

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И УСТРОЙСТВ

УДК 004.932

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-177-186

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО РАССТОЯНИЯ ХАУСДОРФА В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО РИСУНКУ ВЕН ЛАДОНИ И ЗАПЯСТЬЯ*

К.С. МОРОЗОВ¹, В.Н. ВАСЮКОВ²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретических основ радиотехники. E-mail: k.morozov.2010@corp.nstu.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ радиотехники. E-mail: vasyukov@corp.nstu.ru

В настоящее время получили распространение биометрические методы идентификации, основанные на уникальности отпечатков пальцев, геометрии лица или ладони, радужной оболочки глаза, голоса и т. п. Одним из новейших биометрических методов является идентификация по рисунку вен. По сравнению с наиболее часто используемым методом идентификации по отпечатку пальца основными преимуществами технологии являются ее бесконтактный характер, слабая чувствительность к загрязнениям и порезам кожи, слабая зависимость от температуры, влажности и состояния кожи. В работе рассматриваются вопросы применения модифицированного расстояния Хаусдорфа в качестве метрики при сравнении инфракрасного изображения, полученного сканированием тыльной стороны ладони или запястья, с образцами, хранящимися в базе данных, с целью идентификации личности. С помощью моделирования базы пользователей в виде наборов характерных точек проведены исследования влияния на вероятность правильного решения поворота изображения, сдвига и потери характерных точек при идентификации с применением модифицированного расстояния Хаусдорфа. Приводятся результаты применения модифицированного расстояния Хаусдорфа к реальным изображениям для баз вен тыльной стороны запястья девяти человек и вен запястья 14 человек. В качестве множества точек для сравнения были использованы точки пересечения, ветвления и окончания вен в скелетизированном рисунке вен, полученном в результате предобработки инфракрасных изображений. Для полученных систем показатель равной вероятности ошибок ERR составил 11 % для тыльной стороны руки и 14 % для запястья.

Ключевые слова: рисунок вен тыльной стороны ладони, рисунок вен запястья, биометрическая система, биометрическая характеристика, биометрический сканер, идентификация, модифицированное расстояние Хаусдорфа, инфракрасное изображение

* Статья получена 30 октября 2019 г.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ изображений кровеносных сосудов используется при биометрической идентификации личности наряду с анализом отпечатков пальцев, голоса, геометрии лица, радужной оболочки глаза, геометрии руки и т. п. Основными преимуществами технологии распознавания рисунка вен являются ее бесконтактный характер, слабая чувствительность к состоянию кожи (влажность, целостность, наличие загрязнений). В 2019 году рисунок вен был включен некоторыми российскими банками в список биометрических параметров для аутентификации клиентов при обслуживании. Таким образом, исследования, направленные на повышение эффективности метода, представляются актуальными.

Для получения рисунка вен обычно используется камера с инфракрасным (ИК) фильтром и соответствующей ИК-подсветкой. При этом камера воспринимает излучение, отраженное от объекта (метод отражения) [1] или прошедшее через объект (метод пропускания) [2, 3]. Для метода отражения характерны меньшие размеры устройства и меньшая мощность излучения. Для идентификации по рисунку вен используют изображения вен пальцев, ладони или запястья, которые являются уникальной личностной характеристикой [4]. Процесс идентификации включает получение изображения, его предварительную обработку (удаление фона, выделение области интереса, скелетизацию [5, 6]), анализ с целью выделения ключевых признаков, сравнение полученных признаков с базой данных пользователей и принятие решения.

1. МЕТОД СРАВНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ВЕН

В качестве ключевых признаков для идентификации могут выступать точки ветвления, пересечения и окончания вен, определяемые по скелетизированному изображению рисунка вен. В работах [7–9] в качестве меры близости для идентификации по рисунку вен пальцев использовалось модифицированное расстояние Хаусдорфа (MPX). Метрика Хаусдорфа определяет расстояние между множествами [10]. Чтобы сделать эту метрику менее чувствительной к числу точек, входящих во множества, используют ее усредненное значение, которое называется модифицированным расстоянием Хаусдорфа [11, 12]:

$$H(A, B) = \max[h(A, B), h(B, A)],$$

где

$$h(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{\forall a_j \in A} \min_{\forall b_j \in B} \|a_i - b_j\|,$$

A и B – множества, между которыми вычисляется расстояние, $\|a_i - b_j\|$ – евклидово расстояние между точками этих множеств; N_A – количество точек множества A .

В данной работе этот метод рассматривается применительно к идентификации личности по рисунку вен тыльной стороны ладони и запястья.

Оценка качества алгоритмов идентификации обычно производится на основе вероятностей ошибочных решений, принадлежащих к одному из двух родов. Вероятность того, что предъявленный образец неправильно признается принадлежащим пользователю, данные которого имеются в базе (ошибочный допуск), в англоязычной литературе называется False Acceptance Rate (FAR). Вероятность того, что образец пользователя, имеющегося в базе, будет ошибочно отвергнут, называется False Rejection Rate (FRR). Решение принимается на основе сравнения расстояния между множествами точек предъявляемого образца и образца, имеющегося в базе, с некоторым порогом. Для сравнения алгоритмов идентификации между собой часто используют значение равной вероятности ошибок Equal Error Rate (ERR) [13, 14], получаемой при пересечении графиков зависимости FAR и FRR от порога.

Причинами ошибочных решений могут быть чувствительность метода к повороту изображений друг относительно друга и их сдвигу, а также потеря характерных точек ветвления, пересечения и окончания вен. В работе [15] было показано, что поворот на $\pm 10^\circ$ и смещение точек на ± 5 пикселей приводит к ухудшению показателя ERR на 15 %. При потере более четырех точек тестовых изображений (20 % от общего числа точек) ERR начинает быстро увеличиваться. Данные о влиянии недостатка точек в изображении из базы пользователей не приводятся.

В данной работе исследовалось влияние на качество решений поворота точечного изображения на различные углы, потеря и сдвиг точек. При этом предполагалось, что пороговое значение расстояния устанавливается из условия равенства вероятностей ошибок, поэтому сравнение велось по показателю ERR.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Были смоделированы 100 изображений размером 500×500 пикселей, содержащих по 40 белых точек на черном фоне со случайными координатами таким образом, чтобы расстояние между ближайшими точками было не менее восьми пикселей (этот набор далее называется базой пользователей). Точки размещались в центральной области размерами 300×300 пикселей с тем, чтобы после поворота квадратного изображения не происходила потеря точек, не попадающих в квадрат 500×500 . МРХ рассчитывалось для пары изображений из этого набора и тестовыми наборами, описанными далее, затем сравнивалось с порогом.

Тестовые изображения для исследования зависимости ERR от угла поворота формировались путем поворота изображений базы пользователей на заданный угол. На рис. 1 представлены значения ERR и соответствующего порога для углов от 1 до 25° .

Для исследования влияния потери точек на ERR были использованы тестовые изображения, полученные поворотом изображений базы пользователей на 13° . Поворот на 13° выбран из результатов влияния угла поворота на ERR из рис. 1, при этом угле поворота начинается заметное увеличение ERR. Затем были удалены от 1 (2,5 % от общего числа точек) до 10 (25 %) точек в каждом тестовом изображении и снова определено ERR. При этом изображения базы пользователей не подвергались изменениям. Операция выполнялась повторно, при этом тестовые изображения оставались неизменными, а точки удалялись из изображений базы пользователей. Результаты представлены на рис. 2. При потере 10 % точек ERR ухудшается более чем в 2 раза.

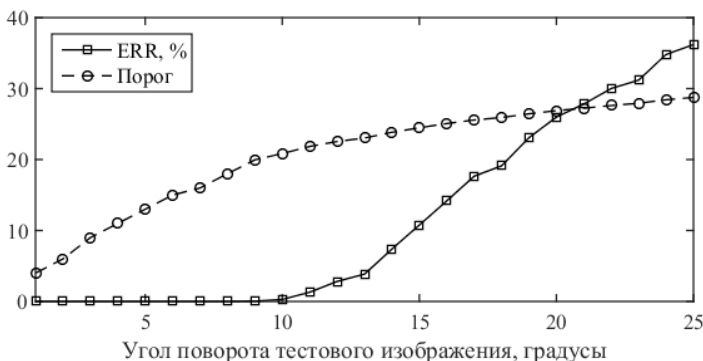


Рис. 1. Зависимость ERR и порога от угла поворота

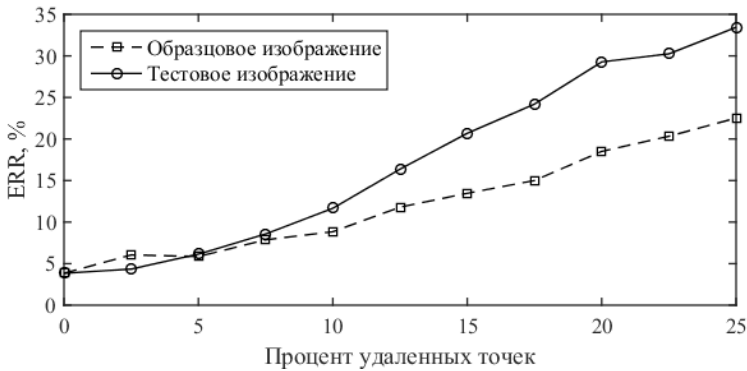


Рис. 2. Зависимость ERR от числа удаленных точек

Для исследования влияния смещения было получено два тестовых набора со сдвигом всех точек изображений базы пользователей на заданное расстояние только по горизонтали или только по вертикали. Сдвиг составлял от 5 до 50 пикселей от первоначального положения точек в базе пользователей, размеры изображения не менялись, потеря точек не допускалась. Зависимость ERR от сдвига показана на рис. 3, для двух направлений сдвига ERR имеет одинаковый характер.

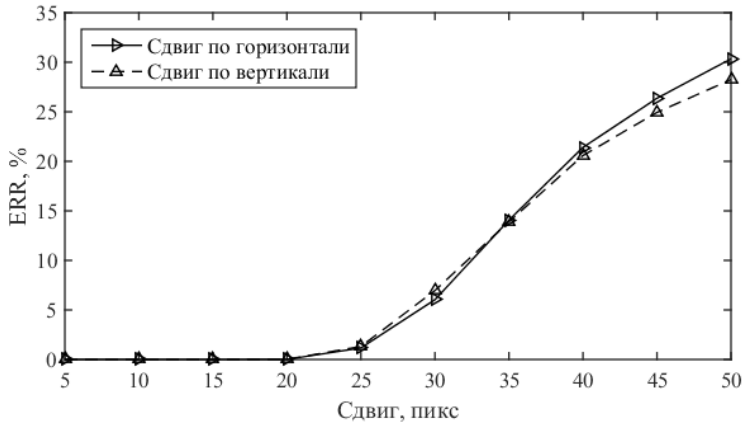


Рис. 3. Зависимость ERR от сдвига

Для проведения экспериментов был сконструирован сканер вен с использованием веб-камеры разрешением 0,3 МПикс с фильтром, рассчитанным на дли-

ну волны 850 нм, и ИК-подсветкой. С помощью этого сканера были получены снимки рук девяти человек (для каждого по 3 положения руки, по 4 кадра в каждом положении) методом пропускания. Для получения набора точек была проведена предварительная обработка изображений с выделением скелетизированного изображения вен, область интереса выделялась вручную. В результате предварительной обработки не удалось полностью скомпенсировать смещения и избежать потери точек. При идентификации с помощью МРХ для данного набора изображений было получено значение ERR, равное 11 %.

Затем была получена база изображений вен запястья 14 человек методом отражения. На этапе предварительной обработки область интереса выделялась автоматически, при этом изображения ориентировались одинаково (по визуальной оценке, в пределах ± 5), но присутствовало смещение и потеря точек. При идентификации с помощью МРХ получено значение ERR, равное 14 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты показали, что поворот точечного тестового изображения на угол до 12° мало влияет на качество идентификации пользователя. Проведены эксперименты с изображениями вен тыльной стороны ладони и запястья реальных пользователей с применением МРХ, для полученных систем показатель ERR составил 11 % и 14 % соответственно. Эти показатели должны быть значительно снижены путем совершенствования предварительной обработки.

Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлении совершенствования алгоритмов предварительной обработки ИК-изображений, содержащих рисунков вен ладони и запястья, с целью устранения искажений, связанных с поворотом и наклоном руки при сканировании, а также для повышения качества выделения характерных точек ветвления и пересечения вен. Кроме того, следует разработать алгоритм анализа, учитывающий не только геометрию характерных точек, но и структуру скелетизированного изображения вен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sontakke B.M., Humbe V.T., Yannawar P.L.* Dorsal hand vein authentication system: a review // *Journal of Scientific Research and Development.* – 2017. – Vol. 6, N 5. – P. 511–514.
2. *Crisan S.* A novel perspective on hand vein patterns for biometric recognition: problems, challenges, and implementations // *Biometric security and*

privacy: opportunities and challenges in the big data era. – Cham: Springer, 2017. – P. 21–49.

3. *Greitans M., Pudzs M., Fuksis R.* Palm vein biometrics based on infrared imaging and complex matched filtering // Proceedings of the 12th ACM Workshop on Multimedia and Security. – Roma, Italy, 2010. – P. 101–106.

4. *Jain A.K., Bolle R., Pankanti S.* Biometric: personal identification in networked society. – Boston: Kluwer, 1999. – 411 p.

5. *Gonzalez R.C., Woods R.E.* Digital image processing. – 2nd ed. – New Jersey: Prentice Hall, 2002. – 795 p.

6. *Jahne B.* Digital image processing. – Berlin; New York, Heidelberg: Springer, 1997. – 608 p.

7. *Duque Vehils Jose Miguel.* Design and Implementation of a finger vein identification: final thesis / Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona. – Barcelona, 2011. – 68 p.

8. *Khalil-Hani M., Eng P.C.* FPGA-based embedded system implementation of finger vein biometrics // IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications. – Penang, Malaysia, 2010. – P. 700–705.

9. An improved least trimmed square Hausdorff distance finger vein recognition / G. Chen, Q. Dai, X. Tang, Z. Xu // 2018 5th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI). – Nanjing, China, 2018. – P. 939–943.

10. *Wang L., Leedham G., Cho S.Y.* Infrared imaging of hand vein patterns for biometric purposes // IET Computer Vision. – 2007. – Vol. 1, N 3. – P. 113–122.

11. *Huttenlocher D.P., Klanderman G.A., Rucklidge W.J.* Comparing images using the Hausdorff distance // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1993. – Vol. 15, N 9. – P. 850–863.

12. Finger-vein image recognition combining modified Hausdorff distance with minutiae feature matching / C.B. Yu, H.F. Qin, Y.Z. Cui, X.Q. Hu // Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences. – 2009. – Vol. 1, N 4. – P. 280–289.

13. *Zhou Y., Kumar A.* Human identification using palm-vein images // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2011. – Vol. 6, N 4. – P. 1259–1274.

14. Contact-free palm-vein recognition based on local invariant features / W. Kang, Y. Liu, Q. Wu, X. Yue // PLoS ONE. – 2014. – Vol. 9, N 5. – P. 1–12.

15. *Wang L., Leedham G., Cho D.S.Y.* Minutiae feature analysis for infrared hand vein pattern biometrics // Pattern Recognition Society. – 2007. – Vol. 3, N 41. – P. 920–929.

Морозов Константин Станиславович, аспирант кафедры теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – обработка инфракрасных изображений. E-mail: k.morozov.2010@corp.nstu.ru

Васюков Василий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов – цифровая обработка и статистический анализ сигналов и изображений. Опубликовано более 120 научных работ. E-mail: vasyukov@corp.nstu.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-177-186

Application of the modified Hausdorff distance in problems of identification of the person by vein pattern of palm and wrist*

K.S. Morozov¹, V.N. Vasyukov²

¹ *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, postgraduate of the Theoretical Fundamentals of Radio Engineering. E-mail: k.morozov.2010@corp.nstu.ru*

² *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of Technical Sciences, professor of the Theoretical Fundamentals of Radio Engineering. E-mail: vasyukov@corp.nstu.ru*

Currently, biometric identification methods became popular based on the uniqueness of fingerprints, geometry of the face or palm, iris, voice, etc. One of the latest biometric methods is vein pattern identification. Compared to the most commonly used fingerprint identification method, the main advantages of the technology are its non-contact, low sensitivity to skin contamination and cuts, weak dependence on temperature, humidity and skin condition. The paper discusses the use the modified Housdorff distance (MHD) as a metric when comparing an infrared image obtained by scanning the back of a hand or wrist with specimens stored in a database for personal identification. By modeling the user base in the form of sets of feature points, studies have been carried out on the influence on the probability of the correct solution of image rotation, shift and loss of feature points during identification using MHD. The results of applying MHD to real images are presented. As a set of points for comparison, we used the points of intersection, branching and ending of veins in a skeletonized vein pattern obtained as a result of pre-processing of infrared images. For the obtained systems, the indicator of the value of the Equal Error Rate was 11% for the back of the hand and 14% for the wrist.

Keywords: vein pattern of the back of the hand, vein pattern of the wrist, biometric system, biometric characteristic, biometric scanner, identification, modified Hausdorff distance, infrared image

* Received 30 October 2019.

REFERENCES

1. Sontakke B.M., Humbe V.T., Yannawar P.L. Dorsal hand vein authentication system: a review. *Journal of Scientific Research and Development*, 2017, vol. 6, no. 5, pp. 511–514.
2. Crisan S. A novel perspective on hand vein patterns for biometric recognition: problems, challenges, and implementations. *Biometric security and privacy: opportunities and challenges in the big data era*, Cham, Springer, 2017, pp. 21–49.
3. Greitans M., Pudzs M., Fuksis R. Palm vein biometrics based on infrared imaging and complex matched filtering. *Proceedings of the 12th ACM Workshop on Multimedia and Security*, Roma, Italy, 2010, pp. 101–106.
4. Jain A.K., Bolle R., Pankanti S. *Biometric: personal identification in networked society*. Boston, Kluwer, 1999. 411 p.
5. Gonzalez R.C., Woods R.E. *Digital image processing*. 2nd ed. New Jersey, Prentice Hall, 2002. 795 p.
6. Jahne B. *Digital image processing*. Berlin, New York, Heidelberg, Springer, 1997. 608 p.
7. Duque Vehils Jose Miguel. *Design and Implementation of a finger vein identification*. Final thesis. Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona. Barcelona, 2011. 68 p.
8. Khalil-Hani M., Eng P.C. FPGA-based embedded system implementation of finger vein biometrics. *IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*, Penang, Malaysia, 2010, pp. 700–705.
9. Chen G., Dai Q., Tang X., Xu Z. An improved least trimmed square Hausdorff distance finger vein recognition. *2018 5th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*, Nanjing, China, 2018, pp. 939–943.
10. Wang L., Leedham G., Cho S.Y. Infrared imaging of hand vein patterns for biometric purposes. *IET Computer Vision*, 2007, vol. 1, no. 3, pp. 113–122.
11. Huttenlocher D.P., Klanderman G.A., Rucklidge W.J. Comparing images using the Hausdorff distance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, vol. 15, no. 9, pp. 850–863.
12. Yu C.B., Qin H.F., Cui Y.Z., Hu X.Q. Finger-vein image recognition combining modified Hausdorff distance with minutiae feature matching. *Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences*, 2009, vol. 1, no. 4, pp. 280–289.
13. Zhou Y., Kumar A. Human identification using palm-vein images. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 1259–1274.
14. Kang W., Liu Y., Wu Q., Yue X. Contact-free palm-vein recognition based on local invariant features. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, no. 5, pp. 1–12.

15. Wang L., Leedham G., Cho D.S.Y. Minutiae feature analysis for infrared hand vein pattern biometrics. *Pattern Recognition Society*, 2007, vol. 3, no. 41, pp. 920–929.

Для цитирования:

Морозов К.С., Васюков В.Н. Применение модифицированного расстояния Хаусдорфа в задачах идентификации личности по рисунку вен ладони и запястья // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 3–4 (96). – С. 177–186. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-177-186.

For citation:

Morozov K.S., Vasyukov V.N. Primenenie modifitsirovannogo rasstoyaniya Khaudorfa v zadachakh identifikatsii lichnosti po risunku ven ladoni i zapyast'ya [Application of the modified Hausdorff distance in problems of identification of the person by vein pattern of palm and wrist]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 3–4 (96), pp. 177–186. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-177-186.