Научная статья
Original article
УДК 007.52

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА И ЧЕЛОВЕКА

APPLICATION OF A VISION SYSTEM IN THE TASK OF AUTOMATING ASSEMBLY PROCESSES WHEN A ROBOT MANIPULATOR AND A HUMAN WORK TOGETHER

Павлов Владислав Викторович, магистр, Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва, pavlovvv@student.bmstu.ru .
Орлов Сергей Александрович, магистр, Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва, orlovsa@student.bmstu.ru.

Pavlov Vladislav Victorovich, Master, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, pavlovvv@student.bmstu.ru.
Orlov Sergey Aleksandrovich, Master, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, orlovsa@student.bmstu.ru.

Аннотация. В настоящее время происходит встраивание отечественного строения летательных аппаратов в глобальную рыночную систему. С учётом меньших объёмов производства достичь успешного конкурирования с зарубежными компаниями возможно исключительно за счёт снижения

себестоимости продукции. Внедрение коллаборативной робототехники при выполнении сборочных операций способно снизить себестоимость продукции, при этом повысив качество и производительность сборочных процессов.

В отличие от роботов, не работающих совместно с людьми, к коллаборативным роботам предъявляют критические требования по безопасности: поскольку взаимодействие человека и робота обычно происходит в плохо структурированной и динамичной среде, сосуществование человека и кобота в общем пространстве образует опасные ситуации, которые требуют соответствующих механизмов для обеспечения безопасности людей и роботов.

Система технического зрения (СТЗ) позволит обеспечить безопасность как для человека, так и для робота при их совместной работе, что особенно важно при операциях сборки, где человеку и роботу необходимо работать вместе[5]. В соответствии со стандартом ISO/TS 15066, механизмы обеспечения безопасности разделяют на 4 типа: контролируемая остановка с рейтингом безопасности, ручное управление, контроль скорости и разделения зон, ограничение мощности и момента[2]. За основу создания СТЗ для обеспечения безопасности кобота и человека предлагается взять методы контроля скорости и ограничения зон.

С помощью СТЗ могут быть решены и другие задачи, необходимые для сборки летательных аппаратов, стоящие перед коботом. Разработка алгоритмов определения точек обработки коллаборативным роботом на основе СТЗ позволит использовать динамическое определение маршрута обработки при распределении задач между роботом и человеком в зависимости от возможностей кобота по достижению той или иной зоны обработки, а также от взаимного расположения кобота и человека в каждый момент времени, благодаря чему человек и робот смогут работать совместно.

Abstract. Currently, the domestic structure of aircraft design is being integrated into the global market system. Considering the smaller production volumes, it is possible to achieve successful competition with foreign companies only by reducing the cost of production. In turn, the introduction of collaborative robotics in assembly operations can reduce the cost of production, while improving the quality and productivity of assembly processes.

In contrast to robots that do not work together with humans, collaborative robots have crucial safety requirements: since human-robot interaction usually occurs in a poorly structured and dynamic environment, the coexistence of human and cobot in a common space forms dangerous situation that require appropriate mechanisms to ensure the safety of both humans and robots.

The technical vision system (TVS) will ensure safety for both humans and robots when they work together, which is especially important in assembly operations. In accordance with the ISO/TS 15066 standard, safety mechanisms are divided into 4 types: controlled stop with a safety rating, manual control, speed control and zone separation, power and torque limitation. It is proposed to take the methods of speed control and zone limitation.

With the help of the TVS other tasks necessary for the assembly of aircraft facing by the cobot can also be solved. The development of algorithms for determining processing points by a collaborative robot based on TVS will allow the use of dynamic determination of the processing route in the distribution of tasks between the robot and the person, depending on the capabilities of the cobot to reach a particular processing zone, as well as on the relative position of the cobot and the person at each time, so that the person and the robot can work together.

Ключевые слова: Система технического зрения, контроль скорости и разделение зон, ArUco-маркеры, автоматизация сборочных процессов, blob-объекты.

Keywords: A vision system, speed, and separation monitoring, ArUco-markers, automation of assembly processes, blob-object.

Введение

На сегодняшний день используется порядка 720 типов операций для сборки фюзеляжа вертолета и, в основном, делается это руками человека. Такая работа является рутинной для человеческого организма и зачастую может привести к некачественной сборке. Поэтому предлагается разработать систему, которая позволит роботу-манипулятору взять часть работы по сборке на себя.

Для этого необходимо:

- Разработать СТЗ, которая будет отслеживать проникновение несанкционированных объектов, обрабатывать их локализацию, а также будет способна обеспечить их безопасность при совместной работе с роботом-манипулятором.
- Разработать алгоритм определения последовательности обработки зон на основе СТЗ, который позволит роботу-манипулятору обрабатывать детали быстрым и эффективным способом.
- Разработать способ взаимодействия упомянутых выше систем.

При этом система должна удовлетворять стандарту безопасного взаимодействия между человеком и коботом, а также необходимыми стандартами по сборке.

Рассматриваемая система рассчитана на практическое применение в автоматизации сборочных процессов, так как это позволит снизить время, затрачиваемое на сборку объекта, и позволит выполнить работу с большей точностью.

1.Обзор выбранных типов сотрудничества человека и кобота

Обеспечение безопасности является одним из наиболее важных требований для коботов. Гарантия безопасности заключается в том, чтобы избежать любого вмешательства между роботом и человеком, препятствием или другим движущимся объектом. Потенциальное столкновение должно быть количественно оценено, чтобы его можно было использовать для управления системами коботов в реальном времени. Рассмотрим выбранные нами варианты взаимодействия робота и человек.

1.1 Контроль скорости и разделение зон (КСРЗ)

При контроле и разделение скоростей (КСРЗ) расстояние и скорость человека по отношению к коботу определяют направление и скорость движения кобота. Общее рабочее пространство разделено на основе уровней безопасности, а уровни безопасности определяются расстоянием между коботом и человеком. Кобот работает на полной скорости, если в зеленой зоне нет человека, кобот работает на пониженной скорости, когда к роботу приближается человек (в желтой зоне), и кобот останавливается, когда человек достигает красной зоны[1].

КСРЗ защищает людей, поддерживая безопасное расстояние. Чтобы добиться компромисса с производительностью, можно определить многоуровневые скорости или ограничения расстояния для плавного изменения скорости движения[3]. Метод КСРЗ представлен на Рисунке 1.

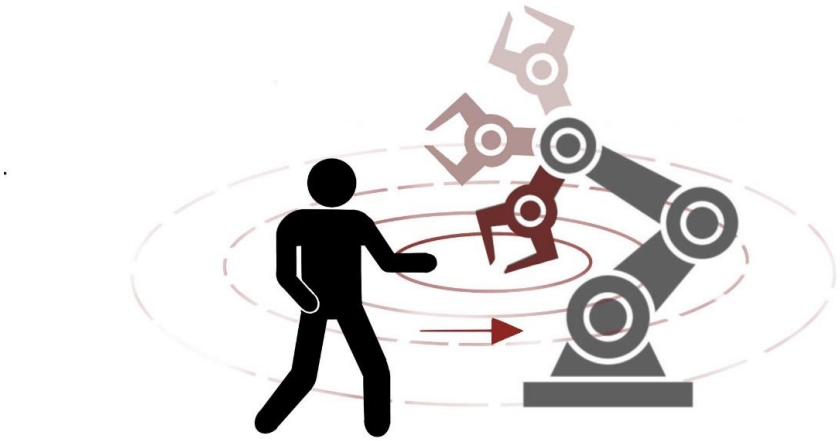


Рисунок 1. Метод контроля скорости и разделения зон(КСРЗ)

Однако, данный алгоритм имеет недостатки в виду формирования статичных скоростных зон ведь, сам робот при обработке не всегда полноценно будет занимать выделенную ему зону. Такое решение может привести к застою процесса сборки, что в свою очередь приведет к задержке всего конвейера. Поэтому, алгоритм предлагается улучшить и, вместо использования статичных зон, формировать зоны динамически.

2.Способ определения точек для сверления и клепки

Чаще всего операцию сверления осуществляют на станке. Но при использовании робота с закреплённым рабочим инструментом , который перемещается над поверхностью обрабатываемой детали и высверливает отверстия в нужных местах ,процесс сверления пройдет намного быстрее. Преимущество данного процесса проявляется в тех случаях, когда приходится работать с крупногабаритными и массивными деталями или проделывать большое число отверстий.

Операции сверления играют значительную роль в промышленном производстве. В деталях необходимо проделывать сотни, а то и тысячи

отверстий под заклепки. Сложность заключалась в том, как добиться, чтобы робот, оснащенный высокоскоростной сверлильной головкой, проделывал отверстия точно в заданных местах. Одним из вариантов решения данной проблемы является применение СТЗ с алгоритмами обнаружения и обработки[4]. Эта система рассчитывает точные координаты остальных отверстий, исходя из этих базовых точек. Завершив операцию сверления, робот удаляет оставшиеся в отверстиях крошечные частицы металла сдувая их.

После сверления требуемых отверстий робот меняет инструмент и приступает к зенковке, а затем к клепке. Для данных операций ему не надо будет заново определить точное положение того или иного отверстия, так как у него останутся координаты ранее проделанных им отверстий.

3. Представление алгоритма обнаружения и взаимодействия с несанкционированным объектом при помощи СТЗ .

Алгоритм работы СТЗ при обнаружении и при дальнейшем взаимодействии с несанкционированном объектом состоит из 3 основных этапов:

1) Обнаружение объекта в поле границ рабочей зоны робота.
2) Локализация объекта относительно робота .
3) Проработка возможных вариантов действий роботом.

1) Обнаружение рабочего в поле границ рабочей зоны

Для распознавания объекта как человека внутри рабочей зоны робота предлагает использовать спецодежду рабочего, а именно каску белого цвета. Такая каска при виде сверху будет выдавать белую окружность (Рисунок 2).



Рисунок 2. Индивидуальная защита работника производства.

В компьютерном зрении есть методы обнаружение blob-объектов. Они нацелены на обнаружение областей в цифровом изображение , которое отличается по свойствам, таким как яркость, цвет или форма от окружающих областей. Неформально, blob (капля) — это область изображения, в которой некоторые свойства постоянны или приблизительно постоянны; все точки в большом двоичном объекте можно в некотором смысле считать похожими друг на друга.

2) Формирование динамических скоростных зон

Формирование динамических скоростных зон будет происходить на основе найденных ArUco-маркеров[6], расположенных на разных частях робота-манипулятора(Рисунок 3). Такое решение позволит ускорить процесс обработки, так как зоны, при которых робот работает на пониженной скорости или вовсе останавливается, будут формироваться от текущего положения робота и в среднем будут меньше зон, сформированных статическим образом.

Однако, необходимо уметь обрабатывать случаи, когда ни один маркер, расположенный на роботе, не будет обнаружен. Таким образом, процесс формирования скоростных зон делится на 2 случая: когда найден хотя бы один маркер и когда ни один маркер не был найден.

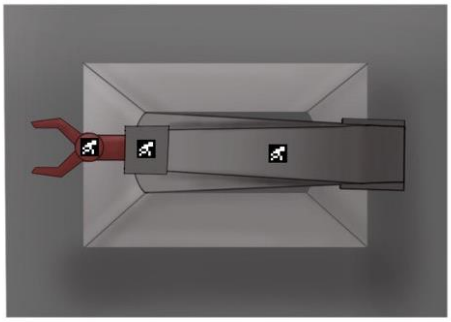
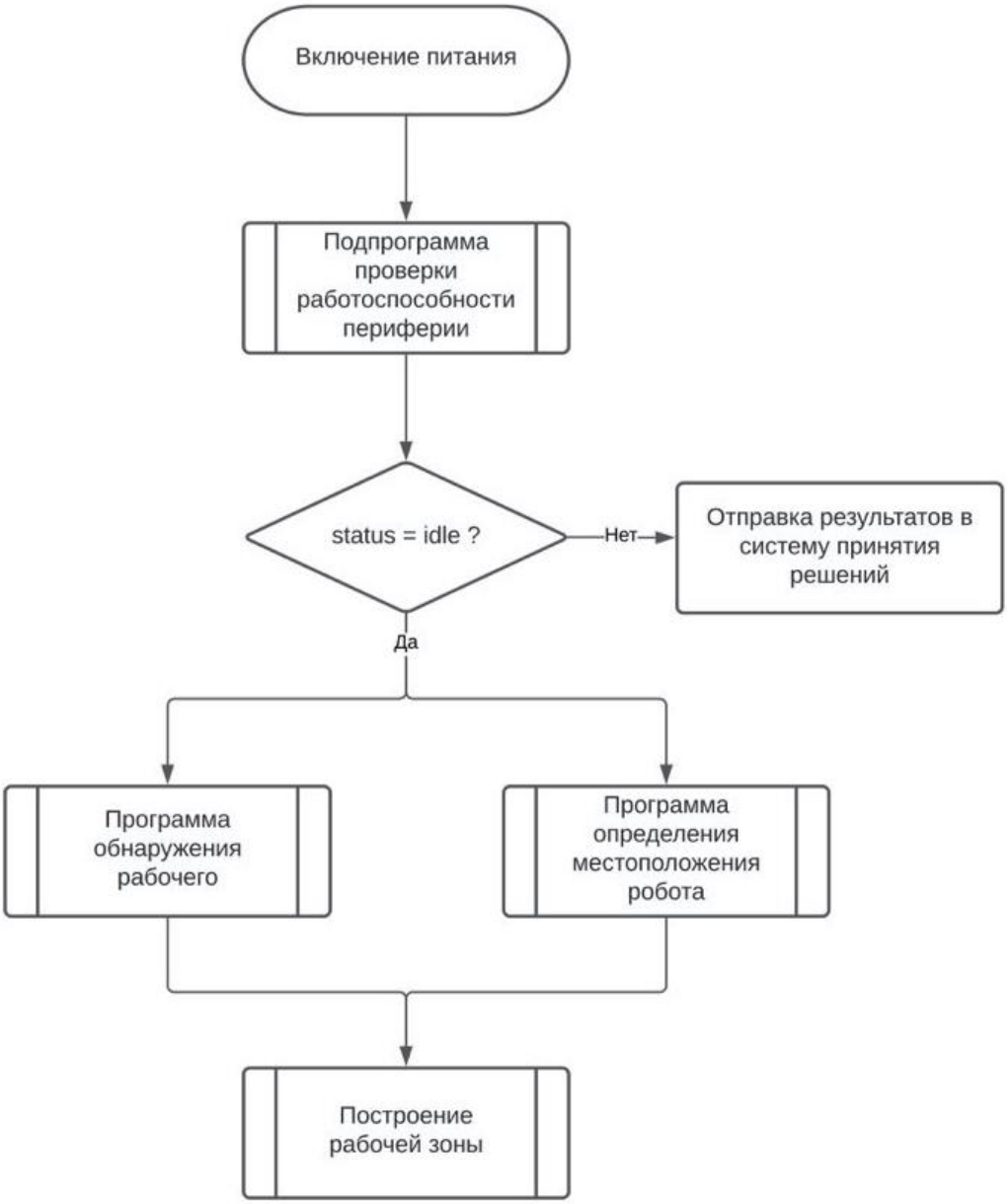


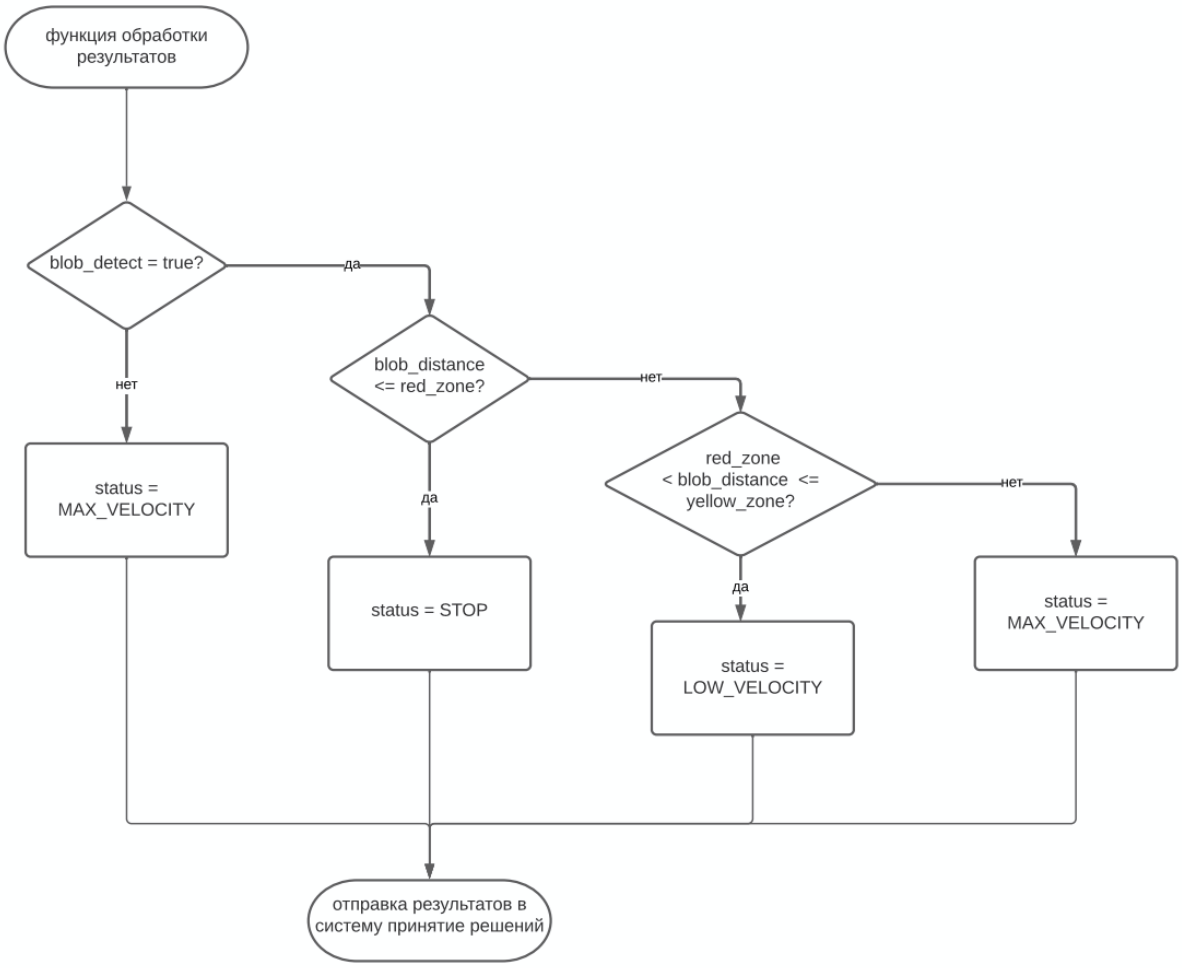
Рисунок 3. Расположение ArUco-маркеров на разных частях манипулятора.

3) Проработка возможных вариантов действий роботом

На основе собранных данных роботу предоставляется выборка возможных вариантов ограничений собственного движения. Такие варианты будут изначально закладываться в робота. Алгоритм работы можно увидеть на блок схеме №1 и №2.


Включение питания
Подпрограмма проверки работоспособности периферии
status = idle ?
Нет
Отправка результатов в систему принятия решений
Да
Программа обнаружения рабочего
Программа определения местоположения робота
Построение рабочей зоны

Блок схема №1.



Блок схема №2.

4. Представление алгоритма работы СТЗ при обработке зон

Перед описанием алгоритма необходимо пояснить, какой информацией будет обладать робот на момент начала обработки:

- Роботу дается деталь, которая будет делиться на несколько подобластей. Картография таких подобластей будет храниться в памяти робота.
- Робот, заходя в определенную подобласть, будет находить опорную точку. Обнаружив такую точку, будет возможно рассчитать:
    a. Путь обработки, который необходимо будет пройти роботу
    b. Текущее расстояние ближайших опорных точек других подобластей.

- Роботу с определенной частотой приходит информация о местоположении близлежащих к нему объектов.

Обработка точек в соответствии с алгоритмом будет происходить следующим образом. Робот-манипулятор заходит в подобласть, так как опорная точка будет выделена соответствующим образом, система технического зрения считает ее и подстроит положение робота таким образом, чтобы тот смог начать поэтапное прохождение по всем точкам обработки.

- Имея информацию об объекте, что находится в рабочей зоне манипулятора, робот может выполнять следующие действия:
- Объект находится на значительном расстоянии от робота, робот при этом обрабатывает точки по заданному маршруту и не предпринимает никаких действий.
- Объект находится на расстоянии X от робота, робот уменьшает скорость движения своих сочленений.
- Объект находится на расстоянии X от робота, робот ищет точку от текущей, которая позволит ему продолжить обработку с определенной скоростью не мешая человеку.
- Объект находится на расстоянии X от робота, робот переходит в другую подзону, настраивает все необходимое, начинает новую обработку. Как только появится возможность, робот перейдет в прошлую подзону и выполнит обработку оставшихся точек
- Объект находится на расстоянии X от робота при этом манипулятор не может куда-либо сместиться, робот встает на паузу.

Разделение участков и алгоритм обнаружения и обработки точек можно рассмотреть на Рисунке 4 и Блок схеме №3.

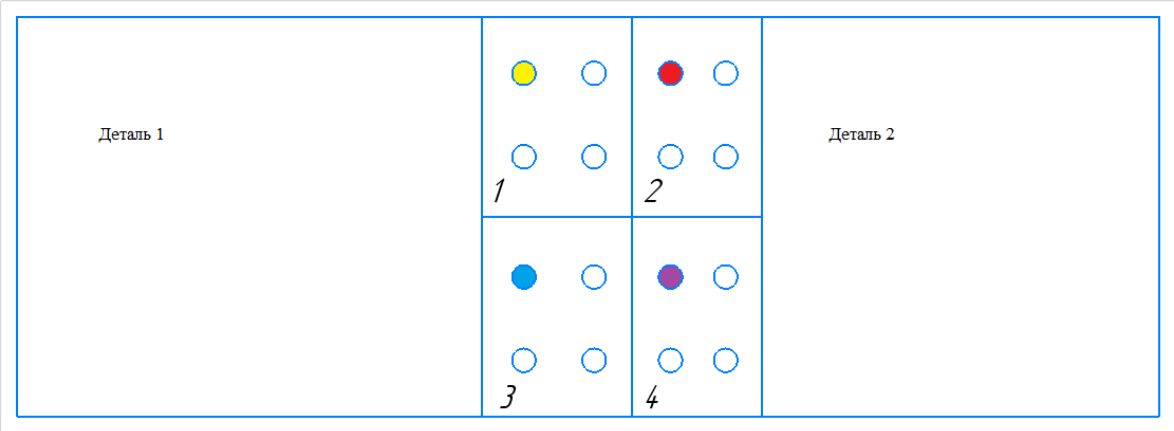
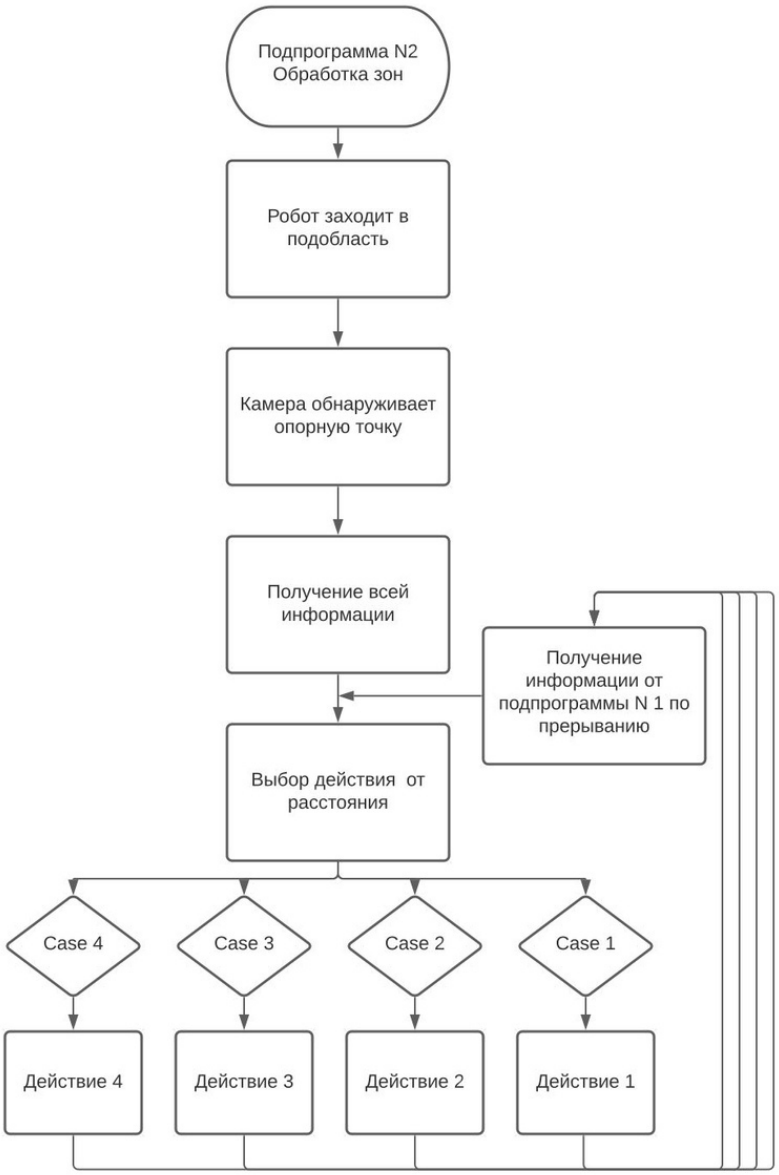


Рисунок 4. Схема разделения участка обработки на подобласти.


Подпрограмма N2
Обработка зон
Робот заходит в подобласть
Камера обнаруживает опорную точку
Получение всей информации
Получение информации от подпрограммы N 1 по прерыванию
Выбор действия от расстояния
Case 4
Case 3
Case 2
Case 1
Действие 4
Действие 3
Действие 2
Действие 1

Блок схема №3.

Заключение

В работе предложена концепция построения систем технического зрения для коллаборативного робота, позволяющего ему взять часть работы по сборке фюзеляжей летательных аппаратов на себя.

Предложена концепция использования систем технического зрения для решения следующих задач:

1. Предложен алгоритм обнаружения и обеспечения безопасного взаимодействия между роботом-манипулятором и несанкционированным объектом.
2. Предложен алгоритм обнаружения и обработки деталей при сборке фюзеляжа летательного аппарата.

Рассматриваемая система может использоваться для автоматизации сборочных процессов, так как это позволит снизить время, затрачиваемое на сборку объекта, и будет выполнять работу с более высокой точностью.

Литература

1. Обеспечение безопасности работы оператора методом разделения рабочих зон робота и человека. (https://mech.novtex.ru/jour/article/download/289/120)
2. А. М. Занчеттин, П. Рокко, С. Чиаппа, Р. Росси. Робототехника и компьютерное интегрированное производство, 59 (2019), стр. 47–55
3. К. Скоу, Р. С. Андерсен, Д. Хризостому, С. Бог, О. Мадсен.Робототехника и компьютерное интегрированное производство, 53 (2018), стр. 72–80.
4. Колючкин В.Я., Нгуен К.М., Чан Т.Х. Алгоритмы обработки информации в системах технического зрения промышленных роботов. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 9. URL: http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/920.html
5. Особенности и преимущества системы технического зрения. URL: http://www.techtrends.ru/techdept/techarticles/sistemy_tehnicheskogo_zreniya.php.

6. https://docs.opencv.org/3.4/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html.

References

1. Ensuring the safety of the operator's work by separating the working zones of the robot and the human. (https://mech.novtex.ru/jour/article/download/289/120)
2. A.M. Zanchettin, P. Rocco, S. Chiappa, R. Rossi. Robotics and Computer Integrated Production, 59 (2019), pp. 47-55
3. K. Skou, R. S. Andersen, D. Chrysostom, S. God, O. Madsen. Robotics and Computer Integrated Production, 53 (2018), pp. 72-80.
4. Kolyuchkin V.Ya., Nguyen K.M., Chan T.H. Algorithms of information processing in systems of technical vision of industrial robots. Engineering Journal: Science and Innovation, 2013, issue 9. URL: http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/920.html
5. Особенности и преимущества системы технического зрения. URL: http://www.techtrends.ru/techdept/techarticles/sistemy_tehnicheskogo_zreniya.php.
6. https://docs.opencv.org/3.4/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html.

© Павлов В.В., Орлов С.А., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: Павлов В.В., Орлов С.А. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА И ЧЕЛОВЕКА// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.