

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Московского Антона Дмитриевича «Методы и алгоритмы распознавания сцен для задач глобальной локализации мобильных роботов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.5. – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки).

1. Актуальность темы диссертации

Методы одновременного картографирования и локализации (SLAM) в последние десятилетия позволили существенно повысить автономность современных робототехнических комплексов и стали де-факто одним из основных методов навигации в современной мобильной робототехнике. В то же время активное применение алгоритмов данной группы выявило множество их слабых сторон. Ключевой из них является глубокая зависимость качества работы картографирования и локализации от точности распознавания и сопоставления ориентиров в окрестности робота с ориентирами на карте. Особенно остро это проявляется при решении задач глобальной навигации в однородной среде, где геометрические параметры объектов, измеренные, например, при помощи лазерной дальнометрии, сопоставляются одновременно с несколькими участками карты. Важно отметить, что такая ситуация характерна для промышленных объектов, что напрямую влияет на качество работы навигации транспортных роботов. В своей работе Антон Дмитриевич Московский предлагает методы и алгоритмы повышения точности навигации и глобальной локализации мобильных роботов за счёт развития алгоритмов распознавания сцен и сопоставления наблюдаемых объектов с семантической картой местности, что является безусловно актуальным направлением исследования. Данная тематика полностью соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития и перечню важнейших наукоёмких технологий, утверждённых Указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529. Также его результаты могут быть использованы для развития технологий информационных, управляющих, навигационных систем, входящих в Перечень критических технологий Российской Федерации.

2. Научная новизна и практическая значимость исследований

В диссертационной работе соискателем получены следующие ключевые новые научные результаты:

1. Предложен новый метод распознавания сцен на основе алгоритмов поиска изоморфного подграфа, позволяющий по видеоданным с бортовых сенсоров сопоставлять видимые объекты с семантической картой, учитывая визуальное сходство объектов методами на основе машинного обучения, повышающий точность получаемого решения в диапазоне 13-49% в сравнении с современными аналогами.
2. Новый метод N-локализации на основе недоопределённых моделей, делающий возможным проведение как глобальной, так и пошаговой

- (непрерывной) локализации в ограничениях (интервалах), что позволяет уточнять положение классическими методами локализации, тем самым повышая до порядка общую точность и/или скорость локализации.
3. Архитектура комплекса глобальной локализации, включающая в себя программные средства распознавания сцен, недоопределённой локализации и классических методов локализации, а также порядок их взаимодействия, позволяющая повысить точность (от 5 до 48% по метрике попадания положения робота в доверительный интервал) и скорость процедуры (до 4 раз в сравнении с геометрическими методами) глобальной локализации по визуальным ориентирам и дальномерным данным.
 4. Алгоритм формирования набора данных на основе KITTI-360, а также метрики, позволяющие проводить оценку качества алгоритмов распознавания сцен.

3. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов диссертационной работы подтверждается использованием апробированных методов исследования, результатами компьютерного моделирования и верификации с использованием общедоступных наборов данных, экспериментальными данными, полученными в ходе натурных испытаний на различных мобильных роботах.

4. Практическая значимость и рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертации имеют высокую практическую ценность, так как, помимо алгоритмических решений, соискателем разработана законченная технология глобальной локализации, доведённая до программной реализации и апробированная как по частям, так и полностью, на реальных робототехнических комплексах, в том числе на мобильном роботе RitRover, исследовательских роботах YARP8, YARP13, а также на роботе-экскурсоводе MENTOR-1. Данная технология является востребованной для промышленной и сервисной робототехники и рекомендована для внедрения в этих областях. Практическая ценность результатов диссертационной работы подтверждается результатами внедрения в научно-исследовательскую деятельность Электростальского института (филиала) Московского политехнического университета, Физтех-школы природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И. В. Курчатова МФТИ, а также ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»».

5. Краткая характеристика основного содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списков сокращений и терминов, библиографического списка из 113 наименований и приложения. Работа изложена на 182 страницах и включает в себя 77 рисунков и 39 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цель и задачи диссертационного исследования, перечисляются новые научные результаты, приводятся практическая ценность работы, а также перечень положений, выносимых на защиту.

В первой главе на основе обзора и анализа уровня техники в распознавании объектов и локализации в робототехнике демонстрируется, что добавление семантики в карты робототехнических устройств преследует не только цель улучшения локализации, но также даёт доступ к созданию на их основе высокоуровневых систем планирования и средств человеко-машинного взаимодействия, в том числе и на естественном языке. Далее на основе проведённого анализа обосновывается выбор сформулированных ранее задач диссертационной работы.

Вторая глава посвящена описанию теоретической базы диссертационного исследования. Она включает в себя: формализацию задачи распознавания сцены, теоретическое обоснование предложенных соискателем метода распознавания сцен на основе алгоритмов поиска изоморфного подграфа и метода N-локализации, а также предлагается архитектура комплексной технологии глобальной локализации по визуальным ориентирам, которая позволяет также использовать точные методы локализации по дальномерным данным.

В третьей главе освещаются вопросы практической реализации и верификации теоретических положений, предложенных во второй главе. Для проведения исследований с методом распознавания сцен соискателем предлагается модификация метода на основе алгоритмов поиска максимальной клики. Второй параграф третьей главы целиком посвящён программной реализации предложенного соискателем метода N-локализации, а также сравнению его с известными из уровня техники аналогами. Третий параграф представляет результаты практической реализации разработанной комплексной технологии глобальной локализации. Заключительный параграф третьей главы посвящён модификации открытого набора данных KITTI-360, которая восстанавливает соответствие идентификаторов семантической двумерной и трёхмерной разметки, отсутствующее в оригинальном варианте, что создаёт базу для корректного сравнения разработанных решений с известными аналогами.

Четвёртая глава посвящена экспериментальным исследованиям и апробации разработанных методов и моделей. Она включает результаты корректного сравнения с известными аналогами на модифицированном наборе данных KITTI-360, экспериментальным исследованиям и результатам внедрения разработанных решений, выполненных с использованием реальных роботов, а также оценки повышения точности и скорости глобальной локализации за счёт внедрения комплексной технологии глобальной локализации, разработанной соискателем.

В заключении обобщаются результаты диссертационной работы, а также обсуждаются проблемы и перспективы развития данного направления исследований.

В приложениях приведены акты внедрения результатов исследований и свидетельства о регистрации РИД.

Диссертационная работа обладает внутренним единством, соответствует поставленным целям и задачам и не содержит некорректных заимствований. Автореферат диссертации полностью отражает её содержание.

Все основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Содержание этих печатных работ соответствует тексту диссертации и полученным научно-техническим результатам. Всего по теме диссертации соискателем опубликовано 9 научных работ, из них: 2 публикации в изданиях из перечня ВАК РФ по специальности 2.3.5, относящихся к категории К1; 3 — в изданиях, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus, одно из которых относится к уровню 2 Белого списка Министерства образования и науки РФ; а также 4 — в трудах конференций, индексируемых РИНЦ. Помимо этого, соискателем получен патент на полезную модель и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Количество научных работ и состав изданий, в которых они опубликованы, соответствует рекомендациям ВАК РФ и требованиям, предъявляемым Положением о присуждении учёных степеней (в соответствии с постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. с актуальными на настоящий момент изменениями).

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на 3 международных и 2 всероссийских конференциях: 34-я международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника» (ЭР-2023), 23–24 ноября 2023 г., Санкт-Петербург; XII Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (ИММВ-2024), 14–17 мая 2024 г., Коломна; 35-я международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника» (ЭР-2024), 29–30 октября 2024 г., Санкт-Петербург; V Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2019), 22–24 мая 2019 г., Санкт-Петербург; XIX Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2021), 11–16 октября 2021 г., Таганрог.

Помимо этого, результаты диссертации прошли обсуждение на 4 научных семинарах и круглых столах, а также докладывались на двух отраслевых практико-ориентированных конференциях. Таким образом, можно заключить, что диссертация Московского Антона Дмитриевича прошла всестороннее обсуждение, а её результаты в полной мере донесены до научного и индустриального сообщества.

Диссертационная работа Московского Антона Дмитриевича соответствует паспорту научной специальности 2.3.5 — Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки) по следующим пунктам:

– п. 3. Модели, методы, архитектуры, алгоритмы, языки и программные инструменты организации взаимодействия программ и программных систем в части создания архитектуры комплексной технологии локализации, включающей в себя программные средства методов распознавания сцен, N-локализации и классических подходов.

– п. 4. Интеллектуальные системы машинного обучения, управления базами данных и знаний, инструментальные средства разработки цифровых продуктов в части создания гибридных методов распознавания сцен с использованием технологий машинного обучения, позволяющих учитывать визуальное сходство объектов.

– п. 7. Модели, методы, архитектуры, алгоритмы, форматы, протоколы и программные средства человеко-машинных интерфейсов, компьютерной графики, визуализации, обработки изображений и видеоданных, систем виртуальной реальности, многомодального взаимодействия в социкиберфизических системах в части создания систем распознавания сцен и локализации по ориентирам, опирающихся на обработку визуальных данных.

– п. 10. Оценка качества, стандартизация и сопровождение программных систем, в части создания набора данных и разработки метрик оценки качества решений задачи распознавания сцен.

6. Замечания по диссертации

Диссертационная работа Московского Антона Дмитриевича обладает следующими недостатками:

1. Несмотря на отмеченную проблему современных SLAM-технологий по глобальной локализации в однородных пространствах большой размерности, в диссертации отсутствуют результаты экспериментальных исследований, в полной мере отражающих данные условия. Диссертация существенно выиграла бы, если бы, помимо сравнения разработанных решений с известными аналогами на базе модифицированного общедоступного набора данных, был проведён эксперимент на базе практической задачи, требующей глобальной навигации в условиях действительно крупного однородного пространства, включающего большое количество объектов со сходными семантическими признаками, например, промышленного склада.
2. Множество иллюстраций в диссертационной работе и автореферате выполнено с использованием одновременно русского и английского языков, причём речь идёт не просто об использовании устоявшихся терминов и аббревиатур, а просто об использовании части подписей на другом языке (например, рис. 1.2). Также в тексте неоднократно встречается попеременное обозначение одних и тех же сущностей то на русском, то на английском языке (например, ЛОЖЬ и FALSE).
3. Работа содержит большое количество буквенных обозначений в формулах, которые вводятся по тексту работы. С учётом объёма диссертации в 182 страницы, это существенно затрудняет анализ и сопоставление формул в различных частях работы. С точки зрения улучшения читаемости диссертации необходимо было бы добавить отдельный раздел, обобщающий все используемые буквенные обозначения, а также их физические размерности, в тех случаях когда это применимо.
4. Текст на части рисунков (например, рис. 4.1) мелкий и/или слабочитаем.

Указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления от работы и её результатов, а также их научно-технической значимости.

7. Общее заключение

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Московского Антона Дмитриевича на тему «Методы и алгоритмы распознавания сцен для задач глобальной локализации мобильных роботов» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки в области глобальной локализации мобильных роботов, имеющие существенное значение для развития страны.

Считаю, что по актуальности поставленных целей и задач, научной новизне и практической значимости диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям пп. 9-11, 13-14 Положения о присуждении учёных степеней (в соответствии с постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. с актуальными на настоящий момент изменениями), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор — Московский Антон Дмитриевич — заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.5 — Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки).

Официальный оппонент:

профессор кафедры биокрибернетических систем и технологий Института искусственного интеллекта федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», доктор технических наук, доцент

+7 499 215-65-65, romanov@mirea.ru

119454, г. Москва, пр. Вернадского д.78



Романов
Алексей
Михайлович

30 апреля 2026 г.

Подпись официального оппонента Романова А.М., д.т.н., доцента, профессора кафедры биокрибернетических систем и технологий Института искусственного интеллекта федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», ЗАВЕРЯЮ



Н.И. Прокопов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Адрес: 119454, г. Москва, пр. Вернадского д.78. Телефон: +7 499 600-80-80 доб. 20563. Email: mirea@mirea.ru.