

Биометрическая идентификация по радужной оболочке глаза: текущее состояние и перспективы

О.С. Ушмаев

Институт проблем информатики РАН

E-mail: olejku@mail.ru

Аннотация

В статье представлен обзор проблематики биометрической идентификации по радужной оболочке глаза. Отмечены ключевые особенности радужной оболочки глаза. Дана краткая характеристика существующих технологий. Определены перспективные направления дальнейших исследований в области распознавания радужной оболочки глаза.

Ключевые слова: биометрическая идентификация, радужная оболочка глаза.

1. ВВЕДЕНИЕ

Идентификация по радужной оболочке глаза является одной из наиболее перспективных биометрических технологий идентификации личности. Этому способствуют такие факторы, как высокая избирательность изображений радужной оболочки глаза, постоянство изображения радужной оболочки глаза во времени, удобная система информативных признаков.

Историю биометрической идентификации по радужной оболочке глаза можно отсчитывать от опубликования патента [1]. За 25 лет идентификация по радужной оболочке глаза прошла большой путь, который показал основные достоинства этой биометрии. Радужная оболочка является внутренним органом, защищенным от механического воздействия. Текстура радужки крайне устойчива во времени. Видимая в ближнем ИК текстура не зависит от генома. Это подтверждают эксперименты с однойяйцевыми близнецами. Различия между их радужками идентичны различиям в общей популяции. Расширение зрачка позволяет эффективно отличать текстуру на линзах от текстуры радужной оболочки глаза. Последние испытания показывают достаточно высокую точность идентификации. Практически единственным недостатком биометрии радужной оболочки глаза является маленький размер радужки, что затрудняет ее применение в некооперативных сценариях.

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА

Технологии идентификации по радужной оболочке глаза являются технологиями распознавания образов. Поэтому они включают достаточно стандартные блоки: получение изображений радужной оболочки глаза с сенсоров, предобработка изображений, вычисление информативных признаков, сравнение информативных признаков.

Большинство работающих в настоящее время систем и технологий идентификации по радужной оболочке глаза основаны на принципах, предложенных Дж. Даугманом в статье [2]. Для распознавания используются изображения, полученные в ближнем ИК-диапазоне с активной подсветкой. Выбор такого диапазона обусловлен физическими свойствами радужной оболочки глаза. На рис. 1 показаны поглощающая способность меланина, который отвечает за пигментацию радужной оболочки глаза, и чувствительность ПЗС-матрицы для различных длин волны. Как видно из рисунка при длинах волны более 700 нм меланин практически не поглощает излучения, в то же время сенсоры еще достаточно чувствительны.

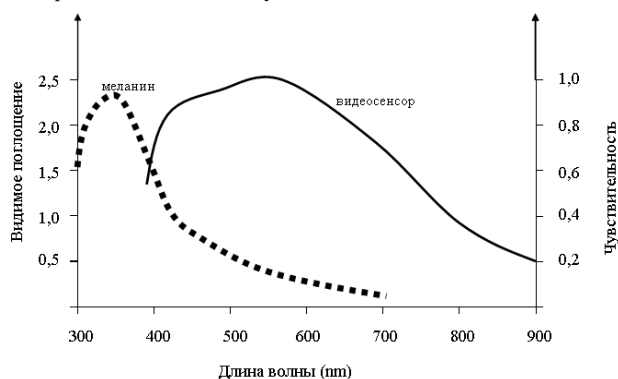


Рисунок 1. Поглощение меланина и чувствительность сенсора

На втором шаге, на полученном в ближнем ИК-диапазоне изображении локализуется радужная оболочка глаза. Границами радужной оболочки глаза являются окружности, на которых достигает максимума следующий функционал:

$$\left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|, \quad (1)$$

где $I(x, y)$ - изображение, $G_{\sigma}(r)$ - сглаживающий гауссиан с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 .

На третьем шаге, после определения границ радужки, изображение радужной оболочки глаза нормализуется с целью компенсировать расширение зрачка. Координатная сетка представлена на рис.2. В частном случае, когда центры граничных окружностей совпадают, нормализация является переводом в полярную систему координат.

На четвертом шаге вычисляются информативные признаки. В статье [2] в качестве информативных признаков было предложено использовать локальную фазу φ изображения, получаемую сверткой с ядром фильтра Габора:

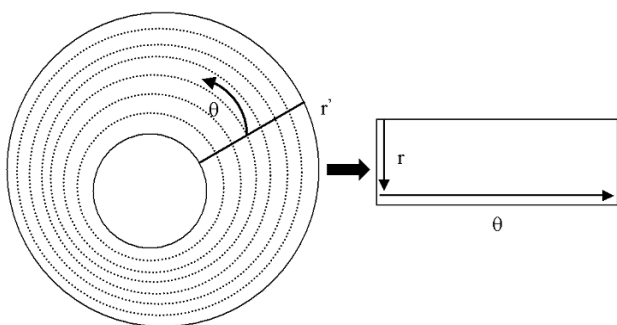


Рисунок 2. Нормализация изображения радужной оболочки глаза

$$z(r, \phi) = \iint_{\rho, \phi} e^{-i\omega(\theta-\phi)} e^{-(r-\rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta-\phi)^2 / \beta^2} I(\rho, \phi) d\rho d\phi, (2)$$

$$e^{i\varphi_\omega(r, \phi)} = z(r, \phi) / \|z(r, \phi)\|. (3)$$

Фазовая информация квантуется. В изначальном варианте использовались 2 бита. В общем случае можно использовать большее число бит (рис. 3). Таким образом длина описания (шаблона) радужной оболочки глаза зависит от количества точек, в которых вычисляется фаза, и числа битов на кодирование фазы. При идентификации предъявленный шаблон радужной оболочки побитно сравнивается с шаблонами, хранящимися в системе. В качестве меры различия радужных оболочек глаза используется расстояние Хэмминга.

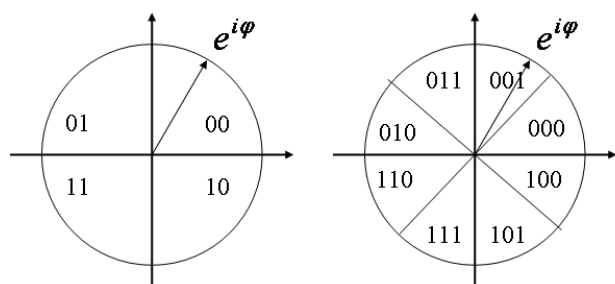


Рисунок 3. Пример кодирования фазы двумя битами (слева) и тремя битами (справа).

В дальнейшем было предложено множество способов улучшения каждого из шагов алгоритма Дж. Даугмана. При локализации (сегментации) даже в самом благоприятном для технологии идентификации сценарии изображение радужной оболочки глаза частично закрыто веком и ресницами. Также на изображении радужной оболочки присутствуют блики. Из последних исследований следует отметить [4-6].

Также в литературе представлено много альтернативных систем информативных признаков. Однако, почти все они построены на схожих с [2] принципах. Вместо габоровских вейвлетов используются другие преобразования [7-10]. Несколько улучшена процедура идентификации за счет учета локальных деформаций изображений [10-12].

Благодаря прогрессу в области методов и алгоритмов обработки изображений радужной оболочки глаза, биометрия радужной оболочки глаза является одной из наиболее

точных. Как заявлено Дж. Даугманом в [13], анализ базы из 632 500 изображений радужных оболочек глаз показал потенциальную возможность нулевых ошибок распознавания на массиве такого размера. То есть потенциально ошибка 2-го рода составляет менее 10^{-10} , что может полноценно конкурировать с десятипальцевой дактокартой. Однако такие ошибки достижимы только на базах изображений очень высокого качества. В менее благоприятных условиях, согласно результатам испытаний NIST [14] лучшие алгоритмы идентификации позволяют получить ошибку первого рода порядка 1% при ошибке второго рода 0,1%, что сравнимо с отпечатком пальца или изображением лица.

Такая разница определяет основную цель исследований в области идентификации по радужной оболочке глаза: улучшить точность идентификации в неблагоприятных и некооперативных условиях [15,16].

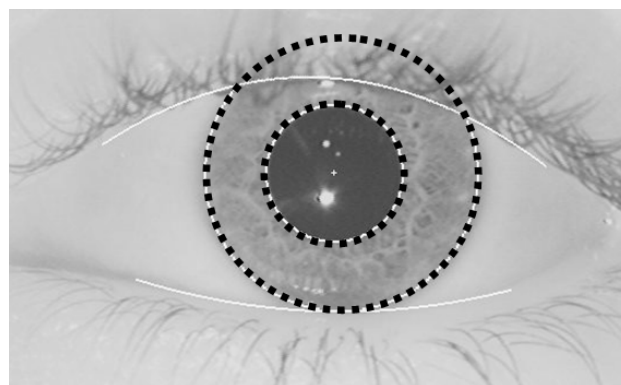


Рисунок 4. Изображение радужной оболочки глаза

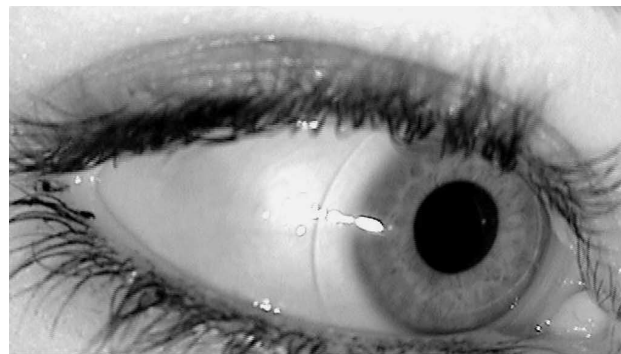


Рисунок 5. Изображение радужной оболочки глаза при некооперативном получении.

3. АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В области биометрической идентификации по радужной оболочке глаза можно определить пять основных направлений. Во-первых, остается актуальным развитие и совершенствование базовых средств идентификации по радужной оболочке глаза: локализация, кодирование, идентификация. Особенно востребованы средства для распознавания радужной оболочки глаза в видимом диапазоне и низком разрешении, а также в некооперативных сценариях, когда радужная оболочка видна под углом (рис.5).

Во-вторых, прогресс в области идентификации по радужной оболочке глаза может быть достигнут за счет совершенствования сенсоров. Наиболее актуальным является получение пригодного для идентификации изображения в движении и на расстоянии более одного метра. Перспективным является использование изображений в видимом диапазоне. В [17] показано, что использование для идентификации других участков спектра совместно с ближним ИК может улучшить точность идентификации.

В-третьих, актуальным является поиск новых признаков, отличных от фазовой информации. В [18-19] предложены новые признаки (ключевые точки), которые оперируют с локальными особенностями текстуры радужной оболочки глаза.

В-четвертых, точность идентификации по радужной оболочке глаза может быть увеличена за счет использования информации об области глаз (periocular biometrics).

В-пятых, высокая точность идентификации по радужной оболочке глаза делает привлекательным ее использование в приложениях, связанных с криптографией и защищенной идентификацией [20].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идентификация по радужной оболочке глаза остается одной из самых перспективных технологий биометрической идентификации личности. Особенно востребованным является реализация потенциала радужной оболочки глаза для применения в некооперативных сценариях идентификации совместно с изображением лица и возможно другими бесконтактными биометрическими идентификаторами. Поэтому наиболее актуальными направлениями исследований является улучшение распознавания в некооперативных сценариях за счет совершенствования сенсоров, совершенствования системы информативных признаков, а также за счет интеграции с другими модальностями. Отдельный интерес представляет использование радужной оболочки глаза в криптографических приложениях и защищенной идентификации.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента России МД72-2011.9 и гранта РФФИ 10-07-00433.

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] L. Flom, A.Safir, US Patent #4 641,349, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1987.

[2] J. Daugman, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15(11), pp. 1148-1161, 1993.

[3] N. Kollias, "The spectroscopy of human melanin pigmentation," Melanin: Its Role in Human Photoprotection. Valdenmar Publishing Co., p. 31 – 38, 1995.

[4] H. Proenca "Iris Recognition: On the Segmentation of Degraded Images Acquired in the Visible Wavelength," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 32, no.8, p. 1502-1516, 2010.

[5] S. Shah and A. Ross, "Iris Segmentation Using Geodesic Active Contours," IEEE Trans. Information Forensics and Security (TIFS), vol. 4, no. 4, p. 824-836, 2009.

[6] J. Daugman, "New Methods in Iris Recognition," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part B, vol. 37, no.5, 2007, p. 1167-1175, 2007.

[7] D.M. Monro, S. Rakshit, and D. Zhang, "DCT-Based Iris Recognition," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 4, 2007, pp. 586-596.

[8] Z. Sun and T. Tan, "Ordinal Measures for Iris Recognition," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.31, no. 12, 2009, pp. 2211-2226.

[9] 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.

[10] C. Belcher and Y. Du, "Region-Based SIFT Approach to Iris Recognition," Optics and Lasers in Eng., vol. 47, no. 1, 2009, p. 139-147.

[11] J. Thornton, M. Savvides, and B.V.K. Kumar, "A Bayesian Approach to Deformed Pattern Matching of Iris Images," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 4, 2007, pp. 596-606.

[12] S.A.C. Schuckers et al., "On Techniques for Angle Compensation in Nonideal Iris Recognition," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part B, vol. 37, no. 5, 2007, pp.1176-1190.

[13] J. Daugman, "Probing the Uniqueness and Randomness of Iris Codes: Results from 200 Billion Iris Pair Comparisons," Proc. IEEE, vol. 94, no. 11, 2006, pp. 1927-1935.

[14] J. P.J. Phillips et al., FRVT 2006 and ICE 2006 Large-Scale Results, NISTIR 7408, Nat'l Inst. Standards and Technology, 2007; <http://iris.nist.gov/ice/ice2006.htm>.

[15] J. Matey et al., "Iris Recognition in Less Constrained Environments," Advances in Biometrics: Sensors, Algorithms and Systems, Springer, 2008.

[16] A.Ross, "Iris Recognition: The Path Forward," IEEE Computer, vol. 43, no. 2, p. 30-35, 2010.

[17] C. Boyce et al., "Multispectral Iris Analysis: A Preliminary Study," Proc. IEEE CS Workshop on Biometrics (CVPRW 06), IEEE CS Press, 2006, pp. 51-59.

[18] Е. Павельева, А. Крылов, "Поиск и анализ ключевых точек радужной оболочки глаза методом преобразования Эрмита," Информатика и ее применения, т.4, в.1, с.79-82,2010.

[19] M.Sunder, A. Ross "Iris Image Retrieval Based on Macro-features." ICPR 2010, p. 1318-1321.

[20] F. Hao, R. Anderson, and J. Daugman, "Combining Crypto with Biometrics Effectively," IEEE Trans. Computers, vol. 55, no. 9, 2006, pp. 1081-1088.