

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Гданского Николая Ивановича
на диссертацию Белова Никиты Вадимовича
на тему «Методы и алгоритмы сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором с использованием компьютерного зрения», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Актуальность темы исследования обусловлена активной цифровизацией промышленного производства в Российской Федерации, где внедрение робототехнических комплексов является ключевым фактором повышения эффективности. Одной из важнейших задач при этом является автоматизация вспомогательных операций, таких как сортировка и перемещение деталей, находящихся в произвольном положении. Существующие решения часто требуют использования сложной оснастки или ручного труда, что снижает гибкость производственных систем и увеличивает затраты. Предложенное в диссертации решение, направленное на создание интеллектуальной системы сортировки на основе компьютерного зрения и дистанционного управления, призвано устранить этот пробел.

Содержание работы по главам. Диссертационная работа Белова Н.В. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

Во введении представлен анализ проблем автоматизации производственных процессов, связанных с необходимостью сортировки произвольно расположенных деталей, и современного состояния решаемой научной задачи. Обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы, определен круг решаемых задач, обозначены общие подходы к достижению поставленной цели, а также приведены основные результаты, выносимые на защиту, показана их роль и сформулирована научная новизна.

В главе 1 проведен анализ проблем автоматизации процессов сортировки и управления промышленными манипуляторами. Исследованы современные системы адаптивного и интеллектуального управления, а также методы распознавания объектов в промышленной робототехнике. Обоснована необходимость разработки специализированных архитектур систем управления для решения задач сортировки произвольно расположенных объектов. На основе проведенного анализа сформулированы ключевые требования к системе управления промышленным роботом, включающие необходимость потоковой передачи данных, классификации объектов, определения их пространственных координат и работы в сложных производственных сценах.

В главе 2 разработана архитектура подсистемы дистанционного управления на базе протокола TCP/IP и языка Python, использующая программный пакет C3 Bridge Interface для организации двусторонней связи с контроллером KUKA. Разработан алгоритм программы управления на языке KRL, обеспечивающий выбор систем координат, инструментов, траекторий движения и управление захватными устройствами. Экспериментально подтверждена эффективность предложенного решения, обеспечивающего интеграцию с системами компьютерного зрения и поддержку адаптивного управления в реальном времени.

В третьей главе разработан комплексный метод автоматизированного захвата произвольно расположенных объектов, интегрирующий нейросетевую сегментацию на основе архитектуры YOLOv8, двухэтапный алгоритм определения пространственных координат с использованием RGB-D сенсора и специализированное магнитное захватное устройство с демпфирующей системой. Предложенные решения обеспечивают существенное повышение точности позиционирования и надежности захвата за счет компенсации погрешностей измерений и адаптации к сложным производственным

условиям, включая работу с частично перекрытыми объектами и объектами вблизи стенок накопителя.

В главе 4 проведено экспериментальное исследование разработанных методов и алгоритмов сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором. Проведено тестирование предложенного способа автоматического формирования обучающего набора данных и дообучения нейронной сети YOLOv8, показавшее возможность сокращения времени сборки датасета с 5 дней до 80 минут при сохранении качества распознавания. Проведено комплексное тестирование алгоритмов определения пространственных координат объектов, показавшее точность позиционирования $\pm 0,7$ мм по осям X,Y и $\pm 2,61^\circ$ по углам ориентации. Разработаны практические рекомендации по выбору скорости движения манипулятора (50% от максимальной) и конфигурации захватного устройства, обеспечивающие надежный захват объектов без смещения. Экспериментально подтверждено соответствие разработанного решения требованиям промышленной эксплуатации.

Заключение и выводы по главам отражают результаты диссертационного исследования и дальнейшие перспективы исследований в данном направлении.

Список литературы включает 127 источников.

В шести приложениях представлены: копии актов о внедрении результатов исследований в учебный процесс МТУСИ, документы о внедрении разработок в научно-производственную деятельность ООО "Геларм", сведения о государственной регистрации программ для ЭВМ, материалы патента на полезную модель "Пневматический магнитный захват работа манипулятора", результаты экспериментальных исследований.

В целом диссертация написана хорошим литературным языком и достаточно полно проиллюстрирована.

Достоверность и новизна результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается их экспериментальной проверкой в лабораторных условиях с использованием промышленного манипулятора KUKA KR4 R600 и RGB-D камеры Intel RealSense. Корректность разработанных решений подтверждена практическим внедрением в учебный процесс МТУСИ и производственную деятельность ООО "Геларм".

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана модульная архитектура системы управления манипулятором для сортировки, интегрирующая подсистему дистанционного управления с двусторонней связью и подсистему компьютерного 3D-зрения на основе нейросетевых алгоритмов, оптимизированных для сегментации ферромагнитных деталей.
2. Предложен метод классификации и захвата произвольно расположенных деталей, обеспечивающий повышенную стабильность операций, в том числе для объектов у стенок накопителя.
3. Создан алгоритм определения пространственных координат и ориентации объекта на основе интеграции нейросетевого метода и облака точек с использованием итеративного подхода и алгоритма ICP, что позволило повысить точность.
4. Разработана конструкция пневматического магнитного захвата с подпружиненным демпфером, компенсирующая погрешности позиционирования по вертикальной оси.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. В диссертационной работе использовались методы теории проектирования робототехнических систем, теории автоматического управления, математической статистики и математического анализа, методы планирования эксперимента, а также современные методы интеллектуального анализа данных, включая компьютерное зрение и нейросетевые технологии.

Исследование основано на анализе современных отечественных и зарубежных разработок в области промышленной робототехники, компьютерного зрения и систем управления. Экспериментальная часть работы выполнена с использованием

промышленного оборудования KUKA и измерительных приборов, соответствующих требованиям метрологической точности.

Применение современных методов объектно-ориентированного программирования, императивного и функционального программирования обеспечило практическую реализацию разработанных алгоритмов. Соответствие результатов исследования критериям достоверности подтверждено их апробацией на международных конференциях и внедрением в промышленную практику.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 научных работах, в том числе 2 – в изданиях из перечня ВАК, и 4 – в изданиях, индексируемых в Scopus. Зарегистрированы 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на полезную модель. Таким образом, можно заключить, что основные результаты и выводы диссертации строго обоснованы, являются новыми и получены автором самостоятельно.

Замечания по работе.

Несмотря на несомненные достоинства работы, можно отметить следующие вопросы, требующие дополнительного внимания и, возможно, дальнейшего исследования:

1. В диссертации недостаточно подробно описаны конкретные способы практической реализации предложенных алгоритмов определения пространственных координат объектов в условиях промышленной эксплуатации.

2. В работе не полностью раскрыты вопросы применения предложенной архитектуры дистанционного управления. Необходимо более подробно рассмотреть, как разработанное решение может быть адаптировано для работы с промышленными манипуляторами других производителей.

3. В диссертации не полностью учтены вопросы, связанные с интеграцией разработанной системы в существующие технологические процессы. Необходимо пояснить, как предложенное решение может быть адаптировано к различным производственным условиям и требованиям промышленной безопасности.

Отмеченные замечания не снижают научной ценности проведённого лично автором исследования и содержания основных положений, выносимых на защиту.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.

Автореферат достаточно полно и адекватно отражает основные результаты диссертации.

Соответствие диссертации требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Считаю, что диссертация Белова Н.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, имеющая теоретическое и практическое значение для робототехники и автоматизации производственных процессов. Полученные результаты обладают актуальностью, научной новизной и практической ценностью. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.5.4. «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

Содержание диссертации соответствует отрасли наук, по которой присуждается учёная степень, - «технические науки».

Заключение по работе. Диссертационная работа Н.В. Белова на тему «Методы и алгоритмы сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором с использованием компьютерного зрения» соответствует критериям, установленным в пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (с изменениями), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Гданский Николай Иванович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Росбиотех», кафедра «Автоматизированные системы управления
биотехнологическими процессами», профессор
05.02.13 Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)
Телефон: 8-985-957-59-47, e-mail: al-kpp@mail.ru

Гданский Н.И.

Число, месяц, год 26.11.2025

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, дом 11, +7 (499) 750-01-11, mgupp@mgupp.ru.

Подпись Гданского Николая Ивановича
заверю:
Ученый секретарь




М.В. Новикова