

АЛГОРИТМ СРАВНЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА НА ОСНОВЕ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК*

Е. А. Павельева¹, А. С. Крылов²

Аннотация: Предложен алгоритм сравнения изображений радужных оболочек глаза на основе сравнения ключевых точек изображений. Ключевые точки определяются как точки с наибольшим значением свертки с функциями преобразования Эрмита. Для повышения эффективности алгоритма предложено исследовать только те области изображения, которые свободны от век, ресниц и бликов, а также учитывать возможность поворота глаза. Предложенный алгоритм протестирован на общедоступной базе изображений радужных оболочек глаз CASIA-IrisV3.

Ключевые слова: биометрическая идентификация; радужная оболочка глаза; преобразование Эрмита; ключевые точки

1 Введение

Извлечение информативных признаков изображений радужной оболочки глаза состоит из двух этапов: сегментации (определения областей радужной оболочки на изображении) и параметризации (вычисления информативных признаков). На этапе сегментации [1] на изображении выделяются области радужной оболочки, не закрытые ресницами, веками и бликами (рис. 1). Эти области радужной оболочки называются маской радужной оболочки. На этапе параметризации [2, 3] извлекаются ин-

формативные признаки (параметры) изображения радужной оболочки для областей маски радужной оболочки. По этим параметрам происходит сравнение и идентификация радужных оболочек.

В работе [4] предложен метод параметризации радужных оболочек на основе выделения ключевых точек радужной оболочки методом преобразования Эрмита [5]. Этот метод показал хорошие результаты на базе данных CASIA-IrisV3 [6], но, тем не менее,

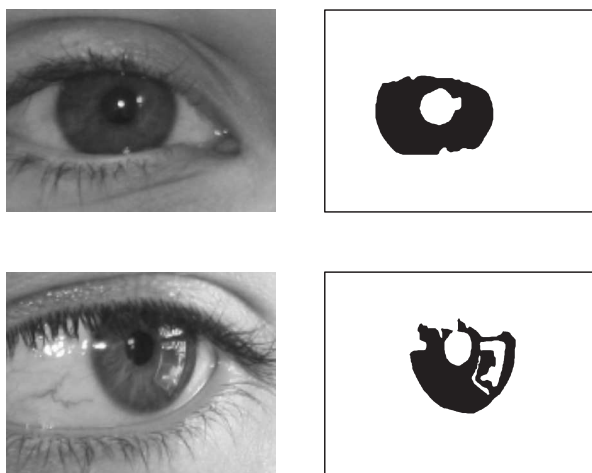


Рис. 1 Примеры изображений радужных оболочек глаз и их масок

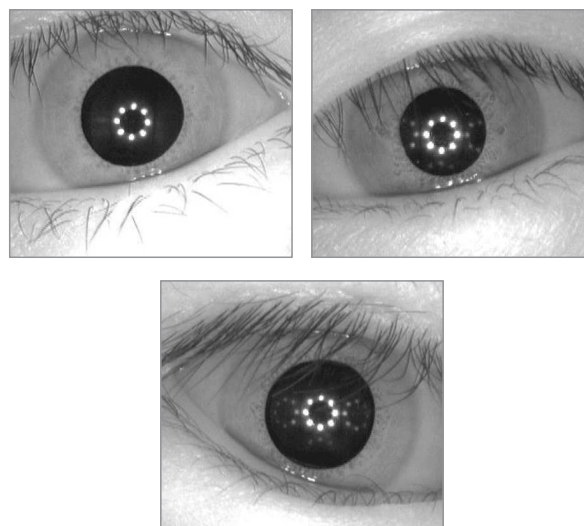


Рис. 2 Примеры изображений глаз из базы данных CASIA

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-07-00433 и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. Статья подготовлена по результатам работы секции «Биометрия» 20-й Международной конференции по компьютерной графике и зрению Графикон-2010, С.-Петербург, 20–24 сентября 2010 г.

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, paveljeva@yandex.ru

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, kryl@cs.msu.ru

0,23% глаз были распознаны неверно. Примеры глаз из базы данных CASIA показаны на рис. 2.

В данной работе предложена модификация метода ключевых точек идентификации человека по радужной оболочке глаза. Для каждого изображения из базы данных автоматически строится маска, определяющая области радужной оболочки без посторонней информации — век, ресниц и бликов. Для пары глаз их общей маской называется пересечение индивидуальных масок. При сравнении двух радужных оболочек ключевые точки ищутся только внутри областей их общей маски.

2 Постановка задачи

Общая схема алгоритма распознавания человека по ключевым точкам, предложенная в [4] и используемая в данной работе, заключается в следующем.

После выделения (локализации) радужная оболочка глаза переводится в прямоугольное нормализованное изображение (рис. 3). Далее в области параметризации нормализованного изображения находятся ключевые точки радужной оболочки методом преобразования Эрмита. Для определения обладателя входной радужной оболочки в базе данных происходит сравнение матриц ключевых точек [4].

Ранее в качестве области параметризации рассматривалась только правая верхняя четверть нормализованного изображения (см. рис. 3). В данной работе анализируется все нормализованное изображение, из которого выделяется область параметризации (маска).

При сравнении изображений радужных оболочек на изображениях не должны присутствовать области век, бликов и ресниц. В противном случае большинство ключевых точек будут соответствовать этим областям (рис. 4), так как в них происхо-



Рис. 3 Локализация и нормализация радужной оболочки

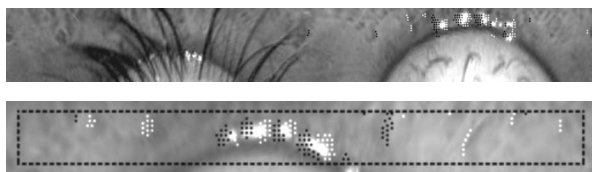


Рис. 4 Нормализованное изображение глаза, на область параметризации (пунктирная область) которого попали веко и блики

дит наибольший скачок интенсивности изображения, характеризуемый сверткой с выбранной в [4] функцией преобразования Эрмита $\varphi_{1,0}$ (рис. 5). Поэтому в данной работе строится маска изображения, закрывающая области бликов, век и ресниц, попадающих на радужную оболочку.

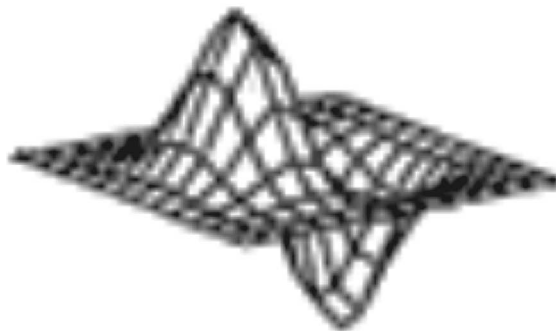


Рис. 5 Функция преобразования Эрмита $\varphi_{1,0}(x, y) = -(\sqrt{2}/\pi)xe^{-(x^2+y^2)}$

3 Построение маски изображения

Маска изображения радужной оболочки $mask$ в точке (i, j) равна 1, если точка не закрыта веком, ресницами или бликами. В противном случае значение маски в данной точке равно 0. Для нахождения бликов, век и ресниц используется детектор границ Канны [7] (Canny Edge detector).

Бликами считаются точки исходного изображения с интенсивностью выше 245, лежащие на определенных методом Канны границах или прилегающие к ним. Метод Канны применяется в работе дважды: сначала с порогами $TL = 0$, $TH = 30$ для сильно размытого Гауссом с $\sigma = 5$ изображе-

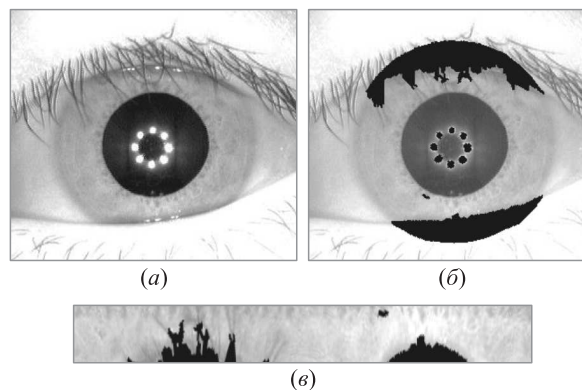


Рис. 6 Исходное изображение (а); изображение с наложением маски (б); маска на нормализованном изображении (в). Черные области — точки, не принадлежащие маске

ния (выделяются наиболее четкие границы); затем с параметрами $\sigma = 1$, $TL = 0$, $TH = 50$. При втором применении метода рассматриваются лишь те границы, которые примыкают к выделенным на предыдущем этапе четким границам.

Результат работы алгоритма выделения маски изображения показан на рис. 6.

4 Определение угла поворота глаза методом полярного преобразования Эрмита

Если одно изображение повернуто на угол φ относительно другого (рис. 7), то при их сравнении необходимо учитывать угол поворота. Для этого нормализованное изображение перед параметризацией необходимо циклически сдвинуть (что соответствует повороту исходного изображения) на число пикселей, соответствующее углу поворота.

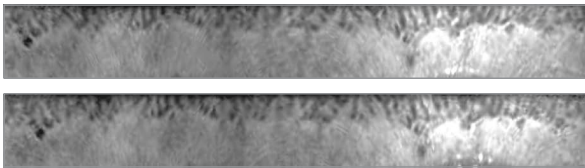


Рис. 7 Нормализованные изображения двух радужных оболочек до поворота

Для определения угла поворота глаза в работе используется метод полярного преобразования Эрмита.

Пусть $l_{i,j}$ — декартовы коэффициенты Эрмита [8, 9] для изображения, т.е. коэффициенты Фурье разложения изображения в ряд по функциям Эрмита (собственным функциям преобразования Фурье):

$$l_{i,j} = \int_{-\infty}^{\infty} dy \int_{-\infty}^{\infty} I(x,y) \psi_{i,j}(x,y) dx.$$

Полярные коэффициенты Эрмита $l_{n-k,k}^p$ вычисляются через декартовы коэффициенты Эрмита $l_{n-m,m}$ по формулам:

$$l_{n-k,k}^p = \sum_{m=0}^n G_n^{\tilde{c}p}(m,k) l_{n-m,m};$$

$$G_n^{\tilde{c}p}(m,k) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \alpha_{n-m,m}^c(\omega) \tilde{\alpha}_{n-k,k}^p(\omega) d\omega;$$

$$\alpha_{n-m,m}^c(\omega) = \sqrt{\frac{n!}{(n-m)!m!}} \cos^{n-m} \omega \sin^m \omega,$$

$$m = 0, \dots, n;$$

$$\tilde{\alpha}_{n-k,k}^p(\omega) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2^n(n-k)!k!}{n!}} \sqrt{2} \cos(n-2k)\omega, & 0 \leq k < \frac{n}{2}; \\ \sqrt{\frac{2^n(n-k)!k!}{n!}}; & k = n-k; \\ \sqrt{\frac{2^n(n-k)!k!}{n!}} \sqrt{2} \sin(n-2k)\omega, & \frac{n}{2} < k \leq n \end{cases}$$

и обладают следующим свойством: при повороте исходного изображения на угол φ полярные коэффициенты пересчитываются по формуле:

$$\begin{bmatrix} l_{n-m,m}^p(\varphi) \\ l_{m,n-m}^p(\varphi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(n-2m)\varphi & \sin(n-2m)\varphi \\ -\sin(n-2m)\varphi & \cos(n-2m)\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} l_{n-m,m}^p \\ l_{m,n-m}^p \end{bmatrix}.$$

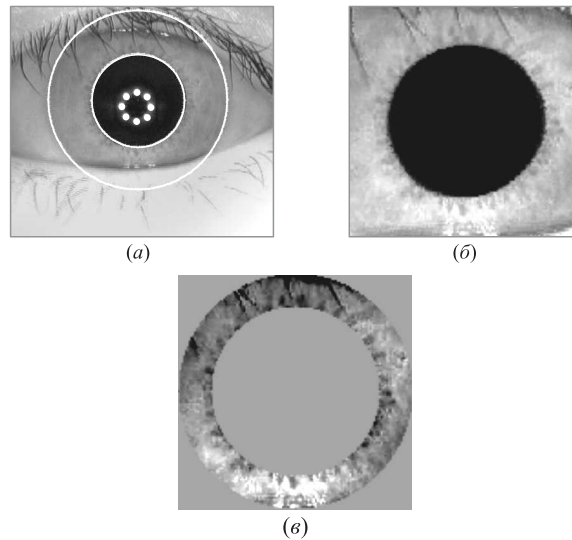


Рис. 8 Исходное изображение (а) и получение нормализованного изображения (б) и (в)

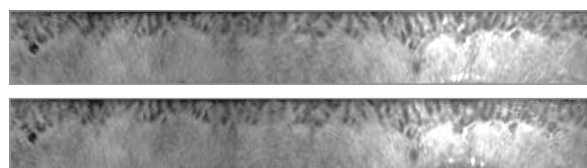


Рис. 9 Нормализованные изображения после поворота

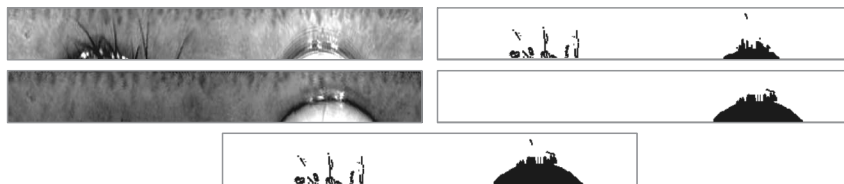


Рис. 10 Общая маска двух изображений (маска обозначена белым цветом) и сужение общей маски

Таким образом, для вычисления полярных коэффициентов Эрмита для повернутого на заданный угол φ изображения достаточно умножить коэффициенты исходного изображения (без поворота) на матрицу поворота.

Для того чтобы вычислять угол поворота одного глаза относительно другого, изображения глаз приводятся к нормализованному виду — квадрату фиксированного размера $N \times N$. Для этого сначала зрачок переводится в центр оболочки и приводится к нормализованному размеру ($r' = N/3$). Далее радужная оболочка приводится к фиксированному размеру шириной в 64 пикселя, и нормализованным изображением считается часть изображения, попавшая в квадрат $N \times N$ (рис. 8, б). Для определения угла поворота в нормализованном изображении рассматривается только кольцевая область радужной оболочки (рис. 8, в).

Далее считаются полярные коэффициенты Эрмита $l_{n-i,i}$ для $n = 0, 1, \dots, 63$, $i = 0, 1, \dots, n$ для изображения и полярные коэффициенты для этого же изображения, повернутого на углы $\varphi = \pm 2^\circ, \pm 4^\circ, \dots, \pm 20^\circ$. Все эти коэффициенты сравниваются с полярными коэффициентами второго изображения по метрике суммы квадратов отклонения коэффициентов. Угол, соответствующий минимальному отклонению коэффициентов, считается углом поворота между изображениями глаз. Пример работы алгоритма определения угла поворота показан на рис. 9.

После коррекции поворота двух изображений глаз составляется общая маска этих глаз, являющаяся пересечением масок изображений (рис. 10).

5 Алгоритм нахождения ключевых точек изображений радужных оболочек

Для нахождения ключевых точек гистограмма нормализованного изображения внутри области общей маски приводится к эквализованному виду (рис. 11), и на полученном изображении ищутся ключевые точки. Для этого в каждой точке маскированного изображения вычисляется величина

$F(x_0, y_0) = (I(x, y)\varphi_{1,0}(x, y))(x_0, y_0)$, где φ — функция преобразования Эрмита. В качестве кода радужной оболочки (ключевых точек) рассматривается N ($N = 300$) точек, разбитых на две группы: $N/2$ точек с максимальными значениями F (черные точки на рис. 12), удаленных друг от друга не менее чем на 2 пикселя, и аналогично $N/2$ — с минимальными значениями F (белые точки). Выбор данного числа ключевых точек будет обоснован ниже.

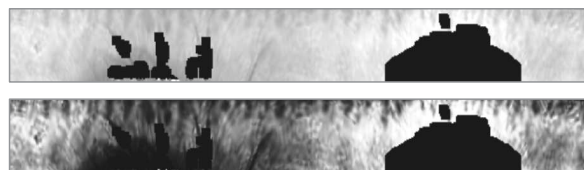


Рис. 11 Нормализованное изображение с наложением общей маски до и после эквализации гистограммы

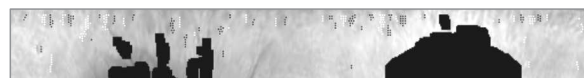


Рис. 12 Выделение ключевых точек на изображении с наложением общей маски

5.1 Определение оптимального числа ключевых точек для параметризации

В работе [4] было показано, что в случае поиска ключевых точек только в правой верхней четверти нормализованного изображения оптимальным числом является 150 ключевых точек (рис. 13).

На основе этого факта определяется оптимальное число ключевых точек для параметризации маскированного изображения. Поскольку ключевые точки разбиваются на две группы (половина точек с максимальными значениями свертки, половина — с минимальными), то дальнейшие действия производятся с каждой из групп по отдельности.

Пусть для изображения i максимальное значение свертки при выделении ключевых точек равно M_i , а значение свертки для последней взятой ключевой точки из данной группы равно M_i/k_i .

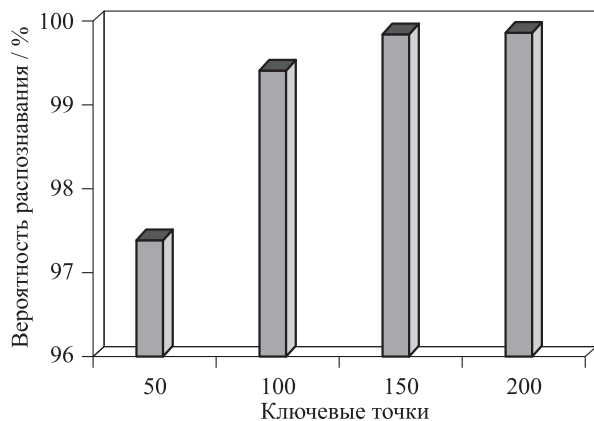


Рис. 13 График зависимости вероятности верного распознавания от числа взятых ключевых точек

Усреднив значения k_i по всей базе данных, получаем значение $k_{\text{mean}} = 2,08$. Соответственно, в данной работе для изображения i ищется N_i ключевых точек, которые попадают в диапазон $[M_i/k_{\text{mean}}, M_i]$. Усреднив это значение по базе данных, получаем $N_{\text{mean}} = 300$.

5.2 Результаты

Для оценки эффективности предложенного метода ключевых точек протестирована часть базы данных, содержащая все изображения глаз, которые в работе [4] (с использованием фиксированной области параметризации — верхней правой четверти изображения радужной оболочки глаза) давали ошибку распознавания. При параметризации радужных оболочек с учетом маски все эти глаза распознаются верно. Таким образом, применение метода ключевых точек в задаче распознавания человека по радужной оболочке глаза позволяет получить 100%-ное распознавание на базе данных CASIA-IrisV3.

6 Заключение

В работе предложен алгоритм сравнения радужных оболочек глаза, полученный путем модифика-

ции ранее предложенного алгоритма, основанного на нахождении ключевых точек методом преобразования Эрмита. В новом алгоритме строится маска областей изображения, свободных от век, ресниц и бликов, с учетом возможности поворота глаза. Предложенный метод распознавания использует оптимальное число ключевых точек и позволяет достичь безошибочного распознавания на базе данных CASIA-IrisV3.

Литература

1. *Proenca H.* Iris recognition: On the segmentation of degraded images acquired in the visible wavelength // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010. Vol. 32. No. 8. P. 1502–1516.
2. *Daugman J.* How iris recognition works // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004. Vol. 14. No. 1. P. 21–30.
3. *Hollingsworth K., Bowyer K., Flynn P.* The best bits in an iris code // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009. Vol. 31. No. 6. P. 964–973.
4. *Павельева Е. А., Крылов А. С.* Поиск и анализ ключевых точек радужной оболочки глаза методом преобразования Эрмита // Информатика и её применения, 2010. Т. 4. Вып. 1. С. 79–82.
5. *Martens J.-B.* The Hermite transform-theory // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1990. Vol. 38. No. 9. P. 1595–1606.
6. База данных CASIA-IrisV3. <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>.
7. *Canny J.* A computational approach to edge detection // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986. Vol. 8. P. 34–43.
8. *Martens J.-B.* Local orientation analysis in images by means of the Hermite transform // IEEE Transactions on Image Processing, 1997. Vol. 6. No. 8. P. 1103–1116.
9. *Kutovoi A. V., Krylov A. S.* A new method for texture-based image analysis // GraphiCon'2006: Conference Proceedings. — Novosibirsk, 2006. P. 235–238.