

Метод определения ориентации контакт-детали при автоматизации технологического процесса пайки

С.Ф. Яцун ¹, А.В. Мальчиков ¹ ✉, О.Б. Кочергин ¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: zveroknnp@gmail.com

Резюме

Цель исследования. Разработка методики определения ориентации детали при автоматизированной пайке контактной группы, основанной на использовании комбинированной системы распознавания изображения.

Задачи. Анализ технологического процесса сборки детали и оценка возможности применения различных технологий ориентирования заготовок. Разработка последовательной методики ориентирования детали, включающей этап распознавания скругленной грани посредством системы технического зрения. Разработка алгоритма распознавания ориентации заготовки непосредственно по изображению детали и по контуру тени детали. Постановка натурных экспериментов на испытательном стенде, получение численных значений точности распознавания ориентации детали для различных алгоритмов.

Методы. Для решения задачи транспортировки и позиционирования исследуемых деталей используются методы перемещения, за счет контролируемой вибрации внутри разработанной системы направляющих и отсекающих. Для определения скругленной грани используются методы обработки и распознавания изображений: метод *k*-средних (*k-means*) для кластеризации исходного изображения, преобразование Хафа для поиска контура и др.

Результаты. В ходе исследования были разработаны два алгоритма распознавания ориентации детали по исходному изображению и изображению отбрасываемой деталью тени. В обоих случаях точность распознавания составила более 96%, однако при использовании камеры низкого разрешения, точность распознавания по контуру тени получилась выше и составила более 99%.

Заключение. Разработанная в рамках работы методика определения ориентации деталей, включающая этапы предварительной сортировки на этапе вибротранспортировки, этап поиска скругленной грани с использованием системы технического зрения, в том числе по контуру тени детали, позволяет получить высокую точность даже при использовании видеоборудования с низким разрешением.

Ключевые слова: автоматизация производства; система технического зрения; распознавание изображения; цифровизация; интеллектуализация.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке программы стратегического развития вузов "Приоритет-2030".

Для цитирования: Яцун С.Ф., Мальчиков А.В., Кочергин О.Б. Метод определения ориентации контакт-детали при автоматизации технологического процесса пайки // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022; 26(3): 8-20. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-3-8-20>.

Поступила в редакцию 20.06.2022

Подписана в печать 29.07.2022

Опубликована 30.09.2022

Method for Orientation Determining of the Detail for the Automated Soldering Technological Process

Sergey F. Yatsun ¹, Andrey V. Mal'chikov ¹ ✉, Oleg B. Kochergin ¹

² Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: zveroknnp@gmail.com

Abstract

Purpose of research. Development of a technique for determining the orientation of parts during automatic soldering of a contact group based on the assembly of a combined image recognition systems.

Methods. Analysis of the technological process of assembling a part and evaluating the possibility of using various technologies for orienting workpieces. Development of a consistent technique for orienting a part, including the stage of recognizing a rounded edge using a vision system. Development of an algorithm for recognizing the orientation of the workpiece directly from the image of the part and along the contour of the shadow of the part. Setting up full-scale experiments on a test bench, obtaining numerical values for the accuracy of recognizing the orientation of a part for various algorithms.

Methodology. To solve the problem of transportation and positioning of the studied parts, methods of movement are used, due to controlled vibration inside the developed system of guides and cutters. To determine the rounded edge, image processing and recognition methods are used: the k-means method for clustering the original image, the Hough transform for contour search, etc.

Results. In the course of the study, two algorithms for extracting details from the original image and the image of the shadows cast by the detail were developed. In the detection of an increased risk, more than 96%, however, when detecting sensitivity along the contour of the shadow, more than 99% were detected.

Conclusion. The technique for determining details developed within the framework of the work, including the stages of preliminary sorting according to the task of vibrotransportation, the stage of searching for a round face using a technical perspective system, including the contour of shadow details, makes it possible to obtain high accuracy even when assembling video equipment with a low level of detection.

Keywords: production automation; vision system; image recognition; digitalization; intellectualization.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Financing: The work is supported by the program "Priority 2030".

For citation: Yatsun S. F., Mal'chikov A. V., Kochergin O.B. Method for Orientation Determining of the Detail for the Automated Soldering Technological Process. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022; 26(3): 8-20 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-3-8-20>.

Received 20.06.2022

Accepted 29.07.2022

Published 30.09.2022

Введение

Сегодня в мире стремительно развиваются направления дигитализации, автоматизации и интеллектуализации сферы материального производства [1-2]. Создание высокотехнологичной промышленности, которая будет отвечать требованиям глобальной конкурентоспособности и эффективности, предполагает внедрение в техпроцессы киберфизических систем, объединяющих материальные и цифровые сущности. Одним из важнейших аспектов развития сквозных передовых промышленных технологий является внедрение «умной» промышленной сенсорики, интеллектуальных систем управления технологическими процессами и средств робототехники [3-5]. Переход к автоматизированным производственным линиям отвечает требованиям цифровой трансформации и позволяет встраивать отдельные техпроцессы в единую информационную систему цеха или фабрики в целом. Ключевым преимуществом интеллектуальных автоматизированных линий, в отличие от традиционных средств автоматизации, является возможность быстрой настройки и переоборудования под новую технологическую задачу или тип выпускаемой продукции, в том числе в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

Использование систем предиктивной настройки и диагностики с использованием моделей объектов и алгоритмов анализа и прогнозирования, адаптивных измерительных и управляющих систем, позволяет сократить время и затраты на наладку оборудования, повысить качество конечного продукта.

В рамках настоящей статьи рассматривается задача автоматизации типовой технологической цепочки сборки контактного узла электротехнического оборудования. Несмотря на вполне конкретный характер описываемого в данном примере процесса, предлагаемые авторами идеи могут быть легко перенесены на множество других технологических операций в рамках промышленного производства.

Целью работы является анализ возможности применения современных цифровых технологий, для повышения эффективности технологических процессов на примере автоматизированной производственной линии сборки контактного электромеханического узла. Разработка методики распознавания ориентации деталей с использованием теневых проекций.

Материалы и методы

В качестве примера в рамках работы рассматривается типовая задача

сборки контактного узла, состоящего из мостика и контакта соединяемых посредством пайки с предварительным нанесением легкоплавкого припоя. Часто подобные операции выполняются вручную на аппаратах для контактной сварки с предварительно настроенными, часто эмпирически, параметрами. Детали перемещаются и позиционируются перед пайкой непосредственно работником, часто с использованием дополнительной оснастки в виде кондукторов или направляющих. Точность позиционирования,

правильность ориентации детали и другие параметры сборки определяются квалификацией рабочего, его текущим психофизиологическим состоянием и в общем случае не могут быть гарантированы [6-8]. Внедрение средств автоматизации позволит повысить точность, повторяемость и производительность технопераций [9-15].

С целью автоматизации процесса сборки детали предлагается алгоритм, состоящий из отдельных этапов, показанных на рис. 1.

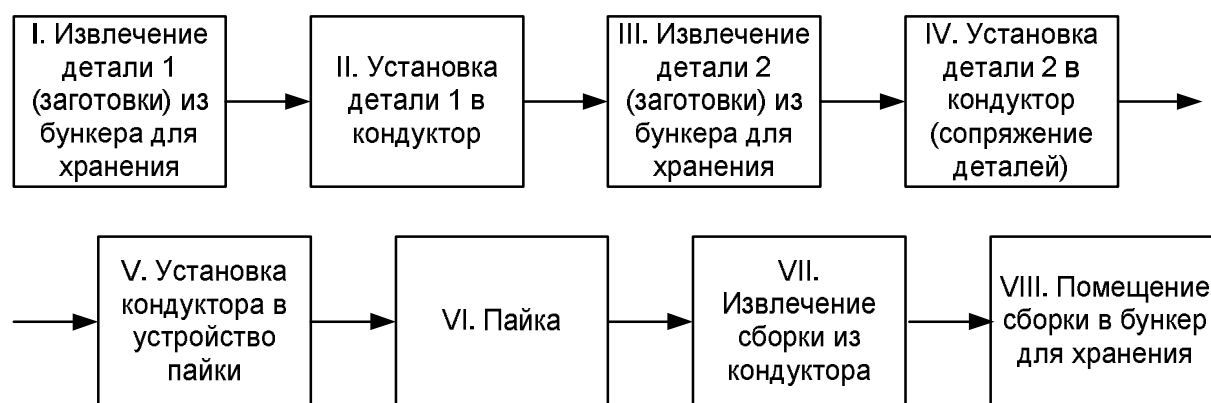


Рис. 1. Схема последовательности этапов сборки детали

Fig. 1. The sequence scheme of the assembly stages of the part

В рамках данного исследования рассматривается 3 этап – извлечение деталей для дальнейшего сопряжения. Особенность формы и размеров детали требует использования интеллектуальных методов, позволяющих идентифицировать контур детали и в случае неправильной ориентации вернуть ее в вибробункер.

В качестве примера детали рассмотрим контакт КМК-А33Б (ТУ 3498-009-

73030523-95 ЦП 050730 ГОСТ 3884-77)¹. Данная контакт-деталь изготовлена из серебросодержащего сплава методом твердофазного спекания и предназначена для применения в электрических коммутационных аппаратах для замы-

¹ ГОСТ 3884-77. Контакт-детали для коммутационных электрических аппаратов. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 3.02.77 N 287. Москва: Стандартинформ. Текст: непосредственный.

кания и размыкания электрических цепей. Контакт имеет цилиндрическую рабочую поверхность и плоскую нерабочую поверхность. Геометрическая форма и размеры показаны на рис.2.

Как видно из рис. 2 деталь имеет сложную пространственную форму и применение вибропитателей, оснащенных направляющими и отсекающими не дадут гарантированной ориентации детали на выходе. Наибольшую трудность представляет определение скругленной грани, так как разница в высоте детали по центру и с края менее 0,5мм. В каче-

стве одного из решений предлагается использовать систему технического зрения, которая будет отслеживать именно скругленную грань и в случае неправильной ориентации детали формировать команду для возвращения детали в вибробункер. Обратим внимание, что задачу предварительного ориентирования, а именно: по высоте и ширине, будем решать с помощью оснастки вибробункера. Таким образом, процесс ориентирования детали может быть представлен схемой, показанной на рис. 3.

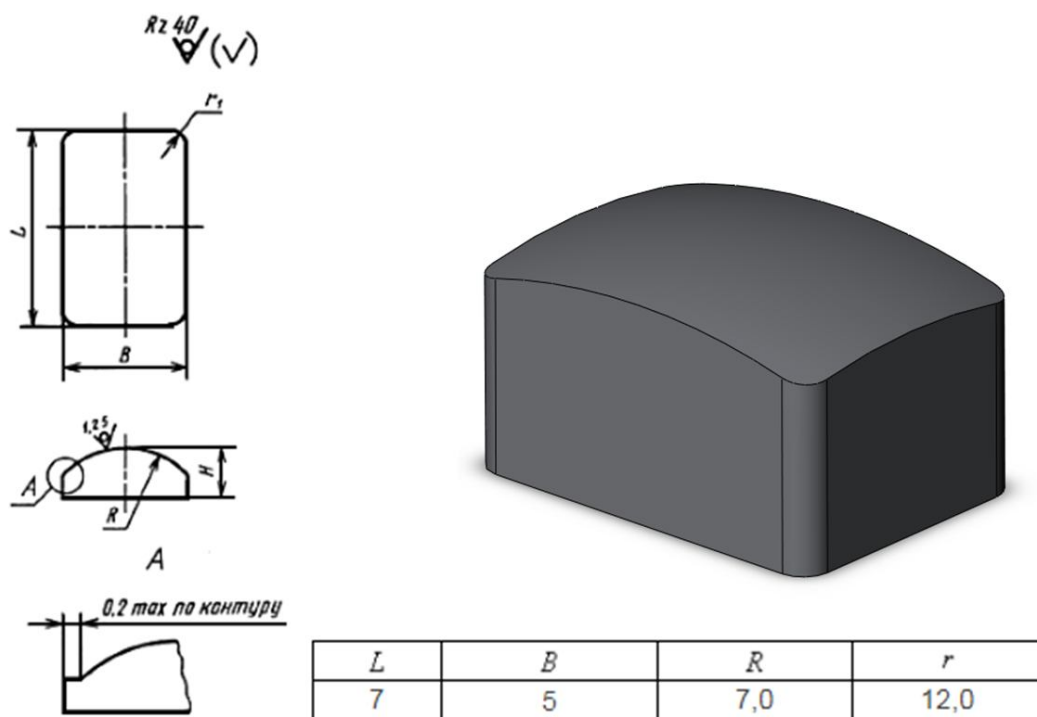


Рис. 2. Внешний вид и размеры детали контакта

Fig. 2. Appearance and dimensions of the contact part

Контакт-детали загружаются на дно вибробункера «навалом» без предварительной ориентации. Далее за счет вибрации детали перемещаются по винтовому лотку к вершине бункера.

Использование направляющих и ограничителей с конфигурацией соответствующей конфигурации деталей позволяет отделять детали с неправильной ориентацией.

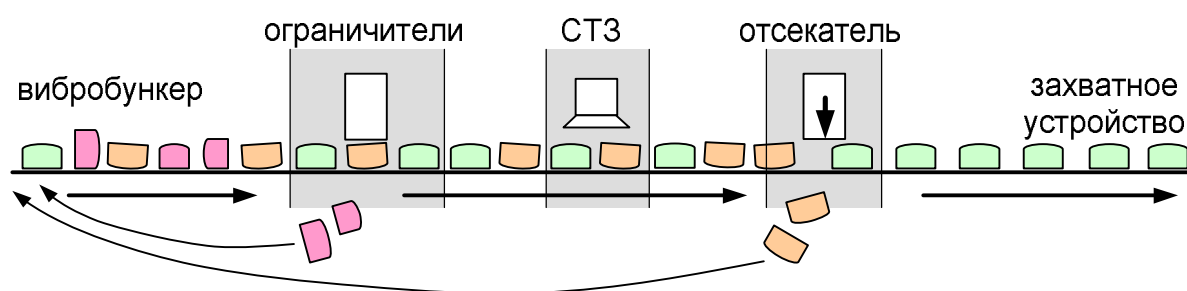


Рис. 3. Схема процесса классификации деталей

Fig. 3. Schematic of the part classification process

Далее детали цепочкой поступают на следующий этап классификации, где с использованием системы технического зрения (СТЗ) происходит определение правильности ориентации. Специализированное устройство отсекающего (пневматического типа) позволяет извлекать неправильно сориентированные детали и воз-

вращать их в бункер. Таким образом, к направляющим захватного устройства детали подаются с правильной ориентацией.

Рассмотрим подробно процесс определения правильной ориентации деталей с помощью СТЗ. Для этого приведем схему процесса измерения, показанную на рис.4,а.

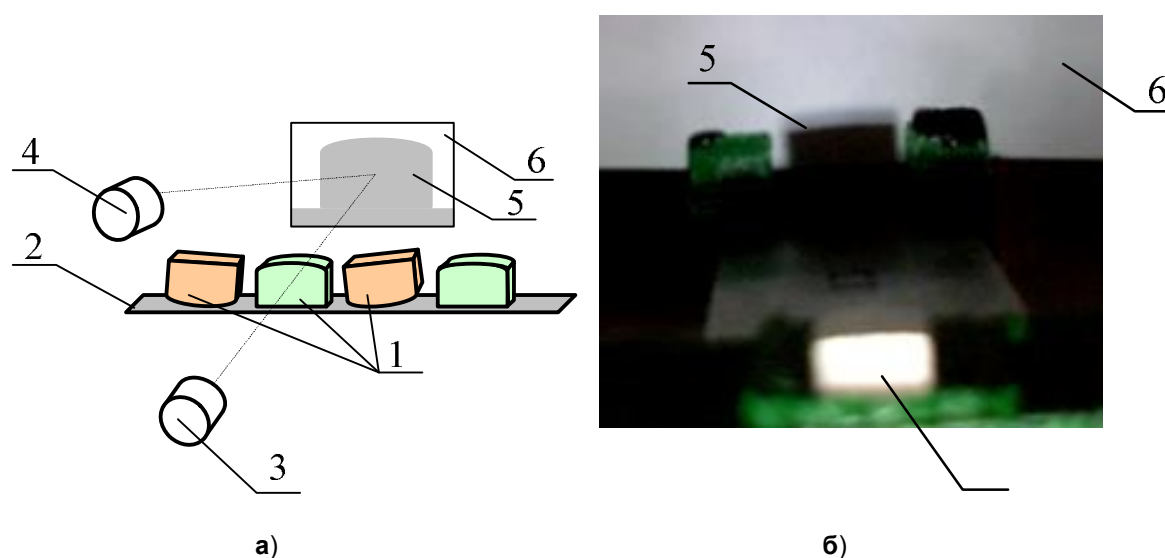


Рис. 4. Получение изображений контакт-детали: а – схема установки; б – изображение с камеры

Fig. 4. Obtaining images of the contact detail: а - installation scheme; б – image from the camera

На данном рисунке приняты следующие обозначения: 1 – исследуемая деталь; 2 – вибродорожка; 3 – камера; 4 – точечный источник света; 5 – теневая проекция; 6 – экран.

Особенностью предлагаемого метода является то, что ориентация детали 1 определяется как непосредственно по контуру детали в кадре, так и по контуру тени 5, оставляемой на экране 6. Для

этого в системе помимо камеры 3, используется точечный источник света 4.

На рис. 4,б показано изображение, полученное посредством камеры 4, установленной напротив детали. Небольшие размеры детали, не позволяют получить четкого изображения без использования дополнительной оптики, а также в измерения вносят погрешность движения детали, происходящие при перемещении детали вдоль направляющих вибрирующего лотка. Как хорошо видно

при использовании камеры низкого разрешения с параметрами, представленными в табл. 1, получить четкий контур изображения не представляется возможным, а существующие методы фильтрации вносят значительные искажения в результаты определения контура.

Для детального изучения процесса получения изображения, калибровки и отладки, был разработан экспериментальный стенд, показанный на рис.5.

Таблица 1. Параметры камеры

Table 1. Camera parameters

Тип матрицы / Matrix Type	CMOS
Разрешение матрицы	1.3 Мп
Разрешение при съемке видео	1280x1024
Разрешение при съемке фото	1280x1024
Частота кадров	30 кадров/с

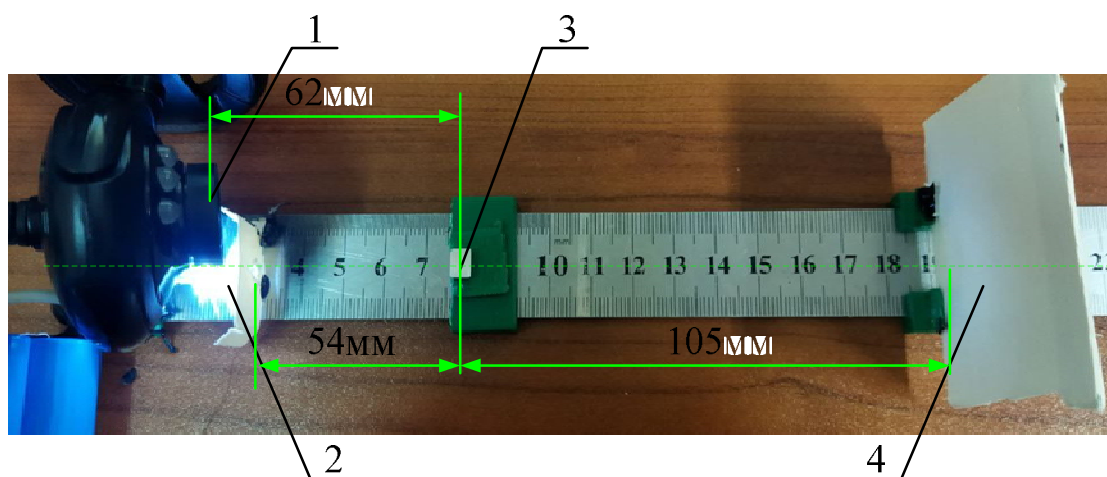


Рис. 5. Внешний вид экспериментального стенда в процессе калибровки СТЗ

Fig. 5. Appearance of the experimental stand during the calibration of the MV

На данном рисунке: 1 – камера, 2 – источник света, 3 – исследуемая деталь, 4 – экран для теневой проекции.

Использование стенда позволило экспериментально определить наилучшие параметры расстояния источника

света, камеры и экрана относительно детали, при которых контур изображения получается наиболее четким (численные значения расстояний показаны на рис. 5).

Рассмотрим алгоритм распознавания ориентации на примере изображения тени контакт-детали (рис. 6).

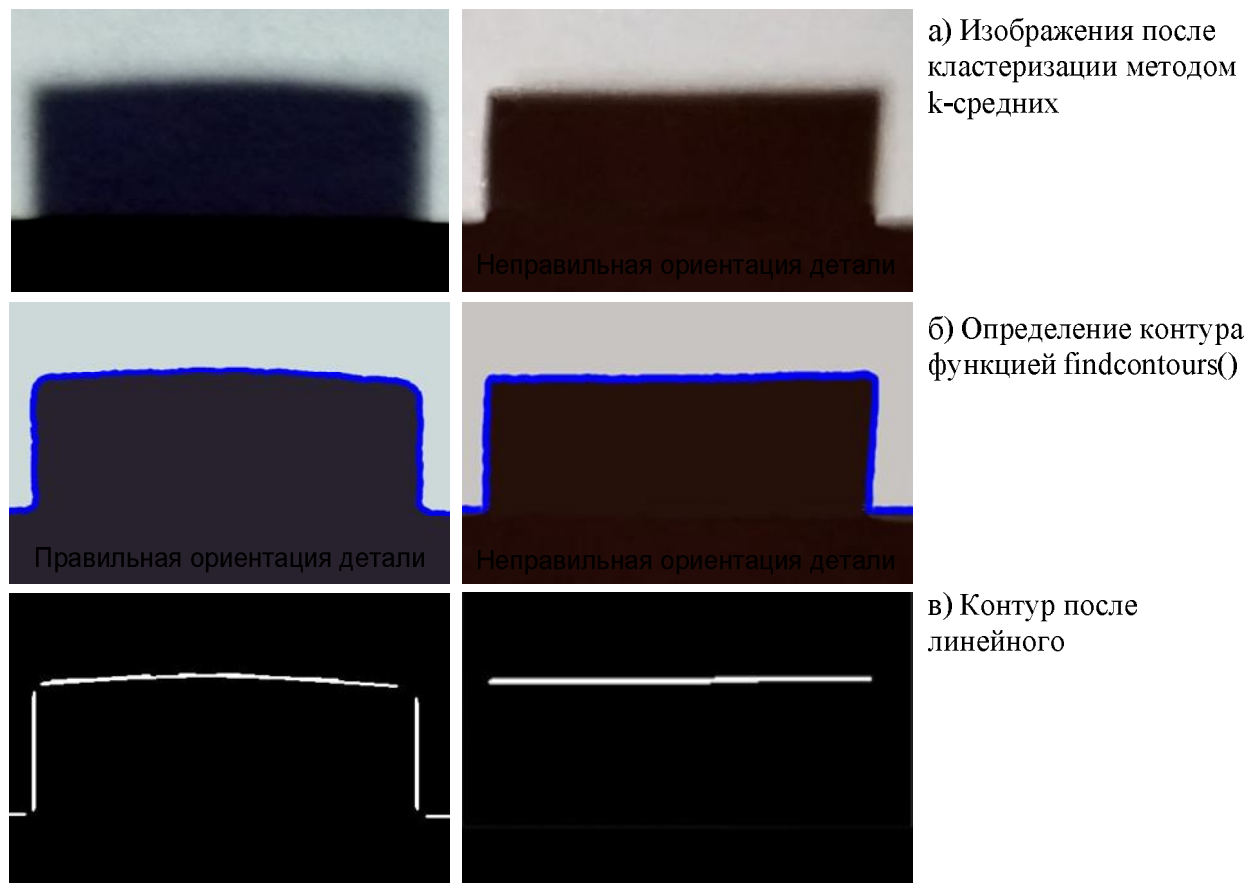


Рис. 6. Результаты обработки изображения и получение контура тени детали

Fig. 6. Results of image processing and obtaining the contour of the shadow of the part

На рис. 6,а показаны изображения тени деталей с правильной и неправильной ориентацией, обратим внимание, что на начальном этапе изображение обрезается до необходимого размера, убираются ненужные изображения направляющих, границ экрана, и т.д. Далее применяется метод k-средних (k-means) для кластеризации исходного изображения, позволяющих оставить на изображении только 2 цвета [16-17].

После предварительной обработки определяется исходный контур детали. В рамках исследования применялись методы findcontours (рис.6,б) [18] и линейное преобразование Хафа (рис.6,в) [19]. Оба метода реализованы в библиотеке openCV. Данные методы позволяют получить очертания объекта в кадре.

Так как положения камеры и детали всегда одинаковые, что обеспечивается направляющими, эквализация контуров

(приведение к единой длине) не требуется. Следующим шагом осуществляется поиск шаблона, максимально похожего на данный контур. Результатом вычислений является значение 1 (деталь ориентирована правильно, выпуклостью вверх) или 0 (деталь ориентирована неверно, плоской гранью вверх). Описанным методом были исследованы и непосредственно само изображение контактных деталей.

Результаты и их обсуждение

В рамках исследований, описываемых в настоящей статье, была проведена серия из 500 экспериментов. Каждый раз деталь устанавливалась в новое уникальное положение (в границах направляющих), при этом в журнал экспериментов вносились 3 значения распознавания ориентации (истинное, распознаваемое по тени, распознаваемое по прямому изображению).

В ходе исследований было установлено, что точность определения правильности положения по тени составила 99,2% (3 из 250 – были ложно распознаны как неправильно ориентированные, и 1 из 250 как правильно ориентированная). Для распознавания по прямому изображению точность соста-

вила 96,2% (12 из 250 – были ложно распознаны как неправильно ориентированные, и 7 из 250 как правильно ориентированная). Отметим, что при ложном определении правильно установленной детали, ошибка была при использовании тени и прямого изображения.

Как показали результаты исследований, использование теневой проекции детали, позволяет значительно повысить точность распознавания правильности ориентации детали небольших размеров при использовании камеры низкого разрешения и без использования специализированной оптики.

Выводы

В ходе исследований была выполнена схематизация автоматизированного процесса сборки контактной группы электротехнического оборудования. В рамках статьи рассмотрена задача распознавания правильности ориентации контакт-деталей перед установкой в захватное устройство и пайкой. Предложен метод определения контура детали по теневой проекции и экспериментально доказана его эффективность при сравнении с прямым изображением при использовании камеры низкого разрешения.

Список литературы

1. Алетдинова А. А. и др. Цифровая трансформация экономики и промышленности: проблемы и перспективы. СПб., 2017.
2. Плотников В. А. Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы развития в российской экономике // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. №. 4 (112). С. 16-24.

3. Иванов Д. А., Иванова М. А., Соколов Б. В. Анализ тенденций изменения принципов управления предприятиями в условиях развития технологий Индустрии 4.0 // Информатика и автоматизация. 2018. Т. 5. №. 60. С. 97-127.
4. Bahrin M. A. K. et al. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic // Jurnal teknologi. 2016. Т.78. С.6-13. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>
5. Зозуля Д. М. Цифровизация российской экономики и Индустрия 4. 0: вызовы и перспективы // Вопросы инновационной экономики. 2018. Т. 8. №. 1. С. 1-14.
6. Шаталова Н. И. Психофизиологические особенности трудового поведения работника // Вестник НГУЭУ. 2015. №. 1. С. 178-189.
7. Данилова Н. Н. Психофизиология. М.: Аспект Пресс, 2012.
8. Сорокин Г. А., Шилов В. В. Оценка годового прироста риска нарушения здоровья работников при высокой интенсивности труда // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. №. 6. С. 618-623.
9. Цветаев С. С., Логачев К. И. Актуальные проблемы автоматизации промышленных предприятий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №. 1. С. 87-89.
10. Мальчиков А. В. и др. Анализ эффективности применения экзоскелета в производственном процессе промышленного предприятия // Юность и знания-гарантия успеха-2019. Курск, 2019. С. 234-237.
11. Vyatkin V. Software engineering in industrial automation: State-of-the-art review // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2013. Vol. 9. №. 3. P. 1234-1249. <https://doi.org/10.1109/TII.2013.2258165>
12. Xu H. et al. A survey on industrial Internet of Things: A cyber-physical systems perspective // Ieee access. 2018. Vol. 6. P. 78238-78259. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884906>
13. Jatsun S., Malchikov A., Yatsun A. Automatization of manual labor by using an industrial exoskeleton // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2020. P. 470-475. <https://doi.org/10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208173>
14. Malchikov A. et al. Control features of the electromechanical system with end-effector considering the regulated torque // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2017. Vol. 113. P. 02001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711302001>
15. Jatsun S., Malchikov A., Yatsun A. Adaptive Control System for DC Electric Drive under Uncertainty // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE, 2020. P. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM48468.2020.9111876>
16. Hossain M. Z. et al. A dynamic K-means clustering for data mining // Indonesian Journal of Electrical engineering and computer science. 2019. Vol. 13. №. 2. P. 521-526.
17. Sinaga K. P., Yang M. S. Unsupervised K-means clustering algorithm // IEEE access. 2020. Vol. 8. P. 80716-80727. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988796>

18. Chandan G. et al. Real time object detection and tracking using Deep Learning and OpenCV //2018 International Conference on inventive research in computing applications (ICIRCA). IEEE, 2018. P. 1305-1308. [https://doi.org/ 10.1109/ICIRCA.2018.8597266](https://doi.org/10.1109/ICIRCA.2018.8597266)
19. Wang J., Fu P., Gao R. X. Machine vision intelligence for product defect inspection based on deep learning and Hough transform //Journal of Manufacturing Systems. 2019. Vol. 51. P. 52-60. [https://doi.org/ 10.1016/j.jmsy.2019.03.002](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.03.002)

References

1. Aletdinova A. A. et al. *Tsifrovaya transformatsiya ekonomiki i promyshlennosti: problemy i perspektivy* [Digital transformation of the economy and industry: problems and prospects]. Saint-Petersburg. 2017.
2. Plotnikov V. A. Tsifrovizatsiya proizvodstva: teoreticheskaya sushchnost' i perspektivy razvitiya v rossiiskoi ekonomike [Digitalization of production: theoretical essence and prospects for development in the Russian economy]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the St. Petersburg State University of Economics*, 2018, no. 4 (112), pp. 16-24.
3. Ivanov D. A., Ivanova M. A., Sokolov B. V. Analiz tendentsii izmeneniya printsiptov upravleniya predpriyatiyami v usloviyakh razvitiya tekhnologii Industrii 4.0 [Analysis of trends in changing the principles of enterprise management in the context of the development of Industry 4.0 technologies]. *Informatika i avtomatizatsiya = Informatics and Automation*, 2018, vol. 5, no. 60, pp. 97-127.
4. Bahrin M. A. K. et al. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal tekhnologi*, 2016, vol.78, pp.6-13. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>.
5. Zozulya D. M. Tsifrovizatsiya rossiiskoi ekonomiki i Industriya 4. 0: vyzovy i perspektivy [Digitalization of the Russian economy and Industry 4. 0: challenges and prospects]. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Issues of innovative economics*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 1-14.6.
6. Shatalova N. I. Psikhofiziologicheskie osobennosti trudovogo povedeniya rabotnika [Psychophysiological features of the worker's labor behavior]. *Vestnik NGUEU = Bulletin of the National State University of Economics*, 2015, no. 1, pp. 178-189.
7. Danilova N. N. *Psikhofiziologiya* [Psychophysiology]. Moscow, Aspect Press Publ., 2012.
8. Sorokin G. A., Shilov V. V. Otsenka godovogo prirosta riska narusheniya zdorov'ya rabotnikov pri vysokoi intensivnosti truda [Evaluation of the annual increase in the risk of health disorders of workers at high labor intensity]. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*, 2020, vol. 99, no. 6, pp. 618-623.

9. Tsvetaev S. S., Logachev K. I. Aktual'nye problemy avtomatizatsii promyshlennykh predpriyatiy [Actual problems of automation of industrial enterprises]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova = Bulletin of the Belgorod State Technological University V.G. Shukhova*, 2012, no. 1, pp. 87-89.
10. Malchikov A.V. et al. Analiz effektivnosti primeneniya ekzoskeleta v proizvodstvennom protsesse promyshlennogo predpriyatiya [Analysis of the effectiveness of the use of an exoskeleton in the production process of an industrial enterprise]. *Yunost' i znaniya-garantiya uspekha = Youth and knowledge is a guarantee of success-2019*. Kursk, 2019, pp. 234-237.
11. Vyatkin V. Software engineering in industrial automation: State-of-the-art review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2013, vol. 9, no. 3, pp. 1234-1249. <https://doi.org/10.1109/TII.2013.2258165>
12. Xu H. et al. A survey on industrial Internet of Things: A cyber-physical systems perspective. *Ieee access*, 2018, vol. 6, pp. 78238-78259. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884906>
13. Jatsun S., Malchikov A., Yatsun A. Automatization of manual labor by using an industrial exoskeleton. *2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*. IEEE, 2020, pp. 470-475. <https://doi.org/10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208173>
14. Malchikov A. et al. Control features of the electromechanical system with end-effector considering the regulated torque. *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2017, vol. 113, pp. 02001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711302001>
15. Jatsun S., Malchikov A., Yatsun A. Adaptive Control System for DC Electric Drive under Uncertainty. *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. IEEE, 2020, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM48468.2020.9111876>
16. Hossain M. Z. et al. A dynamic K-means clustering for data mining. *Indonesian Journal of Electrical engineering and computer science*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 521-526.
17. Sinaga K. P., Yang M. S. Unsupervised K-means clustering algorithm. *IEEE access*. 2020, vol. 8, pp. 80716-80727. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988796>
18. Chandan G. et al. Real time object detection and tracking using Deep Learning and OpenCV. *2018 International Conference on inventive research in computing applications (ICIRCA)*. IEEE, 2018, pp. 1305-1308. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA.2018.8597266>
19. Wang J., Fu P., Gao R. X. Machine vision intelligence for product defect inspection based on deep learning and Hough transform. *Journal of Manufacturing Systems*, 2019, vol. 51, pp. 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.03.002>

Информация об авторах / Information about the Authors

Яцун Сергей Фёдорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механики, мехатроники и робототехники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: teormeh@inbox.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7420-0772>, ResearcherID G-3891-2017

Sergey F. Yatsun, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of Mechanics, Mechatronics and Robotics Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: teormeh@inbox.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7420-0772>, ResearcherID G-3891-2017

Мальчиков Андрей Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры механики, мехатроники и робототехники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: zveroknnp@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2902-1721>, ResearcherID N-8856-2016

Andrey V. Mal'chikov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of Mechanics, Mechatronics and Robotics Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: zveroknnp@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2902-1721>, ResearcherID N-8856-2016

Кочергин Олег Борисович, студент кафедры механики, мехатроники и робототехники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: o-kochergin@bk.ru

Oleg B. Kochergin, Student, Mechatronics and Robotics Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: o-kochergin@bk.ru