

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ В СРЕДЕ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Фи Ван Зунг

Научный руководитель - старший преподаватель Цымай Ю.В.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

m-walua@yandex.ru

Введение

При проектировании систем управления роботами-манипуляторами требуется обеспечить достижение целевой точки при соблюдении ограничений безопасности и наличии неопределенностей, связанных с динамикой препятствий. Классические детерминированные алгоритмы требуют точного описания модели и среды, тогда как нечеткие методы позволяют формировать управляющие воздействия по лингвистическим правилам и обеспечивать плавное поведение в неоднозначных ситуациях.

Основная часть

Объектом исследования является координатный робот-манипулятор, перемещающийся в прямоугольной рабочей зоне. Требуется обеспечить движение к цели при ограничениях на скорость и с минимизацией риска столкновения. Предложенная схема управления включает этап предварительного анализа среды и слой нечеткого регулятора, который корректирует команду движения при сближении с препятствием.

Пусть положение рабочего органа манипулятора определяется вектором обобщённых координат $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ а состояние окружающей среды характеризуется параметрами расстояния до препятствий и ошибкой позиционирования относительно целевой точки. Требуется разработать алгоритм управления, который на основе этих входных параметров формирует управляющее воздействие $u(t)$, обеспечивающее:

- минимизацию ошибки позиционирования;
- предотвращение столкновений с препятствиями;
- плавность и устойчивость траектории движения;
- адаптацию к неопределённости внешних условий.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать аппарат нечеткой логики, позволяющий формализовать экспертные правила управления и обеспечить гибкую реакцию системы на изменения среды. Необходимо разработать структуру нечеткого регулятора, определить функции принадлежности входных и выходных переменных, сформировать базу правил и исследовать эффективность предложенной модели методом компьютерного моделирования.

Нечеткий регулятор построен по методу Мамдани и включает этапы фаззификации, применения базы правил и дефаззификации методом центра тяжести. Входными лингвистическими переменными являются нормализованные \bar{D}_x и \bar{D}_y ; выходными — нормализованные составляющие командной скорости V_x и V_y . Минимальный набор меток включает: для D_x и D_y — {ОМ, РМ} (удаленное/близкое положение с учетом знака), для V_x и V_y — {О, Р} (отрицательная/положительная скорость). База нечетких правил содержит 18 правил вида «ЕСЛИ, ТО», что обеспечивает реакцию на основные конфигурации взаимного положения робота и препятствия. Таким образом, нечеткий регулятор является эффективным инструментом управления

робототехническими системами, функционирующими в сложных и динамических условиях.

Математическая модель включает описание кинематики манипулятора, параметры окружающей среды и алгоритм нечеткого управления. Состояние системы определяется вектором обобщённых координат $q(t)$, а управляющее воздействие формируется нечетким регулятором на основе входных переменных — ошибки положения, скорости её изменения и расстояния до препятствия. Модель реализована программно; проведены серии компьютерных экспериментов в среде с препятствиями с варьированием конфигурации и динамики препятствий. Для анализа качества управления использовались показатели времени достижения цели, минимальных расстояний до препятствий и числа потенциальных конфликтных ситуаций.

Выводы

Анализ временных зависимостей управляющих воздействий показывает адаптивный характер нечеткого регулятора. При приближении к препятствию система автоматически снижает скорость по “опасному” направлению и перераспределяет движение по второй координате, формируя обход. После выхода из зоны риска команды быстро возвращаются к режиму движения к цели. Эффективность оценивается по достижению целевой точки при соблюдении ограничения $d \geq d_{min}$ и по качественным характеристикам траектории: отсутствие столкновений, плавность изменения скорости и снижение времени обхода препятствия за счет включения четкого уровня в простых ситуациях.

Предложенная схема обеспечивает устойчивое движение к цели: при удаленном препятствии робот следует оптимальному направлению, а при приближении плавно перестраивает траекторию. Смешивание направления на цель и направления избегания позволяет избежать резких маневров и уменьшает риск попадания в локальные «тупики» по сравнению с использованием одного лишь нечеткого вывода.

Проведенное сравнение с традиционными подходами показало, что предложенная нечеткая модель управления обеспечивает более высокую адаптивность и устойчивость в изменяющейся среде, позволяя быстро реагировать на появление неожиданных препятствий и корректировать траекторию движения. Нечеткая система, учитывающая множество факторов (расстояние до препятствий, скорость, угол поворота), снижает риск столкновения и улучшает качество выполнения задачи, а также может быть интегрирована с современными методами (нейронные сети, генетические алгоритмы) для дальнейшего повышения характеристик.

Разработана и исследована модель нечеткого управления манипулятором в среде с подвижными препятствиями. Показано, что двухуровневая архитектура повышает быстродействие в простых сценариях и сохраняет адаптивность в сложных ситуациях. Перспективы развития включают расширение набора входных переменных (скорость препятствия, направление на цель), а также формальную оптимизацию базы правил и функций принадлежности.

Литература

1. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов; [отв. ред. И.М. Макаров]; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. — М.: Наука, 2006. — 333 с. — ISBN 5-02-033782-X.
2. Савченко Д.В., Резникова К.М., Смышляева А.А. Нечеткая логика и нечеткие информационные технологии // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2021. № 1. Режим доступа: <https://resources.today/PDF/10ECOR121.pdf>. DOI: 10.15862/10ECOR121.