

Решение приведенных векторных уравнений показано на плане ускорений (рис. 3). Построив планы ускорений n положений механизма, можно установить закон движения механизма.

Выполненное исследование позволяет сделать следующие **выводы**.

1. Использование такого механизма вполне реально и может обеспечивать высокое изменение замкнутого контура благодаря передаче усилий от ведущего звена к щеке, которая движется с усилием в сторону противоположной щеки.

2. На основании проведенного исследования, можно продолжить изучение механизма, сделать кинестатический и динамический анализ механизма.

Список литературы

1. Патент 2538108, В02С 1/02 Российская Федерация. Щековая дробильная машина со взаимоподвижными щеками / Л.Т. Дворников, Д.О. Чашников, Н.Д. Юдин. – №2013127856/13; заявл. 18.06.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. – 6 с.
2. Патент 192134, В02С 1/08 Российская Федерация. Щековая дробильная машина с внутренней камерой дробления / Л.Т. Дворников, П.В. Винтовкин. – №2019117199; заявл. 03.06.2019; опубл. 04.09.2019, Бюл. № 25. – 5 с.
3. Артоболевский, И.И. Теория механизмов. – М.: Наука, 1967. – 719 с.
4. Дворников Л.Т. О кинематической разрешимости плоской четырехзвенной группы Ассура четвертого класса графоаналитическим методом // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – №12. – С. 9-15.
5. Дворников Л.Т. Структура, кинематическое и силовое исследование плоских шарнирных групп Ассура / Л.Т. Дворников, С.П. Стариков. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – 198 с.

Сведения об авторах:

Дворников Леонид Трофимович – д.т.н., профессор, профессор кафедры механики и машиностроения, СибГИУ, г.Новокузнецк;

Винтовкин Павел Викторович – магистрант направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», СибГИУ, г.Новокузнецк.

УДК 004.89, 004.93

<https://doi.org/10.26160/2541-9579-2019-6-24-31>

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО ЛИТЬЮ ЛИНЗ НА ИК-ДИОДЫ

Вибе Д.В., Габриель А.С., Семенча А.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г.Санкт-Петербург

Ключевые слова: следящая система технического зрения, внешняя калибровка камеры, активная система технического зрения, позиционирование дозатора, диод, видеокамеры.

Аннотация. В данной работе приведены основные классы математических методов решения задачи внешней калибровки камеры, среди которых выбран класс аналитических решений. На основании метода «Perspective-4-Point» разработана система локализации местоположения ИК-диода. Реализованы алгоритм работы для активной системы технического зрения и алгоритм распознавания дозатора и диода. В известной локализации диода система находит и выделяет на видеопотоке носик дозатора и диод и выполняет позиционирование дозатора над диодом итерационным методом по очереди по каждой оси. Проведены эксперименты распознавания и устойчивости работы системы. Осуществлено согласование работы системы локализации и активной системы технического зрения и, таким образом, получена универсальная следящая система технического зрения. Работа систем реализована с использованием программной библиотеки технического зрения OpenCV.

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL TRACKING TECHNICAL VISION SYSTEM FOR AN INSTALLATION FOR CASTING LENSES ON IR-DIODES

Vibe D.V., Gabriel A.S., Semench A.V.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg

Keywords: tracking computer vision system, external camera calibration, dispenser positioning, diode, camera.

Abstract. This paper presents the main classes of mathematical methods for solving the external camera calibration problem, among which the class of analytical solutions is selected. Based on the Perspective-4-Point method, a localization system for the location of the IR diode has been developed. Implemented an operation algorithm for an active vision system and a recognition algorithm for the dispenser and diode. In the known localization of the diode, the system finds and selects the nozzle of the dispenser and the diode in the video stream and performs positioning of the dispenser above the diode by the iterative method in turn on each axis. The experiments on recognition and stable operation of the system are performed. The joint work of the localization system and the active system of technical vision was agreed upon, and thus a universal tracking system of technical vision was obtained. The systems are implemented using the OpenCV computer vision library.

Введение. Для конкурентоспособного производства технологичных оптических датчиков газов и многофункциональных газоанализаторов обязательным условием является наличие соответствующей элементной базы нового поколения. Использование такой элементной базы даёт возможность существенным образом повысить чувствительность, селективность, быстродействие, экономичность и надёжность спектроабсорбционных приборов анализа соединений газовых смесей, значительно

уменьшить габариты и материалоемкость. Необходимость обновления элементной базы требует применения современных средств производства [1].

Основной проблемой при разработке установки [2, 3] для литья линз из халькогенидного стекла на полупроводниковые источники инфракрасного (ИК) излучения является проблема позиционирования дозатора стекла над кристаллом диода (рисунок 1), помещённого в рабочую зону установки [1].



Рис. 1. Кристалл ИК-диода

При решении задачи позиционирования целесообразно применить систему технического зрения, принципиально описанную в работе [4].

Использование такой системы на установке [2, 3] имеет следующие требования:

- 1) устойчивость к малому смещению заготовки ИК-диода при литье линзы;
- 2) устойчивость к малому смещению дозатора;
- 3) устойчивость к малому тепловому расширению элементов конструкции;
- 4) отслеживание технологических операций в процессе работы системы;
- 5) возможность установки системы на оборудование, подобное установке [2].

В статье [4] представлен алгоритм, согласно которому целесообразно реализовать работу системы технического зрения. Таким образом, ставятся задачи:

- 1) разработка системы локализации диода на основе решения задачи внешней калибровки камеры;
- 2) разработка активной системы;
- 4) реализация следящей системы (совместной работы систем).

Решение задачи внешней калибровки камеры. При решении задачи внешней калибровки камеры необходимо рассмотреть существующие математические методы внешней калибровки и определить оптимальный по критериям точности, быстродействия и сложности реализации метод.

Существует множество методов внешней калибровки камеры, которые можно классифицировать по характеру моделей камеры и применяемым математическим методам в три класса.

а) Аналитические перспективные решения. Суть данных методов состоит в работе с определённым количеством соответствий: точечных, угловых, линейных – из которых выражают положение и ориентацию камеры. В литературе определены три класса аналитических решений:

- 1) решения, использующие соответствия точек (PnP);
- 2) решения, использующие соответствия углов (PnA);
- 3) решения, использующие соответствия отрезков (PnL).

б) Аффинные перспективные решения. Методы, основанные на аффинных приближениях надёжны, но обладают достаточной точностью, когда размеры объекта много меньше расстояния от него до оптического центра камеры;

в) Численные перспективные решения. Численные алгоритмы восстановления положения сочетают общность методов перспективной камеры с надёжностью методов, основанных на аффинных приближениях. Это достигается превращением проблемы восстановления позы в эквивалентную многомерную задачу численной оптимизации [1].

Сравнение данных методов по основным характеристикам можно привести в таблице 1.

Табл. 1. Сравнение групп методов внешней калибровки

Методы	Сложность реализации	Быстродействие	Точность
Аналитические	Нормальная	Нормальное	Нормальная
Аффинные	Низкая	Высокое	Низкая
Численные	Высокая	Низкое	Высокая

Исходя из таблицы 1, оптимальными для применения в задаче внешней калибровки камеры в разрабатываемой следящей СТЗ являются аналитические методы. В качестве решения задачи внешней

калибровки целесообразно принять решение проблемы «Perspective 4 Points» (рисунок 2), преимущества которого описаны в первой главе [1]. В работе [1] так же представлено аналитическое решение проблемы «Perspective 4 Points», предложенное Horand и Conio [5]

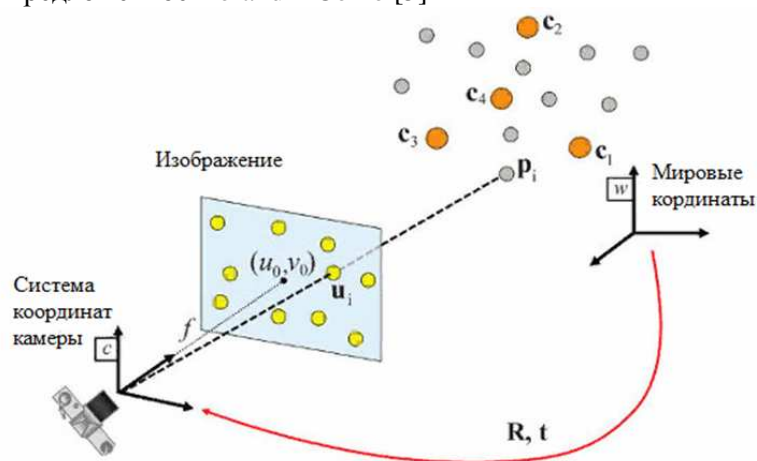


Рис. 2. Проблема «Perspective 4 Points»

Реализация решения проблемы «Perspective 4 Points». Решение проблемы «Perspective 4 Points» реализовано с помощью библиотеки OpenCV. Для упрощения модели в решении условно используется изображение без искажений, таким образом, не требуется производить внутреннюю калибровку камеры.

На вход программы подаётся изображение клетчатого листа с размером клетки 10x10 мм, как на рисунке 3. На изображении отмечены начало координат, точки 2 и 4, лежащие на осях мировой системы координат, и точка 3. Координаты точек в мировой системе известны. Для упрощения восприятия информации точки 1, 2, 3, 4 представляют углы прямоугольника. На изображении программа находит диод и размечает его центр координат (зелёный крест и красный круг). Решением проблемы «Perspective 4 Points» вычисляются матрица поворота и вектор переноса для приведения мировой системы координат к системе координат камеры. Затем определяются координаты диода в мировой системе координат [1].

Проведены три эксперимента (рисунки 3-5). Полученные координаты диодов приведены в таблице 2 [1].



Рис. 3. Эксперимент 1

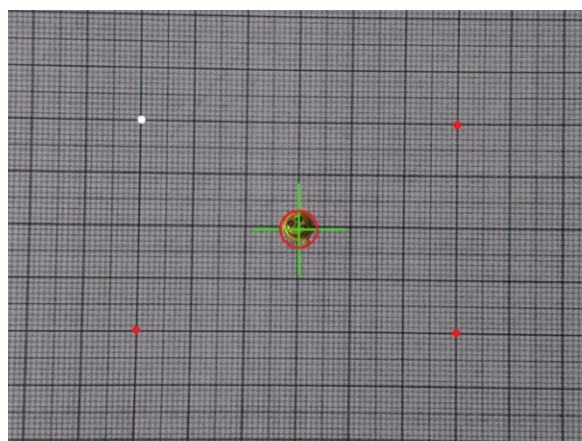


Рис. 4. Эксперимент 2

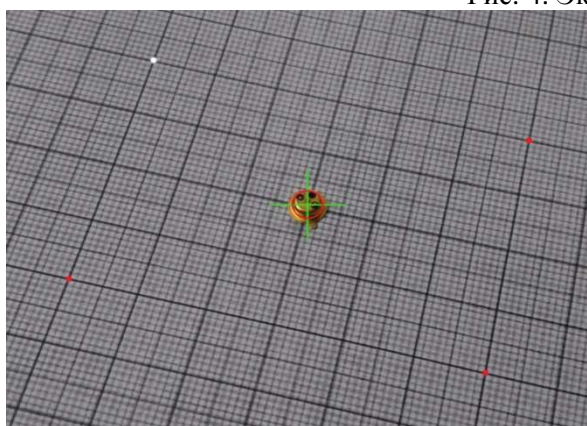


Рис. 5. Эксперимент 3

Табл. 2. Сравнение экспериментальных данных

Номер эксперимента	Вычисленные координаты диода (x; y)	Реальные координат диода (x; y)
1	(30,5; 19,6)	(30; 20)
2	(30,4; 20,2)	(30; 20)
3	(29,3; 20,8)	(30; 20)

Исходя из таблицы 2, погрешность работы реализации решения проблемы Р4Р составляет 4%, и в данном случае является приемлемой.

Разработка активной системы технического зрения. Элементами активной системы являются две потоковых видеокamеры с малым фокусным расстоянием, жёстко закреплённые на дозаторе установки под прямым углом друг к другу (рисунок 6).

Оптические оси камер направлены вдоль подвижных осей установки X и Y. Таким образом, камера CAM1 отображает движение дозатора вдоль оси X, камера CAM2 – вдоль оси Y (рисунок 7). Решение задачи позиционирования носика дозатора над кристаллом диода сводится к поочерёднему (поосевому) итерационному совмещению по вертикали центров масс носика и диода [1].

Алгоритм работы системы приведён на рисунке 8.



Рис. 6. Расположение камер на установке

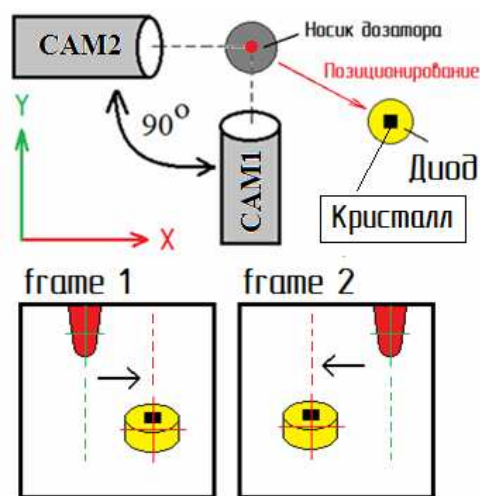


Рис.7. Графическое представление работы активной системы

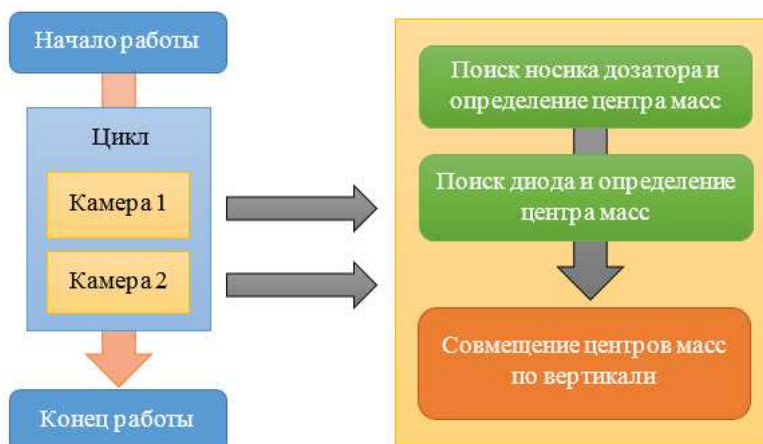


Рис. 8. Алгоритм работы активной системы технического зрения

Для правильного функционирования системы необходимо, чтобы и носик дозатора, и диод находились в кадре видеопотока с камеры, как на рисунке 9. Носик дозатора всегда находится в центре кадра, так как камеры закреплены на дозаторе. Определение местоположения диода является результатом работы системы локализации, работа которой основана на решении задачи внешней калибровки камеры. Активная система распознаёт на кадре носик дозатора и диод и размечает их центры масс (рисунок 10).

Кадр изображения делится на две области: область интереса дозатора и область интереса диода (рисунок 11). В соответствующих областях по алгоритму распознавания (рисунок 12) происходит обнаружение носика дозатора и диода.



Рис. 9. Кадр с камеры

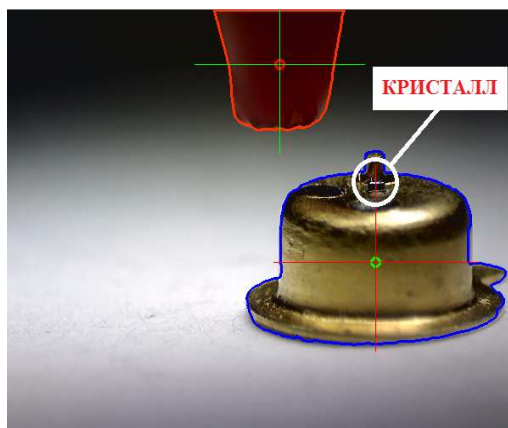


Рис. 10. Разметка контуров и центров масс



Рис. 11. Выделение областей интереса

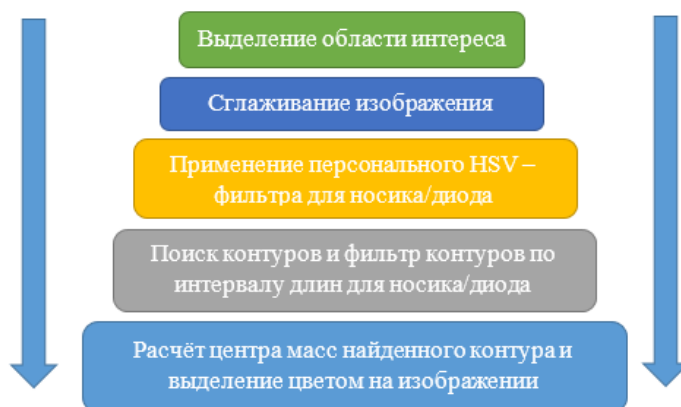


Рис. 12. Алгоритм распознавания носика/диода

В начале цикла имеются видеопотоки с камер, на которых изображены (рисунок 13) носик дозатора и диод в проекциях на оси X (frame 1) и Y (frame 2). В первой итерации, проверяется кадр с первой камеры (frame 1, ось X) на совпадение центров масс носика и диода по вертикали. В случае совпадения программа переходит к следующей итерации, соответственно, к обработке кадра со второй камеры (frame 2, ось Y). В случае несовпадения происходит совмещение центров масс носика дозатора и диода по текущей оси (рисунок 14) [1]. Аналогичным образом выполняется следующая итерация (рисунок 15) по второй камере (frame 2, ось Y) и цикл повторяется [1].



Рис. 13. Кадр с двух камеры

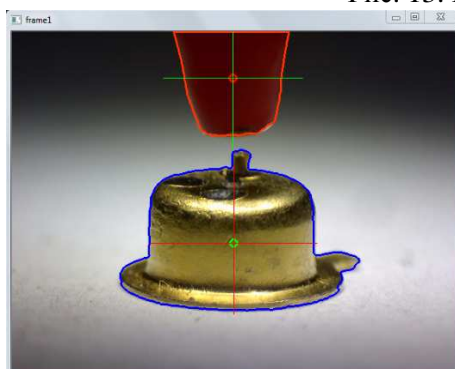


Рис. 14. Совмещение центров масс по оси X

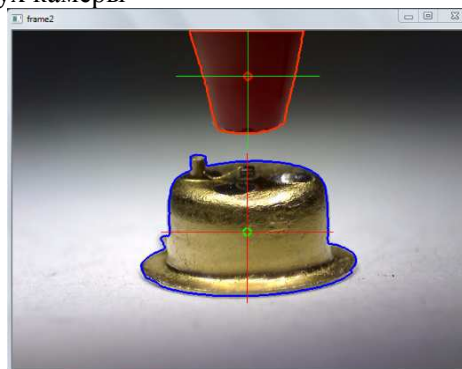


Рис. 15. Совмещение центров масс по оси Y

Работа программы завершается, когда центры масс носика дозатора и диода совпадают по вертикали (рисунок 16). Таким образом, точность позиционирования зависит от цены деления пикселя кадра изображения.

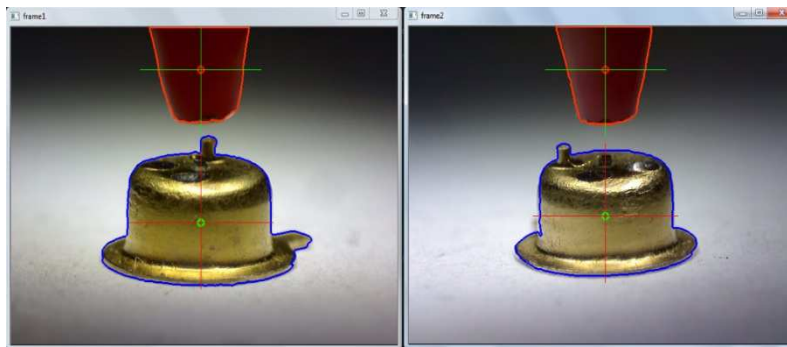


Рис. 16. Позиционирование выполнено верно

Устойчивость системы к изменению освещённости. Слабым местом активной системы является уровень освещённости. Качество работы алгоритма в зависимости от количества освещённости видно на рисунках 17-20.

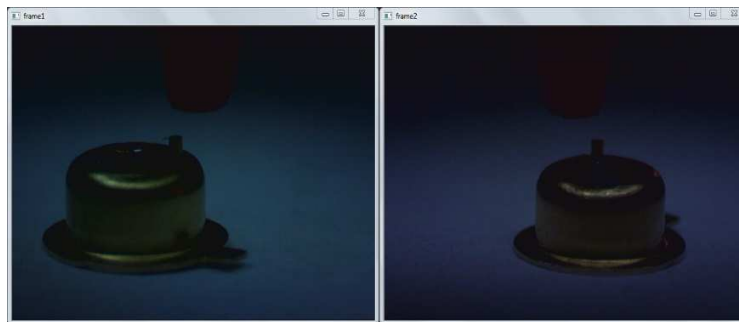


Рис. 17. Объекты не распознаны

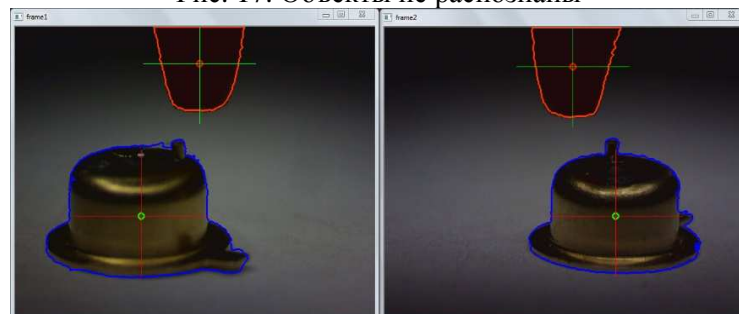


Рис. 18. Первое устойчивое распознавание носика/диода

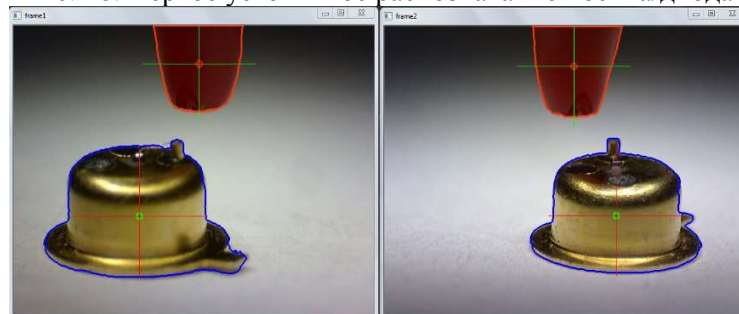


Рис. 19. Наилучшее распознавание

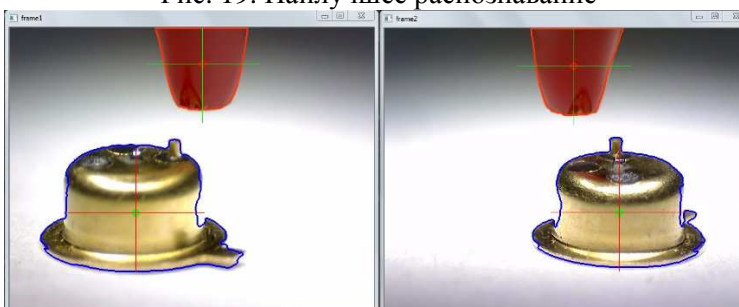


Рис. 20. Уменьшение точности распознавания

Реализация универсальной следящей системы технического зрения. Активная система технического зрения относится к исполнительному этапу [4] работы СТЗ и имеет значительное преимущество над методом позиционирования посредством восстановления относительного положения камеры, заключающееся в наличии обратной связи по видеопотоку. Это свойство позволяет оперативно отслеживать процессы, происходящие на рассматриваемом объекте. Однако, работа активной системы невозможна без подготовительного [4] этапа, включающего решение задачи внешней калибровки камеры. Поэтому обе системы являются взаимодополняющими и организуют целостную работу универсальной следящей СТЗ [1].

Алгоритм работы следящей системы приведён на рисунке 21. На фотографии диода система размечает сам диод с центром масс и калибровочные точки (рисунок 22), по которым выполняется расчёт матрицы преобразования координат с последующим определением координат диода, то есть его локализации. Затем активная система осуществляет поиск диода по его локальным координатам (рисунок 23), после чего выполняет окончательное позиционирование (рисунок 24) по алгоритму на рисунке 8.

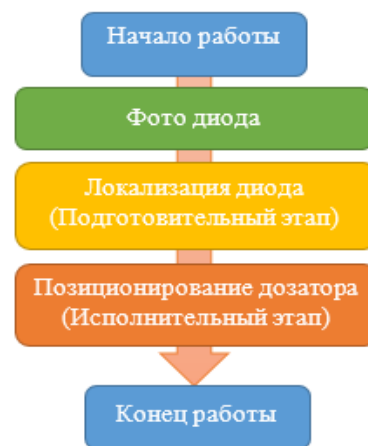


Рис. 21. Алгоритм работы следящей СТЗ

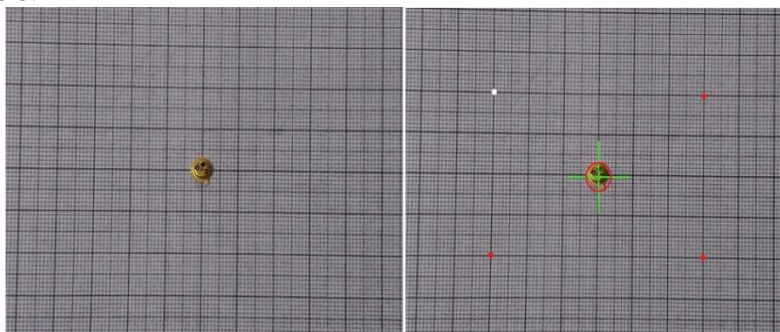


Рис. 22. Фото диода и калибровка камеры

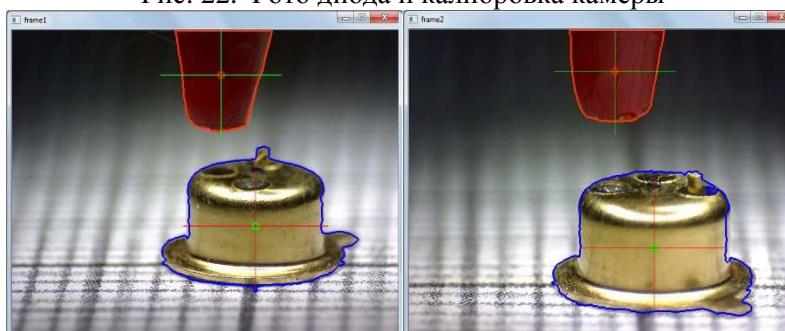


Рис. 23. Поиск диода по локальным координатам

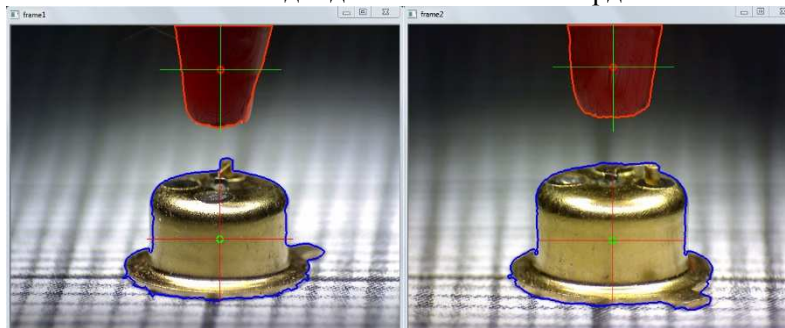


Рис. 24. Окончательное позиционирование

Результаты. При решении задачи внешней калибровки из приведённых математических групп методов выбрана наиболее оптимальная по точности, производительности и сложности реализации группа аналитических методов. Из аналитических методов выбран метод Р4Р как наиболее целесообразный. Реализация метода Р4Р позволила достичь 96% точности определения координат диода, что является достаточным в данном случае. Следующим шагом реализована активная система, которая по данным локализации диода осуществляет его распознавание с последующим позиционированием

дозатора над диодом для нанесения оптического покрытия. Две описанные системы собраны в одну – универсальную следящую систему технического зрения, удовлетворяющую требованиям, описанным во введении данной работы.

Список литературы

1. Вибе Д.В., Габриель А.С. Разработка универсальной следящей системы технического зрения для установки по литью линз на ик-диоды: выпускная квалификационная работа бакалавра / Вибе Дмитрий Владимирович. – СПб., 2019. – 54 с.
2. Вибе Д.В., Габриель А.С., Семенча А.В. Разработка автоматизированной установки для литья линз из халькогенидного стекла на полупроводниковые источники ик-излучения // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, ИММиТ. Ч.2 – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – С. 69-71.
3. Вибе Д.В., Габриель А.С., Семенча А.В. Разработка установки для автоматического нанесения оптического покрытия на ик-диоды // III Международная научно-технологическая конференция студентов и молодых учёных «Молодёжь. Инновации. Технологии» (МНТК-2019). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – С. 112-114.
4. Вибе Д.В., Габриель А.С., Семенча А.В. Разработка автоматизированной системы нанесения оптического покрытия на ик-диоды // Идея, практика, перспективы: сборник научных трудов национальной (всероссийской) научно-технологической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – С. 3-6.
5. R. Horand, V. Conio, O. Leboulloux, and B. Lacolle. An analytic solution for the perspective 4-point problem // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1989. – Vol. 47. – P. 33-44.

Сведения об авторах:

Вибе Дмитрий Владимирович – магистрант направления «Робототехника», СПбПУ, г.Санкт-Петербург;

Габриель Антон Сергеевич – старший преподаватель, СПбПУ, г.Санкт-Петербург;

Семенча Александр Вячеславович – к.х.н., доцент, директор – Высшая школа физики и технологий материалов, СПбПУ, г.Санкт-Петербург.