

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.01,
созданного на базе Федерального государственного учреждения
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), по диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело №_____
решение диссертационного совета от 6 июня 2023 №11

О присуждении Шешкусу Александру Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Использование преобразования Хафа в качестве слоя нейронной сети» по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 14 февраля 2023 г., протокол № 1, диссертационным советом 24.1.224.01 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 747/нк от 22 июня 2016 г.

Соискатель Шешкус Александр Владимирович, 1986 года рождения, в 2011 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по направлению подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика. С 2011 по 2014 гг. обучался в очной аспирантуре Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» по направлению подготовки 05.13.11. «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» и сдал кандидатские экзамены по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование,

численные методы и комплексы программ». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2023 г. Федеральным государственным учреждением «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

В период подготовки диссертации соискатель Шешкус Александр Владимирович работал в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (основное место работы) в должности ведущего программиста с 2018 года, научного сотрудника с 2020 года, а также участвовал в качестве исполнителя в научных грантах, выполняемых на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

Диссертация выполнена в отделе 92 Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Николаев Дмитрий Петрович, заместитель директора по научной работе в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

1. Никоноров Артем Владимирович, доктор технических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник института систем обработки изображений Российской академии наук (ИСОИ РАН) - филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук».

Отзыв оппонента **положительный**, имеются следующие замечания по диссертации:

- 1) Одной из заявленных задач исследования является повышение эффективности нейросетей посредством уменьшения числа операций, при этом сравнение времени работы нейросетевых моделей не приводится.
- 2) В разделе 4.2.1 приводится сравнение предложенного решения с известными ранее алгоритмами, использующими преобразование Радона но не представлено их описание.
- 3) Предложенные архитектуры нейронных сетей со слоями Хафа безусловно интересны, но возникает несколько вопросов, пояснения на которые отсутствуют в тексте, а именно:
 - в архитектуре сверточной сети используются свертки размера 5*5, как это влияет на устойчивость обучения?
 - хафэнкодер сравнивается с сетью U-Net, не ясно, как на это сравнение влияют кросс-связи U-Net.
- 4) В разделе 3.6 описывается возможность переноса знаний в архитектурах со слоями Хафа, однако не вполне ясно позиционирование предлагаемого подхода по отношению к устоявшейся технологии transfer learning и доменной адаптации.

- 5) В тексте присутствуют технические погрешности, в частности: не все формулы в диссертации полностью описаны: для формулы 2.1 не объяснены величины k_i , R_{i,s_i} , a_i и f_i ;
- не все понятия вводятся последовательно, например, функция softsign используется, начиная со страницы 65, а введена со страницы 105.

2. Шоломов Дмитрий Львович, кандидат технических наук, руководитель отдела машинного обучения акционерного общества «Когнитив».

Отзыв оппонента **положительный**, имеются следующие замечания по диссертации:

- 1) Обзор литературы довольно краток, хотя и покрывает все необходимые аспекты исследования. Работа выиграла бы от более развернутой обзорной части.

2) Градиенты для предложенных слоев не приведены в диссертации в явной форме.

3) В тексте диссертации в существенном количестве присутствуют грамматические ошибки и опечатки.

Ведущая организация – Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» – в своем положительном заключении, подписанным Орловым Юрием Николаевичем, доктором физико-математических наук, заведующим отделом, главным научным сотрудником ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, и Бакановой Ниной Борисовной, доктором технических наук, ведущим научным сотрудником ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, указала, что «Диссертация Шешкуса А.В. является завершенной научно-квалификационной работой, посвященной исследованию свойств нейронных сетей, включающих слои прямого и транспонированного преобразований Хафа при решении прикладных задач машинного зрения. Работа соответствует требованиям раздела II Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения учёных степеней» (ред. от 26.07.2022), предъявляемых к кандидатским диссертациям, а также пунктам 2 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий», 3 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента», 7 «Качественные или аналитические методы исследования математических моделей (технические науки)» паспорта научной специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки), а ее автор, Шешкус Александр Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по данной специальности».

Замечания:

- 1) В таблице 1 диссертационной работы приведены показатели точности различных нейросетевых архитектур при наличии и отсутствии результатов преобразования Хафа, однако не приведена методика вычисления представленных в таблице значений. Можно предположить, о чём идет речь, исходя из того, что оценивается качество классификации, однако для ясности повествования стоило бы дать развернутое описание.
- 2) В тексте диссертации не разъяснены обозначения k_i , R_i , s_i , a_i , f_i , использованные в формуле (2.1).
- 3) Матрица оператора отражения C начинает использоваться в формулах до того, как в тексте вводятся обозначения данного оператора и его матрицы.
- 4) В работе присутствует некоторая путаница с использованием терминов внутренняя, внешняя, собственная и несобственная точка схода.»

Соискатель имеет 8 опубликованных научных работ по теме диссертации, в том числе 1 работа издана в журнале, рекомендованном ВАК РФ, 7 – в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Также получено 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент США. Недостоверных сведений об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, не обнаружено. Диссертация не нарушает п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Автор указал личный вклад в опубликованные с соавторами работы.

Наиболее значимые работы:

1. Шешкус А. В. Использование сверточных нейронных сетей в комбинации с преобразованием Хафа для классификации изображений с прямыми линиями // Труды ИСА РАН. — 2017. — Т. 67. — № 1. — С. 83-88.
2. A. V. Sheshkus and D. Nikolaev, “Transfer of a high-level knowledge in HoughNet neural network,” ICMV 2019, 11433 ed., Wolfgang Osten, Dmitry Nikolaev, Jianhong Zhou, Ed., Bellingham, Washington 98227-0010 USA, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Jan. 2020, vol.

11433, ISSN 0277-786X, ISBN 978-15-10636-44-6, vol. 11433, pp. 1143322-1-1143322-6, 2020, DOI: 10.1117/12.2559454.

3. A. V. Sheshkus, D. P. Nikolaev and V. L. Arlazarov, “Houghencoder: neural network architecture for document image semantic segmentation,” IEEE ICIP 2020, Washington, DC, United States, IEEE Computer Society, 2020, 704 pp., ISSN 1522-4880, ISBN 978-17-28163-96-3, pp. 1946-1950, 2020, DOI: 10.1109/ICIP40778.2020.9191182.
4. A. Sheshkus, A. Ingacheva and D. Nikolaev, “Vanishing Points Detection Using Combination of Fast Hough Transform and Deep Learning,” ICMV 2017, 10696 ed., Antanas Verikas, Petia Radeva, Dmitry Nikolaev, Jianhong Zhou, Ed., Bellingham, Washington 98227-0010 USA, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Apr. 2018, vol. 10696, 758 pp., ISBN 978-15-10619-41-8, vol. 10696, pp. 10696H1-10696H8, 2018, DOI: 10.1117/12.2310170.
5. A. Sheshkus, E. Limonova, D. Nikolaev and V. Krivtsov, “Combining Convolutional Neural Networks and Hough Transform for Classification of Images Containing Lines,” ICMV 2016, 10341 ed., Antanas Verikas, Petia Radeva, Dmitry P. Nikolaev, Wei Zhang, Jianhong Zhou, Ed., Bellingham, Washington 98227-0010 USA, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), July 2017, vol. 10341, ISSN 0277-786X, ISBN 978-15-10611-31-3, vol. 10341, pp. 103411C1-103411C5, 2017, DOI: 10.1117/12.2268717.
6. A. Sheshkus, A. Ingacheva, V. Arlazarov and D. Nikolaev, “HoughNet: neural network architecture for vanishing points detection,” ICDAR 2019, Manhattan, New York, U.S., The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Feb. 2020, ISSN 2379-2140, ISBN 978-17-28130-14-9, 8978201, pp. 844-849, 2020, DOI: 10.1109/ICDAR.2019.00140.
7. S. Ilyuhin, A. Sheshkus, V. Arlazarov and D. Nikolaev, “Hough Encoder for Machine Readable Zone Localization,” Pattern Recognit. Image Anal., vol. 32, no 4, pp. 793-802, 2022, DOI: 10.1134/S1054661822040150.

8. A. Sheshkus, A. Chirvonaya, D. Matveev, D. Nikolaev and V. L. Arlazarov, “Vanishing Point Detection with Direct and Transposed Fast Hough Transform inside the neural network,” *Computer Optics*, vol. 44, no 5, pp. 737-745, 2020, DOI: 10.18287/2412-6179-CO-676.

На автореферат поступило три положительных отзыва, которые подписали:

1. Курмаев Ринат Ханяфиевич, кандидат технических наук, доцент, директор научно-образовательного центра Государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного унитарного предприятия «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»». В качестве недостатков отмечается следующее:

- 1) На рисунке 9 не указаны значения, откладываемые по осям графиков, что затрудняет его понимание.
- 2) В тексте автореферата не приводится характеристика тестового набора данных, на котором тестировалась задача поиска точки схода в дорожных сценах. Это не позволяет сделать вывод о репрезентативности используемого набора данных и общности полученных результатов.

2. Швец Евгений Александрович, кандидат технических наук, директор по технологиям ИИ в ООО «Норд вижен интелледжанс ресерч». В тексте автореферата не было обнаружено существенных недостатков.

3. Зайцев Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории теоретической физики, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук (ИПТМ РАН). В автореферате не было обнаружено существенных недостатков. К незначительным замечаниям можно отнести то, что в автореферате отсутствует объяснение, почему сеть с преобразованием Радона значительно хуже по метрикам точности, чем сеть с преобразованием Хафа.

Имеется три заключения об использовании результатов диссертационных исследований А.В. Шешкуса, которые подписали:

1. Арлазаров Владимир Викторович, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Смарт Энджинс Сервис».
2. Новиков Руслан Вадимович, начальник управления Платежи департамента транзакционного розничного бизнеса ПАО «ВТБ».
3. Цыганов Вячеслав Владимирович, директор по информационным технологиям, заместитель председателя правления АО «Тинькофф Банк».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области распознавания образов и машинного зрения, методов математического моделирования и методов обработки изображений, что подтверждается их исследованиями и публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **Показано**, введение слоев прямого и транспонированного быстрого преобразования Хафа позволяет без увеличения числа обучаемых параметров использовать все входное изображение как рецептивное поле выходных нейронов. **Доказано**, что возможно построить быстрый транспонированный оператор для быстрого преобразования Хафа, работающий со сложностью $O(n^2 \log(n))$. **Разработана** архитектура Хафнет, с помощью которой можно построить конечную карту признаков, которую с помощью кучно-проективных преобразований можно отобразить в бесконечную плоскость, содержащую исходное изображение. Такой подход позволяет работать и с бесконечно удаленными точками. **Экспериментально подтверждено**, что предложенная архитектура Хафнет позволяет в задаче поиска внешних точек схода сократить ошибку на 20% по сравнению с инженерным алгоритмом. **Показано**, что при совместном использовании прямого и транспонированного преобразований Хафа в рамках одной нейросети можно построить автокодировщик Хафэнкодер, учитывающий интегральные признаки и

требующий дополнительных обучаемых параметров. **Показано**, что использование слоев преобразований Хафа позволяет значительно (в 100 раз) уменьшить число обучаемых параметров нейросети в задаче семантической сегментации. **Продемонстрировано**, что использование слоев Хафа позволяет с в 2 раза меньшей ошибкой решать задачу поиска внутренней точки сход, при этом добавив новое свойство сети: возможность успешно найти точку схода, даже если в локальной окрестности целевой точки нет релевантных признаков. Экспериментально **показано**, что при обучении блоков сверточных слоев, разделенных слоями преобразования Хафа, для решения задачи поиска точки схода накопление знаний о признаках, характерных для используемых выборок, происходит в первом блоке сверточном слоев, а дальнейшие блоки можно успешно применять к данным из другого домена. **Разработан** комплекс программ, позволяющий обучать и воспроизводить искусственные нейронные сети с эффективными реализациями слоев прямого и транспонированного преобразования Хафа.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- впервые **исследованы** трансформации рецептивного поля искусственной нейронной сети при добавлении в архитектуру слоев прямого и транспонированного быстрого преобразований Хафа и **показано**, что эффективность решения ряда задач машинного зрения зависит от рецептивного поля сети;
- впервые **предложена** архитектура нейронной сети со слоями прямого преобразования Хафа и **обоснован** метод ее использования для поиска внешней точки схода на изображении;
- впервые **предложена** архитектура нейронной сети со слоями прямого и транспонированного преобразования Хафа и **обоснован** метод ее использования для поиска внутренней точки схода на изображении и для решения задачи семантической сегментации;

- **показано** новое свойство, возникающее при переносе знаний для доменной адаптации - перенос знаний для высокоуровневых признаков.

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

- **показано**, что использование слоев преобразования Хафа позволяет эффективно учитывать интегральные признаки на изображении;
- **показано**, что использование слоев преобразования Хафа позволяет уменьшить число обучаемых параметров в нейросетевой модели и придать ей новые свойства;
- **разработан** проблемно-ориентированный комплекс программ для обучения и использования искусственных нейронных сетей с эффективными реализациями слоев прямого и транспонированного преобразований Хафа;
- **предложенные** архитектуры нейронных сетей с слоями прямого и транспонированного преобразования Хафа успешно применены для решения задач поиска внутренней и внешней точек схода, семантической сегментации изображений, а также в задаче переноса знаний (доменной адаптации).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- теоретические результаты обоснованы применением строгих математических методов;
- результаты численных экспериментов воспроизводимы и находятся в соответствии результатами других авторов;
- результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях и прошли апробацию на профильных научных конференциях и семинарах;
- разработанные методы используются на практике.

Личный вклад соискателя состоит в:

- формулировке теоретических утверждений;

- разработке метода обучения сети с предложенным новым слоем и новых архитектур;
- проведении численных экспериментов и обработке результатов;
- подготовке научных публикаций по полученным результатам;
- апробации результатов исследования.

Соискатель Шешкус А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, удовлетворившую авторов вопросов.

На заседании «6» июня 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013г., и принял решение присудить Шешкусу А.В. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи применения преобразования Хафа в глубоких нейронных сетях и обучения таких сетей.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 37 человек, из них 7 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 45 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 35, против присуждения ученой степени 2, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета 24.1.224.01
д.т.н., профессор, академик РАН

Ю.С. Попков

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.224.01
к.ф.-м.н., доцент

И.В. Смирнов

«06» июня 2023 г.

