

# Алгоритм идентификации человека по ключевым точкам радужной оболочки глаза

Е.А. Павельева, А.С. Крылов

Лаборатория математических методов обработки изображений,

Факультет Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: [paveljeva@yandex.ru](mailto:paveljeva@yandex.ru), [kryl@cs.msu.ru](mailto:kryl@cs.msu.ru)

## Аннотация

В работе предложен алгоритм распознавания человека по радужной оболочке глаза на основе преобразования Эрмита, использующего локальные характеристики радужной оболочки. При построении кода радужной оболочки используются только наиболее информативные функции преобразования Эрмита. На основе метода преобразования Эрмита разработан также метод, использующий только ключевые точки радужной оболочки. Этот метод позволяет значительно уменьшать количество хранимых ключевых точек радужной оболочки без сильных потерь в качестве распознавания.

*Ключевые слова:* распознавание по радужной оболочке глаза, преобразование Эрмита, ключевые точки, биометрия.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Преобразование Эрмита [1] является известным методом для решения биометрических задач [2,3,4]. В преобразовании Эрмита вычисляются свертки функции интенсивности изображения с функциями преобразования Эрмита (производными функции Гаусса) в каждой точке изображения, т.е. анализируются локальные свойства изображений. Также широко известным методом в обработке изображений является метод моментов Гаусса-Эрмита [2], эквивалентный преобразованию Эрмита [4] с точностью до знаков свертки для нечетных функций преобразования Эрмита. В методе моментов Гаусса-Эрмита вместо свертки ищутся корреляции функции с производными функции Гаусса. Обычно при использовании этих методов в задачах идентификации рассматриваются лишь знаки свертки в каждой точке, а затем производится сравнение бинарных матриц, составленных из знаков свертки, с бинарными матрицами из базы данных.

В данной работе предложен метод нахождения наиболее информативных точек текстуры радужной оболочки на основе преобразования Эрмита. Для этого анализируется сумма модулей свертки функции интенсивности изображения с функциями преобразования Эрмита с наиболее информативными номерами [5] во всех точках области параметризации радужной оболочки. Точки с максимальным значением суммы соответствуют характерным точкам текстуры изображения радужной оболочки. При этом обнаружено, что для предложенного метода уменьшение количества хранимых ключевых точек радужной оболочки не приводит к сильным потерям в качестве распознавания.

В мультибиометрических системах распознавания человека [6,7], размер кода каждой биометрической составляющей и скорость распознавания важны больше, чем 100% точность распознавания по одному признаку. Поэтому предложенный

метод ключевых точек для идентификации по радужной оболочке может применяться для распознавания человека одновременно с другими биометрическими показателями, такими как голос, изображения лиц и отпечатки ладоней, пальцев.

## 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭРМИТА

### 2.1 Функции Эрмита

Функции Эрмита определяются следующим образом:

$$\psi_n(x) = \frac{(-1)^n \cdot e^{-x^2/2}}{\sqrt{2^n \cdot n! \cdot \sqrt{\pi}}} \cdot H_n(x),$$

где  $H_n(x)$  - полиномы Эрмита:

$$H_0(x) = 1,$$

$$H_1(x) = 2 \cdot x,$$

$$H_n(x) = 2 \cdot x \cdot H_{n-1}(x) - 2 \cdot (n-1) \cdot H_{n-2}(x).$$

Функции Эрмита являются собственными функциями преобразования Фурье, образуют полную ортонормированную систему функций в пространстве  $L_2(-\infty, \infty)$  и являются локализованными с вычислительной точки зрения в координатном и частотном пространствах.

### 2.2 Функции преобразования Эрмита

Функции преобразования Эрмита (Рис. 1) определяются через функции Эрмита:

$$\varphi_n(x) = \psi_0(x) \cdot \psi_n(x) = \frac{(-1)^n \cdot e^{-x^2}}{\sqrt{2^n \cdot n! \cdot \pi}} \cdot H_n(x).$$

Они также являются локализованными с вычислительной точки зрения. Так как  $\psi_n$  - ортонормированная система

функций, то  $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi_n(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_0(x) \cdot \psi_n(x) dx = 0 \quad \forall n > 0$ ,

т.е. функции  $\varphi_n(x)$  имеют среднее нулевое значение для номеров  $n > 0$ . Это свойство является важным в методах, использующих знаки свертки с такими функциями.

Двумерные функции преобразования Эрмита являются произведением одномерных функций:

$$\varphi_{n,m}(x, y) = \varphi_n(x) \cdot \varphi_m(y).$$

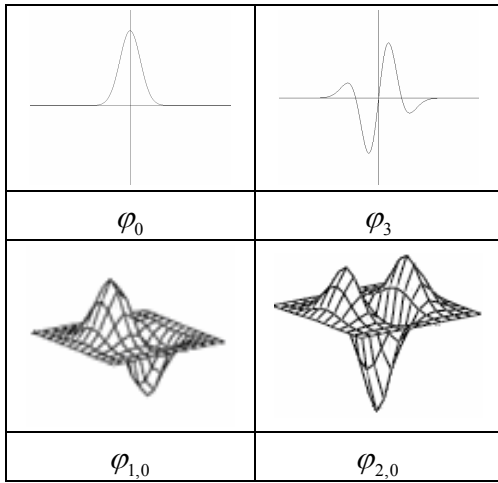


Рис.1: Примеры функций преобразования Эрмита.

### 2.3 Преобразование Эрмита

Преобразование Эрмита для изображения определяется в каждой точке  $(x_0, y_0)$  значениями сверток функции интенсивности изображения  $I(x, y)$  с функциями преобразования Эрмита  $\varphi_{m,n}(x, y)$  для выбранного конечного набора индексов  $(m, n)$  [4]:

$$M_{m,n}(x_0, y_0) = (I(x, y) * \varphi_{m,n}(x, y))(x_0, y_0) = \iint_G I(x, y) \cdot \varphi_{m,n}(x_0 - x, y_0 - y) dx dy,$$

где  $G$  – область сосредоточения функции  $\varphi_{m,n}$

### 3. МЕТОД ПАРАМЕТРИЗАЦИИ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЗНАКОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭРМИТА

Алгоритм выделения радужной оболочки глаза описан в [8,5] и основывается на поиске максимума скачка средней интенсивности на изображении вдоль круговых контуров. В данной работе произведено уточнение областей интегрирования при поиске внешней границы радужной оболочки, свободных от попадания в них века и ресниц. В каждой из четырех прямоугольных областей, выделенных на Рис. 2, подсчитывается среднее значение интенсивности  $I_i$ . Длина дуги окружности, по которой происходит интегрирование в  $i$ -й области, пропорциональна соответствующему углу

$$\alpha_i = \frac{90^\circ \cdot I_i}{\sum_{j=1}^4 I_j}, \quad i \in \{1, 2, 3, 4\}.$$

Таким образом, чем больше ресниц попадает в  $i$ -ю область, тем меньше дуга окружности интегрирования в этой области.

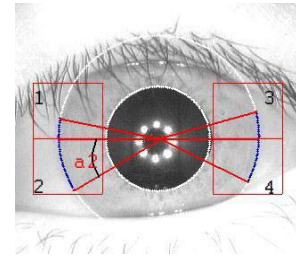


Рис.2: Локализация радужной оболочки.

После выделения радужной оболочки глаза (локализации), радужная оболочка переводится в прямоугольное нормализованное изображение. Для дальнейшей параметризации нами используется только область, включающая правую верхнюю четверть нормализованного изображения, на которую, как правило, не попадают ресницы и века [5] (Рис.3).



Рис.3: Нормализация радужной оболочки.

В предлагаемом методе, называемом в дальнейшем методом знаков, проводится параметризация радужной оболочки на основе анализа знаков сверток преобразования Эрмита в каждой точке  $(x_0, y_0)$  области параметризации для выбранного набора индексов  $(m, n)$ :

$$L_{m,n}(x_0, y_0) = \text{sgn } M_{m,n}(x_0, y_0).$$

В качестве метрики сравнения по данным значениям  $L_{m,n}$  берется расстояние Хэмминга между соответствующими прореженными [5] матрицами радужных оболочек  $HD(L)$ . В работе [5] проведен анализ зависимости расстояний между матрицами изображений радужных оболочек от номеров функций преобразования Эрмита. Показано, что наилучший результат достигается при сравнении и сопоставлении значений

$$HD(L_{1,0}) + HD(L_{2,0}) \quad \text{и} \quad HD(L_{1,0}) + HD(L_{2,1}).$$

Если минимальные значения для каждого из этих двух выражений достигаются для изображений одного человека из базы данных, то распознавание считается успешным. В противном случае, данная радужная оболочка дополнительно исследуется на наличие попадания нижнего века в область параметризации. В случае детектирования века, данное изображение считается не подлежащим идентификации. В остальных случаях распознавание считается неуспешным.

#### 3.1 Определение наличия века в области параметризации

Для определения наличия века в области параметризации рассматривается вертикальная производная яркости изображения  $I'(x, y) = \frac{\partial I(x, y)}{\partial y}$  и ищется

$$\max_{y} \sum_x |I'(x, y)|$$

$$\text{в области } \left[ x_p - \frac{r}{2}, x_p + \frac{r}{2} \right] \times \left[ y_p + r, y_p + \frac{(R+r)}{2} \right],$$

выделенной на Рис.4. Здесь  $(x_p, y_p)$  - центр зрачка,  $r$  и  $R$  - радиусы границ радужной оболочки. Если это значение больше порогового, то считается, что нижнее веко попало в область параметризации.

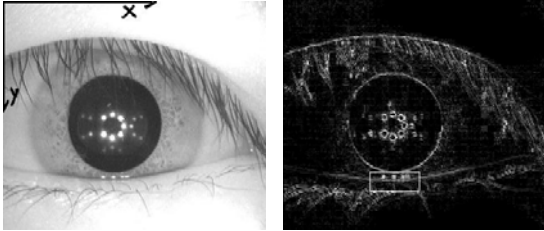


Рис. 4: слева – исходное изображение  $I(x, y)$ , справа – изображение  $I'(x, y)$ .

### 3.2 Результаты работы метода параметризации на основе анализа знаков преобразования Эрмита

В Таблице 1 приведены результаты работы метода на базе данных CASIA-IrisV3 [9] – значения FAR и FRR (False Acceptance/Rejection Rate определяются количеством неверных допусков/отказов). Проведено сравнение предложенных методов с результатами описанных в литературе существующих методов идентификации по радужной оболочке глаза.

МЕТОД	FAR (%)	FRR (%)	БАЗА ДАННЫХ
Метод знаков	0	0.82	CASIA-IrisV3
Метод знаков с учетом определения наличия века	0	0.33	CASIA-IrisV3
Tan [2]	0.001	1.13	CASIA V1.0
Tan [10]	0.001	0.4	CASIA V1.0
Romero-Ramirez [4]	0	9.71	CASIA V1.0
Daugman [11]	0	0.008	NIST (ICE-1)

Таблица 1: Сравнение методов идентификации.

### 4. МЕТОД ПАРАМЕТРИЗАЦИИ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ НА ОСНОВЕ ВЫДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК

В работе [5] показано, что наиболее информативными номерами двумерных функций преобразования Эрмита  $\varphi_{m,n}(x, y)$  являются номера (1,0), (1,1), (2,0). Эти номера взяты в данной работе для выделения ключевых точек радужной оболочки.

Рассмотрим в каждой точке области параметризации величину  $F = |M_{1,0}| + |M_{2,0}| + |M_{1,1}|$  и отсортируем все

точки по убыванию величины  $F$ . В качестве кода радужной оболочки (ключевых точек) рассматривается матрица 500 точек с максимальными значениями  $F$  (пример кода радужной оболочки приведен на Рис. 5). На Рис. 5 пунктиром обозначена граница возможных значений точек кода (граница отстоит от краев области параметризации на полуширину области сосредоточения функции  $\varphi_2$  - функции преобразования Эрмита с максимальным используемым номером).

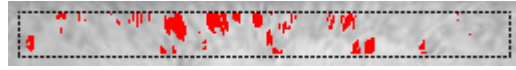


Рис. 5: Область параметризации радужной оболочки с кодом радужной оболочки.

Метод ключевых точек сильно неустойчив к наличию века и бликов в области параметризации, т.к. области века и бликов стягивают к себе все ключевые точки (Рис. 6). Поэтому этот метод следует применять только для изображений без наложения века на область параметризации.



Рис. 6: Пример работы алгоритма выделения ключевых точек на изображении с наложением века на область параметризации.

### 4.1 Сравнение изображений радужных оболочек

В качестве метрики сравнения кодов радужных оболочек используется расстояние Хэмминга между матрицами ключевых точек. Чтобы алгоритм был устойчив к поворотам глаза (поворот глаза соответствует циклическому сдвигу всего нормализованного изображения), сравниваются матрицы точек уменьшенного размера. Границы такой урезанной матрицы выделены на Рис. 7 и сдвигаются у исследуемого изображения в обе стороны до границ возможных значений точек кода. В данной работе учитываются углы поворота от  $-10^\circ$  до  $10^\circ$ .

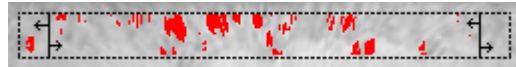


Рис.7: Области сравнения матриц кодов радужных оболочек.

### 4.2 Результаты алгоритма ключевых точек

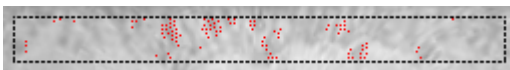
Алгоритм параметризации радужной оболочки на основе выделения ключевых точек протестирован на базе данных CASIA-IrisV3, содержащей 2655 изображений глаз. Результаты работы алгоритма приведены в Таблице 2.

Количество неверных ближайших изображений (из 2655)	Неверные из-за наложения века и бликов	Остальные случаи (ошибки FAR+FRR метода)
67 = 54+13	54	13 (0.49%)

Таблица 2: Результаты работы алгоритма ключевых точек.

Если применить метод ключевых точек к тем 0.33% изображений базы данных CASIA-IrisV3 из Таблицы 1, обладатели радужных оболочек которых не были найдены методом знаков с учетом определения наличия века, то он даёт положительный результат на всех этих изображениях. Таким образом, комбинированный метод, включающий последовательно метод анализа знаков преобразования Эрмита и метод ключевых точек, позволяет получить очень надежный алгоритм идентификации человека по радужной оболочке глаза.

Было также обнаружено, что предложенный метод ключевых точек позволяет значительно уменьшать количество хранимых ключевых точек радужной оболочки без сильной потери качества распознавания. В эксперименте рассмотрен выбор не 500 ключевых точек, а 100. При этом дополнительно было поставлено условие, что точки не должны соприкасаться друг с другом (расстояние между точками  $\geq 2$  пикселей). Видно, что 100 точек, взятых таким образом (Рис.8), качественно определяют те же области, что и 500 (Рис.5).



**Рис.8:** Код радужной оболочки в случае 100 ключевых точек.

Предложенная модификация метода включает также следующее дополнительное уменьшение размера кода радужной оболочки: вместо исходной матрицы 100 ключевых точек радужной оболочки (размер пунктирной области -  $N_x \times N_y$ ) берется укороченная матрица размера  $N_x/3 \times N_y/3$  (исходная матрица разбивается на блоки  $3 \times 3$  и, если в блок попадает точка кода, то соответствующее значение укороченной матрицы равняется 1, иначе 0). Таким образом, размер кода заметно уменьшается и равняется 61 байт. Количество неверно определившихся изображений в базе данных [9] при таком выборе кода в случае отсутствия века получилось равным 40 (1.5 %).

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен алгоритм идентификации человека, использующий ключевые точки радужной оболочки глаза, найденные локальным методом преобразования Эрмита. Этот алгоритм позволяет значительно уменьшать количество хранимых ключевых точек радужной оболочки без сильной потери качества распознавания. Последовательное использование метода знаков и метода ключевых точек позволяет получить надежный метод распознавания. Метод ключевых точек достаточно перспективен для использования в мультибиометрических системах распознавания людей.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

## 6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] J.B. Martens. “The Hermite transform-theory”, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* vol. 38, no. 9, pp. 1595–1606, 1990.

- [2] L. Ma, T. Tan, D. Zhang, Y. Wang. “Local Intensity Variation Analysis for Iris Recognition”, *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 6, pp. 1287–1298, 2004.
- [3] L. Wang, M. Dai. “Extraction of Singular Points in Fingerprints by the Distribution of Gaussian-Hermite Moment”, *IEEE Proc. 1 Int. Conf. DFMA*, pp. 206-209, 2005.
- [4] A. Estudillo-Romero, B. Escalante-Ramirez, “The Hermite Transform: An Alternative Image Representation Model for Iris Recognition”, *LNCS*, no. 5197, pp. 86-93, 2008.
- [5] Е.А. Павельева, А.С. Крылов, О.С. Урмаев. “Развитие информационной технологии идентификации человека по радужной оболочке глаза на основе преобразования Эрмита”, *Сист. высокой доступности*, №1, 2009, с. 36-42.
- [6] F. Wang, J. Han. “Robust multimodal biometric authentication integrating iris, face and palmprint”, *Inform. techn. and control*, vol.37, no.4, pp. 326-332, 2008.
- [7] A.K. Jain, A. Ross. “Multibiometric Systems”, *Comm. of the ACM*, vol. 47, no. 1, pp. 34-40, 2004.
- [8] A. S. Krylov, E. A. Pavelyeva. “Iris Data Parametrization by Hermite Projection Method”, *GraphiCon’2007 Conf. proc.*, p. 147–149, 2007.
- [9] База данных CASIA-IrisV3: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>.
- [10] L. Ma, T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang, “Efficient iris recognition by characterizing key local variations” *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 13, no. 6, p. 739–750, 2004.
- [11] J. Daugman, “New Methods in Iris Recognition”, *IEEE Transaction on Systems, Man, Cybernetics-part B*, vol. 37, no. 5, pp. 1167-1175, 2007.

## Iris identification algorithm using the most informative iris points

### Abstract

The algorithm of human iris identification using local Hermite transform is proposed. The most informative Hermite transform functions are used to form the iris code. The compact algorithm of Hermite transform method which uses only key iris points is also proposed. This method allows to decrease considerably the number of used iris points preserving identification reliability.

*Keywords:* iris recognition, Hermite transform, iris key points, biometrics.

### Об авторах

Павельева Елена Александровна – аспирантка ф-та ВМК МГУ. E-mail: [Paveljeva@yandex.ru](mailto:Paveljeva@yandex.ru).

Крылов Андрей Серджевич – к.ф.-м.н., доцент, зав. лаб. математических методов обработки изображений ф-та ВМК МГУ. E-mail: [kryl@cs.msu.ru](mailto:kryl@cs.msu.ru).

### About the authors:

Elena A. Pavelyeva is a PhD student of Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University (CMC MSU). E-mail: [Paveljeva@yandex.ru](mailto:Paveljeva@yandex.ru).

Dr. Andrey S. Krylov is an associated professor, Head of the Laboratory of Mathematical methods of Image Processing, CMC MSU. E-mail: [kryl@cs.msu.ru](mailto:kryl@cs.msu.ru).