотрен дефект допустимого октаэдра.

Этот вопрос был изучен А.М. Райгородским и Н.Г. Мощевитиным в том случае, когда решетка получается из целочисленной добавлением одного вектора с рациональными координатами, в работах [1] и [2].

В данной работе количество добавленных рациональных векторов является параметром, что дает возможность получить любую решетку из целочисленной. Была построена комбинаторная конструкция, которая определяет дефект и найдена нетривиальная верхняя оценка, которая согласуется с ранними исследованиями.

Дальнейшее исследование построенной конструкции может привести к нахождению нижней оценки и полному решению проблемы дефекта допустимого октаэдра в решетке.

### Литература

1. *Райгородский А.М.* Дефект допустимых шаров и октаэдров в решетке и системы общих представителей // Мат. Сборник. 189. 1998. № 6. С. 117–141.
2. *Мощевитин Н.Г.* Дефект допустимого октаэдра в решетке // Мат. Заметки. 1995. 58. № 4. С. 558–568.

УДК 519

### Графы Шрейера групп, порождённых автоматами, и гиперболическая динамика в конечных полях

*А.А. Приходько*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
dsamirov@gmail.com

Мы исследуем конечные графы Шрейера группы «мигающих лампочек» типа  $L(2)$  — одной из семейства групп, порождённых конечными автоматами с двумя состояниями, и даём классификацию графов Шрейера в случае, когда максимальная абелева подгруппа транзитивно действует на графе. Такие графы всегда имеют число вершин, равное степени двойки, изоморфны как графы графам де Брёйна, а также графам гиперболических действий  $L(2)$  в полях Галуа. Отметим также, что изоморфизм в сильном смысле графов де Брёйна и графов Шрейера для действия  $L(2)$  на  $n$ -м уровне бинарного дерева достигается в точности при мощности графа  $2^{2^n}$ . Устанавливается связь полученных результатов со свойствами гиперболических динамических систем в больших конечных полях.

---

## Секция когнитивных технологий

---

УДК 004.896

### Интеллектуальный подход в решении задач компьютерного зрения

*М.А. Цуканов<sup>1</sup>, О.П. Ульянова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
ulianov032223@mail.ru

Компьютерное зрение применяется довольно широко как в относительно старых областях (например, управление мобильными роботами, промышленные средства наблюдения, военные приложения), так и в сравнительно новых (взаимодействие человек-компьютер, поиск изображения в цифровых библиотеках, анализ медицинских изображений и реалистичная передача смоделированных сцен в компьютерной графике) [1].

В настоящее время активно расширяются области применения компьютерного зрения в рамках систем видеонаблюдения: от мониторинга за покупателями в супермаркетах до распознавания преступных и террористических угроз в местах массового скопления людей. Множество современных предприятий, как крупных промышленных гигантов, так и предприятий мелкого и среднего бизнеса, используют системы видеонаблюдения в целях безопасности и наблюдения за сотрудниками.

Анализ видеоматериала осуществляется в основном оператором-человеком, на монитор которого выводится изображение с нескольких камер наблюдения. Но человек не всегда точно может определить нетипичное поведение объекта, за которым производится наблюдение, в силу своей утомляемости, вероятности того, что он может отвлечься и из-за других субъективных факторов.

В современных системах видеонаблюдения, таких, как «Mobotix» [2], «Синезис» [3], прилагается ряд функций, которые позволяют осуществлять регистрацию объекта наблюдения в следующих ситуациях: пересечение объектом линии в выбранном направлении, движение объекта в зоне, переход объекта из одной зоны в другую, пребывание объекта в зоне больше дозволенного времени. Это снижает требования к вниманию оператора за счет автоматического оповещения о нарушениях границ зоны и возникновении отклонений от траекторий движения. Однако существует ряд областей, например регистрация преступных действий или наблюдение за работниками, где по-прежнему требуется высокая степень внимания оператора, поскольку важным является не только пребывание объекта в зоне или контроль траектории его движения, но и анализ его поведения.

В данной статье рассматривается архитектура интеллектуальной системы видеонаблюдения и комплексная методика видеоанализа с использованием искусственных нейронных сетей и графовых методов, анализирующая поведение человека с целью выявления нетипичных действий на основе его биометрических характеристик и динамики движения.

Видеоинформация централизованно собирается на сервере-видеорегистраторе, где и происходит анализ. В качестве основного инструмента анализа видеоизображения

возможно использование нейронных сетей. Применение графовых методов обусловлено необходимостью предварительной обработки видео с целью выделения на нём активной области, где непосредственно присутствует человек, представленный в виде взаимосвязанного графа-скелета и выполняющий действия.

Граф рассматривается как совокупность характерных точек, изменение положения которых однозначно характеризует выполнение некоторой операции или действия. Каждая характерная точка описывается тремя координатами и скоростью их изменения во времени. От этих данных зависит количество входов нейронной сети, осуществляющей определение нетипичного поведения.

Нейронная сеть имеет двухслойную структуру. Сети первого уровня отслеживают положение характерной точки на основе трех координат и скорости их изменения. Второй слой идентифицирует действие по совокупности положений характерных точек.

Обучение нейронных сетей проводится в автономном режиме. Подаются все вариативные изменения положений характерных точек с целью определения последовательности повторяющихся действий, характеризующих недопустимое поведение.

Предложенное решение, основанное на распознавании нетипичного поведения и контроле действий, позволит вовремя выявлять отклоняющееся поведение человека в различных ситуациях (производство или места массового скопления людей, как то вокзалы, больницы и др.). Возрастающая необходимость автоматизированного и автоматического анализа различного рода изображений и видео актуализирует дальнейшие исследования в рамках данной проблематики. Требуется дальнейшего изучения вопрос выбора алгоритма предварительной подготовки (скелетизации) изображения и видео. Также необходимо исследовать применение других алгоритмов распознавания как альтернативы нейросетевой методики.

Проект получил поддержку Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» на 2014–2016 годы.

## Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Система видеонаблюдения «Синезис». URL: <http://synesis.ru>
3. Система видеонаблюдения «Mobotix». URL: <http://www.mobotix.com>

УДК 51-72

### Исследование влияния немонохроматичности пучка на точность восстановления томографических изображений

*А.С. Ингачева*<sup>1,2</sup>, *В.Е. Прун*<sup>1,3,4</sup>, *М.В. Чукалина*<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, <sup>2</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», <sup>3</sup> Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов, <sup>4</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

[ingacheva@gmail.com](mailto:ingacheva@gmail.com)

В работе рассматривается возможная неточность моделей компьютерной томографии в части учета влияния энергетического спектра рентгеновского пучка. Рассматривается 2-мерный вариант задачи. Для разделения влияния немонохроматичности пучка и особенностей собственно алгоритма восстановления предлагается

подход пересчета веерной измерительной схемы в параллельную, так как большое количество алгоритмов восстановления компьютерной томографии хорошо оптимизировано для параллельной схемы.

Рассмотрим пару лучей, исходящих под углами  $\gamma$  и  $-\gamma$  из источника, как показано на рис. 1 слева. Обозначим за  $B$  и  $B'$  точки падения этих лучей на детектор. Обозначим координату точки  $B$  по оси  $OY$  за  $S$ . Тогда координата точки  $B'$  будет  $-S$ . Имеет место равенство

$$\gamma = \operatorname{arccctg} \frac{S}{H}. \quad (1)$$

На рис. 1 справа изображена схема формирования лучевой суммы в параллельной схеме при повороте образца на угол  $\gamma$ . Легко видеть, что в обоих случаях значение в соответствующих ячейках детектора формируется одной и той же лучевой суммой, только в одном случае повернут луч, а в другом — объект. Установив такое соответствие для каждого угла поворота и ячейки детектора, будет вычислено исходное преобразование синограмм. Если  $(\alpha_f, S_f)$  — координата точки синограммы в веерной схеме:  $\alpha_f$  — угол поворота объекта,  $S_f$  — ячейка детектора, а  $(\alpha_p, S_p)$  координаты точки синограммы в параллельной схеме, то формулы пересчета координат можно записать следующим образом:

$$\alpha_p = \alpha_f + \operatorname{arccctg} \frac{S_f}{H}, \quad (2)$$

$$S_p = \cos \left( \frac{S_f}{H} \right) \cdot \left( \frac{y_c S_f}{H} - x_c \right). \quad (3)$$

Данные формулы пересчета и были использованы для создания программы, осуществляющей пересчет синограмм. Для восстановления синограмм в описываемой работе применялся алгебраический метод, основанный на быстром преобразовании Хафа [1]. Регуляризация в восстановлениях не применялась, чтобы не сглаживать возможные неточности, вызванные ошибками в программе пересчета синограмм.

Предложенные алгоритмы пересчета численно реализованы на языке программирования C++. При расчете модельных синограмм используются библиотеки XRayLib [2]. Проверка корректности рассматриваемой реализации производится сравнением фантома геометрии Шеппа–Логана [3] с результатами реконструкции изображения из набора модельных томографических проекций.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-07-00970-а, 13-07-12179-офи\_м).

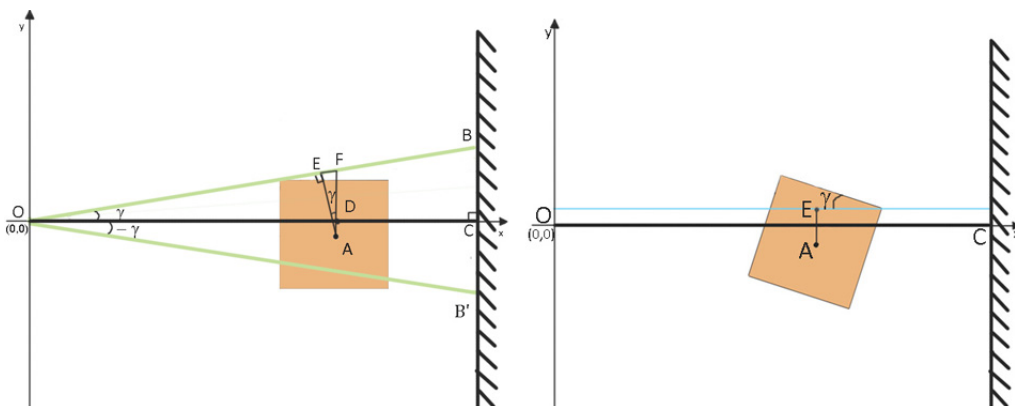


Рис. 1. Схема эксперимента в веерной слева и параллельной справа схемах

## Литература

1. Прун В.Е., Бузмаков А.В., Николаев Д.П., Чукалина М.В., Асадчиков В.Е. Вычислительно эффективный вариант алгебраического метода компьютерной томографии // Автомат. и телемех. 2013. № 10. С. 86–97.
2. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/tschoonj/xraylib/wiki> 30/04/2014.
3. Shepp L., Logan B. The Fourier Reconstruction of a Head Section // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1974. V. NS-21. P. 21–43.

УДК 004.932.2

### Новый алгоритм выделения текстовых зон на изображении делового документа

*М.В. Будаковский*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт системного анализа РАН

[budakovsky@gmail.com](mailto:budakovsky@gmail.com)

В современных системах массового ввода документов [1, 2] одним из ключевых этапов обработки изображений является извлечение текстовых объектов из изображения для их дальнейшего распознавания и переноса в электронный вид, позволяющий легко систематизировать полученную информацию. Для задачи выделения текста на изображении до сих пор не найдено универсального устойчивого решения. Большинство существующих алгоритмов хорошо работает только на узком выделенном классе изображений, для которого они и разрабатываются и отличаются сильной чувствительностью к альтернативным моделям документов.

В данной статье был разработан новый алгоритм выделения текстовых зон на основе преобразования расстояний [3]. Он состоит из следующих основных этапов:

1. Морфологическое замыкание.
2. Генерация карты расстояний.
3. Определение замкнутых изолиний.
4. Выделение объектов.
5. Классификация объектов.
6. Локализация текстовых объектов минимальным прямоугольником.

Для сравнения качества разработанного алгоритма с существующими была реализована модификация современного алгоритма выделения текста, основанного на диаграмме Вороного для областей [4, 5]. Сравнения этих подходов базируются на супервизорном критерии, заключающемся в вычислении меры отличия результатов сегментации и истинной формы объектов на изображении. Истинная форма объектов отражена в сформированной экспертом идеальной разметке документа. Используется двухуровневое представление структурных элементов текста: строки текста и текстовые блоки. Каждый текстовый блок представляет собой объединение конечного числа строк текста.

С целью вычисления количественной оценки качества в данной работе вводится параметризованный функционал, основанный на площади пересечения пар соответствующих друг другу элементов оцениваемой и идеальной разметок. В работе задаются оптимальные значения параметров функционала качества с учётом специфики ошибок сегментации: недосегментация (ситуации, когда текстовая зона выделена прямоугольником большего размера, чем необходимо) и пересегментация (случай, когда идеальная разметка менее детализирована, чем оцениваемая).



Для тестирования были сформированы и размечены вручную экспертом выборка из 320 изображений различных деловых документов. По результатам сравнения с идеальной разметкой были найдены оптимальные параметры алгоритмов на экспериментальной выборке изображений документов, а также проведено вычисление качества на различных видах документов. Необходимо отметить, что алгоритм на основе карты расстояний на экспериментальной выборке в среднем показывает лучший результат по качеству:  $K_{cp}^{DT} = 0,867$ , чем алгоритм, базирующийся на построении диаграммы Вороного:  $K_{cp}^{Vor} = 0,815$ . Разработанный алгоритм заметно менее чувствителен к искажениям типа поворот, может обрабатывать изображения с учётом цвета. Он также имеет преимущество в скорости, для ускорения обработки допустимо сжимать изображения, качество алгоритма при этом изменяется незначительно. Недостатком предложенного алгоритма является параметризация, зависящая от разрешения изображения.

### Литература

1. Арлазаров В.В. Управление информационными потоками в системе автоматического ввода документов // Сборник трудов Института системного анализа РАН. 2002. С. 21–35.
2. Емельянов Н.Е., Арлазаров В.Л. Прикладные аспекты построения систем на основе документооборота // Труды ИСА РАН «Документооборот. Прикладные аспекты», 2004. С. 5–11.
3. Rosenfeld A., Pfaltz J.L. Sequential operations in digital picture processing // Journal of the ACM. 1966. N 13(4). P. 471–494.
4. Kise K., Sato A., Iwata M. Segmentation of page images using the area Voronoi diagram // Computer Vision and Image Understanding. 1998. V. 3, N 70. P. 370–382.
5. Agrawal M., Doermann D. Voronoi++: A Dynamic Page Segmentation Approach Based on Voronoi and Docstrum Features // Document Analysis and Recognition. 2009. P. 1011–1015.

УДК 004.051

### Оценка качества систем автоматической классификации транспортных средств в неконтролируемых условиях

*О.В. Малюгина*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, <sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
olyamal94@frtk.ru

На сегодняшний день большинство автомагистралей нашей страны имеет платные участки, при въезде и выезде с которых часто возникают пробки. Система автоматической классификации транспортных средств (АКТС) решает эту проблему, повышая пропускную способность платных дорог.

Перед нами стояла задача провести анализ системы АКТС, работающей на Западном скоростном диаметре города Санкт-Петербурга [1], и определить наихудшие возможные условия ее эксплуатации. Мы проводили анализ, строя факторную суррогатную модель.

При анализе системы были выделены следующие факторы, влияющие на работу системы:

1. Время суток (день, ночь, закат/рассвет).
2. Наличие осадков (есть, нет).
3. Интенсивность движения (наличие, отсутствие пробки).
4. Состояние покрытия (сухое, мокрое).
5. Наличие засветки (когда солнце светит прямо в камеру).
6. Наличие тени (есть, нет).
7. Процент грузовых машин ( $><0.1\%$ ).

Мы рассматривали данные по 11 975 поездкам. Для каждого проезда вручную определили значение факторов, при которых был совершен проезд. Получена 51 уникальная совокупность факторов. Для каждой из них нам известно количество успешно классифицированных проездов, количество всех проездов и, как следствие, вероятность успешной классификации.

Необходимо было найти вероятность успешной классификации в непредставленных значениях факторов. Эту задачу мы решали несколькими способами:

1. Применяя формулу Байеса и предполагая, что факторы независимы

$$\begin{aligned}
 p(y|x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) &= \\
 &= \frac{p(x_1, \dots, x_7 | y) * p(y)}{p(x_1, \dots, x_7)} = \\
 &= \frac{\prod p(x_i|y) * p(y)}{\prod p(x_i)}.
 \end{aligned}$$

1. Минимизирую невязки при решении несовместной системы уравнений с максимизацией функции правдоподобия.

Предполагая, что факторы независимы, будем считать вероятность успешной классификации при данной совокупности факторов как произведение вероятностей успешной классификации при каждом из них. Таким образом, получили несовместную систему уравнений. Для построения функции правдоподобия воспользовались формулой Бернулли.

Задачу максимизации мы решали, используя алгоритм последовательного квадратичного программирования [2].

Валидность распределения оценивалась двумя способами:

1. Наблюдением среднеквадратичной ошибки на имеющихся данных.
2. Скользящим контролем [3]: убирали одну уникальную совокупность факторов и наблюдали ошибку предсказания. Потом просуммировали ошибки по всем уникальным совокупностям факторов.

В ходе эксперимента было выяснено, что первый метод более точно предсказывает тестовые данные, и при его помощи получена вероятность успешной классификации при всех возможных значениях факторов.

Далее мы определили минимальную возможную вероятность успешной классификации за один день. Для этого были наложены ограничения на продолжительность воздействия факторов (ночь не может длиться дольше 18 часов), исключены невозможные комбинации (засветка ночью) и решена задача линейной аппроксимации с ограничениями с использованием алгоритма симплекс-метода. [4]

## Литература

1. Николаев Д.П., Постников В.В., Ханипов Т.М., Усилин С.А., Григорьев А.С. Способ автоматической классификации транспортных средств // Патент РФ RU 2486597 С1, заявка 2012105146/11. 2013. 16 с.
2. Антоний Е.В. Численные методы нелинейной оптимизации: алгоритмы и программы. М.: МАИ, 2003. 192 с.
3. Воронцов К.В. Комбинаторный подход к оценке качества обучаемых алгоритмов. М.: Физматлит, 2004. Т. 13. С. 5–36.
4. Таха Х.А. Введение в исследование операций. 7-е изд. М.: Вильямс, 2007. С. 95–141.

УДК 004.855.5

### Способ минимизации затрат на создание обучающего множества для обучения классификатора символов

*Н.В. Решетняк<sup>1</sup>, В.В. Арлазаров<sup>2</sup>, О.А. Славин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> Институт системного анализа РАН  
nikita.reshetnyak@phystech.edu

Центральное место в системах распознавания отсканированных документов занимают классификаторы символов. Результатом работы классификатора символов является набор альтернатив принадлежности образа символа нескольким классам с оценками надежности. Поскольку распознавание документов напрямую зависит от качества распознавания каждого символа, то отдельное внимание следует уделить процессу построения классификатора.

Первым и самым важным этапом построения классификатора служит формирование обучающего множества. Значимость этого этапа обусловлена тем, что качество распознавания символов напрямую зависит от размера и точности разметки обучающего множества. Также стоит отметить, что обучающее множество должно содержать достаточное и разнообразное число образов, иначе не будет достигнута обобщающая способность классификатора [1]. Из всего сказанного возникает вопрос, как создать обучающее множество образов символов, удовлетворяющее указанным свойствам?

Самый распространенный способ получения образов символов – создание специализированных форм [2, 3]. При соблюдении правил заполнения, основным преимуществом рассматриваемого подхода является высокая точность разметки образов. Применение такой схемы при создании обучающего множества внушительных размеров неэффективно в силу больших трудозатрат.

Эффективный способ создания обучающего множества – сохранение образов символов непосредственно из программы распознавания документов [4]. Этот подход не накладывает ограничений на объем полученного множества, но возникает ограничение в виде отсутствия автоматической разметки символов. Полученное таким способом множество символов необходимо верифицировать, то есть построить соответствие изображений и их кодов символов.

Будем автоматически классифицировать образы символов, используя оценку классификатора. Рассмотрим разбиение множества образов символов на две группы:

1. Множество образов с высокой оценкой (больше  $w$ ) классификатора – верификация для этих образов не требуется.

2. Множество образов с низкой оценкой (не больше  $w$ ) и не распознанных образов – необходима разметка каждого образа.

Тогда задача формирования обучающего множества сводится к задаче минимизации множества  $B$ , при ограниченном количестве неверно классифицированных образов множества  $A$  [5].

Нами был проведен эксперимент по извлечению образов символов из паспортов РФ, были получены зависимости размера множества  $B$  (рис. 1) и количество неверно классифицированных образов в множестве  $A$  (рис. 2) от значения  $w$ . Исследования показали, что с ростом значения  $w$  число ошибочно классифицированных образов монотонно убывает. Следовательно, для заданного максимально допустимого числа ошибочно классифицированных образов в множестве  $A$ , найдется такое  $w$ , при котором размер множества неразмеченных образов  $B$  будет существенно меньше размера исходного множества  $A \cup B$ .

Посчитаем, во сколько раз уменьшится время разметки множества образов символов, в котором множество  $A$  содержит менее 0.1% ошибочно размеченных образов. Из рис. 2 определим, что при  $w_0 \geq 200$ , множество  $A$  имеет меньше 0.1% ошибочно размеченных образов. Для заданного значения  $w_0 \geq 200$ , доля множества  $B$  во всем множестве  $A \cup B$  будет больше 0.2 (рис. 1). Откуда следует, что время на создание обучающего множества образов символов может быть уменьшено почти в 5 раз.

Описанный способ позволяет уменьшить число проверяемых образов без существенного ущерба качеству формируемого множества, тем самым уменьшить время создания размеченного множества реальных образов символов.

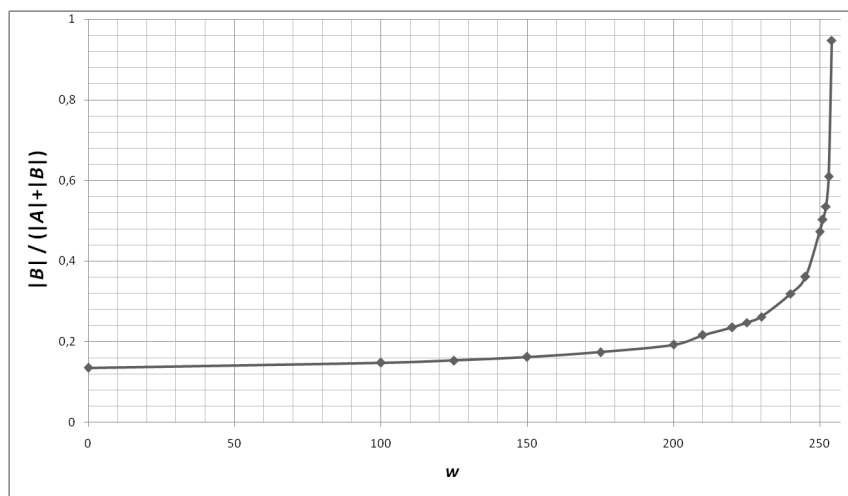


Рис. 1. Доля неразмеченных образов во всем множестве  $A \cup B$  от значения  $w$

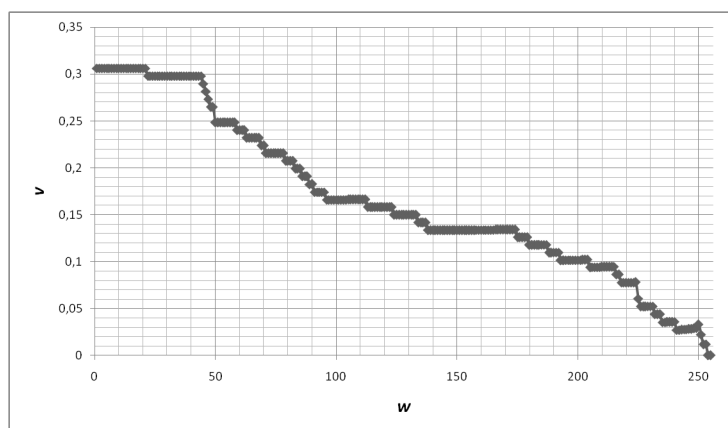


Рис. 2. Зависимость процента ошибочно классифицированных образов в множестве  $A$  от значения  $w$

### Литература

1. Галушка В.В., Фатхи В.А. Формирование обучающей выборки при использовании искусственных нейронных сетей в задачах поиска ошибок баз данных // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2.
2. Alamri H., Sadri J., Suen C.Y., Nobile N. A Novel Comprehensive Database for Arabic Off-Line Handwriting Recognition // Proc. of the 11th Int. Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR'2008). Montreal, Canada. 2008. P. 664–669.
3. Tonghua Su, Tianwen Zhang, Dejun Guan HIT-MW dataset for offline Chinese handwritten text recognition. in 10th IWFHR, La Baule, 2006.
4. Славин О.А. Средства управления базами графических образов символов и их место в системах распознавания // Сборник трудов ИСА РАН «Развитие безбумажных технологий в организациях». М.: Эдиториал УРСС, 1999. С. 277–289.
5. Арлазаров В.В., Решетняк Н.В., Славин О.А. Формирование множества графических образов символов в задачах обучения классификатора символов // Труды ИСА РАН, 2014.

УДК 004.93'1

### Оценка и прогнозирование качества работы систем потокового распознавания в различных условиях эксплуатации с помощью факторных суррогатных моделей

А.А. Епифанова<sup>1</sup>, Д.В. Полевой<sup>2,3,1</sup>, Д.П. Николаев<sup>4,3</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», <sup>2</sup> Институт системного анализа РАН, <sup>3</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>4</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
astast882@mail.ru

Стремительное развитие вычислительных мощностей компьютерной техники и постоянное снижение стоимости полупроводниковых компонент сделало возможным использование во многих сферах систем потокового оптического ввода с использованием цифровых видео и фотокамер. Примерами задач такого рода, для которых достигается промышленное качество, являются оптический ввод печатных документов, «автомобильные помощники» (driving assistant), мониторинг дорожного движения и автоматическая классификация транспортных средств, контроль подвижного состава на железнодорожном транспорте.

Стоит отметить, что большинство задач требует решения в режиме реального времени и, зачастую, на бюджетных вычислительных устройствах, что означает необходимость поиска баланса между высокими скоростными характеристиками и качеством. При этом получение исходных изображений происходит в неконтролируемом или слабо контролируемом окружении, что позволяет говорить об условиях эксплуатации системы потокового ввода. Например, для работающих вне помещений систем имеют место как циклические изменения условий (время дня, время года), так и случайные (природные явления типа дождя, снега или тумана). В то же время для мобильных устройств к условиям эксплуатации можно относить общий уровень освещенности, наличие бликов и/или засветок в связи с наличием источников освещения или использованием вспышки, сложность фона, расфокусированность или «смазывание» изображения по причине движения камеры и/или снимаемого объекта, и т.д.

Таким образом, при рассмотрении вопросов создания или развития систем потокового распознавания одним из ключевых вопросов становится определение и прогнозирование качества работы системы, причем в условиях эксплуатации, которые являются типичными для заказчика.

В рамках данной работы рассматривается процесс создания факторной суррогатной модели [1] существующей системы. Такая модель агрегирует экспертные знания о текущих условиях эксплуатации и соотносит их со статистическими наблюдениями (зависимость качества работы от конкретных реализаций состояний условий эксплуатации). Особое внимание уделяется прогностическим возможностям модели для ситуации, когда текущие условия эксплуатации заведомо не соответствуют прогнозным условиям эксплуатации у заказчика. Для этого рассматривается способ формализации, который позволяет сформулировать систему ограничений на вариативность условий эксплуатации и решить задачу многомерной оптимизации [2] для определения качества работы системы «в худшем случае» для потокового режима.

## Литература

1. *Бурнаев Е.В., Приходько П.В.* Введение в исследование операций. 7-е изд. М.: «Вильямс», 2007. С. 95–141.
2. *Медынский М.М., Антоний Е.В.* Численные методы нелинейной оптимизации: алгоритмы и программы. М.: МАИ, 2003. 192 с.

УДК 519.2

## Критерий и алгоритм кластеризации при обработке изображений

*Е.И. Ершов<sup>1</sup>, Д.П. Николаев<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, <sup>2</sup> Институт системного анализа РАН  
e.i.ershov@gmail.com

При обработке изображений встречается задача разделения двумерной плотности вероятности распределения пикселей на два класса по заданному критерию. Примером такой задачи может послужить метод Оцу бинаризации серых изображений [1], критерием разделения в котором является максимизация межклассовой дисперсии. Для ряда двумерных модификаций метода Оцу критерием разделения выбирают минимизацию следа матрицы межклассовой ковариации. Такой критерий оказывается неверным в случае, когда дисперсия вдоль одной оси для каждого

класса значительно превышает дисперсию вдоль другой оси. Аналогичные проблемы встречаются в задачах цветовой сегментации [2].

Другим важным фактором является способ разбиения области определения двумерной плотности вероятности распределения пикселей  $U$ , обычно область прямоугольная, вследствие чего её разбивают на прямоугольник, вершина которого совпадает с вершиной области определения, и его дополнение до исходного множества, что накладывает ограничение на взаимное расположение подлежащих разделению классов. Обозначим линейные размеры  $U$  области  $m, n$ . Заметим, что  $U$  может быть задано двумерной матрицей.

В данной работе предлагается новый критерий разделения плотности вероятности на два класса, разделение осуществляется прямой, предлагается алгоритм разделения, время работы которого  $O((mn)^2 \ln(mn))$ , где  $m$  – линейный размер множества.

Критерий выбора разбиения на классы – минимизация вторых собственных значений матрицы межклассовой ковариации [1]:

$$\sigma = \omega_1 \cdot \sigma_1 + \omega_2 \cdot \sigma_2,$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – матрицы ковариации каждого из классов,  $\omega_1, \omega_2$  – веса каждого из классов.

Чтобы реализовать вычисление моментов, необходимо осуществить интегрирование по области  $U$ . Вертикальным и горизонтальным интегрированием данной матрицы является матрица  $I = P \cdot U$  для горизонтального интегрирования,  $J = U \cdot P$  для вертикального интегрирования, где  $P$  – нижнетреугольная матрица, все компоненты которой равны единице. Сложность алгоритма интегрирования –  $O(mn)$ .

Алгоритм разделения  $U$  прямой линией предполагает использование преобразования Хафа [3]. Преобразование Хафа позволяет найти сумму вдоль всех прямых на множестве  $U$ . В дискретном случае, имеет место быстрое преобразование Хафа, сокращает работу алгоритма, реализующего это преобразование составляет  $O((mn)^2 \ln(mn))$ .

Следует отметить, что способ разделения прямой продиктован наличием быстрого преобразования Хафа, а также, как следствие, – возможность перебирать по множеству прямых, которые, в отличие от разбиения прямоугольниками, не отнесены ни к какой части  $U$ .

Сумма значений плотности вероятности вдоль горизонтальной прямой на проинтегрированном вертикально множестве представляет собой сумму по полуплоскости в множестве  $U$ , ограниченной снизу данной прямой. Этим методом можно вычислить первые и вторые моменты распределений для любой пары классов, как следствие, – составить для каждого разбиения матрицу межклассовой ковариации.

Последним шагом алгоритма является оптимизация перебором по всем прямым, с целью найти такую прямую, которая доставляет минимальное второе собственное значение межклассовой матрице ковариации  $\sigma$ .

Все необходимые вычисления можно разбить на три этапа:

1. Интегрирование изображения:  $O(mn)$ .
2. Вычисление быстрого преобразования Хафа:  $O((mn)^2 \ln(mn))$ .
3. Нахождение оптимальной разделяющей прямой:  $O(mn)$ .

Следовательно, общая сложность алгоритма составляет  $O((mn)^2 \ln(mn))$ , где  $m, n$  – линейные размеры множества.

Этим методом кластеризации множество  $U$  разделяется на два класса. Такое разделение проводится прямой. Сложность алгоритма составляет  $O((mn)^2 \ln(mn))$ . В работе, кроме того, предложен новый критерий минимизации второго значения матрицы межклассовой ковариации, оптимальный для разделения двух «сильно-вытянутых» в одном из направлений классов.

### Литература

1. *Otsu Nobuyuki* A threshold selection method from gray-level histograms // *Automatica*. 1975. N 11. P. 285–296.
2. *Николаев Д.П.* Алгоритмы цветовой сегментации, применимые в условиях сложного освещения сцены: автореферат дисс... на соискание уч. степ. к.ф.-м.н. М., 2004. 24 с.
3. *Dmitry P. Nikolaev, Simon M. Karpenko, Ilya P. Nikolaev, Petr P. Nikolayev* Hough transform: underestimated tool in the computer vision field // *Proceedings of the 22th European Conference on Modelling and Simulation*. 2008.

УДК 004.932.2

## Автокалибровка дисторсий на фотографиях документов из неизвестных источников

*И.А. Кунина*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
kunina@phystech.edu

В современном мире все большее распространение получают системы обработки изображений и видеопотоков. Однако камеры, рассчитанные на обычного пользователя, часто не полностью исправляют оптические аберрации, при этом использование профессиональной аппаратуры не всегда целесообразно. Одним из наиболее распространённых видов оптических дефектов является геометрическая дисторсия. Исправление дисторсионных искажений резко усложняется, если параметры камеры нам неизвестны.

В работе [1] представлен метод исправления радиальной дисторсии на основе быстрого вычисления полного преобразования Хафа [2] на изображениях, полученных фототехникой с неизвестной низкокачественной оптической подсистемой. Данный метод позволяет исправить дисторсию на основе одного изображения, предполагая, что большинство линий на изображении до искажения были прямыми.

Перед вычислением преобразования Хафа происходит дифференцирование изображения для выделения границ объектов. Для каждого тестового значения параметра дисторсионного искажения выполняется обратное дисторсионное преобразование.

Чтобы избавиться от «размазанных» максимумов, порожденных гнутыми линиями, и оставить только резкие максимумы, которые порождаются именно прямыми линиями, из хаф-образа вычитается он же, но размытый гауссовой сверткой. Выбрав в каждой строке максимум и сложив те значения, которые превышают определенный порог, получаем оценку прямизны для данного значения параметра дисторсионного искажения.

Среди восстановленных с различными параметрами дисторсионного искажения изображений тот параметр, который дал максимальное значение оценки, и будет считаться результатом исправления радиального искажения.



С развитием портативной фототехники типичной становится ситуация, когда бумажные документы не сканируются, а фотографируются. Из-за недостатков оптической подсистемы изображения документов подвергаются различным дефектам. В частности, происходит искривление строк на документе. Так как все современные системы распознавания ориентированы на работу с прямыми строками, становится актуальной задача распрямления деформированных строк снятого документа на этапе предобработки.

Указанный выше метод опробован на ряде изображений текстовых документов. В результате анализа работы алгоритма предложена его модификация для улучшения качества при обработке изображений документов.

Во-первых, были найдены оптимальные параметры алгоритма для случая, когда эталонными объектами являются строки, а не прямолинейные границы.

Во-вторых, модель дисторсионного искажения расширена до трехпараметрической, что позволило расширить номенклатуру допустимых типов объективов.

В-третьих, был изменен критерий оценки прямизны за счет сохранения суммарной яркости линий на изображении при исправлении радиальной дисторсии. Это позволило устранить смещение оценки в сторону более сильных дисторсий, для которых исходный алгоритм давал завышенные значения оценки.

### Литература

1. Николаев Д., Гладиллин С., Карпенко С. Метод восстановления изображений, подверженных радиальной дисторсии // Информационные технологии и системы (ИТиС'08): сборник трудов конференции. 2008. С. 502–505.
2. Nikolaev D., Karpenko S., Nikolayev P. Hough transform: underestimated tool in the computer vision field // Proceedings of the 22th European Conference on Modelling and Simulation. 2008. P. 238–246.

УДК 004.932

### Локализация номерного знака автомобиля на изображении с произвольной точки наблюдения

*Д.С. Сидорчук<sup>1</sup>, Д.П. Николаев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
ds-sidorchuk@yandex.ru

В данной работе рассматривается один из этапов задачи автоматического определения автомобильного номера на изображении [1]. Отличительной чертой нашей постановки данной задачи является отсутствие строгих ограничений на расположение номерного знака на изображении, освещенность и его ориентацию в пространстве. Таким образом, номер должен распознаваться на изображениях, снятых в любое время суток, в любую погоду, с произвольной высоты и под любым углом (при условии что его может различить человек).

Задача автоматического определения номера требует точного нахождения четырехугольника номерного знака. Его поиск на всем изображении может оказаться весьма трудоемкой задачей. В связи с этим кажется разумным сделать первым этапом поиск ROI (Region of Interest – область изображения, содержащая интересующий нас объект, то есть номер). При этом важным условием является то, что

ROI может представлять собой избыточно большую область изображения, но точно должна содержать четырехугольник номера целиком, то есть не может быть «меньше» номера.

Для поиска ROI решено было использовать метод связанных компонент [2]. Суть этого метода заключается в том, что на изображении выделяются компоненты связности, под которыми здесь понимаются связанные подмножества не фоновых пикселей номера. Поскольку область интереса для нас — это фрагмент, содержащий объекты, похожие на буквы и цифры, последовательности компонент связности морфологически проверяются на схожесть со строкой символов. Область изображения, содержащая компоненты связности, в наибольшей степени схожие с цифрами и буквами одного размера, записанными в строчку, считается искомой ROI номерного знака.

Однако для того чтобы стало возможно выделение компонент связности, исходное изображение нужно бинаризовать, то есть разделить все пиксели на два условных класса: «фон» и «символы». Среди существующих методов бинаризации выбор был сделан в пользу алгоритма Ниблэка [3]. Особенность данного алгоритма состоит в том, что в нем используется локальный порог. То есть пороговое значение яркости, которое нужно превзойти пикселю, чтобы быть отнесенным, например, к фону, считается для каждой точки отдельно в зависимости от пикселей её ближайшего окружения.

Преимущество данного метода состоит в том, что локальный порог позволяет отделить символы номера от фона даже в том случае, когда пиксели фона номера значительно темнее, чем большинство остальных пикселей изображения [4]. Такое возможно, например, когда номер на изображении оказался в тени. В этом случае использование методов глобальной бинаризации [5] приведет к тому, что вся область с номером будет отнесена к одному классу, и различить символы будет невозможно.

Данный факт подтверждает проведенный нами эксперимент. Алгоритм Ниблэка удалось настроить таким образом, что из 100 изображений тестовой выборки более чем 80 процентов после бинаризации содержат символы номерных знаков в качестве связанных компонент, непересекающихся между собой и с границей ROI.

## Литература

1. *Martinsky O.* Algorithmic and Mathematical Principles of Automatic Number Plate Recognition Systems, B.Sc.thesis, Department of Intelligent Systems, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology. 2007.
2. *Rosenfeld A., Pfaltz J.* Sequential Operations in Digital Picture Processing // Journal of the ACM, 1966. 13:(4) P. 471–494.
3. *Niblack W.* An Introduction to Digital Image Processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1986. P. 115–116.
4. *Николаев Д.П., Сараев А.А.* Критерии оценки качества в задаче автоматизированной настройки алгоритмов бинаризации // Труды института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН). 2013. Т. 63, вып. 3. С. 85–94.
5. *Otsu N.* A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. 1979. 9. P. 62–66.

УДК 004.932

**Автоматическая калибровка стереопары в дорожных сценах*****В.Е. Прун***<sup>1</sup><sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
vicproon@gmail.com

Использование видеопотока со стереоскопической оптической системы в качестве входных данных для решения задач компьютерного зрения позволяет достигать лучшей точности и робастности в таких задачах, как восстановление сцены, оценка расстояния до объектов, определение собственного движения [1] и др. Однако для эффективного применения стереоскопического зрения оптическая установка нуждается в предварительной калибровке: определению взаимного положения камер стереопары.

Методы решения данной задачи обычно основываются на нахождении достаточного числа соответствующих пар точек на изображениях с обеих камер, а затем восстановлении фундаментальной матрицы стереопары [2]. Таким образом, математически постановка задачи очень близка к задаче определения собственного движения камеры. Основное различие состоит в том, что если в случае определения собственного движения фундаментальная матрица быстро меняется с течением времени, то в случае калибровки стереопары матрица остается почти постоянной.

Стандартный подход к калибровке заключается в съемке специального калибровочного паттерна заранее известной геометрии [3, 4] (например, изображение «шахматной доски»). Такой подход требует физического вмешательства в процесс калибровки, что может быть неудобно в ряде приложений. Например, в случае, когда стереопара установлена на движущемся транспортном средстве и положение камер изменяется в процессе эксплуатации (из-за дрожаний и несовершенности креплений), необходимо проведение процесса калибровки «на ходу».

Основной идеей предлагаемого метода является использование постоянности взаимного расположения камер стереопары во времени. С учетом этого факта, восстановление относительного положения камер стереопары можно производить по парам точек, взятых в разный момент времени. Это позволяет, после аккумулярования заведомо правильных пар скорреспондированных точек, калибровать стереопару по большому и качественному набору точек.

Данный подход был реализован на языке C++ с использованием инструментария, предоставляемого OpenCV, и исследован на реальных данных. В качестве детектора особых точек использовались SIFT, SURF с пороговым отсечением по расстоянию между дескрипторами. Для восстановления фундаментальной матрицы был использован алгоритм восьми точек [5], вместе с методом наименьших квадратов или RANSAC [6], для обеспечения робастности.

**Литература**

1. *Comport A.I., Malis E., Rives P.* Accurate Quadrifocal Tracking for Robust 3D Visual Odometry. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2007. P. 40–45.
2. *Hartley R., Zisserman A.* Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, 2004. 237 p.
3. *Hartley R.I.* Theory and Practice of Projective Rectification // International Journal of Computer Vision. 1999. V. 35, N 2. P. 115–127.

4. OpenCV Calibration Tutorial ([http://docs.opencv.org/doc/tutorials/calib3d/camera\\_calibration/camera\\_calibration.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/calib3d/camera_calibration/camera_calibration.html))
5. *Hartley R.I.* In defense of the eight-point algorithm // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. V. 19, N 6. P. 580–593.

УДК 004.932.72'1

## **Сравнение качества работы алгоритмов обнаружения документа на изображениях, полученных с мобильных камер**

*А.Е. Жуковский<sup>1</sup>, Ю.А. Шемякина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
zhukovsky@phystech.edu

Одной из актуальных задач современного времени является перенос распознающих систем на мобильные устройства. Это требует расширения применения задачи распознавания из 2-мерного пространства (изображение, полученное со сканера) на 3-мерную проекцию 4-мерного пространства (видеопоследовательность, полученная из реального мира). Подобное расширение предоставляет возможность повсеместного использования и увеличивает скорость получения электронного документа. Сложность задачи распознавания изображения, полученного с мобильной камеры, обеспечивают проективная природа получения изображения, вариации освещения и расположения [1].

Задача обнаружения объектов широко распространена в современное время, однако она слишком обще поставлена, и от решения требуется малая точность позиционирования объекта (обрамляющий прямоугольник) [2]. В случае же, когда тип объекта заранее определен – псевдоригидный прямоугольный документ, – становится возможным определить решение задачи более точным геометрическим образом: для детектирования объекта необходимо построить четырехугольник (или многоугольник в более общем смысле), максимально точно приближающий границы документа. Данная постановка позволяет не только указать, что объект присутствует в определенном месте сцены, но также и использовать результаты для дальнейшего распознавания. Однако, не смотря на простоту постановки задачи и очевидные применения, ей уделяется слабое внимание в научных кругах.

В данной работе представлен стенд изображений документов, полученных с камеры, (Camera-Based Documents Dataset, CBDD) для сравнения качества обнаружения документов. Стенд состоит из фотографий всевозможных документов, снятых с разных ракурсов и на разном фоне. К каждому изображению для удобства автоматической проверки алгоритмов приложены аннотации, содержащие точки углов документа. Кроме этого, на стенде замерено качество нахождения четырехугольника документа iOS приложениями, реализующих возможности детектирования границ документа, цветовой обработки, распознавания и архивирования документов (рис. 1).



Рис. 1. Сравнение качества обнаружения документов мобильными приложениями

## Литература

1. Арлазаров В.В., Жуковский А.Е., Кривцов В.Е., Николаев Д.П., Полевой Д.В. Анализ особенностей использования стационарных и мобильных малоразмерных цифровых видеокамер для распознавания документов // Информационные технологии и системы. 2014. Т. 3.
2. Everingham M., Eslami S.M.A., Van Gool L., Williams C.K.I., Winn J., Zisserman A. The PASCAL Visual Object Classes Challenge – a Retrospective // International Journal of Computer Vision. 2014.

УДК 004.932.72'1

## Локализация образа банковской карты на изображении, полученном с мобильной камеры

*А.Е. Жуковский*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
zhukovsky@phystech.edu

В работе рассмотрен частный случай задачи локализации документа на фотографии, полученной с мобильного устройства, на примере локализации и распознавания банковской карты. Решение задачи локализации документа позволит использовать в качестве источника получения документа не только стационарные сканеры, но и более распространенные малоразмерные камеры, которыми оборудовано большинство современных ноутбуков и смартфонов. Также это позволит кардинально увеличить скорость получения электронного документа. Рассмотренный случай распознавания банковской карты на мобильном устройстве также имеет непосредственное применение в системах онлайн-платежей.

Предлагаемый алгоритм к локализации документа на изображении состоит из 2-х частей: выделение отрезков на изображении и составление из них четырехугольника, удовлетворяющего заданным условиям. Выделение отрезков производится при помощи преобразования Хафа и непосредственному поиску прямолинейных компонент связности на черно-белой карте границ. Каждому отрезку ставится в соответствие вес  $s_i$ , равный количеству пикселей, составляющих его. Точкам пересечения преимущественно горизонтальных и преимущественно вертикальных прямых,

содержащих отрезки, соотносится угол четырехугольника, которому они могут соответствовать. Также им в соответствие ставится штраф  $p_{ij}$ , равный расстоянию между ближайшими концами отрезков, принадлежащих пересекающимся прямым.

Далее по множеству отрезков и их точек пересечения строится четырехдольный направленный граф: вершинами каждой доли являются точки пересечения отрезков, соответствующие определенному углу, а ребрами – отрезки, соединяющие данные вершины. Таким образом, циклу в графе будет соответствовать четырехугольник на изображении. Каждому четырехугольнику поставим в соответствие вес  $q_i = \sum_{i=1}^4 p_i - \sum_{j=1}^4 s_j$ , который будем максимизировать при поиске.

Кроме этого, из условия задачи известно, что четырехугольник в исходном пространстве является прямоугольником с известным отношением сторон. Рассмотрим центрально-симметричную модель построения изображения [2]: четырехгранный угол с вершиной  $O$  в центре линзы и сечением  $ABCD$ , образованным плоскостью изображения и пересекающим направляющие в углах найденного четырехугольника. Легко доказать, что любой четырехгранный угол имеет только одно сечение  $A'B'C'D'$ , имеющее вид параллелограмма (с точностью до параллельного переноса) [2]. Точки одного из сечений (при  $\overrightarrow{OD'} = \overrightarrow{OD}$ ) можно вычислить следующим образом:

$$\overrightarrow{OA'} = \overrightarrow{OA} \cdot (\vec{b} \wedge \vec{c} + \vec{b} \wedge \vec{d} + \vec{c} \wedge \vec{d}) / k,$$

$$\overrightarrow{OB'} = \overrightarrow{OB} \cdot (\vec{d} \wedge \vec{c} - \vec{d} \wedge \vec{d} + \vec{c} \wedge \vec{d}) / k,$$

$$\overrightarrow{OC'} = \overrightarrow{OC} \cdot (\vec{d} \wedge \vec{b} - \vec{d} \wedge \vec{d} + \vec{b} \wedge \vec{d}) / k,$$

$$k = \vec{d} \wedge \vec{b} - \vec{d} \wedge \vec{c} + \vec{b} \wedge \vec{c},$$

где  $\wedge$  – операция косога произведения векторов;  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  – двумерные векторы  $\overrightarrow{O'A}, \overrightarrow{O'B}, \overrightarrow{O'C}, \overrightarrow{O'D}$  в плоскости изображения;  $O'$  – проекция  $O$  на плоскость изображения. Ограничение интервалов углов и отношений сторон полученных параллелограммов позволяет убрать из рассмотрения четырехугольники, не удовлетворяющие данному условию.

В ходе эксперимента использовался стенд из 1500 фотографий банковских карт. Оценивалось 8 лучших четырехугольников на изображении, которые передавались на распознавание. В результате качество нахождения четырехугольника составило 95.67%, качество распознавания номера карты – 95.4%.

## Литература

1. Арлазаров В.В., Жуковский А.Е., Кривцов В.Е., Николаев Д.П., Полевой Д.В. Анализ особенностей использования стационарных и мобильных малоразмерных цифровых видеокамер для распознавания документов // Информационные технологии и системы. 2014. № 3.
2. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. New York: Cambridge University Press, 2004.
3. Шахно К.У. Сборник задач по элементарной математике повышенной трудности. М.: Рипол Классик, 2013.

УДК 004.932.4

## Использование транспонирования при ускорении алгоритмов обработки изображений на SIMD архитектурах

*Е.Е. Лимонова*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

`elena.e.limonova@gmail.com`

В современном мире всё большее распространение получают технологии обработки изображений. При этом развитие технологий не только позволяет находить для них новое применение, но и усложняет задачи, повышая требования к производительности и скорости работы. В докладе рассмотрен метод ускорения, подходящий для ряда функций низкоуровневой обработки изображений.

Говоря о компьютеризированных процессах обработки изображений, можно выделить три уровня: низкий, средний и высокий, – переход между которыми характеризуется усложнением операций, проводимых над изображением. Низкий уровень – это изменение качества изображения, средний – разделение на области и выделение объектов, а высокий – анализ изображений [1].

Для ускорения алгоритмов низкого уровня можно использовать категорию параллельного оборудования SIMD, оперирующую вектором данных, над элементами которого выполняется одна и та же операция. Для эффективного распараллеливания с помощью SIMD в программе должно быть большое количество одинаковых структур данных [2]. Исходя из этого, SIMD-системы подходят для алгоритмов обработки изображений, которые работают с отдельными пикселями.

SIMD позволяет распараллелить многие операции со строками изображения. Также в этом случае эффективно используется кэш. Однако этот метод не работает при операциях со столбцами изображения. Если алгоритм предполагает работу со столбцами, то можно транспонировать изображение, выполнить необходимые преобразования, ускоренные с помощью SIMD, и транспонировать полученное изображение обратно. Оказывается, что с использованием алгоритмов быстрого транспонирования этот метод позволяет повысить производительность программ.

Схему ускорения с транспонированием можно применить к ряду алгоритмов низкоуровневой обработки изображений, в частности к сепарабельным фильтрам. Фильтр называется сепарабельным, если он может быть представлен как композиция двух простых фильтров, один из которых применяется к строкам изображения, а другой – к столбцам. Тогда можно ускорить применение фильтра к столбцам, транспонировав изображение и применив SIMD. Важным примером сепарабельного фильтра является фильтр Гаусса.

Алгоритм быстрого транспонирования для матрицы размера  $4 \times 4$  с помощью SIMD представлен на рис. 1. Он выполняет в 4 раза меньше операций доступа к памяти, чем обычное транспонирование. Это происходит за счет того, что одна строка матрицы помещается в вектор данных SIMD. Аналогично можно транспонировать матрицы размером  $8 \times 8$  и  $16 \times 16$ , выполняя в 5 и в 8 раз меньше операций записи и чтения из памяти соответственно.

Если матрица имеет размер  $M \times M$ , где  $M = 2^k$ , то ее можно разбить на 4 блока (рис. 2) и свести задачу к транспонированию четырех матриц меньшего размера:  $2^{k-1} \times 2^{k-1}$ .

Проведен эксперимент, показавший, что с SIMD и транспонированием скорость работы гауссовского фильтра увеличилась в 1.8 раза. С применением SIMD, но без транспонирования скорость работы увеличилась в 1.4 раза. Отдельно был протестирован

стирован алгоритм быстрого транспонирования с использованием SIMD. Для него скорость увеличилась в 1.6 раза, по сравнению с прямой реализацией транспонирования.

Таким образом, предложенный метод действительно позволяет ускорить ряд часто используемых алгоритмов обработки изображений.

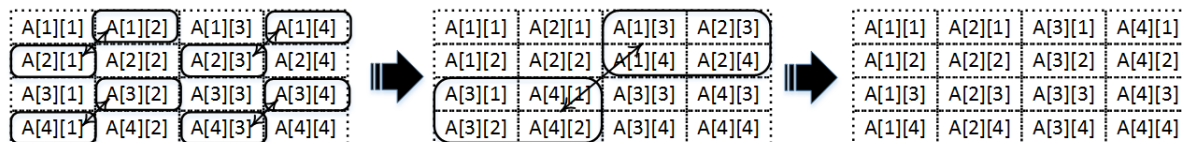


Рис. 1. Алгоритм быстрого транспонирования матрицы  $4 \times 4$

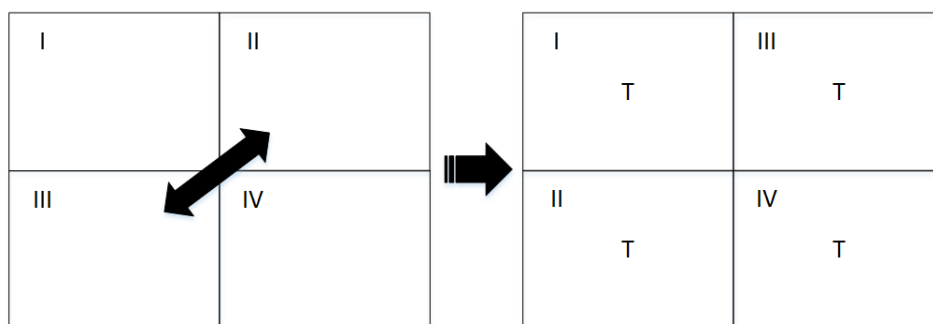


Рис. 2. Транспонирование матрицы размера  $M \times M$ ,  $M = 2^k$

### Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Паттерсон Д., Хеннесси Дж. Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем. Классика Computer Science. 4-е изд. Спб.: Питер, 2012. 784 с.

УДК 007.52

## Моделирование работы системы коллективного беспилотного наземного патрулирования и разведки в условиях неидеальной связи

*Е.С. Пономарев<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, <sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
evgps@ya.ru

Автоматическое патрулирование местности может найти широкое применение в проведении спасательных работ, охраны территорий, разведке труднодоступных или опасных для человека мест. Для решения этих задач может применяться система коллективного беспилотного наземного патрулирования и разведки наземных объектов с помощью нескольких БНТС. БНТС – беспилотное наземное транспортное средство с установленными на борту системами управления, самостоятельно принимающее решения.



Эффективность алгоритма патрулирования определяется наибольшим по всем точкам карты значением т.н. «тумана войны» – величины времени, прошедшего с последнего наблюдения за точкой территории патрулирования каким-либо из роботов. Исследование эффективности использования такой метрики для оценки алгоритмов патрулирования можно найти в статье [1].

В процессе своей работы БНТС обмениваются пакетами с различной информацией (координаты роботов, обнаруженные препятствия и др.) посредством радиосвязи. На основании принятой и полученной самостоятельно информации о состоянии мира каждый робот самостоятельно определяет свое поведение. В беспроводном канале неизбежно будут происходить искажения и потери пакетов, которые могут сделать невозможной связь между отдельными роботами. Тогда система может распасться на несколько изолированных множеств и слаженность выполнения задачи всем коллективом БНТС может нарушиться. Целью работы было моделирование функционирования системы БНТС в условиях непостоянной связи и доработка алгоритмов синхронизации роботов.

В работе была введена качественная модель неидеального канала связи. Пакет в данной модели считается полученным приемником В от передатчика А без искажений с вероятностью  $1 - p_e$  или полностью утраченным с вероятностью  $p_e$ . Вероятность  $p_e = p_e(\rho)$  зависит от «эффективного расстояния»  $\rho = r_{св} + \beta \cdot r_{пр}$ , где  $r_{св}$  – длина части отрезка между А и В, проходящей через свободное пространство,  $r_{пр}$  – длина части отрезка, проходящей через препятствие,  $\beta$  – коэффициент штрафа. Препятствия неразличимы. Важнейшим случаем является полная потеря связи на больших расстояниях и хорошая связь на малых, т.е. при  $\rho > \rho_{крит} \rightarrow P_e = 1; \rho \leq \rho_{крит} \rightarrow P_e = 0$ , что и было рассмотрено.

При такой постановке задачи, для обеспечения слаженной работы системы БНТС, вводится протокол приема, передачи и корректировки роботами своих координат и карт со значениями «тумана войны», основанный на следующих принципах.

Каждый БНТС на каждом шаге принимает все дошедшие до него пакеты и безадресно отправляет свои координаты, координаты известных ему других БНТС, полученные на предыдущем шаге. Попутно по всем известным координатам вычисляются изменения «тумана войны». Сохраняется история сообщений на несколько шагов, и когда принимается пакет от робота, информации о котором нет в этой истории, робот рассылает свою карту «тумана войны» безадресно. При приеме карты с чужим значением «тумана войны» робот актуализирует её и объединяет со своей. Таким образом, достигается получение роботом информации о состоянии отдаленных участков карты и улучшается оповещенность всей системы в целом.

Моделирование показало, что при такой организации взаимодействия БНТС друг с другом система даже при непостоянной связи между элементами способна эффективно и, что самое главное, слаженно выполнять поставленные задачи. Приведем результаты экспериментов по моделированию патрулирования заданной территории системой БНТС в трёх случаях – с постоянной связью между элементами, с разрывной связью и использованием протокола пересылки карт и с разрывной связью без использования этого протокола. Длительность эксперимента – 500 шагов модельного времени, начальное значение «тумана войны» 80 шагов, средние за эксперимент максимальные значения «тумана войны» соответственно: 167; 169; 185.

### Литература

1. Rocha D.P., Rocha R.P. Multi-robot patrolling algorithms: examining performance and scalability // *Advanced Robotics*. 2013. N 27.5. P. 325–336.

УДК 004.932.2

## Использование алгоритмов прослеживания объектов при генерации обучающей выборки изображений в видеопотоке

*М.А. Поволоцкий*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
povolotskymih@gmail.com

Существует множество прикладных задач, не решаемых известными алгоритмами по причине сложности построения модели на основе имеющейся информации. Такие задачи обычно решаются методами машинного обучения [1]. Необходимым условием их работы является наличие набора данных, для которых решение известно, т.е. обучающей выборки. Генерация этой выборки сама по себе может быть нетривиальной проблемой, зачастую требующей длительной ручной работы.

Рассмотрим следующий пример. На платных автомобильных дорогах стоимость проезда зависит от класса транспортного средства, который определяется числом колесных осей. Для автоматизации сбора оплаты нужно решить задачу распознавания колес на кадрах видеопотока, поступающего с камеры, которая стоит на дороге. Принцип обучения является основным в задачах распознавания [2], поэтому естественно применить его для поиска колес. В качестве обучающей выборки в данном случае должна выступать обширная база изображений, на которых колеса уже размечены. Для создания такой базы человек-разметчик должен вручную обвести интересующие объекты на большом числе изображений в рамки правильных размеров. Очевидно, что такая работа может занимать длительное время. Таким образом, возникает задача ускорения процесса разметки.

Отметим, что последовательный набор кадров видеопотока существенно отличается по некоторым характеристикам от произвольного набора изображений. В частности, наличие объекта на одном кадре практически гарантирует его присутствие на следующем. Более того, положение и размер объекта изменятся незначительно. Это означает, что разметку можно упростить с помощью алгоритмов прослеживания. Организовать работу можно следующим образом:

1. Разметчик выделяет объекты на первом кадре и запускает алгоритм.
2. Алгоритм находит объекты на следующем кадре и демонстрирует результат разметчику.
3. Если разметчик не удовлетворен результатом, то он корректирует разметку.
4. Разметчик снова запускает алгоритм и т.д.

Постановка задачи не предъявляет серьезных требований к алгоритму: он не используется в реальном времени и не обязан давать идеальные результаты, так как разметчик всегда может произвести корректировку. Для получения удовлетворительных результатов можно воспользоваться методом, в котором положение объекта на следующем кадре определяется с помощью нормализованной кросс-корреляции с шаблоном [3], где в качестве шаблона используется объект, взятый с текущего кадра, причем его масштаб перебирается в небольшом диапазоне, чтобы учесть возможное изменение размера объекта.

Эффективность можно увеличить, применяя более продвинутые алгоритмы, например, фильтр Калмана [4]. В качестве состояния объекта берутся его координаты, размер, а также изменения этих параметров («скорости»). Фильтр Калмана дает информацию о положении и размере объекта на следующем кадре в виде гауссового распределения. В каждой точке фазового пространства состояний плотность этого распределения умножается на значение нормализованной кросс-корреляции.

Для полученной функции находится состояние, где она принимает максимальное значение, и демонстрируется разметчику в виде рамки соответствующими характеристиками. Разметчик исправляет положение рамки, если результат его не устраивает, формируя вектор наблюдения, необходимый для этапа коррекции фильтра Калмана.

Был проведен эксперимент, в котором эксперту-разметчику предложили разметить один и тот же набор кадров с использованием алгоритма и без. При этом отмечалось время выполнения разметки. В результате, 51 объект на 37 кадрах в случае выключенного алгоритма прослеживания был размечен за 5 минут, в сравнении с 1 минутой 20 секундами в случае включенного алгоритма.

Эксперимент показал, что производительность труда разметчика значительно возросла даже с использованием довольно простого алгоритма прослеживания.

### Литература

1. *Вьюгин В.В.* Элементы математической теории машинного обучения: учебное пособие. М.: МФТИ: ИППИ РАН, 2010. 231 с.
2. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
3. *Briechle K., Hanebeck U.* Template matching using fast normalized cross correlation // Proceedings of SPIE, Optical Pattern Recognition XII. 2000. V. 4387. 95 p.
4. *Kalman R.* A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems Transactions of the ASME // Journal of Basic Engineering. 1960. V. 82. P. 35–45.

УДК 004.932

### Распознавание световых сигналов впереди идущего транспортного средства

*Д.Г. Хамматова<sup>1</sup>, В.В. Постников<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
ligferla@rambler.ru

Автономное движение в автомобильной колонне – одна из компонент систем помощи водителю. В работе рассматривается задача следования автомобиля с автоматическим управлением в колонне (например, движение в пробке). Для автоматического управления необходимо распознавать дорожную сцену и движущиеся объекты, поэтому в качестве источника входной информации используется монокулярная камера, жестко закрепленная в районе лобового стекла автомобиля.

Требуется по ходу движения корректировать положение автомобиля без водителя относительно транспортного средства, едущего впереди: выявлять его возможное ускорение или замедление для предупреждения столкновения или потери из виду, а также, при отклонении от курса впереди идущего автомобиля, смещаться на определенный угол для выравнивания курса.

**Целью работы** является построение алгоритма корректировки дистанции скорости и угла смещения.

#### Обзор существующих методов

Как в дневное время суток, так и ночью участники дорожного движения хорошо заметны благодаря габаритным огням и стоп-сигналам. На изображении данные сигналы выглядят как светлые регионы, поэтому разумно начинать выделять их, используя некоторый порог, а затем пиксели светлых регионов группировать в

кластеры. Для кластеров вычисляются такие характеристики, как расположение, площадь, форма.

Дальнейшая фильтрация включает в себя отброс всего, что не является габаритными огнями и стоп-сигналами, а именно: уличных фонарей, фар встречных автомобилей, отражений. Цветовая фильтрация также позволяет избавиться от неподходящих детекций. Для выделения красных участков на изображении можно использовать множество цветовых пространств с различными параметрами (RGB [1],  $L^*a^*b$ , YCbCr и др.). Надо заметить, что анализ только красного канала в RGB не эффективен при пороговом разделении, поскольку яркие, но не красные области могут иметь значительную красную компоненту.

Для объединения задних габаритных огней в пары в [2] предлагается применять сравнение по горизонтальным и вертикальным координатам среди «кандидатов» в пару в комбинации с поиском номерного знака. Другой способ объединения в пары – корреляция: огни одного и то же автомобиля имеют высокую корреляцию, поскольку размер, форма и значения яркости примерно похожи.

#### **Основные этапы решения задачи включают**

Выделение ярких и красных фрагментов изображения, среди которых могут присутствовать стоп-сигналы и габаритные огни.

Анализ взаимного расположения и траекторий выделенных фрагментов изображения с учетом геометрических и кинематических ограничений.

### **Литература**

1. *Bin Tian, Ye Li, Bo Li, Ding Wen.* Rear-View Vehicle Detection and Tracking by Combining Multiple Parts for Complex Urban Surveillance // *Intelligent Transportation Systems.* 2014. P. 597–606.
2. *Alt N., Claus C., Stechele W.* Design Hardware/software architecture of an algorithm for vision-based real-time vehicle detection in dark environments // *Automation and Test in Europe.* 2008. P. 176–181.

УДК 514.144

### **Использование принципа двойственности для обобщения схемы RANSAC для сопоставления прямых**

***Ю.А. Шемякина<sup>1</sup>, А.Е. Жуковский<sup>1</sup>, Д.П. Николаев<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
jshemiakina@gmail.com

В настоящее время задача сопоставления двух изображений встречается достаточно часто, например, при локализации на изображении объекта, расположенного в произвольной части сцены и снятого с произвольного ракурса. Одним из распространенных методов решения подобной задачи является нахождение на двух изображениях локальных особенностей, их сопоставление и построение проективной модели, наилучшим образом (при заданной метрике) приближающей имеющиеся данные. Однако в некоторых случаях на изображении удобнее выделять не локальные особенности, а прямые. Тогда задачу можно описать следующим образом: по двум наборам прямых, выделенным на изображениях, необходимо получить наилучшую (при заданной метрике) проективную модель, связывающую эти изображения.

Задача определения проективного базиса может быть разрешена исходя из знания корреспонденции 4-х точек решением системы из 8-ми линейных уравнений. При

наличии прямых, проективный базис может быть определен по точкам пересечения прямых. Однако, исходя из принципа двойственности, возможно также определить проективный базис в пространстве прямых и связать его с исходным проективным базисом.

Пусть  $p = (x \ y \ 1)^T$  – некоторая точка изображения,  $H_p$  – матрица искомого проективного преобразования и  $p' = (x' \ y' \ 1)^T = H_p p$  – образ точки  $p$  на преобразованном изображении. Также представим прямую  $ax + by + c = 0$  как точку  $l = (a \ b \ c)^T$  в двойственном пространстве. Исходя из линейности преобразования линий в точки [1], существует проективное преобразование  $H_l$ , связывающее прямую  $l$  и ее образ  $l' = H_l l$ .

Пусть точка  $p$  принадлежит прямой  $l$ :  $l^T p = 0$ ; тогда  $p'$  принадлежит прямой  $l'$ :  $l'^T p' = 0$ . Так как  $l' = H_l l$  и  $p' = H_p p$ , получаем

$$(H_l l)^T (H_p p) = 0,$$

$$l^T (H_l^T H_p) p = 0.$$

Таким образом, точка  $(H_l^T H_p) p$  принадлежит прямой  $l$ . Поскольку пересечение двух прямых  $p = l_1 \cap l_2$  является инвариантом проективного преобразования [2], то  $p' = l'_1 \cap l'_2$ . Следовательно,  $(H_l^T H_p) p = l_1 \cap l_2$  и  $H_l^T H_p = E$ . Таким образом, проективный базис в исходном пространстве может быть представлен как

$$H_p = (H_l^{-1})^T.$$

В реальных задачах зачастую необходимо использовать более четырех линий, то есть система для построения проективной модели может быть переопределена. Кроме того, данные могут содержать неверно найденные линии. В таком случае для построения модели будем использовать метод RANSAC [3]. Метод заключается в последовательном случайном выборе поднабора данных, достаточного для вычисления параметров модели, и проверке данных на согласованность с ней. В результате выбирается модель, в рамки которой укладывается наибольшее количество элементов набора. Для вычисления проективного преобразования по наборам прямых можно при помощи RANSAC найти проективное преобразование в пространстве прямых и с помощью (1) вычислить параметры исходной модели.

Таким образом, представленный алгоритм поиска проективного преобразования по наборам прямых позволяет сократить количество точек, по которым строится модель в классической схеме RANSAC с  $n!$  (в случае перебора по точкам пересечений) до  $n$  (где  $n$  – количество прямых).

## Литература

1. *Bhattacharya P., Rosenfeld A., Weiss I.* Point-to-line mappings as Hough transforms // *Pattern Recognition Letters*. 2002. V. 23. P. 1705–1710.
2. *Hartley R., Zisserman A.* Multiple View Geometry in Computer Vision. New York: Cambridge University Press, 2004. 655 с.
3. *Fischler M.A., Bolles R.C.* Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // *Commun. ACM*. 1981. V. 24, № 6. P. 381–395.

УДК 004.932.2

**Комбинированный метод детекции транспортных средств в системе автоматической классификации***Д.А. Бочаров*<sup>1,2</sup>, *И.А. Коптелов*<sup>2</sup>, *Д.П. Николаев*<sup>3,1,2</sup><sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> ООО «Визиллект Сервис», <sup>3</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

bocharov.mitry@gmail.com

В большинстве интеллектуальных транспортных систем на основе технического зрения одной из первых задач является детекция транспортных средств (ТС), которая заключается в определении моментов въезда и выезда ТС из контролируемой зоны. Решению этой задачи посвящена данная работа.

Условиями поставленной задачи являются следующие положения: ТС движутся строго последовательно, т.е. новый проезд не может начаться, если предыдущий проезд не завершен; на изображении ТС движется вдоль горизонтальной оси. Также существуют практические проблемы, усложняющие решение поставленной задачи: допустимо изменение естественного освещения (погодные условия, время суток и года); ТС может совершать проезд как в прямом, так и в обратном направлении; на изображении могут присутствовать ТС с соседних полос.

Работа [1] содержит обзор технологий детекции, а именно: детекторов на основе индукционных петель, пьезоэлектроники, фото-видеоданных, магнитных, инфракрасных сенсоров. В работах [2, 3] приведены алгоритмические решения задачи детекции движущихся ТС методами обработки изображений.

В данной работе предложены и исследованы следующие детекторы ТС: корреляционный детектор, индукционная петля присутствия ТС и контроллер щита. Корреляционный детектор основан на предположении, что в случае отсутствия ТС значения интенсивностей пикселей в окрестности контрольной границы на изображении могут изменяться только линейно или аффинно (изменение условий освещенности сцены, тени). Контроллер щита анализирует изображение объекта (щита), расположенного напротив камеры и применяется для вычисления общей высоты ТС или высоты над первой колесной осью. Положение щита на изображении (координаты вершин четырехугольника) известно. На изображении при проезде ТС наблюдается частичное (или полное, в зависимости от высоты ТС) заслонение щита, т.о., определив факт заслонения щита, можно утверждать о наличии ТС. Срабатывания индукционных петель также свидетельствуют о наличии ТС. Однако особенности технических характеристик петель не всегда позволяют обнаружить ТС малой массы (мотоциклы).

В результате экспериментальных исследований показано, что ошибки детекторов различны, соответственно качество детекции можно повысить, используя комбинацию их сигналов. Пусть  $L_t$ ,  $C_t$ ,  $S_t$  – функции состояний индукционной петли, корреляционного детектора и контроллера щита от времени соответственно. Тогда оценка функции состояния проезда  $f_{pass}(t)$  в момент времени  $t$  определяется в соответствии с выражением

$$f_{pass}(t) = \begin{cases} 1, & (L_t \& C_t) \vee (L_t \& S_t) \vee (S_t \& C_t) = 1, \\ 0, & (\bar{L}_t \& \bar{C}_t) \vee (\bar{L}_t \& \bar{S}_t) \vee (\bar{S}_t \& \bar{C}_t) = 1. \end{cases}$$

По причине того, что детекторы разнесены в пространстве, их сигналы не согласованы и не идеально соответствуют проезду, для предотвращения возможных ошибок введены дополнительные экспертные правила. Данные правила основаны

на информации, полученной в результате анализа работы подсистемы детекции проездов. Как только набрана достаточная выборка проездов, возможно оценить статистики следующих величин: длительность проезда, временная задержка между проездами, задержка между кузовом ТС и прицепом и т.д. Данные правила становятся необходимыми при особо сложных условиях, например, при плотном потоке ТС, проезде ТС с прицепами и применяются для предотвращения ошибок «разрыва» и «склейки» проездов. Значение задержки должно быть достаточно маленьким, чтобы избежать «склейки» двух проездов в случае плотного потока, и достаточно большим, чтобы не разделять один проезд.

В работе рассмотрена задача детекции проездов ТС. Проведено исследование предложенных детекторов на репрезентативной выборке из более чем трех тысяч проездов ТС при различных погодных условиях и условиях освещения. В результате экспериментальных исследований вычислены значения общего качества детекции для корреляционного детектора, контроллера щита, индукционных петель и комбинированного метода и составляют соответственно 94,34%; 63,26%; 97,90%; 98,69%.

### Литература

1. *Mimbela L.E.Y., Klein L.A.A.* Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies Used in Intelligent Transportation Systems: Tech. rep. // The Vehicle Detector Clearinghouse, 2000.
2. *Saad M. Al-Garni, Adel A. Abdennour* Moving Vehicles Detection using Automatic Background Extraction // World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008.
3. *Jie Zhou, Dashan Gao, David Zhang* Moving Vehicles Detection for Automatic Traffic Monitoring // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2007. V. 56. N 1.

УДК 519.688

### Предсказание вредоносности документов для системы информационного поиска

*В.А. Малых<sup>1</sup>, И.В. Судос<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт системного анализа РАН, <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

valentin.malykh@phystech.edu

Современные поисковые системы содержат в себе защиту от вредоносных документов, содержащих вредоносное ПО, спам или противозаконное содержимое. Для достижения этой цели поисковые системы должны выносить суждение о вредоносности документа, основываясь на каких-то его характеристиках. Как правило, документ анализируется с помощью алгоритма, обнаруживающего вредоносное ПО, или содержимое документа анализируется на предмет легальности. Однако используемые средства никогда не являются абсолютно точными, и, как следствие, многие опасные документы могут быть пропущены. Другая проблема состоит в том, что документы меняются динамически, и потенциально опасные документы не могут быть найдены. Для преодоления описанных проблем было предложено несколько графовых алгоритмов, которые предсказывают вредоносность исходя из топологии сети. В этой работе предлагается графовый алгоритм, который, используя связь между документами и хостами, позволяет делать более достоверные предсказания о вредоносности документов.

### Алгоритм

Алгоритм состоит из двух этапов. На первом этапе производится обход документов по ссылкам из текущего документа. Выбираются  $l_{\text{avg}}$  и  $l_{\text{max}}$  – среднее и максимальное значения вредоносности среди документов по ссылкам:

$$m'_d = l_{\text{avg}} \cdot m_d + (1 - l_{\text{avg}}) \cdot l_{\text{max}}.$$

На втором этапе производится обход документов одного хоста, то есть соседних для текущего в смысле хоста. Выбираются  $n_{\text{avg}}$  и  $n_{\text{max}}$  – среднее и максимальное значения вредоносности среди соседних документов:

$$m''_d = (1 - n_{\text{avg}}^2) \cdot m'_d + n_{\text{avg}}^2 \cdot n_{\text{max}}.$$

### Эксперимент

Для экспериментов было использовано множество документов из российского сегмента Интернета размером 294 миллиона единиц. В качестве затравки было использовано множество из 0,88 миллиона единиц известно вредоносных документов, которое было выбрано из документов, принадлежащих к хостам, содержащим порнографию. Было произведено 5 итераций прохода алгоритма по коллекции документов. Для ускорения сходимости считалось, что значения вредоносности ниже 0,05 являются нулевыми.

Результаты замеров качества представлены на рис. 1.

Было произведено сравнение с алгоритмом PageRank, описанным в [1]. Результаты сравнения представлены на рис. 2. разбиение документов по сегментам значений PageRank. Первый сегмент содержит значения 0 и  $-1$ , этот сегмент содержит 97% всех документов, он был исключен из представления на рисунке, т.к. все вредоносные документы составляют меньше 1% от числа входящих в него документов. Остальные документы поделены по 5% величины значения PageRank и сильно отличаются по размерам – от 4 миллионов документов в первом до 268 в 20-м сегменте.

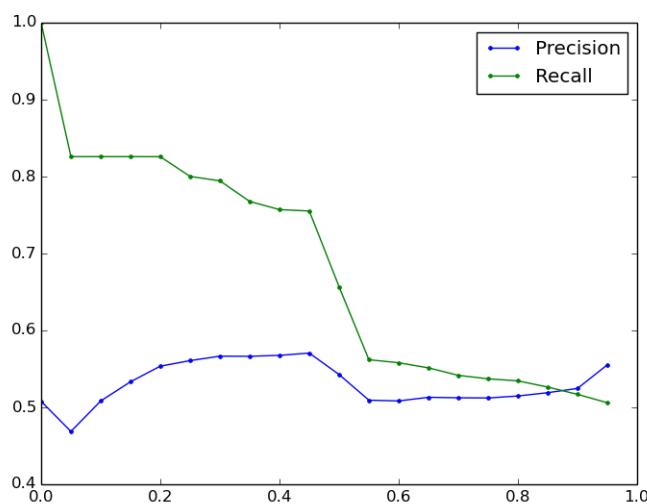


Рис. 1. Точность и полнота в зависимости от порога отсечения для вредоносных документов



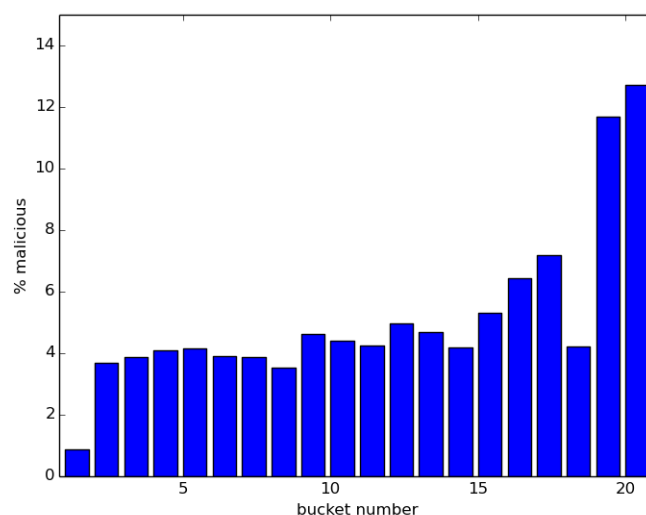


Рис. 2. Распределение (в процентном соотношении) вредоносных документов по 5% сегментам значений PageRank

### Литература

1. *Page L. [et al.]*. The PageRank citation ranking: Bringing order to the web. Stanford InfoLab, 1999.

УДК 004.932.2

### Метод коррекции инерциальной системы навигации беспилотного летательного аппарата на основе устойчивой детекции заданных объектов на земной поверхности по видеопотоку

*И.А. Коноваленко*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, <sup>2</sup> НОЦ «Нанотехнологии» МФТИ  
 alatkon@yandex.ru

В работе рассматривается практическая задача навигации беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На данном этапе работы создана виртуальная среда, в которой происходит разработка и тестирование алгоритмов навигации и управления.

В рамках принятой математической модели БПЛА описывается 7-мерным вектором, состоящим из 3-х координат, 3-х углов ориентации в пространстве (углы Эйлера) и величины скорости, по направлению жестко привязанной к ориентации БПЛА. Также смоделирован закон движения БПЛА под действием физической эволюции, шумов и управлений.

Перед началом полёта в память загружаются спутниковые снимки местности, привязанные к географическим координатам. Далее при помощи снимков, сделанных в другое время и в других условиях, моделируется видеопоток на камере, жестко закреплённой на борту БПЛА. Земная поверхность рассматривается плоской. Таким образом, задача состоит в сопоставлении известных снимков местности с видеопотоком и последующим восстановлением проективного преобразования на каждом такте. Эти задачи решаются с помощью методов ASIFT [1, 2] и RANSAC [3, 4]

соответственно. Из полученного проективного преобразования явно следует положение и ориентация БПЛА в земной системе координат, что есть решение задачи навигации. Данный метод не копит ошибку во времени.

Однако БПЛА находится в зоне видимости предзагруженных снимков только часть времени, что заставляет нас использовать модель инерциальной системы координат, которая копит ошибку во времени. Для совмещения этих двух систем навигации создан специальный модифицированный фильтр Калмана [5].

В настоящее время частично решена задача управления, возникающая при возвращении оценки положения БПЛА на номинальную траекторию, исследуются вопросы робастности.

### Литература

1. *Lowe, David G.* Object recognition from local scale-invariant features // Proceedings of the International Conference on Computer Vision. 1999. V. 2. P. 1150–1157.
2. *Guoshen Yu., Morel J-M.* A fully affine invariant image comparison method. doi: 10.1109/ICASSP. 2009.
3. *Fischler M.A., Bolles R.C.* Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Comm. of the ACM 24 (6). June 1981. P. 381–395.
4. *Berthold K.P., Horn, Schunck B.G.* Determining optical flow // Massachusetts Institute of Technology, Artificial Intelligence Laboratory, Memo N 572. April 1980.
5. *Фомин В.Н.* Рекуррентное оценивание и адаптивная фильтрация. М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1984.

УДК 004.8

### Детектирование и трекинг объектов дорожной сцены на платформе Google Glass

*И.О. Синотов<sup>1</sup>, А.С. Корягин<sup>1</sup>, Д.С. Фалеев<sup>1</sup>, В.В. Постников<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>2</sup> Институт системного анализа РАН  
faleev2@yandex.ru

Появление Google Glass открывает много возможностей для решения повседневных проблем человека. Одна из таких проблем возникает у людей с дефектами зрения при пересечении проезжей части с регулируемым пешеходным переходом. Цель данной работы – изложить ход решения данной задачи.

Благодаря видеокамере, расположенной на дужке очков, появляется возможность получать видеоизображение, совпадающее с полем зрения человека. Также внутренний процессор подходит для обработки изображения в реальном времени, а операционная система Android позволяет использовать любые алгоритмы обработки изображения.

В основе работы программы лежит алгоритм, включающий сбор видеоданных для обучения и тестирования системы, для последующей разметки видеоданных, обучения детекторов и классификаторов для обнаружения и трекинга объектов. Разработанное приложение для конечного пользователя обеспечивает отслеживание объектов дорожной сцены и формирование предупреждающих сигналов в режиме реального времени.

Разметка видеоданных и выделение объектов дорожной сцены – сигналов светофора, дорожных знаков и дорожной разметки («зебры»), отмечающих место пешеходного перехода. Разметка ведется в полуавтоматическом режиме с использованием методов и алгоритмов детекции, трекинга и классификации объектов. Объекты различаются на неподвижные объекты сцены и движущиеся (автомобили). Основными объектами сцены являются светофор, дорожные знаки и дорожная разметка («зебра»), отмечающие место пешеходного перехода. Дополнительно производится детекция и отслеживание объектов из кадра в кадр для повышения вероятности классификации. Для отслеживания изменения поля зрения и поворота головы пользователя используется встроенный компас.

Решение задачи было разбито на следующие подзадачи:

оценка параметров камеры, оценка собственного движения камеры, выделения вероятных границ искомых объектов с использованием фильтрации графических образов кадров, соответствующих типу искомого объекта (например, выделение «красных» компонент связности для обнаружения запрещающих сигналов светофора).

Были выявлены дополнительные сложности, как внешние — периодическое мигание и динамическое изменение («зеленый человечек») сигналов светофора, так и связанные с камерой — малое разрешение, недостаточный динамический диапазон. Также мы столкнулись с тем, что камера передает данные сторонним приложениям с максимальной частотой в 15 кадров.

В процессе разработки был реализован полуавтоматизированный разметчик тестовых данных с использованием кросс-платформенной библиотеки для работы с изображениями OpenCV [3]. Произведен запуск прототипа на устройстве Google Glass под управлением Android.

## Литература

1. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978. 411 с.
2. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход / пер. с англ. и ред. К.А. Птицына. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.
3. Документация по OpenCV : [Электронный ресурс] // Сайт библиотека OpenCV М. 2006–2014. URL: <http://www.docs.opencv.org/modules/refman.html> (Дата обращения: 15.10.2014).
4. Документация по Google Glass // Сайт разработки для google устройств М. 2013–2014. <https://www.developers.google.com/glass/develop/gdk> (Дата обращения: 15.10.2014).

УДК 004.93'12

### **Обзор методов выделения исследуемых областей в задаче детектирования мотоциклов в дорожном потоке**

***А.В. Мастов***<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

[a.mastov@ya.ru](mailto:a.mastov@ya.ru)

В последние годы автоматическое обнаружение и классификация транспортных средств на дороге набирает всё большую популярность. В первую очередь это связано с повышенным интересом к так называемым Driver Assistant Systems (DAS), которые призваны значительно сократить количество аварий на дороге, благодаря своевременному обнаружению препятствий.

На сегодняшний день подобные системы достаточно хорошо справляются с выделением автомобилей, но распознавание мотоциклов, ввиду некоторых особенностей, остается нерешенной проблемой.

Постановка задачи распознавания мотоциклов в рамках разработки DAS накладывает два основных условия: вычисления в реальном времени (сравнимом со скоростью реакции водителя) и устойчивость к изменению освещения, погодных условий и прочим визуальным искажениям.

Для соблюдения первого условия авторы [1] предлагают разбить весь процесс детектирования на три этапа:

1. *Генерация гипотезы.* На этом шаге выделяются исследуемые области (Regions Of Interest или ROI) – области, в которых наиболее вероятно находится мотоцикл. Такой подход позволяет убрать из рассмотрения заведомо ложные области и сократить объем вычислений на втором шаге.
2. *Проверка гипотезы.* Применение классификаторов к ROI для проверки гипотезы. Успешно прошедшие отбор кандидаты признаются мотоциклами и поступают на вход третьего шага.
3. *Трекинг.* Позволяет упростить задачу для дальнейшей локализации, «предсказывая» положение ROI в следующем кадре. Также не допускает потерю объекта при его частичном перекрытии или выходе за границы фрейма.

Наиболее популярные методы генерации гипотезы (первый этап) основываются на тенях под транспортным средством, симметрии объектов, геометрических признаках (углы, вертикальные/горизонтальные границы), текстуре и нахождении колес в кадре. С кратким описанием данных методов можно ознакомиться в [2]. Каждый из этих подходов хорошо проявляет себя в специальных условиях, но этого недостаточно для обеспечения необходимой устойчивости, что подтверждают исследования авторов [1] и [3]. Для улучшения обобщающей способности предлагается использовать композицию нескольких способов выделения ROI.

Целью настоящего доклада является анализ вышеуказанных методов и нахождение их оптимальной комбинации для последующего построения системы распознавания мотоциклистов в дорожном потоке.

## Литература

1. *Bobo D., Wei L., Pengyu F., Chunyang Y., Xuezhong W., Huai Y.* Real-time on-road vehicle and motorcycle detection using a single camera // IEEE International Conference on Industrial Technology. 2009. P. 1–6.
2. *Zehang S., Bebis G., Miller R.* On-road vehicle detection: a review // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2006. V. 28. P. 694–711.
3. *Mukhtar A., Xia L., Boon T.T., Abu Kassim K.A.* On-road approaching motorcycle detection and tracking techniques: a survey // IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering. 2013. P. 63–68.

УДК 519.237.8

**Автоматически дообучающийся метод поиска  
и классификации объектов для распознающих систем  
реального времени на основе обобщенного классификатора  
Виолы–Джонса и покрывающих деревьев**

*Е.Г. Кузнецова<sup>1,2</sup>, Д.П. Николаев<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, <sup>2</sup> ООО «Визиллект  
Сервис»  
vojageur@gmail.com

Каскадный классификатор на основе метода Виолы–Джонса (далее – ВД) [1] является эффективным методом детектирования объектов на изображениях и в видеопотоке в ряде систем технического зрения [2]. Однако сложность надежного решения задачи детектирования и классификации объектов в системах реального времени обуславливается проблематичностью построения достаточно репрезентативной выборки для обучения ВД ввиду высокой вариабельности изображений распознаваемых объектов и фонов, возникающих в результате неконтролируемых условий освещения, погоды, качества съемки и экспозиции камеры.

В данной работе предлагается схема автоматического накопления данных для итеративного дообучения классификатора в режиме реального времени, обеспечивающая улучшение качества его работы на каждой итерации дообучения.

В качестве обучаемого детектора предлагается использовать обобщение метода ВД в виде решающего дерева сильных классификаторов [3] (далее – ВД<sup>tree</sup>), в сравнении с классическим каскадным ВД-классификатором, обеспечивающего лучшее быстродействие реализации в худшем случае и позволяющего производить инкрементное дообучение на новых данных без сохранения исходной обучающей выборки.

Заметим, что в ряде распознающих систем с использованием обучаемых классификаторов множество возможных правильных ответов детектора на изображении ограничено контекстом распознавания (далее – «контекст»), что позволяет корректировать ответы классификатора для улучшения качества распознавания, а изображения, для которых ответы классификатора противоречат «контексту» (далее – «вероятные ошибки» классификатора), использовать для дальнейшего дообучения классификатора.

Так, в системах распознавания документов значительная часть текстовых полей в действительности почти всегда может содержать ограниченное множество синтаксических конструкций [4]. В распознающих видеосистемах в качестве «контекста» могут быть использованы алгоритмы трекинга движущихся объектов в видеопотоке.

Однако для дообучения классификатора требуется ручная разметка оператором полученных таким образом данных, т.к. верный ответ для них не определен. Мы предлагаем следующую схему, позволяющую формировать обучающую выборку для обучения статического классификатора с вычислением верных ответов в реальном времени без вмешательства оператора:

1. ВД<sup>tree</sup> обучается на репрезентативной относительно имеющихся стендовых данных выборке для использования в распознающем ядре системы реального времени.

2. При работе в реальном времени, «вероятные ошибки» сохраняются в «массиве прецедентов»  $T$ . При этом  $T$  разбивается на кластеры «близких» изображений. В качестве метрики сходства изображений в общем случае может быть использовано, например, среднеквадратичное отклонение яркости пикселей сравниваемых изобра-

жений. Для быстрого (за  $O(c \cdot \log|T|)$ , где  $c$  – константа, зависящая от размерности данных,  $|T|$  – мощность  $T$ ) поиска ближайшего изображения предлагается хранение данных в массиве  $T$  с помощью структуры данных cover tree [5].

3. Отметим, что для каждой новой «вероятной ошибки» ответ классификатора может быть скорректирован следующим образом: если изображение относится к какому-либо из уже существующих кластеров, верным считается тот символ алфавита классификатора, за который «проголосовал» «контекст» для наибольшего числа изображений кластера.

4. Когда в результате накопления данных в  $T$  операция добавления изображения в cover tree оказывается достаточно медленной, производится очередная итерация дообучения ВД<sup>tree</sup> классификатора на всех кластерах массива  $T$ , содержащих достаточное число элементов (для обеспечения отсутствия в обучающей выборке ошибок алгоритма «контекстного» исправления) с использованием правильных ответов для каждого кластера, определяемых как в п. 2. Далее,  $T$  очищается, производится очередная итерация накопления данных (п. 1)

Таким образом, описанный метод позволяет не только автоматически в режиме реального времени формировать обучающие выборки без вмешательства оператора и производить инкрементное дообучение без сохранения исходной выборки с улучшением качества классификации на каждой итерации, но и корректировать результат классификации в тех случаях, когда ответ классификатора противоречит контексту распознавания.

### Литература

1. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011. N 1. P. 511–518.
2. Grigoryev A., Khanipov T., Nikolaev D. Determination of axle count for vehicle recognition and classification. 8th Open German-Russian Workshop «Pattern Recognition and Image Understanding», 2011. P. 9–91.
3. Минкина А., Григорьев А., Усилин С., Полевой Д., Николаев Д. Обобщение метода Виолы и Джонса в виде решающего дерева сильных классификаторов для распознавания объектов в видеопотоке в режиме реального времени // Информационные технологии и системы. ИППИ РАН, 2014.
4. Lobert R., Cerdan-Navarro J.-R., Perez-Cortes J.C. OCR Post-processing Using Weighted Finite-State Transducers 20th International Conference on Pattern Recognition, ICPR, 2010.
5. Beygelzimer A., Kakade S., Langford J. Cover trees for nearest neighbor. ICML, 2006.

УДК 004.932

### Поиск матрицы проективного преобразования в задаче детектирования дорожной разметки

*Д.А. Крохина<sup>1</sup>, В.В. Постников<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

krohina\_d@mail.ru

Автоматическое выделение дорожной разметки – одна из задач, возникающих при составлении интеллектуальной системы предупреждения водителя об опасности. Рассматривается алгоритм, детектирующий полосы разметки на изображении,

полученном с камеры, установленной на автомобиле. В рамках поставленной задачи происходит обработка видеопотока, полученного от камеры, закрепленной в районе лобового стекла. Оптическая ось направлена вперед и имеет малый угол с плоскостью дорожного полотна. Точные углы крепления камеры не известны. Кроме того, они изменяются в зависимости от загрузки автомобиля (например, в зависимости от наличия пассажиров или груза в кузове), а также от других факторов – при разгоне и торможении, в начале спуска или подъема.

В основе метода лежит идея использования проективных преобразований [1] для решения данной задачи. В частности, используется преобразование *bird eye view* [2]. Суть данного преобразования в том, что оно трансформирует исходное изображение в «вид сверху». В результате «в идеале» получается изображение, на котором линии разметки параллельны друг другу и имеют одинаковую толщину (то есть их толщина не изменяется по мере удаления от камеры). Необходимо скорректировать матрицу таким образом, чтобы изображения дороги стали близки к идеальным.

Матрица преобразования *bird eye view* связана с углами крепления камеры [3]. Вычисление оптимальной матрицы преобразования позволяет уточнить углы, под которыми закреплена камера, что полезно не только для задачи поиска разметки, но и в смежных задачах, в которых требуется самокалибровка по углам тангажа и рысканья.

Возможно два варианта постановки данной задачи. Первый – поиск матрицы *bird eye view* в режиме офлайн, то есть надо найти оценку матрицы преобразования по некоторому уже существующему набору изображений. Второй вариант – коррекция уже существующей матрицы преобразования в режиме реального времени.

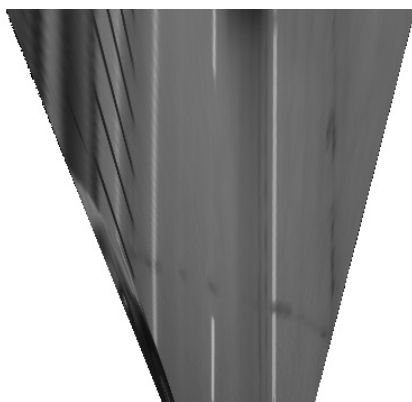


Рис. 1. Изображение после преобразования *bird eye view*



Рис. 2. Изображение с выделенными линиями разметки после выполнения алгоритма

### Литература

1. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. С. 141–148.
2. Venkatesh M., Vijayakumar P. A Simple Bird's Eye View Transformation Technique // International Journal of Scientific & Engineering Research. May, 2012. V. 3, N 5. P. 1–4.
3. Mohamed Aly. Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets. Intelligent Vehicles Symposium IEEE. 2008. P. 7–12.



---

## Секция концептуального анализа и проектирования

---

УДК 34.023

### Экспериментальное построение и исследование концептуальной схемы правоотношений

*Л.И. Гареева*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Аналитический центр «Концепт»  
gareeva.lsn@gmail.com

В настоящее время существует некоторая система права, которая призвана обеспечить согласованность и непротиворечивость правовых норм. Но в учебниках по праву зачастую определения не согласуются между собой — содержания их не совпадают, и они охватывают разные явления. Современная структура права неопределенна, не аксиоматизирована, как система не выстроена, и гарантировать полноту описания правоотношений никто не может. Однако на практике это понятие широко используется при решении различных юридических вопросов. Поэтому необходимо, используя концептуальные методы, попытаться выделить основные атрибуты конструктивного определения понятия «правоотношение», ориентированного на функцию обеспечения полноты, непротиворечивости и целостности системы норм.

Для выполнения поставленной задачи нужно провести экспериментальное построение концептуальной схемы правоотношений. С ее помощью в предположении того, что правоотношения статичны, и без рассмотрения порядков проведения юридических процедур у правоотношений выделяются следующие атрибуты: субъекты-участники с их правами и обязанностями, фактический состав субъект-субъектного отношения, которое они образуют, правовые нормы, которым эти субъекты должны следовать.

Следует отметить, что получение этих атрибутов при помощи концептуальных методов говорит о том, что правоотношение, как часть такой запутанной предметной области как право, поддается моделированию. Результаты, полученные при концептуализации, могут быть использованы при создании юридических конструкций, лежащих в основе юридических текстов — например, статей законов и других нормативно-правовых актов.

### Литература

1. Отчет Т1К1 «Модель ЭПО и ПЭПО». НП ЦИВТ Концепт.
2. Правоведение: учебник для вузов / под ред. М.И. Абдулаева. М.: Финансовый контроль, 2004. 561 с.
3. *Марченко М.Н., Дерябина Е.М.* Правоведение: учебник. М: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2004. 416 с.
4. *Штукатулла В.И.* Правоведение: учеб. пособие для студентов неюридических фак. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 496 с.

5. Право: азбука — теория — философия. Опыт комплексного исследования / Алексеев С.С. М.: Статут, 1999. 712 с.
6. Никаноров С.П. Теоретико-системные конструкты для концептуального анализа и проектирования. 2-е стереотип. изд. М.: Концепт, 2008. 312 с.
7. Гражданский кодекс Российской Федерации.
8. Семейный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 1995 г. № 223-ФЗ.
9. Пономарёв И.Н. Введение в математическую логику и роды структур: учеб. пособие. М.: МФТИ, 2007. 244 с.

УДК 004.422.639

## Исследование и программная реализация оптимальной структуры данных для вычисления интерпретации концептуальных моделей

*Р.М. Баширов*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Аналитический центр «Концепт»  
gottok@mail.ru

### *Краткое вступление, постановка проблемы*

На абстрактном уровне — работа посвящена расширению области применения прикладных методов и автоматизированных инструментальных средств для оперирования концептуальными моделями (далее «КМ») [6], представленными в виде объектных интерпретаций систем понятий, эксплицированных в родоструктурной форме [1] (далее «РС-формы»).

При вычислении интерпретации РС-формы КС возникают две проблемы. Первая — большой перебор элементов с заданной типизацией для вычисления интерпретации термина РС-формы КС. Вторая — время проверки истинности булевой формулы для проверки принадлежности элемента с заданной типизацией терму. Время проверки истинности булевой формулы напрямую зависит от используемой для хранения данных структуры данных (далее «СД») [3], [7], [8]. При существующем подходе интерпретации термов, вычисления которых требуется для вычисления интерпретации РС-формы КС, зачастую становятся невычислимыми при объемах базисных множеств до десятков элементов из-за описанных выше двух проблем. На конкретном уровне — работа посвящена решению второй проблемы.

### *Цель работы*

Целью работы является исследование и программная реализация оптимальной структуры данных для вычисления теоретико-множественной интерпретации термов концептуальных схем при заданной интерпретации базисных множеств и родовых отношений.

### *Примененные методы*

Методы математической логики [1], концептуальный анализ и проектирование [9], разработка через тестирование [4], Agile-разработка [5].

### *Промежуточные результаты*

1. Разработанный модуль тестирования производительности вычислений операций языка родов структур (далее «ЯРС») [1] для различных СД.
2. Анализ операций ЯРС с точки зрения зависимости производительности их вычисления от выбора СД.
3. Разработанные сценарии тестирования операций ЯРС.
4. Сравнительный анализ производительности вычисления операций ЯРС в зависимости от СД по результатам тестирования.

5. Оптимальная по производительности вычислений СД.

### **Основные результаты**

Модификация программного комплекса Экстеор [2] с внедренной оптимальной СД. В данной модификации сокращен цикл реализации, тестирования и внедрения СД.

### **Литература**

1. Пономарев И.Н. Введение в математическую логику и роды структур: учеб. пособие. М.: МФТИ, 2007. 244 с.
2. Борисов И.Р. Исследование, разработка и экспериментальная программная реализация операций над концептуальными моделями. М., 2013. 82 с.
3. Кормен Т. [и др.]. Алгоритмы: построение и анализ. 2-е издание / пер. с англ. М.: Вильямс, 2009. 1296 с.
4. Бек К. Экстремальное программирование: разработка через тестирование. М.: Питер, 2003. 224 с.
5. Кон М. Scrum: Гибкая разработка ПО Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum (Addison-Wesley Signature Series). М.: Вильямс, 2011. 576 с.
6. Пономарев И.Н. Математический аппарат и программные средства концептуального проектирования. М., 2007. 26 с.
7. Ахо А.В., Хопкрофт Д.Э., Ульман Д.Д. Структуры данных и алгоритмы. М.: Вильямс, 2000. 384 с.
8. Шень А. Программирование: теоремы и задачи. 2-е изд., испр. и доп. М.: МЦНМО, 2004. 296 с.
9. Кононенко А.А., Кучкаров З.А., Никаноров С.П., Никитина Н.К. Технология концептуального проектирования. М: Концепт, 2004. 580 с.

УДК 65.01

## **Использование концептуальных конструкций для построения систем правового регулирования в сверхсложных предметных областях**

***И.Р. Борисов***<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Аналитический центр «Концепт», <sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
iborisov@acconcept.ru

В основе правового регулирования любой области закладывается, возможно, в неявном, даже неосознаваемом, виде модель предметной области, в которой осуществляется регулирование. Эту модель можно воссоздать, проанализировав используемые в текстах нормативных документов термины и определения. Зачастую такой анализ выявляет множество дефектов и недоработок, причем чем область регулирования обширнее, тем больше находится дефектов [1]. Дефекты в регулировании характерны не только для государственных институтов, но и для крупных организаций [2].

Для построения целостной системы правового регулирования в рамках подхода концептуального проектирования используется метод построения концептуальной (понятийной) модели объекта регулирования, которая обеспечивает целостность и непротиворечивость разрабатываемой системы норм.

Проделанный опыт в сфере регулирования экологических отношений по переходу непосредственно от концептуальной (понятийной) схемы объекта регулирования к правовому, юридически корректному тексту нормативных правовых актов, не был в полной мере успешным. Итогом стало понимание необходимости введения новой сущности – концептуальной конструкции, как инструмента построения определений ключевых терминов через постулирование промежуточных понятий.

Концептуальная конструкция – это атрибутивная форма записи системы понятий в виде специальным образом размеченных текстов определений. Данная форма позволяет использовать термины, определенные в других конструкциях, без необходимости полного синтеза систем понятий в отличие от родоструктурной формы.

На основе аппарата оперирования конструкциями создана частично автоматизированная технология, позволяющая:

1. осуществлять метатеоретический синтез систем понятий;
2. строить систему понятий как от базовых понятий к ключевым, так и наоборот, гарантируя корректность каждого преобразования;
3. проводить анализ связей между конструкциями для заданной совокупности конструкций;
4. формировать текст системы понятий, включающей заданную совокупность конструкций;
5. формировать схему, иллюстрирующую состав понятий каждой конструкции и связи между понятиями.

Рассматриваемая технология была применена для разработки концептуальных конструкций в сфере регулирования экологических отношений. Было создано 22 конструкции, содержащие более 1000 различных понятий. На основе этих конструкций написан юридический текст проекта Экологического кодекса, содержащий около 100 ключевых терминов, определения которых получены путем обработки текста определений соответствующих понятий в концептуальных конструкциях.

В рамках развития данной работы предполагается включение технологии построения концептуальных конструкций в концептуальную интеграцию высоких технологий [3], связав ее с уже имеющимися технологиями работы с формальными описаниями систем понятий и технологиями сбора данных и анализа предметной области.

### Литература

1. *Кучкаров З.А. [и др.]*. Логический анализ системы понятий (На примере экологического законодательства). М.: НИУ ВШЭ, 2013. 106 с.
2. *Кучкаров З.А.* Потеря управляемости в больших организациях и ее восстановлением путем имплементации в право системных концептов // *Право и современные государства*. 2013. № 2. 60 с.
3. *Кононенко А.А., Кучкаров З.А. [и др.]*. Технология концептуального проектирования. М.: Концепт, 2008. 580 с.

УДК 65.014.12

## **Роль и место операций расчистки предметной области в методологии концептуального проектирования систем организационного управления**

***К.О. Воскресенский***<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Аналитический центр «Концепт»

kovosol@gmail.com

Постоянный рост сложности человеческой деятельности создает спрос на организационные формы, обладающие мощными механизмами координации. Одним из современных подходов по разработке таких организационных форм является нормативное проектирование организаций. В рамках этого подхода развивалась методология концептуального анализа и проектирования систем организационного управления.

Методология концептуального анализа и проектирования упрощенно может быть представлена в виде набора операций. Операции взаимосвязаны и могут быть применены проектировщиком в определенном порядке при условии удовлетворения необходимых и достаточных требований выполнения той или иной операции.

При этом в случае, если операция может применяться к различным объектам, например, и к предметной области, и к понятию в концептуальной схеме, корректнее говорить о группе операций, обозначенных одним термином.

Одной из первых по порядку применения операций, используемых проектировщиком, является операция «расчистки предметной области». В результате применения операции расчистки предметной области проектировщиком выделяются и формулируются факты о предметной области, важные для решения задачи проектирования.

Операции расчистки предметной области предшествует операция погружения в предметную область, в результате которой формирует представление проектировщика о предметной области.

В случае первичной расчистки предметной области проектировщиком используются конструкты и его представление о предметной области. Набор конструктов, как правило, включает в себя «субъект с интересами и возможностями», «линейный порядок на объектах», «функционально-методное отношение», «морфологическое отношение», «процесс и сеть процессов».

Если проектировщик плохо знаком с предметной областью либо не достаточно квалифицирован, может возникнуть необходимость повторной расчистки предметной области. Результаты повторной расчистки могут быть использованы для уточнения концептуальной схемы, ее интерпретации, погружения участников процесса проектирования систем организационного управления в предметную область.

Представления проектировщика о предметной области и сформулированные проектировщиком факты о ней играют важную роль при концептуализации, что в свою очередь указывает на высокую роль операций расчистки как таковой в методологии концептуального анализа и проектирования систем организационного управления.

### **Литература**

1. *Кучкаров З.А.* Методы концептуального анализа и синтеза в теоретическом исследовании и проектировании социально-экономических систем. М.: Концепт. 2006. 276 с.

2. *Кучкаров З.А.* Потеря управляемости в больших организациях и ее восстановление путем имплементации в право системных концептов // Право государства. 2013. 2. С. 60–64.
3. *Galbraith J.R.* The Future of Organization Design // Journal of Organization Design. 2012. 1. С. 3–6.

---

# Секция корпоративных информационных систем

---

УДК 001.89:004.9

## Математические подходы к построению систем управления научно-техническими знаниями в организациях

*А.И. Бачурин*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
bachurin.fizteh@gmail.com

Конкуренция в сфере высокотехнологичных исследований и разработок заставляет научные и промышленные организации формировать и развивать системы управления знаниями (СУЗ) как организационного характера, так и информационного. Вовлечение в работу СУЗ значительного числа людей и больших объемов разнородных знаний приводит к необходимости повышения их эффективности в том числе за счет применения формализованных механизмов и математических моделей управления знаниями и участниками СУЗ.

Большинство существующих в предметной литературе исследований является эмпирическими и носит общий аналитический характер. Математические подходы встречаются редко, носят разрозненный характер, приводятся во многих случаях в отрыве от прикладных областей применения [1–4]. В незначительной части предметных источников указанные подходы предлагаются к применению именно в информационных СУЗ.

В рамках исследования проведен поиск, изучение и анализ существующих подходов к построению математических моделей управления знаниями. На основе полученных результатов сформировано целостное представление о едином подходе к математическому описанию моделей управления знаниями и к стимулированию взаимовыгодного обмена знаниями (с учетом ранее построенного автором концептуального подхода к формированию СУЗ [5, 6]).

При проведении исследования в СУЗ рассматривалось наличие центра (руководства), управляющего инновационной деятельностью участников (изобретателей, экспертов и т.п.). Предполагалось, что между участниками происходит обмен «сигналами» (частичным раскрытием информации о знании – определенным набором атрибутов, характерным для конкретной предметной области). Определен уровень научно-технических знаний и участников, введены функции активности формирования сигналов и склонности к получению знаний. Установлена взаимосвязь между затратами на развитие информационной инфраструктуры СУЗ, объемом вознаграждений и особенностями участников. При этом задачей центра является нахождение оптимума между затратами на развитие СУЗ и вознаграждением участников, стимулирующим к формированию сигналов и передаче знаний.

Также в исследовании определен портфель знаний, ценность которого зависит от подмножества знаний, входящих в него. В модели центр является брокером научно-технической информации, который согласовывает спрос и предложение на

знания. Центр стремится максимизировать разницу между затратами на получение портфелей знаний участниками-получателями знаний и бонусами, получаемыми участниками-источниками знаний за создание элементов знаний с внесением их в СУЗ или обеспечением доступа к ним. Сделан вывод о том, что для раскрытия действительных значений оценок портфелей знаний центр должен реализовывать механизм взаимного стимулирования участников СУЗ.

Скорость роста доли кооперации в СУЗ зависит от первоначальной доли участников, между которыми установлены научно-технические и деловые отношения. Чем выше первоначальная доля кооперации, тем выше скорость увеличения доли кооперации. Чем выше уровень «информационного шума» в сети кооперации СУЗ, тем ниже уровень кооперации между участниками. Показано, что в случае высокой степени взаимодополняемости знаний двух участников центру выгодно стимулировать кооперацию, что приведет к росту уровня передачи знаний. Также численно продемонстрировано, что при увеличении уровня безопасности и доверия в СУЗ общий выигрыш центра всегда возрастает, объем распределения знаний возрастает при применении механизма индивидуального вознаграждения, а развитие технологий взаимодействия участников является приоритетом для повышения эффективности управления знаниями. На основе формулы Блэка–Шоулза определен индекс эффективности управления знаниями.

Модель имеет важное прикладное значение для построения и мониторинга СУЗ, включая обеспечение визуализации изменения доли кооперации с течением времени, анализ взаимодействия и вознаграждения участников, анализ изменения показателей распределения знаний между участниками.

### Литература

1. *Ghobadi Sh., D'Ambra J.* Coopetitive Knowledge Sharing: An Analytical Review of Literature // *Electronic Journal of Knowledge Management*. 2011. V. 9. P. 307–317.
2. *Sakakibara M.* Knowledge sharing in cooperative research and development // *Managerial and Decision Economics*. 2003. V. 24. P. 117–132.
3. *Zhang Lin-gang.* Examining knowledge exchange in an organization: A game theory perspective // *Management Science and Engineering (ICMSE)*. 2010. P. 958–963.
4. *Еггев С.В., Захарова С.А.* Краудсорсинг в науке // *Наука. Инновации. Обращение*. 2013. Вып. 14. С. 175–186.
5. *Бачурин А.И.* Задачи формализации и построения комплексной информационной системы управления знаниями в инновационных организациях // *Биржа интеллектуальной собственности*. 2014. Т. 13, № 2. С. 9–20.
6. *Бачурин А.И.* Разработка методов построения систем управления научно-техническими знаниями для автоматизации коллективной инновационной деятельности с применением опционов // *Биржа интеллектуальной собственности*. 2014. Т. 13, № 3. С. 15–27.



УДК 004.58

## Улучшение контекстной подсказки для сред разработки, используемых при написании бизнес-приложений

*М.В. Дзюба*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Фирма 1С»

maksim.dzyuba@phystech.edu

Для увеличения скорости набора программного кода используется контекстная подсказка (content-assist) — отображение на экране контекстного списка, позволяющего выбирать из списка нужное свойство, метод, функцию и т.д.

Стандартным сценарием использования механизма является вызов пользователем подсказки в контексте введенной части имени (pattern) необходимого элемента. Обычно отображаемый контекстный список отфильтровывается так, что сначала отображаются все имена элементов, для которых pattern является префиксом. Это удобно лишь тогда, когда пользователь точно помнит начало имени нужного ему элемента. Часто в коде бизнес-приложений названия используемых методов и свойств становятся слишком длинными для запоминания. Следовательно, пользователь уже не всегда помнит правильное начало имени нужного ему элемента, что приводит к уменьшению эффективности контекстной подсказки. Для решения выявленной проблемы предлагается использовать подход, в котором выдаваемый пользователю список фильтруется, основываясь не только на том, что pattern должен быть префиксом имени элемента из списка.

Представим формализованное описание. Имеем:

- $L = [name1, name2, \dots, nameN]$  — список всех возможных имен элементов из контекстной подсказки.
- Pattern — набор символов, по которому будем фильтровать список  $L$ .

Работа алгоритма заключается в том, что для каждого элемента (name) из  $L$  по pattern строятся все последовательности индексов  $SEQ(name, pattern) = [seq1, seq2, \dots, seqK]$ , содержащие в себе все индексы (из name) символов из pattern и идущие в том же порядке. После работы алгоритма мы должны получить список пар:

$L^* = [(name1, W(name1, pattern)), \dots, (nameN, W(nameN, pattern))]$ , где  $W(name, pattern)$  — некоторый вес, характеризующий схожесть pattern с элементом списка  $L$ . Алгоритм вычисления  $W$ :

- $W = 0$ , если  $length(SEQ(name, pattern)) = 0$ , где  $length()$  определяет количество последовательностей в списке  $SEQ(name, pattern)$ .
- $W = 1 + \max(WS(SEQ(name, pattern)))$ , где  $WS$  — вес последовательности.

Алгоритм вычисления  $WS$  для последовательности из  $SEQ(name, pattern)$ :

- $WS := 0$ .
- $WS := WS + constWeight$ , если первый элемент последовательности равен 0, т.е. pattern и name начинаются с одинакового символа, где  $constWeight > 0$ , является настраиваемым параметром алгоритма.
- Для каждых двух элементов последовательности, которые идут друг за другом,  $WS := WS + 1$ .

Использование данного алгоритма позволяет получать более релевантный список, выдаваемый контекстной подсказкой, следовательно, удобство и скорость набора кода повышаются.

## Литература

1. *Walter T.F.* The String-to-String Correction Problem with Block Moves // Computer Science Technical Reports. 1983. 378 p.
2. *Gamma E., Helm R., Johnson, R., Vlissides J.* Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1995. 410 p.

УДК 004.023

### **Математическая постановка задачи автоматической расстановки элементов графической схемы и ее решение при помощи эвристических функций**

*Н.Ю. Старичков*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Фирма 1С»

mail@starichkov.com

Рассмотрена задача автоматической расстановки элементов графической схемы, предложен вариант строгой математической постановки задачи, предложено решение с помощью алгоритма  $A^*$  и соответствующий набор эвристических функций, используемых алгоритмом.

Любой бизнес-процесс можно наглядно представить с помощью графической схемы, которая фактически представляет собой укладку ориентированного графа на плоскости. Желательно, чтобы эта схема выглядела наиболее просто, так как граф может быть достаточно сложным, иначе теряется основная цель составления графической схемы – наглядная визуализация информации.

Как объективно оценивать простоту схемы? В процессе работы были выявлены такие критерии:

- минимизация количества пересечений ребер графа,
- отсутствие перекрытия блоков (вершин графа),
- минимизация суммарной длины блоков,
- минимизация числа изгибов (поворотов) ребер,
- сохранение иерархической структуры, присутствующей в ориентированном графе.

Предлагается нарушение вышеперечисленных критериев формализовать с помощью штрафных функций. Для различных требований вводится различный приоритет (вес) –  $w$ . Общим штрафом  $S$  назовем сумму штрафов  $s$  по разным критериям, умноженным на вес  $w$  соответствующего требования:

$$S(X) = \sum s \cdot w.$$

Тогда формально задача формулируется как задача минимизации некоего функционала  $S(X)$ , зависящего от определенных параметров  $X$  (координаты блоков, их размер, координаты ребер и точек их изгиба).

Так как для больших схем параметров может быть очень много, то время работы алгоритмов честного поиска минимума функционала может стать неприемлемым для комфортной работы пользователей. Поэтому предлагается использовать для решения задачи алгоритм  $A^*$ . Блоки на схеме размещаются по иерархии, предварительно посчитанной с помощью BFS, а вот для отрисовки каждого ребра запускается  $A^*$ . Для его работы требуются две эвристики – стоимости пройденного

расстояния и оценочной стоимости пути до финиша. Под стартом и финишем соответственно понимаются начальная и конечная точки ребра графа.

Предлагаются следующие эвристики:

- Эвристика пройденного расстояния. Считается как сумма пройденного расстояния в клетках (для регулирования скорости работы алгоритма за клетку может отвечать как пиксель, так и квадратная зона  $N \times N$  пикселей) плюс штраф за повторный поворот ранее, чем спустя  $X$  клеток от предыдущего поворота.
- Эвристика оценочной стоимости пути до финиша. Считается как сумма штрафов за пересечение блока, штраф за пересечение с другим ребром, штраф за поворот и штраф за пройденное расстояние. Также предлагается прибавлять соответствующие, но немного уменьшенные штрафы за близость к пересечению (например, ребро не пересекло блок, но прошло в 2 пикселях от него).

В очередь возможных путей добавляется стартовая вершина. Далее из очереди берется путь с наименьшей стоимостью, для него ищутся продолжения, для них с помощью эвристик подсчитывается штраф, и они помещаются в очередь. Алгоритм заканчивает свою работу по достижению точки финиша.

Алгоритм показал хорошую скорость работы, адекватную отрисовку схем и главное – возможность изменения вида получаемых схем за счет гибкости алгоритма. Суммарно работа алгоритма зависит от 11 параметров, которые можно менять независимо.

## Литература

1. *Sander G.* Graph layout through the VCG tool // Technical report A03/94. Universitat des Saarlandes. 1994.
2. *Gansner E.R., Koutsofios E., North S.C., Vo K.P.* A Technique for drawing directed graphs // IEEE Trans. Software Eng. – TSE. 1993. V. 19, N 3. P, 214–230 DOI: 10.1109/32.221135.

УДК 004.622

## Использование кэширования для оптимизации работы с данными в электронных таблицах

*А.Р. Хасанов*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

sashokhasanov@mail.ru

В системах учета, таких как 1С: Предприятие, немаловажная роль отводится механизмам генерации различного рода отчетности. В системе 1С: Предприятие для всех видов первичных документов и отчетов предусмотрен единый формат – формат табличного документа.

В основу табличного документа положена концепция электронной таблицы: он состоит из строк и колонок, на пересечении которых располагаются ячейки, в которых размещаются отформатированные данные.

При наличии обширного арсенала форматирующих и изобразительных возможностей, с одной стороны, и возможности содержания большого количества разнородных данных, с другой, не могла не возникнуть проблема, присущая любым задачам, касающимся работы с большими массивами данных: проблема скорости обработки и вывода информации. Эта проблема возникла в ходе проектирования и

реализации механизмов табличного документа в системе 1С: Предприятие. Естественно, такая остро стоящая проблема не могла быть оставлена без внимания. Поэтому значительные усилия были направлены на оптимизацию скорости загрузки и отображения данных табличного документа.

Универсальной методикой, позволяющей ускорить работу с большими объемами данных, является кэширование. Основная идея кэширования заключается в сохранении во временное хранилище с быстрым доступом данных, которые, вероятно, будут актуальны в будущем. Логично было бы использовать кэширование и в работе внутренних механизмов табличного документа.

Соответственно в ходе решения поставленной проблемы необходимо было решить следующие задачи:

- изучить и проанализировать существующие алгоритмы кэширования;
- исследовать возможности их применения в приложении к внутренним механизмам табличного документа;
- разработать и встроить систему кэширования данных во внутренние механизмы табличного документа, которая позволила бы ускорить вычисление различных параметров табличного документа.

В разработанной системе используется 2 уровня кэширования данных:

1. **Глобальный кэш** – используется для хранения рассчитанных параметров в пределах всего документа.
2. **Локальный кэш** – используется для хранения рассчитанных параметров в пределах отображаемой на экране области документа. Локальный кэш меньше по размеру, чем глобальный, за счет этого скорость доступа к данным выше по сравнению с глобальным кэшем.

Кэшируются основные параметры табличного документа, вычисление которых требует значительных затрат, такие как шрифты, стилевое оформление и высота строк документа.

И локальный, и глобальный кэши сделаны явно зависимыми, т.е. решение об обновлении кэша принимается на основании действий, производимых пользователем.

Основным алгоритмом, применяемым в работе системы кэширования, является модифицированный с учетом внутренней структуры табличного документа алгоритм.

Most Recently Used (MRU): в первую очередь из кэша удаляются последние вычисленные значения. В источнике [4] показано, что для схем произвольного доступа к данным алгоритм MRU является наиболее эффективным за счет тенденции к сохранению «старых» данных.

Разработанная система кэширования, с одной стороны, позволяет обеспечить высокую скорость отклика на действия пользователя, с другой стороны, рационально использует вычислительные ресурсы системы.

## Литература

1. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Д. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб: Питер, 2001. 368 с.
2. Дасгупта С., Пападимитриу Х., Вазирани У. Алгоритмы / пер. с англ. под ред. А. Шеня М.: МЦНМО, 2014. 320 с.

3. *Ажеронок В.А., Габеев А.П., Гончаров Д.И., Козырев Д.В., Кухлевский Д.С., Островерх А.В., Радченко М.Г., Хрусталева Е.Ю.* Профессиональная разработка в системе «1С: Предприятие 8» Т. 2. М.: 1С: Паблишинг, 2012. 1408 с.
4. *Shaul Dar, Michael J. Franklin, Björn T. Jónsson, Divesh Srivastava, Michael Tan* Semantic Data Caching and Replacement – VLDB'96 // Proceedings of 22th International Conference on Very Large Data Bases. 1996. P. 330–341.

УДК 519.854.2

## Алгоритм формирования железнодорожных составов для случая двух станций и его расширение на случай нескольких станций

*А.А. Лазарев*<sup>1,2,3,4</sup>, *Т.Н. Агафонова*<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, <sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, <sup>3</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>4</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
 agafonova\_tn@mail.ru

Формирование грузовых железнодорожных составов на российских железных дорогах организовано не оптимально. По данным Минтранса в последнее время число взысканий, обращенных на РЖД из-за срыва сроков, постоянно увеличивается. Согласно отчетности РЖД по МСФО, за первые шесть месяцев 2012 года сумма штрафов, выставленных клиентами, составили 1,773 млрд рублей. Значительную часть этой суммы составляют именно штрафы за просрочку в доставке заказов.

Для решения данной проблемы применены методы и задачи теории расписаний. С помощью задачи теории расписаний для одного прибора получен алгоритм точного решения задачи формирования составов между двумя станциями. Экспериментально выполнена проверка эвристических алгоритмов решения задачи двух станций. Также проверен алгоритм, основанный на методе *fifo*. На основе алгоритма точного решения задачи двух станций разработан алгоритм формирования составов для случая нескольких станций.

В ходе исследования был принят ряд ограничений. Математическая модель для задачи двух станций предполагает, что:

- Рассматриваются две сортировочные станции.
- Движение между станциями происходит только в одном направлении.
- На участке между станциями может одновременно находиться не более одного состава.
- Рассматриваются одновагонные заказы.
- Количество вагонов в составе не превышает заданного числа  $b$ .
- Время доставки заказа между двумя соседними станциями одинаково для всех заказов.
- Количество локомотивов и составов на одной станции не ограничено.

Алгоритм точного решения основан на методе динамического программирования. Контролируется 4 параметрами, которые содержат информацию о текущем рассматриваемом отрезке времени, номере заказа и «наполненности» состава. Сложность алгоритма составляет  $O(n^8)$  операций, где  $n$  – количество заказов.

Алгоритм решения задачи нескольких станций основан на последовательном решении подзадач для двух соседних станций. Каждая подзадача решается с помо-

пью алгоритма двух станций. Сложность алгоритма составляет  $O(n^{8m})$  операций, где  $n$  – количество заказов,  $m$  – количество станций.

Основными результатами теоретической части работы являются построенные математические модели для задач формирования грузовых железнодорожных составов, а также предложенные алгоритмы решения соответствующих задач.

Главным результатом экспериментальной части работы является вывод о хорошей точности решения методом *fifo*.

### Литература

1. Лазарев А.А., Мусатова Е.Г., Кварацхелия А.Г., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи управления транспортными системами. М.: Физический факультет МГУ, 2012.
2. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: Физический факультет МГУ, 2011.
3. Baptiste Ph. Matching identical jobs // Math. Meth. Oper. Res. 2000. N 52. P. 355–367.
4. Беллман Р., Энджел Э. Динамическое программирование и уравнения в частных производных. М.: Мир, 1974.

УДК 519.854.2

### Подходы решения задачи составления учебного расписания

А.М. Дудченко<sup>1,2</sup>, Е.Р. Гафаров<sup>1,2</sup>, А.А. Лазарев<sup>1,3,2,4</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, <sup>2</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), <sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, <sup>4</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

[aleksandra.dudchenko@gmail.com](mailto:aleksandra.dudchenko@gmail.com)

Рассматриваются две задачи составления учебных расписаний. Первая — составление расписаний в зарубежных вузах, когда каждый студент рассматривается отдельно, и вторая — составление расписаний в российских вузах, когда студенты рассматриваются в группе. Данные задачи относятся к задачам Timetabling («Составления временных таблиц») в расширенной постановке. Первая задача называется Course Timetabling. Вторая задача является расширенной комбинацией задач School Timetabling, когда не учитывается доступность помещений, все группы занимают в собственных аудиториях и не меняют их, и Course Timetabling, когда учитывается доступность помещений и на одном занятии могут находиться разные группы. Задача составления учебного является NP-полной задачей [1].

Применительно к этим задачам рассматриваются 3 подхода:

- алгоритм гармонического поиска (harmony search) [1];
- нелинейный алгоритм большого потопа (non-linear great deluge) [2];
- алгоритм спаривания пчел (honey-bee mating optimization) [3].

Данные подходы сравниваются и делаются выводы по целесообразности их применения в программных продуктах, автоматизирующих составление учебных расписаний вузов.

## Литература

1. *Al-Betar M.A., Khader A.T.* A harmony search algorithm for university course timetabling // *Annals of Operations Research*. 2012. V. 194, I. 1. P. 3-31.
2. *Obit J.H., Ouelhadj D., Landa-Silva D., Alfred R.* An Evolutionary Non-Linear Great Deluge Approach for Solving Course Timetabling Problems // *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*. July 2012. V. 9, I. 4. 1 p.
3. *Sabar N.R., Ayob M., Kendall G., Qu R.* A Honey-bee Mating Optimization Algorithm for Educational Timetabling Problems // *European Journal of Operational Research*. 2012. V. 216, I. 3. P. 533–543.

УДК 004.514

### Использование дополнительных возможностей оболочки Windows 7 в платформе 1С:Предприятие 8

М.О. Мухин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)  
delred@yandex.ru

Рассмотрены возможности по уведомлению пользователей и предоставлению быстрого доступа к часто используемому функционалу, появившиеся в ОС Windows 7.

Целью данной работы являлось изучение новых возможностей оболочки Windows 7, анализ возможностей их применения в платформе 1С:Предприятие и экспериментальная реализация механизма их использования прикладными разработчиками.

Основным направлением исследования стала возможность влиять на поведение значка приложения на панели задач при различных сценариях работы приложения, а также выводить на него дополнительную информацию.

Windows 7 предоставляет возможность группировки нескольких запущенных копий одного приложения под один значок на панели задач. За это отвечает значение системного параметра, которое можно динамически менять при работе приложения. Приложения с одинаковым параметром группируются в один значок. Было решено использовать это новшество в платформе 1С, так как объединение всех запущенных конфигураций (программных решений, разрабатываемых на платформе 1С) под один значок 1С:Предприятие дает возможность удобного предпросмотра всех рабочих конфигураций при наведении на него курсора.

Заметным нововведением стала возможность выводить поверх значка приложения на панели задач небольшую иконку (в нижнем правом углу). Было решено предоставить такую возможность и разработчикам конфигураций 1С с целью оповещения пользователей о важных событиях. Пример возможного использования: вывод иконки конверта при получении нового сообщения в конфигурации «Документооборот» (прикладное решение на базе 1С:Предприятие, позволяющее в том числе осуществлять прием и отправку писем).

Также появилось меню-список, вызываемое при нажатии правой кнопкой мыши на значок приложения на панели задач, называемое «Jump List» или «Список переходов». Причем, если приложение закреплено на панели задач, но не запущено, список переходов все также доступен. Jump List предназначен для размещения там ссылок на файлы (элементы), открываемые приложением, а также задач, которые может выполнять приложение. При выборе элемента списка запускается новая копия приложения, которой передаются соответствующие аргументы командной

строки. Элементы могут размещаться в нескольких категориях: «Последние» или «Часто используемые». За логику размещения элементов в этих категориях отвечает сам Windows. Есть возможность создавать собственные категории и закреплять элементы, перенося их в категорию «Закрепленные». Было решено использовать Jump List в платформе 1С, где будет отображаться категория «Последние», куда в автоматическом режиме поместятся ссылки на последние открытые конфигурации. Отображение такого списка в Jump List позволит открывать требуемое прикладное решение с единого значка в панели задач без предварительного запуска платформы (если приложение было предварительно там закреплено).

Интересным нововведением стала область предпросмотра окна приложения, которое появляется при наведении курсора на значок приложения на панели задач, под которым есть возможность разместить до 7 кнопок, привязанных к конкретному окну. Есть возможность динамически изменять кнопки, скрывать их (но не менять их количество). Было решено предоставить возможность добавлять и изменять данные кнопки прикладным разработчикам конфигураций 1С с целью упрощения доступа к часто используемому функционалу. Пример возможного использования: кнопки «Написать письмо» и «Проверить почту» в конфигурации «Документооборот». Это позволит выполнять данные действия без предварительного открытия вкладок в конфигурации, где размещен соответствующий функционал.

Таким образом, использование новых возможностей оболочки Windows 7 в платформе 1С:Предприятие призвано решить проблему своевременного и удобного оповещения пользователя о важных событиях в работе конфигурации, а также предоставить более быстрый доступ к часто используемому функционалу.

### Литература

1. MSDN: Taskbar Extensions <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd378460%28v=vs.85%29.aspx>
2. Take advantage of the Taskbar features in Windows 7 <http://www.techrepublic.com/blog/windows-and-office/take-advantage-of-the-taskbar-features-in-windows-7>
3. Списки переходов <http://windows.microsoft.com/ru-ru/windows7/products/features/jump-lists>



Научное издание

## Труды

**57-й научной конференции МФТИ  
с международным участием,  
посвященной 120-летию со дня рождения  
П. Л. Капицы**

Всероссийской научной конференции с международным участием  
«Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики»

Всероссийской молодежной научной конференции  
с международным участием  
«Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном  
информационном обществе»  
24–29 ноября 2014 года

Инновации и высокие технологии

Составители:

*А.Б. Дайняк, Д.В. Самиров*

Редакторы:

*В.А. Дружинина, И.А. Волкова, О.П. Котова, Л.В. Себова*

Набор и вёрстка:

*Д.М. Казённова, Е.А. Казённова, Н.Е. Кобзева, П.В. Колмаков, Е.В. Пруцкова,  
А.В. Рожнев*

Подписано в печать 14.11.2014. Формат 60 × 84 1/8.  
Усл. печ. л. 11,25. Уч.-изд. л. 9,25. Тираж 45 экз. Заказ № 416.

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Московский физико-технический институт  
(государственный университет)»

141707, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9  
E-mail: rio@mail.mipt.ru

---

Отдел оперативной полиграфии «ФИЗТЕХ-ПОЛИГРАФ»  
141707, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9  
E-mail: polygraph@mipt.ru  
тел. (495)408-84-30