

*К. А. Цирульникова<sup>1\*</sup>, Д. Н. Катасонов<sup>1, 2</sup>*

## **Разработка алгоритма поиска контуров на изображениях, получаемых профилометром**

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: ksenia-7500@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются различные подходы и методы по поиску контуров на изображениях. Исследования в этой области необходимы для дальнейшей разработки алгоритма, выполняющего функцию обнаружения контуров, соответствующих заданному эталону. Особенностью данного алгоритма является область его применения – исследуемые контуры находятся на изображениях, получаемых при помощи профилометра (профилограммы), что привносит некоторые особенности в процесс их обнаружения. Исследование и разработка алгоритма направлены на оптимизацию процесса анализа и проверки качества поверхности, проводимых на основе изображений, получаемых профилометром. Разработка алгоритма поиска контуров производится на языке программирования C++ с применением библиотеки компьютерного зрения OpenCV, а также таких методов как выделение дескрипторов особых точек, детектор границ Канни и цепной код Фримана.

**Ключевые слова:** контур, профилометр, шероховатость, компьютерное зрение, детектирование границ

*K. A. Tsirulnikova<sup>1\*</sup>, D. N. Katasonov<sup>1, 2</sup>*

## **Development of an Algorithm for Finding Contours in Images Obtained by a Profilometer**

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Automation and Electrometry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: ksenia-7500@yandex.ru

**Abstract.** This article discusses various approaches and methods for finding contours in images. Research in this area is necessary for the further development of an algorithm that performs the function of detecting contours corresponding to a given standard. A feature of this algorithm is its field of application – the contours under study are located on images obtained using a profilometer (profilogram), which introduces some features into the process of their detection. The research and development of the algorithm are aimed at optimizing the process of analyzing and verifying surface quality based on images obtained by the profilometer. The contour search algorithm is developed in the C++ programming language using the OpenCV computer vision library, as well as methods such as the allocation of special point descriptors, the Canny boundary detector and the Freeman chain code.

**Keywords:** contour, profilometer, roughness, computer vision, detecting boundaries

### ***Введение***

Профилометрия (процесс измерения профиля сечения поверхности в плоскости) представляет собой неотъемлемую часть в различных областях науки и производства – начиная с геологии и заканчивая оптической промышленностью.

В результате работы профилометра формируется так называемая карта высот или профилограмма – набор расстояний от измеряемой поверхности до измерительного инструмента. Измерение может выполняться контактным способом или на основе оптических датчиков расстояния (хроматические, триангуляционные). Профилограмма обычно формируется в виде изображения, где измеренное расстояние кодируется в условных цветах. На основе сформированного изображения производится оценка различных параметров, исследуемых для частных случаев, или же на основе стандартизированных параметров шероховатости [1]. Оценка поверхности позволяет отслеживать ее качество, а в условиях производства осуществлять проверку на соответствие заданным допустимым критериям.

Проблематика проверки соответствия поверхности заданным нормам в условиях серийного производства состоит в большом потоке исследуемых объектов. Как правило, на обрабатываемом объекте присутствует тестовый элемент, относительно которого производится проверка на качество выполненной операции, для ее осуществления оператору вручную необходимо найти и выделить тестовый элемент, данная операция требует дополнительных временных затрат. При этом, профилометр может иметь систему технического зрения, которая может быть использована для поиска интересующей зоны на измеряемом объекте. Таким образом, возникает две задачи поиска необходимого фрагмента на изображении. В первом случае происходит поиск зоны интереса на изображении, полученном системой технического зрения, а во втором случае при анализе сформированной профилограммы. В обоих случаях возможно предварительное формирование эталонного изображения.

Целью разрабатываемого алгоритма по обнаружению контура в соответствии с заданным эталоном является автоматизация вышеописанной операции на серийном производстве. При этом, в обязанности оператора должны входить следующие действия: предоставление снятых профилограмм и выделение на первой из них тестового элемента, который будет впоследствии являться эталонным образцом. После обнаружения необходимого контура возможна дальнейшая оптимизация работы путем добавления автоматического расчета параметров шероховатости или же других требуемых критериев для оценки качества поверхности.

### *Методы и материалы*

Особенностью разрабатываемого алгоритма является гибридизация различных методов, присутствующих в библиотеке OpenCV, а также особенности предметной области его применения. Решаемую задачу можно разделить на три подзадачи:

- нормализация исследуемой области;
- детектирование границ;
- поиск в соответствии с эталоном.

Первая подзадача позволяет повысить устойчивость алгоритма к внешним воздействиям, обрабатывая ситуацию, когда условия поиска контура не являются идеальными. Детектирование границ является неотъемлемой частью алго-

ритма, так как именно оно позволяет выделить контуры для дальнейшей работы с ними, а именно для поиска в соответствии с эталоном, за что, в свою очередь, отвечает последняя подзадача. Перейдем к более подробному рассмотрению подзадач.

### *Нормализация исследуемой области*

Первым шагом для проведения сравнения и поиска среди множества контуров на профилограммах будет их нормализация относительно эталона. Нормализация для данного случая заключается в корректировке угла поворота изображения. При этом корректировка масштаба изображения не требуется – на этапе формирования изображения системой технического зрения масштаб задается параметрами объектива и параметрами фотоматрицы, а при формировании профилограммы – исходя из заранее задаваемого оператором шага сканирования (размера пиксела). Угол поворота, в свою очередь, может варьироваться из-за влияния внешних факторов, возникновение которых допускается при размещении образца на платформе профилометра.

Для осуществления операции рассматривалось два подхода: вычисление дескрипторов ключевых точек и итерационный алгоритм совмещения контуров с неравномерным шагом дискретизации. Дескриптором ключевой точки называется числовой вектор, характеризующий особенности изображения в ее окрестностях. После вычисления дескрипторов на анализируемом и эталонном изображении производится их сравнение, по результатам которого возможно отрегулировать угол поворота анализируемого изображения. Итерационный алгоритм же заключается в представлении контуров в полярной системе координат с последующим совмещением и дискретизацией второго контура на шаг первого, после чего следует обратный перевод обоих контуров к декартовой системе координат. Посредством совмещения в полярных координатах устраняется угол поворота, что и является целью на данном шаге, которая достигается даже при отсутствии ключевых точек.

При сравнении обоих подходов была взята во внимание сложность математического аппарата, присущая итерационному алгоритму совмещения, которая может негативно сказаться на скорости работы алгоритма в целом. Также опытным путем было установлено, что даже при анализе контуров простых фигур дескрипторы ключевых точек вычисляются должным образом, что обеспечивает устранение нежелательного для дальнейшего анализа угла поворота. Среди алгоритмов вычисления дескрипторов особых точек был выбран ORB, как один из самых быстрых и эффективных, сочетающий в себе идеи алгоритмов FAST и BRIEF [2–4], а также не имеющий ограничения на коммерческое использование, в отличие, например, от SIFT. На рис. 1 приведен пример сопоставления дескрипторов. Анализируемыми изображениями являются профилограммы, снятые со специально созданного фрезерованием образца (справа – эталон, слева – исследуемая область).

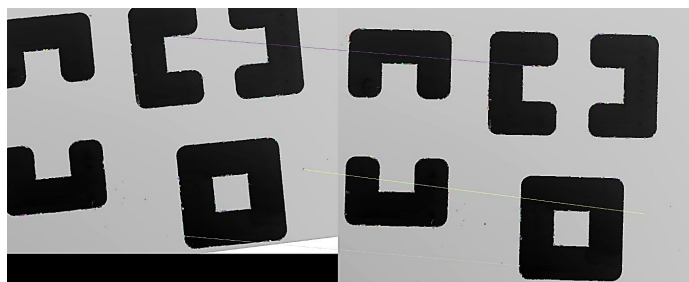


Рис. 1. Сопоставление дескрипторов особых точек

### *Детектирование границ*

Для выделения контуров выбран детектор границ Канни. Его преимуществом является невосприимчивость к шуму на изображении, в отличие от таких алгоритмов, как оператор Робертса или Собеля. Алгоритм Канни состоит из следующих шагов: размытие исходного изображения с помощью функции Гаусса; поиск градиента, по максимальному значению которого выделяются границы; подавление не-максимумов, для которого устанавливаются пороговые значения.

На рис. 2 представлен результат работы детектора границ Канни для рассматриваемого ранее тестового образца. Также стоит обратить внимание на угол поворота исследуемой области, который был получен в результате нормализации, описанной выше.

Чтобы иметь возможность проверки выделенных контуров между собой на совпадение, можно пойти по пути сравнения свойств контуров (длина, площадь), однако, нет гарантии, что на исследуемых объектах не будут находиться контуры с одинаковыми характеристиками длины или площади.

Исходя из постановки задачи, где в условиях серийного производства в обязательном порядке присутствует тестовый элемент с уникальной формой, мы можем производить сравнение, исходя из этого условия, оценивая форму искомого контура. Для реализации данной идеи подойдет цепной код Фримена, идея которого заключается в представлении границы в виде последовательности отрезков прямых линий установленной длины и направления, которые кодируются определенными значениями, исходя из установленного правила, как показано на рис. 3. Таким образом, последовательно обходя контур, формируется его цепной код, как показано на рис. 4.

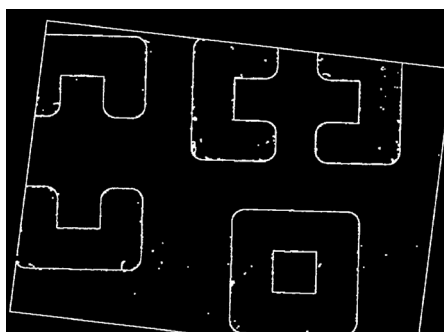


Рис. 2. Результат работы детектора границ Канни

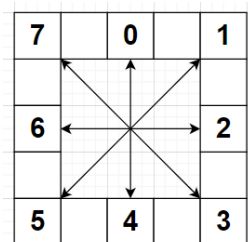


Рис. 3. Соответствие направлений отрезков и их кодировки

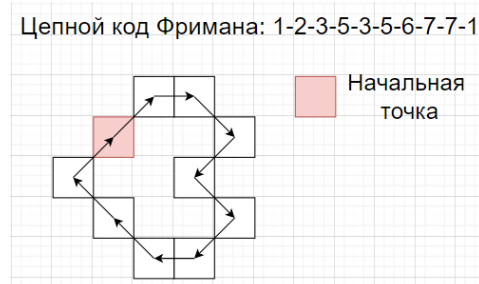


Рис. 4. Формирование цепного кода

### *Поиск в соответствии с эталоном*

После поиска границ детектором Канни, информация о них хранится в виде множества последовательно представленных координат точек, анализируя изменения которых производилось составление цепного кода Фримана. Исходя из подсчета количества последовательных совпадений цепного кода эталонного и анализируемого образца, производится определение искомого контура (имеющего наибольший показатель совпадения).

### *Результаты*

При принятии выделенной на рис. 5 белым квадратом фигуры как эталонной, результатом работы описанного алгоритма является успешное обнаружение искомого контура, представленное выделением данного контура, как показано на рис. 6, а также описывающей его окружностью, координаты центра которой сохранены для возможности дальнейшей их обработки.

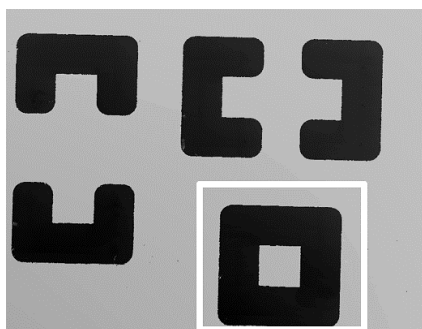


Рис. 5. Профилограмма с выделенным эталонным объектом

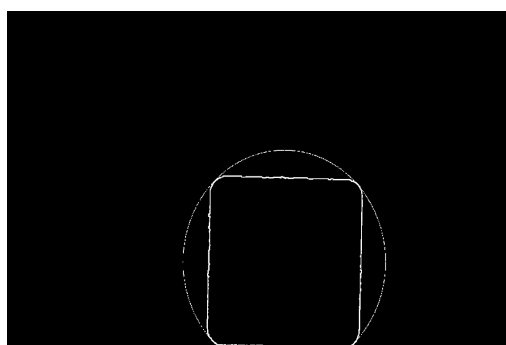


Рис. 6. Результат работы алгоритма по поиску контура

## ***Обсуждение***

Результаты исследования и разработки алгоритма поиска контуров на изображениях, получаемых профилометром, демонстрируют достижение поставленной цели, однако, могут быть улучшены относительно времени, необходимого на выполнение алгоритма.

## ***Заключение***

Главная идея данной статьи заключается в разработке алгоритма, применимого к такой области решения задач, как поиск контуров на изображениях, получаемых с помощью профилометра, в условиях серийного производства, где существует необходимость в оптимизации работы оператора. Одним из направлений дальнейших исследований может являться повышение автоматизации получения информации о свойствах объектах при помощи профилометра.

## ***Благодарности***

Выражаем благодарность за поддержку исследования Институту автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, благодаря которой удалось осуществить разработку описанного в статье алгоритма.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кравчук М. А., Крайко С. Э., Шелег В. К. Определение шероховатости обработанной поверхности : методические указания – Минск : БНТУ, 2019. – 25 с.
2. Нахождение контуров и операции с ними [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://robocraft.ru/computervision/640> (дата обращения: 13.05.2024).
3. Маврин Е. М. Сравнение алгоритмов выделения контуров на цифровом изображении и выбор наилучшего алгоритма для реализации на ПЛИС // Вопросы науки и образования. – 2019. – №14 (61). – 14 с.
4. Диязитдинов Р. Р. Итерационный алгоритм совмещения контуров с неравномерным шагом дискретизации // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47. – № 1. – С. 102–111.

© К. А. Цирульникова, Д. Н. Катасонов, 2024