

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.01,
созданного на базе Федерального государственного учреждения
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), по диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от «09» декабря 2025 №9

О присуждении Муравьеву Кириллу Федоровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование методов и разработка алгоритмов топологического картирования и локализации» по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 02 октября 2025 г., протокол № 7, диссертационным советом 24.1.224.01 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 747/нк от 22 июня 2016 г.

Соискатель Муравьев Кирилл Федорович, 1997 года рождения, в 2021г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)». С 2021 по 2025гг. обучался в очной аспирантуре федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» по научной специальности – 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы

программ». Сдал кандидатские экзамены, справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2025 г. федеральным государственным учреждением «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

В период подготовки диссертации соискатель Муравьев Кирилл Федорович работал в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» с 2021 по 2023 гг. в должности инженера-исследователя, с 2023 по настоящее время – в должности младшего научного сотрудника. Участвовал в качестве исполнителя в научных грантах Российского научного фонда (проекты 20-71-10116, 22-21-00716) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты 075-15-2020-799; 075-15-2024-544).

Диссертация выполнена в отделе 71 Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Яковлев Константин Сергеевич, ведущий научный сотрудник отдела № 71 Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

1. Вохминцев Александр Владиславович, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Интеллектуальные информационные технологии и системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет».

Отзыв оппонента **положительный**, имеются следующие замечания по содержанию диссертации:

1) Предложенный автором алгоритм сопоставления сканов является одним из основных научных результатов работы, данный алгоритм основан на использовании дескриптора ORB. В таблице 15 приведены результаты экспериментального сравнения алгоритмов сопоставления сканов, предложенный автором алгоритм исследован с использованием двух детекторов особых точек: SIFT и ORB. Из текста работы не ясно, чем обоснован выбор именно этих детекторов, при наличии большого количества других быстро работающих детекторов особых точек.

2) Вызывает сомнение идея автора использовать дескриптор ORB при навигации робота на открытой местности, вне помещений, так как известно, что данный детектор имеет проблемы при анализе размытых изображений. Есть основания полагать, что предложенный алгоритм построения пути на графе локаций на открытой местности будет эффективен только при наличии определенных идеальных условий, а в реальных условиях, при наличии шумов различной природы, таких как неравномерное освещение, шум матричных приемников, а также искажения, вызванные различными погодными явлениями (атмосферная дымка, дождь, туман, снег и т. п.) качественные характеристики работы предложенного алгоритма будут существенно отличаться от заявленных. Дескриптор HOG для данной задачи представляется лучшим кандидатом, кроме того, видится целесообразным использование различных методов восстановления качества изображений в качестве предварительной обработки, в том числе методов, направленных на улучшение видимости и качества изображений, на которые влияют различные природные процессы.

3) В экспериментальном исследовании приведено сравнение лишь с одним топологическим алгоритмом одновременной навигации и

картографирования, при этом для алгоритмов других классов (метрических и топометрических) результаты сравнительного анализа являются более репрезентативными, представлено несколько известных методов в каждом классе.

4) В работе при построении пути по графу локаций (формула 2.23) выбираются локации, имеющие ближайшие точки наблюдения к начальной и конечной точкам в метрическом евклидовом пространстве. В связи с этим всегда можно смоделировать ситуацию, при которой стартовая и финишная точка в задаче планирования траектории не будут принадлежать этим локациям. Как автор видит решение данной проблемы?

5) В тексте диссертации не раскрыты детали реализации задачи регистрации облаков точек с использованием комбинации алгоритмов RANSAC + ICP. Известно множество вариантов итеративного алгоритма ближайших точек с различными с разными стратегиями отбора точек для сопоставления и взвешивания точек, а также с разными методами решения вариационной задачи ICP в классе аффинных или ортогональных преобразований. В тексте диссертации и автореферата данная информация не раскрыта в достаточной мере, в связи с чем необходимо обращаться к научным статья автора и программному коду. ICP является итеративным алгоритмом, поэтому качество его работы и сходимость во многом зависят от выбора начальных значений векторов геометрических преобразований, из текста работы не ясно, как автор выбирает значения для инициализации алгоритма ICP?

2. Визильтер Юрий Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, начальник подразделения «Системы технического зрения» федерального автономного учреждения «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем».

Отзыв оппонента **положительный**, имеются следующие замечания по диссертации:

1) При вычислении путевой эффективности препятствия в среде представлялись в растровом виде (в виде набора клеток в карте занятости). Между тем, представление препятствий в виде геометрических фигур (например, двумерных полигональных представлений) может дать более точную аппроксимацию объектов среды и более быстрое вычисление кратчайших путей при больших масштабах карт. Желательно было бы в будущем такую возможность рассмотреть.

2) В диссертации не описаны границы применимости представленного алгоритма топологического картирования и локализации. Приведены результаты экспериментов в помещениях и на местности, окруженной зданиями, однако нет явных предположений о возможности работы алгоритма в более сложных средах (например, при отсутствии вертикальных стен в зданиях, при наличии деревьев вне помещений, при наличии движущихся объектов в поле зрения и т.д.).

3) В численном эксперименте по сопоставлению сканов качество сопоставления определяется с использованием характеристик точности и полноты (характеризующих надежность работы алгоритма), а не метрической точности сопоставления (описывающей собственно геометрическую точность локализации), хотя результатом сопоставления является позиция робота относительно центра локации. Желательно было бы такие геометрические оценки точности добавить.

4) Автором предложен оригинальный способ оценки качества карты с точки зрения путевой эффективности, который позволяет оценить ожидаемую эффективность применения топологической карты (графа локаций) для навигации робота с точки зрения оптимизации его перемещений. Однако эффективность навигации зависит также от точности и

надежности локализации в каждый момент времени, а они также зависят от выбора и количества локаций. Очевидно, что при большем числе локаций ожидаемая надежность и точность локализации растут, зато растут и затраты по памяти и время вычислений. Таким образом, желательно было бы рассмотреть комплексный критерий оценки создаваемой топологической карты (графа локаций), включающий путевую эффективность, ожидаемую надежность и точность локализации, а также затраты памяти и вычислительных ресурсов.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук – в своем **положительном** отзыве, подписанном Сачковым Юрием Леонидовичем, доктором физико-математических наук, доцентом, руководителем Исследовательского центра процессов управления, указала, что

«Основные результаты по теме диссертации изложены в 10 печатных изданиях, в том числе 3 работы опубликованы в изданиях из списка ВАК категории К1 и приравненных к ним, из которых 2 — индексируются в Scopus (Q1), 6 работ опубликованы в трудах конференций, из которых 4 — индексируются в Scopus. Зарегистрирована 1 программа для ЭВМ. Основные результаты работы были доложены на 7 профильных российских и международных научных конференциях. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки) по пунктам 2, 3, 8, 9. Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов обеспечены использованием надежных и апробированных методов исследования, включая методы математического моделирования, математической статистики, а также результатами

численных и натурных экспериментов. Автореферат полностью отражает основное содержание работы.

Таким образом, диссертационная работы К.Ф. Муравьева по своей актуальности, новизне, теоретической и практической значимости, достоверности полученных результатов полностью удовлетворяет Положению о присуждении ученых степеней, утвержденному Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а ее автор, Муравьев Кирилл Федорович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв ведущей организации обсужден и принят на заседании общепрофессионального семинара ИПС им. А.К. Айламазяна РАН 30.10.2025 г., протокол № 100 (присутствовало: 10 чел. Результаты голосования: «за» - 9, «против» - 1, «воздержалось» - 0).

Замечания ведущей организации:

1) Не ясно, какую размерность имеет карта в предложенной математической модели и какую размерность имеет карта, являющаяся результатом работы предложенного алгоритма: 2D, 2.5D или 3D.

2) При метрической оценке качества локализации учитывается только ошибка определения положения робота, без учета ошибки определения ориентации робота. При этом вычисление ориентации робота тоже играет важную роль для его навигации.

3) При вычислении путевой эффективности графа локаций остается открытым вопрос вычисления расстояния по среде (кратчайшего возможного пути в среде между двумя точками). При аппроксимации среды двумерной сеткой занятости возникают погрешности вычисления расстояний, к тому же, такая аппроксимация не адаптируется для разных размеров и типов роботов.

4) Автор проводит сравнение предложенного им оригинального алгоритма сопоставления сканов только с 3D алгоритмами сопоставления, при этом предложенный алгоритм работает с двумерными проекциями облаков точек. В диссертации не освещено наличие или отсутствие других 2D алгоритмов сопоставления сканов.

Соискатель имеет 9 опубликованных научных работ по теме диссертации, в том числе 3 работы опубликованы в изданиях из списка ВАК категории К1 и приравненных к ним, из которых 2 – индексируются в Scopus (Q1). 6 работ опубликованы в трудах конференций, из которых 4 – индексируются в Scopus. Зарегистрирована 1 программа для ЭВМ.

Недостовверных сведений об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, не обнаружено. Диссертация не нарушает п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Автор указал личный вклад в опубликованные с соавторами работы.

Список публикаций:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Муравьев К. Ф. Топологическое картирование помещений с использованием нейросетевой локализации и сопоставления сканов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2024. – №. 3. – С. 28-38. **(К-1)**

В изданиях, индексируемых Scopus / WoS:

2. Muravyev K. et al. PRISM-TopoMap: online topological mapping with place recognition and scan matching //IEEE Robotics and Automation Letters. – 2025. **(К-1, Scopus)**

3. Muravyev K., Yakovlev K. Evaluation of Topological Mapping Methods in Indoor Environments //IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 132683-132698. **(К-1, Scopus)**

В трудах конференций:

4. Muravyev K., Yakovlev K. Evaluation of RGB-D SLAM in Large Indoor Environments // International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – P. 93-104. (Scopus, WoS)
5. Muravyev K., Yakovlev K. Maintaining Topological Maps for Mobile Robots // Sixteenth International Conference on Machine Vision (ICMV 2023), Yerevan, Armenia, November 15-18, 2023. – SPIE, 2024. – Vol. 13072. – p. 130720W. (Scopus, WoS)
6. Muravyev K., Yakovlev K. NavTopo: Leveraging Topological Maps for Autonomous Navigation of a Mobile Robot // Interactive Collaborative Robotics: 9th International Conference, ICR 2024, Mexico City, Mexico, October 14-18, 2024, Proceedings. – Springer Nature, 2024. – Vol. 14898. – p. 144-157. (Scopus)
7. Melekhin A., Bezuglyj V., Petryashin I., Muravyev K., Linok S., Yudin D., Panov A. ITLP-Campus: A Dataset for Multimodal Semantic Place Recognition // International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry (IITI'24), Harbin, China, November 1-7, 2024, Volume 1. IITI 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1209 – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – p. 185-195. (Scopus)
8. Муравьев К. Ф., Яковлев К. С. Система картирования для долговременной навигации автономного мобильного робота в неизвестной местности // Перспективные системы и задачи управления: Сборник трудов XX Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции и XVI молодежной школы-семинара, п. Домбай, 07–11 апреля 2025 года. – Таганрог: ДиректСайнс (ИП Шкуркин Д.В.), 2025. С. 96-100.
9. Муравьев К.Ф., Алхаддад М., Панов А.И., Миронов К.В. Иерархическая навигация с избеганием препятствий и прохождением проемов на четырехколесном мобильном роботе // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2024): сборник научных трудов,

Москва, 17–20 июня 2024 года. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2024. – с. 1640-1644.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

10. PRISM-ТороМар: программная библиотека топологического картирования с помощью распознавания мест и сопоставления сканов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025662382 /К.Ф. Муравьев – 2025.

На автореферат поступило четыре положительных отзыва, которые подписали:

1. Савельев Антон Игоревич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук.

Замечания:

1) В подписи к таблице 3, помимо ссылок на формулы показателей качества, следует указать их названия (связность, покрытие и т. д.).

2) В описании экспериментов на открытой местности отсутствуют ссылки на формулы метрик качества ATE_{mean} и SR_{loc} .

2. Базенков Николай Ильич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории 11, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Замечания:

1) В работе много раз используется понятие «вычислительная эффективность». При этом не производятся математические оценки вычислительной сложности ни разработанных методов, ни алгоритмов, с которыми проводится сравнение.

2) Не вполне понятно, по какому принципу отбирались алгоритмы для сравнения. Разработанный автором топологический алгоритм сравнивается в основном с метрическими алгоритмами, из чисто топологических выбран только один алгоритм – TSGM.

3) Один из элементов алгоритма – получение дескриптора локации с помощью нейросетевой модели. Но в описании экспериментов не сказано, какая именно модель использовалась и как зависит качество работы от конкретной модели. Было бы интересно сравнить, какую долю в потреблении памяти и вычислительных ресурсов вносит этап нейросетевой обработки данных по сравнению с алгоритмом построения карты.

3. Королева Мария Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», Научно-учебный комплекс «Робототехника и компьютерная автоматизация» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана».

Замечания:

1) В автореферате недостаточно подробно раскрыт механизм обнаружения замыканий циклов.

2) Оценка шума одометрии в симуляции представлена упрощенно, с использованием только гауссовского шума с нулевым средним, что не полностью отражает систематические шумы, имеющиеся на реальных роботах.

4. Деркач Денис Александрович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией методов анализа больших данных факультета компьютерных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

Замечание:

В алгоритме 1 не приведено объяснение функции LeastSquareTransform, а также отсутствует возвращаемое значение в конце алгоритма (судя по всему, алгоритм должен возвращать T_{loc}).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в областях машинного зрения и навигации мобильных роботов, что подтверждается их исследованиями и публикациями в высокорейтинговых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. **Предложена** математическая модель задачи топологического картирования и локализации, как построения графа локаций по входным данным с датчиков робота и определения текущей локации в построенном графе и положения внутри локации. Предложенная модель отличается отсутствием глобальных метрических координат в карте и оценкой качества картирования с помощью путевой эффективности – критерия, предложенного автором, который отражает эффективность использования построенного графа для планирования путей при навигации робота.

2. **Разработан** новый алгоритм топологического картирования и локализации PRISM-ТороMap, отличающийся надежной локализацией и низкими затратами памяти на хранение и поддержание карты. В ходе экспериментального исследования показано, что разработанный алгоритм имеет высокую путевую эффективность при работе в помещениях и обеспечивает надежную локализацию даже при работе в протяженных открытых средах. При этом построенная алгоритмом PRISM-ТороMap карта

занимает в памяти на 1-2 порядка меньше места, чем карты, построенные другими современными алгоритмами картирования.

3. Разработан новый алгоритм сопоставления облаков точек, основанный на использовании их двумерных проекций и итеративном сопоставлении дескрипторов ORB. Показано, что разработанный соискателем алгоритм обладает значительно более высокой скоростью и точностью сопоставления, чем традиционные трехмерные алгоритмы, например, ICP.

Теоретическая значимость работы состоит следующем:

- созданы новые алгоритмы топологического картирования и локализации, обеспечивающие надежную локализацию и низкие затраты памяти;
- предложены новые математические модели задачи картирования и локализации, которые позволяют оценивать качество топологических карт при отсутствии в них глобальных метрических координат и создают основу как для разработки новых методов топологического картирования и локализации, так и для улучшения существующих.

Практическая значимость состоит в следующем:

- предложенные алгоритмы топологического картирования и локализации являются вычислительно эффективными и достигают высокой точности локализации на данных с реальных роботов, что дает возможность их практического применения в задаче автономной навигации роботов;
- алгоритм PRISM-TopoMap реализован в виде комплекса программных средств и выложен в открытый доступ, что дает возможность использовать его в различных приложениях навигации мобильных роботов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, прошли апробацию на ведущих российских и международных профильных научных конференциях;
- результаты согласованы между собой, согласуются с результатами других исследователей;
- разработанные методы реализованы и выложены в открытый доступ, что позволяет воспроизвести все полученные научные результаты.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке алгоритма поддержания топологической карты и метода локализации в ней, а также в разработке оригинальной вычислительно эффективной процедуры сопоставления сканов;
- создании оригинальной математической модели топологического картирования и локализации;
- создании программного комплекса на базе разработанных алгоритмов и моделей;
- проведении численных экспериментов и обработке их результатов;
- апробации результатов исследования и публикации результатов в рецензируемых научных изданиях.

Соискатель Муравьев К.Ф. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, удовлетворившую авторов вопросов.

На заседании «09» декабря 2025 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013г., и принял решение присудить Муравьеву К.Ф. ученую

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 28 человек, из них 7 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 36 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» присуждение ученой степени – 28, «против» присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

диссертационного совета 24.1.224.01

[illegible]

Ю.С. Попков

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.224.01

Д.Т.Н., ДОЦЕНТ

Смирнов И.В. Смирнов

15