

## ОБЗОР МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА

П.И. Кандрина

kandrinapolina@gmail.com

SPIN-код: 9568-6561

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*В настоящее время проблема защиты информации от несанкционированного доступа особенно актуальна. Одной из наиболее надежных биометрических технологий является технология распознавания по радужной оболочке глаза. В статье рассмотрены основные этапы решения задачи идентификации человека по радужной оболочке глаза (РОГ), приведен перечень баз изображений РОГ. Представлен краткий обзор существующих методов распознавания РОГ, основанных на интегро-дифференциальном операторе, текстурном анализе, колебаниях интенсивности и анализе независимых компонент, проанализирована точность методов идентификации человека по РОГ.*

### Ключевые слова

*Защита информации, радужная оболочка глаза, биометрическая система, методы идентификации человека, колебание интенсивности, интегро-дифференциальный оператор, анализ независимых компонент, текстурный анализ*

Поступила в редакцию 21.02.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

---

**Введение.** Биометрические данные — это уникальные физиологические характеристики, которые позволяют идентифицировать человека. Биометрическая система, в основе которой лежит метод распознавания радужной оболочки глаза (РОГ), является одной из самых надежных систем безопасности. РОГ представляет собой часть сосудистой оболочки глаза, заключенной между зрачком и склерой глаза. Ее структура формируется в течение первого года жизни человека и является неизменной, причем существуют различия между РОГ близнецов, а также левого и правого глаза одного и того же человека. В процессе идентификации анализируется отклонение интенсивности цвета радужной оболочки. Данная технология применима к объектам, связанным с безопасностью большого количества пользователей, поскольку позволяет предотвратить несанкционированный доступ к банкоматам, мобильным устройствам, стационарным и портативным ПК и компьютерным сетям. Точность биометрических систем, построенных на технологии распознавания РОГ, превышает точность аналогичных систем, в которых используется отпечаток пальца или руки.

В 1885 г. французский офтальмолог Альфонс Бертильон предложил использовать изображение радужной оболочки глаза в качестве основы для технологии идентификации. В 1992 г. появились первые системы безопасности,

которые позволяли сделать снимок РОГ и сравнить его с данными, записанными в базе [1]. Несмотря на то что в распознавании снимков были достигнуты значительные успехи, система испытывала трудности в обработке некачественных или зашумленных изображений. Алгоритмы распознавания РОГ необходимо разрабатывать и тестировать в различных условиях и с различными параметрами. В настоящее время проводятся исследования в области локализации, нелинейной нормализации, сегментации и масштабирования РОГ с целью снижения коэффициента ложного отказа и увеличения скорости создания записи в базе.

Процесс распознавания радужной оболочки глаза включает в себя четыре основных шага.

На первом шаге происходит получение последовательности снимков РОГ с использованием специальных камер и датчиков. Ключевыми параметрами, влияющими на качество, на данном этапе являются освещенность, разрешение и количество пикселей получаемого снимка [2].

На втором шаге изображение проходит предварительную обработку, которая включает в себя проверку на «живого» пользователя, получение границы радужной оболочки и зрачка, обнаружение и обрезание незначимых для анализа данных (века, ресниц), а также нормализацию. Проверка на «живого» пользователя позволяет отсеять изображение реального человека от фотографий, видеорядов и других предметов. В основе технологий локализации РОГ лежит преобразование Хафа, интегро-дифференциальный оператор или метод активных контуров. Границы верхнего и нижнего века экстраполируются параболой, полученными в результате процесса обнаружения и удаления век. После этого необходимо привести полученную РОГ в нормализованный вид.

На третьем шаге происходит извлечение основных параметров РОГ для дальнейшей классификации. Таковыми могут быть координаты, радиус, форма или размер зрачка, значения интенсивности. Далее эти параметры преобразуют в удобный для распознавания формат.

В процессе четвертого шага полученные параметры РОГ сравнивают с данными хранимых в базе образцов [3]. Для решения задачи классификации используют внутрикласовую и межкласовую изменчивость.

**Базы изображений РОГ.** Точность системы распознавания РОГ зависит, в первую очередь, от качества входных изображений. Зашумленные и низкокачественные снимки способствуют снижению производительности системы. База данных UBIRIS является общедоступной и состоит из изображений различного качества [3]. Данные изображения представлены в двух видах: во второй серии снимки имеют реалистичный цифровой шум и отображают объект на расстоянии [4]. База данных CASIA также представляет собой два набора изображений, а CASIA-IrisV3 включает в себя 22 051 снимка РОГ более чем 700 людей, включая близнецов. Подробная информация о существующих базах представлена в табл. 1.

Базы изображений РОГ

База данных	Версия	Количество изображений	Количество человек	Формат	Разрешение
UBIRIS	V1	1877	241	jpeg	400×300
	V2	11 102	261	jpeg	800×600
CASIA	V1	756	108	bmp	320×280
	V2	1 200	60	bmp	640×480
	V3-Interval	2 655	249	jpeg	320×280
	V3-Lamp	16 213	411	jpeg	640×480
	V3-Twins	3 183	200	jpeg	640×480
ND 2004-2005	—	64 980	356	tiff	640×480
University of Bath Iris Image DB	Iris DB 400	8 000	200	bmp	1280×960
	Iris DB 800	16 000	400	bmp	1280×960
	Iris DB 1600	32 000	800	bmp	1280×960
UPOL	—	384	64	png	576×768
MMU	MMU1	450	100	bmp	320×280
	MMU2	995	100	bmp	320×280

**Методы распознавания РОГ. Метод, основанный на интегро-дифференциальном операторе Даугмана.** В основе данного метода лежит информация о составляющих входного изображения — фазе, контрасте и освещенности. Д. Даугман спроектировал и запатентовал первую завершённую и коммерчески доступную систему распознавания в 1994 г. [6, 7]. Изображения глаза с радиусом РОГ, составляющим 80–130 пикселей, были получены и обработаны в режиме реального времени. Границы радужной оболочки и зрачка были вычислены с использованием интегро-дифференциального оператора

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

где  $G_\sigma(r)$  — сглаживающая функция Гаусса;  $I(x, y)$  — функция интенсивности изображения;  $s$  — контур окружности с координатами  $(x_0, y_0)$  и радиусом  $r$ .

В части изображения, содержащей РОГ, функцию интенсивности приводят к полярным координатам с использованием вспомогательной функции  $I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta)$ , где  $r$  лежит на отрезке  $[0, 1]$ , а  $\theta$  — это значение угла в диапазоне  $[0, 2\pi]$ .

Структуру РОГ преобразуют в двоичный код путем квантования фазового отклика с использованием двумерных фильтров Габора. Каждый пиксель

нормализованного изображения РОГ соответствует двум битам данных. Все-го для каждого снимка используется 2048 бит, отводимых непосредственно под РОГ, и столько же бит для незначимых участков изображения. Данный способ кодирования позволяет хранить данные в удобном для сравнения 256-байтном формате. Получаемый код для каждого изображения уникален, а для сравнения каждого из 2048 битов РОГ используются побитовые операторы XOR и AND. Метрика различия вычисляется с помощью расстояния Хэмминга:

$$HD = \frac{\|(\text{code } A \otimes \text{code } B) \cap \text{mask } A \cap \text{mask } B\|}{\|\text{mask } A \cap \text{mask } B\|},$$

где  $\text{code } A$ ,  $\text{code } B$  — векторы битов кодов двух РОГ;  $\text{mask } A$ ,  $\text{mask } B$  — битовые маски соответствующих векторов.

Расстояние Хэмминга является частным случаем метрики Минковского. Если  $HD = 0$ , РОГ считают идентичными.

**Метод, основанный на текстурном анализе.** Метод, предложенный Уайлдсом, основан на текстурном анализе изображения РОГ [8–10]. Он позволяет построить модель зрачка и края роговицы, а также локализовать границы верхнего и нижнего века с использованием параболических дуг. Параметры кривых  $x$ ,  $y$  и  $r$  могут быть получены с помощью преобразования Хафа, которое, в свою очередь, основано на процедуре выбора крайних точек фигуры. Границы РОГ представляют собой максимальное количество крайних точек, полученных в результате трансформации Хафа. Для построения пирамиды Лапласа вычисляют гауссову кривизну поверхности (LoG) с использованием нескольких шкал. Выражение LoG-фильтра соответствует формуле

$$-\frac{1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right) e^{-\rho^2/2\sigma^2},$$

где  $\sigma$  — среднее стандартное отклонение;  $\rho$  — радиальное расстояние от точки до центра фильтра.

Для сравнения входного изображения и изображения из базы используют нормированную корреляцию. Роль классификатора играет линейный дискриминант Фишера.

**Метод, основанный на нуль-пересечениях.** Метод, разработанный Боулсом, учитывает параметры радужной оболочки при разных уровнях разрешения при помощи вейвлет-преобразования [11]. Предложенный алгоритм представляет собой неизменную последовательность сдвигов, поворотов и масштабирования. Входные изображения преобразуют в набор одномерных сигналов и их нуль-пересечений, построенных на двумерном вейвлет-преобразовании. Изображение радужки представляют одномерной функцией, которая фильтруется вейвлетами специального вида:

$$\psi(x) = \frac{d^2\theta(x)}{dx^2};$$

$$w_s f(x) = f\left(s^2 \frac{d^2\theta(x)}{dx^2}\right)(x) = s^2 \frac{d^2}{dx^2}(f \cdot \theta_s)(x);$$

$$\theta_s = \left(\frac{1}{s}\right)\theta\left(\frac{x}{s}\right),$$

где  $\theta(x)$  — функция сглаживания.

Центр и диаметр РОГ определяют с помощью алгоритма обнаружения края, а саму РОГ представляют в виде сферы с нормализованным количеством точек. Преимуществом данного метода является небольшой объем вычислений, поскольку число нуль-пересечений меньше числа входных точек. Его недостатком служит необходимость получения одинакового количества нуль-пересечений на каждом уровне разрешения.

**Метод, основанный на изменении интенсивности.** Метод, разработанный Ли Ма, основан на локальных колебаниях интенсивности цвета [12]. Пиксели с наибольшим отклонением формируют набор свойств РОГ. В процессе локализации координаты центра зрачка определяют при построении горизонтальной и вертикальной проекций изображения. Границы РОГ вычисляют с использованием трансформации Хафа и детектора границ Канни. Полученные значения, содержащие информацию о частоте и направлении, переводят из картезианской системы координат в полярную. Для фильтрации шума применяют фильтры Габора. Извлечение параметров РОГ осуществляется генерацией одномерных сигналов на основе данных об интенсивности. Такие сигналы могут быть получены на основе двумерного вейвлет-преобразования, которое позволяет определить основные характеристики РОГ на различных шкалах. Ключевыми параметрами являются среднее и медианное абсолютное отклонение интенсивности каждого сегмента размером  $8 \times 8$  от общего количества сегментов. Для уменьшения размерности используют линейный дискриминант Фишера, а для решения задачи классификации — алгоритм  $k$  ближайших соседей. Для вычисления меры сходства двух РОГ применяют XOR-оператор, а также процедуру циклического сдвига.

Метод, предложенный Чон Гук Ко, основан на суммарном изменении положения точек [13]. Сегментация осуществляется с использованием метода Даугмана, а полученное изображение имеет размер  $64 \times 300$  пикселей. Процесс извлечения параметров РОГ основан на вычислении суммарной интенсивности серого цвета у блоков размером  $3 \times 10$ . Блоки группируют по горизонтали и вертикали, после чего для каждой такой группы подсчитывают общую сумму, максимум и минимум. Код для РОГ составляют по следующему принципу: если суммарная

интенсивность блока больше вычисленного максимума, в ячейку записывается цифра 1, если меньше минимума — 2, в остальных случаях — 0. Для определения метрики различия вычисляют расстояние Хэмминга.

**Метод на основе анализа независимых компонент.** В системе распознавания РОГ, разработанная Я-Пин Хуан, применяется анализ независимых компонент для решения задачи извлечения параметров текстуры РОГ [14]. Входные изображения обладают различной освещенностью и уровнем шума. Локализация осуществляется с применением интегро-дифференциального оператора и аппроксимацией параболической кривой. РОГ представляют набором  $n$  концентрических окружностей с  $m$  точками на каждой из них. Таким образом получают матрицу размером  $n \times m$ . Функцией базиса для анализа независимых компонент служит эксцесс. Центр каждого класса определяют путем конкурентного обучения, он является кодом для РОГ. Для сравнения используют взвешенное евклидово расстояние.

**Сравнительный анализ методов.** Были проанализированы результаты работы методов, предложенных Д. Даугманом, Р. Уайлдсом, В. Боулсом, Ли Ма и Я-Пин Хуан. Для тестов были использованы 16 213 изображений 819 глаз 411 субъектов базы CASIA Iris-Lamp DB [4]. Эталоны из набора сравнивали между собой и по результатам вычисляли значение коэффициента EER (равного уровня ошибок). Чем ниже коэффициент EER, тем выше точность рассматриваемого метода. В табл. 2 показаны характеристики точности методов распознавания РОГ.

Таблица 2

Точность методов распознавания РОГ

Метод	Точность, %	Коэффициент EER, %
Метод, основанный на интегро-дифференциальном операторе Даугмана	99,90	0,08
Метод, основанный на текстурном анализе	99,23	1,76
Метод, основанный на нуль-пересечениях	93,20	8,13
Метод, основанный на изменении интенсивности	94,33	5,26
Метод на основе анализа независимых компонент	79,20	—

Анализ данных таблицы показывает, что наиболее эффективными методами являются методы Даугмана и Уайлдса [2]. Среди достоинств метода Даугмана также можно выделить высокую скорость работы алгоритма [7]. Тем не менее при наличии бликов на изображении метод дает неудовлетворительные результаты. Метод, разработанный Уайлдсом, также обладает довольно высокой точностью и решает проблему бликов [15]. Однако для его использования требуются изображения повышенного качества, полученные с помощью специального оборудования. Методы, описанные В. Боулсом и Ли Ма, при довольно высокой точности дают результат с большим коэффициентом EER [12, 16].

**Заключение.** Физиологические параметры уникальны для каждого человека. Идентификация личности на основе данных его радужной оболочки глаза является одним из самых надежных способов. В данной статье выполнен анализ различных баз данных и наиболее перспективных методов распознавания РОГ, в результате которого в качестве основы для дальнейших исследований в области биометрии предложено акцентировать внимание на усовершенствовании существующих методов для их применения в режиме реального времени, разработке новых моделей, аппроксимирующих РОГ, которые позволят уменьшить размер структуры для ее хранения, а также на адаптации методов для мобильных устройств, банкоматов и персональных компьютеров.

### Литература

- [1] Johnston R. Can iris patterns be used to identify people? Chemical and Laser Sciences Division Annual Report LA-12331-PR. Los Alamos National Laboratory, 1992, pp. 81–86.
- [2] Bowyer K.W., Hollingsworth K., Flynn P.J. Image understanding for iris biometrics: a survey, computer vision and image understanding. *CVIU*, 2008, vol. 10, no. 2, pp. 281–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.08.005>
- [3] Proenca H., Alexandre L.A. UBIRIS: a noisy iris image database. *ICIAP*, 2005, pp. 970–977. DOI: [https://doi.org/10.1007/11553595\\_119](https://doi.org/10.1007/11553595_119)
- [4] CASIA Iris image databases. *cbsr.ia.ac.cn: веб-сайт*. URL: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/Iris-Database.htm> (дата обращения: 15.10.2019).
- [5] Li M., Tan T., Wang Y., et al. Personal identification based on iris texture analysis. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2003, vol. 25, no. 12, pp. 1519–1533. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2003.1251145>
- [6] Daugman J. How iris recognition works. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 2004, vol. 14, no. 1, pp. 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818350>
- [7] Daugman J. High confidence visual recognition by a test of statistical independence. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1993, vol. 15, no. 11, pp. 1148–1161. DOI: <https://doi.org/10.1109/34.244676>
- [8] Wildes R., Asmuth J., Green G., et al. A machine-vision system for iris recognition. *Machine Vis. Apps.*, 1996, vol. 9, no. 1, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01246633>
- [9] Wildes R. Iris recognition: an emerging biometric technology. *Proc. IEEE*, 1997, vol. 85, no. 9, pp. 1348–1363. DOI: <https://doi.org/10.1109/5.628669>
- [10] Wildes R.P., Asmuth J.C., Green G.L., et al. A system for automated iris recognition. *Proc. 2<sup>nd</sup> IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, 1994, pp. 121–128. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACV.1994.341298>
- [11] Boles W.W., Boashash B. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform. *IEEE Trans. Signal Process.*, 1998, vol. 46, no. 4, pp. 1185–1188. DOI: <https://doi.org/10.1109/78.668573>
- [12] Li M., Tan T., Wang Y., et al. Efficient Iris Recognition by characterizing key local variations. *IEEE Trans. Image Process.*, 2004, vol. 13, no. 6, pp. 739–750. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2004.827237>
- [13] Jong G.K., Youn H.G., Jang H.Y., et al. Method of iris recognition using cumulative-sum-based change point analysis and apparatus using the same. Patent US 20070014438. Appl. 18.04.2006, publ. 18.01.2007.

- [14] Huang Y.-P., Luo X.W., Chen E.Y. An efficient iris recognition system. *Proc. Int. Conf. Machine Learning and Cybernetics*, 2002, pp. 450–454. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2002.1176794>
- [15] Bodade R.M., Talbar S.N. Iris analysis for biometric recognition systems. Springer, 2014.
- [16] Yang J., Poh N. Recent application in biometrics. *InTech*, 2011.

**Кандрина Полина Ивановна** — студентка магистратуры кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Исаев Андрей Львович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии», МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Кандрина П.И. Обзор методов идентификации человека по радужной оболочке глаза. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 03(44). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-03-587>

## REVIEW OF HUMAN IRIS IDENTIFICATION METHODS

P.I. Kandrina

kandrinapolina@gmail.com

SPIN-code: 9568-6561

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

Currently, the problem of protecting information from unauthorized access is especially relevant. One of the most reliable biometric technologies is iris identification technology. The article discusses the main stages of solving the problem of identifying a person by the iris, provides a list of image databases of the iris. A brief overview of existing methods for iris identification based on an integral and differential operator, texture analysis, intensity fluctuations and analysis of independent components is presented, the accuracy of methods for identifying a person by iris is analyzed.

### Keywords

Information protection, iris, biometric system, methods for identifying a person, intensity fluctuation, integral and differential operator, analysis of independent components, texture analysis

Received 21.02.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

---

### References

- [1] ] Johnston R. Can iris patterns be used to identify people? Chemical and Laser Sciences Division Annual Report LA-12331-PR. Los Alamos National Laboratory, 1992, pp. 81–86.
- [2] Bowyer K.W., Hollingsworth K., Flynn P.J. Image understanding for iris biometrics: a survey, computer vision and image understanding. *CVIU*, 2008, vol. 10, no. 2, pp. 281–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.08.005>
- [3] Proenca H., Alexandre L.A. UBIRIS: a noisy iris image database. *ICIAP*, 2005, pp. 970–977. DOI: [https://doi.org/10.1007/11553595\\_119](https://doi.org/10.1007/11553595_119)
- [4] CASIA Iris image databases. *cbsr.ia.ac.cn: website*. URL: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/Iris-Database.htm> (accessed: 15.10.2019).
- [5] Li M., Tan T., Wang Y., et al. Personal identification based on iris texture analysis. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2003, vol. 25, no. 12, pp. 1519–1533. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2003.1251145>
- [6] Daugman J. How iris recognition works. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 2004, vol. 14, no. 1, pp. 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818350>
- [7] Daugman J. High confidence visual recognition by a test of statistical independence. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1993, vol. 15, no. 11, pp. 1148–1161. DOI: <https://doi.org/10.1109/34.244676>
- [8] Wildes R., Asmuth J., Green G., et al. A machine-vision system for iris recognition. *Machine Vis. Apps.*, 1996, vol. 9, no. 1, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01246633>
- [9] Wildes R. Iris recognition: an emerging biometric technology. *Proc. IEEE*, 1997, vol. 85, no. 9, pp. 1348–1363. DOI: <https://doi.org/10.1109/5.628669>
- [10] Wildes R.P., Asmuth J.C., Green G.L., et al. A system for automated iris recognition. *Proc. 2<sup>nd</sup> IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, 1994, pp. 121–128. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACV.1994.341298>

- 
- [11] Boles W.W., Boashash B. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform. *IEEE Trans. Signal Process.*, 1998, vol. 46, no. 4, pp. 1185–1188. DOI: <https://doi.org/10.1109/78.668573>
  - [12] Li M., Tan T., Wang Y., et al. Efficient Iris Recognition by characterizing key local variations. *IEEE Trans. Image Process.*, 2004, vol. 13, no. 6, pp. 739–750. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2004.827237>
  - [13] Jong G.K., Youn H.G., Jang H.Y., et al. Method of iris recognition using cumulative-sum-based change point analysis and apparatus using the same. Patent US 20070014438. Appl. 18.04.2006, publ. 18.01.2007.
  - [14] Huang Y.-P., Luo X.W., Chen E.Y. An efficient iris recognition system. *Proc. Int. Conf. Machine Learning and Cybernetics*, 2002, pp. 450–454. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2002.1176794>
  - [15] Bodade R.M., Talbar S.N. Iris analysis for biometric recognition systems. Springer, 2014.
  - [16] Yang J., Poh N. Recent application in biometrics. InTech, 2011.

**Kandrina P.I.** — Master's Degree Student, Department of Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Isaev A.L., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Computer Software and Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Kandrina P.I. Review of human iris identification methods. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 03(44). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-03-587.html> (in Russ.).