

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



На правах рукописи

Ашрафджонзода Шамситабрази

**Исследование методов решения задач прямой и
обратной кинематики семиосевого
коллаборативного промышленного робота**

Направление подготовки

27.04.04 «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2025

Романовская
Инна Анатольевна

Проверено

14.06.2025 Зачтено Библиотека

**Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»**

Научный руководитель

Кандидат технических наук, доцент
кафедры «ЭПАПУ»
ФГБОУ ВО КнАГУ
Сухоруков Сергей Иванович

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
кафедры «ЭЭиЭ»
ФГБОУ ВО ДВГУПС
Малышева Ольга Александровна

Защита состоится «13» июня 2025 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Секретарь ГЭК



А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

История промышленной автоматизации характеризуется периодами быстрого изменения популярных методов. Либо как причина, либо, возможно, как следствие, такие периоды изменения в методах автоматизации, по-видимому, тесно связаны с мировой экономикой. Использование промышленного робота, который стал идентифицироваться как уникальное устройство в 1960-х годах, наряду с системами автоматизированного проектирования (САПР) и системами автоматизированного производства (САМ), характеризует последние тенденции в автоматизации производственного процесса. Эти технологии ведут промышленную автоматизацию через еще один переход, масштаб которого до сих пор неизвестен.

В современной производственной среде все чаще находят применение коллаборативные роботы, известные как коботы. В отличие от классических автоматизированных промышленных систем, они спроектированы для взаимодействия с людьми без использования защитных ограждений. Коботы берут на себя однообразные операции, тем самым увеличивая производительность труда и снижая физическое напряжение для персонала.

Хотя первые разработки коботов относятся к 90-м годам, широкое распространение они получили относительно недавно.

В противоположность традиционным автоматизированным системам, требующим трудоемкого программирования и наладки, коботы способны быстро перестраиваться под новые производственные задачи.

Коллаборативные роботы, часто называемые коботами (от англ. collaborative robots) - это роботы, разработанные для работы бок о бок с людьми в общем рабочем пространстве. Они отличаются от традиционных промышленных роботов, которые обычно изолированы от людей из соображений безопасности.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью разработки эффективных методов решения задач прямой и обратной кинематики для семиосевого коллаборативного промышленного робота KUKA LBR iiwa 7 R800. Это необходимо для обеспечения точного и эффективного управления роботом, что в свою очередь, влияет на производительность, качество и безопасность работы.

Объектом исследования является семиосевой коллаборативный робот KUKA LBR iiwa 7 R800.

Предметом исследования являются методы расчёта кинематических характеристик коллаборативного робота KUKA LBR iiwa 7 R800.

Целью данной работы является исследование методов решения задач прямой и обратной кинематики для семиосевого коллаборативного промышленного робота KUKA LBR iiwa 7 R800 и разработка программного обеспечения для расчета этих задач.

Для реализации поставленной цели требуется выполнить следующие этапы:

- Разработка кинематической модели робота: Формирование математического описания его структуры и возможных перемещений;
- Установление параметров Денавита -Хартенберга, характеризующих геометрию каждого элемента и способ их соединения;
- Построение матриц однородных преобразований: Определение матриц, описывающих трансформациям положения и ориентации между звеньями робота;
- Выбор программного обеспечения для разработки расчетных методов;
- Разработка алгоритмов для решения прямой и обратной кинематических задач;
- Моделирование и верификация разработанных алгоритмов.

Практическая значимость работы заключается в разработке программного обеспечения, которое может быть использовано для

управления роботом KUKA LBR iiwa 7 R800 в различных промышленных приложениях, а также для обучения специалистов в области робототехники. Результаты исследования также могут быть полезны для разработки новых алгоритмов управления и планирования траекторий движения роботов.

Данная работа представляет собой систематическое исследование методов решения задач прямой и обратной кинематики для семиосевого коллаборативного промышленного робота KUKA LBR iiwa 7 R800. В ходе исследования рассмотрены различные подходы к решению этих задач, проведен анализ их преимуществ и недостатков, а также разработаны и протестированы алгоритмы, обеспечивающие точное и эффективное управление роботом.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показаны этапы реализации поставленной цели, практическая значимость.

В первой главе осуществлён варианты решения прямой и обратной задачи кинематики роботов, анализированы и написаны преимущества и недостатки каждого метода.

Вторая глава посвящена описанию семиосевого коллаборативного промышленного робота KUKA LBR iiwa 7 R800. Изображена кинематическая модель робота, системы координат (мировая, базовая, инструмента) и параметры осей (диапазоны движений, скорости). Приведены основные характеристики робота, применение исследуемого робота в разных отраслях промышленности и науки.

В третьей главе выбран наилучший метод для решения прямой задачи кинематики робота. Далее построена модель на основе параметров Денавита – Хартенберга. Рассчитана матрица однородных преобразований для каждого звена. Получена итоговая матрица, связывающая углы суставов с позицией эффектора.

В четвёртой главе выбран подходящий метод для решения обратной задачи кинематики робота. Задача разделена на две части, сначала определена позиционная часть (суставы 1–3): геометрические соотношения, после этого ориентационная часть (суставы 4–7): метод Плекера.

Пятая глава посвящается верификацию алгоритмов для задачи кинематики. Расчёт произведен в двух программах MATLAB и Mathcad.

Для наглядности были приведены изображения модели робота в MATLAB и фотографии реального робота, соответствующие заданным углам поворота. Проведено сравнение визуальных данных модели робота с реальным роботом. Сравнение визуальных данных подтверждает, что модель адекватно отражает реальное поведение робота. Это особенно важно для практического применения, так как позволяет использовать математические модели для предсказания движений робота в реальных условиях.

В заключительной главе представлены основные выводы и результаты исследования, сделанные на основе проведенных методов и расчетов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В рамках данной работы был приведен анализ существующих работ в области решения задач прямой и обратной кинематики. Рассмотрены и проанализированы основные методы для решения ПЗК и ОЗК кинематики для различных роботов. Также для каждого метода описаны преимущества и недостатки.

На основе проведенного анализа выбраны методы для решения ПЗК и ОЗК для семиосевого коллаборативного промышленного робота KUKA LBR iiwa 7 R800.

Прямая задача кинематики (ПЗК) решена с использованием метода Денавита-Хартенберга, который позволил:

- Построить кинематическую модель робота, учитывающую геометрию всех звеньев.

- Определить параметры ДХ для каждого сочленения, включая длины звеньев и углы между ними.
- Сформировать матрицы однородного преобразования, описывающие взаимное положение звеньев.
- Получить итоговую матрицу преобразования, связывающую углы суставов с координатами конечного эффектора.

Обратная задача кинематики (ОЗК) решена комбинацией аналитических и численных методов:

- Для первых трёх суставов использованы геометрические соотношения и закон косинусов.
- Для ориентации запястья применён метод разделения кинематики (Pieper's Solution).
- Угол вращения эффектора (θ_7) определён через матрицы поворота.
- Для сложных случаев задействован итерационный метод Ньютона-Рафсона с контролем сингулярностей.

Алгоритм продемонстрировал высокую точность и устойчивость при моделировании в MATLAB и правильность расчёта в программе Mathcad, показали полное совпадение расчётов с реальными данными робота.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Ашрафджонзода, Ш. Обзор существующих работ в области решения задач прямой и обратной кинематики промышленных роботов / Ш. Ашрафджонзода, С. И. Сухоруков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 144-146. – EDN DCKLRX.

2 Ашрафджонзода, Ш. Аналитическое решение обратной задачи кинематики робота kuka Ibr iiwa 7 r800/ Ш. Ашрафджонзода, С. И. Сухоруков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VIII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 апреля 2025 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2025.

3 Ашрафджонзода, Ш. Прямая задача кинематики коллаборативного робота/ Ш. Ашрафджонзода, С. И. Сухоруков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VIII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 апреля 2025 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2025.