

**Федеральное государственное учреждение
"Федеральный исследовательский центр
"Информатика и управление"
Российской академии наук"**

119333, Москва, Вавилова, д.44, корп.2
Телефон: +7 (499) 135-62-60
Адрес электронной почты: frccsc@frccsc.ru

ОТЗЫВ

Официального оппонента о диссертации
Жавуш Каррар Сахиб Нассрулла

«Алгоритм символьной регрессии для управления неголономными мобильными роботами на колёсах (Symbolic regression algorithm for control of non-holonomic wheeled mobile robots)», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы диссертации

Работа Жавуша Каррара посвящена применению методов символьной регрессии для решения задачи синтеза систем управления и направлена на разработку и анализ алгоритмов управления парой неголономных мобильных роботов. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью создания интеллектуальных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и обеспечивать автономность в выполнении различных задач мобильными колёсными роботами. Предложенный в диссертации подход отличается от традиционного машинного обучения и нейронных сетей: в исследовании используются методы, направленные на идентификацию управляющей функции, поиск которой осуществлялся с использованием эволюционных алгоритмов. Разнообразие методов символьной регрессии определяется различными видами функций кодирования, которые были рассмотрены соискателем.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основной целью диссертации является анализ надёжности и эффективности синтетического подхода к управлению. Этот подход заключается в решении задачи синтеза системы управления с обратной связью путём автоматического определения многомерной функции, позволяющей неголономному мобильному роботу переходить из произвольного начального состояния в заданное конечное состояние. При этом критерий качества соответствует требуемому значению, стабилизируя объект управления в точках равновесия. Для этого соискателем был использован метод генетического программирования, который позволил найти эффективные решения для задачи синтеза управления неголономными мобильными роботами на колесах.

Полученные соискателем в результате проведённого диссертационного исследования решения являются более эффективными по сравнению с методом декартова генетического программирования. Кроме того, соискателем был проведён

знаковый тест Уилкоксона, который продемонстрировал, что разработанный метод является более экономичным по времени без ущерба для качества решения. Следует отметить, что разработанный метод использует принцип малых вариаций базового решения для дополнительной оптимизации процедуры поиска функций управления. Таким образом, защищаемые в работе положения обоснованы полученными результатами.

Достоверность и научная новизна результатов диссертационного исследования

Научная новизна диссертации проявляется в следующих аспектах:

1. Разработана формулировка задачи управления неголономными мобильными роботами с включением дополнительных требований для построения системы стабилизации.
2. Разработан новый метод машинного обучения, а именно метод символьной регрессии для синтеза системы управления со стабилизацией в пространстве состояний.
3. Новый метод представляет собой синтез системы дифференциальных уравнений на основе принципа малых вариаций параметров генетического алгоритма.
4. Получено новое численное решение задачи оптимизации траектории пары неголономных мобильных роботов в условиях различных препятствий.
5. Решена фундаментальная задача синтеза систем управления нелинейных мобильных робототехнических систем с идентификацией уравнений динамики.

Практическая значимость работы

Разработанный метод ориентирован на решение прикладных инженерных задач и обеспечивает минимизацию расхождений между математической моделью объекта управления и его технической реализацией. Это достигается посредством внедрения внутреннего цикла стабилизации в процессе управления. Кроме того, использование методов символьной регрессии для задач синтеза управления имеет универсальную применимость.

Замечания к работе

1. В диссертации основной результат связан с решением задачи синтеза системы управления методом символьной регрессии, однако автором не рассматриваются другие известные методы, в том числе и методы символьной регрессии, которые также использовались для решения данной проблемы, вместо этого сделан большой общий обзор по теме разнообразных роботов.
2. Хотелось бы видеть более глубокий сравнительный анализ современных методов символьной регрессии, поскольку методы декартова генетического программирования и эволюции кодирующих матриц были изобретены достаточно давно — в 2000 и 2012 годах.
3. Хотя в диссертации представлены различные диаграммы перемещений, скоростей и ускорений роботов, есть некоторые фигуры и кривые, которые нуждаются в более подробном объяснении, например, кривые на рисунках 3.79-3.84.

4. В работе представлены численные результаты, однако отсутствует анализ влияния малых возмущений модели на значение функционала, что существенно при практическом использовании разработанных алгоритмов.

Несмотря на указанные недочёты, диссертация сохраняет свою научную ценность и высокую практическую значимость. Диссертация представляет собой глубокое исследование, которое успешно решает актуальные задачи синтеза системы управления с использованием методов символьной регрессии и эволюционных алгоритмов. Работа отличается новизной, достоверностью и практической значимостью.

Общее Заключение

Прежде всего, следует отметить, что соискатель глубоко разобрался в проблемах синтеза систем управления мобильными роботами. Общий синтез систем управления — это сложная задача, связанная с поиском структуры и параметров функции управления. Чтобы уверенно работать с поставленными задачами, необходимо понимать принципы символьной регрессии, владеть методами кодирования и декодирования управляющих функций, а также методом малых вариаций базового решения.

Аспирант разработал программный инструментарий, который предоставляет широкие возможности для оценки и повышения качества функционирования процедур синтеза траекторий движения мобильных роботов на колёсах. Также, аспирант разработал собственный алгоритм символьной регрессии, добился хороших результатов для управляющих функций и сравнил полученные результаты с другими методами.

Вопросы к диссертации не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования. Диссертационная работа соискателя Жавуш Карпар Сахиб Нассрулла «Алгоритм символьной регрессии для управления неголономными мобильными роботами на колёсах (Symbolic regression algorithm for control of non-holonomic wheeled mobile robots)» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, отвечает критериям раздела II Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого 22.01.2024 учёным советом РУДН (протокол заседания № УС-1), а автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Главный научный сотрудник, руководитель отдела
Федерального исследовательского центра
«Информатика и управление» РАН, заслуженный
деятель науки Российской Федерации

Доктор технических наук
(специальность 2.3.1),
профессор
Дивеев Асхат Ибрагимович

«11» декабря 2025 г.

