

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.08, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 28 декабря 2017 года публичной защиты диссертации Хаустова Павла Александровича «Алгоритмы распознавания рукописных символов в условиях малой обучающей выборки» по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Присутствовали 18 из 21 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей:

1. Поддубный В. В., доктор технических наук, профессор, председатель диссертационного совета, 05.13.18 (технические науки),
2. Сущенко С. П., доктор технических наук, профессор, заместитель председателя диссертационного совета, 05.13.11 (технические науки),
3. Скворцов А. В., доктор технических наук, профессор, учёный секретарь диссертационного совета, 05.13.11 (технические науки),
4. Горцев А. М., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки)
5. Горчаков Л. В., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18 (физико-математические науки)
6. Дмитриев Ю. Г., доктор физико-математических наук, доцент, 05.13.18 (физико-математические науки)
7. Домбровский В. В., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки)
8. Змеев О. А., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки)
9. Кистенев Ю. В., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18 (физико-математические науки)
10. Костюк Ю. Л., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки)
11. Кошкин Г. М., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18 (физико-математические науки)
12. Лившиц К. И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки)
13. Матросова А. Ю., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки)
14. Нагорский П. М., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, 05.13.18 (физико-математические науки)

15. Назаров А. А., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки)

16. Смагин В. И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18 (технические науки)

17. Тарасенко В. Ф., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки)

18. Янковская А. Е., доктор технических наук, профессор, 05.13.11 (технические науки)

**Заседание провёл председатель диссертационного совета доктор технических наук, профессор Поддубный Василий Васильевич.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить П. А. Хаустову учёную степень кандидата технических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.08,  
созданного на базе федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»  
Министерства образования и науки Российской Федерации,  
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_**

решение диссертационного совета от 28.12.2017 № 182

О присуждении **Хаустову Павлу Александровичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Алгоритмы распознавания рукописных символов в условиях малой обучающей выборки»** по специальности **05.13.11** – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей принята к защите 19.10.2017 (протокол заседания № 181) диссертационным советом **Д 212.267.08**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 937-648 от 23.05.2008).

Соискатель **Хаустов Павел Александрович**, 1990 года рождения.

В 2013 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2016 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Работает в должности ассистента кафедры информационных систем и технологий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре информационных систем и технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, **Спицын Владимир Григорьевич**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра информационных систем и технологий, профессор.

Официальные оппоненты:

**Белим Сергей Викторович**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского», кафедра информационной безопасности, заведующий кафедрой

**Костюченко Евгений Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева**», г. Красноярск, в своём положительном отзыве, подписанном **Семенкиным Евгением Станиславовичем** (доктор технических наук, профессор, кафедра системного анализа и исследования операций, профессор) указала, что задача распознавания рукописных текстов активно исследуется в течение многих лет, и современные методы её решения преимущественно основаны на применении систем машинного обучения. Такие методы требуют наличия объёмных обучающих выборок, что затрудняет их применение в случаях, когда подготовить такие выборки

не представляется возможным. Описанные П. А. Хаустовым в диссертационной работе алгоритмические и программные средства позволяют эффективно решать задачу распознавания рукописных символов в условиях малой обучающей выборки, когда применение универсальных подходов на основе признаков классификаторов существенно осложняется. Предложенная автором структурная модель символа может применяться в ранее разработанных алгоритмах распознавания символов, а предложенный им критерий схожести структурных моделей может быть использован для других типов моделей. Результаты работы представляют существенный практический интерес и могут быть рекомендованы к использованию в организациях, разрабатывающих системы распознавания рукописного текста, анализа особенностей почерка, идентификации подписи по единственному образцу и другие схожие системы, а также в научной работе и при организации учебного процесса в образовательных учреждениях, занимающихся вопросами компьютерного зрения и компьютерной геометрии.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ (из них 1 статья в журнале, индексируемом Scopus), получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, в электронном научном журнале опубликована 1 работа, в сборниках материалов международных научных и научно-практических конференций опубликовано 9 работ. Общий объём публикаций – 6,71 п.л., авторский вклад – 4,24 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук:

1. **Хаустов П. А.** Алгоритмы распознавания рукописных символов на основе построения структурных моделей / П. А. Хаустов // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 67–78. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-67-78. – 1,3 п.л.

*Scopus:* **Khaustov P. A.** Algorithms for handwritten character recognition based on constructing structural models / P. A. Khaustov // Computer Optics. – 2017. – Vol. 41, is. 1. – P. 67–78. – DOI : 10.18287/2412-6179-2017-41-1-67-78

2. **Хаустов П. А.** Разработка системы оптического распознавания символов на основе совместного применения вероятностной нейронной сети и вейвлет-преобразования / П. А. Хаустов, Д. С. Григорьев, В. Г. Спицын // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323, № 5. – С. 101–105. – 0,65 / 0,22 п.л.

3. Григорьев Д. С. Улучшение качества метода оптического распознавания текстов с помощью совместного применения вейвлет-преобразований, курвлет-преобразований и алгоритмов словарного поиска / Д. С. Григорьев, **П. А. Хаустов**, В. Г. Спицын // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323, № 5. – С. 106–111. – 0,75 / 0,25 п.л.

4. **Хаустов П. А.** Генетический алгоритм поиска множества кривых для оптического распознавания символов с использованием метода пересечений [Электронный ресурс] / П. А. Хаустов, В. Г. Спицын, Е. И. Максимова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – 7 с. – URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/6/541.pdf> (дата обращения: 01.04.2017). – 0,54 / 0,18 п.л.

5. **Хаустов П. А.** Алгоритм сегментации рукописного текста на основе построения структурных моделей / П. А. Хаустов // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 4, ч. 1. – С. 88–93. – 0,7 п.л.

На автореферат поступило 9 положительных отзывов. Отзывы предоставили: 1. **М. Э. Рояк**, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры прикладной математики Новосибирского государственного технического университета, *с замечаниями* об отсутствии информации об оценке эффективности разработанных алгоритмов при обработке символов с дефектным начертанием; о слабом отражении вопросов программной реализации разработанных алгоритмов. 2. **А. А. Рубан**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры прикладной математики и кибернетики Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Новосибирск, *с замечаниями* о необходимости оценки улучшения быстродействия в результате кеширования значений функции динамического программирования; о целесообразности оценки насколько выше качество распознавания алгоритмов на основе максимального паросочетания минимального веса по сравнению с аналогичным жадным алгоритмом. 3. **Е. Н. Крючкова**, канд. физ.-мат. наук, доц.,

профессор кафедры прикладной математики Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, *с замечаниями* об отсутствии исследования возможности разработки адаптивного варианта предлагаемого алгоритма; об отсутствии обоснования использования в качестве меры различия двух композитных рёбер площади, заключенной между ними, об отсутствии обоснования весового коэффициента, равного удвоенному минимальному весу инцидентного вершине ребра. 4. **С. В. Панин**, д-р техн. наук, проф., заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией механики полимерных композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, и **В. В. Титков**, канд. техн. наук, младший научный работник лаборатории механики полимерных композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, *с замечаниями* первый пункт задач очевиден, поэтому его не следовало выделять как отдельную задачу; при формулировании положений, выносимых на защиту, было бы более корректно защищать сами алгоритмы, а не тот факт, что они предложены; не совсем понятно, чем обоснован выбор порога при классификации точек на ключевые и изгибы величиной 120 градусов; в тексте автореферата отсутствуют ссылки на некоторые рисунки и таблицы; рисунки 1–7 слишком малого размера. 5. **А. М. Кориков**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, *с замечанием* об отсутствии информации о размере обучающей выборки, при которых предложенные алгоритмы уступают признаковым классификаторам. 6. **М. П. Шлеймович**, канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, *с замечаниями* об отсутствии обоснования выбора алгоритмов предварительной обработки входного изображения; о недостаточном описании в автореферате содержания третьей главы. 7. **Ю. Н. Матвеев**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой речевых информационных систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, *с замечаниями*: из описания предложенного алгоритма

скелетизации не ясно, на каком этапе применяется операция закраски пикселей для удаления плоских окончаний элементов; об отсутствии объяснения причин выбора автором размера шаблонов; о необходимости исследования влияния разрешения изображения символа на качество построения его структурной модели.

8. **В. Л. Розалиев**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета и **М. В. Щербаков**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета, *с замечаниями*: в автореферате отсутствует полный перечень разработанного программного обеспечения; при проведении экспериментальной части работы основное внимание нужно было уделить задачам, где выборка действительно уникальна и возможности ее расширения практически отсутствуют; также стоило показать, насколько будут различаться размеры обучающих выборок при применении сверточных нейронных сетей и методов данной работы при одинаковой точности распознавания. 9. **В. Г. Тарасов**, канд. техн. наук, проф., профессор кафедры «Программное обеспечение» Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова, *с замечанием* об отсутствии исследования возможности комитетного применения предложенных критериев схожести структурных моделей символов.

В отзывах отмечается, что актуальность темы диссертации диктуется потребностями технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения при автоматизации обработки исторических документов, идентификации подписей и систем учета в бизнесе, конвертации документов в электронный вид. Автором предложена собственная структурная модель символа, разработан и реализован алгоритм её построения, выбраны критерии схожести структурных моделей символов, разработан программный комплекс для проведения сравнительного анализа результатов работы предложенных алгоритмов с существующими аналогами. Главным преимуществом предложенного автором алгоритма распознавания символом перед большинством аналогов является то, что он



способен функционировать в условиях малой обучающей выборки. Эффективность описанных в работе алгоритмов подтверждена рядом вычислительных экспериментов с использованием нескольких наборов тестовых данных. Разработанные методы и алгоритмы применимы для решения многих задач, связанных с анализом бинарных изображений: классификации отпечатков пальцев, идентификации почерка, проверки подписей на подлинность и других схожих задач.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организацией обосновывается тем, что **С. В. Белим** является авторитетным учёным в области анализа изображений; **Е. Ю. Костюченко** является высококвалифицированным специалистом в области компьютерного зрения; на базе **Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева** работает научная школа по эволюционным и адаптивным методам моделирования и оптимизации сложных систем.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*предложен* алгоритм скелетизации на основе комбинированного подхода с применением операции предварительного устранения плоских окончаний начертания символа и алгоритмов скелетизации Зонга-Суня и Ву-Цая, позволяющий получить скелетизированное представление начертания символа без удаления его важных элементов;

*предложена* новая структурная модель символа, которая позволяет описать топологию и геометрическую форму его начертания путём обобщения схожих по форме представления рёбер;

*предложен* алгоритм построения структурной модели символа по его исходному начертанию, отличающийся отсутствием необходимости применения дополнительных итераций алгоритма Ли для определения геометрических характеристик выделенных структурных составляющих;

*предложен* оригинальный критерий схожести структурных моделей символов, позволяющий существенно повысить точность распознавания символов в условиях малой обучающей выборки;

*предложен* оригинальный алгоритм сегментации рукописного текста, позволяющий решать задачу сегментации в условиях малой обучающей выборки с высокой устойчивостью по отношению к наклону символов.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*разработанные в диссертационной работе алгоритмы* позволяют расширить теорию применения графовых моделей и методов компьютерной геометрии для решения задач теории компьютерного зрения: распознавания отпечатков пальцев, идентификации почерка, проверки подписей на подлинность и др.;

*предложенная* структурная модель символа может применяться в уже существующих алгоритмах распознавания символов. Аналогично предложенный критерий схожести может быть использован для других структурных моделей символов.

**Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:**

*предложенные алгоритмы и программное обеспечение* позволяют эффективно решать задачу распознавания символов в условиях малого количества эталонных изображений, которые могут возникнуть при обработке бланков аттестации из-за необходимости учета индивидуальных особенностей почерка или при извлечении текстовой информации из отсканированного изображения, где используется авторский шрифт, существенно отличающийся от общеизвестных;

*предложенную структурную модель символа* можно дополнить информацией о толщине линий и порядке выполнения графических элементов, в результате чего она может быть успешно применена для идентификации пользователя по рукописной подписи.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Результаты могут быть использованы в организациях, которые разрабатывают системы распознавания рукописного текста, анализа особенностей почерка, идентификации подписи по единственному образцу и другие схожие системы; в учебном процессе при проведении лабораторных занятий в рамках курсов, таких как «Компьютерное зрение», «Интеллектуальные системы обработки изображений», «Анализ данных» и др.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*корректность* используемых методов исследования и методов обработки полученных результатов, подтвержденную результатами вычислительных экспериментов с использованием различных наборов данных и стандартных тестов для оценки качества распознавания символов;

*согласованность* результатов работы с результатами, полученными другими авторами.

**Научная новизна результатов исследования заключается в том, что:**

*предложен* алгоритм скелетизации бинарных изображений символов на основе комбинированного подхода с применением операции предварительного устранения плоских окончаний начертания символа и алгоритмов скелетизации Зонга-Суня и Ву-Цая, обладающий высоким быстродействием и позволяющий получить скелетизированное представление начертания символа без удаления таких его важных элементов, как скошенные угловые элементы, закругления, засечки, декоративные элементы начертания;

*предложена* новая структурная модель символа, отличающаяся от известных графовых моделей принципом разделения ключевых точек и изгибов, группировкой соединяющих рёбер в композитные, дополнительными метками точек и рёбер, позволяющая описать топологию и геометрическую форму его начертания за счёт обобщения схожих по форме представления рёбер;

*предложен* алгоритм построения структурной модели символа, позволяющий выделить структурные составляющие его начертания (ключевые точки, изгибы, соединяющие и композитные рёбра), отличающийся от известных отсутствием необходимости применения дополнительных итераций алгоритма Ли для определения геометрических характеристик выделенных структурных составляющих;

*предложен* оригинальный критерий схожести структурных моделей символов, отличающийся от аналогов применением перехода от геометрического представления моделей к задаче нахождения максимального паросочетания наименьшего веса, позволяющий существенно повысить точность распознавания символов в условиях малой обучающей выборки;

*предложен* оригинальный алгоритм сегментации рукописного текста в условиях малой обучающей выборки, отличающийся от аналогов высокой устойчивостью по отношению к наклону символов и отсутствием необходимости использования изображений лигатур для настройки.

**Личный вклад соискателя состоит в:** самостоятельном получении результатов исследования, проведении экспериментов и анализе их результатов, подготовке публикаций и личном участии в апробации работы.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении учёных степеней, установленным для диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения о присуждении учёных степеней, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи распознавания рукописных символов в условиях малой обучающей выборки, имеющей значение для развития теории компьютерного зрения.

На заседании 28.12.2017 диссертационный совет принял решение присудить **Хаустову П. А.** учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета

Поддубный Василий Васильевич

Учёный секретарь

диссертационного совета



Скворцов Алексей Владимирович

28.12.2017