

УДК 004.93

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ ЗРАЧКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ ГЛАЗА

¹ *Фазылов Ш.Х.*, ² *Юсупов О.Р.*

sh.fazilov@mail.ru; ozodyusupov@gmail.com

¹ Научно-инновационный центр информационно-коммуникационных технологий;² Самаркандский государственный университет

Описанные в литературе методы выделения точной границы зрачка на изображениях глаза в основном базируются на детекторах края и выделении окружностей посредством преобразования Хафа. На изображениях с большим разрешением детекторы края дают множество ложных контуров из-за нечеткой границы зрачка. Они в основном используются для выделения на изображении глаза области зрачка, у которой яркость постоянная. Проведенные эксперименты показали, что если область зрачка однородна с малыми изменениями яркости, а на изображении отсутствуют ресницы, брови, то указанные алгоритмы дают хорошие результаты. Но реальные изображения существенно отличаются от идеальных неоднородной яркостью зрачка, наличием бликов различной формы в области зрачка и областей, имеющих пиксели с яркостью, равной или выше чем в области радужной оболочки глаза, что затрудняет его поиск. Это потребовало разработки нового алгоритма для поиска нечетких границ зрачка на изображении большого разрешения, необходимого для решения задачи распознавания человека по радужной оболочке глаза. Предлагаемый алгоритм состоит из следующих шагов: очистка исходного изображения от шумов с использованием фильтра Гаусса; бинаризация изображения; выделение приблизительной границ зрачка глаза с помощью оператора Собеля, выявление округлой части границы зрачка с помощью преобразования Хафа. Преимуществом данного алгоритма является первоначальная оценка месторасположения зрачка, что существенно облегчает задачу поиска и даёт хорошие результаты в смысле точности определения границы зрачка, позволяет уменьшить размерность пространства параметров по сравнению с методами, определяющими и центр, и радиус, повышает устойчивость метода, особенно на изображениях с зашумленным изображением зрачка. Для этого применяется оценка яркости отдельных частей изображения, а не суммируется яркость всего изображения по строкам и столбцам. Для сужения области поиска производится выбор той части изображения, которая имеет наименьшую яркость. Далее изображение бинаризуется и подвергается преобразованию Хафа. Алгоритм протестирован на 52034 изображениях глаз из баз данных, находящихся в открытом доступе.

Ключевые слова: обработка изображений, биометрическая технология, бинаризация, границы зрачка глаза, метод Хафа, оператор Собеля

Цитирование: *Фазылов Ш.Х., Юсупов О.Р.* Алгоритм выделения области зрачка на изображении глаза // Проблемы вычислительной и прикладной математики. — 2019. — № 1(19). — С. 57–66.

1 Введение

В настоящее время в связи с возросшими требованиями к информационной безопасности получают широкое распространение методы биометрической верификации

и идентификации личности. Особую важность эти задачи приобретают в распределенных системах, особенно в системах высокой доступности. Высокая доступность предполагает, что любой пользователь может получить доступ в рамках своих полномочий к необходимым ему ресурсам и сервисам за приемлемое для него время [1].

Биометрические технологии идентификации личности хорошо зарекомендовали себя при использовании в различных сферах человеческой деятельности, в частности в системах контроля и управления доступом. Здесь методы биометрической аутентификации рассматриваются как достойный кандидат, приходящий на смену традиционным, таким как пароли, смарт-карты, PIN-коды и т.д [2–5].

Одной из недавно появившихся перспективных биометрических технологий является идентификация личности по радужной оболочке глаза. Данная технология обладает рядом преимуществ по сравнению с остальными [1, 6–8], что делает её особенно привлекательной для использования в мобильных устройствах. Человеческая радужка имеет специфическую структуру и содержит много текстурной информации. Пространственные структуры, наблюдаемые в радужке, уникальны для каждого индивида. Поскольку радужка открыта, идентификация по радужке неинвазивна, что является очень важным фактором для практических применений [7]. Часть глаза, по которой судят о цвете глаз, – это радужная оболочка глаза. Цвет глаза зависит от количества пигмента меланина в задних слоях радужной оболочки глаза. Она имеет почти плоскую форму и контролирует попадание световых лучей внутрь глаза в различных условиях освещенности. Цвет радужной оболочки глаза или отдельных ее участков со временем может меняться, но геометрический узор радужной оболочки глаза является уникальной для каждого человека биометрической характеристикой, на основе которой можно вычислять идентификационный код личности. Радужная оболочка глаза формируется в первые полтора года жизни и остаётся практически без изменений до самой смерти. В основном изменения радужной оболочки глаза связаны с болезнями и могут выражаться в виде изменения цвета, появления пигментных пятен, линий, кругов, изменений обвода оболочки, деформации зрачка и т.д.

Построение систем распознавания с использованием изображения радужной оболочки глаза производится по классической схеме: выделение на изображении информативной области – радужной оболочки глаза, формирование признакового описания выделенной области, сопоставление сформированных признаковых описаний. При этом в приведенную схему могут быть включены этапы оценки качества, как получаемых изображений, так и работы отдельных этапов метода [9]. Следует отметить, что важную роль в достижении высоких показателей качества распознавания по изображению радужной оболочки глаза играет точность выполнения первого из приведенных этапов – выделение радужной оболочки глаза на изображении.

Задача выделения на изображении области, соответствующей радужной оболочке глаза, является задачей сегментации и для ее решения могут применяться самые различные методы. В частности, пользуются популярностью подходы, основанные на выделении контуров [10, 11], пороговой обработке [12], интегро-дифференциальном операторе Даугмана [13], преобразовании Хафа для поиска окружностей [14] и др.

При использовании указанных подходов осуществляется поиск внешней и внутренней границ радужной оболочки (границы «радужная оболочка-склера» и границы «зрачок-радужная оболочка») с последующей аппроксимацией найденных границ окружностями. Отметим, что такая аппроксимация представляет собой лишь первый этап сегментации, так как после выделения кольца (возможно, неконцентрического),

образованного указанными окружностями часть радужной оболочки может остаться закрытой и затененной веками и ресницами.

Задача поиска границы зрачка на изображении человеческого глаза является одной из подзадач выделения радужной оболочки глаза в системах биометрической идентификации. Для её решения предложено большое количество подходов [9, 13, 15, 16], которые можно подразделить на следующие группы: 1) преобразование Хафа; 2) проекционные методы по яркости и градиенту яркости; 3) морфологические методы; 4) построение оптимального контура. Алгоритмы выделения зрачка, описанные в литературе, ориентированы на диаметр зрачка 10 – 60 пикселей. Как правило, границы зрачков таких размеров имеют достаточно четкие перепады яркости либо закрашены одним оттенком вручную (как в базе изображений CASIA). Поэтому для выделения границ зрачка большинство алгоритмов используют стандартные детекторы края (Кэнни, Собель и т.п.). Детекторы края, примененные к изображениям с диаметром зрачка 150-500 пикселей, не позволяют выделить четкие перепады, либо их выделяют избыточно много. В разрабатываемой нами системе идентификации диаметр радужной оболочке глаза равен примерно 650 пикселям, а размер исходного изображения – 1600×1200. На таком изображении хорошо видна геометрическая структура, образующая уникальный узор радужной оболочки глаза, но плохо локализуются границы радужной оболочки глаза.

На спектре изображения виден большой круг, площадь которого задаётся совокупностью пикселей. Поскольку зрачок — самый большой и яркий круг на всем изображении, то интенсивность спектра в области зрачка будет достигать пика. В области зрачка строго в центре значение интенсивности будет максимальное. Это происходит потому, что центр - точка внутри круга, наиболее удалённая от всех его границ. Поэтому максимальное значение должно соответствовать центру зрачка и кроме того, расстояние от центра зрачка до границы должно быть равно радиусу зрачка [17]. Выделение границы зрачка на изображении достаточно сложная задача, решению которой могут мешать различные трудности [18]:

- радиус зрачка может меняться в пределах 0,2 - 0,8 от радиуса радужной оболочки глаза, что влияет на распознавание;
- зрачок может находиться в любом месте изображения, то есть не обязательно в центре;
- зрачок не обязательно является самой большой темной частью на изображении глаза, например, ресницы, брови, пятна на радужной оболочке глаза могут быть тайне зрачка;
- часть зрачка может быть закрытым ресницами или веками, что затрудняет его обнаружение;
- на границы зрачок может быть блик от источника света, что также затрудняет выделение границы зрачка;
- нечеткая граница самого зрачка;
- аperiодические самопроизвольные движения зрачка;
- хронически расширенный зрачок. Диаметр зрачка должен быть меньше 75% диаметра радужной оболочки глаза корректного распознавания.

2 Постановка задачи

Целью работы является разработка алгоритма, обеспечивающего выделение области зрачка на изображении глаза, с показателями точности, надёжности и скорости работы, приемлемыми для практического использования в системах идентификации

личности по радужной оболочке, а также отличающегося высокой устойчивостью и работающего на низкокачественных изображениях.

Входными данными алгоритма является растровое монохромное изображение радужной оболочки глаза размером $M \times N$ пикселей.

Выходными данными алгоритма являются координаты центра зрачка на изображении (x_p, y_p) и радиус окружности r_p , описывающей этот зрачок аппроксимирующих зрачок глаза.

3 Описание алгоритма

Для решения поставленной задачи разработан алгоритм, позволяющий локализовать зрачок на изображении глаза за приемлемое время. Алгоритм состоит из следующих шагов.

Шаг 1. К исходному изображению применяется фильтр Гаусса для удаления шумов. Фильтр Гаусса — фильтр размытия изображения, который использует нормальное распределение (также называемое Гауссовым распределением) для вычисления преобразования, применяемого к каждому пикселю изображения, в виде

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}.$$

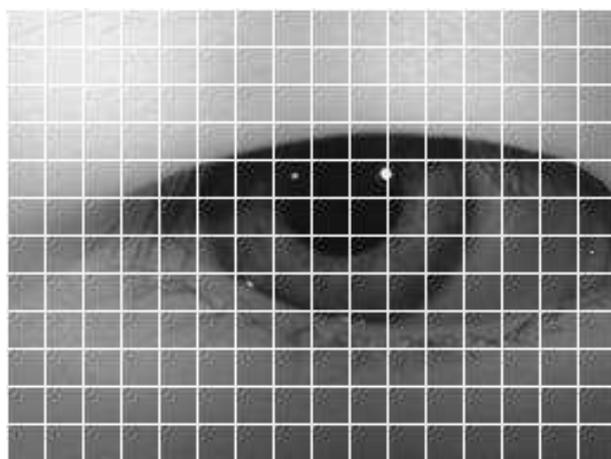
Шаг 2. Изображение разбивается на прямоугольники, в каждом из которых определяется средняя яркость по формуле

$$P_{k,l} = \frac{1}{d^2} \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^d I(k \cdot d + i, l \cdot d + j),$$

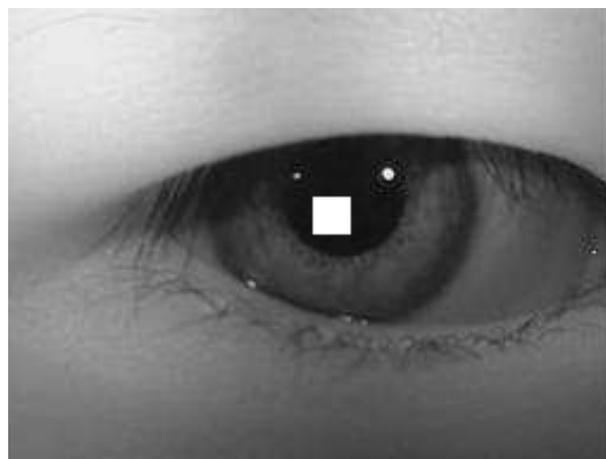
где $d = \min(\frac{M}{r_{p_{\min}}}, \frac{N}{r_{p_{\min}}})$, $M_1 = \lceil \frac{M}{d} \rceil$, $N_1 = \lceil \frac{N}{d} \rceil$, $k = 0..M_1 - 1$, $l = 0..N_1 - 1$.

Далее считается, что прямоугольник с минимальной яркостью лежит в области зрачка и находится $P_{\min} = \min_{k,l}(P_{k,l})$.

Полученные результаты приведена на рисунке 1.



(a)



(б)

Рис. 1 Поиск области минимальной яркости: а) блоки поиска; б) найденная область минимальной яркости

В отличие от метода проекций яркости, данный метод позволяет точнее определить положение зрачка, так как суммируется яркость изображения локально, а не по строкам (столбцам).

Шаг 3. Изображение бинаризуется с некоторым порогом, после чего остаются компоненты, на которых присутствует зрачок. Бинаризация представляет собой разделение всех пикселей изображения на два класса по определённому порогу яркости τ . Пикселям, имеющим яркость меньше τ , присваивается нулевое значение, а пикселям, имеющим яркость больше τ , присваивается единичное значение:

$$I_b(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) \leq \tau; \\ 0, & I(x, y) > \tau. \end{cases}$$

Порог $\tau = k \cdot P_{\min}$ где $k = 1.3$ – коэффициент, зависящий от яркости изображения, $P_{\min} = \min_{k,l}(P_{k,l})$ – средняя яркость в прямоугольнике минимальной яркости, определённом на предыдущем шаге. Полученные результаты приведены на рисунке 2.

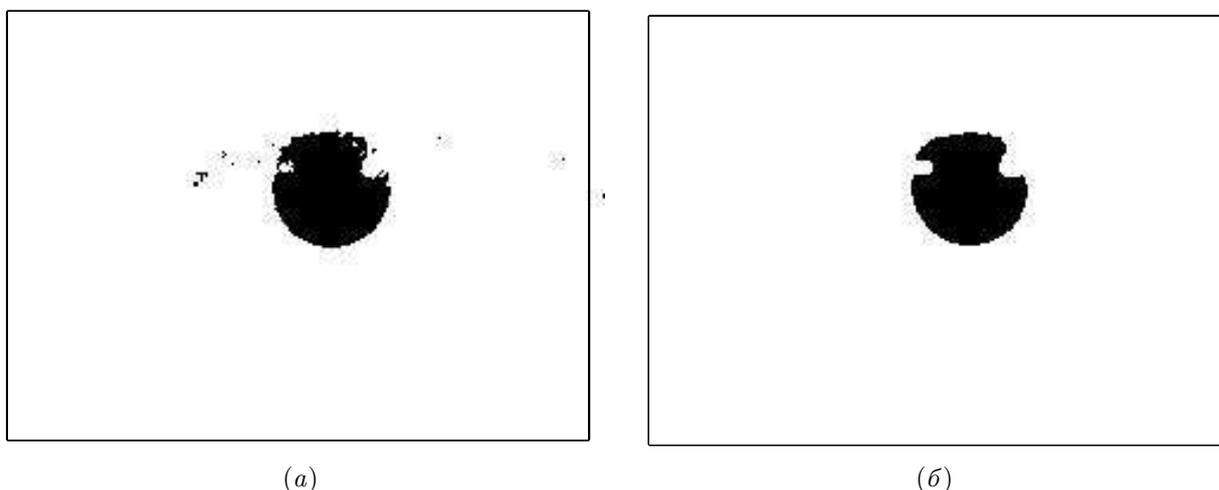


Рис. 2 Результат бинаризации изображения глаза: а) без сглаживающего фильтра; б) с применением фильтра Гаусса

Шаг 4. Для выделения границы зрачка глаза применяется оператор Собеля. Это дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближенное значение градиента яркости изображения. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма. Оператор Собеля основан на свёртке изображения небольшими целочисленными фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлениях, поэтому его относительно легко вычислить. С другой стороны, используемая им аппроксимация градиента достаточно грубая, особенно это сказывается на высокочастотных колебаниях изображения. В начале производится оценка градиента по направлениям вертикальной и горизонтальной оси. Делается это при помощи двух ядер:

$$K_{G_x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad K_{G_y} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix},$$

$$G_x = K_{G_x} * I_b, \quad G_y = K_{G_y} * I_b,$$

где * означает двумерную операцию свертки.

Величина градиента обычно определяется следующим образом:

$$I_G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

После определения G_{\max} для выделения искомого контура находится

$$G_{\max} = \max_{x,y}(I_G(x, y)).$$

Выделение искомого контура осуществлялось следующим образом:

$$I(x, y) = \begin{cases} 1, & I_G(x, y) \leq \gamma; \\ 0, & I_G(x, y) > \gamma, \end{cases}$$

где $\gamma = k_1 \cdot G_{\max}$, k_1 определяется экспериментальным путем (в нашем случае $k_1 = 0.5$). Полученные результаты приведены на рисунке 3.

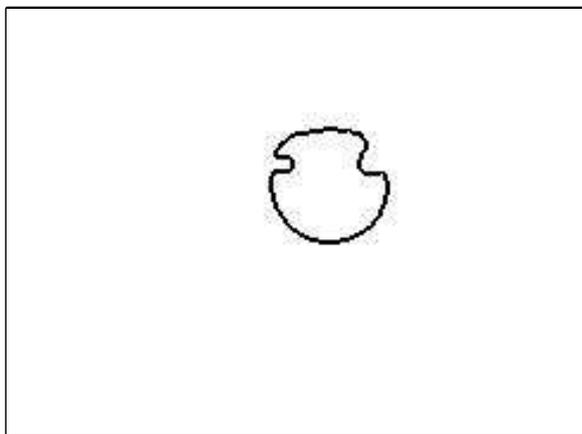


Рис. 3 Результаты выделения границ зрачка глаза с применением оператора Собеля

Шаг 5. Для нахождения окружности, описывающей зрачок, используется следующая разновидность преобразования Хафа

$$H(x_0, y_0, r) = \sum h(x_i, y_i, x_0, y_0, r),$$

$$h(x_i, y_i, x_0, y_0, r) = \begin{cases} 1, & (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где (x_0, y_0) – определяемые координаты центра зрачка; (x_i, y_i) – пиксель на изображении из некоторой окрестности; $r \in [r_{\min}; r_{\max}]$ – возможные радиусы окружности.

На рисунке 4 представлен результат поиска зрачка на изображении. На двух последних изображениях видно, что зрачок включает в себя часть верхнего века. Такое происходит, когда глаз частично закрыт из-за физиологических особенностей человека или в момент моргания. Такие случаи обрабатываются на следующих этапах биометрической системы идентификации, когда происходит определение возможной области наложения на радужную оболочку глаза верхнего и/или нижнего век и исключение попавших в эту область пикселей изображения из обработки.

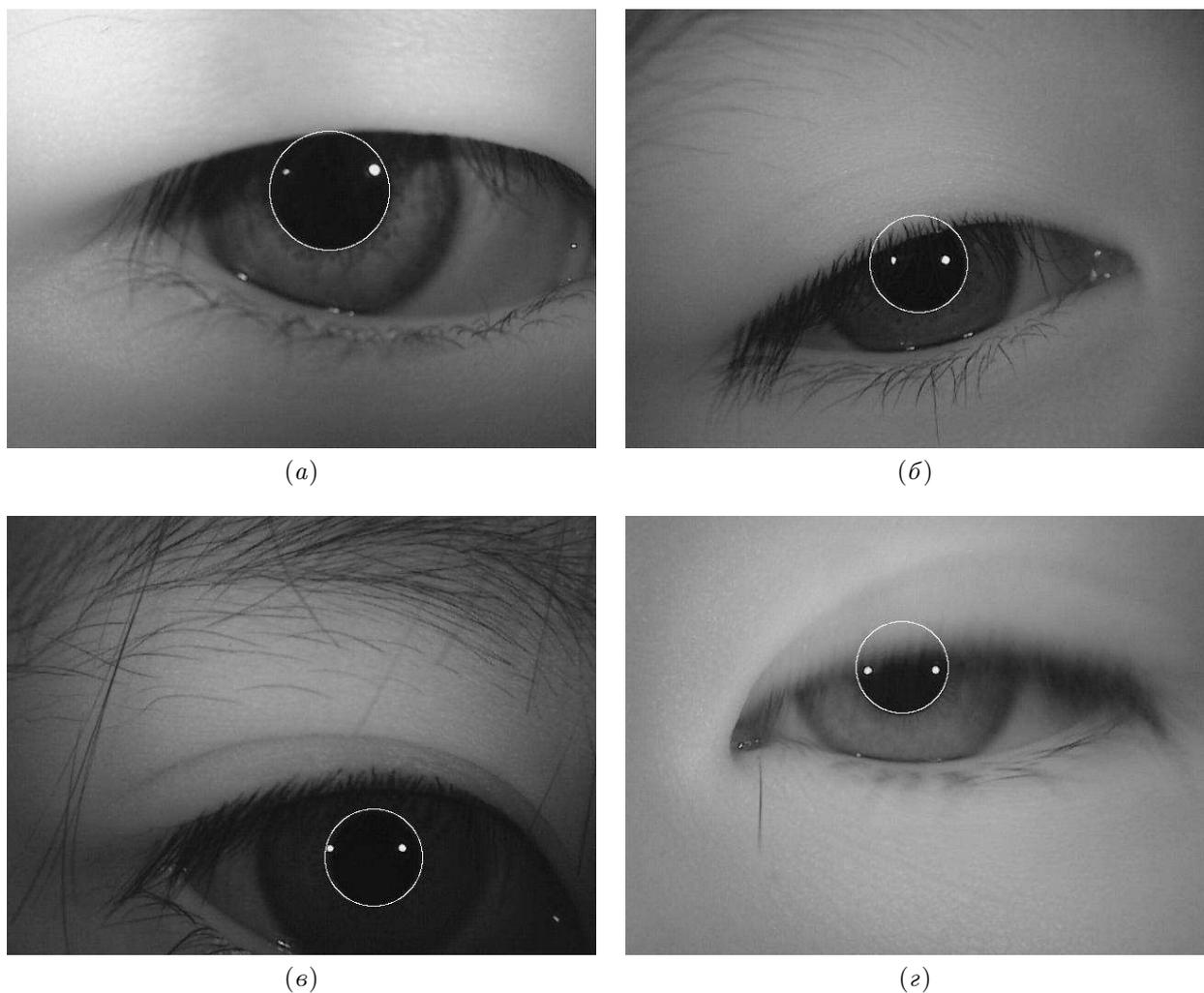


Рис. 4 Результаты выделения области зрачка глаза

4 Эксперименты

Для того чтобы сравнить точность выделения границ и время работы предлагаемого алгоритма с алгоритмами Даугмана [1] и Вайлдаса [15] был проведён вычислительный эксперимент. Все алгоритмы реализованы в системе MATLAB. При проведении эксперимента были использованы 52034 изображений радужной оболочки глаза, взятых из набора данных CASIA v4 [19].

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 1. Из приведенных результатов видно, что предлагаемый алгоритм по точности и скорости работы эффективнее рассмотренных алгоритмов.

Таблица 1 Результаты работы алгоритмов

Алгоритм	Точность, %	Среднее время работы, с
Даугман	96,2	0.495
Вайлдас	95,7	0.553
Предлагаемый	98,1	0.283

5 Заключение

Предложен эффективный в смысле быстродействия и точности алгоритм поиска границ зрачка глаза на изображении. Проведен вычислительный эксперимент, проверяющий работоспособность предложенного алгоритма на реальных данных полученных из набора данных CASIA. Произведен сравнительный анализ предложенного алгоритма с алгоритмами Даугмана и Вайлдаса по показателям точность и время работы. Результаты показали, что предложенный алгоритм более быстрый и точный, чем алгоритмы Даугмана и Вайлдаса.

Результаты проведенных исследований планируется в последующем использовать при разработке системы идентификации личности по изображению радужной оболочки глаза.

Литература

- [1] *Daugman J.* New Methods in Iris Recognition // IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics.–Part B, 2007. – Vol. 37 – №5. P. 1167–1175. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TSMCB.2007.903540>.
- [2] *Юсупов О.Р.* Биометрические системы идентификации личности по радужной оболочке глаза // Научный вестник СамГУ, 2016. – Т. 95. №1. – С. 61–66.
- [3] *Фазылов Ш.Х., Раджабов С.С., Мирзаева Г.Р.* Алгоритмы, используемые при создании системы идентификации личности на основе анализа изображения лица // International Conference Dedicated to the 1235th Anniversary of Muhammad al-Khwarizmi “Importance of information-communication technologies in innovative development of sectors of economy”. – Tashkent, 2018. P. 794–797.
- [4] *Фазылов Ш.Х., Мирзаев Н.М., Раджабов С.С.* Выделение геометрических признаков лица человека на изображении при идентификации личности // Естественные и технические науки, 2008. – №2. – С. 321–327.
- [5] *Tukhtasinov M.T., Mirzaev N., Narzulloev O.M.* Face recognition on the base of local directional patterns // IEEE Conference Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. – IEEE, 2017. P. 1–5. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/Dynamics.2016.7819101>.
- [6] *Синицын И. Н.* Метрологические и биометрические технологии и системы // История науки и техники, 2008. – №7. – С. 41–44.
- [7] *Daugman J.* High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993. – Vol. 15. – №11. P. 1148–1161. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/34.244676>.
- [8] *Юсупов О.Р.* Эффективный метод локализации радужной оболочки глаз, основанный на сегментации текстуры // Научный вестник СамГУ, 2017. – Т. 101. – №1. – С. 53–58.
- [9] *Wildes, R.P.* Iris recognition: an emerging biometric technology // Proceedings of the IEEE, 1995. – Vol. 85. – №9. P. 1348–1363. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/5.628669>.
- [10] *Р. Гонсалес, Р. Вудс.* Цифровая обработка изображений – М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
- [11] *Юсупов О.Р.* Об одном методе выделения опорных контуров с целью распознавания радужной оболочки глаза // Научно-технический журнал ФерПИ, 2017. – Т. 21. – №2. – С. 13–18.
- [12] *L.L. Ling, D.F. Brito* Fast and efficient iris image segmentation // Journal of Medical and Biological Engineering, 2010. – Vol. 30. – №6. P. 381 – 392. doi: <http://dx.doi.org/10.5405/jmbe.769>.
- [13] *Daugman J.* How iris recognition work // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004. – Vol. 14. – №1. P. 21–30. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818350>.

- [14] *A. Basit, M. Javed* Localization of iris in gray scale image using intensity gradient // Optics and Lasers in Engineering, 2007. – Vol. 45. – № 12. P. 1107–1114. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlaseng.2007.06.006>.
- [15] *Wildes, R., Asmuth, J., Green, G., Hsu, S., Kolczynski, R., Matey, J., McBride, S.* A system for automated iris recognition // Proceedings IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. – Sarasota, FL, USA: Publisher, 1994. P. 121–128. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ACV.1994.341298>.
- [16] *Gui, F.* Iris localization scheme based on morphology and gaussian filtering // Third International IEEE Conference on Signal-Image Technologies and Internet-Based System. – Shanghai, China, 2007. P. 798–803. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/SITIS.2007.39>.
- [17] *Матвеев, И.А.* Методы и алгоритмы автоматической обработки изображений радужной оболочки глаза / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. –2014. – 290 с.
- [18] *Старовойтов В.В., Монич Ю.И.* Распознавание человека по изображению радужной оболочки глаза: проблемы и достижения // Искусственный интеллект, 2011. – № 3. – С. 278–284.
- [19] Chinese Academy of Sciences Institute of Automation. Iris image database, Ver. 4. <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>

Поступила в редакцию 20.12.2018

UDC 004.93

PUPIL LOCALIZATION ALGORITHM ON IMAGE OF EYE

¹*Fazylov Sh.Kh.*, ²*Yusupov O.R.*

sh.fazilov@mail.ru; ozodyusupov@gmail.com

¹Scientific and innovation center for information and communication technologies, Tashkent, Buz-2 17a;

²Samarkand state university, Samarkand, University boulevard 15

The methods described in the literature for extracting the exact boundary of the pupil in images of the eye are mainly based on edge detectors and the selection of circles by means of the Hough transform. On high-resolution images, edge detectors produce a lot of false contours due to the fuzzy border of the pupil. They are mainly used to highlight the pupil area in the image of the eye, whose brightness is constant. Experiments have shown that if the pupil area is homogeneous with small changes in brightness, and there are no eyelashes or eyebrows in the image, then these algorithms give good results. But real images are significantly different from the ideal non-uniform brightness of the pupil, the presence of glares of different shapes in the pupil area and areas with pixels with brightness equal to or higher than in the iris, making it difficult to find. This required the development of a new algorithm to search for the fuzzy boundaries of the pupil in the high-resolution image necessary to solve the problem of recognizing a person by the iris. The proposed algorithm consists of the following steps: cleaning the original image from noise using a Gaussian filter; image binarization; highlighting the approximate boundaries of the pupil of the eye with the help of the Sobel operator, identifying the rounded part of the border of the pupil using the Hough transform. The advantage of this algorithm is the initial assessment of the location of the pupil, which greatly simplifies the search task and gives good results in the sense of the accuracy of determining the pupil

boundary, reduces the dimension of the parameter space compared to the methods that determine both the center and the radius, increases the stability of the method, especially in images with noisy image of the pupil. For this purpose, an estimate of the brightness of individual parts of the image is applied, and the brightness of the entire image is not summed up in rows and columns. To narrow the search area, select the part of the image that has the lowest brightness. Next, the image is binarized and subjected to Hough transformation. The algorithm was tested on 52034 images of eyes from databases that are publicly available.

Keywords: image processing, biometric technology, binarization, pupil borders, Hough method, Sobel operator

Citation: Fazylov Sh.Kh., Yusupov O.R. 2019. Pupil localization algorithm on image of eye. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 1(19): 57–66.