

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.077.05  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ ПЕРЕДАЧИ  
ИНФОРМАЦИИ им. А. А. ХАРКЕВИЧА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета  
от «15» апреля 2019 года, протокол № 45

О присуждении Ершову Егору Ивановичу учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Быстрое преобразование Хафа как инструмент анализа двумерных и трехмерных изображений в задачах поиска прямых и линейной кластеризации» по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики (физико-математические науки), принята к защите 04 февраля 2019 года, протокол № 43, диссертационным советом Д 002.077.05 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук (127051, Москва, Б. Каретный пер., 19, строение 1, приказ о создании диссертационного совета от «10» июля 2015 года № 784/нк).

Соискатель Ершов Егор Иванович, гражданин Российской Федерации 1990 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», в 2018 году закончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)». Работает младшим

научным сотрудником в лаборатории №11 «Зрительные системы» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории №11 «Зрительные системы» Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук.

**Научный руководитель** – кандидат физико-математических наук Николаев Дмитрий Петрович, заместитель директора по научной работе Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук (далее ИППИ РАН).

**Официальные оппоненты:**

1. Визильтер Юрий Валентинович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор РАН, начальник подразделения Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»,
2. Фараджев Игорь Александрович, гражданин РФ, кандидат физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Института системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН)

дали *положительные* отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** – Институт систем обработки изображений РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук (далее ИСОИ РАН) — в своём *положительном* отзыве, подписанном доктором технических наук, заведующим лабораторией математических методов обработки изображений Сергеевым Владиславом Викторовичем, указала, что результаты и выводы диссертации могут быть использованы в научно-практической работе в таких институтах Российской академии наук как

Институт систем обработки изображений, Институт вычислительной математики имени Г. И. Марчука, Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша РАН, Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук, Вычислительный центр имени А. А. Дородницына РАН, Институт проблем информатики Российской Академии наук, Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации и других организациях для создания алгоритмов обработки изображений и систем технического зрения, а также выступать в учреждениях образования таких как Самарский государственный университет, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», «МИРЭА — Российский технологический университет», Московской государственной академии наук имени М. В. Ломоносова, Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» и других в качестве методического материала для курса по тематике анализа и обработки изображений.

Материалы диссертации, автореферат и отзыв обсуждались на Учёном совете ИСОИ РАН — филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН «20» марта 2019г., протокол №3.

Соискатель имеет 38 опубликованных работ, из них 9 по теме диссертации общим объёмом 89 страниц (вклад соискателя 61 страница), в том числе 3 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, включённых в перечень изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Соискателем опубликовано 6 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов. Представленные в совместных публикациях результаты диссертации получены автором самостоятельно.

Постановка задач и обсуждение результатов проводилось совместно с научным руководителем.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Ershov E. I., Terekhin A. P., Nikolaev D. P. Generalization of the Fast Hough Transform for Three-Dimensional Images // Journal of Communications Technology and Electronics. — 2018. — Vol. 63, no. 6. — P. 626—636
2. Асватов Е. Н., Ершов Е. И., Николаев Д. П. Робастная ортогональная линейная регрессия для маломерных гистограмм // Сенсорные системы. — 2017. — Т. 31, № 4. — С. 331—342.
3. Ершов Е. И. Алгоритм бинарной линейной кластеризации маломерных гистограмм // Сенсорные системы. — 2017. — Т. 31, № 3. — С. 261—269.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, включая отзывы официальных оппонентов и ведущей организации, каждый из которых содержит положительную оценку работы Ершова Е.И. и вывод о её соответствии требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к кандидатским диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

В отзыве ведущей организации сделаны следующие замечания, которые не оказывают влияния на общую положительную оценку работы, а именно:

1. Как отмечено в диссертации, дискретное преобразование Радона может быть вычислено с использованием быстрого преобразование Фурье (БПФ), такой подход породил целую группу быстрых алгоритмов. Они изложены, к примеру, в книге В. Г. Лабунца “Алгебраическая теория сигналов и систем”. Несмотря на это, в работе не рассмотрен вопрос связи между БПХ и дискретным преобразованием Радона, вычисляемым с помощью БПФ.

2. Во второй главе рассматривается и теоретически обосновывается задача поиска прямой на изображении. Однако вопрос одновременной детекции множества прямых в диссертации не рассмотрен.
3. Демонстрация работы метода быстрого линейного разделения гистограммы, изложенного в третьей главе, осуществляется на примере смеси двух гауссовских нормальных распределений, в то время как конкретные примеры практического применения метода не рассмотрены.
4. В работе имеется незначительное количество опечаток.

В отзыве официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора РАН Визильтера Юрия Валентиновича в качестве замечаний по содержанию и оформлению данной работы указываются следующие.

1. Рассматриваемые в работе алгоритмы правильнее было бы называть алгоритмами вычисления дискретного преобразования Радона, а не преобразования Хафа, поскольку преобразование Хафа подразумевает не только использование определённого выходного параметризованного пространства гипотез, но и механизм статистического голосования информативных элементов изображения в пользу этих гипотез по принципу «снизу-вверх». Заметим, что в некоторых из рассматриваемых автором задач (например, в третьей главе) интересно было бы рассмотреть именно не Радон-подобные, а Хаф-подобные алгоритмы (скажем, голосование пар точек как диполей разных классов в пользу разделяющей плоскости), но такие алгоритмы в работе не рассматриваются.

2. В первой главе желательно было бы прояснить вопрос о 3-полноте полной системы диадических плоскостей.

3. Во второй главе диссертации при описании зависимости размера носителя ядра свёртки от характеристик аддитивного шума не рассматривается влияние распределения ортотропной ошибки вдоль диадического паттерна. Желательно было бы такой вопрос рассмотреть.

4. Вообще подход, развиваемый автором, настолько потенциально богат, что сразу напрашиваются различные варианты обобщений и модификаций полученных в работе результатов. В частности, крайне интересно было бы исследовать алгоритмы таких преобразований с точки зрения свойств порождающего паттерна. Если сравнить алгоритмы на основе диадических паттернов и остатковые алгоритмы (типа алгоритмов Брезенхема), то можно показать, что классы порождаемых алгоритмов будут различными. Т.е. свойства порождаемых алгоритмов, видимо, могут быть напрямую выражены через геометрические свойства порождающих паттернов. Причём аналогичные исследования можно произвести не только применительно к прямым/плоскостям, но и применительно к другим семействам кривых и поверхностей (в духе обобщённых и модифицированных преобразований Хафа, развитых Баллардом и Дэвисом).

5. В теоретическом плане возникает вопрос о том, как диадические прямые связаны с диадическими плоскостями. С одной стороны, интересно было бы исследовать, какие аналоги геометрических свойств непрерывных линейных многообразий сохраняются после их представления дискретными паттернами. С другой стороны, это важно в свете упомянутой выше связи между геометрией опорных паттернов и свойствами порождаемых дискретных преобразований. В частности, относительно диадических паттернов желательно было бы прояснить следующее: как соотносятся объединение всех компланарных диадических прямых и соответствующая диадическая плоскость.

6. Также представляется, что в рамках развиваемого подхода можно использовать учёт структуры разброса диадического паттерна для улучшения точности вычисляемых М-оценок за счёт взвешенного усреднения измерений по ортогональным отклонениям элементов ДП.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

В отзыве официального оппонента кандидата физико-математических наук Фараджева Игоря Александровича указаны следующие недостатки.

1. Диссертация перегружена формализмами (десятки определений и утверждений, многоярусная индексация). На мой взгляд, основные результаты могли быть получены с использованием более прозрачного математического аппарата, как это и сделано в публикациях.
2. Все приведённые в работе результаты получены для изображения с размером стороны равным степени двойки. Я думаю, что изучение структуры диадического паттерна для других размеров изображения и влияния её изменения на свойства методов, использующих БПХ (ТБПХ), представляет отдельный научный интерес.
3. В главе 3 предложенные методы разделения двух- и трёхмерных гистограмм гиперплоскостями сравниваются только с методами, основанными на обобщениях бинаризации Оцу. На мой взгляд, интереснее было бы сравнение с классическими методами, например Вапника-Червоненкиса.
4. Несмотря на то, что в целом диссертация написана грамотно и автор показал хорошее владение русским языком, в работе содержатся огрехи (сделано 11 замечаний).

Тем не менее, указанные замечания не снижают научную и практическую ценность проведённого исследования.

Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук доцента кафедры математических основ управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» Гасникова Александра Владимировича замечаний не содержит.

В отзыве на автореферат главного научного сотрудника Публичного акционерного общества «ИНЭУМ им. И.С.Брука» доктора технических наук, профессора Парамонова Николая Борисовича содержится замечание:

- К недостаткам работы можно отнести то, что хотя Ершов Е.И. получил теоретические оценки вычислительной сложности предложенного алгоритма, им не были проведены экспериментальные исследования скорости выполнения программы на существующих программно-аппаратных платформах. Указанный недостаток не влияет на положительную оценку полученных результатов.

В отзыве на автореферат заведующего кафедрой «Электронных вычислительных машин» РГРТУ Бориса Васильевича Кострова содержится замечание:

- К недостаткам диссертации стоит отнести недостаточную детализацию численных исследований предложенных во второй и третьей главах алгоритмов при решении реальных практических задач и слишком краткое изложение сведений о внедрении результатов работы. Тем не менее, указанное замечание не снижает научную ценность проведённого исследования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в исследуемой области, что подтверждается научными публикациями и патентами.

Доктор физико-математических наук, профессор РАН Юрий Валентинович Визильтер является авторитетным специалистом в области анализа и обработки изображений и создания систем технического зрения, автором множества научных работ в высокорейтинговых журналах. Кандидат физико-математических наук, доцент Фараджев Игорь Александрович является признанным специалистом в дискретной математике, анализе и обработке изображений, автором множества научных работ в рецензируемых журналах. Ведущая организация Институт Систем Обработки Изображений РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и Фотоника» Российской академии



наук» выполняет теоретические и прикладные исследования в области анализа и обработки изображений, результаты которых публикуются в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **предложено** теоретически обоснованное аналитическое (а не рекуррентное, как ранее) выражение для координат диадического паттерна; установлена зависимость оценки его ортогональной ошибки аппроксимации геометрической прямой от размера изображения, а также **доказано**, что система ДП (набор паттернов, суммации по которым составляют БПХ) покрывает все пары пикселей изображения; **получены** оценки на верхние и нижние границы максимальной ортогональной ошибки аппроксимации для диадических паттернов, плоскостей и прямых; **предложен** подход к исследованию алгоритмов таких преобразований как ПХ с точки зрения свойств порождающего паттерна; **предложены** алгоритмы БПХ для трёхмерных изображений, позволяющие производить быстрые вычисления сумм по всем дискретным диадическим прямым и плоскостям трёхмерного изображения; для первого асимптотическая сложность не может быть уменьшена; **предложены** и исследованы методы приближенного вычисления М-оценок с использованием БПХ в задаче ортогональной линейной регрессии для двумерных и трёхмерных изображений и линейной бинарной кластеризации с помощью БПХ для обобщённого метода глобальной бинаризации Оцу.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что: **изложенные** результаты диссертационной работы позволяют проектировать алгоритмы обработки изображений с известными свойствами, а также устанавливать точностные свойства уже известных алгоритмов.

Для этого **доказаны** утверждение о центральной симметричности ортотропной ошибки аппроксимации диадического паттерна; теоремы о полноте системы диадических паттернов и диадических прямых в трёхмерном изображении, что

являются существенным в области обработки изображений для дальнейших исследований, учитывающих изменение свойств объектов при переходе от непрерывного случая к дискретному; утверждение о том, что Хаф-образы основных систем диадических плоскостей и прямых вычисляются с помощью предложенных в работе алгоритмов трёхмерного быстрого преобразования Хафа для плоскостей и прямых соответственно; три утверждения о верхней границе на мощность симметрического расширения системы диадических паттернов, плоскостей и прямых.

**Раскрыты** новые вопросы о связи диадических прямых и диадических плоскостей и о соотношении объединения всех компланарных диадических прямых и соответствующей диадической плоскости.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что: разработанные методы пригодны для применения в бортовых системах технического зрения (СТЗ). В частности, при разработке программного обеспечения СТЗ автономных летательных аппаратов, где обработку поступающих видеоизображений требуется вести в реальном времени при жёстких ограничениях на используемые вычислительные ресурсы. Также предложенный метод детекции прямых используется в проекте компании ООО «Визиллект Сервис» по созданию беспилотного автобуса для детекции дорожной разметки, а предложенный метод линейной бинарной кластеризации используется в проекте по созданию визуального классификатора проезжающих транспортных средств для фильтрации ложных проездов путём кластеризации на гистограмме срабатываний детектора колёс, что подтверждено соответствующими актами.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила, что результаты получены соискателем с использованием строгого математического аппарата, в частности теории вычислительной оптимизации, математической статистики, математического анализа и дискретной математики. Полученные диссертантом результаты согласуются с результатами, полученными другими

исследователями.

Основные результаты работы докладывались на научных семинарах и 6 профильных международных конференциях, из которых одна – российская, а остальные – зарубежные, и опубликованы в 3 статьях в журналах из перечня ВАК, 1 из которых индексируется системой Web of Science.

Личный вклад соискателя состоит в: включённом участии на всех этапах процесса. Все результаты диссертации, вынесенные на защиту, получены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем. Численные сравнения методов поиска прямых и теоретическое обоснование максимальной ортотропной ошибки аппроксимации диадическим паттерном производились совместно с соавторами публикаций, но эти результаты не являются основными и не выносятся на защиту.

Представленная Ершовым Егором Ивановичем диссертация отвечает паспорту специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики в части пункта 5 «Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений».

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача разработки и исследования алгоритмов быстрого преобразования Хафа, а также способов его применения в задачах анализа изображений, имеющая значения для изучения теоретических основ Хаф-анализа изображений и разработки новых методов технического зрения.

По актуальности, новизне, теоретической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства

Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 15 апреля 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Ершову Егору Ивановичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

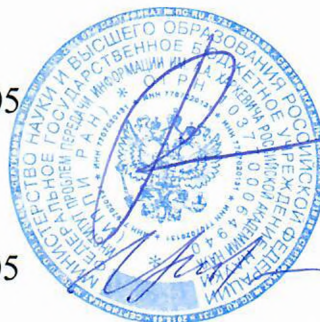
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 26 человек, из них 4 доктора наук по специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 36 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 26, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета Д 002.077.05

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.077.05



Кулешов А.П.

Цитович И.И.

15 апреля 2019 г.