

Метод Проекционной Фазовой Корреляции в Ключевых Точках Радужной Оболочки Глаза

Е.А. Павельева

Лаборатория Математических Методов Обработки Изображений
Факультет Вычислительной Математики и Кибернетики

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: paveljeva@yandex.ru

Аннотация

Метод проекционной фазовой корреляции применяется в ключевых точках радужной оболочки глаза. Сравнение ключевых точек происходит по локальной информации окрестностей ключевых точек.

Ключевые точки выделяются методом сверток функции интенсивности изображения с выбранной функцией преобразования Эрмита. Для сопоставления ключевых точек вычисляется проекционная фазовая корреляция локальных окрестностей взятых ключевых точек. Корреляция вычисляется путем разложения функций в ряд по функциям Эрмита. При небольших размерах окрестностей ключевых точек предложенный метод позволяет избежать ошибок, связанных с ложным оконтуриванием, возникающих в методе фазовой корреляции.

Предложенный метод устойчив к наличию век, ресниц и бликов на изображении, а также к локальным сдвигам частей изображения.

Ключевые слова: распознавание по радужной оболочке глаза, фазовая корреляция, функции Эрмита, ключевые точки, биометрия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из подходов к параметризации данных радужной оболочки является выделение на изображении ключевых точек – точек, в которых рисунок радужной оболочки имеет текстурные особенности [1-4]. Далее происходит сравнение изображений радужных оболочек по ключевым точкам.

В работе [1] ключевые точки выделяются с помощью фильтра Габора. В качестве вектора свойств радужной оболочки вычисляются расстояния между ключевыми точками. При сравнении радужных оболочек сравниваются их векторы свойств. Однако в случае попадания на изображение радужной оболочки бликов, век, ресниц может отсутствовать большое количество ключевых точек радужной оболочки.

В работе [4] ключевые точки выделяются с помощью сверток с выбранной функцией преобразования Эрмита. Сравнение ключевых точек происходит по методу Хэмминга. Изображение разбивается на блоки, и значение блока равняется единице, если там присутствует хотя бы одна ключевая точка и равняется нулю в противном случае. Мерой «похожести» изображений является количество совпадающих блоков. Однако, в случае локальных сдвигов изображений [5] соответствующие друг другу ключевые точки изображений одного глаза могут попадать в соседние блоки. Если же глаза разные, то в одной и той же области

могут быть ключевые точки, соответствующие разным текстурным особенностям.

В данной работе предлагается сравнение ключевых точек с помощью параметров, характеризующих локальные окрестности ключевых точек. При сравнении ключевых точек вычисляется проекционная фазовая корреляция между локальными окрестностями взятых ключевых точек. Это позволяет добиться хороших результатов сравнения и избежать ошибок, связанных с локальными сдвигами частей изображений и с наличием век и ресниц на изображениях.

2. ПРЕДОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ РАДУЖНЫХ ОБОЛОЧЕК ГЛАЗ

Сначала на изображении радужной оболочки глаза выделяется маска радужной оболочки – области радужной оболочки, не закрытые ресницами, веками и бликами. Далее радужная оболочка переводится в прямоугольное нормализованное изображение (рис. 1) [4].



Рис. 1. Выделение маски радужной оболочки

Перед тем, как проводить параметризацию изображения, необходимо убрать неровности освещенности. Для этого применяется box-фильтр, т.е. значение интенсивности в каждой точке изображения усредняется по окрестности 16×16 пикселей (рис. 2(б)). Далее изображение средней интенсивности вычитается из исходного (рис. 2(в)), и контрастность полученного изображения увеличивается с помощью растягивания гистограммы (leveling) с отбрасыванием одного процента низших и высших значений гистограммы (рис. 2(г)).

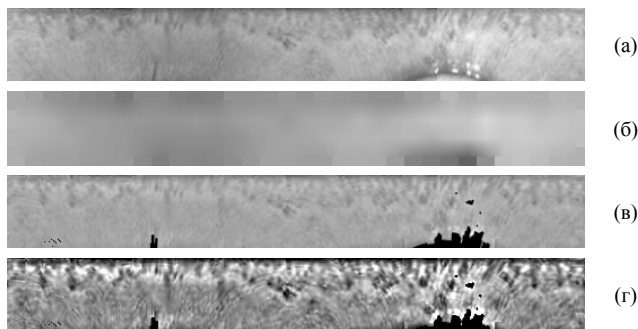


Рис. 2. Выравнивание освещенности на нормализованном изображении: (а) исходное изображение; (б) изображение средней освещенности; (в) изображение с выровненной освещенностью; (г) изображение повышенной контрастности.

3. МЕТОД КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК

После предобработки изображения радужной оболочки, на изображении выделяются ключевые точки при помощи свертки с функцией преобразования Эрмита [4].

Функции преобразования Эрмита [6] задаются формулой:

$$\varphi_n(x, \sigma) = \frac{(-1)^n \cdot e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2}}{\sqrt{2^n \cdot n! \cdot \pi}} \cdot H_n\left(\frac{x}{\sigma}\right), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, \text{ где}$$

$H_n(x)$ - полиномы Эрмита:

$$H_0(x) = 1, \quad H_1(x) = 2 \cdot x, \\ H_n(x) = 2 \cdot x \cdot H_{n-1}(x) - 2 \cdot (n-1) \cdot H_{n-2}(x).$$

Двумерные функции преобразования Эрмита (рис. 3) можно представить в виде произведения одномерных функций:

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



Рис. 3. Функции преобразования Эрмита $\varphi_{1,0}$ и $\varphi_{2,0}$.

Текстура радужной оболочки глаза сильнее изменяется в горизонтальном направлении нормализованного изображения. Поэтому будем рассматривать функции преобразования Эрмита $\varphi_{m,0}$.

Сверткой с функцией $\varphi_{1,0}$ можно выделить точки, лежащие на границе текстурных особенностей изображений (вдоль ОХ), т.е. точки, в которых присутствует скачок интенсивности вдоль горизонтальной составляющей изображения. На рис. 4 черным цветом обозначены точки, в которых свертка функции интенсивности изображения радужной оболочки с функцией $\varphi_{1,0}$ больше порогового значения $p = 10$, а белым цветом – точки, в которых свертка меньше $-p = -10$.

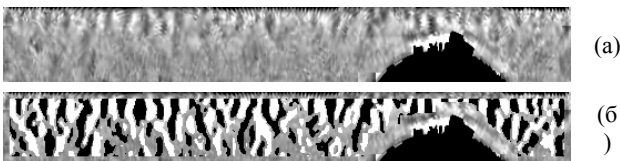


Рис. 4: (а) нормализованное изображение радужной оболочки после предобработки; (б) на изображении выделены области со значениями свертки с функцией $\varphi_{1,0}(x, y, \sigma_x, \sigma_y)$ больше порогового значения $p = 10$ и меньше $-p = -10$, где $\sigma_x = 3, \sigma_y = 3$.

Сверткой (или корреляцией) с функцией $\varphi_{2,0}$ можно выделить сами текстурные особенности радужной оболочки глаза. На рис. 5 выделены точки, в которых свертка изображения радужной оболочки с функцией $\varphi_{2,0}$ больше трети максимального значения свертки. На рис. 5 также показано влияние параметра σ на выделение

областей изображения с наибольшими значениями свертки. Далее во всей работе будем считать значение $\sigma_y = 3$.

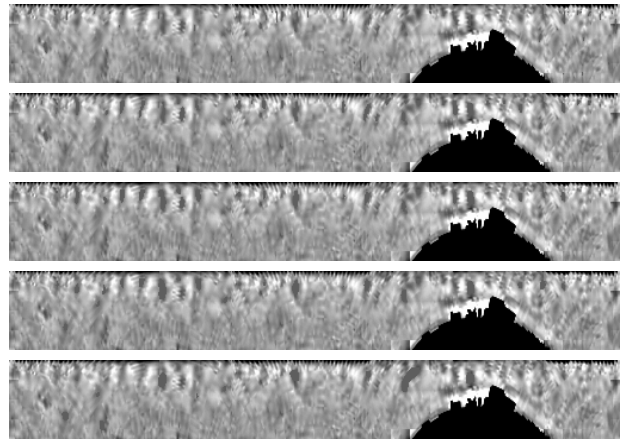


Рис. 5. Выделенные области с наибольшими значениями свертки с функцией $\varphi_{2,0}(x, y, \sigma_x, \sigma_y)$, где $\sigma_y = 3$, а $\sigma_x = 1, \sigma_x = 3, \sigma_x = 5, \sigma_x = 7, \sigma_x = 10$ соответственно.

Для нахождения ключевых точек радужной оболочки в каждой точке нормализованного изображения радужной оболочки вычисляется свертка данного изображения с функцией преобразования Эрмита $\varphi_{2,0}$:

$$F(x_0, y_0) = \left(I(x, y) * \varphi_{2,0}(x, y) \right) \Big|_{(x_0, y_0)}.$$

Для поиска ключевых точек в данной работе выбираются точки со значениями свертки с функцией преобразования Эрмита $\varphi_{2,0}(x, y, 3, 3)$ больше трети максимального значения свертки, и отстоящие друг от друга на расстояние не менее $k = 3$ пикселей (рис. 6). Ключевыми точками считаются N выбранных точек ($N \leq 150$) с наибольшими значениями свертки.

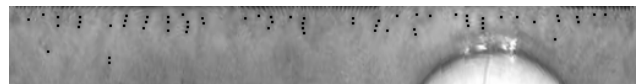


Рис. 6. Ключевые точки на исходном нормализованном изображении, полученные с помощью свертки с функцией преобразования Эрмита $\varphi_{2,0}(x, y, \sigma_x, \sigma_y)$, где $\sigma_x = 3, \sigma_y = 3$.

4. МЕТОД ПРОЕКЦИОННОЙ ФАЗОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Метод фазовой корреляции [7, 8] вычисляет меру «похожести» изображений. Для двух дискретных изображений $f(x, y)$ и $g(x, y)$, размера $M \times N$ вычисляются их преобразования Фурье $F(u, v)$ и $G(u, v)$. Далее для спектральных функций $F(u, v)$ и $G(u, v)$ вычисляется их взаимный фазовый спектр

$$R_{FG}(u, v) = \frac{F(u, v) \overline{G(u, v)}}{|F(u, v) \overline{G(u, v)}|} = e^{i(\varphi_F(u, v) - \varphi_G(u, v))},$$

т.е. спектральная функция с единичным модулем, фаза которой равна разности фаз функций F и G . Далее от функции взаимного фазового спектра вычисляется обратное преобразование Фурье – получается функция фазовой корреляции (РОС-функция):

$$POC_{fg}(x, y) = F^{-1}[R_{FG}(u, v)].$$

В случае «похожих» изображений РОС-функция дает четкий пик, высота пика определяет меру «похожести» изображений, а положение пика соответствует смещению одного изображения относительно другого. Если же функции «не похожи», то РОС-функция не дает четкого пика.

В методе проекционной фазовой корреляции [5] прямое и обратное преобразования Фурье производятся путем разложения исходных непрерывных функций интенсивности изображений по полной ортонормированной в $L_2(R_2)$ системе функций Эрмита $\psi_{m,n}(x, y)$, являющихся собственными функциями непрерывного преобразования Фурье [9].

Одномерные функции Эрмита задаются следующей формулой:

$$\psi_n(x, \bar{\sigma}) = \frac{1}{\sqrt{2^n \cdot n! \cdot \sqrt{\pi}}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\bar{\sigma}^2}} \cdot H_n\left(\frac{x}{\bar{\sigma}}\right), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Двумерные функции Эрмита можно представить в виде произведения одномерных:

$$\psi_{m,n}(x, y, \bar{\sigma}_x, \bar{\sigma}_y) = \psi_m(x, \bar{\sigma}_x) \cdot \psi_n(y, \bar{\sigma}_y).$$

Пусть исследуемые функции $f(x, y)$ и $g(x, y)$ заданы в прямоугольнике $D = [-A, A] \times [-B, B]$, продолжим их нулем в $R_2 \setminus D$ и рассмотрим частичную сумму разложения в ряд по функциям Эрмита $\psi_{ij}(x, y)$, $i = \overline{0, m}$, $j = \overline{0, n}$

$$f(x, y) \approx \tilde{f}(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} \psi_{ij}(x, y, \bar{\sigma}_x, \bar{\sigma}_y), \quad (1)$$

где коэффициенты Эрмита

$$c_{i,j} = \iint_{R_2} f(x, y) \psi_{i,j}(x, y, \bar{\sigma}_x, \bar{\sigma}_y) dx dy.$$

Далее для приближенных функций $\tilde{f}(x, y)$ и $\tilde{g}(x, y)$ применяется метод фазовой корреляции. Функции Эрмита являются собственными функциями непрерывного преобразования Фурье с собственными значениями $\pm 1, \pm i$:

$F(\psi_n) = (-i)^n \psi_n$. Следовательно, аппроксимация преобразования Фурье имеет следующий вид:

$$F[\tilde{f}] = F\left[\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} \psi_{ij}(x, y)\right] = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} (-i)^{i+j} \psi_{ij}(x, y).$$

Для подсчета функции проекционной фазовой корреляции $HPPOC_{fg}(x, y) = F^{-1}[R_{FG}(u, v)]$ используется следующее свойство: $f(x, y) = F^{-1}[F(u, v)] = F[F(-u, -v)]$.

В работе [5] было показано, что при небольших размерах изображений метод проекционной фазовой корреляции дает более точные результаты, чем метод фазовой корреляции. Это связано с тем, что метод НРРОС не требует периодического продолжения изображений для вычисления преобразования Фурье (в отличие от метода РОС), и поэтому в методе НРРОС не возникает ошибок от скачков на границах (ложного оконтуривание). В случае изображений маленького размера ошибки в

методе РОС, связанные с ложным оконтуриванием, могут приводить к неверным результатам.

5. СРАВНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАДУЖНЫХ ОБОЛОЧЕК ГЛАЗ В КЛЮЧЕВЫХ ТОЧКАХ МЕТОДОМ ПРОЕКЦИОННОЙ ФАЗОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

В данной работе предложен метод сравнения изображений радужных оболочек глаз, основанный на анализе фазовой корреляции окрестностей ключевых точек радужных оболочек.

В каждой ключевой точке выделяется локальная окрестность размера $8\sigma_x \times 8\sigma_y$ пикселей с центром в данной точке, т.е. окрестность, дважды превышающая по длине и ширине область локализации функции преобразования Эрмита $\varphi_{2,0}(x, y, \sigma_x, \sigma_y)$. Данное изображение раскладывается в сумму (1) по функциям Эрмита $\psi_{i,j}$.

Возникает вопрос о выборе числа функций Эрмита (m и n) и значений $\bar{\sigma}_x$ и $\bar{\sigma}_y$ для разложения. Возьмем $\bar{\sigma}_x = \sigma_x$, $\bar{\sigma}_y = \sigma_y$. По теореме Сонина [10] функция Эрмита $\psi_n(x, \bar{\sigma})$ содержит все свои точки перегиба на отрезке $[-\bar{\sigma}\sqrt{2n+1}, \bar{\sigma}\sqrt{2n+1}]$. Отрезок $[-\bar{\sigma}(\sqrt{2n+1}+1), \bar{\sigma}(\sqrt{2n+1}+1)]$ будем подразумевать под областью локализации функции $\psi_n(x, \bar{\sigma})$. Тогда необходимое число m функций Эрмита, локализованных на отрезке двойной длины $[-2\bar{\sigma}(\sqrt{2n+1}+1), 2\bar{\sigma}(\sqrt{2n+1}+1)] = [-\bar{\sigma}(\sqrt{2m+1}+1), \bar{\sigma}(\sqrt{2m+1}+1)]$ равно: $m = 4n + 2 + 2\sqrt{2n+1}$. Таким образом, для параметризации ключевых точек берутся функции Эрмита с номерами $m = 0, 1, \dots, 15$, $n = 0, 1, 2, 3, 4$.

Далее каждая ключевая точка одного изображения сопоставляется с каждой ключевой точкой второго изображения из окрестности 40 на 5 пикселей, т.е. считается, что возможен поворот глаза на угол до $\pm 28^\circ$. Сопоставление происходит методом проекционной фазовой корреляции окрестностей данных ключевых точек. Если отношение пика НРРОС-функции ко второму локальному максимуму этой функции больше значения $k=3$, то считается, что ключевые точки соответствуют друг другу. Пример алгоритма сопоставления ключевых точек показан на рис. 7-9.

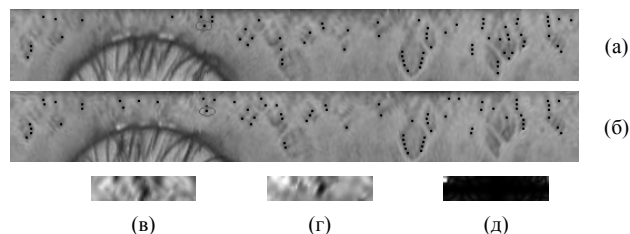


Рис. 7. Сопоставление ключевых точек двух изображений одного глаза методом проекционной фазовой корреляции: (а), (б) исходные нормализованные изображения. Выделены сравниваемые две ключевые точки; (в) окрестность (увеличенная) ключевой точки первого изображения; (г) окрестность ключевой точки второго изображения; (д) НРРОС-функция для данных окрестностей.

В случае изображений одного глаза (рис. 7) для сопоставляемых ключевых точек есть четкий пик НРРОС-функции. В случае изображений разных глаз (рис. 8) для сопоставляемых ключевых точек нет четкого пика НРРОС-функции.

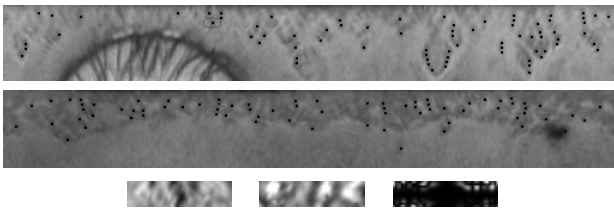
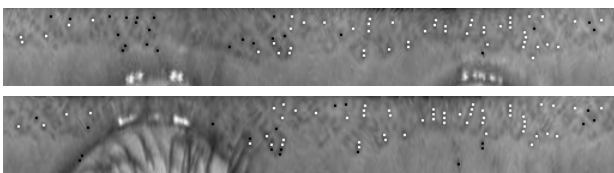
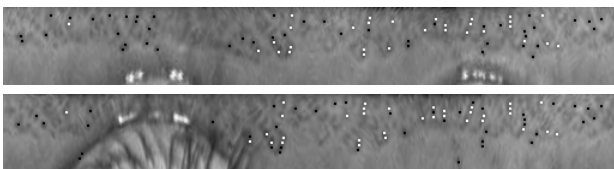


Рис. 8. Сопоставление ключевых точек (близких по месторасположению) изображений разных глаз методом проекционной фазовой корреляции.

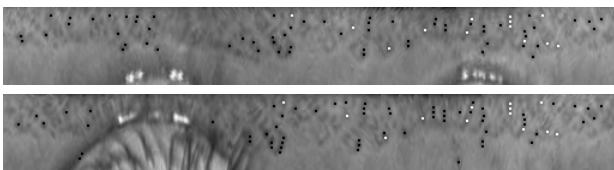
На рис. 9 приведены два изображения одного глаза и приведено их сопоставление методом проекционной фазовой корреляции. На рисунке черным цветом обозначены ключевые точки, не имеющие сопоставимые ключевые точки на другом изображении методом проекционной фазовой корреляции. Белые точки – точки, имеющие сопоставимые ключевые точки на другом изображении. На рисунке также показано, что чем меньше порог k отношения пика НРРОС-функции ко второму локальному максимуму этой функции, тем больше ключевых точек будут являться сопоставимыми.



$k = 2$



$k = 3$ – используется при анализе результатов работы метода в разделе 6.



$k = 4$

Рис. 9. Сопоставление ключевых точек изображений одного глаза методом проекционной фазовой корреляции при различных порогах k .

При сравнении ключевых точек методом Хэмминга [4] в случае локальных сдвигов изображений соответствующие друг другу ключевые точки изображений одного глаза могут попадать в соседние блоки. В случае попадания на изображение радужной оболочки бликов, век, ресниц может отсутствовать большое количество ключевых точек, присутствующих на другом изображении той же радужной оболочки (рис. 10). Если же глаза разные, то в одной и той же области могут быть ключевые точки, но соответствующие разным текстурным особенностям.

На рис. 10 приведены те же изображения, что и на рис. 9, и приведено сопоставление ключевых точек этих изображений методом Хэмминга - сопоставление положения ключевых точек второго изображения по сравнению с положением ключевых точками первого изображения. Ключевые точки первого изображения обозначены черным цветом, второго – белым. Разобьем приведенные изображения на три части. Видно, что в правой части изображений ключевые точки на двух изображениях соответствуют друг другу. В центре изображений заметно смещение ключевых точек изображений (это связано с локальным смещением центральных частей изображения). Слева на втором изображении присутствует веко, поэтому там отсутствуют ключевые точки, присутствующие на первом изображении.

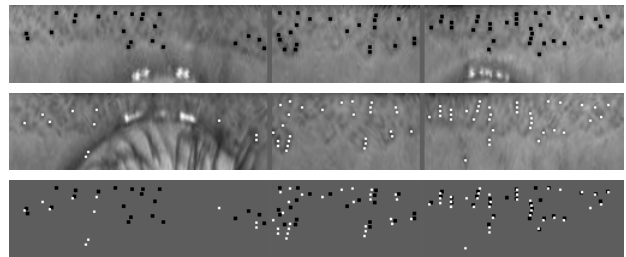


Рис. 10. Сопоставление ключевых точек изображений одного глаза методом Хэмминга.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки качества предложенного метода исследовались изображения глаз базы данных CASIA-IrisV3 [11]. В данной работе используется часть базы данных CASIA, содержащая изображения глаз первых 20 людей в базе: 224 глаза, образующих 40 множеств M_1, \dots, M_{40} (каждое множество содержит изображения одного из двух глаз одного из 20 людей). В этой базе данных для каждой пары изображений сопоставляются ключевые точки методом проекционной фазовой корреляции. Мерой «похожести» изображений является количество совпадающих (с точки зрения метода проекционной фазовой корреляции) ключевых точек.

Результаты работы алгоритма приведены в таблице 1 и на рис. 11.

- В первой строке таблицы – мера «похожести» d изображений, т.е. количество совпавших ключевых точек при сравнении изображений.
- Во второй (третьей) строке – количество пар изображений одного глаза (разных глаз), имеющих данную меру похожести.
- В четвертой (пятой) строке – величина ошибки I (II) рода, измеренная в процентах, при данной мере «похожести» d .

d	0	1	2	3	4	5	...
inner	0	0	4	2	15	13	
outer	42615	4771	362	22	2	0	0
FAR (%)	0	0	0.18	0.27	0.96	1.5	
FRR (%)	10.7	0.8	0.05	0.004	0	0	0

Таблица 1. Результаты работы алгоритма.

Для оценки качества метода используется анализ величины EER (Equal Error Rate), где EER – величина ошибки работы метода, при которой ошибки I и II рода равны. Для данного метода величина EER примерно равна 0.1% при мере «похожести» $d = 2$.

На рис. 11 по оси OX отложена мера «похожести» d изображений, по оси OY – количество пар изображений одного глаза, имеющих данную меру «похожести» (значения из второй строки таблицы) [12].

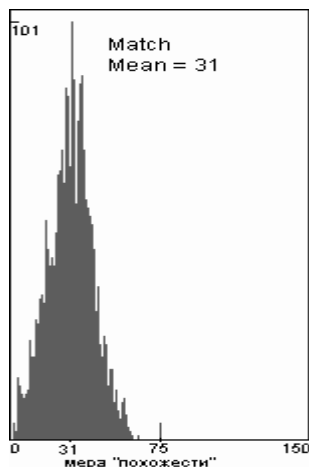


Рис. 11. Результаты работы алгоритма.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе метод проекционной фазовой корреляции применяется в ключевых точках радужной оболочки глаза. Таким образом, сравнение ключевых точек происходит по локальной информации окрестностей ключевых точек. В методе не используются никакие соответствия между ключевыми точками одного изображения, связанные с их взаиморасположением. Поэтому предложенный метод устойчив к наличию век, ресниц и бликов на изображении, а также к локальным сдвигам частей изображения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-72.2001.9 и гранта РФФИ 10-07-00433.

8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] L. Yu, D. Zhang, K. Wang. *The relative distance of key point based iris recognition*, Pattern Recognition, vol. 40, №2, p. 423-430, 2007.
- [2] K. Hollingsworth, K. Bowyer, P. Flynn. *The Best Bits in an Iris Code*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 31, no. 6, pp. 964-973, June 2009.
- [3] L. Ma, T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang. *Efficient iris recognition by characterizing key local variations*, IEEE Transaction on Image Processing, vol. 13, no. 6, p. 739-750, 2004.
- [4] Е. А. Павельева, А. С. Крылов. *Алгоритм сравнения изображений радужной оболочки глаза на основе ключевых точек*, Информатика и её применения, т.5, вып.1, 2011, с.68-72
- [5] Е. А. Павельева, А. С. Крылов. *Определение локальных сдвигов изображений радужных оболочек глаз методом проекционной фазовой корреляции*, труды конференции GraphiCon'2011, Москва, 2011, с. 188-191.
- [6] J.-B. Martens. *The Hermite transform-theory*, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 38. no. 9. p. 1595-1606, 1990.

[7] K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, H. Nakajima. *A Phase-Based Iris Recognition Algorithm*, LNCS (ICB 2006), No. 3832, p. 356-365, 2006.

[8] S. Nagashima, K. Ito, T. Aoki, H. Ishii, K. Kobayashi. *High Accuracy Estimation of Image Rotation using 1D Phase-Only Correlation*, IEICE Trans. Fund. v.E92-A, p.235 243,2009.

[9] A. Krylov, D.Korchagin. *Fast Hermite Projection Method*, LNCS, v.4141, p.329-338, 2006.

[10] П.К. Суетин. *Классические ортогональные многочлены*, издат. Наука, Москва, изд. 2, 1979.

[11] CASIA-IrisV3 database.
<http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>.

[12] J. Daugman. *How iris recognition works*, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14. No. 1. P. 21-30, 2004.

Hermite Projection Phase-Only Correlation Method in Iris Key Points

Abstract

The Hermite projection phase-only correlation method in iris key points has been proposed. The local information of areas around key points is used for key points matching.

The iris key points are selected using the Hermite transform. The Hermite projection phase-only correlation of areas around taken key points is calculated for key points matching. The correlation is calculated using Hermite projection method of expansion of intensity functions into series of Hermite functions. In case of small local images the proposed method allows avoid errors of Phase-Only Correlation method like Gibbs effect.

The proposed method is robust to eyelids, eyelashes, glares and local shifts of parts of images.

Keywords: *iris recognition, phase only correlation, Hermite functions, key points, biometrics.*

Об авторе

Павельева Елена Александровна – ассистент кафедры математической физики факультета ВМК МГУ.

About the author

Elena A. Pavelyeva is an assistant of Chair of Mathematical Physics of Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University. E-mail: paveljeva@yandex.ru