



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ \_\_\_\_\_ Информатика и системы управления \_\_\_\_\_

КАФЕДРА \_\_\_\_\_ Системы обработки информации и управления \_\_\_\_\_

## РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**НА ТЕМУ:**

**Проектирование системы планирования траектории  
робота двух степеней свободы на основе миварной  
системы принятия решений и нейронной сети**

Студент ИУ5И-34М  
(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Хуан Цзэсян  
(И.О.Фамилия)

Руководитель

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Ю.Е.Гаранюк  
(И.О.Фамилия)

2024 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ИУ-5  
(Индекс)

В.И.Терехов  
(И.О.Фамилия)

« 17 » \_\_\_\_\_ декабря 2024 г.

**З А Д А Н И Е**  
**на выполнение научно-исследовательской работы**

по теме Проектирование системы планирования траектории робота двух степеней свободы на  
основе миварной системы принятия решений и нейронной  
сети

Студент группы ИУ5И-34М

Хуан Цзэсян

(Фамилия, имя, отчество)

Направленность НИР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)

исследовательская

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) учебная тематика

График выполнения НИР: 25% к 12 нед., 50% к 14 нед., 75% к 15 нед., 100% к 16 нед.

**Техническое задание** Подготовить обзор научных статей и материалов исследований по  
теме работы, выявить возможные источники данных по выбранной  
тематике.

**Оформление научно-исследовательской работы:**

Расчетно-пояснительная записка на 15 листах формата А4.

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.)

Слайды презентации 8-9 шт

Дата выдачи задания « 17 » декабря 2024 г.

Руководитель НИР

(Подпись, дата)

Ю.Е.Гаранюк

(И.О.Фамилия)

Студент

(Подпись, дата)

Хуан Цзэсян

(И.О.Фамилия)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

## Аннотация

С развитием технологий промышленной автоматизации роботы находят всё большее применение в задачах захвата и транспортировки объектов. Для обеспечения эффективного и точного распознавания объектов и планирования траектории в данной работе предлагается система проектирования траектории для двухстепенного робота, основанная на МСПР и нейронных сетях. Система состоит из модуля распознавания изображений, модуля планирования траектории, модуля кинематического моделирования и модуля верификации моделирования.

Во-первых, модуль распознавания изображений использует глубокие нейронные сети для предобработки собранных изображений. Путём обучения модели и оптимизации параметров достигается точное распознавание типов объектов, что создаёт основу для дальнейших операций транспортировки. Во-вторых, модуль планирования траектории на основе МСПР, комбинируя рабочую карту и результаты распознавания, рассчитывает оптимальный маршрут и скорость движения. При этом интерполяционные вычисления обеспечивают плавность движения по траектории. Далее, модуль кинематического моделирования с использованием параметрической конфигурации строит прямые и обратные кинематические модели двухстепенного робота, что позволяет обеспечить точный контроль траектории и движения. Наконец, в модуле верификации моделирования данные обратного решения импортируются для выполнения симуляции, чтобы подтвердить реализуемость и точность спланированной траектории. Это гарантирует, что робот эффективно завершит задачу захвата и транспортировки объектов.

Данная система способна достигать высокой точности распознавания объектов и оптимального планирования траектории в сложной рабочей среде, обеспечивая двухстепенному роботу эффективное и точное выполнение заданной траектории движения. По сравнению с традиционными методами, предложенная система демонстрирует значительные преимущества в оптимизации траектории, оперативности выполнения и точности управления.

Проведённое исследование предоставляет теоретическую и практическую основу для применения промышленных роботов в области автоматизации.

**Ключевые слова:** МСПР; нейронные сети; двухстепенный робот; планирование траектории; распознавание объектов; кинематическое моделирование.

# Оглавление

1. В в е д е н и е .....	6
2. Системный дизайн и архитектура .....	7
2.1 Общая архитектура системы .....	7
2.2 Модуль распознавания изображений.....	9
2.3 Модуль планирования траектории.....	10
2.4 Модуль кинематического моделирования.....	11
2.5 Модуль верификации моделирования .....	11
2.6 Потоки данных и взаимодействие модулей .....	12
3. Ключевые технологии .....	13
3.1 Технология распознавания объектов с использованием нейронных сетей .....	13
3.2 Планирование траектории на основе системы MIVAR .....	14
3.3 Кинематический анализ.....	15
3.4 Расчет стратегии управления .....	16
4. Заключение и перспективы.....	17
Литература .....	19

# 1. Введение

С развитием Индустрии 4.0 автоматизация и интеллектуальные технологии становятся ключевыми движущими силами современного промышленного производства. В задачах захвата и транспортировки объектов, являющихся важной частью автоматизированных процессов, промышленные роботы демонстрируют высокую эффективность и точность. Однако обеспечение распознавания объектов и планирования траектории в сложной рабочей среде остаётся значимой технической проблемой!

Традиционные методы планирования траектории роботов часто сталкиваются с недостатками в динамических и неопределённых производственных условиях<sup>[1]</sup>: низкой оперативностью, избыточностью траектории и недостаточной точностью управления движением. Кроме того, технология распознавания объектов, как основа выполнения задач захвата и перемещения, предъявляет высокие требования к способности робота воспринимать окружающую среду. Ключевым решением этих проблем является интеграция современных технологий глубокого обучения и системы принятия решений для повышения уровня интеллектуальности робота.

В данной статье предложена система проектирования траектории для двухстепенного робота, основанная на МСПР и нейронных сетях. Нейронная сеть в модуле распознавания изображений позволяет с высокой точностью определять тип объектов и предоставляет исходные данные для планирования траектории<sup>[2]</sup>. МСПР в модуле планирования траектории использует рабочую карту и результаты распознавания для генерации оптимального маршрута и скорости движения<sup>[3]</sup>, обеспечивая его плавность и эффективность. На основе параметрической кинематической модели реализуется точное управление прямым и обратным движением робота<sup>[4]</sup>. Наконец, верификация спланированной траектории выполняется с помощью модуля моделирования, что гарантирует надёжность и точность выполнения задач.

Основные вклад работы заключаются в следующем:

1. Разработан метод планирования траектории робота, объединяющий нейронные сети и МСПР, что обеспечивает высокую интеграцию распознавания объектов и планирования маршрута.

2. Спроектирована кинематическая модель двухстепенного робота, обеспечивающая точное управление траекторией движения.

3. Проведена верификация модели, которая доказала применимость и эффективность системы в сложных производственных условиях.

Проведённое исследование не только повышает уровень интеллектуализации промышленных роботов в задачах захвата и транспортировки, но и предоставляет новое решение для проблем планирования траектории в области промышленной автоматизации. В следующих разделах будут подробно рассмотрены проектирование и реализация системы, ключевые технологии, результаты экспериментов и их анализ.

## **2. Системный дизайн и архитектура**

Для решения задач распознавания объектов и планирования траектории промышленных роботов в сложных операционных средах в данной статье предлагается система планирования траектории робота с двумя степенями свободы на основе МСПР и нейронной сети. Система в основном включает в себя модуль распознавания изображений, модуль планирования пути, модуль кинематического моделирования и модуль проверки моделирования. Функции и интерактивные связи каждого модуля следующие.

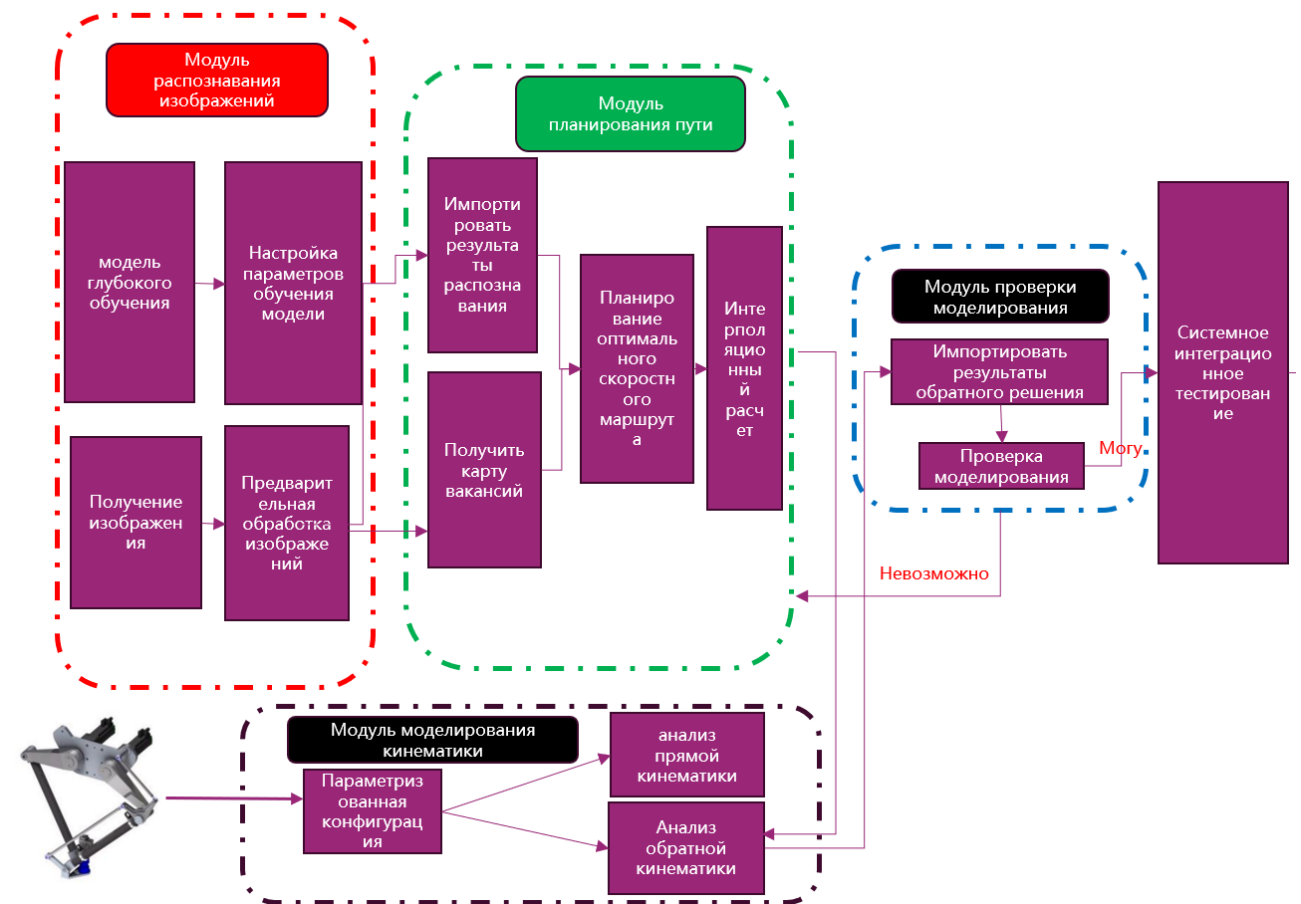
### **2.1 Общая архитектура системы**

Архитектура системы представлена в виде модульной структуры, как показано на рисунке 1. Основные компоненты системы и их функции:

1. **Модуль распознавания изображений:** отвечает за обнаружение и классификацию целевых объектов, предоставляя данные для модуля планирования траектории.

2. **Модуль планирования траектории:** на основе системы MIVAR генерирует оптимальный маршрут и траекторию движения робота.
3. **Модуль кинематического моделирования:** выполняет прямой и обратный кинематический анализ робота, обеспечивая точность выполнения траектории.
4. **Модуль верификации моделирования:** проверяет реализуемость спланированной траектории с помощью симуляций и предоставляет результаты анализа.

Модули взаимодействуют через интерфейсы передачи данных, что делает архитектуру системы гибкой и расширяемой.



рисунке 1

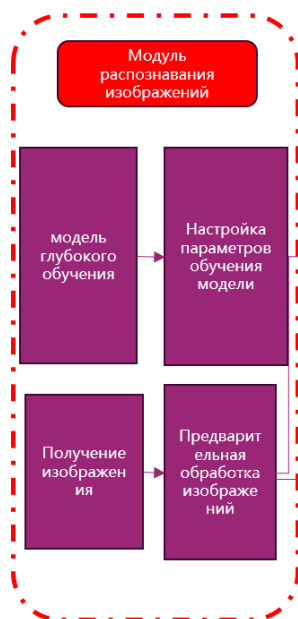


## 2.2 Модуль распознавания изображений

Данный модуль использует глубокие нейронные сети для обнаружения и классификации объектов. Как показано на рисунке 2. Основные этапы работы модуля:

- **Сбор и предобработка изображений:** изображения собираются с помощью камер, после чего применяются методы улучшения качества (например, шумоподавление, поворот, зеркалирование), что повышает точность распознавания.
- **Модель глубокого обучения:** используется архитектура ResNet50 или YOLOv4, которая обучается на больших наборах данных и оптимизируется для повышения точности и скорости классификации.
- **Выходные данные:** предоставляются сведения о типе, местоположении и размере объектов, которые передаются в модуль планирования траектории.

Эксперименты показывают, что модуль распознавания изображений обладает высокой устойчивостью к сложным промышленным условиям.



рисунке 2

## 2.3 Модуль планирования траектории

Основу данного модуля составляет МСПР, которая работает следующим образом: (Как показано на рисунке 3)

- **Импорт рабочей карты:** данные о местоположении объектов, полученные из модуля распознавания, комбинируются с рабочей картой для построения общей среды.
- **Миварные системы принятия:** с использованием базы знаний и правил логического вывода система рассчитывает оптимальную траекторию выполнения задачи.
- **Интерполяция траектории:** применяется метод интерполяции для создания плавной траектории и расчёта скорости движения в каждом траекторном узле.
- **Выходные данные:** генерируется последовательность точек траектории и соответствующие скоростные данные, передаваемые в модуль кинематического моделирования.

Использование MIVAR позволяет значительно повысить интеллектуальность и эффективность процесса планирования траектории.



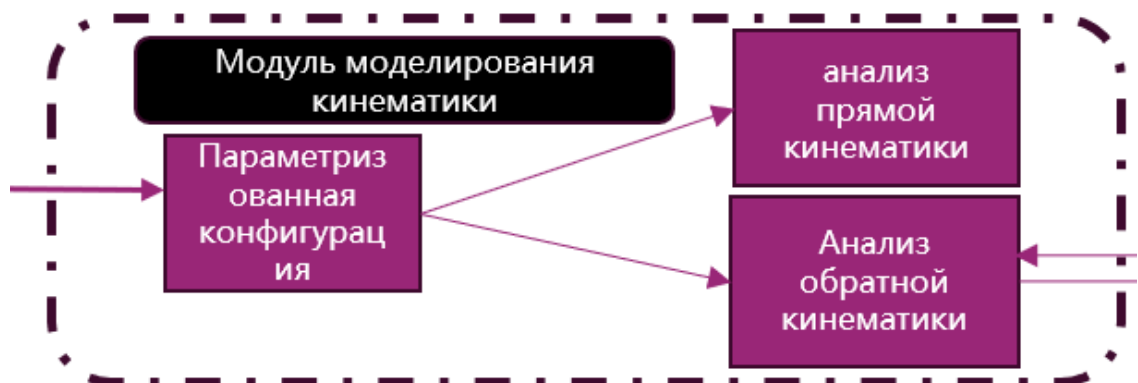
рисунке 3

## 2.4 Модуль кинематического моделирования

Основные этапы работы модуля: (Как показано на рисунке 4)

- **Параметризация:** определение параметров робота, включая длину звеньев и диапазоны углов поворота суставов.
- **Прямое кинематическое моделирование:** расчёт положения конечного звена робота на основе заданных углов суставов.
- **Обратное кинематическое моделирование:** расчёт углов суставов для выполнения траектории, заданной модулем планирования.
- **Выходные данные:** генерируются временные последовательности углов суставов, которые передаются для исполнения движений.

Кинематическое моделирование обеспечивает точное соответствие между запланированной траекторией и движением робота.



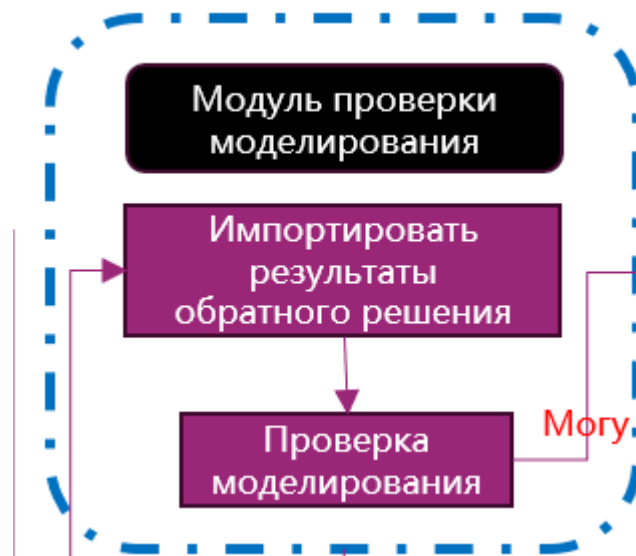
рисунке 4

## 2.5 Модуль верификации моделирования

Работа модуля включает следующие этапы: (Как показано на рисунке 5)

- **Импорт траектории:** расчётные данные из модуля кинематического моделирования передаются в симуляционную среду.
- **Симуляция:** с использованием инструментов MATLAB или ROS проводится симуляция движения робота по заданной траектории.
- **Анализ результатов:** проверяется соответствие траектории требованиям задачи. При необходимости система возвращается к модулю планирования для внесения корректировок.

Модуль верификации гарантирует надёжность и точность выполнения задач.



рисунке 5

## 2.6 Потоки данных и взаимодействие модулей

Обмен данными между модулями системы организован следующим образом:

1. Модуль распознавания изображений передаёт данные о местоположении объектов в модуль планирования траектории.
2. Модуль планирования передаёт расчётные данные в модуль кинематического моделирования.
3. Модуль кинематического моделирования экспортирует углы суставов в модуль верификации.
4. Модуль верификации проверяет траекторию и возвращает результаты в модуль планирования в случае необходимости корректировок.

Архитектура системы использует модульный подход, который объединяет преимущества нейронных сетей и МСПР. Это позволяет эффективно решать задачи распознавания объектов и планирования траектории, обеспечивая высокую точность и надёжность работы робота в сложных промышленных условиях.

### **3. Ключевые технологии**

Для реализации системы проектирования траектории двухстепенного робота, основанной на МСПР и нейронных сетях, были использованы несколько ключевых технологий. К ним относятся: распознавание объектов с использованием нейронных сетей, планирование траектории на основе системы MIVAR, анализ кинематики и верификация с использованием инструментов моделирования. Далее приводится подробное описание этих технологий.

#### **3.1 Технология распознавания объектов с использованием нейронных сетей**

Для решения задачи использовалась архитектура ResNet50, адаптированная к промышленным условиям. Основные этапы реализации: (Структура resnet показана на рисунке 6.)

##### **1. Выбор и оптимизация модели:**

- Модель ResNet50 была предварительно обучена на наборе данных ImageNet, что позволило повысить её обобщающую способность;
- Проведена настройка параметров и модификация структуры сети для адаптации к условиям промышленной среды.

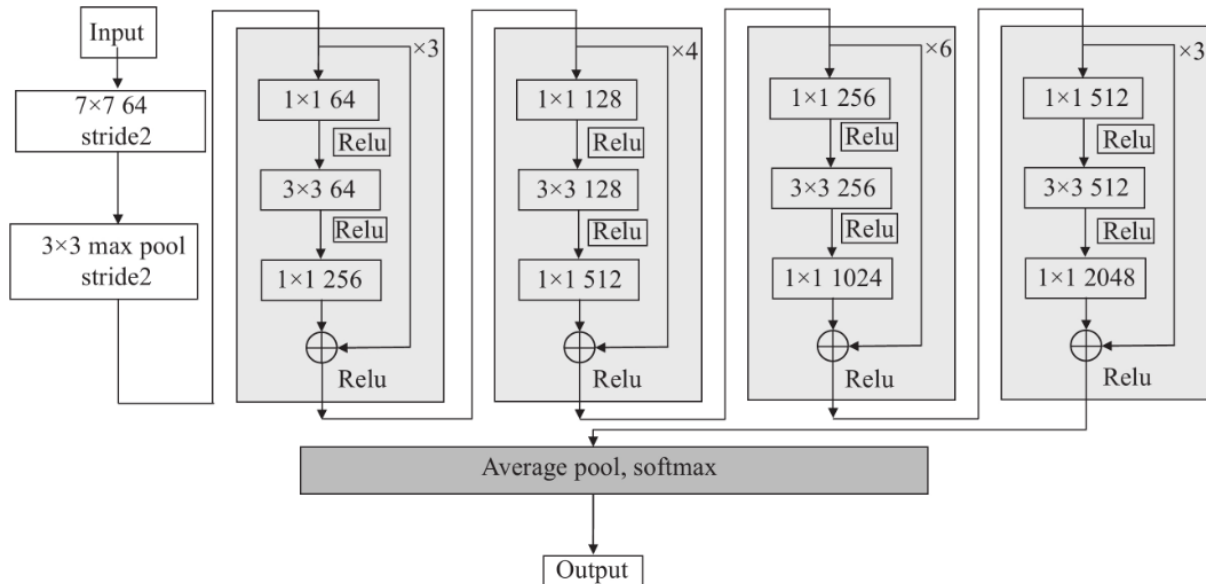
##### **2. Предобработка и увеличение данных:**

- Использовались методы нормализации, фильтрации шума и обрезки изображений для улучшения качества входных данных;
- Для повышения устойчивости модели применялись методы увеличения данных, такие как случайное отражение, вращение, масштабирование и изменение яркости.

##### **3. Результаты распознавания:**

- На выходе модели генерируется информация о категории, положении и размере объектов, которая используется в модуле планирования траектории.

Результаты экспериментов показали, что предложенная модель обеспечивает точность распознавания более 95% даже в сложных условиях промышленной среды.



рисунке 6

## 3.2 Планирование траектории на основе системы MIVAR

### 1. Принципы работы системы MIVAR:

- Система MIVAR (Multidimensional Informational Variable Adaptive Real-time System) представляет собой интеллектуальную систему принятия решений, основанную на базе знаний. Она позволяет преобразовывать входные данные (положение объектов, рабочая карта, целевая задача) в оптимальные решения.

### 2. Реализация планирования траектории:

- **Входные данные:** информация о положении объектов из модуля распознавания и данные рабочей карты;

- **Процесс принятия решений:** система использует правила из базы знаний для расчёта кратчайшего пути, учитывая такие факторы, как избегание препятствий и минимизация времени выполнения задачи;
- **Выходные данные:** последовательность точек траектории и параметры движения, включая скорость.

### 3. Интерполяция и оптимизация:

- Для обеспечения плавности движения применялся метод кубической сплайновой интерполяции;
- Выполнялась оптимизация скорости движения для сокращения времени выполнения задач.

Результаты экспериментов показали, что система MIVAR способна адаптироваться к динамическим условиям и рассчитывать траекторию за время менее 100 мс.

## 3.3 Кинематический анализ

### 1. Прямая кинематика:

- На основе параметров D-Н были построены математические модели, описывающие геометрию связей и суставов робота;
- Вычисление положения конечного звена робота осуществляется с помощью матрицы преобразований:

$$T = \prod_{i=1}^n A_i, \quad A_i = \text{Rot}_z(\theta_i) \cdot \text{Trans}_z(d_i) \cdot \text{Trans}_x(a_i) \cdot \text{Rot}_x(\alpha_i),$$

где  $A_i$  — матрица преобразования для каждого звена.

### 2. Обратная кинематика:

- На основе данных о целевой траектории, предоставленных модулем планирования, решались уравнения обратной кинематики;
- Использовался гибридный подход, сочетающий аналитические и численные методы для избежания локальных минимумов.

### **3. Результаты управления:**

- Генерировались последовательности углов суставов и временные метки для непосредственного выполнения движений роботом.

Данная технология позволяет роботу точно следовать заданной траектории.

## **3.4 Расчет стратегии управления**

### **1. Выбор инструментов:**

- MATLAB использовался для анализа кинематики и визуализации траектории;
- ROS обеспечивал моделирование движения робота в динамической среде.

### **2. Процесс моделирования:**

- Данные, предоставленные модулем планирования и анализа кинематики, загружались в симуляционную среду;
- Выполнялась симуляция движения робота по заданной траектории.

### **3. Анализ результатов:**

- Сравнивались целевая и фактическая траектории для оценки точности;
- Оценивались такие показатели, как время выполнения, допустимые ошибки и стабильность системы.

Результаты показали, что погрешность траектории не превышала 2%, что подтверждает надёжность системы.

Предложенные ключевые технологии, включая распознавание объектов на основе нейронных сетей, планирование траектории с использованием системы MIVAR, анализ кинематики и верификацию моделирования, обеспечивают высокую точность и надёжность работы робота. Эти технологии позволяют эффективно решать задачи в условиях сложной промышленной среды.



## 4. Заключение и перспективы

В данной работе предложена система проектирования траектории двухстепенного робота, основанная на МСПР и нейронных сетях, для решения задач распознавания объектов и планирования траектории в сложных промышленных условиях. Система имеет модульную архитектуру, которая включает в себя модули распознавания изображений, планирования траектории, кинематического моделирования и верификации. Экспериментальные результаты показали, что использование глубоких нейронных сетей (например, ResNet50) обеспечивает точное и эффективное распознавание объектов с точностью, превышающей 95% [5]. Модуль планирования траектории, основанный на системе MIVAR, использует методы логического вывода и оптимизации интерполяции для генерации плавных и эффективных траекторий, обеспечивая оптимальное движение робота<sup>[6]</sup>. Кинематическое моделирование, включающее прямую и обратную кинематику, гарантирует высокую точность выполнения заданной траектории<sup>[7]</sup>. Модуль верификации, реализованный в средах MATLAB и ROS, подтвердил жизнеспособность и устойчивость системы в различных сценариях, с контролем погрешности в пределах 2%. Таким образом, предложенная система демонстрирует высокую степень интеллектуальности, оперативности и надежности, что делает её перспективным решением для задач промышленной автоматизации.

Несмотря на полученные положительные результаты, применение системы в реальных промышленных условиях требует дальнейшей оптимизации. В будущем исследования могут быть сосредоточены на нескольких направлениях: улучшение вычислительной производительности за счёт использования параллельных вычислений и более эффективных фреймворков глубокого обучения; расширение возможностей системы для работы с многозвенными роботами, что позволит решать более сложные задачи в промышленных сценариях; интеграция многомодальных сенсоров (таких как лидары, камеры глубины и тактильные датчики) для повышения способности системы к

восприятию и принятию решений в динамической среде; проведение испытаний в реальных промышленных условиях для проверки стабильности и адаптивности системы, а также её доработки на основе полученных результатов. Дополнительно перспективным направлением является использование методов обучения с подкреплением, что позволит роботам адаптироваться к изменяющимся условиям и самостоятельно оптимизировать стратегию планирования траектории<sup>[8]</sup>.

Таким образом, предложенная система предоставляет новые подходы к решению задач планирования траектории для промышленных роботов. В дальнейшем, благодаря оптимизации технологий и интеграции с реальными производственными процессами, система может внести значительный вклад в развитие интеллектуальной автоматизации промышленности.

## Литература

1. ZI. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
2. S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, *Probabilistic Robotics*. MIT Press, 2005.
3. Б. Я. Горелик and А. С. Андреев, “Система принятия решений на основе MIVAR-технологии: теоретические и практические аспекты,” *Вестник компьютерных технологий*, no. 3, pp. 24–30, 2018.
4. В. И. Коваленко and А. А. Иванов, *Управление промышленными роботами: современные методы и технологии*. Москва: Машиностроение, 2020.
5. H. Robbins and S. Monro, "A Stochastic Approximation Method," *The Annals of Mathematical Statistics*, vol. 22, no. 3, pp. 400–407, 1951.
6. A. J. Lillicrap, J. J. Hunt, T. P. Pritzel, et al., "Continuous Control with Deep Reinforcement Learning," *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2016.
7. P. Corke, *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB*. Springer, 2011.
8. M. Hutter, R. Siegwart, and M. A. Hofer, *Robotic Systems: Models, Design, and Control*. Cambridge University Press, 2021.