

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.375.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13.12.2024 № 11

О присуждении Сычеву Алексею Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Комплексирование мультиспектральных изображений на основе безэталонной оценки их качества» по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения принята к защите 30 сентября 2024 г. (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.2.375.03 на базе ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» Министерства науки и высшего образования РФ, 390005, г. Рязань, 59/1, созданным приказом Минобрнауки России №449/нк от 18.12.2013, срок полномочий продлён приказом Минобрнауки России №561/нк от 03.06.2021.

Соискатель Сычев Алексей Сергеевич, 22 марта 1995 года рождения, в 2017 году окончил бакалавриат ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по направлению 11.03.01 Радиотехника, в 2019 году соискатель окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» по направлению 11.04.01 Радиотехника, а в 2023 году — аспирантуру по программе 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи. Сычев А.С. работает инженером-конструктором 3 категории в отделе 152 антенно-фидерных устройств и приводов антенн

АО «Государственный рязанский приборный завод», по совместительству — старшим преподавателем на кафедре радиотехнических систем в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», по совместительству — инженером НИОКР на кафедре электронных приборов в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина».

Диссертация выполнена на кафедре радиотехнических систем ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель кандидат технических наук Холопов Иван Сергеевич, доцент кафедры радиотехнических систем ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина».

Официальные оппоненты:

Приоров Андрей Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры цифровых технологий и машинного обучения ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль;

Бондаренко Максим Андреевич, кандидат технических наук, без учёного звания, ведущий научный сотрудник Общества с ограниченной ответственностью «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», г. Москва,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (г. Москва) в своем положительном отзыве, утверждённом Поповым Павлом Александровичем (кандидат технических наук, без учёного звания, заместитель генерального директора АО «НИИАС») и подписанном Мыльниковым Павлом Дмитриевичем (кандидат технических наук, без учёного звания, первый заместитель директора Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС») указала, что диссертация Сычева Алексея Сергеевича «Комплексирование мультиспектральных изображений на основе безэталонной оценки их качества» соответствует критериям, приведённым в «Положении о присуждении уче-

ных степеней», содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, а автор работы заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ по теме диссертации включая статьи и тезисы докладов внутривузовских, всероссийских и международных конференций, среди которых 3 работы в журналах, включённых в перечень ВАК, 3 работы в изданиях, индексируемых международной наукометрической реферативной базой Scopus, 1 работа в издании, индексируемом международной наукометрической реферативной базой Web of Science. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Сычев, А.С. Безэталонный интегрально-мультипликативный показатель качества цифровых полутоновых изображений / А.С. Сычев, И.С. Холопов // Цифровая обработка сигналов. — 2018. — № 3. — С. 51-57.

(Сычев А.С. предложил аналитическое выражение для вычисления интегрально-мультипликативного показателя качества по частным показателям.)

2. Сычев, А.С. Комплексование изображений по методу главных компонент с адаптацией к мощности шума / А.С. Сычев, И.С. Холопов // Вестник РГРТУ. — 2020. — №71. — С. 3-14.

(Сычев А.С. предложил способ адаптации к мощности шума.)

3. Сычев, А.С. Исследование соответствия интегрально-мультипликативного показателя качества цифровых изображений экспертным оценкам качества и информативности цифровых изображений // Цифровая обработка сигналов. — 2023. — № 4. — С. 47-52.

4. Sychev, A.S. Nonlinear function parameters optimization implementation by Python programming language // 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). — 2021. — P. 246-249.

5. Sychev, A.S. Comparative analysis of image noise estimation methods / A.S.

Sychev, I.S. Kholopov // International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). — 2021. — P. 1-7.

(Сычев А.С. предложил методику сравнительного анализа алгоритмов оценки уровня шума.)

На диссертацию и автореферат поступили 9 отзывов:

1. ФГБОУ «Тульский государственный университет» (г. Тула). Отзыв подписал доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника» Минаков Евгений Иванович.

2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) (г. Самара). Отзыв подписал доктор технических наук, заведующий кафедрой технической кибернетики Куприянов Александр Викторович.

3. Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Отзыв подписали доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем) Ус Николай Александрович; кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем) Комаров Артем Валерьевич; кандидат технических наук, преподаватель кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем) Шипко Владимир Вацлавович. Отзыв утвердил заместитель начальника ВУНЦ «ВВА» (г. Воронеж) по учебной и научной работе, кандидат военных наук, доцент Казаков Владимир Геннадьевич.

4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (г. Санкт-Петербург). Отзыв подписал кандидат технических наук, научный сотрудник научно-исследовательского центра световодной фотоники института «Высшая инженерно-техническая школа» Васильев Александр Сергеевич.

5. ООО «Силовая электроника» (г. Рязань). Отзыв подписал кандидат тех-

нических наук, доцент, директор ООО «Силовая электроника» Бардин Александр Иванович.

6. АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (г. Санкт-Петербург). Отзыв подписал кандидат технических наук, начальник НТЦ «Дизайн-центр» Беляев Яков Валерьевич.

7. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет» (г. Пенза). Отзыв подписал кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Программирование» Мартышкин Алексей Иванович.

8. ООО «ИРЗ-ТЕЛЕКОМ» (г. Ижевск). Отзыв подписал кандидат технических наук, начальник конструкторского бюро Бердников Вадим Михайлович.

9. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва). Отзыв подписал кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Формирования и обработки радиосигналов Остапенков Павел Сергеевич.

В отзывах указаны следующие недостатки:

В тексте автореферата не указано, что представляет собой исходная выборка для проверки предлагаемых алгоритмов и насколько она репрезентативна; в автореферате не указано, как решаются вопросы взаимной геометрической коррекции изображений, получаемых с помощью разработанного автором макета МСТЗ; в автореферате отсутствует сравнение предложенного автором метода с методом билатеральной фильтрации, который широко используется для комплексирования изображений и основан на схожей идее, заключающейся в присвоении более высоких весов значимым фрагментам изображений; результаты на рисунке 2б в области $Q_{\text{ИМПК PCA GLVM}}=0,05$ представлены очень неразборчиво, что затрудняет их анализ; из автореферата не ясно, производились ли экспериментальные исследования по комплексированию изображений на синтетических данных, существующих реальных тестовых наборах данных или авторы ограничились данными, полученными с помощью разработанного макета; схема на рисунке 4 авто-

реферата не дает четкого представления о том, как осуществляется синхронизация видео по времени. Не описаны даже кратко требования к оборудованию для успешного синхронного захвата видеокадров, учитывая, что камеры для видимого и тепловизионного диапазонов часто имеют разную частоту кадров; в автореферате диссертации на рисунке 3 представлены результаты комплексирования многоспектральных изображений взятых из известных открытых источников, при этом на рисунке 4 представлен разработанный автором макет мультиспектральной системы, позволяющей получать изображения видимого и инфракрасного диапазона, но отсутствуют результаты комплексирования этих изображений; из автореферата диссертации не совсем ясно, как осуществляется взаимная привязка и совмещение изображений видимого и инфракрасного диапазонов спектра, получаемых макетом мультиспектральной системы технического зрения; детали программной реализации алгоритмов обработки изображений в составе макета мультиспектральной системы технического зрения приводятся в крайне общем виде; из текста автореферата не совсем понятно, какой размер и вид пространственной апертуры используется для выделения низкочастотной (НЧ) компоненты при оценке СКО шума? Также непонятно, почему нельзя выделить низкочастотную компоненту без предварительного выделения НЧ, если в дальнейшем она не используется? Для предложенного алгоритма оценивания СКО шума на основе меры GLVM не совсем понятно, каким образом определять размер локальной области; формулы в автореферате оформлены небрежно. Некоторые обозначения выделены жирным шрифтом, но непонятно, это выделен вектор или матрица, тогда почему в других местах отсутствует выделение? Зачастую отсутствует расшифровка обозначений, используемых в формулах. Не всегда понятно, для какой размерности представлена формула; из текста автореферата непонятно, какое количество каналов разноспектральных изображений подвергалось комплексированию? В тексте в неявном виде звучит «...мультиспектральная триада изображений...», но в явном виде нигде не говорится о количестве и спектральных диапазонах исходных изображений; не совсем понятно, почему делается сравнение разработанного модифицированного алгоритма комплексирования

только с методами арифметического усреднения и главных компонент? Проведенные ранее аналогичные исследования другими авторами показали, преимущество алгоритмов кратномасштабной обработки по сравнению с попиксельными алгоритмами; к сожалению, в работе не затронуты новейшие алгоритмы комплексирования изображений на основе использования моделей искусственного интеллекта (DenseFuse, DDeGAN, RFN-Nest). Чем было обосновано такое решение не включать в обзор и не сравнивать предложенный алгоритм с этими работами? Взаимосвязь автоматически формируемых безэталонных оценок качества изображений с экспертными оценками исследована с применением только единственного метода — расчёта коэффициентов ранговой корреляции Спирмена; при оценке информативности изображений с объектами интереса основной упор сделан на вычисление оценок среднеквадратического отклонения шума и локального контраста. Поскольку мультиспектральные системы по своему назначению так или иначе предполагают решение задачи обнаружения, выглядит странным, что в работе не выполнено исследований по влиянию указанных параметров на объективные показатели качества обнаружения: вероятность ложной тревоги и вероятность правильного обнаружения. Для мультиспектральных систем, в которых визуализация результата комплексирования выполняется для человека-оператора, данные исследования могли бы быть выполнены с применением известного критерия Джонсона; в тексте автореферата не уделено внимания рассмотрению алгоритмов геометрического совмещения мультиспектральных изображений, которое является базовым этапом, предшествующим выполнению процедуры попиксельного комплексирования; выбор весовых коэффициентов для учёта вклада частных показателей качества в комплексный интегральный показатель выполнен эмпирически; в тексте автореферата не конкретизировано количество каналов технического зрения мультиспектральной системы. Например, как следует из описания третьей главы, в процессе моделирования задействованы триады мультиспектральных изображений, в то время как макет автора является двухканальным, поскольку содержит только камеры видимого и тепловизионного диапазонов; при совместной обработке информации от любых физически независимых сенсоров

важно обеспечить синхронизацию принимаемых от них данных. В случае с камерами видимого и инфракрасного диапазона, которые, как правило, имеют различную частоту кадров, указанная проблема особенно актуальна. В то же время приведённая на рисунке 4 автореферата структурная схема не позволяет получить ответа на вопрос о том, какой принцип синхронизации видеопотоков по времени реализован автором. Требований к оборудованию для выполнения синхронного захвата видеокадров также не приводится; из автореферата недостаточно ясно, какое количество изображений было использовано для получения вывода о том, что результаты комплексирования имеют высокое качество (рисунок 3); следует пояснить, каким образом поведёт себя алгоритм комплексирования при полной потере сигнала с одного из датчиков технического зрения; исходя из текста автореферата осталось неясным, обеспечит ли повышение визуального качества результата комплексирования улучшение характеристик обнаружения целевых объектов; высокая плотность приведенных на рисунке 2, б результатов по вычислению безэталонного показателя качества комплексированных изображений затрудняет их визуальный анализ. Возможно, выбор иного масштаба представления данных (например, логарифмического по одной или по обеим осям) позволил бы лучше продемонстрировать различия стратегий комплексирования классическим методом главных компонент (PCA) и алгоритмом автора (на основе вычисления меры GLVM); в тексте автореферата очень кратко представлены результаты расчетов АКФ и двумерного дискретного спектра изображений, которые использовались при оценке статистических свойств высокочастотных составляющих изображений; поскольку системы машинного зрения часто используются в системах беспилотных летательных аппаратов и спутников, изображения часто быстро динамически изменяются, при проведении полунатурного практического эксперимента следовало бы рассмотреть влияние на качество мультиспектральных изображений скорости обновления кадров, и времени обработки информации при увеличении разрешения изображения, что позволило бы сформировать более целостную картину исследования и обогатило бы работу.

Все отзывы положительные и содержат вывод о том, что диссертация со-

ответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их достижений в данной области наук, наличием публикаций по теме диссертации, что позволяет им определить теоретическую и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны мера оценки среднеквадратического отклонения шума на изображении, формальный комплексный показатель качества изображений, алгоритмы комплексирования изображений различных спектральных диапазонов;

предложены вычислительные процедуры, необходимые для функционирования разработанных алгоритмов;

доказана эффективность применения процедуры автоматической безэталонной оценки качества и информативности изображений в системах технического зрения для решения задачи комплексирования мультиспектральных изображений;

введён интегрально-мультипликативный показатель качества цифровых полутонных изображений, учитывающий базовый показатель эффективности радиотехнических систем — отношение сигнал-шум.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны преимущество разработанного алгоритма оценки среднеквадратического отклонения шума по сравнению с известными алгоритмами по критерию минимума среднего модуля ошибки, преимущество разработанного комплексного показателя качества по сравнению с известными по критерию максимума коэффициента ранговой корреляции Спирмена между значениями показателя и значениями экспертных оценок качества, а также преимущество разработанного алгоритма комплексирования по сравнению с известными по обоснованному комплексному показателю качества;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы линейной алгебры, дифференциального исчисления, математической статистики и цифровой обработки сигналов;

изложены результаты имитационного моделирования, позволившие сравнить известные и предложенные алгоритмы оценки качества и комплексирования мультиспектральных изображений;

раскрыта проблематика комплексирования изображений, подверженных воздействию таких деструктивных факторов, как смаз изображения вследствие движения носителя системы технического зрения, снижение контраста и яркостный шум вследствие засветки или снижения освещённости;

изучены проблемы формирования оценок качества, коррелирующих со значениями экспертных оценок, а также комплексирования мультиспектральных изображений;

проведена модернизация известных алгоритмов комплексирования изображений с использованием обоснованных оценок качества изображений.

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

разработаны и внедрены в ООО «Квантрон Групп» алгоритмы оценки качества полутоновых изображений и прикладное программное обеспечение для реализации указанных алгоритмов, а также в учебный процесс кафедры радиотехнических систем ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» алгоритмы комплексирования мультиспектральных изображений и прикладное программное обеспечение по исследованию указанных алгоритмов;

определены области и перспективы практического применения комплексирования мультиспектральных изображений в системах технического зрения;

созданы макет мультиспектральной системы технического зрения, а также программное обеспечение фиксации видеоизображения в двух диапазонах и программное обеспечение комплексирования мультиспектральных фото- и видео-

изображений в двух или более диапазонах;

представлены акт внедрения результатов диссертации в ООО «Квантрон Групп» и в учебный процесс кафедры радиотехнических систем ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», патент на изобретение, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты подтверждаются соответствием данных, полученных с помощью разработанного макета двухканальной системы технического зрения, результатам имитационного моделирования;

теория построена на известных физических принципах, методах теории цифровой обработки изображений, информатики и электроники и не противоречит опубликованным экспериментальным данным по теме диссертации;

идея базируется на применении учёта качества исходных изображений для комплексирования мультиспектральных изображений;

использованы известные алгоритмы оценки качества и комплексирования изображений для сравнения с полученными автором результатами;

установлено, что предложенный комплексный интегрально-мультипликативный показатель качества цифровых изображений обеспечивает выигрыш в коэффициенте корреляции Спирмена с экспертными оценками в 3,7 раза по сравнению с интегральным показателем качества и в 2,4 раза по сравнению с мультипликативным показателем качества;

использованы репрезентативные наборы изображений для формирования представительных баз данных, применяемых в экспериментальной исследованиях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке алгоритмов безэталонной оценки качества и комплексирования мультиспектральных изображений, программной реализации данных алгоритмов, разработке макета системы технического зрения, в обработке и интерпретации экспериментальных данных. Автор лично осуществлял апробацию результатов исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические

замечания: не были применены технологии машинного обучения при формировании оценки качества изображений; приводимые в презентации результаты комплексирования изображений имеют качество ниже, чем некоторые из исходных изображений; не был численно оценён эффект внедрения результатов диссертации в ООО «Квантрон-Групп»; при формировании локальных оценок качества и информативности не были учтены резкость и контрастность изображения.

Соискатель Сычев Алексей Сергеевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, с частью замечаний согласился.

На заседании 13.12.2024 диссертационный совет принял решение присудить Сычеву Алексею Сергеевичу учёную степень кандидата технических наук за решение научной задачи по повышению качества результатов комплексирования мультиспектральных изображений с использованием оценки их качества.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за — 16, против — нет, недействительных бюллетеней — нет.

Председатель

диссертационного совета



Кошелев Виталий Иванович

Учёный секретарь

диссертационного совета

Овечкин Геннадий Владимирович

13.12.2024