

УДК 62.529

Автоматическое определение положения и ориентации деталей с помощью 3D зрения

Плотицин Михаил Павлович

m.plotitsin@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема автоматизации захвата деталей на производственных и складских предприятиях России в условиях наличия множества схожих объектов. Обоснована необходимость разработки специализированного программного обеспечения для обработки данных 3D-камер, определяющего пространственное положение и ориентацию объектов с последующим планированием траектории для робота-манипулятора. Сделан вывод о высокой востребованности продукта на растущем рынке автоматизированных систем управления технологическими процессами. Разработана методология создания программного обеспечения для автоматизации захвата деталей роботами-манипуляторами. Представлен поэтапный подход к реализации проекта.

Ключевые слова: автоматизация, программное обеспечение, машинное зрение, робот, манипулятор, роботизация, производство

Automated detection of position and orientation of parts using 3D vision

Plotitsin Mikhail Pavlovich

m.plotitsin@mail.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The article addresses the problem of automating the grasping of parts in Russian industrial and warehouse enterprises under conditions involving multiple similar objects. The necessity of developing specialized software for processing 3D camera data is substantiated. This software is designed to determine the spatial position and orientation of objects and subsequently plan the trajectory for a robotic manipulator. A conclusion is drawn about the high demand for such a product in the growing market of automated process control systems (APCS). A methodology for creating software to automate the grasping of parts by robotic manipulators is developed, and a phased approach to project implementation is presented.

Keywords: automation, software, machine vision, robot, manipulator, robotization, production

Введение. Современные промышленные предприятия сталкиваются России с растущей необходимостью автоматизации технологических процессов для повышения эффективности, сокращения издержек и обеспечения конкурентоспособности. По данным совместного исследования компаний «Ультиматек», Positive Technologies и Aquarius, рынок автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) в России в 2024 году

вырос почти на 50 % и составил 124,1 млрд и, по данным аналитиков «Ультиматек», среднегодовой темп роста российского рынка АСУ ТП составит 27 %, а к 2027 г. рынок достигнет 218,3 млрд руб. [1]. Одной из важных задач в этой области является автоматическое извлечение объектов из контейнера для дальнейшего их перемещения на конвейер, в рабочую зону станка или на стеллажи с помощью роботов-манипуляторов. К потенциальным отраслям, где может использоваться данная технология, относятся автомобилестроение, тяжелая промышленность, логистика и торговля.

Несмотря на наличие зарубежных решений, таких как Pick-it 3D, Cognex, Zivid, их доступность для российских предприятий критически ограничена ввиду высокой стоимости и санкционных политик. Отечественный рынок испытывает острую нехватку программных комплексов, способных интегрироваться с промышленным оборудованием и решать поставленную задачу [2].

Данная работа направлена на описание методологии и этапов разработки программного обеспечения, призванного заполнить этот пробел. Цель проекта — создание гибкого, аппаратно-независимого программного обеспечения (ПО) для обработки данных 3D-камер, планирования траектории и интеграции с роботами-манипуляторами.

Материалы и методы. Реализация проекта запланирована в три последовательных этапа, что позволит минимизировать риски и поэтапно оценивать результаты [3].

Этап 1: Разработка и тестирование прототипа

На первом этапе будет создан базовый прототип системы. Для снижения затрат на начальной стадии будет использована малобюджетная платформа: одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 и 3D-камера Arducam Time-of-Flight. Прототип будет представлять из себя систему, состоящую из полигона и программного обеспечения [4].

В качестве полигона будет создан физический стенд, включающий 3D-камеру, установленную над емкостью с целевыми объектами — кубиками, напечатанными на 3D-принтере. На этом этапе кубики будут располагаться обособленно друг от друга в одной плоскости для упрощения задачи. Программное обеспечение будет выполнять следующие функции:

Обработка облака точек: будет проводиться получение и первичная фильтрация данных с камеры для удаления шумов и выбросов.

Сегментация рабочей зоны: алгоритмы будут выделять область контейнера и игнорировать фоновые объекты.

Сегментация объектов и определение их центра масс.

Результатом работы прототипа будут координаты X , Y для каждого кубика.

Этап 2: Внедрение машинного обучения и работа со сложными сценами

Второй этап направлен на решение основной задачи — работы с хаотично наваленными деталями. На данном этапе будет дополнен физический стенд 4-осевым роботом-манипулятором для тестирования и отладки системы, а также доработано ПО: для распознавания объектов и определения их

точной ориентации будет обучена нейронная сеть. Для ее обучения будет создана база данных сложных сцен, в которых кубики будут навалены друг на друга, что будет приближено к производственным условиям. Разработанное ПО будет передавать манипулятору не только координаты цели, но и ее ориентацию, что необходимо для построения точной траектории захвата.

Этап 3: Промышленная валидация и поиск партнера

Финальный этап предполагает переход от лабораторного прототипа к промышленно применимому решению. Он будет состоять из следующих пунктов:

Поиск предприятия, заинтересованного во внедрении технологии и готового предоставить тестовый полигон и финансовую поддержку для закупки дорогостоящего и производительного оборудования, с помощью которого система сможет повысить свою эффективность в вычислениях.

Адаптация под реальные условия: ПО будет дорабатываться для работы с реальными деталями и объектами в условиях производственного цеха.

Результаты. Результатом первого этапа будет рабочий прототип системы на базе Raspberry Pi 4, способный в реальном времени определять координаты центров изолированных объектов в зоне видимости камеры с точностью не менее 5 мм. Будет разработаны алгоритмы для фильтрации и сегментации облака точек, полученных 3D-камерой.

Результатом второго этапа будет обученная модель, определяющая пространственное положение и ориентацию объектов в сложной сцене, а также проведенные тесты с интегрированным в стенд роботом-манипулятором.

Результатом заключительного третьего этапа разработки будет готовое для работы в реальных производственных условиях система.

Обсуждение. Предложенный поэтапный подход является ключевым фактором, обеспечивающим управляемость и практическую реализуемость проекта. Его основное преимущество заключается в том, что он позволяет концентрировать ресурсы и усилия на решении одной конкретной задачи на каждом витке разработки, что значительно повышает шансы на успех каждого отдельного этапа и проекта в целом. А также последовательное развитие помогает отрабатывать архитектуру ПО и постепенно переходить к более сложным задачам, например, обучению нейронной сети [5].

Заключение. В статье представлен план разработки программного обеспечения для решения актуальной задачи роботизированного захвата деталей из навала. Актуальность проекта обусловлена импортозамещающим характером разработки и значительным рыночным спросом со стороны российских промышленных предприятий.

Поэтапная реализация от прототипа на малобюджетном оборудовании до промышленного решения с привлечением индустриального партнера представляется наиболее рациональным и реализуемым подходом. Успешная реализация проекта позволит создать конкурентоспособный отечественный продукт, способный обеспечить технологический суверенитет предприятий в области критически важной для автоматизации производства технологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Исследование рынка АСУ ТП в России*. URL: www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/issledovanie-rynka-asu-tp-v-rossii/#id1 (дата обращения 23.04.2025).
- [2] Дуров В.С., Петров И.А. Алгоритмы сегментации и анализа трехмерных сцен для задач робототехники. *Инженерный вестник*, 2023, № 5, с. 34–45.
- [3] Иванов А.А., Сидоров П.В. Методы обработки данных с датчиков глубины (Time-of-Flight) для задач робототехники. *Датчики и системы*, 2022, № 8, с. 22–29.
- [4] *3D ML. Часть 1: формы представления 3D-данных*. URL: <https://habr.com/ru/companies/itmai/articles/503358/> (дата обращения 13.08.2025).
- [5] *Искусственный интеллект в производственной сфере*. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_производственной_сфере (дата обращения 14.08.2025).