

Методика автоматической сегментации зрачка в офтальмологических изображениях с аномалиями

С. В. Комкова¹ ✉

¹ Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых ул. Орловская, д. 23, Владимирская область, г. Муром 602264, Российская Федерация

✉ e-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru

Резюме

Цель исследования – разработка методики сегментации зрачков с патологическими изменениями формы, преодолевающей ограничения традиционных методов на основе поиска окружностей. Ключевой задачей является преодоление фундаментального ограничения традиционных алгоритмов, которые предполагают, что зрачок имеет форму, близкую к кругу, и оказываются несостоятельными при работе с такими аномалиями, как синехии, приводящие к овальным, звездообразным и другим сложным контурам.

Методы. В работе предложена методика автоматизированной сегментации зрачка, включающая последовательную обработку изображения с применением следующих ключевых этапов: предварительную фильтрацию (КИХ-фильтрация), коррекцию освещенности, логарифмическое и степенное преобразование, морфологическую обработку и удаление артефактов. Для сегментации патологически измененных зрачков использована комбинация адаптивных алгоритмов, позволяющая эффективно обрабатывать зрачки некруглой формы (овальные, звездообразные и др.), с которыми не справляются традиционные методы, основанные на поиске окружностей (преобразование Хафа, DIDO и др.).

Результаты. Экспериментальная оценка проводилась на специализированной базе офтальмологических изображений с различными деформациями. Предложенная методика продемонстрировала точность сегментации, превышающую 90%, для зрачков с деформациями, что существенно выше результатов, показанных классическими методами, такими как преобразование Хафа, DIDO. Детальный анализ показал, что для зрачков овальной формы достигнута точность 92,3%, для наиболее сложных случаев – звездообразных зрачков – 89,7%, подтверждая работоспособность методики.

Заключение. Разработанная методика доказала свою эффективность для надежной сегментации патологически измененных зрачков, с которыми не справляются стандартные подходы. Высокая точность открывает возможности для ее практического применения в двух ключевых областях: в высоконадежных системах биометрической идентификации, где деформации зрачка являются естественным шумом, и в системах поддержки медицинской диагностики для количественной оценки патологий. Перспективным направлением дальнейших исследований является адаптация методологического подхода для сегментации других офтальмологических структур с нерегулярными границами, таких как птеригиум.

Ключевые слова: сегментация зрачка; радужная оболочка; офтальмологические патологии; синехия; логарифмическое преобразование; степенное преобразование; морфологическая обработка; преобразование Хафа; биометрическая идентификация.

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

Для цитирования: Комкова С. В. Методика автоматической сегментации зрачка в офтальмологических изображениях с аномалиями // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2026. Т. 16, № 1. С. 64–76. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-1-64-76>

Поступила в редакцию 15.01.2026

Подписана в печать 12.02.2026

Опубликована 31.03.2026

Method for automatic pupil segmentation in ophthalmological images with anomalies

Svetlana V. Komkova¹ ✉

¹ Murom Institute (branch) of Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov Vladimir State University
23 Orlovskaya Str., Vladimir region, Murom 602264, Russian Federation

✉ e-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop a technique for segmentation of pupils with pathological changes in shape, overcoming the limitations of traditional methods based on circle search. The key task is to overcome the fundamental limitation of traditional algorithms, which assume that the pupil has a shape close to a circle and are untenable when dealing with anomalies such as synechia, leading to oval, star-shaped and other complex contours.

Methods. The paper proposes a technique for automated pupil segmentation, which includes sequential image processing using the following key steps: pre-filtering (FIR filtering), illumination correction, logarithmic and power transformations, morphological processing and removal of artifacts. To segment pathologically altered pupils, a combination of adaptive algorithms was used, which makes it possible to effectively process non-circular pupils (oval, star-shaped, etc.), which traditional methods based on circle search (Hough transform, DIDO, etc.) cannot cope with.

Results. The experimental evaluation was carried out on a specialized database of ophthalmological images with various deformations. The proposed technique demonstrated segmentation accuracy exceeding 90% for pupils with deformations, which is significantly higher than the results shown by classical methods such as the Hough transform and DIDO. Detailed analysis showed that 92.3% accuracy was achieved for oval-shaped pupils, 89.7% for the most difficult cases of star-shaped pupils, confirming the efficiency of the technique.

Conclusion. The developed technique has proven its effectiveness for reliable segmentation of pathologically altered pupils, which standard approaches cannot cope with. High accuracy opens up opportunities for its practical application in two key areas: in highly reliable biometric identification systems, where pupil deformities are natural noise, and in medical diagnostic support systems for the quantification of pathologies. A promising area of further research is the adaptation of the methodological approach for segmentation of other ophthalmological structures with irregular boundaries, such as the pterygium.

Keywords: pupil segmentation; iris; ophthalmological pathologies; synechia; logarithmic transformation; power transformation; morphological processing; Hough transform; biometric identification.

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

For citation: Komkova S.V. Method for automatic pupil segmentation in ophthalmological images with anomalies. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2026;16(1):64–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-1-64-76>

Received 15.01.2026

Accepted 12.02.2026

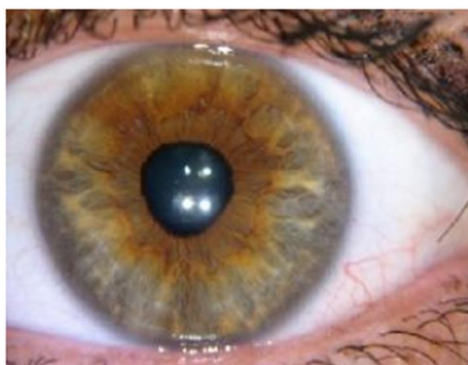
Published 31.03.2026

Введение

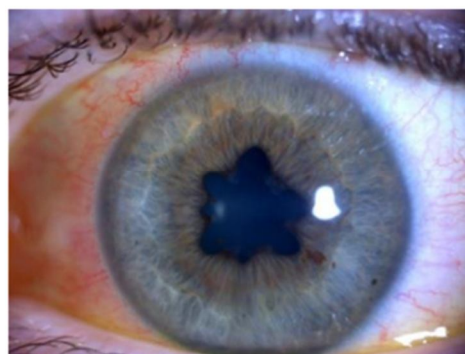
Точное выделение зрачка и радужной оболочки играет ключевую роль в системах распознавания радужной оболочки, поскольку от этого зависит получение достоверных данных и, следовательно, качество идентификации. Затруднения возникают, когда из-за различных заболеваний или инфекций зрачок теряет однородность и приобретает аномальную форму, что приводит к неточностям в процессе сегментации. Данная работа сфокусирована на проблеме сегментирования именно таких, патологически измененных зрачков. Предлагаемый в статье метод позволяет добиться более высокой точности вы-

деления зрачка по сравнению с существующими подходами, такими как DIDO и СНТ [1].

Рисунок 1 демонстрирует разнообразие аномальных форм зрачка. В частности, зрачки на изображениях 1, а и 1, б отклоняются от идеальной окружности. Зрачок на рисунке 1, а имеет слегка деформированную овальную форму, а на рисунке 1, б визуально напоминает звезду. Подобные отклонения от круглой формы значительно усложняют задачу точной сегментации, особенно при использовании алгоритмов, полагающихся на круговую геометрию, таких как круговое преобразование Хафа (СНТ) или метод DIDO [2].



а



б

Рис. 1. Изображение некруглого зрачка – зрачка овальной формы (а) и зрачка в форме звезды (б)

Fig. 1. Image of a non-circular pupil – an oval-shaped pupil (a) and a star-shaped pupil (b)

Материалы и методы

В основе данной методики лежит задача автоматизированной сегмента-

ции области зрачка. Реализация включает в себя последовательную обработку изображения, состоящую из следующих этапов:

1. Получение исходного изображения [3].

2. Фильтрация для снижения уровня шума.

3. Устранение неравномерной освещенности [4].

4. Применение логарифмического преобразования [5].

5. Экспоненциальное (степенное) преобразование.

6. Морфологическая обработка для улучшения формы и структуры [6].

7. Удаление бинарных артефактов [7].

8. Выделение зрачка.

Общая схема предложенной методики, начиная с исходного изображения и заканчивая конечной сегментацией зрачка, представлена ниже (рис. 2).

Этап 1. Фильтрация

Цель фильтрации – удалить шум с изображения. Для его удаления применяется двумерная фильтрация с конечной импульсной характеристикой (КИХ) [8]. Двумерная КИХ-фильтрация – это операция свертки между изображением и двумерным ядром. Результатом является новое изображение, в котором значение каждого пикселя является взвешенной суммой значений соседних пикселей в исходном изображении, где веса определяются ядром фильтра.

Пусть:

– $I(x, y)$ – значение пикселя в исходном изображении с координатами (x, y) ;

– $K(i, j)$ – значение элемента ядра фильтра с координатами (i, j) . Размер

ядра $(2M+1) \cdot (2N+1)$, где M и N – целые числа;

– $O(x, y)$ – значение пикселя в отфильтрованном изображении с координатами (x, y) .

Процесс фильтрации можно выразить следующим образом:

$$O(x, y) = \sum_{i=-M} \sum_{j=-N} I(x-i, y-j) \cdot K(i, j),$$

где суммирование происходит по всем элементам ядра фильтра.

На рисунке 3 показана разница между исходным изображением (рис. 3, а) и результатом работы 2D КИХ-фильтра (рис. 3, б).

На рисунке 4 представлены увеличенные фрагменты рисунка 3, демонстрирующие детали: рисунок 4, а показывает исходный зрачок до предварительной обработки; рисунок 4, б представляет зрачок после фильтрации.

Этап 2. Устранение неравномерной освещенности

Неравномерное освещение может негативно повлиять на точность выделения зрачка, поэтому на начальном этапе сегментации его необходимо устранить. В предлагаемой методике для этого используется логическая инверсия пикселей [9]:

$$I_{inv} = imcomplement(I_{bin}),$$

где I_{bin} – исходное бинарное изображение; I_{inv} – инвертированное изображение (пиксели со значением 0 заменяются на 1, и наоборот). При этом для засветки характерны пиксели с высоким значением яркости:

$$\text{Засветка} = \{(x, y) | I(x, y) \geq T\},$$

$$T \in [240 - 255],$$

где $I(x, y)$ – интенсивность пикселя в позиции (x, y) ; T – пороговое значение яркости.



Рис. 2. Общая схема методики

Fig. 2. General scheme of the methodology

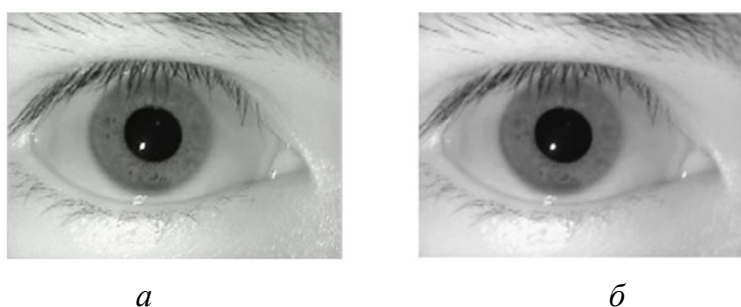


Рис. 3. Изображение из MMU1: *a* – исходное изображение; *б* – фильтрованное изображение

Fig. 3. Image from MMU1: *a* – original image; *b* – image filtering

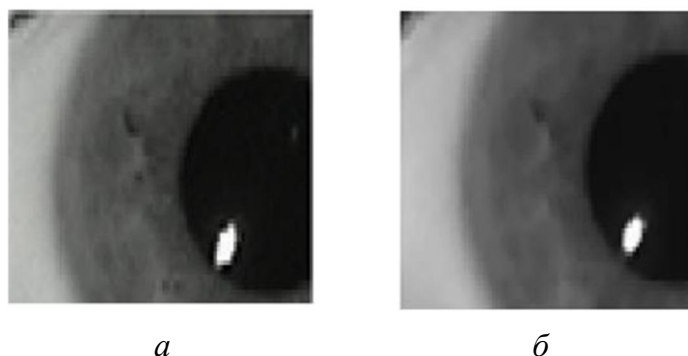


Рис. 4. Увеличенный фрагмент рисунка 3: *a* – исходное изображение; *б* – фильтрованное изображение

Fig. 4. Zoomed-in section of fig 3: *a* – original image; *b* – image filtering

Рассмотрим изображение после удаления засветки (рис. 5).

Этап 3. Логарифмическое преобразование

Логарифмическое преобразование используется для уменьшения контраста в более ярких областях. Устраняются такие элементы, как бровь, склера и часть текстуры века, однако ресницы

обычно остаются. Данное преобразование работает с использованием логарифмической функции [10]:

$$s = c \cdot \log(1 + r),$$

где r – представляет обрабатываемое изображение; s – выходное изображение; c – постоянная величина.

Рассмотрим результат логарифмического преобразования (рис. 6).

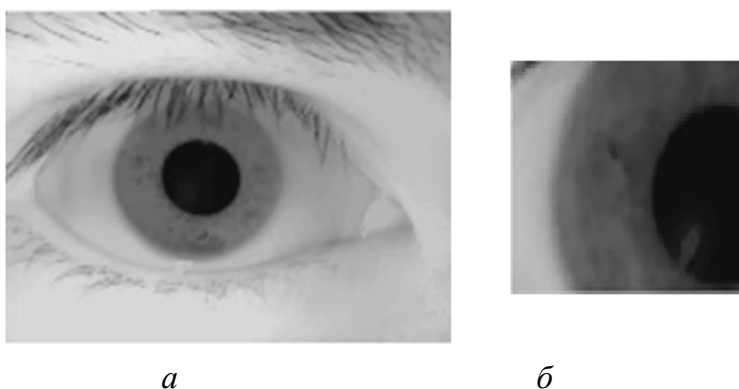


Рис. 5. Изображение после удаления засветки: *а* – исходное изображение; *б* – увеличенный фрагмент
Fig. 5. Image after illumination removal: *a* – original image; *b* – zoomed-in section.

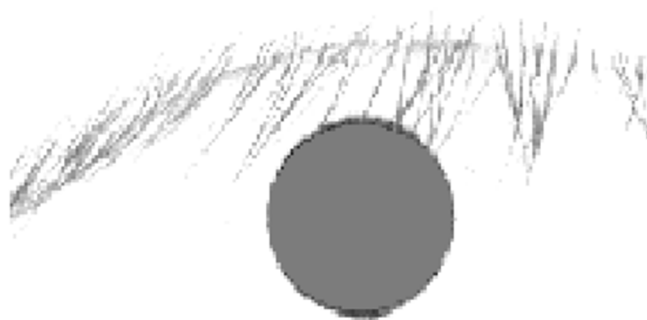


Рис. 6. Результат логарифмического преобразования
Fig. 6. Output of the logarithmic transformation

Этап 4. Экспоненциальное (степенное) преобразование

Степенное преобразование (PLT) [11] описывается формулой

$$s = c \cdot r^{\gamma},$$

где s – результирующее изображение; r – исходное изображение; c и γ – положительные константы, регулирующие преобразование.

Этот метод позволяет управлять контрастом в светлых участках изображения:

– чем выше значение γ , тем темнее становится изображение;

– чем ниже γ , тем ярче получается результат (рис. 7).

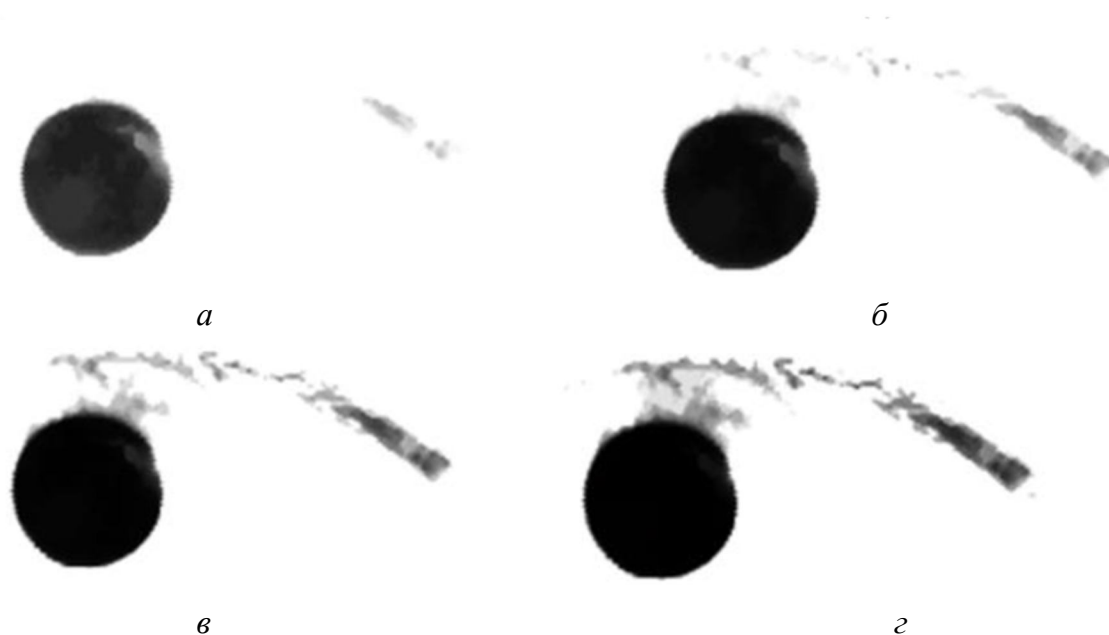


Рис. 7. Результаты улучшения изображения зрачка методом PLT с различными параметрами: а – $\gamma=2$; б – $\gamma=3$; в – $\gamma=4$; г – $\gamma=5$

Fig. 7. Results of pupil image enhancement using the PLT method with different parameters: а – $\gamma=2$; б – $\gamma=3$; в – $\gamma=4$; г – $\gamma=5$

Таким образом, варьируя параметр γ , можно гибко настраивать визуальные характеристики изображения.

Этап 5. Морфологическая обработка

Первоначально методы морфологической обработки применялись исключительно к бинарным изображениям, но впоследствии их адаптировали и для работы с полутоновыми. В данной методике задействованы фундаментальные морфологические преобразования – расширение [12] и эрозия [13].

Суть расширения заключается в наращивании границ объектов за счет добавления пикселей. Эрозия, являясь обратной операцией, истончает контуры, удаляя крайние пиксели. Имен-

но свойство эрозии уменьшать объекты позволяет эффективно устранять такие элементы, как брови, при обработке черно-белых изображений (рис. 8, а).

Этап 6. Удаление бинарных артефактов

В данной работе применяется обработка бинарных изображений для фильтрации мелких объектов [14]. Алгоритм удаляет группы пикселей, размер которых меньше заданного порогового значения. Для этого анализируются все связанные области (компоненты) на изображении и автоматически удаляются объекты, содержащие меньше пикселей, чем указано в параметрах.



Рис. 8. Результаты обработки: а – морфологическая обработка; б – удаление бинарных артефактов
Fig. 8. Processing results: а – morphological processing; б – binary artifacts removal

Данный этап обработки существенно улучшает качество изображения, подготавливая его для последующего анализа и распознавания. Метод особенно эффективен для устранения случайных помех и мелких нерелевантных элементов (рис. 8, б).

Этап 7. Выделение зрачка

Для выделения области зрачка оставшиеся пиксели бинарного изображения преобразуются в маску [15]. Эта маска затем накладывается на исходное

изображение с целью выделения только значимых областей и удаления нерелевантных участков. Процесс включает в себя:

1. Создание маски из обработанного бинарного изображения [16]:

$$M(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } B(x, y) \in \text{целевые объекты,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $B(x, y)$ – бинарное изображение после обработки; $M(x, y)$ – результирующая маска.



Рис. 9. Сегментация зрачка

Fig. 9. Pupil segmentation

2. Наложение маски на оригинальное изображение [17]:

$$I_{\text{сегм}}(x, y) = I_{\text{ориг}}(x, y) \cdot M(x, y),$$

где $I_{\text{ориг}}(x, y)$ – исходное изображение; $I_{\text{сегм}}(x, y)$ – результат сегментации [16].

3. Автоматическое удаление всех областей, не попавших в маску [18]:

$$M_{\text{фильтр}} = \text{FilterComponents}(M, \text{area}),$$

где M – исходная бинарная маска; area – порог площади (минимальное количество пикселей); $M_{\text{фильтр}}$ – отфильтрованная маска.

В результате сохраняются только целевые области изображения; устраняются все фоновые и неинформативные элементы¹; получается «очищенное» изображение, готовое для дальнейшего анализа. Данный этап позво-

ляет сосредоточиться исключительно на значимых частях изображения, что повышает точность последующей обработки.

Результаты и их обсуждение

Для исследования использовались базы данных изображений радужной оболочки, а также фотографии глаз с синехиями CASIA и MMU². На рисунке 10 представлены примеры успешной сегментации аномальных зрачков, корректно соответствующих их форме:

– представлены случаи синехиипатологии, при которой радужная оболочка срастается с соседними структурами, деформируя зрачок (см. рис. 10, а и 10, б);

– показан зрачок с асимметричной формой (см. рис. 10, в).

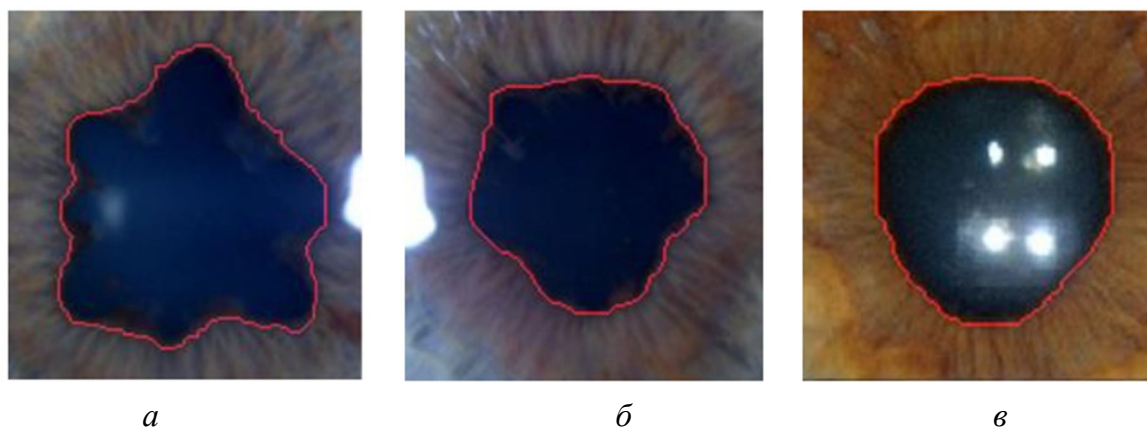


Рис. 10. Выделение зрачка разной формы

Fig. 10. Segmentation of pupils with varying shapes

¹ ISO/IEC 29794-6:2022. Biometric sample quality. Part 6: Iris image data. URL: <https://www.gso.org.sa/store/standards/GSO:788267/GSO%20ISO-IEC%2029794-6:2021?lang=en> (дата обращения: 19.12.2025).

² Iris Databases // Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. URL: http://english.ia.cas.cn/db/201610/t20161026_169399.html (дата обращения: 19.12.2025); UBIRIS Iris Image Database / University of Beira Interior. Portugal, 2011.

На рисунке 11 приведены результаты сегментации зрачка с использованием преобразование Хафа и предложенной методики. Наглядно видно, что преобразование Хафа не позволяет точно выделить область зрачка (рис.11, *а-в*). Это

происходит либо из-за того, что сегментация выходит за пределы интересующей области, либо из-за неточного определения границ зрачка. В отличие от этого предложенная методика успешно и точно сегментирует зрачок (рис.11, *г-е*).

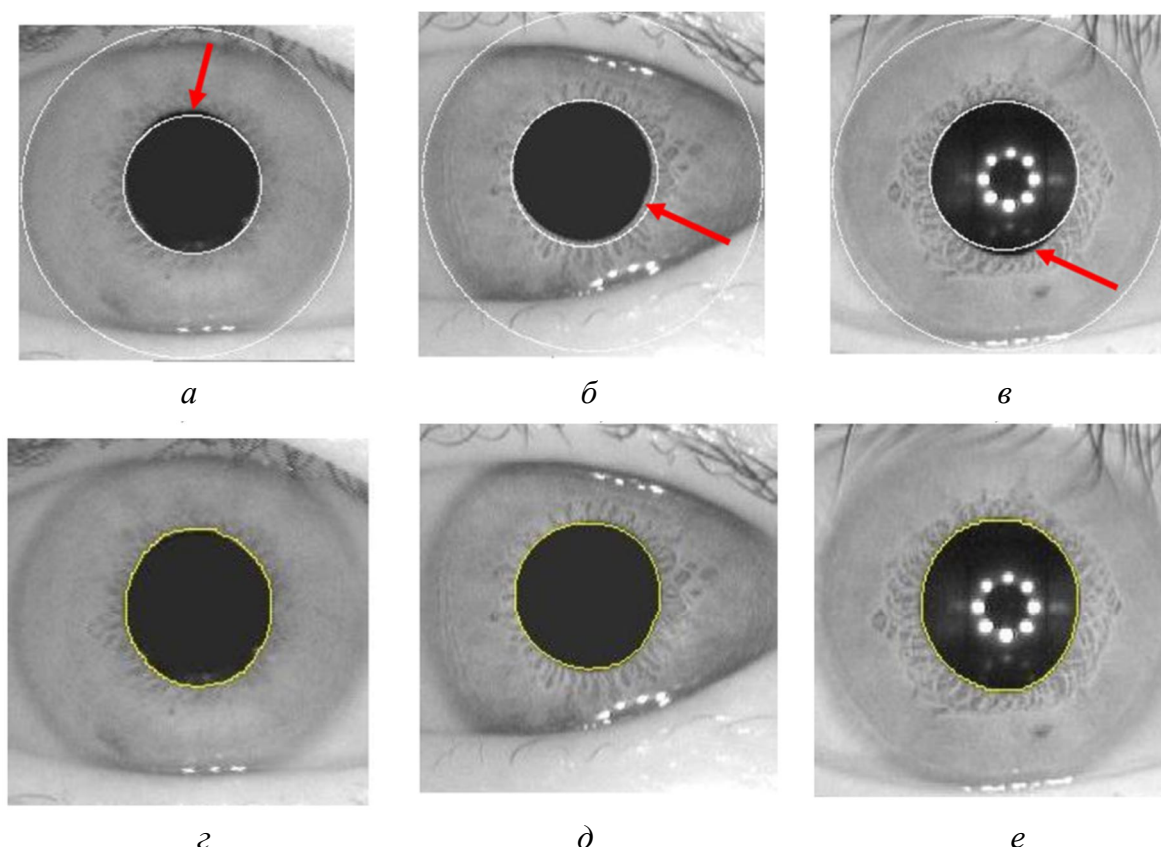


Рис. 11. Результаты сегментации: *а-в* – СНТ-метод; *г-е* – предложенная методика

Fig. 11. Segmentation results: *а-в* – CHT method; *г-е* – proposed method

Выводы

Сегментация изображений играет ключевую роль, особенно в системах распознавания радужной оболочки глаза, где точность выделения области интереса критически важна. В данной работе предложена новая методика сегментации, предназначенная для работы с некруглыми зрачками, которые часто встречаются при глазных пато-

логиях, таких как синехия. Для точной сегментации зрачков с синехией используется комбинация логарифмического и степенного преобразований, поскольку стандартные методы, основанные на поиске окружностей, в данном случае неэффективны. Кроме того, предложенный алгоритм позволяет эффективно сегментировать зрачки несимметричной формы, с которыми

не справляются классические методы, например, такие как преобразование Хафа. Проведенные эксперименты подтвердили более высокую точность предложенного алгоритма. В будущем

планируется расширить область применения алгоритма для работы с другими заболеваниями глаз, затрагивающими область зрачка, например птеригиумом.

Список литературы

1. Image understanding for iris biometrics: A survey / K. W. Bowyer [et al.] // *Computer Vision and Image Understanding*. 2018. Vol. 167. P. 1-21.
2. A Comprehensive Survey on Iris Recognition Systems: A Review / R. Raghavendra [et al.] // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 45615-45630.
3. Комкова С. В. Методика диагностики глаукомы по снимкам глазного дна человека // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2023. Т. 13, № 3. С. 99–114. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-4-99-114>
4. Комкова С. В. Методика формирования вектора признаков по изображениям сетчатки глаза // *Естественные и технические науки*. 2021. № 4. С. 250–252.
5. Комкова С. В. Алгоритм идентификации экссудатов на изображениях сетчатки глаза человека // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2022. Т. 19, № 1. С. 47–51. <https://doi.org/10.14489/vkit.2022.01.pp.047-051>
6. Комкова С. В. Методика обнаружения твердых экссудатов на изображениях глазного дна человека // *Телекоммуникации*. 2022. № 10. С. 24-28.
7. An Adaptive Algorithm for the Detection of Irregular Pupil Contour / Y. Chen [et al.] // *Journal of Medical Systems*. 2019. Vol. 43, N 5. P. 112.
8. Automated Pupil Segmentation and Noise Removal in Iris Images / A. Radman [et al.] // *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*. 2017. Vol. 7, N 2. P. 428-436.
9. Wang C., Muhammad J. Iris segmentation and recognition using deep learning // *Neural Computing and Applications*. 2020. N 32(18). P. 14579-14590.
10. Uhl A., Wild P. Weighted Adaptive Hough and Ellipsopolar Transforms for Real-time Iris Segmentation // *Proceedings of the 5th International Conference on Biometrics (ICB'12)*. New Delhi, India, 2012. P. 283–290. <https://doi.org/10.1109/ICB.2012.6199821>
11. An Accurate Iris Segmentation Framework Under Relaxed Imaging Constraints Using Total Variation Model / Z. Zhao, A. Kumar [et al.] // *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Santiago, Chile, 2025. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2015.436>
12. Hofbauer H., Jalilian E., Uhl A. Exploiting Superior CNN-based Iris Segmentation for Better Recognition Accuracy // *Pattern Recognition Letters*. 2019. Vol. 120. P. 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.12.021>

13. Wang K., Kumar A. Toward more accurate and constrained iris segmentation using cascaded multi-task framework // *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2021. N 16. P. 2023-2036.
14. Иванов А. В., Петров С. К. Алгоритмы сегментации радужной оболочки глаза при патологиях зрачка // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2020. № 3. С. 45-53.
15. Методы обработки офтальмологических изображений с аномалиями / Е. А. Смирнова [и др.] // *Оптический журнал*. 2021. Т. 88, № 5. С. 78-85.
16. Козлов В. П., Николаева Т. Г. Автоматизированный анализ изображений глазного дна // *Компьютерная оптика*. 2019. Т. 43, № 4. С. 623-630.
17. Гусев Д. А. Цифровая обработка биометрических изображений. М.: Техносфера, 2018. 320 с.
18. Алгоритмы распознавания радужной оболочки при патологиях глаза / П. Н. Белов [и др.] // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2020. № 2. С. 34-42.

References

1. Bowyer K.W., et al. Image understanding for iris biometrics: A survey. *Computer Vision and Image Understanding*. 2018;167:1-21.
2. Raghavendra R., et al. A Comprehensive Survey on Iris Recognition Systems: A Review. *IEEE Access*. 2021;9:45615-45630.
3. Komkova S.V. A method for diagnosing glaucoma from human fundus images. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravljenje, vychislitel'naja tehnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023;13(3):99–114. (In Russ.)
4. Komkova S.V. Methodology for forming a feature vector based on retinal images. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Natural and Technical Sciences*. 2021;(4):250-252. (In Russ.)
5. Komkova S.V. Algorithm for identification of exudates in human retinal images // *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii = Bulletin of Computer and Information Technologies*. 2022;19(1):47-51. (In Russ.) <https://doi.org/10.14489/vkit.2022.01.pp.047-051>
6. Komkova S.V. "Methodology for detecting hard exudates in human fundus images" // *Telekommunikatsii = Telecommunications*. 2022;(10):24-28. (In Russ.)
7. Chen Y., et al. An Adaptive Algorithm for the Detection of Irregular Pupil Contour. *Journal of Medical Systems*. 2019;43(5):112.
8. Radman A., et al. Automated Pupil Segmentation and Noise Removal in Iris Images. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*. 2017;7(2):428-436.

9. Wang C., Muhammad J. Iris segmentation and recognition using deep learning. *Neural Computing and Applications*. 2020;(32):14579-14590.
10. Uhl A., Wild P. Weighted Adaptive Hough and Ellipsopolar Transforms for Real-time Iris Segmentation. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Biometrics (ICB'12)*. New Delhi, India; 2012. P. 283–290. <https://doi.org/10.1109/ICB.2012.6199821>
11. Zhao Z., Kumar A., et al. An Accurate Iris Segmentation Framework Under Relaxed Imaging Constraints Using Total Variation Model. In: *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Santiago, Chile; 2025. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2015.436>
12. Hofbauer H., Jalilian E., Uhl A. Exploiting Superior CNN-based Iris Segmentation for Better Recognition Accuracy. *Pattern Recognition Letters*. 2019;120:17–23. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.12.021>
13. Wang K., Kumar A. Toward more accurate and constrained iris segmentation using cascaded multi-task framework. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2021;(16):2023-2036.
14. Ivanov A.V., Petrov S.K. Iris segmentation algorithms for pathological pupils. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*. 2020;(3):45-53. (In Russ.)
15. Smirnova E.A., et al. Methods for processing ophthalmic images with anomalies. *Opticheskii zhurnal = Optical Journal*. 2021;88(5):78-85. (In Russ.)
16. Kozlov V.P., Nikolaeva T.G. Automated analysis of fundus images. *Komp'yuternaya optika = Computer Optics*. 2019;43(4):623-630. (In Russ.)
17. Gusev D.A. Digital processing of biometric images. Moscow: Tekhnosfera; 2018. 320 p. (In Russ.)
18. Belov P.N., et al. Iris recognition algorithms for eye pathologies. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii = Artificial Intelligence and Decision Making*. 2020;(2):34-42. (In Russ.)

Информация об авторе / Information about the Author

Комкова Светлана, Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимирская область, г. Муром, Российская Федерация,
e-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru,
Researcher ID: N-6360-2016,
ORCID: 0000-0002-4204-0268

Svetlana V. Komkova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Murom Institute (branch) of Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov Vladimir State University, Vladimir region, Murom, Russian Federation
e-mail: savicheva-svetlana2010@yandex.ru,
Researcher ID: N-6360-2016,
ORCID: 0000-0002-4204-0268