

УТВЕРЖДАЮ

И.о. первого проректора федерального
государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Южный федеральный
университет»



А.В. Метелица

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о научно-практической ценности диссертационной работы Алхалили Алак Сабах Бадри на тему «Предотвращение столкновений при движении мобильного робота в среде со статическими и динамическими препятствиями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки).

Актуальность темы исследования

В диссертационной работе рассматривается проблема планирования движения мобильного робота, функционирующего в недетерминированной среде с динамическими и статическими препятствиями. Актуальность решения данной проблемы вызвана необходимостью применения роботов в несегрегированных средах, допускающих присутствие динамических объектов и полную или частичную неопределенность, например, несоответствие карты среды ее реальному состоянию. В связи с этим существует необходимость развития соответствующих методов, обеспечивающих движение мобильного робота в целевую точку без коллизий.

Структура и краткий анализ содержания работы

Диссертация Алхалили Алак Сабах Бадри состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы, содержащего 160 наименований. Также диссертация включает 9 приложений с алгоритмами, программными кодами, таблицами численных данных и копией свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Основная часть работы представлена на 173 страницах, содержит 59 рисунков и 19 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны теоретическая и практическая ценность и новизна результатов, а также приведены научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проведен анализ основных методов и подходов к планированию движения. В результате анализа подтверждена актуальность развития методов планирования движения в недетерминированных динамических средах. Сделан вывод о том, что картографирование среды и определение параметров движения динамических препятствий бортовыми средствами связано со значительными техническими сложностями. В этой связи сформулирована проблема развития методов планирования движения, обеспечивающих снижение вероятности коллизий, попадания в локальные минимумы и уменьшения времени перемещения в целевую точку.

Во **второй главе** рассмотрена проблема сенсорного обеспечения, решающего задачи обнаружения препятствий, параметров их движения и навигацию в динамической недетерминированной среде. Выявлены противоречия между необходимостью получения высокоточных данных о препятствиях и возникающих в связи с получением и обработкой сенсорной информации запаздываниях, которые не позволяют своевременно среагировать на динамически изменяющуюся обстановку. На основе проведенного анализа выбрана измерительная система, базирующаяся на сканирующих измерениях, в частности с помощью лидаров. Для выбранной измерительной системы проведен анализ основных факторов, влияющих на погрешности и время вычисления параметров препятствий в недетерминированных средах. Сделаны выводы о необходимости применения сенсорно-информационной системы ближней зоны, в которой учитываются погрешности и стохастичность получаемой информации.

Третья глава посвящена разработке интеллектуального метода планирования движения мобильного робота в недетерминированной динамической среде. Разработаны метод оценки вероятности столкновения с препятствиями в ближней зоне мобильного робота, интеллектуальные алгоритмы объезда препятствий, базирующиеся на глубоком обучении с подкреплением. Также при обходе препятствия используется стохастический алгоритм, который вносит случайную составляющую при движении мобильного робота в области препятствий. Это позволяет использовать методы обучения с единой стратегией для этапов обучения и функционирования. В главе также подобрана структура нейронных сетей,

используемых в методе улучшения стратегии, известном в обучении с подкреплением, как «Актор-Критик».

В **четвертой главе** приведены результаты разработки имитационной модели и численных исследований алгоритмов, разработанных на базе предложенного метода. Проведен сравнительный анализ предложенного алгоритма с алгоритмом A^* и алгоритмом, использующим потенциальные поля. Определены критерии, к которым относятся время движения, вероятность коллизии и вероятность попадания в локальные минимумы. По результатам численных исследований определены численные значения перечисленных критериев и преимущества, которые обеспечивает разработанный метод.

В **заключении** перечислены основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования.

Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Научная новизна полученных результатов

В работе Алхалили Алак Сабах Бадри получены следующие новые научные и технические результаты.

1. Разработан метод оценки вероятности коллизии в зоне действия сенсорной системы мобильного робота, который отличается учетом стохастичности параметров препятствий, что позволяет применять разработанный метод в недетерминированной динамической среде.

2. Разработан алгоритм глубокого обучения с подкреплением для планирования движения робота при объезде препятствий, отличающийся учетом не только положений, но и параметров препятствий, находящихся в зоне действия сенсорной системы, что позволяет учитывать геометрические и кинематические характеристики препятствий при их объезде.

3. Разработан метод регуляризации нейронной сети для планирования движения, отличающийся использованием стохастической коррекции точки движения при объезде препятствия, что позволяет осуществлять не только предварительное обучение, но и улучшение алгоритма в ходе функционирования мобильного робота.

4. Разработана имитационная модель движения мобильного робота, реализующая разработанные методы оценки возможных столкновений и учитывающая стохастичность параметров движения препятствий.

Выносимые на защиту результаты получены соискателем лично.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность результатов обеспечивается четкостью в формулировках постановок задач и доказательностью их решения. Теоретические выводы хорошо согласуются с результатами имитационного моделирования движения мобильного робота в динамических недетерминированных средах, а также похожими результатами других авторов.

Публикации соискателя

Результаты по теме диссертационного исследования изложены в 13 публикациях, 4 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, 1 статья – в периодических научных журналах, индексируемых в Scopus, а еще 7 – в сборниках трудов в сборниках трудов всероссийских и международных конференций. Результаты работы прошли апробацию на 8 научно-технических конференциях различного уровня.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы определяется разработкой метода прогнозирования вероятности столкновения и метода объезда препятствий, находящихся в зоне действия сенсорной системы, базирующихся на глубоком обучении с подкреплением, позволяющих определять параметры движения с учетом геометрических и кинематических параметров препятствий. Также теоретически значимым результатом является метод энтропийной регуляризации нейросетевого планировщика, позволяющий осуществлять улучшение алгоритма планирования в процессе функционирования мобильного робота. Полученные результаты могут быть использованы во многих сферах, включая доставку грузов в несегрегированной городской среде, в некартографированных средах, при разработке систем управления колесных и гусеничных мобильных роботов.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебном процессе кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета.

Замечания по диссертации

1. В диссертационном исследовании не вполне определено, какие требования предъявляются к качеству функционирования нейронной сети. Достаточно

ли эффективна нейронная сеть, дающая преимущества по сравнению с двумя исследованными не самыми современными методами планирования?

2. В диссертационной работе не в полной мере обоснованы размеры рабочей зоны, в которой выполнялось имитационное моделирование.

3. Из содержания диссертации неясно, как осуществляется расчет зависимости вероятности столкновения от скорости и направления движения препятствия.

4. В диссертации следовало наглядно отразить результаты сравнения различных методов на основе имитационного моделирования.

5. В диссертации не приведено обоснование выбора интервала времени обновления данных на входе нейронной сети при имитационном моделировании.

6. Выражения для вычисления вознаграждения приведены без их достаточного обоснования. Возникает вопрос, насколько оптимальны эти выражения.

7. В диссертации отсутствуют численные оценки параметров при вычислении функций вознаграждения.

8. В диссертационном исследовании необходимо было указать минимальное расстояние от робота до препятствия при выполнении объезда.

9. В автореферате следовало указать численные значения величин, при которых принимаются решения, вместо признаков: «удовлетворительные», «адекватные», «достаточные».

Приведенные замечания не уменьшают значимости полученных соискателем в диссертации результатов и не влияют на её положительную оценку. Все они носят в основном характер пожеланий, которые могут быть достаточно легко учтены в дальнейшей работе.

Заключение

Диссертационная работа Алхалили Алак Сабах Бадри «Предотвращение столкновений при движении мобильного робота в среде со статическими и динамическими препятствиями» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-технической задачи повышения эффективности планирования движения мобильного робота в недетерминированной динамической среде за счет разработки новых методов планирования, базирующихся на глубоком обучении с подкреплением. Представленная работа удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических

наук по специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы, а её автор, Алхалили Алак Сабах Бадри, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв заслушан и принят по результатам обсуждения диссертационной работы на заседании Ученого совета НИИ робототехники и процессов управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» 21 мая 2025 г., протокол № 3.

Ведущий научный сотрудник НИИ робототехники и процессов управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», доктор технических наук (05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)), доцент

21.05 2025 г.

Медведев Михаил Юрьевич

Главный научный сотрудник НИИ робототехники и процессов управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», доктор физико-математических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), профессор

21.05. 2025 г.

Каркищенко Александр Николаевич

Адрес: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение «Южный федеральный университет»,
344006, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

Телефон: +7(863)263-31-58

E-mail: info@sfedu.ru, Сайт: <https://sfedu.ru/>

с отзывом о работе

05-06-2025

На включение персональных данных, содержащихся в отзыве, в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку согласны

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»
Личную подпись
ЗАВЕРЕНО:
Главный специалист по управлению персоналом
«21» 05 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»
Личную подпись
ЗАВЕРЕНО:
Главный специалист по управлению персоналом
«21» 05 2025 г.

«06» Листов	Вх. № 05-65-50
«04» Вопл. 06 2025	