

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор-проректор по
научной работе РУДН
доктор медицинских наук, профессор,
член-корр. РАН

А.А. Костин



16.01.2025

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса
Лумумбы» (РУДН)
на основании решения, принятого на заседании кафедры механики и процессов
управления инженерной академии

Диссертация «Symbolic regression algorithm for control of non-holonomic wheeled mobile robots» («Алгоритм символьной регрессии для управления неголономными мобильными роботами на колёсах») выполнена на кафедре механики и процессов управления инженерной академии РУДН.

Жавуш Каррар Сахиб Нассрулла, 1985 года рождения, гражданин Республики Ирак, в 2017 году окончил Университет Святого Иштвана (Гёдёллэ, Венгрия), получив степень магистра по специальности «машиностроение».

С 22 сентября 2020 года по настоящее время обучается в аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению, соответствующему научной специальности 2.3.1. *Системный анализ, управление и обработка информации, статистика*, по которой подготовлена диссертация.

В настоящее время не работает.

Документ о сдаче кандидатских экзаменов выдан в 2024 году в РУДН.

Научный руководитель – Степанян Иван Викторович, кандидат технических наук, доктор биологических наук, профессор кафедры механики и процессов управления инженерной академии РУДН.

Тема диссертации в окончательной редакции утверждена на заседании ученого совета инженерной академии РУДН 14.01.2025, протокол № 2022-08/08.

По итогам обсуждения диссертации на заседании кафедры механики и процессов управления инженерной академии принято следующее заключение.

Диссертация полностью завершена и охватывает вопросы управления двумя мобильными роботами с использованием синтезированной методологии управления. Исследование сосредоточено на решении общей задачи синтеза управления с использованием метода символической регрессии (вариационно-синтезированного генетического программирования). Метод символической регрессии – тип регрессионного анализа, который ищет в пространстве математических выражений модель, наилучшим образом соответствующую заданному набору данных. Исходные выражения формируются путём случайного комбинирования математических строительных блоков: операторов, аналитических функций, констант и переменных состояния.

Результаты исследования позволяют управлять парой роботов для достижения ими конечных состояний, не нарушая фазовых ограничений с оценкой соответствия критерию качества. Соискатель внес большой личный вклад в работу.

В исследовании для получения результатов была использована математическая модель неголономного мобильного робота (Khepera II). Также был разработан новый метод символической регрессии для решения задачи синтеза управления.

Результаты диссертационного исследования были подтверждены с помощью вычислительных экспериментов и опубликованы в рейтинговых журналах.

Автор принимал непосредственное личное участие в получении основных результатов диссертационной работы.

Основные положения и результаты исследования обсуждались и представлялись на различных международных научных конференциях и семинарах: 3-я Международная конференция по технике и науке (Эс-Самава, Ирак, 3-4 мая 2023 г.); XIV Международная научно-практическая конференция «Современные стратегии и цифровые трансформации устойчивого развития общества, образования и науки» (Москва: 12 декабря 2023 г.); II Международная научно-практическая конференция «Современные исследования: теория, практика, результаты» (Москва: 29 декабря 2023 г.).

В мероприятиях автор представил свои наработки широкой научной аудитории и обсудил полученные результаты с ведущими специалистами.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается экспериментами, сравнением с результатами применения иных апробированных методов, успешным использованием полученных результатов на практике.

Новизна результатов проведённых исследований состоит в следующем:

1. Разработка расширенной формулировки задачи оптимального управления, которая отличается от классической включением дополнительных параметров, требующих построения системы стабилизации. Разработанный метод символической регрессии отличается включением новых концепций, таких как «ось» и «приоритет».

2. Согласно предлагаемому подходу, перед решением задачи оптимального управления необходимо установить устойчивость в пространстве состояний системы управления. Разработанный подход демонстрирует новый вид управления посредством изменения положения точки равновесия.

3. Разработанный метод машинного обучения, а именно метод символической регрессии, впервые применяется в контексте синтеза управления для получения устойчивой системы дифференциальных уравнений, описывающих движение группы мобильных роботов.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработанный метод предназначен для решения практических инженерных задач, поскольку он эффективно смягчает расхождения между математической моделью и реальным объектом управления за счёт наличия внутреннего цикла процесса стабилизации, используемого в разработанном в диссертации методе.

2. Проблема, относящаяся к процессу синтеза системы стабилизации (внутренний контур), решается заранее, при этом используется движение точки равновесия для реализации управления (внешний контур). Эти точки равновесия могут быть установлены заранее или изменяться в ответ на условия окружающей среды, оптимизируя общий процесс управления.

Ценность научной работы соискателя состоит в том, что методология, представленная в данном исследовании, является новым подходом к решению

подобного класса задач, но при этом особое внимание уделяется синтезу системы управления точкой устойчивого равновесия робота (объект управления оснащён системой стабилизации, что обусловило появление у робота особого атрибута — точки устойчивого равновесия). В целом, разработанная методология состоит из двух шагов. Разработанный математический аппарат в первую очередь вычисляет наличие требуемых характеристик управления роботом на основе появления устойчивой точки равновесия в пространстве состояний. Вторым этапом является поддержание равновесия, так как точка равновесия имеет потенциал для изменения с течением времени; тем не менее, объект, будучи стабилизированным, последовательно сохраняет равновесие в каждый момент времени. Впоследствии управление роботом может быть достигнуто посредством эффективного изменения местоположения точки равновесия.

Область диссертационного исследования соответствует пунктам 1, 3, 4 и 5 паспорта научной специальности 2.3.1. *Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.*

Полнота изложения материалов диссертации обеспечена их публикацией в рецензируемых научных журналах, в том числе за последние 5 лет, публикацией 4 статей в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus. Полный перечень публикаций соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации, приведён в диссертации и автореферате диссертации.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Жавуш Каррар Сахиб Нассрулла рекомендуется к публичной защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. *Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.*

Заключение принято 14.01.2025 на заседании кафедры механики и процессов управления инженерной академии РУДН, протокол заседания № 2022-15-04/05.

Присутствовало на заседании 40 чел.

Результаты голосования: «за» – 40 чел., «против» – 0 чел., «воздержался» – 0 чел.

Председательствующий на заседании:
профессор кафедры механики и процессов управления
инженерной академии РУДН
доктор технических наук, доцент



С.А. Купреев

Подпись С.А. Купреева удостоверяю.
Ученый секретарь ученого совета
инженерной академии РУДН



О.Е. Самусенко