

# Метод быстрого отбора идентичных контрольных точек на изображениях отпечатка пальца

Д.Н. Лепихова, В.Ю. Гудков

lepikhova@sonda.ru|diana@sonda.ru

ООО «Сонда Про», Челябинская обл., г. Миасс, Россия

Челябинский государственный университет, Миасский филиал, г. Миасс, Россия

*Изображение отпечатка пальца представляется в виде набора гнезд, которые строятся для каждой контрольной точки. При сравнении формируется список отобранных пар гнезд, от которых производится развитие фрагментов изображений. В статье рассматривается метод, ускоряющий отбор идентичных контрольных точек с помощью сравнения гнезд.*

**Ключевые слова:** отпечаток пальца, гребневый счет, контрольная точка

## Method of Fast Identical Minutiae selection

D.N. Lepikhova, V.U. Gudkov

lepikhova@sonda.ru|diana@sonda.ru

Sonda Pro Ltd, Miass, Chelyabinsk reg., Russia

Chelyabinsk State University, Miass, Chelyabinsk reg., Russia

*Fingerprint image is represented as a set of local minutiae structures, which are formed for each minutia. While matching the list of selected pairs of nests is formed. For this pairs image fragment developing is produced. The article considers a method to accelerate the selection of identical pairs of minutiae when comparing nests.*

**Keywords:** fingerprint, ridge count, minutiae

### 1. Введение

Большинство известных алгоритмов идентификации по отпечаткам пальцев основывается на сравнении шаблонов дактилоскопических изображений. Шаблоны могут содержать данные о контрольных точках (КТ) изображения [1], папиллярных линиях, а также дополнительную информацию о структуре изображения.

Локальные структуры для контрольных точек, устойчивые к шуму и искажениям, были предложены еще в 2000 году [13]. Позднее Feng предложил объединять такие структуры в пары [12], а Cao – в звездчатые множества [8]. В [15] рассмотрены варианты формирования таких множеств для двух, трех,  $k$  контрольных точек.

В [10] структура, построенная для каждой КТ, именуется  $k$ -плет. Для идентификации предложен алгоритм предварительного поиска в ширину (Coupled Breadth First Search), выполняющий сопоставление двух графов, построенных на основе КТ и скелета ДИ путем их обхода и сопоставления  $k$ -плетов на каждом этапе идентификации. В дальнейшем концепция  $k$ -плетов получила развитие в [9], в которой к структуре КТ добавляется дополнительная ассоциативная точка (SAP), а отпечаток представляется в виде ориентированного графа.

В [15] предлагается формировать для ДИ граф смежности контрольных точек (Minutiae Adjacency Graph). Чтобы построить MAG для некоторой центральной КТ, выбираются все такие КТ, для которых евклидово расстояние до центра меньше заданного порога. Каждое ребро графа записывается в виде  $\{i, j, d_{ij}, r_{ij}, \varphi_{ij}\}$ , где  $i, j$  – номера КТ, образующих ребро,  $d_{ij}$  – евклидово расстояние между КТ  $i$  и  $j$ ,  $r_{ij}$  – значение гребневого счета между КТ  $i$  и  $j$ ,  $\varphi_{ij}$  – ориентация ребра.

В [14] предложено строить подобные структуры не только для частных признаков ДИ, но и для общих признаков, например, для центра узора.

Самое большое влияние на скорость сравнения оказывает первичный этап отбора идентичных пар КТ. Список этих пар КТ можно сформировать различными способами, например использованием гребневого счета [4]. Значение гребневого

счета для КТ определяется по числу линий, пересекаемых отрезками от нее до соседних КТ (в пределах некоторого заданного радиуса) [2].

Рассмотрим модель классического гребневого счета.

Для каждой КТ  $m_i$  выделяется некоторая окрестность, в которой измеряется гребневый счет  $r_{ik}$  от нее до КТ  $m_k$  как число папиллярных линий, пересекаемых прямой, проводимой между этими КТ. Затем для КТ  $m_i$  строится гнездо в виде

$$N_i = \{m_k, r_{ik}, \gamma_{ik}\}, m_k = \{x_k, y_k, \alpha_k\}, i, k \in K,$$

где  $\gamma_{ik}$  – азимут как угол доворота вектора направления  $\alpha_i$  для  $m_i$  до отрезка, соединяющего  $m_i$  и  $m_k$ ;  $K$  – множество всех КТ изображения (рис. 1).



Рис. 1. Гнездо для контрольной точки  $m_i$

Сравнение запросного и хранимого отпечатков сводится к сравнению гнезд из шаблонов этих отпечатков [4].

Вышперечисленные алгоритмы демонстрируют достаточно хорошую производительность, однако дополнительное их ускорение не представляется возможным, поскольку на этапе обработки изображения не определено разбиение формируемых структур по классам. Следовательно, введение новых признаков повлечет за собой резкое увеличение количества вычислений и, как следствие, снижение скорости идентификации. Определение классов признаков и их упорядочивание в соответствии с классами

позволяет дополнительно повысить производительность алгоритмов.

Таким образом, актуальной задачей является ускорение отбора пар КТ, которые потенциально являются идентичными на изображениях одного и того же пальца. Для этого необходимо определить дополнительные признаки, которые позволяют заранее сформировать множество классов и определить принадлежность структуры КТ к какому-либо классу.

**2. Описание алгоритма**

При сравнении гнезд запросного и архивного отпечатков с целью выделения списка идентичных пар КТ каждое гнездо запросного отпечатка сравнивается с каждым гнездом архивного отпечатка пальца. Сравнение каждой пары гнезд предполагает построение множества геометрических и топологических оценок (количество оценок обычно превышает количество особенностей в гнезде) с последующим вычислением единой оценки степени подобия этой пары гнезд, что в случае полного перебора всех гнезд запросного и архивного отпечатков значительно увеличивает время сравнения [5, 11, 12, 15]. Таким образом, актуальным является алгоритм, позволяющий ускорить первичный отбор гнезд для их последующего сравнения.

Проведем сечение через каждую КТ вправо и влево на глубину нескольких линий перпендикулярно папиллярным линиям и пронумеруем пересеченные линии (как связи) по часовой стрелке, начиная от центра. По каждой линии проследим путь до первой КТ, встреченной на связи, либо до ее проекции на линию [3-5] (рис. 2).

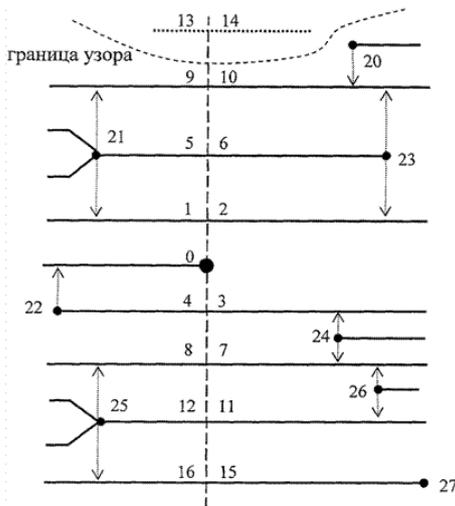


Рис. 2. Пример построения сечения

Пусть каждое гнездо описывается матрицей, в которой на основе  $i$ -й связи синтезируется строка вида  $|d_i, \gamma_i, e_i, v_i, n_i|$ , где  $d_i$  – расстояние от центра сечения до КТ на  $i$ -й связи;  $\gamma_i$  – угол поворота по часовой стрелке направления  $\alpha_i$  для КТ, образующей гнездо, до луча, ориентированного на КТ по  $i$ -й связи;  $e_i$  – событие на  $i$ -й связи;  $v_i \in \{0; 1\}$  – состояние  $i$ -й связи;  $n_i$  – номер КТ на  $i$ -й связи (см. рис. 2) [5].

Заметим, что параметры связи не зависят от ориентации и выбора центра координат.

Для КТ  $m_i$  выберем несколько ее ближайших соседей, например, два –  $m_1$  и  $m_2$  (число выбираемых КТ можно варьировать, повышая тем самым точность отбора, но снижая скорость). Значение гребневого счета до выбранных соседних КТ равно соответственно  $r_{i1}$  и  $r_{i2}$ . Тогда  $m_i$  образует два диполя с выбранными КТ  $m_1$  и  $m_2$  (рис. 3).

Для выбранных КТ определяют значение азимута  $\gamma_{ik} \in \{0; 359\}$ ,  $k \in \{1, 2\}$ . С помощью квантования значение

азимута сводят к значению  $\gamma_{ik} \in \{0; 63\}$ . Тем самым получают 64 возможных класса для идентификации диполей.

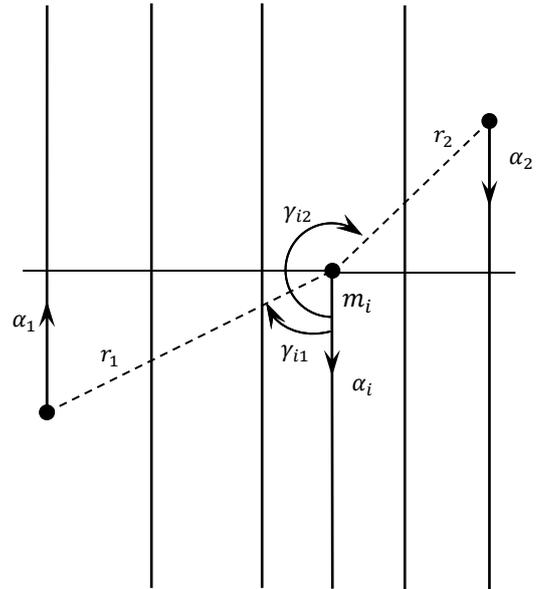


Рис. 3. Построение диполя

Для каждого диполя определены его длина  $d_{ik}$ , равная расстоянию между КТ  $m_i$  и  $m_k$ , значение гребневого счета  $r_{ik}$  между КТ  $m_i$  и  $m_k$ , угол  $\varphi_{ik}$  разности векторов  $\alpha_i$  и  $\alpha_k$ . Таким образом, диполь имеет вид  $\{\gamma_{ik}, d_{ik}, r_{ik}, \varphi_{ik}\}$ .

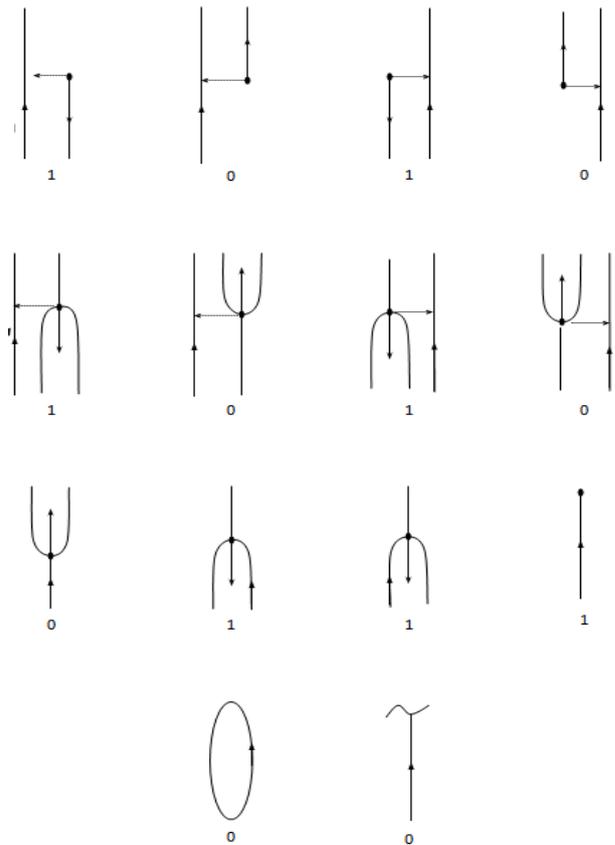


Рис. 4. Значение бита в зависимости от направления КТ на связи

В силу малого числа классов высока вероятность ошибочной идентификации двух различных диполей. Чтобы

этого избежать, добавим к описанию диполя дополнительный бит, удваивающий число классов. Значение дополнительного бита характеризует направление  $\alpha_k$  события, которое образует КТ  $m_k$ , на связи с КТ  $m_i$ , причем 1 означает направление КТ по ходу связи, 0 – против хода (рис. 4).

При добавлении бита число возможных классов, которым может принадлежать диполь, удваивается до 128. Этот бит добавляется старшим битом к азимуту  $\gamma_{ik}$ . При этом получаются те самые 128 классов  $c_{ik}$ .

Для сравнения диполи сортируются по классам в зависимости от значения  $c_{ik}$ . Классы позволяют при упорядочивании диполей быстро найти пары потенциально идентичных КТ. Затем для диполей из запросного и архивного отпечатков вычисляется пересечение списка классов слиянием [7]. Для равных классов дополнительно проверяют разность соответствующих углов  $\varphi_{ik}$ , расстояний  $d_{ik}$ , значений гребневого счета  $r_{ik}$  для запросного и архивного отпечатков. Значения этих разностей должны быть в пределах заданных допусков. Если это условие выполняется, то КТ  $m_i$  со стороны запросного отпечатка и соответствующая КТ со стороны архивного отпечатка добавляются в список  $L_0$  возможных кандидатов идентичных пар КТ.

За счет того, что формальная отсека непохожих пар КТ выполняется на основе упорядоченного списка классов, а остальные проверки разностей проводятся редко, этот подход позволяет значительно увеличить скорость. В результате поиска по классам очень быстро формируются возможные пары идентичных КТ.

На основе списка  $L_0$  для каждого гнезда определяется 32-битное слово, каждый бит которого характеризует ориентацию КТ по ходу или против хода при прослеживании связи (см. рис 4). Полученные два слова объемом 32 бита сравниваются при помощи логической операции исключающего «или», причем для каждого сравнения подсчитывается число совпадающих бит. Отбирая из списка  $L_0$  пары КТ по наибольшему числу совпадающих бит, формируют список  $L_1$ .

Из списка  $L_1$  выбираются 1-3 возможных пары, которые, как правило, являются идентичными на отпечатках, принадлежащих одному и тому же пальцу. В дальнейшем выбранные пары связей используются как заправки для развития похожих фрагментов согласно методу, описанному в [6]. Собственно развитие фрагментов путем наращивания подобных областей формирует высококачественный, но медленный поиск. Ускорение достигается за счет быстрого первичного отбора идентичных пар – заливок.

### 3. Результаты экспериментов

Для тестирования предложенного алгоритма из баз FVC 2000, 2002, 2004 и 2006 г. были отобраны примерно 6000 изображений, полученных с оптического сенсора. При этом выбирались изображения, наиболее сложные при идентификации. Для отобранных отпечатков исследована зависимость точности сравнения от скорости идентификации.

График на рис. 5 иллюстрирует оценку величины ошибки, определяемой по DET-кривой, в зависимости от скорости сравнения. По оси абсцисс отражены данные о количестве сравниваемых миллионов пар отпечатков в секунду в режиме идентификации, по оси ординат – значение интегральной ошибки в процентах. Левый край графика соответствует сравнению отпечатков без ускорителей, а правый – с ускорителями с минимальными допусками на разности параметров диполей.

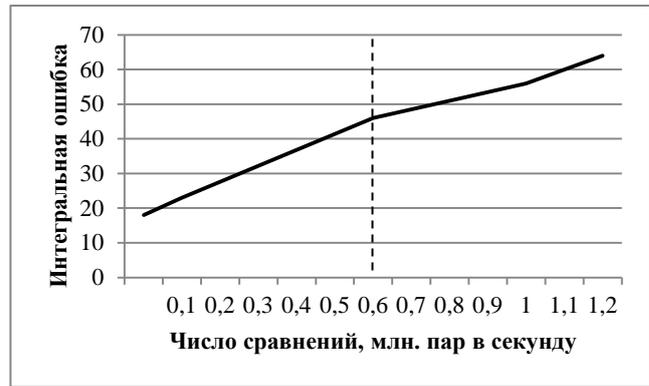


Рис. 5. Результаты экспериментов

### 4. Заключение

В работе рассматривается метод, позволяющий ускорить отбор пар КТ для последующего сравнения изображений отпечатков пальцев. Ускорение обеспечивается за счет сокращения числа пар КТ, используемых в качестве заливок для развития похожих фрагментов и дальнейшего сравнения.

Дополнительная информация, характеризующая каждое гнездо, незначительно увеличивает размер шаблона. Однако за счет того, что формирование списка возможных кандидатов  $L_0$  и списка заливок  $L_1$  производится практически мгновенно, общее время сравнения значительно сокращается.

Таблица. Сравнительный анализ алгоритмов

Алгоритм	Время сравнения, мс	Размер шаблона, байт	FMR <sub>10000</sub> , %
PPM	46	36922	6,179
M3gl	667	88958	9,643
MinutiaeClusterFull	96	3344160	10,214
MCC-Based (Baseline)	242	214629	20,107

В таблице приводятся результаты тестирования FVC-onGoing [11] по состоянию на 15.05.2018 г. Рассматривались алгоритмы идентификации по ладоням на основе полных отпечатков. Метод, представленный в работе, применяется в алгоритме PPM. В таблице видно, что при высокой производительности качественные характеристики алгоритма высоки, что демонстрирует доля ошибочно идентифицированных идентичных отпечатков на 10000 сравнений (значение FMR<sub>10000</sub>).

### 5. Литература

- [1] ГОСТ Р ИСО/МЭК 19494-2 - 2005 Форматы обмена биометрическими данными. Часть 2: Данные изображения отпечатка пальца - контрольные точки. Biometric Data Interchange Format – Part 2: Finger Image – Finger Minutiae.
- [2] Гудков В.Ю. Модель гребневого счета на основе топологии дактилоскопического изображения // Вестник ЧелГУ, 2011. Вып. 13. С. 99-108.
- [3] Гудков В.Ю., Аркабаев Д.И. Пат. 2444058, МПК G06K 9/62. Способ гребневого счета на основе топологии дактилоскопического узора. № 2010110115/08, заявл. 17.03.2010; опубл. 27.02.2012 Бюл. № 6.
- [4] Гудков В.Ю. Способы математического описания и идентификации отпечатков пальцев / под ред. член-

- корр. РАН В.Л. Арлазарова и д.т.н. проф. Н.Е. Емельянова // Обработка изображений и анализ данных: Труды ИСА РАН. Т. 38. С. 336--356. 2008.
- [5] Гудков В.Ю., Аркабаев Д.И.. Пат. 2331108, МПК G06K 9/62. Способ сравнения отпечатков папиллярных узоров. № 2006140939/09, заявл. 20.11.2006; опубл. 10.08.2008; бюл. № 22.
- [6] Гудков В.Ю., Боков А.С. Пат. 2185661, МПК G06K 9/62. Способ сравнения папиллярных узоров пальцев. № 2000121735/09, заявл. 14.08.2000; опубл. 20.07.2002; бюл. № 20.
- [7] Новиков Ф.А. Дискретная математика: Учебник для вузов. 2-е изд. Стандарт третьего поколения. Издательский дом "Питер", 2012 г. 400 с.
- [8] Cao J., Feng J., A Robust Fingerprint Matching Algorithm Based on Compatibility of Star Structures. Proceedings of the Sixth International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition (MIPPR 2009), vol. 7498, Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications, pp.74983X, 2009
- [9] Chen X., Wang L., Li M. An Efficient Graph-Based Algorithm for Fingerprint Representation and Matching, Proceedings of the 3rd International Conference on Multimedia Technology (ICMT 2013), pp. 1019-1029, 2013
- [10] Chikkerur S., Cartwright A., Govindaraju V. K-plet and cbfs: A graph based fingerprint representation. International Conference on Biometrics ICB 2006: Advances in Biometrics, p. 309-315.
- [11] Dorizzi B., Cappelli R., Ferrara M., et al. Fingerprint and On-Line Signature Verification Competitions at ICB 2009 //International Conference on Biometrics ICB 2009 (Alghero, Italy, June 2-5, 2009). P. 725-732.
- [12] Feng Y., Feng J., Chen X., et al. A Novel Fingerprint Matching Scheme Based on Local Structure Compatibility, International Conference on Pattern Recognition, p. 374-377, 2006.
- [13] Jiang X., Yau W.Y. Fingerprint Minutiae Matching Based on the Local and Global Structures. International Conference on Pattern Recognition, vol. 2(1): p. 1038–1041, 2000.
- [14] Leslie S., Sumathi C.P. A Robust Hierarchical approach to Fingerprint matching based on Global and Local Structures. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol. 13, N. 7, p. 4730-4739, 2018
- [15] Ratha N. K., Pandit V. D., Bolle R. M., et al. Robust fingerprint authentication using local structure similarity. In Workshop on applications of Computer Vision, p. 29–34, 2000.

## Об авторах

Лепихова Дарья Николаевна, инженер-программист ООО «Сонда ПРО». Её e-mail [lepikhova@sonda.ru](mailto:lepikhova@sonda.ru).

Гудков Владимир Юльевич, д.ф.-м.н, доцент кафедры прикладной математики Миасского филиала Челябинского Государственного университета. Его e-mail [diana@sonda.ru](mailto:diana@sonda.ru).