

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

В.А. Ложкин

*В статье рассматриваются способы применения систем компьютерного зрения в промышленной робототехнике, в частности – в манипуляторах. Осуществлен сравнительный анализ и обзор технологий. Предложены технологии компоновочных решений в аспекте применения компьютерного зрения. Сформированы базовые подходы и принципы анализа технологий.*

*Ключевые слова: манипулятор, промышленный робот, компьютерное зрение, датчик, сенсор, распознавание.*

Механический манипулятор – устройство, предназначенное для перемещения в пространстве различных предметов (манипулирования ими). Работает на принципах механики.

Если рассматривать строение манипулятора и принцип его работы, то он представляет из себя некий пространственный механизм в виде кинематических цепей, состоящий из звеньев, которые образуют кинематические пары с угловым или поступательным движением приводов. Сами приводы разделены для каждой степени подвижности. Манипулятор заканчивается неким рабочим органом.

Манипуляторы могут иметь различное количество звеньев – от двух до десяти и более. Это позволяет им выполнять задачи любой сложности. Именно от конструкции манипулятора зависит радиус действия его рабочего органа, рабочая зона механизма и, соответственно, область его применения.

Большинство промышленных манипуляторов имеют от четырёх до шести осей. Самыми распространёнными являются последние, так как диапазон их движений аналогичен руке человека. Такая конфигурация обеспечивает должную гибкость, необходимую для автоматизации многих процессов в промышленности [1].

Промышленный робот – связка *манипулятор и устройство управления*, используемая на производстве. Возможность программировать и автоматизировать работу позволяет использовать в различных промышленных областях – сварка, покраска, сборка, упаковка и многое другое.

Согласно ГОСТ 25686-85[2]:

Манипулятор – управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащённое рабочим органом.

Промышленный робот – автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и программируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляемых функций.

**Технологии анализа данных.** По данным Международной федерации робототехники (IFR – International Federation of Robotics), в 2022 году во всем мире эксплуатировалось около 3 903 633 промышленных роботов. На сегодняшний день одними из крупнейших производителей промышленных роботов являются следующие компании:

*ABB (Швеция, Швейцария)*

Один из мировых лидеров в области промышленной роботизации. Роботы ABB могут применяться для паллетирования и депаллетирования, фармацевтического производства, позиционирования и перемещения, сборки и разборки, упаковки и расклад-

ки, дуговой и точечной сварки, нанесения красок, лаков, клеев, защитных покрытий, механической обработки материалов (полирование, фрезерование, шлифование) [3].

#### *KUKA (Германия)*

Компания является одним из ведущих производителей промышленных роботов. Модельный ряд роботов КУКА во многом схож с тем, что выпускают другие производители: это консольные роботы, сварочные роботы, роботы-паллетоукладчики, коллаборативные роботы и другие.

Клиентами KUKA по всему миру являются представители как автомобильной, так и практически всех других отраслей промышленности. KUKA предлагает широкий спектр продуктов и услуг из одних рук: от отдельных компонентов до автоматизированных промышленных решений [4].

#### *FANUC (Япония)*

Основными направлениями деятельности компании FANUC являются промышленные роботы, лазерное оборудование и станки ЧПУ. Широкое применение в точечной и дуговой сварке, покраске, паллетировании и депаллетизации, шлифовании и фрезеровании и многом другом. Основные типы роботов FANUC включают шарнирные антропоморфные роботы, дельта-роботы, сварочные роботы, роботы для паллетизации, покрасочные роботы, порталные роботы, коллаборативные роботы [5].

#### *Yaskawa (Япония, США)*

В настоящее время компания YASKAWA Electric Corporation является одним из ведущих мировых производителей оборудования в области робототехники, промышленной автоматизации и приводной техники. На сегодняшний день компания производит 40000 роботов MOTOMAN ежегодно, а всего в мире сегодня работает 400 000 промышленных роботов YASKAWA.

Компания выпускает роботов для точечной и дуговой сварки, сборки, резки, распределения, обслуживания станков, перемещения и съема материалов, упаковки, окраски, паллетирования и другой деятельности [6].

Традиционно, применение манипуляторов происходит либо в тех областях, где работа человека опасна или невозможна, либо для замены человеческого при повышении производительности и точности.

Существует несколько типов промышленных роботов, различающихся между собой конструктивными решениями и, как следствие, способами работы:

#### *Шарнирно-сочленённый робот*

Шарнирные роботы, за счёт применения вращающихся шарниров, по своему строению и функционированию напоминают человеческую руку. Роботы-манипуляторы состоят из вращательных кинематических пар и имеют в среднем 4-6 управляемых осей. Такая конструкция промышленных роботов-манипуляторов позволяет им выполнять движения практически с неограниченной траекторией.

#### *Линейный робот*

Промышленный робот с тремя осями управления, которые являются линейными и расположены перпендикулярно друг к другу. Данное механическое устройство упрощает программирование. Он обладает высокой надежностью и точностью при работе в трехмерном пространстве за счёт простоты конструкции.

#### *SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm)*

Шарнирно-сочленённый робот-манипулятор с селективным соответствием, чья конструкция основана на системе рычагов (два рычага, соединённых в одном месте, и два отдельных привода, первый вращает два рычага относительно друг друга, а второй установлен в основании первого рычага и вращает его относительно рабочей плоскости). Данное решение позволяет быть роботам SCARA одними из самых быстрых и устойчивых, а их подходит для операций, которые включают в себя перемещение детали по трем осям X-Y-Z и вращение по оси Z.

#### *Дельта-робот*

Тип параллельного робота, что состоит из трёх рычагов, соединённых шарни-

рами к основанию (имеется более одной кинематической цепи от основания к исполнительному механизму, одна вращательная и три поступательных степени свободы). Главная особенность такой конструкции – использование параллелограммов, что даёт возможность сохранения пространственной ориентации исполнительного устройства робота (точное позиционирование по осям X, Y, Z).

Дельта роботы широко применяются для конвейерной упаковки благодаря скорости работы.

**Компьютерное зрение.** Несмотря на различную конструкцию манипуляторов, с каждым можно применять сенсоры и системы компьютерного зрения.

Компьютерное зрение – междисциплинарная область, которая занимается изучением вопроса анализа визуальных данных с целью последующего принятия решений на их основе. Визуальные данные могут иметь форму единичных изображений, последовательностей изображений (видео), изображений с одной или нескольких камер, трёхмерных данных.

Общая схема анализа изображений с помощью компьютерного зрения:

- Цифровое изображение *считывается* одним или несколькими датчиками изображения (это могут быть камеры, датчики расстояния, радары, ультразвуковые камеры и прочее). Получаемые данные могут быть обычным 2D изображением, 3D изображением или последовательность изображений.

- *Предварительная обработка* необходима для удовлетворения некоторых условий, зависящих от используемого метода.

К ней можно отнести повторную выборку, удаление шума, улучшение контрастности, масштабирование.

- *Детектирование* или *Сегментация* для определения важнейших точек или участков в целях дальнейшей обработки (выделения набора интересующих точек, сегментация участков с необходимым объектом).

- *Высокоуровневая обработка* выделенных ранее участков данных (точек или участков), в которых предположительно находится определяемый объект (проверка удовлетворённости условиям (зависят от метода применения)), оценка характерных параметров (положение, размер объекта и т.п.), классификация обнаруженного объекта по различным признакам.

Простейший способ обработки изображений не предусматривает работу нейронных сетей, но применение *библиотек* (совокупность уже написанных подпрограмм или объектов, используемых для разработки программного обеспечения). В этом случае методы обработки не выходят за рамки общей схемы.

Для решения более сложных задач компьютерного зрения необходимы более сложные методы. Для этого необходим большой объём данных с целью их последующего анализа и обучения. Для этого применяются 2 основные технологии: *глубокое обучение* (Deep learning) и *свёрточная нейронная сеть* (CNN – Convolutional Neural Network).

*Глубокое обучение* использует алгоритмические модели, которые позволяют компьютеру обучаться контексту визуальных данных. Если через модель передаётся достаточно данных, компьютер из обрабатывает и обучается отличать изображения друг от друга. Алгоритмы позволяют машине самостоятельно обучаться.

*Свёрточная нейронная сеть* помогает модели глубокого обучения «видеть», разбивая изображения на пиксели, каждому из которых присваивается тег или метка. Существует колоссальное совпадение применяемых методов данными областями, отчего чётко разграничить и обособить их практически невозможно. Поэтому можно утверждать об интерпретации одной и той же области обработки визуальной информации, но под разными наименованиями, в зависимости от применения. К таким областям относится *машинное зрение* – узконаправленная область компьютерного зрения, применяемая для обеспечения автоматизации контроля производства, управления роботами и промышленными процессами, основываясь на изображениях. Автономные

роботы, системы измерений и контроля – всё это результат работы получаемых с датчиков данных, обрабатываемых автоматической системой для более эффективной реализации аппаратного и программного обеспечения. В этой области входящие данные – изображения и видео, выходящие же – алгоритмы и применяемые решения.

Компьютерное зрение широко применяется в промышленности совместно с роботами, в нашем случае – с манипуляторами. С середины 1990-х годов применяются адаптивных промышленных роботы, оснащённых сенсорными устройствами.

По мере усложнения задач, решаемых робототехническими системами, соответственно увеличивается и количество сенсорных систем. При этом отдельные сенсорные системы могут использоваться как для решения не связанных друг с другом автономных задач, так и объединяться в комплексы для решения общих задач. Последний вариант является наиболее сложным алгоритмически, поскольку требует системного подхода к совместному функционированию нескольких сенсорных систем. Простейшие примеры такого комплексирования – это дополнение системы технического зрения каким-либо дальномером для получения с требуемой точностью информации о дальности или совместное использование получаемой информации о положении рабочего органа манипулятора об усилии, с которым он воздействует на объекты внешней среды. Последнее необходимо при выполнении технологических операций, требующих позиционно-силового управления манипулятором (шлифовка поверхности и т.п.).

Конструктивно сенсорные устройства размещают на рабочих органах манипуляторов, на корпусе робота или вне робота.

**Выводы.** Применение систем компьютерного зрения позволяет решать многие нерешаемые до этого задачи, либо повышать точность решения и производительность уже решённых.

К примеру, применение тактильных датчиков не всегда оправдано или оптимально – часть существующих датчиков слишком громоздки, чтобы их можно было использовать без ущерба для гибкости системы. Другая причина заключается в том, что они слишком дороги, медленны, хрупки, чувствительны к температуре или сложны в производстве. Им также может не хватать эластичности, механической гибкости или прочности. Следовательно, необходимо иметь альтернативный или дополнительный подход к обнаружению для надежного обнаружения ошибок при захвате объекта, коим и является применение систем компьютерного зрения [7].

Они могут предоставить более точную информацию, чем другие датчики роботов. Таким образом, оценка манипуляционного действия может быть опосредована надлежащим распознаванием как захватываемого устройства, так и удерживаемого объекта. Выше уже рассматривались основные подходы к распознаванию различных захватов и объектов, поэтому останавливаться на этой теме не будем.

### Список литературы

1. Robots Done Right – What is a Robotic Manipulator? [Электронный ресурс]. URL: <https://robotsdoneright.com/Articles/what-is-a-robotic-manipulator.html> (дата обращения: 08.11.2023).
2. ГОСТ 25686-85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1985.
3. Robomatic.ru – ABB (Швеция, Швейцария). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.robomatic.ru/robots/abb-shveciya-shveyariya> (дата обращения: 07.11.2023).
4. Robomatic.ru – KUKA. [Электронный ресурс]. URL: <https://robomatic.ru/robots/kuka-germaniya> (дата обращения: 08.11.2023).
5. Robomatic.ru – Промышленные роботы FANUC. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.robomatic.ru/robots/promyshlennye-roboty-fanuc> (дата обращения: 09.11.2023).
6. Robomatic.ru – Motoman. [Электронный ресурс]. URL:

<https://robomatic.ru/robots/motoman-yaskawayaponiya-ssha> (дата обращения: 10.11.2023).

7. PubMed. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6480289> (дата обращения: 07.11.2023).

8. Жиленков А.А. Исследование возможностей механических захватных устройств / А. А. Жиленков, Т. А. Писарев, П. Е. Царева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 7. С. 271-278. DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-271-272. EDN EGTJLF.

9. Черный С.Г. Профилактическое обслуживание судовых механизмов с помощью технологии машинного обучения / С. Г. Черный, А. А. Зинченко, П. А. Ерофеев // Морской вестник. 2023. № 2(86). С. 46-48. EDN DKBWER.

*Лошкин Владислав Александрович, студент, [vlad@lozhkin.su](mailto:vlad@lozhkin.su), Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Государственный морской технический университет,*

## APPLICATION OF COMPUTER VISION SYSTEMS WITH INDUSTRIAL ROBOTS

*V.A. Lozhkin*

*The article discusses ways to use computer vision systems in industrial robotics, in particular in manipulators. A comparative analysis and review of technologies was carried out. Technologies for layout solutions in the aspect of using computer vision are proposed. Basic approaches and principles of technology analysis have been formed.*

*Key words: manipulator, industrial robot, computer vision, sensor, sensor, recognition.*

*Lozhkin Vladislav Alexandrovich, student, [vlad@lozhkin.su](mailto:vlad@lozhkin.su), Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State marine technical university*

УДК 629.7.02

DOI: 10.24412/2071-6168-2024-1-347-348

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ТИПА CUBESAT

Д.В. Антипов, В.А. Звягинцев, М.А. Михеев, В.И. Панин, А.А. Ткаченко

*В данной статье рассмотрены варианты схем сборки малых космических аппаратов, определены основные принципы, преимущества и недостатки каждого варианта.*

*Ключевые слова: сборочное производство, технологическая схема сборки, организация технологических процессов, роботизированная сборка малые космические аппараты (МКА).*

На сегодняшний день производство малых космических аппарата нано класса (МКА НК) с учётом динамично меняющейся целевой нагрузки и используемой элементной базы является крайне актуальной. Также весьма актуальными являются сроки производства прототипов, проведение на них всех необходимых испытаний и исследований с последующим допуском к установке МКА НК на РН, его вывод на орбиту и выполнение целевой задачи.