

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭРМИТА¹

Е.А. Павельева, А.С. Крылов, О.С. Ушмаев
Факультет ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова,
Институт проблем информатики РАН

Аннотация. В работе представлена информационная технология идентификации человека по радужной оболочке глаза на основе преобразования Эрмита, использующего локальные характеристики радужной оболочки. При построении кода радужной оболочки используется анализ знаков сверток интенсивности изображения радужной оболочки глаза с функциями преобразования Эрмита. Приведен анализ выбора наиболее информативных номеров функций Эрмита для использования в алгоритме и выбор критерия идентификации этим методом. Технология включает также предобработку изображений радужной оболочки глаза и метод определения ее областей, свободных от ресниц, век и бликов.

Ключевые слова: биометрическая идентификация, идентификация по радужной оболочке глаза, преобразование Эрмита.

DEVELOPMENT OF HUMAN IRIS IDENTIFICATION INFORMATION TECHNOLOGY USING HERMITE TRANSFORM

E.A. Pavelyeva, A.S. Krylov, O.S. Ushmaev
Lomonosov Moscow State University, Faculty of Computational Mathematics and
Cybernetics
Institute for Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Abstract. Local iris recognition method using Hermite transform has been developed. The method is based on sign analysis of convolutions of iris intensity function with Hermite transform functions. Most informative indexes of Hermite functions and the identification criterion were found. The algorithm also includes iris image preprocessing method and detection of iris areas non-occluded by eyelids and eyelashes.

Keywords: biometrics, iris recognition, Hermite transform.

1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с возросшими требованиями к информационной безопасности получают широкое распространение методы биометрической верификации и идентификации личности. Особенно острой проблема идентификации личности пользователя приобретает в распределенных системах, особенно в системах высокой доступности. В частности, высокая доступность предполагает, что любой пользователь может получить доступ в рамках своих полномочий к необходимым ему ресурсам и услугам (сервисам) за приемлемое для него (пользователя) время [1]. Использование парольной идентификации имеет известные недостатки: пароль легко забыть, пароли используются третьими лицами для несанкционированного доступа, восстановление пароля во многих случаях затруднено невозможностью дистанционной идентификации и

¹ Работа поддержана грантами РФФИ (проекты 06-01-39006-ГФЕН, 09-07-00173 и 07-07-00031) и Программой фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект 1.5)

аутентификации человека, обращающегося к службе поддержки. Технологии, усиливающие парольную защиту обладанием некоторой вещью, например, SIM-картой, сопряжены с теми же неудобствами. Единственный на сегодняшний день идентификатор, который имеет почти нулевой риск утери – биометрия [2].

С точки зрения применения в информационных системах, одним из наиболее перспективных способов идентификации пользователя является идентификация по радужной оболочке глаза. Это связано с рядом факторов. Во-первых, радужная оболочка потенциально одна из самых разнообразных биометриков. Так теоретическая вероятность того, что два разных человека имеют один и тот же рисунок радужной оболочки, приблизительно равна 10^{-78} , в то время как все население Земли составляет менее 10^{10} . Во-вторых, рисунок радужки довольно слабо меняется с возрастом, особенно в сравнении с лицевой биометрией. В-третьих, бесконтактный способ получения изображений радужной оболочки делает привлекательным ее применение в различных отраслях [3,4]. При этом потеря радужной оболочки обычно связана с физической невозможностью пользоваться сервисами информационной системы.

В работе представлена информационная технология идентификации человека по радужной оболочке глаза на основе преобразования Эрмита [5-7], который использует локальные характеристики радужной оболочки. В разделе 2 дано описание преобразования Эрмита применительно к задаче обработки изображений. В разделе 3 дана постановка задачи идентификации по радужной оболочке глаза. В разделе 4 дано описание метода распознавания по радужной оболочке на основе сверток с функциями преобразования Эрмита. Результаты экспериментов на базе данных CASIA-IrisV3 [8] приведены в разделе 5. Основные выводы представлены в заключении.

2 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭРМИТА

Функции Эрмита. В качестве базисных функций в работе взяты функции Эрмита ψ (рисунок 1) [9]. Одномерные функции преобразования Эрмита φ могут определяться через функции Эрмита следующим образом:

$$\psi_n(x) = \frac{(-1)^n e^{-x^2/2}}{\sqrt{2^n n! \sqrt{\pi}}} \cdot \frac{d^n (e^{-x^2})}{dx^n}, \quad \varphi_n(x) = \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt[4]{\pi}} \cdot \psi_n(x).$$

Функции Эрмита также могут быть определены следующей рекуррентной формулой:

$$\psi_0(z) = \frac{1}{\sqrt[4]{\pi}} \cdot e^{-z^2/2};$$

$$\psi_1(z) = \frac{\sqrt{2}z}{\sqrt[4]{\pi}} \cdot e^{-z^2/2};$$

$$\psi_n(z) = z \sqrt{\frac{2}{n}} \cdot \psi_{n-1}(z) - \sqrt{\frac{n-1}{n}} \cdot \psi_{n-2}(z), \quad n \geq 2.$$

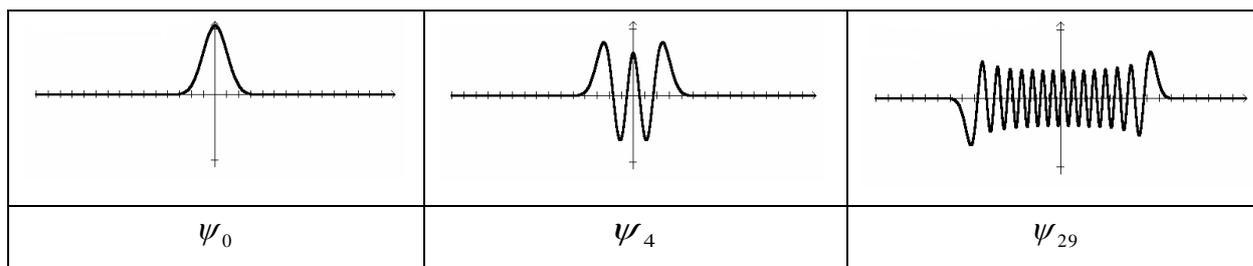


Рисунок 1 - Примеры одномерных функций Эрмита

Функции Эрмита обладают следующими свойствами:

- являются собственными функциями преобразования Фурье: $F(\psi_n) = i^n \psi_n$;
- являются локализованными с вычислительной точки зрения как в пространственном, так и в частотном пространствах
- образуют полную ортонормированную систему функций в пространстве $L_2(-\infty, +\infty)$.

Двумерные функции Эрмита представимы в виде соответствующих произведений одномерных функций Эрмита (рисунок 2): $\psi_{n,m}(x, y) = \psi_n(x) \cdot \psi_m(y)$.

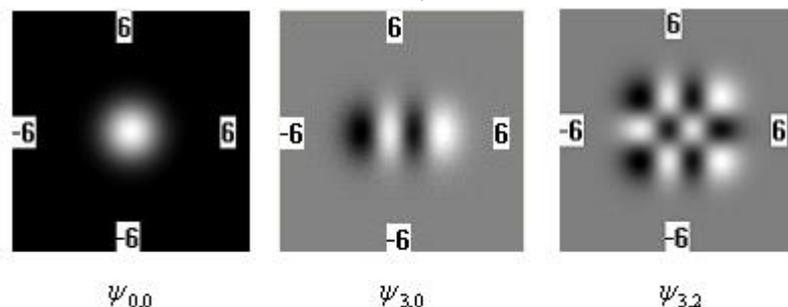


Рисунок 2 - Примеры двумерных функций Эрмита

Данный частотно-пространственный базис представляется достаточно перспективным для решения идентификационных задач биометрии. Ранее в задаче идентификации человека по радужной оболочке глаза нами предложен метод, использующий данный базис при анализе интегральных характеристик радужки [9,10].

Преобразование Эрмита. Пусть $I(x, y)$ - функция интенсивности исходного изображения, $\psi_{m,n}(x, y)$ - m, n -я двумерная функция Эрмита. Преобразование Эрмита для функции $I(x, y)$ определяется в каждой точке (x_0, y_0) значениями сверток $I(x, y)$ с функциями преобразования Эрмита для выбранного конечного набора индексов (m, n) [6]:

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

В отличие от проекционного метода Эрмита [9], это преобразование обычно использует лишь небольшие значения m и n и описывает локальные характеристики изображения.

В методе преобразования Эрмита для изображений радужных оболочек глаз используются знаки формул преобразования в различных точках изображения: $L_{m,n} = \text{sgn}(M_{m,n}(x_0, y_0))$. В данной работе проведен выбор оптимальных номеров функций Эрмита, используемых в алгоритме, и выбор критерия идентификации этим методом.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА

На рисунке. 3 показана общая схема решения задачи идентификации человека по радужной оболочке глаза.

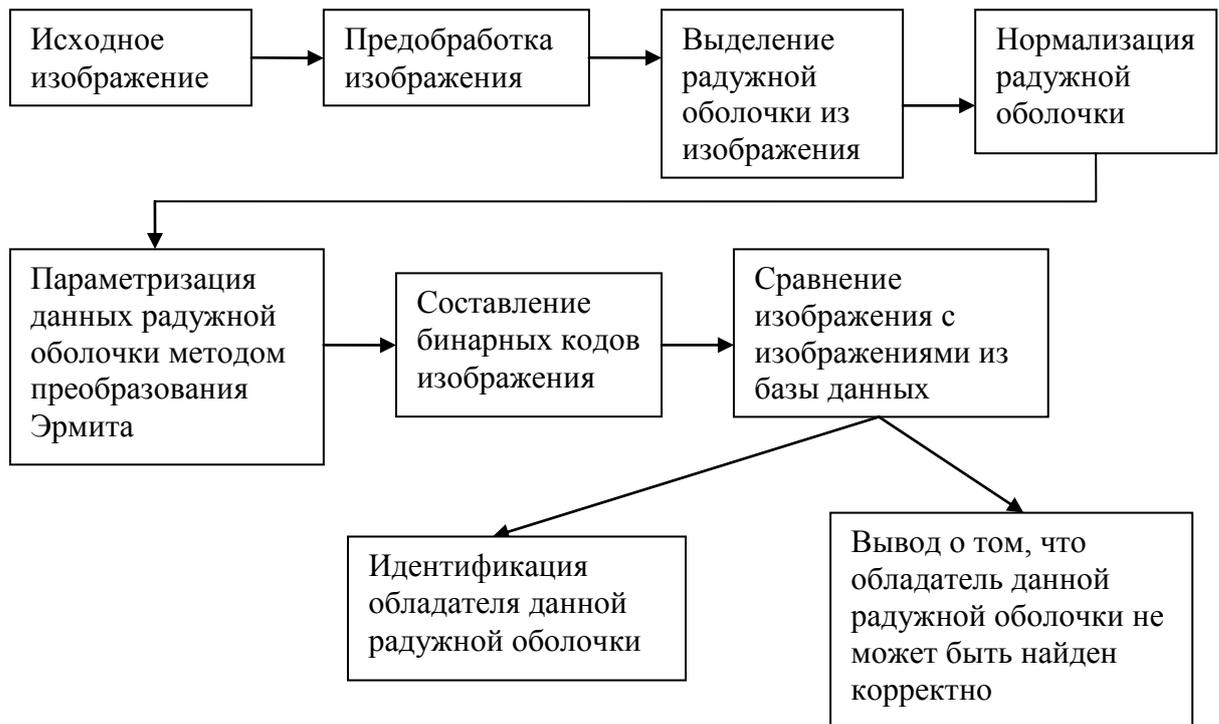


Рисунок 3 - Общая схема решения задачи идентификации по радужной оболочке глаза

На входном изображении выделяется радужная оболочка глаза, приводится к некоторому общему нормализованному виду. Далее определяется обладатель наиболее похожей радужной оболочки в базе данных на основе разработанных методов параметризации и построения векторов свойств (кодов).

4 ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Выделение радужной оболочки глаза. Как правило, зрачок глаза темнее соседних областей, поэтому ищется приблизительный центр зрачка путем проектирования изображения в горизонтальном и вертикальном направлениях по формулам:

$$X_{cent} = \arg \min_x \sum_y I(x, y)$$

$$Y_{cent} = \arg \min_y \sum_x I(x, y)$$

Далее уточняется центр зрачка и границы радужной оболочки [1]. При этом ищется максимальный скачок производной сглаженной средней интенсивности по круговому контуру:

$$\max_{r, x_o, y_o} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \int_{r, x_o, y_o} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|,$$

где * обозначает свертку двух функций, осуществляющую сглаживание функции интенсивности; $G_\sigma(r)$ - функция Гаусса с параметром σ (ширина гауссиана бралась равной 2 пикселям для внутренней границы радужной оболочки и 5 - для внешней); (x_o, y_o) - возможные координаты центра зрачка, $r \in [r_{min}, r_{max}]$ - возможные радиусы границы радужной оболочки; интегрирование ведется по круговому контуру (рисунок 4).

Для вычисления внешней границы радужной оболочки рассматривается часть кругового контура, выделенная на рисунке 4б.

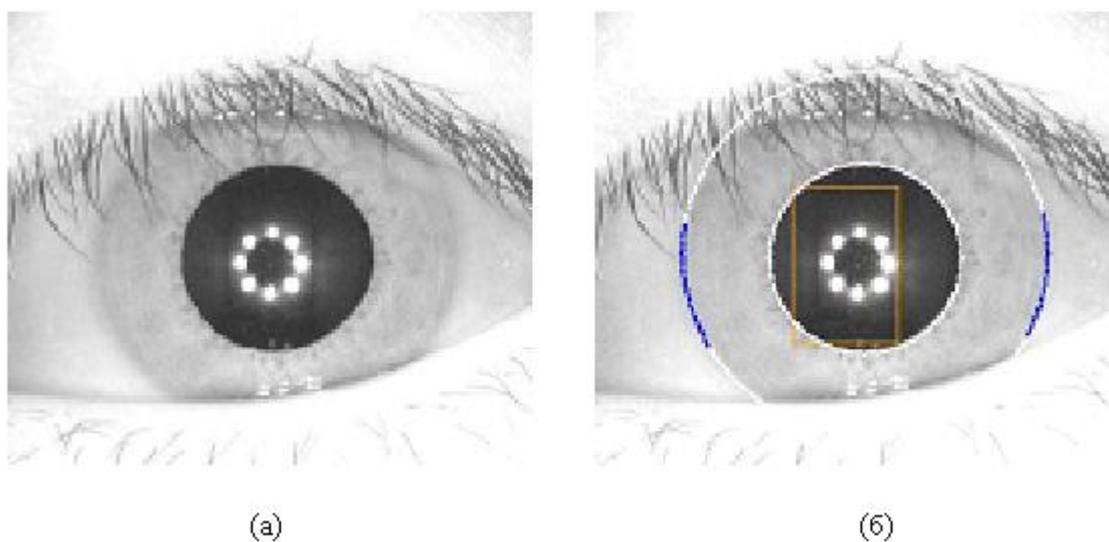


Рисунок 4 - (а) – исходное изображение; (б) – изображение с выделенной радужной оболочкой.

Нормализация радужной оболочки. Результатом предыдущего пункта являются две неконцентрические окружности - внешняя и внутренняя границы радужной оболочки. Далее вводится псевдополярная система координат и радужная оболочка переводится в прямоугольник (рисунок 5б).



Рисунок 5 - (а) - изображение глаза с введенной псевдополярной системой координат; (б) - нормализованное изображение радужной оболочки.

Для дальнейшей параметризации нами используется только контрольная область, включающая правую верхнюю четверть нормализованного изображения, т.к. на левую половину нормализованного изображения часто попадают ресницы, а на нижнюю – веко (рисунок 6).

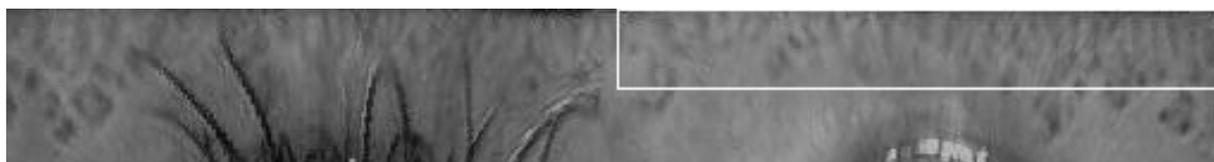


Рисунок 6 – Нормализованное изображение с выделенной контрольной областью

Параметризация радужной оболочки и составление бинарных кодов. Для каждой точки контрольной области нормализованного изображения вычисляются значения $L_{m,n}(x_0, y_0) = \text{sgn}(I(x, y) * \varphi_{m,n}(x, y))(x_0, y_0)$ для выбранных значений пар (m, n) ,

$$\text{sgn}(f(x)) = \begin{cases} 1, & f(x) \geq 0 \\ 0, & f(x) < 0 \end{cases}.$$

Далее для каждой пары значений (m, n) составляется бинарная матрица размера рассматриваемой части нормализованного изображения со значениями $L_{m,n}$.

Сравнение изображений радужных оболочек. На стадии сравнения происходит сравнение бинарных матриц для каждой пары индексов (m, n) . При этом предварительно проводится прореживание полученных матриц для уменьшения количества проводимых операций (в текущей версии алгоритма берутся только каждый десятый пиксель по оси x и каждый второй пиксель по оси y).

В качестве метрики сравнения изображений радужных оболочек используется расстояние Хэмминга между соответствующими прореженными матрицами радужных оболочек ($Ham(L)$), равное количеству несовпадающих значений в матрицах. По значениям $Ham(L_{1,0}) + Ham(L_{2,0})$ и $Ham(L_{1,0}) + Ham(L_{2,1})$ происходит сортировка изображений из базы данных по расстоянию до рассматриваемого верифицируемого изображения. Выбор данных значений индексов будет обоснован ниже. По каждому из этих двух значений в базе данных ищется обладатель ближайшей радужной оболочки. В случае совпадения обладателей алгоритм считает, что сравнение успешно закончено. В случае несовпадения обладателей считается, что метод не может корректно провести верификацию и пользователю предлагается еще раз сделать снимок глаза для идентификации.

Чтобы метод был устойчив к небольшим поворотам глаза, используется также циклический сдвиг (рисунок 7) нормализованного изображения на 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 пикселей как вправо, так и влево (нормализованное прямоугольное изображение имеет размеры 512×64 пикселей, поэтому циклический сдвиг его на 3 пикселя соответствует повороту исходного изображения приблизительно на 2°). Таким образом, учитываются углы поворота глаза от -14° до 14° .

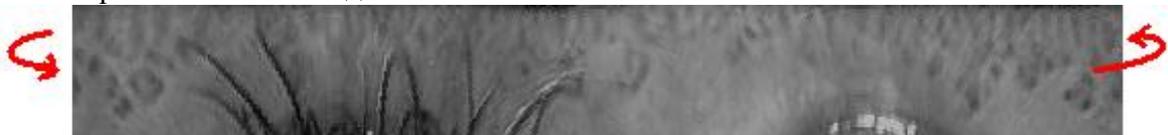


Рисунок 7 – Циклический сдвиг нормализованного изображения вправо.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

При составлении результатов рассматривались изображения базы данных CASIA-IrisV3 (2655 изображений). Каждое изображение параметризовалось описанным методом. Для выбора номеров функций Эрмита, участвующих в параметризации, проведен анализ, результаты которого приведены в таблице 1. В первом столбце указаны значения $H_{m,n} = Ham(L_{m,n})$, по которым происходит сравнение изображений. Во втором столбце - количество неверно определившихся глаз из БД по соответствующему значению H , в третьем столбце – это же значение в процентах от полного количества глаз в базе данных.

Таблица 1 - Результаты анализа алгоритма для различного выбора значений индексов (m, n) .

Значения	Количество неверно определившихся глаз из БД по соответствующему значению H	Количество неверно определившихся глаз из БД по соответствующему значению H в %
$H_{1,0}$	56	2.1
$H_{1,1}$	62	2.33

$H_{2,0}$	238	8.96
$H_{2,1}$	251	9.45
$H_{0,1}$	176	6.62
$H_{3,0}$ и выше	Более 400	Более 15
$H_{1,0} + H_{2,0}$	15	0.56
$H_{1,0} + H_{2,1}$	21	0.79
$H_{1,1} + H_{2,0}$	22	0.82

Из таблицы 1 видно, что наилучший результат достигается на значениях $Ham(L_{1,0}) + Ham(L_{2,0})$ и $Ham(L_{1,0}) + Ham(L_{2,1})$, поэтому эти значения и взяты для сравнения радужных оболочек. Всего в исследуемой базе данных оказалось 22 изображения, для которых обладатель ближайшей оболочки по значению $Ham(L_{1,0}) + Ham(L_{2,0})$ не совпадает с обладателем радужной оболочки по значению $Ham(L_{1,0}) + Ham(L_{2,1})$, что составляет 0.82%.

Проведено сравнение предложенного метода с существующими методами идентификации личности по радужной оболочке глаза. FAR – False Acceptance Rate – значение, показывающее в процентах, в скольких случаях метод определил неверного обладателя радужной оболочки. FRR – False Rejection Rate – показатель, показывающий в процентах, в скольких случаях метод не определил обладателя радужной оболочки, присутствующего в базе данных. Описанный алгоритм показал значения FAR = 0, FRR = 0.82% (22 изображения из 2655). Однако большинство из этих 22 изображений содержат лишь малую часть информации о радужной оболочке в интересующей области параметризации (веко попадают в правую верхнюю четверть нормализованного изображения). Пример такого изображения приведен на рисунке 8. Если для этих изображений применить алгоритм, определяющий наличие века [10], то этот алгоритм определяет веко на 17 изображений из этих 22. Таким образом, остается 5 изображений без перекрытий изображения радужки в контрольной области, на которых алгоритм не определил обладателя радужной оболочки. Это составляет 0.18% от всех изображений в базе данных.



Рисунок 8 - Пример нормализованного изображения с наложением века на контрольную область распознавания.

Результаты сравнения приведены в таблице 2.

Таблица 2 - сравнение методов идентификации.

МЕТОД	FAR (%)	FRR (%)	БАЗА ДАННЫХ
Предложенный	0	0.82	CASIA-IrisV3
Предложенный с учетом определения наличия века	0	0.18	CASIA-IrisV3
Tan [11]	0.001	1.13	CASIA V1.0
Wildes [11]	0.01	6.5	
Romero-Ramirez [6]	0	9.71	CASIA V1.0

Daugman [6]	0	0.12	NIST (ICE-1)
--------------------	---	------	--------------

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализована информационная технология идентификации человека по радужной оболочке глаза на основе локальных характеристик радужной оболочки. Эксперименты показывают высокое качество идентификации, сравнимое с средними промышленными результатами. В частности, ошибка второго рода 0,18% при ошибке 1-го рода менее 0,01% (точнее невозможно уточнить на публично доступных базах) позволяет использовать разработанную технологию для идентификации пользователя в операционной системе и прикладных программах. Также следует отметить, что преобразование радужной оболочки в код на основе функций Эрмита является полностью необратимым преобразованием, что позволяет использовать данную технологию в том числе и в распределенных сетях, где наложены дополнительные ограничения на характер передаваемой в сети информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. John Daugman, High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15, no. 11, p. 1148–1161, November 1993.
2. R.P. Wildes. Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology // Proceedings of The IEEE, vol. 85, no. 9, p. 1348-1363, 1997.
3. Соколов И.А., Будзко В.И., Сеницын И.Н., Построение информационно-телекоммуникационных систем высокой доступности // Научные технологии, №6, 2005, т.6, Системы высокой доступности, №1, т.1, 2005, с. 6-14.
4. Сеницын И.Н., Губин А.В., Урмаев О.С., Метрологические и биометрические технологии и системы // История науки и техники. - №7, 2008, С.41-44.
5. J.B. Martens, The Hermite transform-theory // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing 38(9), p. 1595–1606, 1990.
6. A. Estudillo-Romero, B. Escalante-Ramirez, The Hermite Transform: An Alternative Image Representation Model for Iris Recognition // Lecture Notes in Computer Science vol. 5197, 2008, p.86-93.
7. A.S. Krylov, D.N. Korchagin, Fast Hermite Projection Method // Lecture Notes in Computer Science, vol. 4141, 2006, p. 329-338.
8. База данных CASIA-IrisV3. <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>
9. A.S. Krylov, E.A. Pavelyeva, Iris Data Parametrization by Hermite Projection Method //, GraphiCon'2007 Conference proceedings, Moscow, 2007, p. 147–149.
10. Павельева Е.А., Крылов А.С. Алгоритмы предобработки изображений радужной оболочки глаза // Труды конференции GraphiCon'2008, Москва, 2008, с. 314.
11. Li Ma, Tieniu Tan, Dexin Zhang, Yunhong Wang, Local Intensity Variation Analysis for Iris Recognition // Pattern Recognition vol. 37, no. 6, 2004, p. 1287–1298.

ОБ АВТОРАХ



Павельева Елена Александровна (1986 г.р.), аспирант кафедры математической физики ВМК МГУ.

Область научных интересов: математические методы обработки биометрической информации.



Крылов Андрей Серджевич (1956 г.р.), к.ф.-м.н., зав. лабораторией математических методов обработки изображений ВМК МГУ.

Область научных интересов: математические методы обработки изображений, машинное зрение, некорректные и обратные задачи.



Урмаев Олег Станиславович, (1981 г.р.), канд. техн. наук, с.н.с. Института проблем информатики РАН.

Область научных интересов: информационно-аналитические комплексы и системы, обработка изображений, распознавание образов, биометрические технологии.