

Научная статья

УДК 004.932.2

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-2-41-48>

EDN:SCTROE



Интерактивная обработка изображений для робастного распознавания геометрических примитивов

Альфия Асхатовна Диязитдинова, a.diyazitdinova@psuti.ru

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Самара, 443010, Российская Федерация

Аннотация

Распознавание геометрических примитивов используется при обработке изображений для решения задач, связанных с машинным обучением, сокращением области анализа и уменьшением вычислительной сложности. Одной из проблем распознавания примитивов является зависимость результатов обработки от таких внешних факторов как: широкий диапазон изменения яркости, контрастности, наличие помех, посторонних объектов или загрязнения. Отдельной задачей является определение геометрического положения примитива на изображении, которое определяется смещением, поворотом и масштабом или параметрами более сложной математической модели трансформации. Интерактивный способ обработки позволяет обеспечить робастность к пространственно-яркостным искажениям и различным помехам.

Целью настоящей статьи является повышение качества распознавания геометрических примитивов на изображениях за счет интерактивной обработки.

Сущность предлагаемого решения заключается в проведении двух этапов: этап предварительной обработки в интерактивном режиме и этап оценки геометрических параметров примитива с автоматическим удалением импульсных помех. На первом этапе выбирается порог для детектирования контура примитива и ограничение области анализа (выбор фрагмента) на изображении. Определение этих параметров проводится с помощью графического интерфейса в интерактивном режиме (например, изменение порога детектирования практически мгновенно отображает распознанные контуры на изображении). На втором этапе в соответствии с формой примитива выделяется область интереса, что убирает импульсные помехи (контурные точки, не принадлежащие примитиву), а по точкам в области интереса оцениваются параметры примитива методом наименьших квадратов. Разработанный алгоритм **имеет реализацию** в виде программы с графическим интерфейсом. **Эксперименты** для проверки разработанного алгоритма показали удовлетворительное распознавание геометрического примитива «окружность» на различных типах изображений, содержащих дорожный знак, частицу полимерного геля, феррулу оптического адаптера. **Научная новизна** решения состоит в возможности распознавания примитивов, которое робастно к пространственно-яркостным преобразованиям (масштабу, смещениям, неравномерности яркости и т. д.) и другим помехам.

Теоретическая значимость состоит в расширении возможностей методов распознавания за счет интерактивного выбора параметров на этапе предобработки.

Практическая значимость заключается в упрощении алгоритмов обработки изображений, которые используются при решении прикладных задач (подготовки данных машинного обучения, обработка методами оптической метрологии), не требующих распознавания в режиме реального времени.

Ключевые слова: геометрический примитив, распознавание, робастность, интерактивный, изображение, контур

Ссылка для цитирования: Диязитдинова А.А. Интерактивная обработка изображений для робастного распознавания геометрических примитивов // Труды учебных заведений связи. 2025. Т. 11. № 2. С. 41–48. DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-2-41-48. EDN:SCTROE

Original article

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-2-41-48>

EDN:SCTROE

Interactive Image Processing for Robust Geometric Primitives Recognition

 Alphiya A. Diyazitdinova, a.diyazitdinova@psuti.ru

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
Samara, 443010, Russian Federation

Annotation

Relevance. Recognition of geometric primitives is used in image processing to solve problems related to the development of machine learning algorithms, reducing the analysis area and reducing computational complexity. One of the problems of primitives recognition is the resulting dependence from such external factors as: a wide range of changes in brightness, contrast and the interference caused by uneven lighting, foreign objects or pollution. A separate task is the geometric position estimation of the primitive in the image, which is defined by offsets, rotation and scale or parameters of a more complex mathematical transformation model. A wide class of tasks is not limited by the requirement of automatic processing in real time. Therefore, these problems can be solved by an interactive parameters setting. The interactive processing method ensures robustness to spatial-luminance distortions and various interferences.

The article purpose is to improve the quality of recognition of geometric primitives (using the example of a circle) in images through interactive (visually controlled by the operator) processing.

The proposed solution essence is two processing stages: the stage of pre-processing in interactive mode and the stage of estimating the geometric parameters of the primitive with automatic removal of impulse noise. At the first stage, a threshold is selected for detecting the contour of a primitive and limiting the analysis area (selecting a fragment) in the image. These parameters are determined by a graphical interface in interactive mode (for example, changing the detection threshold almost instantly displays recognized contours in the image). At the second stage, in accordance with the shape of the primitive, an area of interest is selected, which removes impulse noise (contour points that do not belong to the primitive), and the parameters of the primitive are estimated based on the point of the area of interest using the least squares method. The developed algorithm has an implementation as a program with a graphical interface. **Experiments** to test the developed algorithm showed satisfactory recognition of the geometric primitive "circle" on various types of images containing a road sign, a polymer gel particle, and an ferrule end face. **The scientific novelty** of the solution lies in the possibility of recognizing primitives, which is robust to spatial-brightness transformations (scale, displacements, brightness unevenness, etc.) and other noise.

The theoretical significance lies in expanding the capabilities of recognition methods (in particular, primitives such as "circles") through interactive selection of parameters at the preprocessing stage.

The practical significance lies in the simplicity of image processing algorithms that are used to solve applied problems (preparing machine learning data, processing by optical micrometry methods) that do not require real-time recognition.

Keywords: geometric primitive, recognition, robust, interactive, image, contour

For citation: Diyazitdinova A.A. Interactive Image Processing for Robust Geometric Primitives Recognition. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2025;11(2):41–48. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-2-41-48. EDN:SCTROE

1. Введение

Распознавание геометрических примитивов на изображении широко применяется при решении научных и прикладных задач. В системах автопи-

лотирования автомобильных средств геометрические примитивы соответствуют дорожным знакам [1, 2], в химической промышленности по изображениям с микроскопа оценивают концентрацию компонентов в растворах смесей [3, 4], в телеком-

муникациях по изображениям торцевых поверхностей оптических адаптеров принимаются решения о вносимом затухании мощности сигнала [5, 6] и т. д.

Общая схема распознавания геометрических примитивов заключается в предварительном детектировании контурных линий [7], делении изображения на фрагменты и вынесении решения о наличии или отсутствии геометрического примитива (или одного из нескольких возможных примитивов) на основе анализа контурных точек, содержащихся внутри фрагмента. Такая схема распознавания имеет множество особенностей, которые сильно влияют на результат.

Во-первых, детектирование контурных линий зависит от выбранного порога, по которому определяется, соответствует ли пиксель изображения контуру или не соответствует. На детектирование контуров влияет широкий диапазон изменения яркости, контрастности и наличия помех, обусловленных неравномерностью освещения, посторонними объектами и загрязнением.

Во-вторых, будет значительное количество фрагментов на изображении. Примитивы даже внутри одного изображения могут быть разного размера. Чтобы считывать геометрическое положение и размеры примитивов, которые определяются смещением, поворотом и масштабом или параметрами более сложной математической модели трансформации, необходимо анализировать фрагменты различных размеров, в том числе пересекающиеся между собой, так как внутри фрагмента может содержаться только часть примитивов, или наоборот, фрагмент захватывает не только примитив, но и «мешающие» контурные точки.

Эти особенности ведут к низкому качеству распознавания и предъявляют высокие требования к производительности вычислительной аппаратуры. Однако широкий класс прикладных задач не ограничен требованиями автоматического распознавания и обработкой в режиме реального времени. Проблема выбора порога для детектирования контуров и выбора области анализа может быть решена с помощью оператора (эксперта) интерактивным способом. Такой подход обеспечивает возможности разработки универсального алгоритма распознавания примитивов, робастного к пространственно-яркостным искажениям и различным помехам.

2. Обзор существующих работ

В работе [8] представлена методика распознавания отрезков прямых линий, формирующих схему контактных дорожек печатных плат. Основная особенность методики заключается в предварительной нормировке яркости изображения на

среднее значение и среднеквадратичное отклонение, что позволяет использовать одинаковый порог для детектирования контуров печатных плат. Методика ориентирована на обработку изображений, полученных в лабораторных условиях со стандартизированным освещением, поэтому использование ее для детектирования контуров на изображениях, снятых в условиях меняющейся освещенности, приводит к неудовлетворительным для практики результатам.

В работах [3, 4] рассматривается задача оптической микрометрии, в которой анализируется гранула полимера, снятая под микроскопом. Особенности обрабатываемых изображений являются:

- единственность объекта (гранулы полимера) на фото;
- наличие помех, возникающих из-за посторонних объектов.

Одной из основных проблем распознавания примитива, представляющего собой окружность, которая ограничивает гранулу, является «мешающие» контуры посторонних объектов. Решается она путем уменьшения размера изображения, на которых «мешающие контуры» перестают детектироваться (посторонние объекты много меньше гранул и с уменьшением размера становятся почти незаметными). Однако такой подход не является универсальным решением, которое могло бы обеспечить подавление контуров от загрязнений относительно крупных посторонних объектов.

В работах [5, 6] рассматривается задача распознавания границы «оболочка волокна-феррул» на изображениях торцевой поверхности оптического адаптера, которая приблизительно описывается окружностью. Для распознавания предложено интерактивным способом указывать четыре точки искомой границы, которые аппроксимируются по методу наименьших квадратов. Изображение торцевой поверхности получается в микроскопе в условиях стабильного освещения, что обеспечивает возможность использования заранее выбранного порога для детектирования контура. Недостатком предложенного способа является длительное время выбора точек и необходимость повторения процедуры, если точки были указаны с высокой погрешностью (точки не совпадают с искомой границей).

В работе [9] рассматривается задача сегментации изображений, в которой авторы утверждают, что автоматическое распознавание возможно построить для изображений объектов, полученных при определенных условиях освещенности и имеющих заранее известную сцену (например, однотипные объекты на однородном фоне), а сами геометрические объекты должны быть известны заранее и меняться в узком диапазоне. В противном случае обработка должна вестись интерак-

тивным образом – оператор должен выделить область анализа, тем самым обеспечивая стабильность результатов.

Таким образом, в существующих работах есть как утверждения, так и аргументы, приведенные в пользу необходимости использования интерактивной обработки изображений для получения качественного результата распознавания геометрических примитивов.

3. Описание процедуры интерактивной обработки и алгоритма распознавания

Интерактивная обработка позволяет решить две проблемы:

- выбор порога для детектирования контура геометрического примитива;
- ограничение области анализа на изображении.

На рисунках 1 и 2 показаны примеры влияния порога на детектирование контуров. При выборе низкого порога наблюдается значительное количество контурных точек, которые будут приводить к увеличению погрешности оценки геометрических размеров и положения примитивов (см. рисунки 1b и 2b). Порог, значение которого выбирается с учетом визуального контроля, позволяет достичь необходимого качества детектирования контуров, позволяющего проводить последующую автоматическую обработку (см. рисунки 1c и 2c).

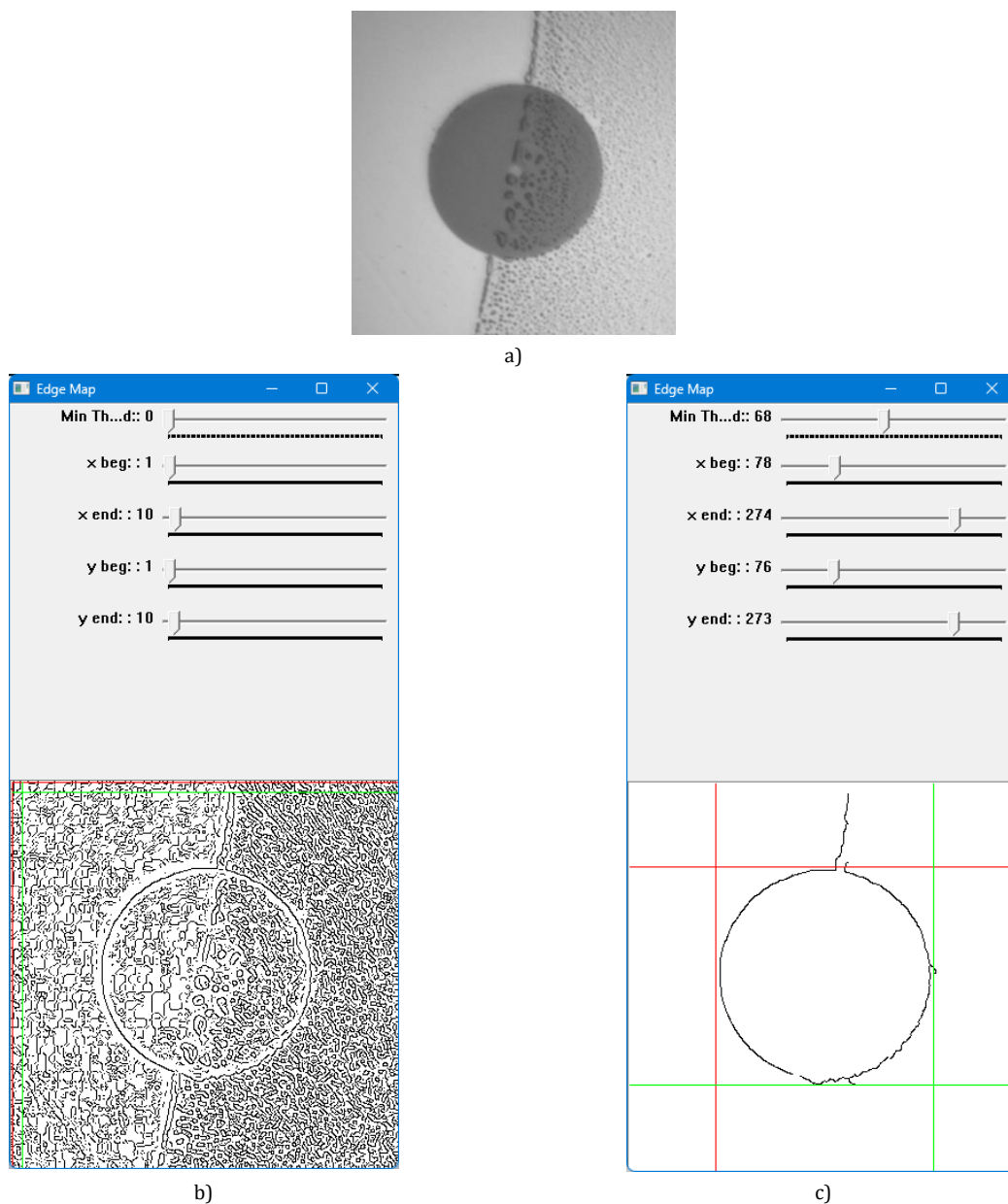
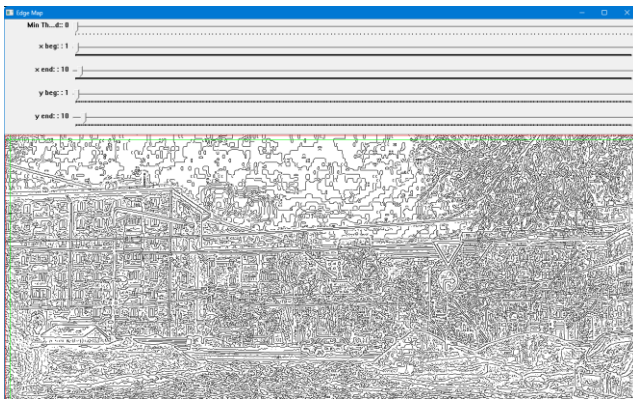


Рис. 1. Детектирование контура на изображении загрязненной торцевой поверхности оптического адаптера [10]: исходное изображение (a), контурные линии с низким порогом (b), с порогом, выбранным оператором (c)

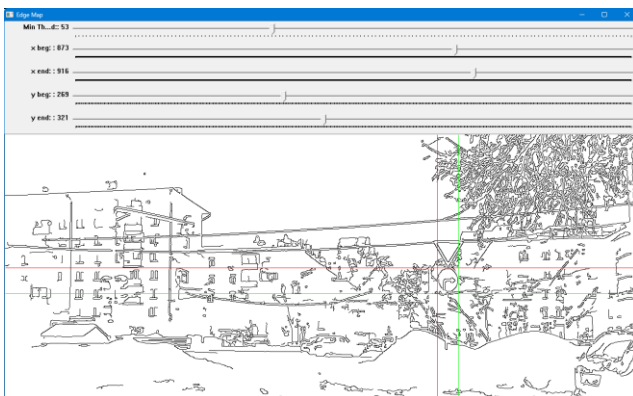
Fig. 1. Contour Detection on Dirty Ferrule End Face Image [10]: Source (a), Contour by Low Threshold (b), by Operator Defined Threshold (c)



a)



b)



c)

Рис. 2. Детектирование контура дорожного знака с изображения видеорегистратора [11]: исходное изображение (а), контурные линии с низким порогом (б), с порогом, выбранным оператором (с)

Fig. 2. Road Sign Contour Detection from Digital Video Recorder Image [11]: Source (a), Contour by Low Threshold (b), by Operator Defined Threshold (c)

В работе рассматривается распознавание геометрических примитивов, представляющих собой окружности. Алгоритм распознавания примитива разрабатывался с учетом его формы.

Исходными данными для работы алгоритма являются:

- 1) изображение с детектированными контурами;
- 2) прямоугольная область, определяемая двумя точками (x_b, y_b) , (x_e, y_e) (рисунок 3).

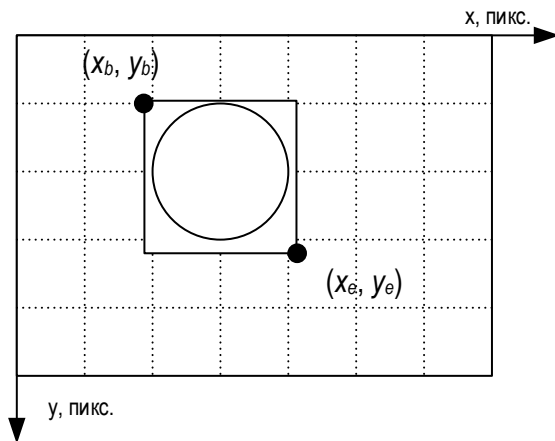


Рис. 3. Схематичное описание прямоугольной области с примитивом

Fig. 3. Rectangular Area with a Primitive

Алгоритм состоит из трех этапов.

Этап 1. Расчет координат четырех точек (рисунок 4):

$$\begin{aligned} x_1 &= (x_b + x_e) / 2 & y_1 &= y_b \\ x_2 &= x_e & y_2 &= (y_b + y_e) / 2 \\ x_3 &= (x_b + x_e) / 2 & y_3 &= y_e \\ x_4 &= x_b & y_4 &= (y_b + y_e) / 2 \end{aligned}$$

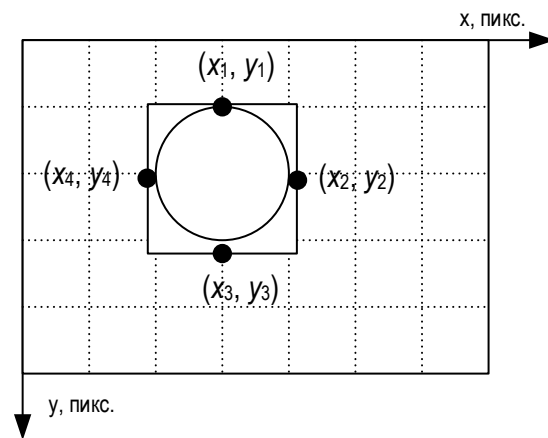


Рис. 4. Расположение точек $(x_1, y_1) \dots (x_4, y_4)$ относительно искомого примитива

Fig. 4. Location of Points $(x_1, y_1) \dots (x_4, y_4)$ Relatively a Primitive

Этап 2. Аппроксимация этих точек окружностью по методу наименьших квадратов [12].

Координаты центра и радиус окружности определяются по формулам:

$$x_0 = \frac{W_1 \cdot N_{22} - W_2 \cdot N_{12}}{\det(N)}, \tag{1}$$

$$y_0 = \frac{W_1 \cdot N_{11} - W_2 \cdot N_{21}}{\det(N)}, \tag{2}$$

$$R^2 = x_0^2 + y_0^2 + (S_{xx} + S_{yy} - 2(x_0 S_x + y_0 S_y)/n), \tag{3}$$

где $N = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{bmatrix}$, $\det(N) = N_{11} \cdot N_{22} - N_{12} \cdot N_{21}$,

$$\begin{aligned}
 N_{11} &= 2(S_{xx} - (S_x \cdot S_x) / n), & N_{12} &= 2(S_{xy} - (S_x \cdot S_y) / n), \\
 N_{21} &= 2(S_{xy} - (S_x \cdot S_y) / n), & N_{22} &= 2(S_{yy} - (S_y \cdot S_y) / n), \\
 W_1 &= S_{xxx} + S_{xyy} - (S_{xx} \cdot S_x) / n - (S_{yy} \cdot S_y) / n, \\
 W_2 &= S_{xxy} + S_{yyx} - (S_{xx} \cdot S_y) / n - (S_{yy} \cdot S_x) / n, \\
 S_x &= \sum_{i=1}^n x_i, & S_y &= \sum_{i=1}^n y_i \\
 S_{xx} &= \sum_{i=1}^n x_i^2, & S_{yy} &= \sum_{i=1}^n y_i^2, & S_{xy} &= \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \\
 S_{xxx} &= \sum_{i=1}^n x_i^3, & S_{yyy} &= \sum_{i=1}^n y_i^3, & S_{xxy} &= \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i, \\
 & & S_{xyy} &= \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i^2,
 \end{aligned}$$

n – количество точек ($n = 4$).

Этап 3. Уточнение параметров окружности.

Для уточнения использовались точки контура, которые удовлетворяют неравенству:

$$(k \cdot R)^2 \leq (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq (m \cdot R)^2, \quad (4)$$

где k, m – множители, определяющие область вокруг окружности (рисунок 5).

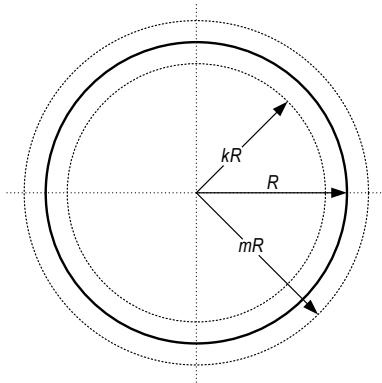


Рис. 5. Геометрический смысл множителей k, m

Fig. 5. Geometric Sense of Parameters k, m

Множители выбирались экспериментально. При проведении экспериментов $k = 0,95, m = 1,01$. Точки контура, удовлетворяющие неравенству (4), аппроксимируются окружностью по выражениям (1–3). Рассчитанные параметры определяют положение и размеры искомого геометрического примитива.

4. Результаты

Алгоритм был апробирован на трех видах изображений (рисунок 6) для распознавания примитивов, ограничивающих:

- 1) дорожный знак (см. рисунок 2);
- 2) частицу полимерного геля [4];
- 3) торцевую поверхность феррула (см. рисунок 1).

Как можно видеть, алгоритм распознавания, дополненный этапом интерактивного выбора порогов и области анализа, позволяет решать задачу робастного распознавания геометрических примитивов, отличающихся размеров, на различных видах изображений, полученных в условиях широкого диапазона изменения яркости, контрастности, неравномерности освещенности и при влиянии мешающих факторов (посторонних объектов, загрязнениях и т. д.).

Также интерактивная обработка обеспечивает контроль в режиме реального времени, и в случае неудовлетворительного распознавания процедуру можно повторить. Это удобно не только оператору, но и разработчику. Так как нет необходимости проводить глубокий анализ причин, которые привели к таким результатам.

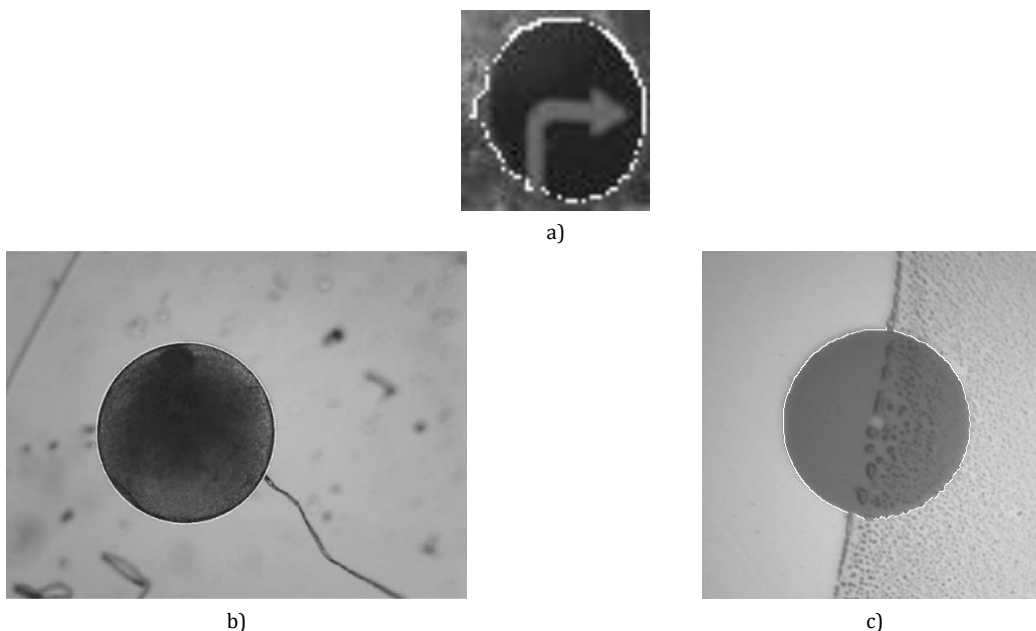


Рис. 6. Примеры распознавания геометрических примитивов для дорожного знака (а), частицы полимерного геля (б) и феррула (с)

Fig. 6. Geometric Primitives Recognition of Road Sign (a), Polymer Gel (b) and Ferrule End Face (c)

Заключение

Интерактивный способ позволяет существенно упростить алгоритмы обработки изображений, которые используются при решении прикладных задач, не требующих автоматического распознавания в режиме реального времени. Интерактивный способ позволяет практически мгновенно контролировать визуальные результаты, что обеспечивает удобство взаимодействия оператора с программой обработки. Преимущество предложенного подхода заключается в сокращении времени разработки, отладки и последующей модернизации программных средств, ориентированных

на решение прикладных задач, связанных с подготовкой данных для машинного обучения, вынесением решений методами оптической микрометрии (по изображениям с микроскопов), широко применяемых в телекоммуникациях и химической промышленности.

Дальнейшее исследование по данной теме будет вестись в направлении увеличения видов примитивов (окружности, треугольники, прямоугольники и т. д.), а также совместного применения с алгоритмами, повышающими стабильность оценки параметров, и алгоритмами машинного обучения для сокращения времени поиска областей анализа.

Список источников

1. Шульга Т.Э., Солопекин Д.А. Распознавание дорожных знаков российского образца с использованием нейронных сетей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. № 2. С. 85–94. DOI:10.24143/2072-9502-2024-2-85-94. EDN:LTLMXA
2. Rajesh R., Rajeev K., Suchithra K., Lekhesh V.P., Gopakumar V., Ragesh N.K. Coherence vector of Oriented Gradients for traffic sign recognition using Neural Networks // Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (San Jose, USA, 31 July – 05 August 2011). IEEE, 2011. PP. 907–910. DOI:10.1109/IJCNN.2011.6033318. EDN:PKQGGB
3. Атавуллаева Ш.Ш., Ферাপонтов Н.Б., Тротов Х.Т., Турсунова Г.Х., Джуряева Р.А. Определение состава растворов смесей электролитов методом оптической микрометрии // Universum: химия и биология. 2024. № 11-2(125). С. 46–51. DOI:10.32743/UniChem.2024.125.11.18355. EDN:HYSJJG
4. Токмачев М.Г. Методика оценки объема гранулы полимерного геля в оптической микрометрии // Компьютерная оптика. 2023. Т. 47. № 6. С. 968–971. DOI:10.18287/2412-6179-CO-1271. EDN:OJTKGA
5. Bourdine A.V., Pashin S.S., Zaitseva E.S., Vasilets A.A., Antonov S.A. Fast and simple method for estimation of the insertion loss at the connection of singlemode optical fibers with contaminated ferrule end faces // Proceedings of the XVIIth International Scientific and Technical Conference "Optical Technologies for Telecommunications" (Kazan, Russian Federation, 19–21 November 2019). SPIE, 2020. Vol. 11516. P. 1151610. DOI:10.1117/12.2566456. EDN:GGNEOJ
6. Пашин С.С. Исследование потенциальных возможностей оценивания коэффициента передачи основной моды на основе анализа перекрытия радиального распределения полей в дискретном представлении // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19. № 2. С. 172–178. DOI:10.18469/ikt.2021.19.2.05. EDN:QIKRUK
7. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8. Iss. 6. PP. 679–698. DOI:10.1109/TPAMI.1986.4767851
8. Chochia P.A. Image segmentation via contour tracking in application to the analysis of the photographs of electronic microcircuits // Journal of Communications Technology and Electronics. 2010. Vol. 55. Iss. 12. PP. 1466–1473. DOI:10.1134/S1064226910120193
9. Boykov Y., Jolly M.-P. Interactive Organ Segmentation Using Graph Cuts // Proceedings of the 3rd International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 2000, Pittsburgh, USA, 11–14 October 2000). Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000. Vol. 1935. PP. 276–286. DOI:10.1007/978-3-540-40899-4_28
10. Пашин С.С. Разработка методов контроля параметров передачи разъемных соединений оптических волокон кабелей связи. Дис. ... канд. техн. наук. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. 221 с. EDN:KBOFZL
11. Konushin A., Shakhuro V. Traffic sign recognition // Graphics and Media Lab. UTL: <https://graphics.cs.msu.ru/projects/traffic-sign-recognition.html> (дата обращения 05.01.2025)
12. Каретин А.Н. МНК для аппроксимации данных окружностью. 2010. URL: https://mykaralw.narod.ru/articles/mnk_circle.pdf (дата обращения 05.01.2025)

References

1. Shulga T.E., Solopekin D.A. Recognition of Russian-style road signs using neural networks. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2024;2:85–94. (in Russ.) DOI:10.24143/2072-9502-2024-2-85-94. EDN:LTLMXA
2. Rajesh R., Rajeev K., Suchithra K., Lekhesh V.P., Gopakumar V., Ragesh N.K. Coherence vector of Oriented Gradients for traffic sign recognition using Neural Networks. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 31 July – 05 August 2011, San Jose, USA*. IEEE, 2011. p.907–910. DOI:10.1109/IJCNN.2011.6033318. EDN:PKQGGB
3. Atavullaeva Sh., Ferapontov N., Trobov Kh., Tursunova G., Djuraeva R. Determination of the composition of solutions of electrolyte mixtures by optical pyrometry. *Universum: Chemistry and Biology*. 2024;11-2(125): 46–51 (in Russ.) DOI:10.32743/UniChem.2024.125.11.18355. EDN:HYSJJG

4. Tokmachev M.G. A method for estimating the polymer gel granule volume by an optical technique. *Computer Optics*. 2023;47(6):968–971. (in Russ.) DOI:10.18287/2412-6179-CO-1271. EDN:OJTKGA
5. Bourdine A.V., Pashin S.S., Zaitseva E.S., Vasilets A.A., Antonov S.A. Fast and simple method for estimation of the insertion loss at the connection of singlemode optical fibers with contaminated ferrule end faces. *Proceedings of the XVIIth International Scientific and Technical Conference "Optical Technologies for Telecommunications", 19–21 November 2019, Kazan, Russian Federation, vol.11516*. SPIE; 2020. P. 1151610. DOI:10.1117/12.2566456. EDN:GGNEOJ
6. Pashin S.S. Research potential possibilities of estimating the basic mode transmission coefficient based on analysis overlapping of the radial distribution fields in discrete representation. *Infocommunication Technologies*. 2021;19(2):172–178. (in Russ.) DOI:10.18469/ikt.2021.19.2.05. EDN:QIKRUK
7. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986:PAMI-8(6):679–698. DOI:10.1109/TPAMI.1986.4767851
8. Chochia P.A. Image segmentation via contour tracking in application to the analysis of the photographs of electronic microcircuits. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2010;55(12):1466–1473. DOI:10.1134/S1064226910120193
9. Boykov Y., Jolly M.-P. Interactive Organ Segmentation Using Graph Cuts. *Proceedings of the 3rd International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, MICCAI 2000, 11–14 October 2000, Pittsburgh, USA. Lecture Notes in Computer Science, vol.1935*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000. p.276–286. DOI:10.1007/978-3-540-40899-4_28
10. Pashin S.S. *Development of methods for monitoring transmission parameters of detachable connections of optical fibers of communication cables*. PhD Thesis. Samara: Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics Publ.; 2022, 221 p. (in Russ.) EDN:KBOFZL
11. Konushin A., Shakhuro V. Traffic sign recognition. *Graphics and Media Lab*. (in Russ.) URL: <https://graphics.cs.msu.ru/projects/traffic-sign-recognition.html> [Accessed 05.01.2025]
12. Karetin A.N. *MNC for approximation of data by a circle*. 2010. (in Russ.) URL: https://mykaralw.narod.ru/articles/mnk_circle.pdf [Accessed 05.01.2025]


Статья поступила в редакцию 03.02.2025; одобрена после рецензирования 13.02.2025; принята к публикации 28.03.2025.

The article was submitted 03.02.2025; approved after reviewing 13.02.2025; accepted for publication 28.03.2025.

Информация об авторе:

**ДИЯЗИТДИНОВА
Альфия Асхатовна**

кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики

 <https://orcid.org/0000-0001-8940-4543>

Автор сообщает об отсутствии конфликтов интересов.

The author declares no conflicts of interests.