

## **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 29 декабря 2016 года публичной защиты диссертации Калиновского Ильи Андреевича «Метод нейросетевого детектирования лиц в видеопотоке сверхвысокого разрешения» по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей на соискание ученой степени кандидата технических наук.

На заседании присутствовали 18 из 21 утверждённых членов диссертационного совета, в том числе 7 докторов технических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей:

1. Поддубный В.В., доктор технических наук, профессор, 05.13.18, председатель диссертационного совета
2. Сущенко С.П., доктор технических наук, профессор, 05.13.11, заместитель председателя диссертационного совета
3. Скворцов А.В., доктор технических наук, профессор, 05.13.11, ученый секретарь диссертационного совета
4. Горцев А.М., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
5. Горчаков Л.В., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18
6. Дмитриев Ю.Г., доктор физико-математических наук, доцент, 05.13.18
7. Замятин А.В., доктор технических наук, доцент, 05.13.11
8. Змеев О.А., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.11
9. Кистенёв Ю.В., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18
10. Костюк Ю.Л., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
11. Кошкин Г.М., доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18
12. Лившиц К.И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
13. Магросова А.Ю., доктор технических наук, профессор, 05.13.11
14. Нагорский П.М., доктор физико-математических наук, ст. науч. сотр., 05.13.18
15. Назаров А.А., доктор технических наук, профессор, 05.13.11
16. Смагин В.И., доктор технических наук, профессор, 05.13.18
17. Тарасенко В.Ф., доктор технических наук, профессор, 05.13.11
18. Янковская А.Е., доктор технических наук, профессор, 05.13.18

**Заседание провел 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 И.А. Калиновскому учёную степень кандидата технических наук.

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

решение диссертационного совета от 29.12.2016 г., № 172

О присуждении **Калиновскому Илье Андреевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Метод нейросетевого детектирования лиц в видеопотоке сверхвысокого разрешения»** по специальности **05.13.11** – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей принята к защите 20.10.2016 г., протокол № 168, диссертационным советом **Д 212.267.08** 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 г.).

Соискатель **Калиновский Илья Андреевич**, 1990 года рождения.

В 2011 году соискатель окончил бакалавриат государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тихоокеанский государственный университет»; в 2013 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

С 31.08.2013 г. по 30.12.2016 г. очно обучается в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Работает в должности ассистента кафедры вычислительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Диссертация выполнена на кафедре вычислительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

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

Официальные оппоненты:

**Рычагов Михаил Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Общество с ограниченной ответственностью «Исследовательский центр Самсунг», управление перспективных мобильных технологий, директор;

**Скорыходов Алексей Викторович**, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, группа атмосферной акустики, научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном **Конушиным Антоном Сергеевичем** (кандидат физико-математических наук, доцент, зав. лабораторией компьютерной графики и мультимедиа), указала, что сложность рассматриваемой в диссертационной работе задачи обусловлена высокой степенью изменчивости внешнего вида лица человека, влиянием различных условий освещенности, частичным перекрытием лиц другими объектами сцены, необходимостью

обнаружения лиц, имеющих произвольное положение в пространстве. Стандартным подходом к построению детекторов лиц, работающих в реальном времени является использование метода Виолы-Джонса. В диссертационной работе показано, что использование каскада компактных сверточных нейронных сетей позволяет добиться большей вычислительной эффективности в решении задачи обнаружения фронтальных лиц. Разработанный согласно предложенному методу детектор оказывается не только более производительным, но и обеспечивает большую точность обнаружения по сравнению с методом Виолы-Джонса. Диссертация содержит новые научные результаты: разработан новый метод детектирования лиц, основанный на каскаде компактных сверточных нейронных сетей, созданы быстродействующие алгоритмы вычисления двумерной свертки, предложен оригинальный способ асинхронного параллельного выполнения каскада классификаторов одновременно на центральном и графическом процессорах. Предложенный метод позволяет создавать детекторы лиц, способные обрабатывать в реальном времени видеопоток сверхвысокого разрешения, что недостижимо другими методами обнаружения лиц при использовании маломощного вычислительного оборудования (например, мобильных процессоров). Результаты диссертационной работы представляют большой практический интерес и могут быть использованы в различных организациях, разрабатывающих системы интеллектуального видеонаблюдения.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 10 работ, опубликованных в научных изданиях ВАК – 3, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ – 2, в сборниках материалов международных и всероссийских конференций – 5. Общий объем публикаций – 5,54 п.л., авторский вклад – 4,01 п.л.

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

1. **Калиновский И. А.** Обзор и тестирование детекторов фронтальных лиц /

И. А. Калиновский, В. Г. Спицын // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 1. – С. 99–111. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-99-111. – 1,5 / 1,05 п.л.

*Scopus:*

**Kalinovskii I. A.** Review and testing of frontal face detectors. / I. A. Kalinovskii, V. G. Spitsyn // Computer Optics. – 2016. – № 40 (1). – P. 99–111. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-99-111 (In Russ.).

2. **Калиновский И. А.** Применение полиномиальных преобразований для быстрого вычисления двумерных сверток [Электронный ресурс] / И. А. Калиновский, В. Г. Спицын // Вычислительные методы и программирование: Новые вычислительные технологии : электронный научный журнал. – 2016. – Т. 17. – С. 197–203. – URL: [http://num-meth.srcc.msu.ru/zhurnal/tom\\_2016/pdf/v17r318.pdf](http://num-meth.srcc.msu.ru/zhurnal/tom_2016/pdf/v17r318.pdf) (дата обращения: 13.06.2016). – 0,81 / 0,57 п.л.

3. **Калиновский И. А.** Алгоритм обнаружения лиц на основе сверточной нейронной сети / И. А. Калиновский, В. Г. Спицын // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2013. – № 10. – С. 48–53. – 0,69 / 0,48 п.л.

На автореферат поступило 7 положительных отзывов. Отзывы представили: 1. **В.В. Хрящев**, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры динамики электронных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова», г. Ярославль, *с замечанием* об отсутствии обоснований выбора архитектуры сверточной нейронной сети и сравнения полученных характеристик детектора лиц с другими современными алгоритмами детектирования лиц на основе сверточных нейронных сетей. 2. **М.В. Щербаков**, доктор техн. наук, и.о. зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, *с замечанием* об отсутствии рекомендаций по выбору вычислительных мощностей в зависимости от характеристик видеосигнала и замечанием по оформлению рисунков в автореферате. 3. **С.В. Панин**, доктор техн. наук, профессор, зам. директора по научной работе, зав. лабораторией механики полимерных

композиционных материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, **П.С. Любугин**, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории механики полимерных композиционных материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики прочности и материаловедения» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, *с замечанием* о недостаточной полноте описания разработанных быстродействующих алгоритмов вычисления двумерной свертки и об отсутствии указания диапазона значений для коэффициента масштабирования пирамиды изображений. 4. **С.С. Махров**, кандидат техн. наук, старший преподаватель кафедры интеллектуальных систем управления и автоматизации факультета информационных технологий ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва, *с замечанием* об отсутствии характеристик вычислительных устройств, подходящих для работы детектора лиц, а также о недостаточности описания подхода к выбору архитектур сверточных нейронных сетей. 5. **Ю.В. Шорников**, доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизированных систем управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, *с замечаниями* по использованной терминологии и стилю изложения. 6. **С.Ю. Андреев**, кандидат тех. наук, ведущий инженер-программист Общества с ограниченной ответственностью «НПК «Техника дела», г. Томск, *с замечанием* об отсутствии описания характера зависимости производительности алгоритма поиска лиц от числа вычислительных ядер, доступных как на центральном, так и на графическом процессорах. 7. **А.Н. Гусак**, кандидат тех. наук, старший системный программист Общества с ограниченной ответственностью «Синезис», г. Минск, Республика Беларусь, *с замечанием* об отсутствии обоснования выбора архитектур сверточных нейронных сетей и длины каскада, а также *с замечанием* по формировке 3-го и 4-го положений, выносимых на защиту.

В отзывах отмечается, что научные результаты, полученные в диссертации, решают научную задачу, имеющую существенное значение для развития теории распознавания образов в режиме реального времени в видеопотоке высокого разрешения; предложен новый метод детектирования лиц, который обеспечивает как высокую точность, так и высокую скорость обнаружения; полученные в диссертационной работе результаты обладают высокой практической ценностью и могут использоваться в системах биометрической видеоаналитики; алгоритмы вычисления свертки, предложенные в диссертационной работе, могут быть использованы в различных практических задачах анализа и обработки изображений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **М.Н. Рычагов** является высококвалифицированным специалистом в области обработки и анализа изображений; **А.В. Скороходов** является высококвалифицированным специалистом в области методов вычислительного интеллекта и распознавания образов; в лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики **Московского государственного университета им. Ломоносова** активно ведутся исследования в области компьютерного зрения, обработки изображений и видео.

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

*разработан* новый метод детектирования лиц на изображениях, основанный на каскаде компактных сверточных нейронных сетей;

*предложен* способ повышения точности каскада компактных сверточных нейронных сетей, заключающийся в эквализации гистограммы и зеркальном отражении участков изображения, выделенных первой стадией;

*разработаны* алгоритмы вычисления двумерной свертки, позволяющие выполнять фильтрацию изображений одновременно несколькими ядрами свертки;

*предложен* оригинальный способ вычисления каскада классификаторов, заключающийся в асинхронном параллельном выполнении его стадий одновременно на CPU (central processing unit, центральный процессор) и GPU (graphics processing unit, графический процессор).

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

*предложенный в работе* метод детектирования лиц, позволяющий строить быстрые и точные детекторы объектов, способные обрабатывать видеопоток сверхвысокого разрешения в режиме реального времени, имеет существенное значение для развития методов детектирования лиц на изображениях.

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

*разработано и внедрено* в ОАО «Московский ювелирный завод» программное обеспечение для подсчета посетителей, в котором используется созданный в рамках диссертационной работы детектор лиц;

полученные в диссертационной работе *результаты используются* в учебном процессе кафедры вычислительной техники Института кибернетики Томского политехнического университета в рамках дисциплины «Нейронные сети» магистерской программы «Компьютерный анализ и интерпретация данных» по направлению 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника».

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Результаты работы могут быть использованы различными организациями, разрабатывающими системы технического зрения, в том числе биометрической видеоаналитики; в учебном процессе при проведении лабораторных занятий в рамках курсов таких как «Нейронные сети», «Интеллектуальные системы обработки изображений», «Машинное обучение и анализ данных» и др.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*корректность* используемых методов исследования и методов обработки полученных результатов, подтвержденную большим количеством вычислительных экспериментов с использованием различных наборов данных и стандартных тестов для оценки качества детекторов лиц;

*согласованность* результатов работы, в частных случаях, с результатами, полученными ранее.



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

*разработан* метод детектирования лиц, отличающийся от известных методов использованием в качестве классификатора каскада сверточных нейронных сетей с компактными архитектурами, который обладает по сравнению с традиционными каскадными классификаторами лучшими свойствами, такими как значительно более низкая (более чем в 100 раз на бенчмарке Fddb) вероятность ложного срабатывания первой стадии каскада и высокая эффективность выполнения на процессорах с массивно-параллельной архитектурой;

*предложен* способ повышения точности каскада компактных сверточных нейронных сетей, заключающийся в эквализации гистограммы и зеркальном отражении участков изображения, выделенных на первой стадии, перед их классификацией последующими стадиями каскада, позволяющий существенно уменьшить количество ложных срабатываний детектора практически без потери полноты обнаружения лиц;

*разработаны* быстродействующие алгоритмы вычисления двумерной свертки, позволяющие выполнять фильтрацию изображений одновременно несколькими ядрами свертки и превосходящие по производительности соответствующие функции из специализированных библиотек Intel IPP и Nvidia cuDNN на вычислительных платформах Intel CPU и Nvidia GPU для размеров ядер, используемых в разработанных архитектурах СНС;

*предложен* оригинальный способ вычисления каскада классификаторов, заключающийся в асинхронном параллельном выполнении его стадий одновременно на CPU и GPU, благодаря которому достигается снижение зависимости скорости работы каскадного детектора от структуры фона и количества объектов, присутствующих в сцене.

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

Все критерии, установленные Положением о присуждении ученых степеней, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук,

