

ОТЗЫВ

официального оппонента Хрящева Владимира Вячеславовича на диссертацию Безумнова Данила Николаевича на тему «Разработка метода и алгоритмов комплексной обработки разнодиапазонной информации в системах технического зрения наземных робототехнических комплексов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время одним из наиболее значимых направлений развития робототехнических систем является повышение уровня их автономности, надежности и устойчивости функционирования в сложной фоно-целевой обстановке. Для наземных робототехнических комплексов особую важность представляют системы технического зрения (СТЗ), обеспечивающие обнаружение, распознавание объектов, оценку препятствий и поддержку принятия решений при движении в сложных условиях. К ним относятся ситуации ограниченной видимости, задымления, пыли, осадков, резких изменений освещенности, а также присутствие объектов, слабо различимых в одном из диапазонов наблюдения.

Традиционные СТЗ наземных робототехнических комплексов в значительной степени ориентированы на использование оптических, телевизионных, инфракрасных и лидарных средств. Они имеют ограничения, связанные с зависимостью от метеоусловий, освещенности, контрастности наблюдаемой сцены и дальности действия. Радиолокационные каналы, напротив, обладают высокой устойчивостью к неблагоприятным внешним условиям, но в существующих системах нередко используются преимущественно как дальномерные средства, без полного использования информации, содержащейся в радиолокационных изображениях, эффективной площади рассеяния и других признаках объекта.

В связи с этим актуальной представляется задача разработки метода и алгоритмов комплексной обработки разнодиапазонной информации, получаемой от оптического и радиолокационного каналов наземного робототехнического комплекса, с применением современных методов обработки данных. Решение указанной задачи позволяет повысить вероятность правильного распознавания объектов, расширить область применения наземных робототехнических комплексов и повысить надежность их функционирования в сложных условиях.

Вход. № 181/26
«14» 09 2026
подпись

Считаю, что тема диссертационной работы Безумнова Даниила Николаевича «Разработка метода и алгоритмов комплексной обработки разнодиапазонной информации в системах технического зрения наземных робототехнических комплексов» является актуальной, а решаемая в ней научная задача имеет существенное значение для развития современных робототехнических систем.

Общая характеристика работы

Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, научная задача и частные задачи исследования, определены объект и предмет исследования, приведены положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены сведения об апробации, публикациях и внедрении результатов.

В первом разделе выполнен анализ тенденций развития исследований в области повышения эффективности СТЗ наземных робототехнических комплексов. Рассмотрены существующие СТЗ, методы обработки изображений, методы трехмерного представления поверхностей, обнаружения движущихся объектов, корреляционные методы обнаружения препятствий, применение нейронных сетей, самоорганизующихся карт, радиолокационных и ультразвуковых методов оценки свойств материалов. Значительное внимание уделено вопросам комплексирования информации в многопозиционных радиооптических СТЗ. По результатам анализа обоснована целесообразность разработки методов комплексной обработки оптической и радиолокационной информации с применением алгоритмов машинного обучения.

Во втором разделе разработаны математические модели разнодиапазонной СТЗ наземного робототехнического комплекса. В качестве модели оптического канала выбрана математическая модель радиального ортофото, позволяющая выполнять пространственную реконструкцию подстилающей поверхности и обнаруживать препятствия в условиях бездорожья. Для радиолокационного канала предложена математическая модель миллиметрового диапазона, основанная на представлении отражающей поверхности в виде совокупности независимых отражателей и позволяющая моделировать удельную эффективную площадь рассеяния и радиолокационные изображения объектов.

В третьем разделе разработаны метод и алгоритмы комплексной обработки разнодиапазонной информации. Предложен метод распознавания

объектов на основе комплексной обработки данных, получаемых через оптический и радиолокационный каналы, с использованием сверточных нейронных сетей и объединения решений по схеме Шортлиффа. Также разработан алгоритм распознавания объектов с учетом оценки плотности препятствий по измерениям радиолокационного канала на основе удельной эффективной площади рассеяния (ЭПР) и времени корреляции принятого сигнала. Кроме того, предложен алгоритм обнаружения и измерения координат движущихся объектов по сигналам подсвета стандарта LTE с применением кластерного анализа и самоорганизующихся карт Кохонена.

В четвертом разделе проведена оценка эффективности разработанных метода и алгоритмов. Показано, что комплексирование оптических и радиолокационных данных позволяет повысить долю корректно распознанных объектов до 83%. Учет оценки плотности препятствий по радиолокационным измерениям позволяет повысить точность классификации на 16%. Для алгоритма обработки сигналов подсвета LTE показано повышение точности измерения координат движущихся объектов на 3–5%.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования, подтверждающие достижение поставленной цели и решение научной задачи.

Научная новизна результатов исследования

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан метод распознавания объектов СТЗ наземного робототехнического комплекса (РТК), обеспечивающий за счет комплексной обработки оптических и радиолокационных изображений и применения нейронных сетей глубинного обучения повышение вероятности правильного распознавания типовых объектов на 43% по сравнению с использованием только оптического канала и на 38% по сравнению с использованием только радиолокационного канала.
2. Разработан алгоритм распознавания объектов с учетом оценки плотности препятствий по измерениям радиолокационного канала СТЗ наземного РТК, обеспечивающий повышение вероятности правильно принятия решений о типе объекта на ~16% по сравнению с использованием комплексированной оценки по измерениям оптического и радиолокационного каналов.
3. Разработан бортовой алгоритм обнаружения и измерения координат движущихся объектов СТЗ наземного РТК по сигналам подсвета стандарта LTE, обеспечивающий повышение точности измерения

координат объекта на 3-5% за счет применения методов кластерного анализа.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, являются обоснованными и логически вытекают из проведенного анализа, разработанных математических моделей и результатов имитационного моделирования.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением методов цифровой обработки сигналов, распознавания образов, вероятностного моделирования, глубокого обучения, статистической обработки экспериментальных данных, а также сравнением результатов функционирования отдельных каналов и комплексированной системы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 7 научных работах, из них 3 статьи опубликованы в журналах из Перечня ВАК, 2 работы проиндексированы в международной базе данных Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы апробированы на всероссийских и международных научно-технических конференциях, а также внедрены в СЧ НИР «Эврика-2023-ЭАЦ» и в учебный процесс МТУСИ, что подтверждается соответствующими актами.

С учетом изложенного степень обоснованности и достоверности представленных в диссертации результатов следует признать достаточной.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии научно-методического аппарата комплексной обработки разнодиапазонной информации в СТЗ наземных РТК. Разработанные модели оптического и радиолокационного каналов, метод вероятностного объединения решений и алгоритмы учета радиолокационных признаков препятствий расширяют существующие подходы к построению радиооптических СТЗ.

Практическая значимость работы состоит в возможности применения разработанных методов и алгоритмов в составе программно-алгоритмического обеспечения бортовых вычислительных комплексов наземных РТК. Предложенные решения могут быть использованы для повышения точности распознавания объектов, оценки преодолемости препятствий, повышения автономности транспортных и специальных наземных РТК. Отдельное практическое значение имеет возможность реализации рассмотренных

алгоритмов обработки на специализированных аппаратных платформах, включая ПЛИС.

Недостатки по диссертационной работе и автореферату

- 1. Недостаточная репрезентативность и объем обучающей выборки для современных нейросетевых экспериментов.** В разделе 4.1 диссертации указано, что база для обучения сверточной нейронной сети содержит всего 500 оптических и 500 радиолокационных изображений для пяти классов (по 100 изображений на класс). Это крайне малый объем для обучения алгоритмов глубокого машинного обучения. В работе отсутствует описание процедуры формирования радиолокационных изображений (синтезированы ли они, взяты из открытых датасетов или получены экспериментально). Без указания источников и методов аугментации нельзя уверенно говорить о статистической значимости полученных результатов (43% и 38% прироста вероятности правильного распознавания).
- 2. Отсутствие обоснования выбора уровня комплексирования.** В разделе 3.1 диссертации автор выбирает позднее объединение на уровне решений по схеме Шортлиффа, однако не приводит количественного или качественного сравнения с альтернативными подходами (раннее и среднее объединение). В тексте лишь перечисляются достоинства и недостатки разных уровней (таблица 3.1), но нет аргументов, почему для данной задачи предпочтительнее именно позднее объединение, особенно с учётом того, что в современных работах (как признает сам автор) доминирует среднее объединение (стр. 67). Это снижает обоснованность выбранной архитектуры.
- 3. Необходимость учета корреляции.** Формула (3.1) для объединения вероятностей предполагает независимость свидетельств от разных каналов. Однако оптические и радиолокационные измерения в одной сцене заведомо коррелированы (например, оба зависят от геометрии объекта, расстояния, ракурса). Автор не проводит анализ коэффициента корреляции между выходными решениями каналов и не использует модификации формулы. Это может приводить к завышению итоговой вероятности правильного распознавания.
- 4. Отсутствие анализа вычислительной сложности и временных затрат.** Предложенные алгоритмы включают обучение и инференс сверточных нейронных сетей (раздел 3.1), кластеризацию с помощью самоорганизующихся карт Кохонена (раздел 4.3) и расчет матриц корреляции в реальном масштабе времени (раздел 3.3). Однако в работе

нет оценок времени выполнения алгоритмов на бортовом вычислителе, требований к объему памяти или энергопотреблению, что является критично для наземных РТК, работающих в реальном времени.

5. **Низкое разрешение входных данных.** В 4 главе диссертационной работы постулируется, что «информация об объекте, получаемая РТК через оптический канал, представляет собой RGB-изображение размером 32х32 пиксела. Информация об объекте, получаемая РТК через радиолокационный канал, представляет собой двоичное изображение размером 16х16 пикселей». Как это соотносится с тем, что для работы современных нейросетевых детекторов объектов рекомендуется разрешение объекта в 40х40 пикселей?
6. **Избыточное число выводов в Заключение.** Представляется, что 15 выводов в Заключение диссертации и автореферата избыточно для формата кандидатской диссертации.
7. **Избыточные текстовые и смысловые повторы.** В тексте диссертации неоднократно встречаются дословные и смысловые повторы текста, формул и выводов (например, между разделами 3.1. и 3.2, 3.2 и 4.2), что свидетельствует о недостаточной редакторской проработке рукописи и снижает общую культуру изложения.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, но могут быть учтены автором при дальнейшем развитии исследований.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Безумнова Данила Николаевича «Разработка метода и алгоритмов комплексной обработки разнодиапазонной информации в системах технического зрения наземных робототехнических комплексов» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача разработки метода и алгоритмов распознавания объектов системы технического зрения наземных робототехнических комплексов, обеспечивающих повышение вероятности правильного распознавания типовых объектов в сложной фоно-целевой обстановке.

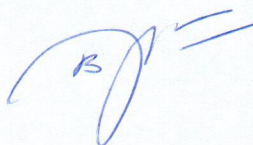
Работа содержит новые научные результаты, характеризуется теоретической и практической значимостью, выполнена автором самостоятельно, а основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, в части разработки информационных технологий, в

том числе с использованием нейронных сетей, для распознавания сигналов и изображений в интеллектуальных радиотехнических и робототехнических системах технического зрения.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Безумнова Данила Николаевича соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Безумнов Данил Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент

Профессор кафедры цифровых технологий и машинного обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», доктор технических наук, доцент



Хрящев Владимир Вячеславович

«08» сентября 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Адрес: 150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14, к. 309

Телефон: +7 (4852) 79-77-75

e-mail: v.khryashchev@uniyar.ac.ru

Подпись профессора Хрящева В.В. заверяю

