

ОТЗЫВ
официального оппонента о диссертации
ЮДИНЦЕВА Богдана Сергеевича

«Нейросетевая система планирования траекторий для группы мобильных роботов»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)

Широко известно, что существует целый ряд технических задач, где целесообразным является применение автономных мобильных роботов (АМР) наземного базирования в составе группы. Применение подобных робототехнических систем (РТС) обусловлено наличием следующих преимуществ: уменьшение роли человека-оператора; высокая маневренность; малая заметность, особенно на пересеченной местности; масштабируемость; малое время подготовки роботов к выполнению задач. При построении такой РТС базовой задачей является реализация системы управления, обеспечивающей безаварийное достижение группой АМР целевых позиций для выполнения поставленной задачи в кратчайшее время.

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что работа Юдинцева Б.С., в которой получены методики синтеза системы планирования траекторий, базирующейся на нейронной сети (НС), а также предложена архитектура и получено специализированное программное обеспечение нейросетевой системы планирования траекторий для группы АМР, действующей в двумерном пространстве с препятствиями, **выполнена на актуальную тему**. Актуальность результатов и выводов, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, подтверждается тем, что проводимые автором исследования поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований в рамках гранта РФФИ № 16-29-04165-офи_м.

Диссертационная работа Юдинцева Б.С. **выполнена в соответствии с требованиями** и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 117 источников. Полученные результаты раскрыты

УГАТУ		
Вх. №	1108-13	
« 05 »	10	20 20 г.

подробнее в 4 приложениях. Объем основной части диссертации составляет 159 страниц, включая 92 рисунка и 12 таблиц.

Во *введении* обосновывается актуальность решаемой научной задачи; показана степень разработанности темы на базе работ ведущих ученых; сформулированы цель и задачи исследования; перечислены подходы и методы решения задач; приведены сведения об апробации работы; перечислены результаты, выносимые на защиту; отмечены их научная новизна и практическая значимость.

Первая глава рецензируемой работы содержит результаты анализа современного состояния проблемы группового управления в робототехнике, в котором особое внимание автор уделил оценке применимости различных алгоритмов поиска траекторий; показаны специфика их применения, а также перспективы использования рассматриваемых алгоритмов для реализации группового управления АМР. В результате проведенных исследований показана необходимость применения интеллектуальных алгоритмов для синтеза системы планирования, которая отвечала бы предъявляемым требованиям. Предложен способ достижения поставленной цели в виде системы планирования траекторий для группы АМР, построенной на базе рекуррентной НС.

Во *второй главе* автор последовательно решает задачу синтеза специализированной нейросетевой структуры. На первом этапе исследования получен прототип системы планирования траекторий для одного АМР с использованием НС, для которой Юдинцевым Б.С. задана топология сети, определены способы и протоколы обмена информацией, необходимые для корректной работы системы планирования с учетом актуальных данных об окружающей среде и состоянии АМР. Далее в тексте работы приведено описание инженерной методики синтеза системы планирования для группы МР, произведен выбор схемы реализации. Учитывая повышенные требования к быстродействию системы планирования, автором показаны способы применения методик и алгоритмов, базирующихся на известных технологии

параллельных вычислений, при синтезе специализированного программного обеспечения.

В *третьей главе* приведена подробная математическая модель системы планирования, с помощью которой исследовалась ее устойчивость. С целью парирования наиболее вероятных нежелательных воздействий (эффектов) рассматриваются различные способы модификации построенной модели НС, что позволило получить приемлемые решения для задачи построения неконфликтных траекторий группы МР в недетерминированной окружающей среде.

Четвертая глава содержит результаты проверки теоретических положений и методик, положенных в основу предлагаемой системы планирования траекторий. Подробно описан программно-аппаратный комплекс опытного образца тестового стенда, показана специфика работы программ при реализации централизованной и мультиагентной концепций управления группой АМР. На основе анализа эффективности параллелизации и вычислительной сложности разработанного алгоритма планирования сделан вывод об эффективности предложенного в работе способа использования мультипоточных и параллельных технологий обработки данных.

В *заключении* корректно и обоснованно приведены результаты диссертационной работы, а также положения, выносимые на защиту.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации не вызывает сомнений, так как автором использовались общепринятые методики исследований, актуальные техники и положения теории системного анализа, нейронных сетей (искусственного интеллекта), высокопроизводительных вычислений. Математическое моделирование проводилось с использованием специализированного пакета MATLAB, который является стандартным инструментом для исследования НС различного типа. Экспериментальные результаты получены на стенде, разработка которого проводилась на базе теоретических исследований, что позволяет говорить о достоверности представленных в работе данных.

Дополнительным обоснованием достоверности может служить то, что положения и результаты, выносимые на защиту, прошли апробацию на конференциях различного статуса, достаточно полно отражены в научных публикациях и полученных РИД, опубликованных соискателем лично и в соавторстве: 4 статьи в журналах из списка ВАК, 1 статья в издании, входящем в Scopus, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Текст диссертации и автореферата, а также предварительная версия доклада позволяют оценить полученные результаты и сделать вывод о **научной новизне** работы по следующим пунктам:

1) Оригинальная методика синтеза системы планирования траекторий, позволяющая использовать ее как для одиночного АМР, так и для группы таких роботов. Интересным видится решение автора, позволившее объединить в едином программно-аппаратном комплексе преимущества нейросетей и технологии мультиточечных/распределенных вычислений, что в итоге повысило производительность вычислений.

2) Алгоритмы коррекции траектории, позволяющие при изменении целевых координат или спонтанном изменении окружающей обстановки обеспечить получение результатов системы планирования без значительного увеличения расчетного времени.

Предложенные архитектура и методика синтеза специализированного алгоритмического обеспечения системы планирования, использующей модифицированную, с учетом специфики решаемой задачи, рекуррентную НС, представляют *теоретическую ценность*.

Практическую значимость имеют инженерные методики синтеза специализированного программного обеспечения на базе языка *Python*, позволяющие реализовать предлагаемую рекуррентную НС с интегрированными средствами мультиточечной обработки данных. С практической точки зрения полезностью обладает разработанный в ходе работы над диссертацией программно-аппаратный комплекс полунатурного экспериментального стенда, реализующий специфические функции: ориентация

на работу с коллективами АМР, использование технологий виртуализации, автоматизация рутинных операций при проведении натуральных/полунатурных экспериментов и т.д. Подтверждением практической ценности могут служить 2 акта о внедрении результатов, полученные на кафедре АТП ФГБОУ ВО УГАТУ в Институте механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН.

В целом диссертация имеет логичную структуру, обладает внутренним единством, текст в большей части выверен, оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ по оформлению научных работ. Автореферат достаточно полно передает основное содержание диссертации. Основные выводы работы соответствуют поставленным цели и задачам исследования и оформлены в виде положений, выносимых на защиту.

Однако следует выделить **ряд замечаний**, представленный ниже.

1. Автор не вполне корректно использует название НС Хопфилда для обозначения топологии используемой в диссертации НС, поскольку сеть Хопфилда является по определению полносвязной, а сеть, представленная в диссертации, использует только связи «соседних» нейронов.
2. На странице 56 указано на связь сходимости сети с функцией активации, однако при определении сходимости (п 3.2.2) влияние функции активации не исследовано. При реализации НС в виде программы, вводится коэффициент усиления (стр. 114), и не показано как это влияет на сходимость алгоритма.
3. Целесообразно было бы рассмотреть способ стабильного преодоления локальных минимумов поверхности планирования, поскольку их присутствие не гарантирует достижение целевых позиций роботами, что может быть критично важно при практическом применении в ряде ответственных случаев.
4. В тексте диссертации часто упоминается, что представленный алгоритм генерирует «близкие к оптимальным траектории», в этой связи было бы целесообразно оценить эту близость, сравнив результаты с

планировщиком, генерирующим оптимальные с точки зрения выбранного критерия траектории (например алгоритм Дейкстры).

5. В диссертации неоднократно упоминается о важности сокращения вычислительного времени планировании и приводятся алгоритмические способы его сокращения, однако в практической реализации используется язык Python, использующий динамическую компиляцию, что увеличивает время выполнения разработанной программы.
6. Архитектура предложенной системы потенциально позволяет осуществлять обход подвижных препятствий (не только роботов из той же группы), было бы целесообразно подтвердить этот факт при проведении экспериментальных исследований.

Несмотря на указанные выше замечания, считаю, что диссертация Юдинцева Б.С. выполнена на актуальную тему *и является законченной научно-квалификационной работой*, в которой содержится решение задачи планирования траекторий для группы автономных мобильных роботов, действующей в нестационарном рабочем пространстве с препятствиями, что может иметь существенное значение для развития специальной робототехники. Соискателем были получены новые научные результаты, имеющие также практическую ценность, что подтверждается сведениями об использовании полученных результатов.

Диссертация представлена в виде рукописи, оформление соответствует установленным требованиям. Квалификационная работа написана автором самостоятельно, хорошо структурирована и отражает основные результаты, выдвигаемые для защиты. Содержание соответствует пунктам 2, 5, 12 паспорта специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)».

Автореферат и опубликованные статьи достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Замечания, приведенные в отзыве, не снижают общей положительной оценки работы.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Юдинцева Б.С. на тему «Нейросетевая система планирования траекторий для группы мобильных роботов» **соответствует** требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее **автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук** по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)».

Официальный оппонент:

к.т.н.,

Собольников Сергей Александрович,

начальник лаборатории искусственного интеллекта

и дополненной реальности

Федерального государственного унитарного предприятия

«Всероссийский научно-исследовательский институт

автоматики им. Н.Л. Духова».

Кандидатская диссертация защищена

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации


Почтовый адрес основного места работы:

101000, Россия, Москва,

Моспочтамт, а/я 918.

Телефон: +7 (499) 400-43-29

Адрес эл. почты: sobolnikov.s@yandex.ru


23.09.2020

Подпись Собольникова С.А. удостоверяю

Ученый секретарь НТС ФГУП «ВНИИА»





Л.В. Феоктистова