

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 004.932

БОГУШ
Рихард Петрович

**ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации

Минск 2021

Работа выполнена в учреждении образования «Полоцкий государственный университет».

Научный консультант	Абламейко Сергей Владимирович , доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси, профессор кафедры веб-технологий и компьютерного моделирования Белорусского государственного университета
Официальные оппоненты:	Голенков Владимир Васильевич , доктор технических наук, профессор, профессор кафедры интеллектуальных информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» Краснопрошин Виктор Владимирович , доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем управления Белорусского государственного университета Старовойтов Валерий Васильевич , доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории идентификации систем государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»
Оппонирующая организация	Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «3» февраля 2022 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « ____ » декабря 2021 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.15.01
кандидат технических наук, доцент

М. П. Ревотюк

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием цифровых видеокамер, снижением их стоимости и совершенствованием алгоритмического обеспечения обработки изображений системы видеонаблюдения стали доступны широкому классу пользователей и позволяют упростить многие задачи в практической деятельности человека, например, охраны и контроля доступа на различные объекты, обнаружения пожаров на открытых пространствах, мониторинга и управления крупными автопарковками и т. д. Совершенствование таких систем обеспечивается не только улучшением аппаратной части, но и автоматизацией обработки, т. е. развитием методов и алгоритмов, применяемых для обработки и анализа последовательностей изображений (видеопоследовательностей) и одиночных изображений (кадров), получаемых с видеокамер. Видеопоследовательности содержат значительный объем информации, который, как правило, изменяется и в пространстве, и во времени. Поэтому обработка и анализ их позволяет учитывать и выявлять не только статические, но и динамические признаки, что приводит к повышению точности работы систем видеонаблюдения в целом. Последовательности изображений, формируемые камерами таких систем, содержат объекты интереса, которые подвержены существенному влиянию ряда мешающих факторов, таких, как изменение освещенности сцены, одновременное присутствие нескольких объектов со схожими характеристиками, вариативность их формы и размеров при движении и т. д., что предопределило разработку и развитие ряда методов и алгоритмов для их обработки.

Исследованиями по обработке последовательностей изображений занимаются многие ученые Республики Беларусь, СНГ и дальнего зарубежья: С. В. Абламейко, А. В. Тузиков, В. В. Старовойтов, В. В. Краснопрошин, Б. А. Залесский, В. А. Головкин, А. М. Недзьведь, А. А. Борискевич, В. Ю. Цветков, Б. А. Алпатов, Н. А. Обухова, М. Н. Фаворская, Т. Celik, В. U. Toreyin, G. Rigoll, S. Ushida и др.

С учетом многообразия и сложности задач, решаемых на основе анализа видеоданных, разработаны и используются методы и алгоритмы для обнаружения и анализа объектов на изображениях в системах видеонаблюдения, но они не в полной мере обеспечивают высокую эффективность обработки при решении прикладных задач. Увеличение разрешающей способности видеокамер до 4К и выше, с одной стороны, предоставляет возможность более детального анализа изображений, а с другой стороны, существенно возрастает объем вычислений, что приводит к сложности обработки последовательностей изображений в реальном времени.

Таким образом, в настоящее время существует проблема, связанная с необходимостью повышения эффективности методов и алгоритмов обработки изображений систем видеонаблюдения для обнаружения и анализа объектов на них с приемлемой для практики вычислительной сложностью, в том числе и при использовании видеокамер высокого разрешения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь с крупными научными программами и темами

ГПОФИ «Научные основы новых информационных технологий», задание Инфотех 09 «Разработка методов и компьютерных технологий распознавания образов» НИР «Перспективные методы и алгоритмы поиска объектов на основе спектрально-корреляционной обработки изображений», ГР № 20031080, 2003–2005 гг.; ГКПНИ «Научные основы информационных технологий и систем», задание Инфотех 03 «Методы и технологии анализа и распознавания статических и динамических изображений», ГР № 20062374, 2006–2010 гг.; ГПНИ «Информатика и космос», задание 1.4.08 «Методы и алгоритмы обработки динамических изображений», ГР № 20111100, 2011–2013 гг.; ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», задание 1.7.05 «Разработка методов и алгоритмов обработки сложных динамических изображений», ГР № 20160652, 2016–2018 гг.; НИР «Алгоритмы обработки данных на основе дискретных преобразований, нечеткой логики и нейронных сетей», ГР № 20180570, 2018–2022 гг.; ГПНИ «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства», задание 1.1.5 «Методы глубокого обучения и кроссплатформенные решения для интеллектуального анализа изображений», НИР «Алгоритмы и модели для обнаружения объектов и оценки их параметров по последовательностям изображений с использованием методов глубокого обучения», ГР № 20211439, 2021–2025 гг.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методов, методик, алгоритмов и программных средств, обеспечивающих решение крупной научно-технической проблемы обнаружения, анализа и сопровождения объектов на последовательностях изображений для систем видеонаблюдения.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие **задачи**:

– разработать и исследовать методику и комплекс алгоритмов обнаружения и локализации объектов на изображениях для систем, использующих видеокамеры с большим разрешением;

- разработать методику для оценки схожести изображений, которая позволит повысить эффективность обнаружения и локализации объектов, в том числе на изображениях с шумом;
- разработать и исследовать метод и алгоритмы построения модели фона (фоновый кадр) и выделения движущихся объектов в видеопоследовательности;
- разработать методику и алгоритмы обнаружения и сопровождения людей на видеопоследовательностях, получаемых с систем видеонаблюдения, установленных внутри помещений;
- разработать и исследовать комплекс алгоритмов выделения и анализа статических и динамических признаков изображений пламени и дыма для обнаружения пожаров по данным систем видеонаблюдения;
- разработать и исследовать алгоритмы сегментации и классификации изображений парковочных мест на автостоянках, получаемых с использованием систем видеонаблюдения;
- выполнить реализацию и апробацию программных модулей в системах видеонаблюдения.

Объектами исследований являются видеоданные, полученные со стационарных видеокамер.

Предметом исследований являются методы и средства обнаружения и анализа объектов на одиночных изображениях и видеопоследовательностях.

Научная новизна

Разработана методика обнаружения объектов на изображениях с большим разрешением, отличающаяся от известных тем, что применяется пирамидально-блочная обработка с перекрытием и используется сверточная нейронная сеть для обнаружения объектов в каждом блоке. Позволяет увеличить точность обнаружения объектов небольших размеров на изображениях с большим разрешением и при этом выполнять параллельную обработку на современных вычислительных средствах.

Предложена методика оценки схожести изображений для обнаружения объектов на изображениях и видеопоследовательностях, отличающаяся тем, что для выбранных признаков рассчитывается мультипликативная или аддитивная нормированная величина их схожести с использованием последовательного вычисления отношений между минимальным и максимальным значениями пар анализируемых признаков. Такой подход позволяет повысить возможность правильного обнаружения объектов на изображениях, искаженных одноуровневым и двухуровневым импульсным шумом. Для дальнейшего улучшения точности локализации объектов предложено учитывать

пространственные расстояния между пикселями при вычислении величины схожести.

Разработан метод построения обновляемой модели фонового кадра для видеопоследовательности, формируемой статической видеокамерой, который отличается применением итерационного многоуровневого сравнения распределенных по времени кадров при построении маски движения на основе попиксельной кластеризации, логических и морфологических операций, что обеспечивает уменьшение шумовых областей в модели фона.

Разработаны методика и алгоритм сопровождения людей на последовательностях изображений на основе обнаружения и установления соответствия между ними:

– *алгоритм сопровождения людей, использующий сверточную нейронную сеть для их обнаружения, отличающийся тем, что установление соответствия между изображениями людей на кадрах выполняется с применением комплекса признаков, включая пространственные координаты, размеры, цветовые характеристики, а также признаки, сформированные на основе сверточной нейронной сети (СНС признаки). Алгоритм обеспечивает работу в режиме реального времени для сопровождения пяти человек при реализации на видеокарте NVIDIA GTX 1060 с применением технологии CUDA;*

– *методика сопровождения людей включает стадии обнаружения людей, их идентификацию по лицу, формирование комплексного вектора признаков для каждого на основе пространственных и СНС признаков лица и фигуры человека, установление соответствия между людьми на кадрах и их индексация. Составной дескриптор изображения каждого человека включает признаки лиц, вычисленные на основе сверточной нейронной сети, и комплекс признаков изображения человека, что позволяет сопровождать людей при невозможности идентификации лиц.*

Разработаны алгоритмы обнаружения дыма и пламени, основанные на анализе пространственно-временных характеристик видеопоследовательностей:

– *алгоритм обнаружения дыма, использующий извлечение пикселей и областей с медленной скоростью движения, объединение их в связные регионы и отличающийся классификацией регионов по направлению движения и контрасту Вебера, что позволяет эффективно отличать дым от объектов со схожими характеристиками и не требует значительных вычислительных затрат;*

– *алгоритм обнаружения пламени на видеопоследовательностях, который применяет цветовую фильтрацию, анализ временных изменений границ и пространственных изменений яркости на основе вейвлет-преобразований для выявления областей на последовательностях изображений, схожих с изображением пламени. Отличительной особенностью алгоритма является классификация областей с использованием текстурных признаков,*

формируемых после локального двоичного разбиения, что повышает робастность алгоритма к изменению освещенности сцены;

– *алгоритм обнаружения дыма и пламени, отличающийся тем, что движение и хаотичность перемещения применяются в качестве их общих характеристик.* Классификация детектированных областей выполняется с использованием анализа контраста, цветовой фильтрации и вейвлет-обработки. Общие этапы упрощают структуру алгоритма и позволяют снизить вычислительные затраты при необходимости обнаружения обоих признаков возгорания.

Разработан алгоритм классификации изображений парковочных мест автостоянки, отличающийся тем, что для формирования признаков используются гистограммы ориентированных градиентов с наиболее эффективными параметрами, а классификация дескрипторов выполняется с использованием метода опорных векторов с функцией ядра на основе пересечения гистограмм, что в комплексе позволило повысить точность классификации по сравнению с известными методами.

Положения, выносимые на защиту

Методика обнаружения объектов на изображениях с большим разрешением, использующая сверточную нейронную сеть и пирамидально-блочную обработку, позволяющая повысить точность обнаружения объектов малых размеров.

Методика оценки схожести изображений, обеспечивающая повышение возможности правильного обнаружения объектов на изображениях, которые искажены импульсным шумом, и улучшение точности локализации при отсутствии шумов.

Метод построения модели фонового кадра, который обеспечивает уменьшение шумовых областей в модели фона, что способствует повышению эффективности обнаружения движущихся объектов на видеопоследовательности методом сопоставления с фоном.

Алгоритм сопровождения множества людей на видеопоследовательностях для систем наблюдения внутри помещений, обеспечивающий увеличение точности сопровождения людей по сравнению с известными.

Методика сопровождения множества людей на видеопоследовательностях, использующая идентификацию по лицам для установления соответствия на кадрах между людьми и комплекс признаков изображения человека для сопровождения при невозможности идентификации по лицам.

Алгоритмы обнаружения дыма и пламени на последовательностях изображений на основе анализа пространственно-временных характеристик, предоставляющие возможность раннего обнаружения возгорания.

Алгоритм классификации изображений парковочных мест на свободные и занятые, основанный на применении гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов, позволяющий повысить точность классификации.

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные положения, выносимые на защиту, получены соискателем лично. Вклад научного консультанта связан с постановкой цели и задач исследований, обсуждением результатов, полученных соискателем. В представленных публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертации результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях и симпозиумах: International Conference on Pattern Recognition and Information Processing (PRIP 2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2019), Минск; Международной конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (2002, 2004, 2006, 2008), г. Новополоцк; Международной конференции «Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях» (2004, 2006), г. Минск; IEEE Siberian Conference on Control and Communications, April 20–21, 2007, Tomsk; Международной конференции «Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров», 23–24 апреля 2008 г., г. Минск; International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2008), May 27–30, 2008, Minsk; Международной научной конференции по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (2009, 2011), г. Минск; Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию МРТИ–БГУИР, 19 марта 2009 г., г. Минск; Международной научно-практической конференции «Информационные технологии, электронные приборы и системы» (ITEDS'2010), 6–7 апреля 2010 г., г. Минск; 9-й Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 22–23 апреля 2010 г., г. Санкт-Петербург; Workshop «Phương Pháp Giải Tích Hiện Đại Trong Ứng Dụng & Hội Thảo Khoa Học Các Chuyên Đề Toán Olympic», 2010, Ханой, Вьетнам; Международной научной конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (2011, 2012,

2013, 2014, 2015, 2016, 2018), г. Воронеж; Signal Processing Symposium, Jachranka Village, Poland, June 8–10, 2011; XVII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи», 16–18 октября 2012 г., г. Минск; Международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии и системы» (2012, 2014) г. Пенза; 5-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение», 21–23 ноября 2012 г., г. Минск; X Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации», 29–30 мая 2012 г., г. Минск; International conference on Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Proceedings, 26-28 September, 2013, Poznan; Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР, 18–19 марта 2014 г., г. Минск; 4th Korea-Belarus Science Forum, 17 Nov., 2015, Seoul; Международной научной конференции «Интеллектуальные и информационные технологии в формировании цифрового общества», 20–21 июня 2017 г., г. Санкт-Петербург; Международной научно-практической конференции «Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации» (ИКТ-2018), 14–15 июня 2018 г., г. Новополоцк; International Symposium on Neural Networks (ISNN 2018), June 25–28, 2018, Minsk; Міжнародна науково-технічна конференція «Комп’ютерна графіка та розпізнавання зображень», грудень 2018 г., Вінниця; International Conference on Digital Transformation in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019), April 4–5, 2019, St. Petersburg, Russia; Workshop on Image Understanding Key Technologies for Smart City, Zhejiang Shuren University, Hangzhou, China, Nov. 7th, 2019; International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS-2020), Khmelnytskyi, Ukraine, June 10–12, 2020; Всероссийской научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления» (2013, 2014, 2015, 2018, 2020), г. Москва; International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS 2019, 2020, 2021), Zaporizhzhia, Ukraine.

Опубликование результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 106 научных работ: 1 монография; 32 статьи в научных журналах в соответствии с пунктом 18 Положения ВАК о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь и зарубежных научных журналах; 8 статей в рецензируемых журналах, не вошедших в перечень ВАК Беларуси; 48 статей в материалах научных конференций; 10 тезисов докладов; 7 патентов.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, семи глав с краткими выводами по каждой, заключения, библиографического списка и приложений.

Полный объем диссертации составляет 314 страниц, включая 24 таблицы, 133 рисунка, 21 страницу списка использованных источников из 277 наименований, 11 страниц опубликованных работ автора из 106 наименований, 17 страниц приложений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во *введении* дана краткая характеристика исследуемой области и обоснована актуальность темы диссертационной работы.

Первая глава посвящена анализу существующих методов и алгоритмов обнаружения и сопровождения объектов на последовательностях изображений для практического применения. Рассмотрены основные типы архитектур систем видеонаблюдения и области их применения. Отмечено, что непрерывное совершенствование аппаратных средств предоставляет возможность для автоматического решения различных прикладных задач с использованием систем видеонаблюдения. Показано, что в настоящее время существуют методы и алгоритмы обработки изображений и видеопоследовательностей, приведен анализ эффективности их применения для обнаружения объектов на изображениях. Однако многомерный характер входных данных, временные преобразования движущихся объектов на последовательностях изображений, которые не описываются известными аналитическими зависимостями, резкие изменения условий видеонаблюдения не позволяют в полной мере эффективно решать задачи по обнаружению статических и динамических объектов на видеопоследовательностях, анализу их свойств, распознаванию, сопровождению множества объектов и т. д. Следует отметить, что максимальное использование технических возможностей видеокамер для эффективной автоматизированной обработки также пока ограничено. Это связано с тем, что увеличение разрешающей способности видеокамеры в два раза, например, с формата 2К до 4К в разы может увеличить требования к аппаратным средствам обработки для одних и тех же алгоритмов. Поэтому наряду с повышением эффективности обнаружения, анализа и сопровождения объектов по видеоданным систем видеонаблюдения предъявляются требования также к необходимому объему вычислительных затрат. Соответственно, актуальным является разработка

новых методов и алгоритмов, которые позволят повысить эффективность обработки, обеспечивая при этом удовлетворительный объем вычислений.

Вторая глава посвящена обнаружению объектов на одиночных изображениях F и видеопоследовательностях $V = \{F_k\}$, где k – номер изображения в последовательности. На каждом кадре видеопоследовательности, как правило, присутствует множество объектов:

$$OB_{F_k} = \{Ob_q^{F_k}\}, q = 1, \dots, Q. \quad (1)$$

По критерию движения каждый из них может быть отнесен к двум основным классам.

Стационарный (неподвижный) объект на последовательности изображений описывается множеством признаков ($Ft_{Ob_q}^S$) и его координатами (x_{Ob_q}, y_{Ob_q}) , которые не изменяются в течение интервала времени (t). Такой объект может быть представлен *формальной моделью*:

$$Ob_q^S = (Ft_{Ob_q}^S, x_{Ob_q}, y_{Ob_q}, Ns_{Ob_q}^{F_k}), \quad (2)$$

где $(Ft_{Ob_q}^S, x_{Ob_q}, y_{Ob_q}) = \text{const} \forall F_k, k \in t$; $Ns_{Ob_q}^{F_k}$ – множество возможных шумовых воздействий на объект.

Движущийся объект на последовательности изображений характеризуется *изменением* одного или нескольких основных параметров: формы, размеров, координат в течение интервала времени (t). Трансформация формы и (или) размеров объекта приводит к изменению его признаков на кадрах ($ft_{Ob_q}^{F_k}$). Тогда объект может быть описан *формальной моделью*:

$$Ob_q^D = (ft_{Ob_q}^{F_k}, x_{Ob_q}^{F_k}, y_{Ob_q}^{F_k}, Ns_{Ob_q}^{F_k}), \quad (3)$$

где $x_{Ob_q}^{F_k}, y_{Ob_q}^{F_k}$ – координаты объекта; $Ft_{Ob_q}^D$ – множество признаков движущегося объекта, $Ft_{Ob_q}^D \supseteq ft_{Ob_q}^{F_k}, \forall k \in t$. Причем $(ft_{Ob_q}^{F_k} \cap ft_{Ob_q}^{F_{k+i}}) \in Ft_{Ob_q}^D$.

Обнаружение объекта (Ob^e) реализуется сравнением признаков (Ob^e) и всех возможных фрагментов на плоскости изображения. Основной задачей является определение метода реализации с учетом поставленных ограничений для решения практической задачи. В работе рассматриваются методы для

обнаружения объектов изображения на основе сопоставления с эталоном и с использованием СНС.

Обнаружение движущегося объекта рассматривается как определение местоположения объекта Ob^D на текущем кадре видеопоследовательности F^k на основе заданного.

Разработан алгоритм обнаружения объектов на изображении в спектральной области вейвлет-преобразования с применением многоуровневой обработки. Используя свойство пространственной локализации вейвлет-преобразования, обнаружение объектов выполняется на основе оценки схожести вейвлет-коэффициентов объекта и изображения для всех возможных смещений окна в зоне поиска и для всех уровней вейвлет-разложения. Для этого предварительно выполняется n этапов ($n = \log_2 \lfloor \min(M_1, M_2) \rfloor$) быстрого вейвлет-преобразования объекта $P = \{p_{i,j}\}$ размером $M_1 \times M_2$ ($M_1 = 2^q, M_2 = 2^w, q, w \in Z$). Минимизация вычислительных затрат обеспечивается применением вейвлета Хаара длиной $L=2$. Обработка выполняется только с использованием аппроксимирующих коэффициентов:

$$P^{g+1}(i, j) = \sum_{k_1=0}^{L-1} \left(\sum_{k_2=0}^{L-1} P^g(2i+k_1, 2j+k_2) \cdot l_{k_2} \right) \cdot l_{k_1}, \quad (4)$$

где $P^0 = P$, $g = \overline{0, n}$, $i = \overline{0, M_1/2^{g+1} - 1}$, $j = \overline{0, M_2/2^{g+1} - 1}$, $l_{k_1} = l_{k_2} = \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \right]$.

Для принятого изображения $A = \{a_{i,j}\}$, $i = \overline{0, N_1 - 1}$, $j = \overline{0, N_2 - 1}$ выполняется n этапов ($n = \log_2 \lfloor \min(M_1, M_2) \rfloor$) инвариантного к сдвигу вейвлет-преобразования, которое заключается в вычислении быстрого вейвлет-преобразования для всех сдвигов вейвлетов:

$$A^{g+1}(i, j) = \sum_{k_1=0}^{L-1} \left(\sum_{k_2=0}^{L-1} A^g(i+2^g k_1, j+2^g k_2) \cdot l_{k_2} \right) \cdot l_{k_1}, \quad (5)$$

где $A^0 = A$, $g = \overline{0, n}$.

Для повышения инвариантности к повороту объекта используется анализ моментов строк и столбцов матриц вейвлет-коэффициентов объекта и изображения.

Предложена методика, позволяющая повысить эффективность обнаружения объектов небольших размеров на изображениях большого разрешения, требующая многомасштабного представления изображения,

блочной обработки с перекрытием, применения СНС для каждого блока и объединения обнаруженных областей и включающая этапы:

1. Нахождение количества уровней пирамиды изображений с учетом того, что размеры верхнего уровня должны быть приближены к размерам входного слоя используемой СНС:

$$P = \lceil \log_2(\max(W, H) / l) \rceil + 1, \quad (6)$$

где W, H – ширина и высота входного изображения; $l \times l$ – размер входного слоя используемой СНС; $\lceil * \rceil$ – ближайшее целое.

2. Разбиение изображения на p уровне на блоки с перекрытием. При этом их количество определяется согласно выражению:

$$B_p = \left(\frac{W / p - l}{k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{H / p - l}{k} + 1 \right) = \lceil B_{W_p} \rceil \cdot \lceil B_{H_p} \rceil, \quad (7)$$

где p – номер уровня пирамиды, $p = 1, \dots, P$; k – величина одного этапа сдвига блока, в пикселах. При округлении B_{W_p} либо B_{H_p} в сторону уменьшения последний неполный блок объединяется с предыдущим и масштабируется к размеру входного слоя СНС, а при увеличении – блок дополняется нулями.

3. Обнаружение областей-кандидатов, которые могут содержать объект или его фрагмент. Каждый блок обрабатывается с использованием СНС, а обнаруженная область-кандидат описывается набором признаков:

$$F = (x_1, y_1, x_2, y_2, E, Cl), \quad (8)$$

где x_1, y_1 – координаты верхнего левого угла найденной области на исходном изображении; x_2, y_2 – координаты нижнего правого угла найденной области на исходном изображении; E – уверенность СНС в правильной классификации, Cl – класс выделенного в данной области объекта.

4. Объединение областей-кандидатов.

4.1. Для объединения областей-кандидатов O_i и O_j используется анализ величины их перекрытия на всех уровнях и блоках, а также принадлежность к одному классу:

$$IoU(O_i, O_j) > 0,5, Cl_i = Cl_j, \quad (9)$$

где $IoU(O_i, O_j) = \frac{O_i \cap O_j}{O_i \cup O_j}$, $i, j \in 1, N \mid i \neq j, N$ – количество областей-кандидатов.

Дескриптор объединенной области $F(O')$ формируется как

$$F(O') = \left(\begin{array}{l} \min(x_1^{O_i}, x_1^{O_j}), \min(y_1^{O_i}, y_1^{O_j}), \max(x_2^{O_i}, x_2^{O_j}), \max(y_2^{O_i}, y_2^{O_j}), \\ \max(E^{O_i}, E^{O_j}), Cl(\max(E^{O_i}, E^{O_j})) \end{array} \right). \quad (10)$$

4.2. При блочной обработке результатов детектирования возможно, что один и тот же объект или его фрагменты могут быть обнаружены со смещением координат на разных масштабах или в соседних ячейках. Кроме этого, признаки фрагмента объекта меньшего размера могут отличаться от признаков исходного, даже быть ближе к дескрипторам другого класса. Поэтому дополнительно применяется правило, по которому анализируются и объединяются все области, полученные на предыдущем шаге:

$$IoU(O'_i, O'_j) > 0,2 \ \& \ Cl_i = Cl_j \ \& \ d_x > t_x \ \& \ d_y > t_y, \quad (11)$$

где d_x и d_y – значения разности между размерами областей-кандидатов по осям x и y соответственно; t_x и t_y – пороговые значения.

Тестирование обнаружения объектов небольших размеров выполнено с использованием СНС YOLOv3 на выборке из 780 изображений с разрешением 4К. Всего на изображениях аннотировано 6 049 объектов двух классов «человек» и «транспортное средство» с размерами от $[24 \times 14]$ до $[308 \times 763]$. Класс «транспортное средство» является составным, так как в него включены «автобус», «машина», «грузовик». В качестве оценки качества работы алгоритма рассчитывалась средняя точность mAP (meanAveragePrecision). Результаты экспериментов показали, что при любых значениях величин перекрытия блоков α и пороговой величины T для E обеспечивается превышение значения mAP (таблица 1) для предложенной методики по сравнению с $mAP=0,47$ для используемой СНС.

Таблица 1. – Результаты исследования для 4К изображений по предложенной методике, mAP

T	α										
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
65	0,712	0,713	0,703	0,654	0,736	0,723	0,717	0,711	0,728	0,739	0,728
70	0,716	0,718	0,712	0,664	0,729	0,744	0,729	0,723	0,730	0,742	0,749
75	0,702	0,686	0,699	0,654	0,735	0,731	0,711	0,714	0,747	0,759	0,733
80	0,678	0,682	0,674	0,645	0,732	0,711	0,709	0,705	0,740	0,733	0,727
85	0,641	0,668	0,657	0,645	0,696	0,686	0,687	0,693	0,707	0,700	0,722
90	0,613	0,639	0,638	0,605	0,646	0,643	0,655	0,646	0,640	0,699	0,684

Выполнено тестирование точности обнаружения объектов на наборе из 540 8К изображений. Для СНС YOLOv4 mAP=0,29, при использовании разработанной методики mAP = 0,609.

Предложена методика оценки схожести изображений для обнаружения объектов на изображениях и видеопоследовательностях, которая предполагает, что для выбранных характеристик изображений объектов нормированная величина схожести рассчитывается на основе последовательного вычисления отношения между минимальным и максимальным значением пары анализируемых признаков и дальнейшим их суммированием или умножением в зависимости от модификации с последующей нормализацией. Так как при нахождении отношения между сравниваемыми признаками необходимо на первом шаге определить минимальный или максимальный среди них, то функции назовем *нормированными минимаксными функциями схожести*.

Таким образом, для оценки сходства изображений $O = \{o_{ij}\}$ и $B = \{b_{ij}\}$ размером $N \times N$ на основе предложенной методики применяются:

– нормированная минимаксная мультипликативная функция схожести:

$$S^{MMMULT} = \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^N \frac{\min(o_{ij}, b_{ij})}{\max(o_{ij}, b_{ij})}; \quad (12)$$

– нормированная минимаксная аддитивная функция схожести:

$$S^{MMADD^p} = \frac{1}{NN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\min(o_{ij}^p, b_{ij}^p)}{\max(o_{ij}^p, b_{ij}^p)}, \quad p \in Z \ \& \ p \geq 1; \quad (13)$$

– нормированная минимаксная усредненная аддитивная функция схожести:

$$S^{ZMMADD^p} = \begin{cases} \frac{1}{NN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\frac{b_{ij} - \bar{b}}{o_{ij} - \bar{o}} \right)^p, & \text{если } |o_{ij} - \bar{o}| \geq |b_{ij} - \bar{b}|, \\ \frac{1}{NN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\frac{o_{ij} - \bar{o}}{b_{ij} - \bar{b}} \right)^p, & \text{если } |o_{ij} - \bar{o}| < |b_{ij} - \bar{b}|, \end{cases} \quad (14)$$

где \bar{o} и \bar{b} – средние значения изображений O и B , $p \in Z \ \& \ p \geq 1$.

С учетом изменения уровней яркости изображений от 0 до 255 при вычислении схожести принимаются условия: для S^{MMMULT} , S^{MMADD^p} для пары

сравниваемых признаков $s_{ij} = 1$, если $a_{ij} = b_{ij} = 0$; при вычислении S^{ZMMADD^p} для пары признаков $s_{ij} = 1$, если $|o_{ij} - \bar{o}| = |b_{ij} - \bar{b}| = 0$.

Дальнейшее улучшение возможности верной локализации объектов осуществляется за счет учета расстояний между пикселями или признаками, в общем случае при вычислении величины схожести. Тогда нормированная минимаксная аддитивная функция схожести вычисляется как

$$S^{IMMMADD^p} = W^{-1} \sum_{i=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} g_{ij} \frac{\min(o_i^p, b_i^p)}{\max(o_i^p, b_i^p)} \frac{\min(o_j^p, b_j^p)}{\max(o_j^p, b_j^p)}, \quad (15)$$

где $p \in Z \ \& \ p \geq 1$; W – нормирующий коэффициент, который вычисляется как

$$W = \sum_{i=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} g_{ij}. \quad (16)$$

Нормированная минимаксная усредненная аддитивная функция схожести с учетом расстояний между признаками рассчитывается как

$$S^{IMZMMADD^p} = W^{-1} \begin{cases} \sum_{i=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} g_{ij} \left(\frac{(b_i - \bar{b})(b_j - \bar{b})}{(o_i - \bar{o})(o_j - \bar{o})} \right)^p, & \text{если } |o_i - \bar{o}| \geq |b_i - \bar{b}| \ \& \ |o_j - \bar{o}| \geq |b_j - \bar{b}|; \\ \sum_{i=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} g_{ij} \left(\frac{(b_i - \bar{b})(o_j - \bar{o})}{(o_i - \bar{o})(b_j - \bar{b})} \right)^p, & \text{если } |o_i - \bar{o}| \geq |b_i - \bar{b}| \ \& \ |b_j - \bar{b}| > |o_j - \bar{o}|; \\ \sum_{i=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} g_{ij} \left(\frac{(o_i - \bar{o})(o_j - \bar{o})}{(b_i - \bar{b})(b_j - \bar{b})} \right)^p, & \text{если } |b_i - \bar{b}| > |o_i - \bar{o}| \ \& \ |b_j - \bar{b}| > |o_j - \bar{o}|; \\ \sum_{i=1}^{NN} \sum_{j=1}^{NN} g_{ij} \left(\frac{(o_i - \bar{o})(b_j - \bar{b})}{(b_i - \bar{b})(o_j - \bar{o})} \right)^p, & \text{если } |b_i - \bar{b}| > |o_i - \bar{o}| \ \& \ |o_j - \bar{o}| \geq |b_j - \bar{b}|, \end{cases} \quad (17)$$

где $p \in Z \ \& \ p \geq 1$.

Принимаются условия: при вычислении функции схожести $S^{IMMMADD^p}$ для пары сравниваемых признаков $s_i^{IMMMADD^p} = 1$, если $a_i = b_i = 0$ и $s_j^{IMMMADD^p} = 1$, если $a_j = b_j = 0$. При вычислении $S^{IMZMMADD^p}$: $s_i^{IMZMMADD^p} = 1$, если $(o_i - \bar{o}) = (b_i - \bar{b}) = 0$ и $s_j^{IMZMMADD^p} = 1$, если $(o_j - \bar{o}) = (b_j - \bar{b}) = 0$.

Представлены результаты исследований, которые показали, что минимаксная аддитивная функция схожести позволяет правильно обнаруживать объекты на изображениях с плотностью импульсного шума в 1,6 раза выше, чем для других функций схожести. Нормированная минимаксная усредненная аддитивная функция схожести представляет возможность улучшения точности локализации с учетом линейного изменения уровней анализируемых признаков изображений. Дальнейшее улучшение точности локализации объектов может быть достигнуто за счет учета пространственных расстояний между пикселями сравниваемых изображений.

В *третьей главе* представлены результаты обнаружения и сопровождения движущихся объектов на видеопоследовательностях, полученных со стационарной видеокамеры. Сопровождение движущегося объекта рассматривается как определение местоположения одного и того же объекта на каждом кадре видеопоследовательности в течение интервала времени (t). Предложена следующая *классификация признаков движущихся объектов* на видеопоследовательностях: смещение, траектория, скорость и ускорение, время движения. Траектория движения объекта представляет собой последовательное отображение движения (или перемещения) данного объекта на видеопоследовательности, формируемой неподвижной видеокамерой:

$$Tr(Ob^D) = (Ob_{F_k}^D), \quad \forall k \in t. \quad (18)$$

Представлен метод построения модели фона и алгоритм обнаружения движения с его использованием, комбинированный алгоритм обнаружения движения с использованием блочного метода оценки движения, алгоритм сопровождения движущихся объектов.

Разработан и запатентован *метод построения и обновления модели фонового кадра* для обнаружения движущихся объектов в системе видеонаблюдения, который требует итерационного многоуровневого анализа нечётного количества кадров из видеопоследовательности, формируемой статической видеокамерой, с заданным интервалом между ними. Для N кадров требуется $(N-1)/2$ итераций. На каждой из них для соседних пар обрабатываемых кадров формируются бинарные маски движения первого уровня путем сравнения интенсивностей пикселей с одинаковыми координатами и последующей морфологической фильтрацией. Затем для каждой пары полученных масок применяется логическое умножение для формирования бинарных масок движения второго уровня, которые используются для построения $(N-2)$ вспомогательных кадров. В таких кадрах яркости пикселей, принадлежащие движущемуся объекту, заменяются значениями интенсивностей пикселей с такими же координатами с одного из соседних входных кадров. Для

вспомогательных кадров итерационно применяются такие же операции до получения одного кадра, который *принимают в качестве фонового*. Он обновляется за счет изменения исходного набора кадров, выбранных из видеопоследовательности, и применения для него разработанного итерационного многоуровневого анализа.

Проведенные исследования показали, что данный метод позволяет уменьшить вероятность ложного обнаружения пикселей с движением более чем в два раза на видеопоследовательностях с небольшим количеством движущихся объектов, не ухудшая при этом вероятность правильного обнаружения пикселей, относящихся к областям движения. Таким образом обеспечивается уменьшение шума в модели фона. На рисунке 1 приведены результаты обнаружения движения методом попиксельного вычитания фона с использованием различных алгоритмов формирования его модели, подтверждающие также уменьшение шумовых областей при использовании предложенного метода.

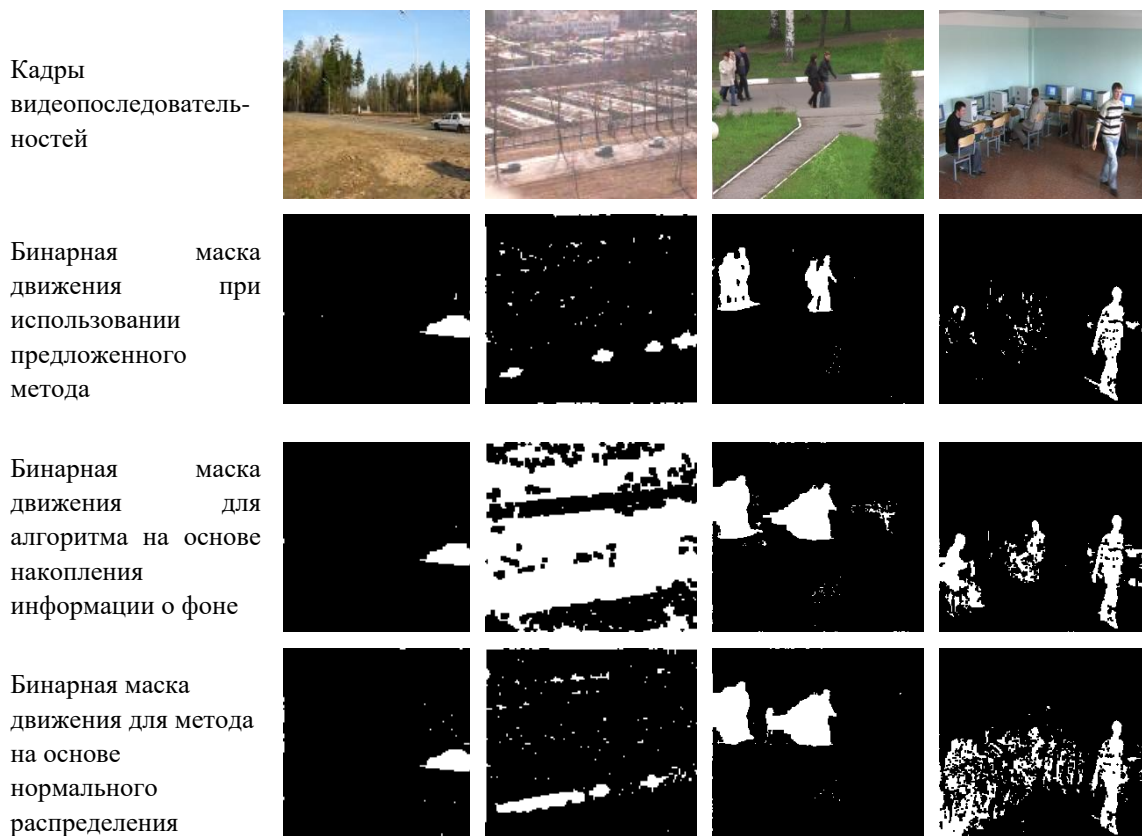


Рисунок 1. – Обнаружение движения при использовании различных алгоритмов построения фонового кадра

Сопровождение объектов выполняется на основе разработанного алгоритма, который состоит из основных шагов: обнаружение движущихся объектов Ob_t^{det} и Ob_{t+1}^{det} на текущем и на следующем кадрах соответственно, где t – номер кадра; заполнение массивов V_t и W_{t+1} признаками объектов, включая

координаты, размеры, центр масс и направление движения; оценку схожести объектов на кадрах путем поиска для каждого элемента V_i области с наибольшей схожестью Ob_{t+1}^{sim} на кадре $(t+1)$ в заданном окне кадра, причем если значение больше порогового, то объект является сопровождаемым Ob_{t+1}^{tr} ; если на кадре $(t+1)$ в области Ob_{t+1}^{sim} обнаружено несколько движущихся фрагментов, а все условия выполняются для Ob_t^{tr} , то объектом сопровождения считается фрагмент кадра, который выделяется прямоугольником минимальных размеров, включающим все обнаруженные объекты в области Ob_{t+1}^{sim} ; заполнение массива для кадра $(t+1)$ с учетом сопровождаемых и обнаруженных на нем новых объектов. Обновление и использование параметров, характеризующих объект в момент его последнего обнаружения для сопровождения, а также корректировка его смещения на обрабатываемом кадре обеспечивает возможность последующего сопровождения объекта при кратковременной потере оптической связи с ним или пропуском его детектором.

Для обнаружения движущихся объектов на видеопоследовательностях предложен комбинированный алгоритм с использованием блочного метода оценки движения. Для сокращения временных затрат используется пирамидальное представление кадра и шаблонный поиск на этапе построения предварительной карты векторов движения. Далее осуществляется уточнение векторного поля кадра. При этом применяется медианная фильтрация векторного поля в пределах одного кадра для удаления ложных векторов движения. Результатом является карта векторов движения, которая соответствует движущимся областям. Соотнесение таких областей с объектами на кадре осуществляется после их локализации путем определения сонаправленности и смещения на основе анализа векторного поля кадра. Значение схожести величины смещения векторов вычисляется с использованием аддитивной минимаксной функции схожести.

Четвертая глава посвящена обнаружению и *сопровождению множества людей* на видеопоследовательностях с использованием сверточных нейронных сетей. Разработанный алгоритм основан на сопровождении через обнаружение и требует обнаружения людей, формирования вектора признаков для каждого из них, установления соответствий между ними на кадрах, постобработку, индексацию каждого человека, определения их нахождения в кадре, выделения рамкой человека при его присутствии в кадре. В качестве модели СНС для детектирования людей в предлагаемом алгоритме используется СНС YOLOv3. Для описания изображения человека предложен набор признаков (составной дескриптор), который включает вычисленные: СНС признаки для последнего правильного обнаружения; гистограммные признаки канала цветового тона

пространства HSV, вычисленные при последнем правильном обнаружении объекта; координаты центра объекта; ширину и высоту его на предыдущем кадре. Для получения СНС признаков предложена архитектура СНС, которая состоит из 29 сверточных и одного полносвязного слоев и формирует вектор из 128 значений признаков для изображения человека. Модифицированная СНС обучена на комплексной базе данных из наборов изображений PRID и iLIDS, которые были подготовлены для решения задачи сопровождения людей на видео и получены с различных видеокамер. В результате сформированный набор данных состоит из 1030 базовых объектов, т. е. различных людей. Количество изображений для каждого человека разное и изменяется от 85 до 360. На тестовой выборке из изображений 300 людей вероятность правильной классификации составила 99,7 %.

Для всех сопровождаемых людей и обнаруженных на текущем кадре вычисляются значения схожести, на основе которых формируется матрица. К ней применяется венгерский алгоритм для установления соответствия между обнаруженными и сопровождаемыми объектами. Уменьшение вероятности ложного изменения индексации после сложных случаев движения людей с множественными перекрытиями достигается за счет того, что в дескрипторе, на основе которого выполняется непрерывное сопровождение, обновляются только координаты объекта, его ширина и высота. Параметр перекрытия вычисляется на основе коэффициента Жаккарда. Для определения момента выхода человека из кадра и прекращения его сопровождения в алгоритме используется условие:

$$d_{feat} \geq \varepsilon \text{ или } R \leq \eta, \quad (19)$$

где $d_{feat} = \sqrt{\sum_{j=1}^{128} (f_{curr} - f_{prev})^2}$; f_{curr}, f_{prev} - СНС признаки объекта на текущем кадре

и при последнем его правильном обнаружении; R – схожесть гистограммных признаков цветового тона для изображений человека при последнем его правильном обнаружении и на текущем кадре; ε и η – пороговые значения.

При оценке эффективности алгоритмов сопровождения применены критерии:

– группа критериев, характеризующих обнаружение сопровождаемых объектов, включает точность и полноту, а также комплексный критерий, позволяющий оценивать эффективность по единому показателю:

$$IDF_1 = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}. \quad (20)$$

где TP , FP , FN – количество правильных обнаружений, ложных обнаружений и пропусков сопровождаемых объектов на всех кадрах видеопоследовательности;

– точность сопровождения множества объектов:

$$MOTA = 1 - \frac{\sum_k FN_k + FP_k + MM_k}{\sum_k G_k}, \quad (21)$$

где MM_k – количество срывов сопровождения за счет перзахвата ложного объекта при сопровождении на k -м кадре; G_k – количество объектов на кадре;

– критерий, характеризующий точность определения местоположения (точность локализации) сопровождаемых объектов на кадрах:

$$MOTP = \frac{\sum_k IOU(Ob_i, Ob_i^e)_k}{\sum_k NOb_k}, \quad (22)$$

где Ob_i, Ob_i^e – сопровождаемый объект и соответствующий эталонный из базы данных; NOb_k – количество сопровождаемых объектов на кадре;

– группа критериев, оценивающих траектории движения объектов: количество отслеживаемых (MT), частично отслеживаемых (PT), потерянных траекторий (ML) и количество фрагментаций траектории.

– скорость работы алгоритма сопровождения, кадров в секунду.

Реализованы две модификации разработанного алгоритма, отличающиеся архитектурами СНС, которые применяются для обнаружения людей: модификация 1 применяет СНС YOLOv3, модификация 2 использует СНС YOLOv4. В таблице 2 приведены результаты сравнения алгоритмов.

Таблица 2. – Сравнение эффективности алгоритмов сопровождения

Алгоритмы	Критерии								
	IDF_1	$MOTP$	FP	FN	FM	MT	PT	MM	$MOTA$
DeepSort v2	0,545	0,819	135	1759	215	14	3	61	0,8793
Модификация 1	0,833	0,824	252	959	195	16	1	21	0,9237
Модификация 2	0,807	0,829	395	754	194	15	2	39	0,9266

На рисунке 2 представлены обработанные алгоритмом кадры с индексацией людей из тестовой видеопоследовательности с неоднородным освещением, наличием теней, на которых присутствуют три человека, внешние признаки которых схожи. Из примера видно также, что движение каждого человека характеризуется сложными траекториями и пересечениями между собой с полным перекрытием, однако индексация сохраняется правильной.

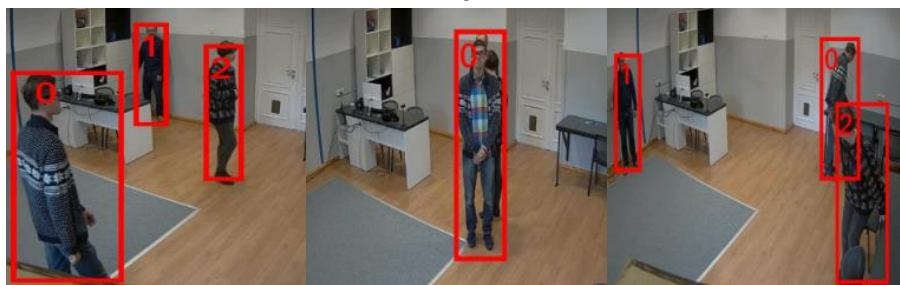


Рисунок 2. – Пример сопровождения людей после их перекрытия

Для улучшения качественных характеристик сопровождения людей внутри помещений при сложной траектории их движения и обеспечения возможности их идентификации по изображениям лиц, хранимых в базе данных, предложена методика, которая включает: обнаружение людей; формирование вектора признаков для каждого; обнаружение и распознавание лица в детектированной на предыдущем этапе области изображения; идентификацию человека по лицу; установление соответствия между людьми на кадрах; индексацию людей; дополнительную проверку наличия изображения человека в кадре; выделение рамкой человека при его присутствии в кадре.

Для установления соответствия между людьми на входном кадре и сопровождаемыми предлагается формировать составной дескриптор при описании каждого человека, включающий: координаты центра, ширину и высоту области человека на кадре при предыдущем его обнаружении; координаты центра, ширину и высоту области лица на кадре при предыдущем его обнаружении; СНС признаки для последнего верного распознавания лица сопровождаемого объекта; расстояние между вычисленными признаками и признаками изображения, соответствующего изображению лица из базы данных; количество непрерывных результатов обнаружения лица при отсутствии распознавания; СНС признаки всей фигуры человека и верхней ее половины при последнем правильном обнаружении; гистограммные признаки человека при последнем правильном обнаружении; индекс человека в видеопоследовательности; имя человека. Пространственные и СНС признаки лица человека позволяют обеспечить высокую точность сопровождения при возможности распознавания лиц на последовательностях изображений. Наличие в дескрипторе пространственных, СНС и гистограммных признаков изображения человека позволяет обеспечить правильное сопровождение при невозможности его идентификации по лицу. Определены основные характеристики с использованием СНС YOLOv4 при обнаружении: $IDF_1 = 0,946$; $MOTP = 0,828$; $MT = 16$; $MM = 47$; $FM = 194$; $MOTA = 0,9324$. Результаты трекинга людей на фрагментах кадров сложной видеопоследовательности, включающей шесть человек, показаны на рисунке 3 и подтверждают правильное сопровождение.



Рисунок 3. – Сопровождение людей с использованием идентификации по лицам

Пятая глава посвящена разработке комплекса алгоритмов обнаружения дыма и пламени на основе анализа данных систем видеонаблюдения.

Представлен алгоритм обнаружения дыма на видеопоследовательностях, на первом этапе которого выполняется предварительная обработка входного кадра, включающая преобразование к градациям серого, улучшение контраста путем эквализации гистограммы и выделение аппроксимирующей области после двукратного вейвлет-преобразования Хаара. Далее извлекаются медленно движущиеся пиксели и области методом вычитания фона. Их объединение в связные регионы выполняется с использованием операций математической морфологии и контурного анализа. Отличительной особенностью алгоритма является также то, что классификация связных регионов осуществляется на основе анализа их векторов движения, определяемых блочным методом вычисления оптического потока по трем основным направлениям движения дыма (45° , 90° , 135°), и вычисления контраста Вебера. Такой подход позволяет отличать дым от объектов со схожим поведением не требуя значительных вычислительных затрат (рисунок 4).



Рисунок 4. – Обнаруженные области дыма на видеопоследовательностях

Для обнаружения пламени на видеопоследовательностях предложен алгоритм, предполагающий выявление областей, которые могут быть отнесены по своим характеристикам к пламени на основе цветовой фильтрации в пространстве RGB и анализа временных изменений границ и пространственных изменений яркости области на основе вейвлет-преобразования. Классификация найденных областей осуществляется с применением статистических текстурных признаков, определяемых по матрице вхождений, и цветовых признаков, определяемых по нормализованным гистограммам составляющих H и S из HSV

цветового пространства на основе метода k ближайших соседей. Отличительной особенностью алгоритма является вычисление текстурных признаков после преобразования изображения в полутоновое и применения локального двоичного разбиения, что обеспечивает инвариантность алгоритма к изменению освещенности сцены. Алгоритм характеризуется робастностью к детектированию ложных областей на изображении, которые схожи по цветовым характеристикам с пламенем (рисунок 5).



Рисунок 5. – Результаты обнаружения пламени

Движение является общим признаком дыма и пламени и используется для извлечения из текущего кадра областей-кандидатов в разработанном *алгоритме обнаружения дыма и пламени*. Для найденных областей выполняется анализ хаотичности смещения векторов движения, определяемых блочным методом вычисления оптического потока, что позволяет снизить вероятность ложного обнаружения. С учетом различия яркостно-цветовых характеристик признаков пожара применяются цветовая сегментация для пламени и анализ контраста для дыма. Отличительной особенностью алгоритма является использование на этапе классификации пространственного и временного вейвлет-анализа областей-кандидатов для пламени и для дыма. Пространственное вейвлет-преобразование применяется для определения области дыма путем анализа энергии вычисленных значений высокочастотной области текущего и фонового изображений. Для определения мерцания границ, характерного для дыма и пламени, используется одномерный пространственно-временной вейвлет-анализ. С его помощью рассчитывается количество вейвлет-экстремумов для каждой области изображения. Средние значения вероятностей правильного обнаружения для данного алгоритма составляют 87 % для дыма и 92 % для пламени, обнаружение пламени и дыма обеспечивается не позднее 3 с при частоте кадров 25 кадр./с после их возникновения. Примеры работы алгоритма показаны на рисунке 6. Применение единых приемов обработки упрощает структуру алгоритма и позволяет снизить вычислительные затраты на обнаружение обоих признаков пожара.



Рисунок 6. –Обнаружение дыма и пламени алгоритмом

Разработан алгоритм раннего обнаружения дыма лесного пожара на последовательностях изображений с учетом основных мешающих факторов: значительная удаленность точки возгорания от видеокамеры, что приводит к необходимости обнаруживать область, принадлежащую дыму, малых размеров; движущиеся облака; туман; сложный фон из деревьев. Основу алгоритма составляет пространственно-временной анализ блоков малых размеров, извлекаемых из кадров видеопоследовательности, с использованием нормализованных дескрипторов ковариации. Определение блоков для такого анализа выполняется на основе оценки движения и цветовой сегментации в цветовом пространстве HSV. При классификации областей используется метод на основе опорных векторов. Проведенные исследования показали, что обнаружение дыма лесного пожара выполняется с временной задержкой до 5 с при частоте кадров 25 кадр./с (рисунок 7), на сложных видеопоследовательностях, когда плотность дыма очень низкая и он распространяется с малой скоростью, дым обнаруживается с большей временной задержкой.



Рисунок 7. – Обнаруженные области дыма лесного пожара

В *шестой главе* рассматривается проблема классификации изображений парковочных мест автостоянки на свободные и занятые на основе данных систем видеомониторинга. Для ее решения предлагается алгоритм с использованием гистограмм ориентированных градиентов для формирования вектора признаков и метода опорных векторов для их классификации. Алгоритм построения вектора признаков парковочного места на основе гистограммы ориентированных градиентов требует выполнения следующих шагов:

1. Вычисление градиентов для изображения I с размерами $w \times h$:

$$G_{x,y}^x = I_{x,y} \cdot M^x, \quad G_{x,y}^y = I_{x,y} \cdot M^y, \quad (23)$$

где $0 \leq x < w, 0 \leq y < h$; $M(M^x, M^y)$ – дискретный дифференцирующий оператор (M^x и M^y для осей x и y соответственно).

2. Вычисление модуля вектора градиента $G_{x,y}$ и ориентации $\theta_{x,y}$ для изображения I :

$$G_{x,y} = \sqrt{G_{x,y}^x{}^2 + G_{x,y}^y{}^2}, \quad \theta_{x,y} = \arctan\left(\frac{G_{x,y}^y}{G_{x,y}^x}\right) \quad (24)$$

и формирование матрицы градиентов G и ориентаций θ изображения I .

3. Разбиение G на ячейки $C_{m,n}$ размером $C_w \times C_h$ и накопление мощностей градиентов в соответствии с ориентациями θ для каждой из них:

$$C_{m,n}^l = \sum_{\substack{i=m \cdot C_w \\ j=n \cdot C_h}}^{(m+1) \cdot C_w - 1} \left\{ \begin{array}{l} G_{i,j}, l \cdot \frac{2\pi}{b} \leq \theta_{i,j} < (l+1) \cdot \frac{2\pi}{b}, \\ 0, l \cdot \frac{2\pi}{b} > \theta_{i,j} \cup \theta_{i,j} \geq (l+1) \cdot \frac{2\pi}{b}, \end{array} \right. \quad (25)$$

где b – число ориентаций в ячейке, которое определяется поставленной задачей, $0 \leq l < b$, $0 \leq m < cw$, $0 \leq n < ch$, $cw = \frac{w}{C_w}$, $ch = \frac{h}{C_h}$.

4. Объединение ячеек в блоки $B_{f,g}$ размером $B_w \times B_h$:

$$B_{f,g} = \begin{pmatrix} C_{f,g} & \cdots & C_{f+B_w-1,g} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{f,g+B_h-1} & \cdots & C_{f+B_w-1,g+B_h-1} \end{pmatrix}, \quad (26)$$

где $0 \leq m < cw$, $0 \leq g < bh$, $bw = cw - B_w + 1$, $bh = ch - B_h + 1$.

5. Формирование вектора признаков:

- 5.1. Вычисление второй нормы ориентаций ячеек блока $B_{f,g}$:

$$\|B_{f,g}\|_2 = \sqrt{\sum_{i=f}^{f+B_w-1} \sum_{j=g}^{g+B_h-1} \sum_{l=0}^{b-1} C_{i,j}^l}, \quad (27)$$

5.2. Нормализация ориентаций ячеек блока:

$$C_{i,j}^{l,f,g} = \frac{C_{i,j}^l}{\|B_{f,g}\|_2}. \quad (28)$$

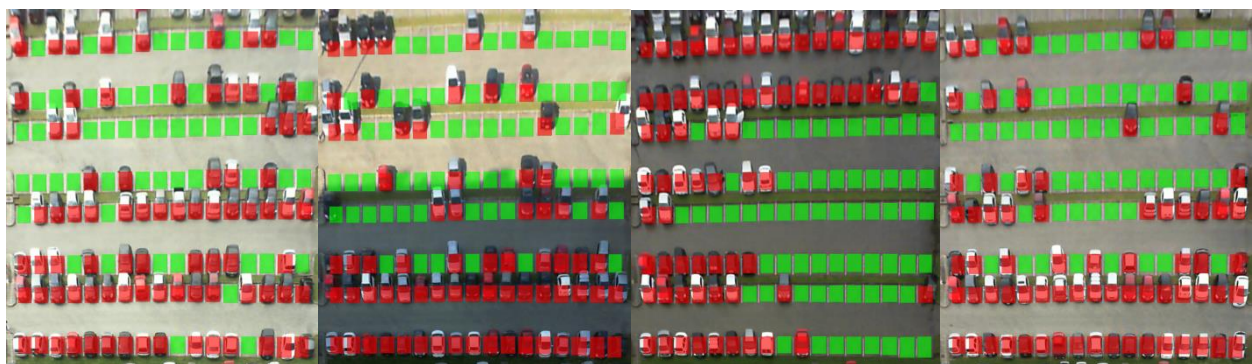
5.3. Составление вектора признаков:

$$d_{b \cdot B_w \cdot B_h \cdot (b \cdot w \cdot g + f) + b \cdot (B_w \cdot (j-g) + (i-f)) + l} = C_{i,j}^{l,f,g}. \quad (29)$$

Размер вектора d зависит от размера изображения $w \times h$, размера ячеек $C_w \times C_h$ и размера блока $B_w \times B_h$, а также от количества ориентаций в ячейке b . Таким образом, количество элементов в признаковом векторе может быть определено как

$$D_S = b \cdot B_w \cdot B_h \cdot \left(\frac{w}{C_w} - 1 \right) \cdot \left(\frac{h}{C_h} - 1 \right). \quad (30)$$

Для определения значений параметров дескриптора проведены экспериментальные исследования с использованием изображения парковки из базы данных Pk-Lot. Для тестирования алгоритма использованы 2 153 изображения парковки с общим количеством изображений парковочных мест 292 808, которые были получены при различных погодных условиях. На основе экспериментальных исследований *установлены наиболее эффективные значения параметров дескриптора*: размер изображения парковочного места – 64×72 , размер ячейки – 8×8 , количество ориентаций в ячейке – 16. Установлено, что функция ядра на основе пересечения гистограмм обеспечивает наибольшую вероятность правильной классификации дескрипторов парковочных мест. Результаты классификации показаны на рисунке 8.



a – солнечно; *б* – наличие тени; *в* – после дождя; *г* – пасмурно
Рисунок 8. – Результаты классификации парковочных мест

Предложенный алгоритм обеспечивает повышение вероятности правильной классификации изображений парковочных мест по сравнению с существующими, вероятность правильной классификации составляет 0,997.

В *седьмой главе* представлены разработанные программные решения на основе результатов исследований.

Программная система видеонаблюдения с автоматизированным обнаружением движущихся объектов и обнаружением пожаров на открытых пространствах может быть использована как прототип комплексной системы видеомониторинга или индивидуально для решения различных прикладных задач: охраны периметров с небольшим количеством движения – склады, базы, стоянки и другие объекты. Алгоритмы обработки видеoinформации реализованы с использованием языка программирования C++, библиотеки алгоритмов компьютерного зрения и обработки изображений OpenCV. К основным функциональным характеристикам программной системы относятся: быстрая адаптация для достаточно широкого диапазона условий съемки; возможность выбора зоны детектирования в кадре; звуковое и визуальное оповещение при обнаружении движущегося объекта или возникновении пожара; возможность задания пользователем граничных размеров движущихся объектов; запись видео непрерывно или при обнаружении движения или возможность сохранения информационных кадров в виде отдельных изображений с указанием даты и времени обнаружения движения с выделением рамкой объектов; возможность отображения траектории движения; расширение функциональных возможностей путем подключения дополнительных программных модулей – плагинов. Для эффективного использования вычислительных ресурсов многоядерных процессоров реализована технология параллельной обработки данных OpenMP.

Разработан *программный модуль обнаружения, распознавания и сопровождения людей* для системы «Умный дом». Программная реализация рассмотренных в главе 4 алгоритмов использует OpenCV для захвата видеопотока и извлечение кадров из него для обработки и для классических операций с изображениями, таких, как изменение размера кадра, кадрирование и отрисовка прямоугольников на изображении. Для основных процедур алгоритмической обработки используется программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений для всех операций с применением СНС, которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность благодаря использованию GPU NVIDIA с технологией CUDA. Такой подход позволил обеспечить работу в режиме реального времени со скоростью обработки 25 кадров в секунду, если на кадре не более пяти человек, при реализации на видеокарте NVIDIA GTX 1060. Выходными данными являются

обработанные последовательности изображений с координатами обнаруженного или сопровождаемого человека и его индексом, общее количество людей в кадре.

Разработан прототип *системы управления парковкой SmartParkingPSU* на основе анализа видеоданных. Данное программное обеспечение предназначено для управления парковкой с предоставлением онлайн-бронирования парковочных мест, при этом используется разработанный и представленный в главе 6 алгоритм обнаружения свободных парковочных мест. Система состоит из двух частей: серверной и клиентской и реализована в виде клиент-серверного приложения с адаптивным веб-дизайном.

Реализовано *программное обеспечение для распознавания показаний цифровых измерительных приборов* на видеопоследовательности с возможностью сохранения результатов в текстовый файл, что позволяет анализировать и обрабатывать данные приборов, получаемые за определенный временной интервал. Входными данными является видеопоследовательность с камеры в реальном времени или видеофайл, хранимый на носителе информации. В программном обеспечении реализованы основные функции: выбор областей в кадре для распознавания данных; настройка предобработки последовательностей изображений для каждой выбранной области; включение функции протоколирования обработки; формирование отображения полученных данных в виде графиков в реальном времени с возможностью их масштабирования и при необходимости сохранения; глобальное управление процессом обработки, т. е. включение паузы, возобновление обработки или отмена функции. Данное программное обеспечение разработано на языке Java с использованием библиотек OpenCV, Tesseract, JFreeChart и Swing.

Представлено разработанное *алгоритмическое и программное обеспечение для анализа изображений микроструктуры металлов*, реализующее металлографические методы: подсчета зерен на микрошлифе, который используется только для равноосных зерен; подсчета пересечения границ зерен, свободный от данного ограничения; измерения хорд, применяемый для определения величины зерна в разнотельной структуре. Программное обеспечение также предоставляет возможности: калибровки для возможности получения реальных размеров зерен; предварительной обработки изображений в автоматическом или ручном режимах; сохранения результатов.

Разработано *алгоритмическое и программное обеспечение для распознавания реквизитов банковских карт* на основе анализа видеоданных для мобильных устройств под управлением iOS. Для этого разработан алгоритм обработки для обнаружения полей реквизитов лицевой стороны банковских карт с использованием мобильных устройств. Повышение эффективности детектирования карты, сегментации информационных полей и распознавания данных по сравнению с существующими подходами обеспечивается за счет

анализа последовательности изображений, получаемой из видеоряда. Предложенный подход включает: обнаружение границ карты в кадре; сегментацию информационных полей с учетом их расположения на карте; улучшение изображений сегментов с применением нормализации гистограммы и морфологической обработки; определение границ блоков символов на основе адаптивной бинаризации и морфологической обработки; их уточнение с использованием скользящего вертикального окна; дальнейшее распознавание символов выполняется с применением библиотеки Tesseract. В качестве языка программирования использован Objective-C, для работы с изображениями – библиотека OpenCV, из основных фреймворков iPhone SDK использованы: CoreMedia и AVFoundation – менеджмент медиа-данных; UIKit – работа с интерфейсами приложений; CoreGraphics – низкоуровневая обработка 2D изображений. Программное средство позволяет практически в реальном времени распознавать все информационные поля лицевой стороны банковской карты на латинице и на кириллице, для эмбоссированных и неэмбоссированных типов карт. Тестирование алгоритма проведено на подготовленной базе данных из 200 карт с использованием мобильного устройства iPhone 7. При этом доля истинно положительной классификации всех трех полей данных на карте составляет $TPR = 0,88$, для номера и срока действия карты – $TPR = 0,925$.

В диссертации приводятся акты об использовании и внедрении разработанных программных продуктов в организациях и учреждениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены следующие основные результаты, имеющие приоритетное значение и развивающие новое научное направление, включая методологические основы обнаружения, анализа и сопровождения объектов на видеопоследовательностях, и в целом обеспечивающие повышение эффективности работы систем видеонаблюдения:

1. Разработана методика обнаружения объектов на изображениях большого разрешения. Отличием от существующих подходов является пирамидально-блочная обработка. Количество слоев пирамиды определяется размерами изображения и входного слоя используемой сверточной нейронной сети. На всех уровнях, кроме самого верхнего, выполняется блочное разбиение, а применение при этом перекрытия позволяет улучшить правильную классификацию объектов, которые разделяются на фрагменты и расположены в соседних блоках. Решение об объединении таких областей принимается на основе анализа метрики пересечения над объединением для них и принадлежности к одному классу. Предложенный подход позволяет повысить точность

обнаружения объектов небольших размеров на 4К изображениях в 1,61 раза, на 8К изображениях в 2 раза и выполнять параллельную обработку на современных вычислительных средствах, что существенно снижает временные затраты [23, 32, 80, 89, 99].

2. Предложена методика и функции схожести для сравнения объектов при обработке одиночных изображений и видеопоследовательностей, которые рассчитываются на основе вычисления отношений между минимальным и максимальным значениями для всех пар анализируемых признаков двух изображений. Для получения результирующей величины, характеризующей схожесть сравниваемых изображений в целом, используется суммирование или умножение вычисленных отношений. Предложено учитывать расстояния между признаками для таких типов вычислений, что позволяет подчеркнуть локальные различия между ними. Минимаксная аддитивная функция схожести позволяет правильно обнаруживать объекты на изображениях с плотностью импульсного шума в 1,6 раза выше, чем для других функций схожести. Нормированная минимаксная усредненная аддитивная функция схожести представляет возможность улучшения точной локализации с учетом линейного изменения уровней анализируемых признаков сравниваемых изображений [1, 22, 36, 37, 48, 49, 50, 51, 55, 87, 88].

3. Разработан метод построения и обновления модели фонового кадра, который предназначен для использования при обнаружении движущихся объектов на видеопоследовательности, полученной со стационарно установленной камеры, путем сопоставления входного кадра с моделью фона. Метод позволяет получить изображение фона, не содержащее движущихся объектов при их наличии во входной видеопоследовательности, отличается применением итерационного многоуровневого сравнения распределенных по времени кадров при построении маски движения, попиксельной кластеризации, логических и морфологических операций, что обеспечивает уменьшение вероятности ложного обнаружения пикселей с движением более чем в 2 раза, не требуя значительных вычислительных затрат, и позволяет повысить эффективность обнаружения движущихся объектов на видеопоследовательности [1, 5, 38, 39, 52, 53, 58, 91, 103, 104].

4. Предложен алгоритм обнаружения движущихся объектов на основе блочного метода вычисления оптического потока. Для сокращения временных затрат используется пирамидальное представление кадра и шаблонный поиск на этапе построения предварительной карты векторов движения. В качестве шаблона принимаются координаты используемых при поиске точек, определяемых от центра шаблона в виде ромба. Такой подход обеспечивает сокращение временных затрат. Для уточнения предварительной карты движения применяется набор векторов, включающий относительно текущего: левый, верхний и правый верхний; вектор, представляющий среднее из этих трех;

вектор из предыдущего кадра. Отличительной особенностью алгоритма является применение минимаксной функции схожести при анализе векторов движения для повышения точности локализации объектов [1, 6, 33, 54, 56, 57, 59, 61].

5. Разработан алгоритм сопровождения людей на видеопоследовательностях для видеонаблюдения внутри помещений, который базируется на сопровождении через обнаружение. Для обнаружения объектов используется сверточная нейронная сеть. Отличительной особенностью является то, что признаки обнаруженных людей формируются на основе сверточной нейронной сети и гистограммы канала цветового тона. Для этого предложена архитектура СНС, которая формирует вектор из 128 значений признаков для изображения человека, что позволило улучшить качественные характеристики сопровождения по сравнению с известными алгоритмами. Алгоритм позволяет увеличить критерий точности обнаружения сопровождаемых объектов IDF_1 на 53% и характеризуется критерием точности сопровождения множества объектов $MOTA = 0,9266$ [20, 21, 29, 30, 85].

6. Разработана методика сопровождения людей, отличительной особенностью которой является использование результатов идентификации по лицам для сопровождения. Такой подход позволяет обеспечить высокую точность трэкинга при возможности распознавания лиц на видеокдрах при сложной траектории движения людей. Составной дескриптор изображения каждого человека включает признаки лиц, вычисленные на основе сверточной нейронной сети, и комплекс признаков изображения человека, что позволяет сопровождать людей при невозможности идентификации лиц. Критерий точности сопровождения множества людей увеличивается и оценивается значением $MOTA = 0,9324$ [24, 26, 27].

7. Разработан комплекс алгоритмов обнаружения дыма и пламени на видеопоследовательностях на основе анализа статических и динамических свойств видеоизображений:

– алгоритм обнаружения дыма, отличительной особенностью которого является то, что классификация движущихся областей осуществляется на основе вычисления для них контраста Вебера и анализа их векторов движения, определяемых блочным методом вычисления оптического потока по трем основным направлениям движения. Такой подход позволяет более эффективно отличать области дыма от движущихся областей, имеющих схожие яркостно-цветовые характеристики [8, 10, 11, 60, 62, 63, 68, 69, 70, 92, 93, 94];

– алгоритм обнаружения пламени, который использует цветовую фильтрацию в пространстве RGB и вейвлет-преобразование для выявления всех областей, которые могут быть отнесены к пламени. Дальнейшая классификация найденных областей осуществляется с использованием статистических текстурных признаков и цветовых признаков на основе метода k ближайших

соседей. Отличительной особенностью алгоритма является вычисление текстурных признаков после преобразования изображения в полутоновое и применения локального двоичного разбиения, что обеспечивает его инвариантность к изменению освещенности сцены [9,12, 65, 66, 67, 69, 70];

– алгоритм обнаружения дыма и пламени. Отличием является использование движения для выявления областей пожара на видеоряде как признака, характерного для дыма и для пламени. Для уменьшения вероятности ложного обнаружения выполняется анализ хаотичности движения в обнаруженных областях. Отличительной особенностью алгоритма является использование на этапе классификации пространственного и временного вейвлет-анализа областей-кандидатов для пламени и для дыма. Применение единых приемов обработки упрощает структуру алгоритма и позволяет снизить вычислительные затраты [13, 17, 71, 72, 75, 95].

8. Разработан алгоритм классификации изображений парковочных мест автостоянки на основе данных видеомониторинга, который базируется на использовании гистограмм ориентированных градиентов для вычисления признаков парковочного места и метода опорных векторов с функцией ядра на основе пересечения гистограмм для их классификации. Определены наиболее эффективные параметры дескриптора, такие, как размер изображения парковочного места, размер ячейки, количество ориентаций в ячейке. Установлен наиболее эффективный тип функции ядра на основе пересечения гистограмм для классификатора. Комплекс найденных параметров позволяет повысить вероятность правильной классификации парковочных мест на свободные и занятые до величины 0,997, которая является наибольшей для существующих алгоритмов [16, 18, 77, 81, 82, 97].

9. Разработан алгоритм обнаружения полей реквизитов лицевой стороны банковских карт по видеопоследовательностям для мобильных устройств. За счет анализа видеоряда достигается повышение эффективности детектирования карты и сегментации информационных полей по сравнению с существующими подходами. Предложенный подход включает: обнаружение границ карты в кадре; сегментацию информационных полей с учетом их расположения на карте; улучшение изображений сегментов с применением нормализации гистограммы и морфологической обработки; определение границ блоков символов на основе адаптивной бинаризации и морфологической обработки; их уточнение с использованием скользящего вертикального окна; дальнейшее распознавание символов выполняется с применением библиотеки Tesseract. Алгоритм позволяет в реальном времени распознавать все информационные поля лицевой стороны банковской карты, включая номер, дату окончания действия, имя и фамилию владельца на латинице и на кириллице, для эмбоссированных и неэмбоссированных типов карт [19, 25, 86].

10. Решены конкретные практические задачи обнаружения и анализа объектов на изображениях, получаемых со стационарных камер систем видеонаблюдения на основе разработанных методов, методик и алгоритмов.

Полученные в диссертационной работе результаты предназначены для реализации в интеллектуальных системах видеонаблюдения и могут использоваться также для повышения эффективности работы отдельных модулей систем обработки и анализа видеоданных.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные при выполнении диссертационных исследований новые методы, методики и алгоритмы предназначены для повышения автоматизации работы систем видеонаблюдения.

Результаты диссертационной работы внедрены при разработке систем, использующих анализ видеоданных для решения различных прикладных задач:

- программный модуль обнаружения и сопровождения людей – ООО «Hi-Tech Nation», г. Минск;
- программное обеспечение для распознавания данных цифровых измерительных приборов на видеопоследовательностях – Проектный институт реконструкции и строительства учреждения образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк;
- программное обеспечение для анализа изображений микроструктуры металлов – ОАО «Нафтан», г. Новополоцк;
- программное обеспечение для распознавания реквизитов банковских карт на основе анализа видеоданных для мобильных устройств под управлением iOS – ООО «ТэксодТехнолоджис», г. Минск;
- программный модуль поиска объектов при анализе рекламных блоков на видеопоследовательностях большого разрешения в социальных сетях для системы Niveanalytic – ООО «Веб Драйвер», г. Москва.

Полученные результаты используются при выполнении международного проекта по программе ЭРАЗМУС+ «Совершенствование программы второй ступени получения высшего образования в области информационных и компьютерных технологий для повышения профессиональной востребованности магистрантов» № 598330-EPP-1-2018-1-DE-EPPKA2-SVNE-JP, 2019–2022 гг. Результаты применяются в учебном процессе при преподавании профильных дисциплин на кафедрах информационных систем управления БГУ, информационных технологий ГГТУ им. П. О. Сухого, электронных вычислительных машин БрГТУ, вычислительных систем и сетей ПГУ.

Внедрение полученных результатов диссертационной работы подтверждает практическое достижение поставленной цели исследований.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монография

1. Мальцев, С. В. Обработка сигналов и изображений средствами векторно-матричных вычислений / С. В. Мальцев, С. В. Абламейко, Р. П. Богуш. – Новополоцк: ПГУ, 2011. – 212с.

Статьи в научных изданиях в соответствии с п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь и в зарубежных журналах

2. Ablameyko, S. Correlation Search for Binary Objects in Images by Factorizing Raster Matrices / S. Ablameyko, R. Bogush, S. Maltsev // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2002. – Vol. 12, № 3. – P. 267–278.

3. Мальцев, С. В. Оптимизация блочного разбиения бинарных матриц для цифровой обработки сигналов / С. В. Мальцев, Р. П. Богуш // Доклады БГУИР. – 2003. – N 2/2. – Т. 1. – С. 88–93.

4. Богуш, Р. П. Стеганографическое скрытие информации в статических изображениях / Р. П. Богуш // Цифровая обработка сигналов. – 2009. – № 3. – С. 8–11.

5. Bogush, R. Motion Detection and Tracking Algorithms in Video Streams / R. Bogush, S. Maltsev, A. Kastyuk, N. Brovko, D. Gluhau // VNU Journal of Science, Mathematics – Physics. – 2009. – Vol. 25, № 3. – P. 143–151.

6. Богуш, Р. П. Комбинирование блочных алгоритмов вычисления оптического потока для обнаружения и сопровождения движущихся объектов на видеопоследовательностях / Р. П. Богуш, В. Ю. Лысенко, Г. А. Самощенко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2011. – № 4. – С. 2–7.

7. Бровко, Н. В. Анализ методов обработки последовательностей видеоизображений в приложении к задаче раннего обнаружения пожаров / Н. В. Бровко, Р. П. Богуш // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2011. – № 12. – С. 42–50.

8. Brovko, N. Smoke detection algorithm for video surveillance systems / N. Brovko, R. Bogush // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2012. – № 4. – С. 2–9.

9. Богуш, Р. П. Обнаружения пламени на динамических изображениях на основе вейвлет-анализа и текстурной сегментации / Р. П. Богуш, Н. В. Бровко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2012. – № 12. – С. 27–32.

10. Brovko, N. Smoke detection in video based on motion and contrast / N. Brovko, R. Bogush, S. Ablameyko // Journal of Computer Science and Cybernetics. – 2012. – Vol. 28, № 3. – P. 195–205.

11. Brovko, N. Smoke detection algorithm for intelligent video surveillance system / N. Brovko, R. Bogush, S. Ablameyko // *Computer Science Journal of Moldova*. – 2013. – Vol.21, № 1(61). – P. 142–156.
12. Bohush, R. Fire detection in video sequences based on static and dynamic features / R. Bogush, N. Brovko, S. Ablameyko // *Journal of Electrical Engineering*. – 2013. – Vol.1, № 1. – P. 25–33.
13. Богуш, Р. П. Алгоритм комплексного обнаружения дыма и пламени на основе анализа данных систем видеонаблюдения / Р. П. Богуш, Д. А. Тычко // *Доклады БГУИР*. – 2015. – № 6(92) – С. 65–71.
14. Чертков, В. М. Нерекурсивная фильтрация изображений с использованием ПЛИС архитектуры FPGA / В. М. Чертков, Р. П. Богуш, А. В. Андросчук // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки*. – 2015. – № 12. – С. 15-21.
15. Ярошевич, П. В. Сегментация парковочных мест на изображениях автостоянок / П. В. Ярошевич, Р. П. Богуш, Д. О. Глухов // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки*. – 2016. – № 12. – С. 6–12.
16. Ярошевич, П. В. Алгоритм классификации изображений парковочных мест автостоянки на основе гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов / П. В. Ярошевич, Р. П. Богуш // *Компьютерная оптика*. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 110–117.
17. Ye, S. An Effective Algorithm to Detect Both Smoke and Flame Using Color and Wavelet Analysis / S. Ye, B. Zhican, C. Chen, R. Bohush and S. Ablameyko // *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2017. – Vol. 27, N. 1. – P. 131–138.
18. Bohush, R. Extraction of Image Parking Spaces in Intelligent Video Surveillance Systems / R. Bohush, P. Yarashevich, S. Ablameyko, T. Kalganova // *Machine Graphics & Vision*. – 2018. – Vol. 27, № 1/4. – P. 47–62.
19. Bohush, R. Video-Based Content Extraction Algorithm from Bank Cards for iOS Mobile Devices / R. Bohush, A. Kurylovich, S. Ablameyko // *Communications in Computer and Information Science. Pattern Recognition and Information Processing*. – 2019. – Vol. 1055. – P. 180–191.
20. Bohush, R. Robust Person Tracking Algorithm Based on Convolutional Neural Network for Indoor Video Surveillance / R. Bohush, I. Zakharava // *Communications in Computer and Information Science. Pattern Recognition and Information Processing*. – 2019. – Vol. 1055. – P. 289–300.
21. Богуш, Р. П. Алгоритм сопровождения людей на видеопоследовательностях с использованием сверточных нейронных сетей для видеонаблюдения внутри помещений / Р. П. Богуш, И. Ю. Захарова // *Компьютерная оптика*. – 2020. – Т. 44, № 1. – С. 109–116.

22. Bohush, R. Image Similarity Estimation Based on Ratio and Distance Calculation between Features / R. P. Bohush, S. V. Ablameyko, E. R. Adamovskiy and D. Savca // *Pattern Recognition and Image Analysis*. – 2020. – Vol. 30, № 2. – P. 147–159.
23. Богуш, Р. П. Обнаружение объектов на изображениях с большим разрешением на основе их пирамидально-блочной обработки / Р. П. Богуш, И. Ю. Захарова, С. В. Абламейко // *Информатика*. – 2020. – Т. 17, № 2. – С. 7–16.
24. Богуш, Р. П. Алгоритм сопровождения людей на видеопоследовательности с использованием идентификации по лицам для наблюдения внутри помещений / Р. П. Богуш, И. Ю. Захарова, С. В. Абламейко // *Вестник информационных и компьютерных технологий*. – 2020. – № 7. – С. 3–14.
25. Chen, H. Video-Based Content Recognition of Bank Cards with Mobile Devices / H. Chen, S. Ye, A. Kurilovich, R. Bohush, S. Ablameyko // *Programming and Computer Software*. – 2020. – Vol. 46, № 6. – С. 373–383.
26. Богуш, Р. П. Клиент-серверная система для идентификации и мониторинга перемещения людей в помещениях на основе анализа видеоданных / Р. П. Богуш, И. Ю. Захарова // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки*. – 2020. – № 12. – С. 13–18.
27. Ye, S. Person Tracking and Re-Identification in Video for Indoor Multi-Camera Surveillance Systems / S. Ye, R. Bohush, C. Chen, I. Zakharava, S. Ablameyko // *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2020. – Vol. 30, № 4 – P. 827–837.
28. Богуш, Р. П. Алгоритм обнаружения дыма лесного пожара на видеоизображении / Р. П. Богуш, С. В. Абламейко // *Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика*. – 2021. – № 1. – С. 91–101.
29. Богуш, Р. П. Обнаружение и сопровождение объектов на видеопоследовательностях: формализация, критерии и результаты / Р. П. Богуш, С. В. Абламейко // *Информатика*. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 43–60.
30. Богуш, Р. П. Вычисление и анализ признаков движущихся объектов для сопровождения на видеопоследовательности / Р. П. Богуш, С. В. Абламейко, И. Ю. Захарова // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки*. – 2021. – № 4. – С. 2–10.
31. Богуш, Р. П. Обработка и анализ изображений микроструктуры металлов для определения балла зерна / Р. П. Богуш, Е. Р. Адамовский, С. Ф. Денисенко // *Доклады БГУИР*. – 2021. – № 4(19) – С. 70–79.
32. Богуш, Р. П. Повышение эффективности обнаружения объектов небольших размеров на 8К изображениях при использовании сверточных нейронных сетей / Р. П. Богуш, С. В. Абламейко, С. А. Игнатьева, Е. Р. Адамовский // *Известия ГГУ им. Ф. Скорины*. – 2021. – № 3(126) – С. 85–91.

33. Chen, H. Estimation of People Movement in Video based on Optical Flow Block Method and Motion Maps / H. Chen, R. P. Bohush, Ch. Chen and S. V. Ablameyko // Pattern Recognition and Image Analysis, 2021. – Vol. 31, № 2 – P. 261–270.

Статьи в других рецензируемых научных журналах и сборниках

34. Абламейко, С. В. Корреляционная обработка сигналов и изображений / С. В. Абламейко, С. В. Мальцев, Р. П. Богуш // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2005. – № 4. – С. 45–54.

35. Богуш, Р. П. Обнаружение полутоновых объектов на изображении на основе вейвлет-преобразования / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев, А. А. Аниськович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2005. – № 4. – С. 69–74.

36. Богуш, Р. П. Обнаружение и локализация объектов на статических изображениях с использованием минимаксных функций схожести / Р. П. Богуш // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2007. – № 9. – С. 109–114.

37. Богуш, Р. П. Детектирование движущихся объектов в системах видеонаблюдения на основе минимаксной функции схожести / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2008. – № 9. – С. 77–81.

38. Богуш, Р. П. Система обработки информации для интеллектуального видеонаблюдения / Р. П. Богуш, В. Ю. Лысенко, А. В. Волков, Н. В. Бровко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фунд. науки. – 2010. – № 3. – С. 23–29.

39. Богуш, Р. П. Интеллектуальная программная система обработки видеoinформации / Р. П. Богуш // Наука и инновации. – 2013. – № 6(124). – С. 8–10.

40. Ярошевич, П. В. Классификация изображений парковочных мест автостоянки с использованием гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов / П. В. Ярошевич, Р. П. Богуш // Техническое зрение. – 2016. – Вып. 1. – С. 24–28.

41. Богуш, Р. П. Комплексная система видеомониторинга испытаний прочности и деформативности строительных материалов и конструкций / Р. П. Богуш, Д. О. Глухов, А. Н. Ягубкин, Е. А. Скрипелев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 8. – С. 39–44.

Материалы конференций

42. Bogush, R. A Gray-Scale Object Correlation Detection / R. Bogush, S. Maltsev, S. Ablameyko // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2003): proceedings of the 7th Int. Conf., Minsk, May 21–23, 2003. – Minsk, 2003. – Vol. 1. – P. 87–91.

43. Аниськович, А. А. Применение вейвлет-преобразования для поиска объектов на изображении / А. А. Аниськович, Р. П. Богуш // Материалы III Междунар. конф. «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств», Новополоцк, 26–28 мая 2004. – Т. 2 – С. 29–32.
44. Абламейко, С. В. Корреляционная обработка информации и ее применение / С. В. Абламейко, С. В. Мальцев, Р. П. Богуш // Материалы III Междунар. конф. «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств», Новополоцк, 26–28 мая 2004. – Т. 2. – С. 3–9.
45. Богуш, Р. П. Алгоритм скрытия данных в изображениях для стандарта JPEG2000 / Р. П. Богуш, Е. А. Киршин, М. Г. Соскунов, А. В. Юганов // Материалы Междунар. конф. «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств», Новополоцк, 26–28 мая 2004. – Т. 2 – С. 124–127.
46. Богуш, Р. П. Поиск объектов на изображении с использованием вейвлет-преобразования / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев, А. А. Аниськович // Доклады IV Междунар. конф. «Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях», Минск, 29 ноября – 1 декабря 2004 г. – С. 164–169.
47. Bogush, R. Object Detection Using Wavelet Transform / R. Bogush, S. Maltsev, A. Aniskovich, // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2005): proceedings of of Eighth International Conference, Minsk, 18–20 May 2005 / BSUIR. – Minsk, 2005. – P. 307–310.
48. Мальцев, С. В. Повышение разрешающей способности корреляционного метода обнаружения полутонных объектов на изображении / С. В. Мальцев, Р. П. Богуш // Материалы IV Междунар. конф. «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств», Новополоцк, 25–26 мая 2006. – Т. 2 – С. 42–45.
49. Абламейко, С. В. Минимаксная функция схожести для обработки статических и динамических изображений / С. В. Абламейко, Р. П. Богуш, С. В. Мальцев // Доклады V Междунар. конф. «Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях», Минск, 24 – октября 2006 г. – Ч.2. – С. 35–39.
50. Bogush, R. Minimax Criterion of Similarity for Video Information Processing / R. Bogush, S. Maltsev // Control and Communications: Proc. of IEEE Int. Conf., Tomsk, April 20–21, 2007 / Tomsk Polytechnic University. – Tomsk, 2007. – P. 120–126.
51. Bogush, R. New families similarity function for images processing / R. Bogush, S. Maltsev // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2007): Proc. of the 9 Int. Conf., Minsk, May 22–24, 2007 / United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2007. – Vol.1. – P. 40–44.

52. Бровко, Н. В. Построение фонового кадра в системах видеонаблюдения / Н. В. Бровко, Р. П. Богуш // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апреля 2008 г.: в 3 ч. / Минский гос. выс. радио-кий кол.; под общ. ред. проф. Н. А. Цырельчука. – Минск, МГВРТК, 2008. – Ч. 2. – С. 14–16.

53. Bogush, R. Background Reconstruction Based on Iterative Algorithm for Video Surveillance Systems / R. Bogush, N. Brovko, S. Maltsev // Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2008): Proc. of the 5 Int. Conf., Minsk, May 27–30, 2008 / BSUIR. – Minsk, 2008. – P.40–44.

54. Богуш, Р. П. Комбинированный алгоритм обнаружения динамических объектов на видеопоследовательностях / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев, Н. В. Бровко, М. Ф. Михальченко // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы V Междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. / Полоцк. гос. ун-т; редкол.: С. В. Абламейко, М. Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк, 2008. – Т.3. – С. 48–51.

55. Bogush, R. Moving Object Detection and Tracking in Video Streams Based on Minimax Similarity Function / R. Bogush, N. Brovko // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2009): Proc. of the 10 Int. Conf., Minsk, May 19–21, 2009 / Belarusian State University. – Minsk, 2009. – P. 243–246.

56. Богуш, Р. П. Программный детектор движения для систем видеонаблюдения / Р. П. Богуш, В. Ю. Лысенко, А. В. Волков // Междунар. науч.-практ. конф.: материалы докладов, БГУ, Минск, 6–7 апреля 2010 / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2010. – С.11–15.

57. Богуш, Р. П. Обнаружение движущихся объектов на основе гибридного алгоритма обработки видеоряда / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев, Д. А. Довгяло, Н. В. Бровко // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: труды 9-й Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 22–23 апреля 2010 г. / под ред. А.П. Кудинова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010, Т. 4. – С. 353–354.

58. Bogush, R. Motion Detection and Tracking Algorithms in Video Streams / R. Bogush, S.Maltsev, A. Kastruyk, N. Brovko, D. Gluhau // Workshop phương pháp giải tích hiện đại trong ứng dụng (tại Hà Nội 20-21.05.2010) & hội thảo khoa học các chuyên đề toán olympic (tại Bà Rịa 22-23.05.2010), Hà Nội- Bà Rịa, Ngày 20-23.05.2010. – P. 3–9.

59. Богуш Р. П. Комбинированные алгоритмы обработки динамических изображений для интеллектуальных телевизионных систем / Р. П. Богуш, В. Ю. Лысенко, Д. А. Довгяло // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XI Междунар. науч.-метод. конф., 10–11 февраля 2011 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2011. – С. 107–110.

60. Бровко, Н. В. Обнаружение дыма по динамическим изображениям с использованием блочного метода вычисления оптического потока / Н. В. Бровко,

Р. П. Богуш // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XI Междунар. науч.-метод. конф., 10–11 февраля 2011 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2011. – С. 127–131.

61. Богуш, Р. П. Анализ алгоритмов обработки динамических изображений в приложении к задаче сегментации движения на сложном фоне / Р. П. Богуш, Г. А. Самощенко // Актуальные вопросы современной информатики-2011. Материалы Междунар. заочн. науч.-практ. конф., 1–15 апреля 2011 г. – Коломна: МГОСГИ, 2011. – Т. 2. – С.13–16.

62. Bogush, R. An Efficient Smoke Detection Algorithm for Video Surveillance Systems Based on Optical Flow / R. Bogush, N. Brovko // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2011): Proc. of the 11 Int. Conf., Minsk, May 18–20, 2011. – Minsk: BSUIR, 2011 – P. 351–354.

63. Bogush, R. Smoke Detection in Video / R. Bogush, N. Brovko // Signal Processing Symposium SPS-2011: Proc. of the Symposium, Jachranka Village, 8–10 June 2011 [Electronic resource]. – 2011. In: SPS 2011 Proceedings : Signal Processing Symposium. Jachranka Village, Poland, June 8–10, 2011. – Warsaw: Institute of Electronic Systems, 2011. – CD_ROM.

64. Самощенко, Г. А. Алгоритм оценки движения на видеоряде с использованием методов оптического потока и контурного анализа / Г. А. Самощенко, Р. П. Богуш // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XII Междунар. науч.-метод. конф., 9–10 февраля 2012 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2012. – С. 352–353.

65. Бровко, Н. В. Обнаружение пламени на видеоряде с использованием детектирования динамических текстур / Н. В. Бровко, Р. П. Богуш // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XII Междунар. науч.-метод. конф., 9–10 февраля 2012 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2012. – С. 66–68.

66. Богуш, Р. П. Детектирование открытого пламени в системах видеонаблюдения / Р. П. Богуш, Н. В. Бровко, С. В. Мальцев // Современные средства связи: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф., 16–18 окт. 2012 года, Минск, Респ. Беларусь / редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск : УО ВГКС, 2012. – С. 181–182.

67. Богуш, Р. П. Алгоритм обнаружения пламени для интеллектуальных систем видеонаблюдения / Р. П. Богуш, Н. В. Бровко, Д. О. Глухов // Новые информационные технологии и системы. Труды X Междунар. науч.-техн. конф., 27–29 ноября 2012 г. – Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2012. – С. 194–195.

68. Катковский, Л. В. Аппаратно-программный видеотепловой комплекс дистанционного обнаружения пожаров / Л. В. Катковский, С. Ю. Воробьев, Д. Л. Есипович, Р. П. Богуш, Н. В. Бровко // Приборостроение – 2012 : материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф., 21–23 ноября 2012 года, Минск, Республика

Беларусь / [редколлегия: О. К. Гусев (председатель) и др.] Минск: БНТУ, 2012. – С. 79–81.

69. Bohush, R. Smoke and flame detection in video sequences based on static and dynamic features / R. Bohush, N. Brouka // *Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Proceedings (SPA)*, 2013: Proc. of the Conference, Poznan, 26–28th September 2013. – 2013. – P. 20–25.

70. Богуш, Р. П. Обработка динамических изображений в приложении к задаче раннего обнаружения пожаров на открытых пространствах / Р. П. Богуш, Н. В. Бровко, С. В. Мальцев // *Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XIII Междунар. конф.*, 7–8 февраля 2013 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2013. – С. 88–91.

71. Богуш, Р. П. Повышение эффективности алгоритмического обеспечения видеодетекторов пожаров / Р. П. Богуш, Д. А. Тычко // *Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XIV Междунар. конф.*, 6–8 февраля 2014 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2014. – Т. 1. – С. 81–85.

72. Богуш, Р. П. Гибридный алгоритм детектирования дыма и открытого пламени для систем видеонаблюдения / Р. П. Богуш, Д. А. Тычко // *Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР (Минск, 18-19 марта 2014 года): материалы конф. В 2 ч. / редкол.: А. А. Кураев [и др.]*. - Минск : БГУИР, 2014. – 2014. – Ч.1. – С. 432–433.

73. Михайлов, Э. В. Обработка изображений платежных квитанций при автоматизированном вводе данных с применением мобильных устройств / Э. В. Михайлов, Р. П. Богуш // *Новые информационные технологии и системы: сб. науч. ст. XI Междунар. науч.-техн. конф.*, 25–27 ноября 2014 г. – Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2014. – С. 169–173.

74. Богуш, Р. П. Программный модуль для тестирования детекторов движения / Р. П. Богуш, П. А. Сорокин // *Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XV Междунар. конф.*, 12–13 февраля 2015 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2015. – Т.2. – С. 41–44.

75. Bohush, R. An effective algorithm for fire detection based on data analysis of video surveillance systems // R. Bohush, R., D.Hlukhau // *4th Korea-Belarus Science Forum*, 2015: Proc. of the Science Forum, Seoul, 17th November 2015. – 2015. – P. 45–47.

76. Авсеенко, Д. В. Алгоритм детектирования дыма для обнаружения лесных пожаров по видеоданным / Д. В. Авсеенко, Р. П. Богуш // *Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVI Междунар. конф.*, 11–12 февраля 2016 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2016. – Т. 2. – С. 24–27.

77. Ярошевич, П. В. Обработка динамических изображений в системах видеомониторинга для определения свободных парковочных мест / П. В. Ярошевич, Р. П. Богуш // *Информатика: проблемы, методология,*

технологии. Материалы XVI Междунар. конф., 11–12 февраля 2016 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2016. – Т. 2 – С. 324–327.

78. Богуш, Р. П. Моделирование алгоритма раннего обнаружения лесного пожара на основе анализа пространственных и временных признаков видеопоследовательностей / Р. П. Богуш, А. В. Авсеенко, Д. О. Глухов // Интеллектуальные и информационные технологии в формировании цифрового общества. Сборник научных статей международной научной конференции. 20–21 июня 2017 г. Санкт-Петербург; под ред. проф. В. В. Трофимова, В. Ф. Минакова. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2017. – С. 50–54.

79. Богуш, Р. П. Программное обеспечение для анализа изображений микроструктуры металлов / Р. П. Богуш, В. В. Туркова, Д. О. Глухов // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVIII Междунар. конф., 8–9 февраля 2018 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2018. – Т. 4. – С. 69–73.

80. Vorobjov, D. An effective object detection algorithm for high resolution video by using convolutional neural network / D. Vorobjov, I. Zakharava, R. Bohush, S. Ablameyko // Advances in Neural Networks – ISNN 2018. Proc. of 15th Int. Symposium on Neural Networks, ISNN 2018, Minsk, Belarus, June 25–28, 2018. Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Vol. 10878. – P. 503–510.

81. Богуш, Р. П. Структура интеллектуальной видеосистемы управления парковками / Р. П. Богуш, С. В. Абламейко, П. В. Ярошевич // Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018) [Электронный ресурс]: электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 14–15 июня 2018 г. / УО «ПГУ». – Новополоцк, 2018. – С. 254–256.

82. Bohush, R. Parking spaces images localization and classification for intelligent parking management system / R. Bohush, P. Yarashevich, S. Ablameyko // Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень» (Вінниця, грудень 2018): збірник доповідей. – 2018. – Т. 2. – С. 26–30.

83. Glukhov, D. A Joint Application of Fuzzy Logic Approximation and a Deep Learning Neural Network to Build Fish Concentration Maps Based on Sonar Data / D. Glukhov, R. Bohush, J. Makio, T. Hlukhava/ Proc. of the Second Int. Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019), Zaporizhzhia, Ukraine, April 15–19, 2019. – 2019. – Vol. 2353. – P. 133–142.

84. Mäkiö, J. Fuzzy Logic Approximation and Deep Learning Neural Network for Fish Concentration Maps / J. Mäkiö, D. Glukhov, R. Bohush, T. Hlukhava, I. Zakharava /Proc. of Int. Conf/ on Digital Transformation in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019), April 4–5, 2019, St. Petersburg, Russia. – 2019. – P. 484–488.

85. Bohush, R. CNN-based Real-time Person Tracking for Indoor Video Surveillance using CUDA Technology / R. Bohush, I. Zakharava, S. Ivankovich // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2019): Proc. of the 14 Int. Conf., Minsk, May 21–23, 2019. – Minsk: BSUIR, 2019. – P. 254–257.
86. Kurylovich, A. Video-based Content Detection and Recognition of Bank Cards in iOS Mobile Devices / A. Kurylovich, R. Bohush, S. Ablameyko // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2019): Proc. of the 14 Int. Conf., Minsk, May 21–23, 2019. – Minsk: BSUIR. – 2019. – P. 116–119.
87. Bohush, R. Robust object detection in images corrupted by impulse noise / R. Bohush, S. Ablameyko, Y. Adamovskiy / Proc. of the Third Int. Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020), Zaporizhzhia, Ukraine, April 27 – May 1, 2020 / [eds.: D. Luengo and other], 2020. – Vol. 2608. – P.1107–1116.
88. Bohush, R. Effective object localization in images by calculating ratio and distance between pixels / R. Bohush, S. Ablameyko, Y. Adamovskiy, D. Glukhov / Proc. of the First Int. Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS -2020), Khmelnytskyi, Ukraine, June 10 – 12, 2020 / [eds.: T. Hovorushchenko and other], 2020. – Vol. 2623 – P. 57–66.
89. Bohush, R. Object detection algorithm for high resolution images based on convolutional neural network and multiscale processing / R. Bohush, S. Ablameyko, S. Ihnatsyeva and Y. Adamovskiy / Proc. of the Fourth Int. Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2021), Zaporizhzhia, Ukraine, April 27 2021 / [eds.: S. Subbotin], 2021. – Vol. 2864. – P. 135–144.

Тезисы докладов

90. Богуш, Р. П. Алгоритмы обработки динамических изображений для сопровождения движущихся объектов на видеоряде / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев, Н. В. Бровко // Междунар. науч.-технич. конф., посвященная 45-летию МРТИ-БГУИР: тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф., БГУИР, Минск, 19 марта 2009 / Белорус. гос. ун-т инф-ки и радиоэл-ки. – Минск, 2009. – С. 92.
91. Богуш, Р. П. Обнаружение и трассировка движущихся объектов в интеллектуальных телевизионных системах / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев, Н. В. Бровко // 4-я Междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения: тез. докл., Минск, 20-21 мая 2009 / ГУ «БелИСА». – Минск, 2009. – С. 85–88.
92. Бровко, Н. В. Обнаружение дыма по последовательности видеоизображений на основе вычитания фонового кадра и анализа локального контраста / Н. В. Бровко, Р. П. Богуш // 5-я Междунар. науч. конф. по военно-

техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения: тез. докл., Минск, 25-26 мая 2011 / ГУ «БелИСА». – Минск, 2011. – С.283–285.

93. Катковский, Л. В. Разработка аппаратно-программного видеотеплового комплекса дистанционного обнаружения пожаров / Л. В. Катковский, С. Ю. Воробьев, Р. П. Богуш, Н. В. Бровко // Технические средства защиты информации: Тезисы докладов X Белорусско-российской научно-технической конференции, 29–30 мая 2012 г., Минск / БГУИР. – Минск, 2012. – С. 80.

94. Богуш, Р. П. Алгоритмы обработки динамических изображений для видеодетекторов пожаров / Р. П. Богуш, Н. В. Бровко, С. В. Мальцев // Техническое зрение в системах управления. Тезисы докладов 4 науч.-техн. конф., 12–14 марта 2013 г. – М.: ИКИ РАН, 2013. – С. 116–118.

95. Богуш, Р. П. Комплексное обнаружение дыма и пламени на динамических изображениях / Р. П. Богуш, Д. А. Тычко // Техническое зрение в системах управления-2014. Тезисы докладов 5 науч.-техн. конф., 18–20 марта 2014 г. – М.: ИКИ РАН, 2014. – С. 120–122.

96. Чертков, В. М. Реализация двумерных КИХ-фильтров на ПЛИС архитектуры FGPA / В. М. Чертков, Р. П. Богуш // Техническое зрение в системах управления-2015. Тезисы докладов 6 науч.-техн. конф., 17–19 марта 2015 г. – М.: ИКИ РАН, 2015. – С. 57–58.

97. Ярошевич, П. В. Классификация парковочных мест автостоянки с использованием гистограмм ориентированных градиентов и метода опорных векторов / П. В. Ярошевич, Р. П. Богуш // Техническое зрение в системах управления-2016. Тезисы докладов 7 науч.-техн. конф., 15–17 марта 2016 г. – М.: ИКИ РАН, 2016. – С. 72–73.

98. Захарова, И. Ю. Современные архитектуры сверточных нейронных сетей для обнаружения и классификации объектов на видеопоследовательностях / И. Ю. Захарова, Р. П. Богуш // Техническое зрение в системах управления-2018. Тезисы докладов 9 науч.-техн. конф., 13–15 марта 2018 г. – М.: ИКИ, 2018. – С. 51–52.

99. Богуш, Р. П. Обнаружение объектов на изображениях большого разрешения на основе их многомасштабного представления и блочной обработки сверточной нейронной сетью / Р. П. Богуш, И. Ю. Захарова, С. В. Абламейко // Техническое зрение в системах управления-2020. Тезисы докладов 11 науч.-техн. конф., 17–18 марта 2020 г. – М.: ИКИ РАН, 2020. – С. 35–36.

Патенты

100. Устройство для вычисления векторно-матричного произведения: пат. ВУ 799 / С. В. Мальцев, Р. П. Богуш. – Оpubл. 30.03.2003.

101. Вычислитель векторно-матричного произведения: полез. модель ВУ 988 / С. В. Мальцев, Р. П. Богуш. – Оpubл. 30.09.2003.

102. Устройство вычисления векторно-матричного произведения: пат. ВУ 6805 / С. В. Мальцев, Р. П. Богуш. – Оpubл. 30.03.2005.

103. Способ построения опорного кадра для детектирования динамических объектов в системах видеонаблюдения: пат. ВУ 11702 / М. Ф. Михальченко, Р. П. Богуш. – Оpubл. 30.03.2009.

104. Способ построения и обновления фонового кадра для обнаружения движущихся объектов в системе видеонаблюдения: пат. ВУ 13619 / Р. П. Богуш, Н. В. Бровко. – Оpubл. 30.10.2010.

105. Способ распознавания рукопечатного символа из текстового источника: пат. ВУ 16050 / А. Г. Вихров, Р. П. Богуш. – Оpubл. 30.06.2012.

106. Устройство вычисления векторно-матричного произведения: полез. модель ВУ10748 / Р. П. Богуш, С. В. Мальцев, В. М. Чертков. – Оpubл. 30.08.2015.



Богуш Рихард Петрович

ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Ключевые слова: обнаружение объектов, анализ изображений, видеопоследовательность, сопровождение объектов, интеллектуальные системы видеонаблюдения.

Цель работы: разработка методов, методик, алгоритмов и программных средств, обеспечивающих решение крупной научно-технической проблемы обнаружения, анализа и сопровождения объектов на последовательностях изображений для систем видеонаблюдения.

Методы исследования: в работе использовались методы цифровой обработки сигналов, анализа и обработки изображений, математического моделирования; программное обеспечение разработано для операционных систем Windows, Linux, iOS с использованием принципа модульного программирования.

Полученные результаты и их новизна: разработаны новые методы, методики и алгоритмы обнаружения, анализа и сопровождения различных классов объектов на видеопоследовательностях, обеспечивающие повышение эффективности обработки данных в системах видеонаблюдения и создающие широкие возможности для проектирования новых и совершенствования существующих интеллектуальных систем, использующих обработку одиночных изображений и видеопоследовательностей.

Степень использования: результаты исследований и реализованные на их основе программные средства внедрены на предприятиях: ООО «Хай-Тек Нэйшн», г. Минск; ОАО «Нафтан», г. Новополоцк; Проектный институт реконструкции и строительства, г. Новополоцк; ООО «ТэксодТехнолоджис», г. Минск; ООО «Веб Драйвер», г. Москва, РФ и в учреждениях образования Республики Беларусь, включая, БГУ, ГГТУ им. П. О. Сухого, БрГТУ и ПГУ.

Область применения: разработанные методы, методики и алгоритмы значительно повышают эффективность обнаружения и анализа объектов на изображениях и могут использоваться для решения различных практических задач в системах видеонаблюдения.

Богуш Рыхард Пятровіч

ВЫЯЎЛЕННЕ І АНАЛІЗ АБ'ЕКТАЎ НА ВІДАРЫСАХ У СІСТЭМАХ ВІДЭАНАЗІРАННЯ

Ключавыя словы: выяўленне аб'ектаў, аналіз малюнкаў, відэапаслядоўнасць, суправаджэнне аб'ектаў, інтэлектуальныя сістэмы відэаназірання.

Мэта працы: распрацоўка метадаў, методык, алгарытмаў і праграмных сродкаў, якія забяспечваюць вырашэнне значнай навукова-тэхнічнай праблемы выяўлення, аналізу і суправаджэння аб'ектаў на паслядоўнасцях малюнкаў сістэм відэаназірання.

Метады даследавання: у рабоце выкарыстоўваліся метады лічбавай апрацоўкі сігналаў, аналізу і апрацоўкі малюнкаў, матэматычнага мадэлявання; праграмае забеспячэнне распрацавана для аперацыйных сістэм Windows, Linux, iOS з выкарыстаннем прынцыпу модульнага праграмавання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны новыя метады, методыкі і алгарытмы выяўлення, аналізу і суправаджэння розных класаў аб'ектаў на відэапаслядоўнасць, якія забяспечваюць павышэнне выніковасці апрацоўкі дадзеных у сістэмах відэаназірання і ствараюць шырокія магчымасці для праектавання новых і ўдасканалення існуючых інтэлектуальных сістэм, якія выкарыстоўваюць апрацоўку малюнкаў і відэапаслядоўнасцей.

Ступень выкарыстання: вынікі даследаванняў і рэалізаваныя на іх аснове праграмныя сродкі ўкаранёны на прадпрыемствах: ТАА «Хай-Тэк Нэйшн», г. Мінск; ААТ «Нафтан», г. Наваполацк; Праектны інстытут рэканструкцыі і будаўніцтва, г. Наваполацк; ТАА «ТэксодТэхнолоджис», г. Мінск; ТАА «Вэб Драйвер», г. Масква, РФ і ва ўстановах адукацыі Рэспублікі Беларусь, у тым ліку, БДУ, ГДТУ ім. П. В. Сухога, БрДТУ і ПДУ.

Вобласць ужывання: распрацаваныя метады, методыкі і алгарытмы значна павышаюць выніковасць выяўлення і аналізу аб'ектаў на малюнках і могуць выкарыстоўвацца для вырашэння розных практычных задач у сістэмах відэаназірання.

SUMMARY

Bohush Rykhard Pyatrovich

**OBJECT DETECTION AND ANALYSIS ON IMAGES IN VIDEO
SURVEILLANCE SYSTEMS**

Key words: object detection, image analysis, video sequence, object tracking, intelligent video surveillance systems.

The aim of the work: development of methods, algorithms and software for provide a solution to a major scientific and technical problem of detecting, analyzing and tracking objects in video sequences for surveillance systems.

Research methods: digital signal processing, image analysis and processing, mathematical modeling; the software was developed for Windows, Linux, iOS operating systems using the modular programming principle.

Obtained results and their novelty: new methods and algorithms for the detection, analysis and tracking of various classes of objects in video sequences is developed. This improves the efficiency of data processing in video surveillance systems and create ample opportunities for the design of new or improvement of existing intelligent systems using image and video processing.

Usage: research results and software tools implemented on their basis is implemented at the following enterprises: Hi-Tech Nation LLC, Minsk; JSC "Naftan", Novopolotsk; Design Institute for Reconstruction and Construction, Novopolotsk; LLC "TexodTechnologies", Minsk; LLC "Web Driver", Moscow. Results of the dissertation are used in universities of the Republic of Belarus, including BSU, GSTU im. O. N. Sukhoi, BrSTU and PSU.

Scope: the developed methods and algorithms significantly increase the efficiency of detecting and analyzing objects in images and can be used to solve various practical problems in video surveillance systems.

Научное издание

Богуш Рихард Петрович

**ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск