

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор –  
проректор по научной работе  
и стратегическому развитию  
д.т.н., доцент



Коробец Б.Н.

2 окт. 2020

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

#### Актуальность диссертационного исследования

Актуальность темы исследования Юдинцева Богдана Сергеевича обусловлена тем, что при решении ряда задач необходимо применять группировку мобильных роботов. К таким задачам можно отнести обезвреживание опасных объектов, задачи радиационной и химической разведки, работу в зоне техногенных и природных катастроф. В связи с этим возникают проблемы, связанные с управлением группой роботов, планирование их траекторий при наличии препятствий, позволяющее избежать столкновения с ними. Поскольку такое планирование происходит при движении группы роботов, важную роль играет минимизация времени, необходимого для планирования и коррекции траекторий движения. Перспективный подход для решения этой проблемы и предлагается в данной диссертации.

УС  
Ю

УГАТУ		
Вх. №	1109-13	
с. 05.	10	20 20 г.

### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна работы, в первую очередь, определяется применением аппарата нейронных сетей для планирования траекторий группы мобильных роботов. Автор предложил применить нейронные сети Хопфилда, позволяющие получить «нейронную карту» местности, при этом время планирования нового маршрута при наличии препятствий оказывается значительно меньше, чем при использовании других методов, которые в большинстве случаев сегодня применяются для этой цели. Кроме того, новизной обладает предложенная автором методика обработки выходных сигналов нейронной сети, основанная на технологии параллельных вычислений, позволяющая избежать столкновения мобильных роботов как с внешними препятствиями, так и с другими агентами группы.

### **Практическая значимость результатов, полученных в диссертации**

По существу, работа содержит законченную методику синтеза специализированного программного обеспечения, для системы планирования траекторий группы мобильных роботов на основе нейронной сети Хопфилда. Эта методика может найти применение не только для разработки робототехнических систем, применяемых в экстремальных ситуациях, при работе в зоне аварий и катастроф, но и для широкого класса коллаборативных робототехнических систем, функционирующих в местах скопления людей – на вокзалах, в аэропортах, музеях и т.п. Применение предложенной методики планирования траекторий движения группы роботов в этом случае обеспечивает безопасность применения робототехники. Практический интерес представляет также экспериментальный стенд, который был разработан автором и использован в ходе исследовательской работы, поддержанной РФФИ.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректным применением методов системного анализа и математического моделирования, выполненного с помощью пакета прикладных программ Matlab, а также результатами натурного моделирования.

Результаты диссертационного исследования были представлены на различных всероссийских и международных конференциях и отражены соискателем в ряде публикаций, включая 4 работы в журналах, рекомендованных ВАК и 1 статью в издании, входящем в базу цитирования Scopus. В ходе выполнения диссертационной работы соискателем также получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Сведения о структуре и содержании работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 117 наименований и приложений. Общий объем диссертации составляет 191 страницу, включая приложения, где представлены листинги 4-х программ, выполненных в пакете Matlab, а также на языках программирования C# и Python.

Во **введении** автором представлена актуальность научного исследования, сформулированы цель и задачи исследования, описаны используемые методы решения поставленных задач, а также приведены основные результаты, отмечена их научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** диссертации рассмотрены существующие методы и решения в области группового управления мобильными роботами. Отмечена проблема планирования безопасных маршрутов, как одна из ключевых при построении системы управления группой автономных мобильных роботов. Здесь автором достаточно убедительно обоснован выбор сети Хопфилда для решения

задачи планирования траекторий мобильных роботов. Эта сеть относится к классу рекуррентных сетей и не требует проведения процедуры обучения, поскольку все весовые коэффициенты определяются на основании исходной информации до начала функционирования сети. После предъявления входного вектора сеть сходится к одному из запомненных «эталонов» в форме «нейронной карты» местности. В качестве замечания здесь следовало бы отметить, каким образом формируется исходный эталон. Тем не менее, выбор метода надо признать обоснованным, поскольку параллельная обработка информации позволяет существенно ускорить процедуру планирования по сравнению с другими известными методами. Отметим, что первая глава диссертации объемом 50 стр. представляет самостоятельный интерес как подробный и хорошо продуманный обзор современного состояния проблемы.

Во **второй главе** автором предложена архитектура системы планирования траектории мобильного робота и представлена методика синтеза системы планирования траектории мобильного робота на базе «нейронной карты» (сети Хопфилда) в предположении, что такая карта уже получена. Представляет интерес «гибридный подход», при котором каждый робот-агент формирует собственную нейронную карту, которая передаётся в центральный блок управления, который и рассчитывает рекомендуемые траектории для всех агентов. Такой подход позволяет, при необходимости, каждому из роботов-агентов, корректировать свою нейронную карту, и, следовательно, собственную траекторию при появлении новой информации. Несомненным достоинством этой главы является разработка методики применения параллельных вычислений при реализации программной части системы планирования (п.2.3), что облегчает возможности практического применения предложенного подхода. К недостаткам этой части работы следует отнести отсутствие конкретизации, что представляет собой сенсорная системы робота (Рис.2.1), есть ли отличия этой

сенсорной системы у ведущего робота и у остальных роботов-агентов, и как формируется входной сигнал сети Хопфилда на основании полученной информации от сенсорной системы.

**Третья глава** диссертации, в основном, посвящена вопросам планирования неконфликтных траекторий (исключающих столкновения) и планирования движения группы роботов в динамически меняющейся среде. Здесь автор рассматривает нейронную сеть как образ дискретного рабочего пространства, включающего нейрон – цель и неактивные нейроны-препятствия. Анализируется динамика сети и обосновывается её устойчивость. Автором предложены способы минимизации числа итераций при активации нейросети, что позволяет сократить и общее время настройки сети, что имеет важное значение, так как настройка и коррекция сети происходит в реальном масштабе времени, при движении группы роботов. С этой же целью предложена и модификация функции активации (п.3.4.5). Анализ работы модифицированной сети при решении характерных задач для группы мобильных роботов (с.106) методом математического моделирования показало, что предложенная автором модификация сети обеспечивает быстроедействие при решении задачи планирования пути в 4 раза выше по сравнению с методом  $A^*$ , которые чаще всего применяется для решения подобных задач. К недостаткам этой главы можно отнести отсутствие конкретных требований к аппаратуре, включая сенсорику, и бортовые вычислительные средства, обеспечивающие решение поставленных задач.

В известной мере последний вопрос рассматривается **в четвертой главе**, посвященной экспериментальной проверке основных результатов работы с использованием реальных мобильных роботов. Основным содержанием этой главы является методика синтеза специализированного программного обеспечения для системы планирования группы автономных мобильных

роботов. Она включает структуру программы, выбор переменных, процедуру обучения нейросети, организацию многопоточной обработки информации. Листинги основных программных модулей приведены в приложении, что облегчает практическое использование предложенных автором решений. Представляет практический интерес предложенный автором способ разрешения конфликтных ситуаций (п.4.1.5). Проведено компьютерное моделирование, подтверждающее работоспособность предложенных алгоритмов планирования траекторий и распознавания конфликтных ситуаций. Также описана методика синтеза аппаратно-программного комплекса полунатурного экспериментального стенда и представлены результаты работы данного стенда.

В **заключении** представлены основные выводы и результаты, выносимые на защиту.

Диссертация имеет логичную структуру, написана технически грамотным языком и оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы для организации управления мобильными робототехническими группировками различного назначения, включая этап разработки необходимого программно-алгоритмического обеспечения.

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

1. В работе не показано, каким образом получена исходная «нейронная карта» местности. Очевидно, что она не может быть получена информационными средствами этой группы роботов. Если же она известна заранее, то следовало бы указать, каким образом определяются изменения, возникающие в процессе движения группы.

2. Не определена постановка задачи для группы роботов и не рассмотрены вопросы распределения задач между отдельными мобильными роботами-исполнителями, ведущим роботом и постом управления.

3. Определенным ограничением является и рассмотрение двумерного рабочего пространства, поскольку в реальной обстановке вопрос о преодолении препятствия требует и учета его высоты.

Указанные замечания не снижают общего, достаточно высокого научного уровня работы и могут быть учтены при дальнейших исследованиях.

### **Заключение**

Диссертационная работа Юдинцева Богдана Сергеевича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научной квалификационной работой, которая выполнена на актуальную тему, предложенные в ходе исследования новые алгоритмы и методики решают поставленную задачу повышения эффективности работы системы планирования траекторий на базе сети Хопфилда, для группы мобильных роботов, действующей в рабочем пространстве с препятствиями. Таким образом, работа имеет теоретическое и практическое значение в области группового управления автономными мобильными роботами.

Основные результаты работы достаточно подробно отражены в публикациях автора.

Автореферат диссертации и представленные достаточно полно отражают содержание работы, а также основные выводы и результаты, полученные в ходе исследования.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Юдинцев Богдан Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по

специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)».

Диссертационная работа Юдинцева Богдана Сергеевича рассмотрена и одобрена на заседании кафедры робототехнических систем и мехатроники.

22 сентября 2020 г., номер протокола 03/20-01

Отзыв составил профессор, д.т.н. по специальности 05.02.05 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Ющенко А.С.

2.10.2020

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1; тел.: +7 (499) 263-6391; e-mail: bauman@bmstu.ru; адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.bmstu.ru>