

## Сравнение методов сегментации изображения радужной оболочки глаза

М.С. Семёнов<sup>1</sup>, Е.В. Мясников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

**Аннотация.** В работе сравниваются три различных метода сегментации изображений радужной оболочки глаза, а именно метод, использующий интегро-дифференциальный оператор Даугмана, метод, использующий преобразование Хафа для поиска окружностей, а также метод, основанный на анализе распределения граничных точек. В рамках экспериментальных исследований, проведенных на наборе данных MMU Iris Image Database, произведена оценка точности и времени работы реализованных методов. Проведенные исследования показали, что наибольшую точность имеет метод, использующий интегро-дифференциальный оператор Даугмана, а метод, основанный на анализе распределения граничных точек, имеет наименьшее время работы.

### 1. Введение

В последние годы идентификация человека по биометрическим параметрам становится все более популярной областью исследований. Причиной этого можно считать, как возросший интерес к биометрической идентификации со стороны государственных и коммерческих структур, так и интенсивное развитие технических средств регистрации, хранения и обработки информации такого рода. В настоящее время для идентификации используется широкий спектр особенностей человека, таких как изображение лица, отпечатки пальцев, узор радужной оболочки глаза, голос, походка и др. Особый интерес в приведенном списке представляет идентификация человека по изображению радужной оболочки глаза, так как именно этот способ позволяет производить идентификацию наиболее точно [1].

Собственно, радужная оболочка представляет собой круглую подвижную диафрагму диаметром около 12 мм, в центре которой расположено круглое отверстие — зрачок [2]. Пример изображения радужки приведен на рисунке 1.

Цвет радужной оболочки (цвет глаз) человека определяется окраской (пигментацией) передней поверхности радужной оболочки, видимой через прозрачную роговицу [3]. При этом если цвет радужной оболочки подвержен изменениям в первые 10-12 лет жизни человека и может изменяться в старости, то рисунок радужной оболочки, имеющий выраженные индивидуальные особенности и формируемый еще на этапе внутриутробного развития, почти не изменяется в течение жизни человека [4, 5]. Именно указанные особенности радужной оболочки глаза обуславливают значительный интерес к этому способу идентификации.



Рисунок 1. Пример изображения из набора данных [13].

В целом построение систем распознавания с использованием изображения радужной оболочки глаза производится по классической схеме:

- выделение на изображении информативной области – радужной оболочки глаза,
- формирование признаков описания выделенной области,
- сопоставление сформированных признаков описаний.

При этом в приведенную схему могут быть включены этапы оценки качества, как получаемых изображений, так и работы отдельных этапов метода [6].

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 [7], пороговой обработке [8], интегро-дифференциальном операторе Даугмана [9], преобразовании Хафа для поиска окружностей [10] 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.

Настоящая работа посвящена экспериментальному сравнению трех возможных подходов к выделению радужной оболочки глаза на изображении.

Работа построена следующим образом. В разделах 2-4 кратко описаны исследуемые в настоящей работе методы. В частности, в разделе 2 приведено описание метода, использующего интегро-дифференциальный оператор Даугмана, в разделе 3 - метода, использующего преобразование Хафа для поиска окружностей, в разделе 4 - метода, основанного на выделении границ и анализе распределения граничных точек. Результаты экспериментальных исследований, проведенных на наборе данных MMU Iris Image Database, описаны в разделе 5. Работа завершается заключением в разделе 6 и списком использованной литературы в разделе 7.

## 2. Метод, использующий интегро-дифференциальный оператор Даугмана

В методе, использующем интегро-дифференциальный оператор Даугмана, на входном изображении  $I_{вх}$  сначала вычисляются возможные центры радужной оболочки глаза. Для этого из  $I_{вх}$  выбираются точки, яркость которых ниже установленного порога. Далее из них отбираются точки, соответствующие локальным минимумам яркости  $I_{вх}$ . Под локальным понимается минимум в круговой окрестности точки с радиусом, равным минимальному радиусу радужной оболочки. При этом минимальный и максимальный радиусы радужной

оболочки для поиска задаются так, чтобы покрывать значения радиуса радужки в базе изображений с небольшим запасом.

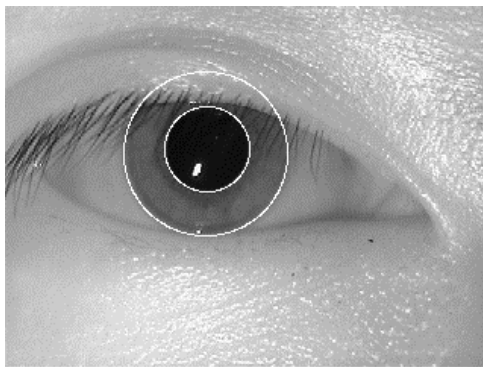
Далее рассчитываются параметры окружности, аппроксимирующей границу «радужная оболочка - склера». Для этого используется интегро-дифференциальный оператор Даугмана [9], определённый как максимум сглаженной производной средней интенсивности изображения по круговому контуру с координатами  $(x_0, y_0)$  и радиусом  $r$ :

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi} ds \right|,$$

где  $I(x, y)$  – функция интенсивности изображения,  $G_\sigma(r)$  – сглаживающая функция Гаусса,  $s$  – контур окружности с координатами  $(x_0, y_0)$  и радиусом  $r$ . Этот оператор применяется для точек изображения  $I_{\text{вх}}$ , выбранных как возможные центры радужки, и со значениями радиуса  $r$ , меняющимися от минимального радиуса радужки до максимального.

После этого с помощью оператора Даугмана рассчитываются параметры окружности, аппроксимирующей границу «зрачок - радужная оболочка», для точек изображения  $I_{\text{вх}}$ , принадлежащих круговой окрестности найденного на предыдущем шаге центра радужной оболочки с радиусом 10 пикселей. При этом минимальное и максимальное значение  $r$  для поиска зрачка устанавливается, исходя из соотношения между радиусами зрачка и радужной оболочки, приведенного в пункте 4.2.

Пример работы описанного в настоящем разделе метода для рисунка 1 изображен на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Результат работы метода, использующего интегро-дифференциальный оператор Даугмана, для изображения, представленного на рисунке 1.

### 3. Метод, использующий преобразование Хафа для поиска окружностей

В методе, использующем преобразование Хафа для поиска окружностей, сначала к входному изображению  $I_{\text{вх}}$  применяется оператор Кэнни [11] для построения изображения граничных точек  $I_{\text{гр1}}$ . Интервалы значений радиусов зрачка и радужки для поиска устанавливаются заранее, в зависимости от имеющейся базы изображений так, чтобы с небольшим запасом покрывать эти значения.

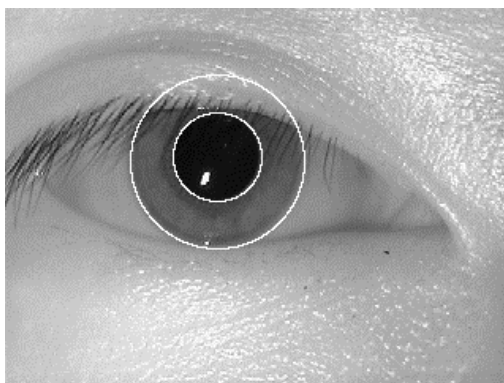
Далее на изображении граничных точек  $I_{\text{гр1}}$  с помощью преобразования Хафа для поиска окружностей [7] ищутся параметры окружности, аппроксимирующей границу «радужная оболочка - склера». Максимальный и минимальный радиусы для поиска соответствуют таковым из интервала значений радиусов радужки, заданного ранее.

После этого создается изображение  $I_{\text{гр2}}$  из точек  $I_{\text{гр1}}$ , находящихся внутри окружности, определённой на первом шаге. На изображении  $I_{\text{гр2}}$  преобразованием Хафа для поиска окружностей [7] определяются параметры окружности, аппроксимирующей границу «зрачок - радужная оболочка». Максимальный и минимальный радиусы для поиска соответствуют таковым из интервала значений радиусов зрачка, заданного ранее.

Пример работы метода для рисунка 1 изображен на рисунке 3.

#### 4. Метод, основанный на анализе распределения граничных точек

В рамках настоящей работы был предложен метод анализа, основанный на преобразовании Хафа и анализе распределения граничных точек. Этот метод состоит из следующих этапов. На первом этапе на входном изображении выделяется внутренняя граница радужной оболочки (граница «зрачок - радужная оболочка») и определяются параметры окружности, аппроксимирующей зрачок. На втором этапе выделяется внешняя граница радужной оболочки (граница «радужная оболочка - склера») и с использованием метода наименьших квадратов, определяются параметры окружности, аппроксимирующей внешнюю границу радужной оболочки. Указанные этапы описываются ниже более подробно.



**Рисунок 3.** Результат работы метода, использующего преобразование Хафа, для изображения, представленного на рисунке 1.

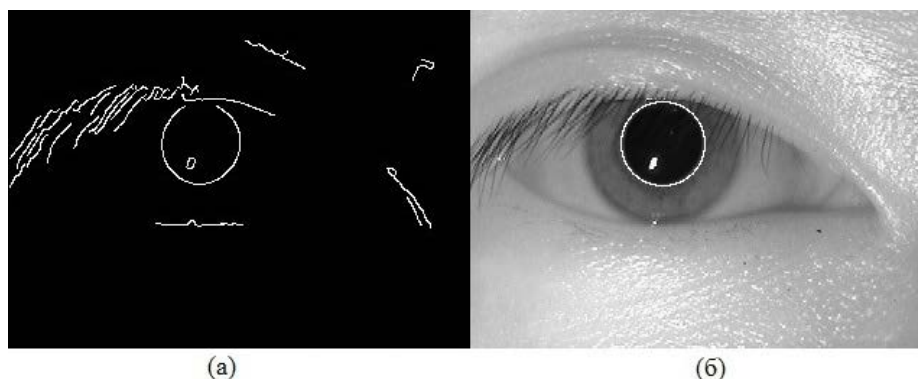
##### 4.1. Определение границы зрачка

Для определения внутренней границы радужной оболочки к входному изображению  $I_{вх}$  применяется оператор Кэнни [11], в результате чего получается изображение граничных точек  $I_{гр1}$ . После этого с помощью преобразования Хафа для поиска окружностей [7] на  $I_{гр1}$  определяются центр и радиус зрачка  $R_{зрач}$ . Минимальный и максимальный радиусы окружности для поиска преобразованием Хафа берутся так, чтобы покрывать значения радиусов зрачка в базе изображений с небольшим запасом. Ниже на рисунке 4 представлен пример определения границы зрачка на  $I_{вх}$ .

##### 4.2. Определение внешней границы радужной оболочки

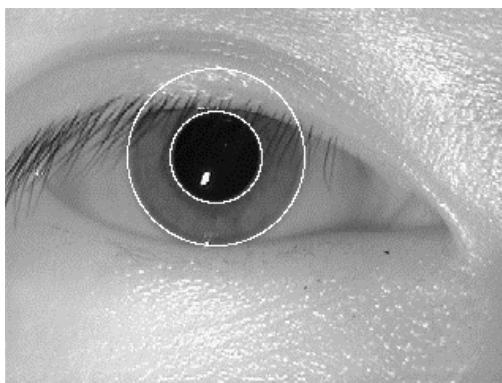
Для определения внешней границы радужной оболочки используется идея анализа функции распределения граничных точек от центра зрачка, описанная в [12]. К входному изображению  $I_{вх}$  снова применяется оператор Кэнни [11], в результате чего получается изображение его граничных точек  $I_{гр2}$ . Параметры оператора Кэнни для поиска границы зрачка и для поиска границы радужки различны и подбираются экспериментально по имеющемуся набору изображений. Известно [12], что значение внешнего радиуса радужной оболочки  $R_{iris}$  лежит в интервале  $(5/4R_{зрач}, 5R_{зрач})$ , поэтому из  $I_{гр2}$  удаляются точки, для которых расстояние до центра зрачка не попадает в указанный интервал. Для получившегося изображения рассчитывается функция распределения граничных точек от расстояния до центра зрачка  $f(R)$ . Предполагается, что эта функция имеет локальный максимум в окрестности искомого значения радиуса радужной оболочки, так как зрачок и радужка являются приближенно концентрическими, но этот максимум может затеряться среди других, возникающих из-за зашумленности изображения  $I_{гр2}$ .

Далее в цикле производится перебор локальных максимумов функции  $f(R)$ , начиная с наибольшего. Для выбранного локального максимума  $R_M$  граничные точки, попадающие в кольцо, задаваемое радиусами  $R_M - s$  и  $R_M + s$ , аппроксимируются окружностью методом наименьших квадратов. В качестве решения выбирается окружность, для которой погрешность такой аппроксимации меньше заданного значения, и считается, что эта окружность аппроксимирует внешнюю границу радужки.



**Рисунок 4.** Пример определения границ зрачка для изображения, представленного на рисунке 1: (а) – изображение граничных точек; (б) – результат работы метода.

Пример работы алгоритма для рисунка 1 изображен на рисунке 5.



**Рисунок 5.** Результат работы метода, основанного на анализе распределения граничных точек, для изображения, представленного на рисунке 1.

## 5. Эксперимент

Для того чтобы сравнить точность сегментации и время работы описанных выше методов был проведён вычислительный эксперимент. Все методы были реализованы в системе MATLAB. Эксперимент проводился на персональном компьютере с процессором Intel Core i5-4210M с частотой 2.6 ГГц и оперативной памятью 6 ГБ.

При проведении эксперимента были использованы 30 изображений радужной оболочки глаза, взятые из набора данных MMU Iris Image Database [13]. Для каждого изображения экспертом была выполнена эталонная (истинная) сегментация и определены истинные значения параметров (координаты центров и радиусы) границ зрачка и радужной оболочки. После этого аналогичные значения параметров были оценены с использованием каждого из рассмотренных в работе алгоритмов.

Для оценки точности работы каждого из методов использовалась усредненная по всем изображениям мера Жаккара (Jaccard index) [14], определяемая в настоящей работе, как отношение площади пересечения колец (необязательно концентрических) с эталонными и оцененными параметрами к площади объединения этих колец. Кроме того оценивалось усредненное по всем изображениям время работы оцениваемых методов.

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 1. Под буквой «А» приведены результаты для метода, использующего интегро-дифференциальный оператор Даугмана, под буквой «Б» – для метода, использующего преобразование Хафа для поиска окружностей, буквой «В» – для метода, основанного на анализе распределения граничных точек.

**Таблица 1.** Результаты работы методов.

Метод	Точность		Время работы, с	
	Среднее значение	СКО	Среднее значение	СКО
А	0,90	0,03	4,36	1,14
Б	0,86	0,03	1,74	0,49
В	0,86	0,05	0,76	0,06

Из приведенных результатов видно, что самым точным является метод, использующий интегро-дифференциальный оператор Даугмана, но он имеет и самое длительное время работы.

Метод, использующий преобразование Хафа для поиска окружностей, несколько уступает ему в точности, но имеет значительно меньшее время работы (в 2,5 раза).

Самым быстрым оказался метод, основанный на анализе распределения граничных точек (почти в 6 раз быстрее метода, использующего интегро-дифференциальный оператор Даугмана). При этом на использованном наборе данных его точность оказалась почти такой же, как и у метода, на основе преобразование Хафа.

## 6. Заключение

В рамках проведенного исследования были реализованы три метода оценки параметров границ радужной оболочки глаза человека, а именно: метод, использующий интегро-дифференциальный оператор Даугмана, метод, использующий преобразование Хафа для поиска окружностей, а также метод, основанный на анализе распределения граничных точек.

Для изображений из набора данных MMU Iris Image Database была выполнена эталонная сегментация изображений радужной оболочки глаза и произведены численные эксперименты по оценке точности и времени работы реализованных методов. Проведенные исследования показали, что на использованном наборе данных наибольшую точность имеет метод, использующий интегро-дифференциальный оператор Даугмана, а предложенный в рамках работы метод, основанный на анализе распределения граничных точек, имеет наименьшее время работы и практически не уступает в точности методу на основе преобразования Хафа.

В будущем результаты проведенных исследований планируется использовать при разработке метода идентификации личности по изображению радужной оболочки глаза.

## 7. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-01-00748 а.

## 8. Литература

- [1] Multiple Biometric Grand Challenge (MBGC - 2007). Электронный ресурс. <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/mbgc.cfm>
- [2] Большая медицинская энциклопедия / гл. ред. Б. В. Петровский. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1988.
- [3] Привес, М.Г. Анатомия человека / М.Г. Привес, Н.К. Лысенков, В.И. Бушкович. – Москва: Медицина, 1974. – 670 с.
- [4] Вельховер, Е.С. Введение в иринологию. Пупиллодиагностика / Е.С. Вельховер, В.Ф. Ананин. – М.: Изд-во УДН, 1991. – 212 с.
- [5] Коновалов, В.В. Практическая иринология / В.В. Коновалов, А.А. Антонов. – М.: Медицинская газета «Окулюс», 1990. – 88 с.
- [6] Матвеев, И.А. Методы и алгоритмы автоматической обработки изображений радужной оболочки глаза / И.А. Матвеев // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – 2014. – 290 с.
- [7] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

- [8] Ling, L.L. Fast and efficient iris image segmentation / L.L. Ling, D.F. Brito // J. Medical and Biological Engineering. – 2010. – Vol. 30(6). – P. 381-392.
- [9] Daugman, J.G. How iris recognition works / J.G. Daugman // Proc. IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol. – 2004. – Vol. 14(1). – P.21-30.
- [10] Basit, A. Localization of iris in gray scale image using intensity gradient / A. Basit, M. Javed // Optics and Lasers in Engineering. – 2007. – Vol. 45. – P.1107-1114.
- [11] Canny, J. F. A computational approach to edge detection / J.F. Canny // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intelligence. – 1986. – Vol. 8(6). – P. 679-698. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
- [12] Чигринский, В.В. Быстрый алгоритм поиска границ зрачка и радужной оболочки глаза / В.В. Чигринский, Ю.С. Ефимов, И.А. Матвеев // Машинное обучение и анализ данных. – 2016. – Т. 2, №2. – С. 159-172.
- [13] MMU Iris Image Database: Multimedia University. Электронный ресурс: <http://pesonna.mmu.edu.my/ccteo/>
- [14] Jaccard, P. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines / P. Jaccard // Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur. – 1901. – Vol. 37(140). – P. 241-272

## A comparison of iris image segmentation techniques

M.S. Semyonov<sup>1</sup>, E.V. Myasnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

**Abstract.** The paper compares three different methods of iris image segmentation, namely the method using the Daugman's integro-differential operator, the method using the Hough transform for the detection of circles, and the method based on the analysis of the distribution of edge points. The accuracy and run time of the implemented methods were estimated in the experimental study conducted using the MMU Iris Image Database. The carried out researches have shown that the method using the Daugman's integro-differential operator has the greatest accuracy, and the method based on the analysis of the distribution of boundary points has the shortest operating time.

**Keywords:** iris, pupil, segmentation.