

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Алхалили Алак Сабах Бадри на тему «Предотвращение столкновений при движении мобильного робота в среде со статическими и динамическими препятствиями» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)»

### **Актуальность исследования**

Мобильные роботы (МР) находят все более широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, например, в таких как: промышленное производство, складская логистика, бытовая сфера, медицина, военная сфера, транспорт, сельское хозяйство, экологический мониторинг, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и др. При этом, зачастую, МР должны функционировать в сложных средах в условиях недетерминированности ситуации. Например, в средах со статическими и динамическими препятствиями, параметры которых заранее не известны и могут изменяться стохастически. В связи с этим возникает проблема обеспечения безопасности функционирования МР и предотвращения столкновений с препятствиями. Причем в настоящее время данная проблема решается, но до сих пор в полной мере не решена. В связи с этим исследование, направленное на решение указанной выше проблемы, является, несомненно, **актуальным.**

**Целью диссертационной работы** является предотвращение столкновений с препятствиями при движении МР по траектории, на основе прогнозных оценок на интервале прогнозирования и нейросетевом управлении при выполнении объезда препятствия.

Для достижения поставленной цели на основе анализа современного состояния решаемой проблемы в диссертации сформулирована и решена **научная задача** разработки методов решения задач обеспечения движений мобильных наземных роботов и управления их безопасным перемещением в условиях статических и динамических препятствий на основе имеющейся информации.

Также для достижения поставленной цели и решения основной научной задачи в диссертации успешно решен ряд частных задач, связанных с разработкой метода оценки вероятности столкновения на изменяемом интервале прогнозирования с учетом характерных особенностей



информационного обеспечения мобильного робота, метода планирования движений МР в среде со статическими и динамическими препятствиями для предотвращения столкновений и осуществления объезда препятствий, разработкой дискретно-непрерывной имитационной модели движения объектов в рабочей зоне мобильного робота с учетом стохастичности параметров их движения, разработкой виртуальных моделей движения МР и препятствий, параметры которых изменяются случайным образом, на основе различных методов управления движением робота, а также анализом предложенных методов и подходов.

#### **Оценка научной новизны**

В процессе решения поставленных задач были получены научные результаты, обладающие **научной новизной**. В частности:

- разработан метод управления движениями робота, предотвращающий его столкновения при движении по траектории в среде с препятствиями, оценивающий вероятность столкновения на интервале прогнозирования и учитывающий стохастичность параметров препятствий, **отличающийся** тем, что прогнозирование осуществляется с учетом стохастичности параметров препятствий, а движения объезда определяются нейронной сетью на основе информации об объектах ближней зоны МР;

- разработано нейросетевое решение, определяющее параметры движения робота для объезда препятствий, структура которого и алгоритмы обучения с подкреплением позволяют учитывать параметры препятствий, **отличающееся** тем, что входными значениями нейросети являются расположение и параметры препятствий в ближней зоне МР, а выходные параметры определяют точку объезда, движение через которую позволяет предотвратить столкновение;

- разработан метод энтропийной регуляризации решений нейросетевого планировщика движений робота для объезда препятствия, **отличающийся** тем, что реализуется стохастическая коррекция положения точки объезда (выходных значений нейронной сети), а не изменение функций вознаграждения, что обеспечивает поиск наилучших решений;

- разработана имитационная модель движения МР в рабочей зоне с неподвижными и подвижными препятствиями, **отличающаяся** учетом стохастичности параметров движения препятствий и вероятностной оценкой возможных столкновений на интервале прогнозирования, а также возможностью использования одного из нескольких методов планирования поведения робота для выполнения их сравнительной оценки.

**Теоретическая значимость** диссертационного исследования заключается в развитии теории интеллектуального управления мобильными роботами в условиях недетерминированности, в частности, в разработке методов решения задач обеспечения движений мобильных наземных роботов и управления их безопасным перемещением в условиях статических и динамических препятствий на основе имеющейся информации от бортовых датчиков.

**Практическая ценность** полученных результатов заключается в том, что



их использование позволяет управлять движениями МР по траектории без столкновений с препятствиями. Кроме того, предложенные подходы, методы и реализующие их алгоритмы являются более эффективными по сравнению с известными и, в частности, позволяют сократить время выхода МР в траекторную точку при объезде препятствий.

Анализ результатов экспериментальных исследований подтверждает работоспособность предложенных моделей и методов и их практическую применимость.

**Личный вклад автора** заключается в выполнении всех этапов диссертационного исследования: анализе известных решений; постановке и формулировке задач исследования; определении последовательности их решения; проведении исследований, включая разработку математических моделей движения МР и препятствий, методов и реализующих их алгоритмов планирования и управления движениями МР; проведении экспериментальных исследований; обработку и анализ полученных результатов; формирование выводов; разработку структуры и алгоритмов работы нейронной сети определения параметров движения робота при объезде препятствий. Все положения и результаты диссертационного исследования получены автором лично. Автором также разработано имитационное программное обеспечение, реализующее разработанные методы и которое использовалось при проведении экспериментальных исследований.

**Достоверность и обоснованность** научных результатов диссертации подтверждается корректностью постановок задач, соответствием теоретических и практических результатов, непротиворечивостью математических выкладок, корректным и достаточно строгим применением методов математического и компьютерного моделирования. Научные положения и выводы логичны и основаны на комплексном подходе к решению поставленной научной задачи, подкреплены данными проведенных экспериментов и результатами сравнительного анализа. Основные результаты исследования достаточно полно опубликованы в рецензируемых изданиях, представлялись, обсуждались и получили положительные отзывы научной общественности на международных и всероссийских научных мероприятиях, используются в образовательном процессе и имеют потенциал практического внедрения на предприятиях реального сектора экономики.

#### **Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертация представляет собой законченное научное исследование и содержит все необходимые структурные элементы и состоит из введения, четырех глав основной части, заключения, списка литературы и приложений. В диссертации отражены все этапы исследования, включая, обоснование актуальности решаемой проблемы, анализ существующих методов и подходов к ее решению, постановку цели исследования, постановку и формулировку решаемой в диссертации научной задачи и частных задач исследования, обоснование последовательности их решения, описание полученных результатов, научно обоснованные выводы и рекомендации по их



использованию.

Материалы диссертации изложены последовательно и логично. Работа написана достаточно понятным научно-техническим языком.

Автореферат полностью соответствует структуре и содержанию диссертации и достаточно полно отражает основные положения, результаты и выводы диссертационного исследования.

#### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертации и автореферату можно сделать следующие замечания.

1. Глава 2 посвящена выбору и обоснованию наиболее эффективных способов получения и представления данных о препятствиях в среде функционирования МР, хотя такая задача в перечне задач исследования не была поставлена.

2. При этом в главе излишне подробно приведены результаты экспериментов, что перегружает содержание главы. Достаточно было привести итоговые сравнительные оценки, а все промежуточные результаты вынести в приложение.

3. В диссертации (Глава 2) при описании экспериментов по определению параметров объекта с использованием лидара (стр. 39) не указано для какого диапазона скоростей движения препятствий выполнялось сканирование и вычисление его расположения, ориентации и вектора его движения.

4. Не указано, какое количество экспериментов выполнено для вычисления ошибок определения параметров препятствий, приведенных в таблице 2.5 (стр. 53).

5. Некоторые выводы к главе 2 являются очевидными утверждениями и не требуют серьезного анализа для их получения, например, «Структура и функциональные возможности сенсорно-информационной системы мобильного робота должны соответствовать задачам, которые решаются роботом» (стр. 57).

6. Уравнения, описывающие условия движения колеса робота без продольного и поперечного проскальзывания (стр. 80-81) приведены в общем виде, без учета параметров конкретного робота.

7. Из текста диссертации не понятно, почему автор выполнял аппроксимацию непрерывной функцией интервального представления функций вознаграждения (стр. 106-107).

8. Отсутствует обоснование структуры нейронной сети планирования движений объезда в части выходного слоя – почему использована одна сеть с тремя выходами, а не три сети с одним выходом.

9. В заключении диссертации и автореферата следовало бы привести основной результат диссертационного исследования – решение актуальной научной задачи.

10. Во введении к диссертации указано, что целью исследования является предотвращение столкновений с препятствиями при движении МР по траектории, а в заключении (стр. 148, второй абзац) в качестве цели указывается разработка метода, предотвращающего столкновения. Требуется пояснение.

Указанные замечания не носят принципиальный характер, не снижают



## Заключение

Диссертационная работа Алхалили Алак Сабах Бадри является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новые научно обоснованные результаты и решение актуальной научной задачи разработки методов решения задач обеспечения движений мобильных наземных роботов и управления их безопасным перемещением в условиях статических и динамических препятствий на основе имеющейся информации, имеющей значение для развития теории управления мобильными роботами в недетерминированных условиях.

Диссертационная работа полностью соответствует критериям, изложенным в п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 и предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Алхалили Алак Сабах Бадри заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук



Капустян Сергей Григорьевич

11.06.2025г.

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (ЮНЦ РАН).

Должность: ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий и процессов управления.

Адрес лаборатории информационных

технологий и процессов управления: 347928 сп-294, Ростовская обл.,  
г. Таганрог, ул. Чехова, 2  
e-mail: [evm17@mail.ru](mailto:evm17@mail.ru)  
Тел.: (8634) 31-54-91

Адрес ЮНЦ РАН: 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41.

e-mail: [kap56@mail.ru](mailto:kap56@mail.ru), Тел.: +79185566982

Подпись в.н.с., д.т.н. Капустяна С.Г. удостоверяю

Ученый секретарь

ЮНЦ РАН, к.б.н.

Н.И. Булышева



11.06.2025г.

С отзвлом ознакомлена

5

|                  |                                                |
|------------------|------------------------------------------------|
| « 17 »<br>ЛИСТОВ | Вх. № 0.5-65-34<br>« 17 » 06 2025г.<br>ВолгГТУ |
|------------------|------------------------------------------------|

  
17.06.2025г.