

ВЕРИФИКАЦИЯ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ МИНУЦИЙ

Ольга Мелкозерова, Сергей Малахов

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина
olja.mex@gmail.com, mailgate@meta.ua

Рецензент: Вячеслав Калашников, д.ф.-м.н., проф., Технологический университет Монтеррея,
64849 Монтеррей, Нуево-Леон, Мексика
kalash@itesm.mx

Поступила: Апрель 2020.

Аннотация: В настоящее время производится попытка внедрения биометрических технологий в различные сферы общественной и государственной жизни: криминалистика, системы контроля доступа, приложения на мобильных устройствах, банковское дело и т.д. Проблема точности при этом все еще остается открытым вопросом для обсуждения, так как при решении задачи верификации биометрических образцов возникают проблемы дописывания или исчезновения опорных точек, деформация расстояний между ними, линейные и угловые смещения всего образца. Также разработанные биометрические системы не отвечают всем требованиям информационной безопасности, а именно целостности, аутентичности, доступности, непроверяемости, наблюдаемости и конфиденциальности. В статье приведен анализ метода декомпозиции окрестности минуции при верификации отпечатков пальцев, описаны его преимущества и недостатки в сравнении с другими методами. Он основывается на создании локальных структур для каждой минуции отпечатка, так как именно локальные структуры обладают устойчивостью к перемешиванию, угловому и линейному смещению точек. Построение глобальных структур зачастую не приводит к хорошим показателям точности, так как возникает проблема при центрировании всего образца. Проведен полный перебор испытаний образцов базы данных отпечатков пальцев при их верификации этим методом. Описан алгоритм построения кода для произвольной минуции и алгоритм сравнения двух шаблонов отпечатков. В результатах статьи приведены значения парных сравнений двух шаблонов для истинных и ложных испытаний. Исследованы показатели ложного отказа (FRR – False Rejection Rate), ложного доступа (FAR – False Acceptance Rate), единой эквивалентной ошибки (EER – Equal Error Rate).

Ключевые слова: отпечатки пальцев, метод декомпозиции окрестности минуций, минуция.

1 Введение

В настоящее время практически применяются различные способы биометрической идентификации [1]: - отпечатки пальцев; - особенности голоса; - особенности радужной оболочки глаз; - характерные особенности лица и многие другие особенности (например, параметры походки и другие антропологические характеристики).

Одним из наиболее популярных и часто используемых, является способ распознавания по отпечаткам пальцев. Этому способу биометрической идентификации личности посвящено значительное количество публикаций, однако, время от времени, все равно возникают определенные трудности при распознавании отпечатков (условия применения, ограничения различного характера, несовершенство алгоритмов и т.п.). Анализ и обобщение характерных предпосылок возникновения подобных трудностей, позволяет утверждать, что причиной тому, как правило, служат [1-6]:

- неоднозначность преобразований;
- флуктуация расстояния между минуциями, что определяется степенью нажатия пользователя пальцем на считывающее устройство сканера и угол поворота пальца при этом;
- проблемы с используемым алгоритмом предобработки отпечатков, для получения их шаблона (появляются ложные минуции и/или исчезают истинные).

Проблему угла поворота довольно успешно решают алгоритмы, которые позволяют строить локальные структуры, такие структуры, которые связаны с системой координат каждой отдельной минуции, а не с глобальной системой координат всего отпечатка в целом [2, 3]. К таким методам, например, относится метод построения цилиндрического кода, который дает

неплохие результаты по точности, а также метод декомпозиции окрестности минуции, который является объектом исследования в данной статье.

2 Описание метода декомпозиции минуций

Метод декомпозиции минуций относительно прост для понимания и реализации [2]. Его суть заключается в том, что для каждой отдельной минуции строится своя локальная структура, представленная матрицей размерностью 4×9 , а весь шаблон имеет размер $4N \times 9$ (где N – количество минуций в первоначальном образце).

Последовательность шагов для создания локальной структуры каждой минуции имеет следующий вид:

- 1) Нахождение трех ближайших минуций (Рис. 1);
- 2) Декомпозиция графа из четырех вершин на три треугольника (Рис. 2);
- 3) Заполнение матрицы локальной структуры (размером 4×9) значениями длин сторон, внутренними углами треугольников и разностью углов прихода минуций, которые принадлежат треугольнику:

$$u_r = (s_{r1}, \Delta o_{r1}, \alpha_{r1}, s_{r2}, \Delta o_{r2}, \alpha_{r2}, s_{r3}, \Delta o_{r3}, \alpha_{r3}), \quad (1)$$

где s_{ri} – длина стороны треугольника ($i=1, \dots, 3$); α_{ri} – внутренние углы треугольника, ($i=1, \dots, 3$); $\Delta o_1 = |o_1 - o_2|$, $\Delta o_2 = |o_2 - o_3|$, $\Delta o_3 = |o_3 - o_1|$ – разница углов прихода минуций, $r=1, \dots, 4$.

Для реализации всего метода шаги 1-3 нужно повторить для каждой минуции, которая принадлежит данному шаблону.

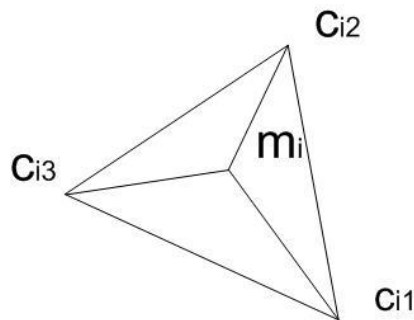


Рис. 1 – Окрестность минуции m_i

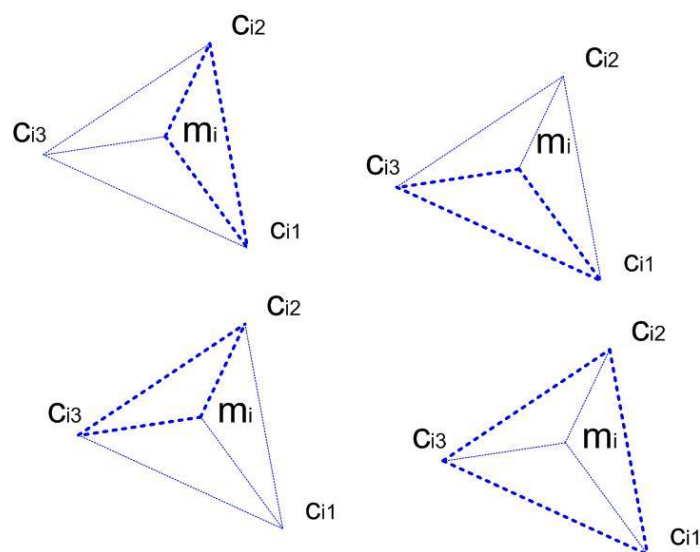


Рис. 2 – Пример декомпозиции окрестности минуции

3 Пример построения локальной структуры минуции и сравнение 2-х шаблонов

На рис. 3 приведен пример размещения координат всех минуций, формирующих типовой шаблон. Для индикаторной минуции, с координатами (137; 380), выбираем три ближайшие к ней минуции с1, с2, с3 (их координаты см. в табл. 1).

Проводим декомпозицию (табл. 2) окрестности выбранной минуции. На рис. 4, это треугольники с вершинами координат: - m-c2-c3; - m-c1-c2; - c1-c2-c3; - m-c1-c3.

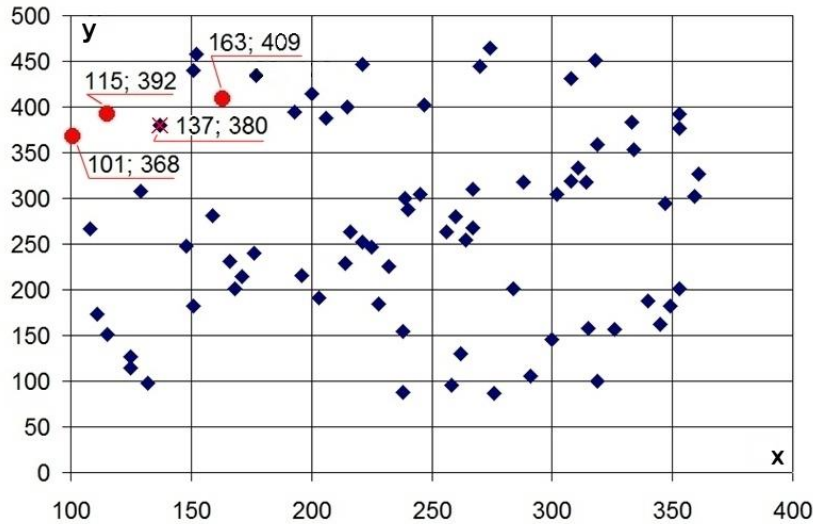


Рис. 3 – Координаты минуции шаблона

Прим.: Выбор трех ближайших точек (выделены красными маркерами) к минуции для которой строится локальная структура

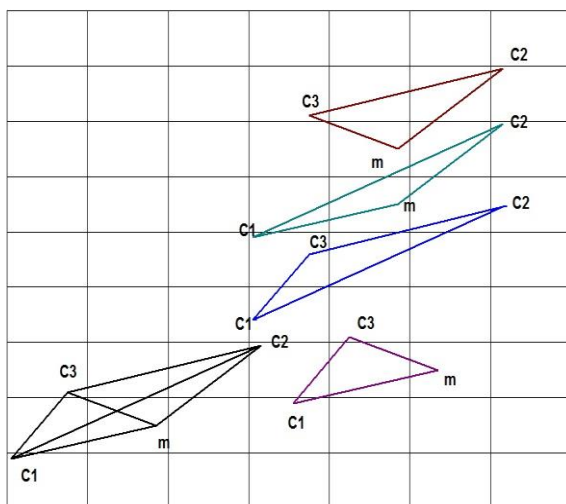


Таблица 1 – Координаты точек и угол прихода минуций

Обозначение	x	y	θ
m	137	380	0,575959
c1	115	392	0,785398
c2	101	368	0,575959
c3	163	409	0,785398

Рис. 4 – Декомпозиция окрестности минуции

Для сравнения двух шаблонов из M и N минуций [2], имеющих векторы $W^n = [w_1^n, w_2^n, w_3^n, w_4^n]$ и $W^m = [w_1^m, w_2^m, w_3^m, w_4^m]$, которые образуются двумя окрестностями минуций m и n (Рис. 5), можно воспользоваться формулой:

$$P_{nm} = \min_{i,j=1,\dots,4} (\|w_i^n, w_j^m\|), \tag{2}$$

где $n = 1, \dots, N$ и $m = 1, \dots, M$.

$\|w_i^n, w_i^m\|$ - евклидово расстояние между векторами w_i^n и w_i^m .

Таблица 2 – Заполнение данными матрицы размера 4×9

Декомпозиция	d_1	Δo_1	α_1	d_2	Δo_2	α_2	d_3	Δo_3	α_3
m-c1-c3	25.060	0.209	0.821	37.947	0.000	1.600	27.785	0.209	0.721
m-c2-c3	25.060	0.209	1.802	38.949	0.209	0.840	50.922	0.000	0.500
m-c1-c2	37.947	0.000	2.623	38.949	0.209	0.263	74.330	0.209	0.256
c1-c2-c3	27.785	0.209	2.439	50.922	0.000	0.458	74.330	0.209	0.244

Далее сохраняем минимальное значение для каждого ряда:

$$a_n = \min_m (p_{nm}). \quad (3)$$

Итоговое значение сравнения двух шаблонов имеет вид:

$$S = \frac{\sum_{n=1}^N (a_n < t)}{\sqrt{N \cdot M}}, \quad (4)$$

где t - некоторое пороговое значение.

10.1	0.0	1.8	26.0	0.0	1.0	29.7	0.0	0.3	38.6	0.0	0.2	55.0	3.1	2.4	20.0	3.1	0.5
10.1	0.0	1.1	50.8	0.0	1.8	47.4	0.0	0.2	72.7	3.5	0.2	84.2	0.4	2.1	20.0	3.1	0.9
26.0	0.0	0.6	50.8	0.0	2.0	33.5	0.0	0.5	17.3	0.2	1.4	29.4	3.1	1.1	32.0	3.3	0.6
29.7	0.0	0.8	47.4	0.0	1.7	33.5	0.0	0.7	17.3	0.2	3.1	32.8	0.0	0.0	50.0	0.2	0.0

Рис. 5 – Схема сравнения минутий двух шаблонов

4 Результаты экспериментов

В рамках моделирования было проведено 78400 ложных и 1372 истинных (это полный перебор) испытаний. На рис. 6-7 представлены графики распределений по метрике декомпозиции окрестностей минутий. Таблица 3 содержит значения сравнения шаблонов для нескольких ложных и истинных испытаний. На рис. 8-9 приведены графики FAR/FRR ($False$ Acceptance Rate - уровень ложного принятия, $False$ Rejection Rate - уровень ложного отказа), для каждого типа испытаний, по которым можно определить значение $EER \approx 23\%$ ($Equal$ Error Rate – величина эквивалентной ошибки).

Табл. 3 – Результаты сравнения шаблонов при ложных и истинных испытаниях

Значения метрики для ложных испытаний			Значения метрики для истинных испытаний		
1_1	8_0	0,081493	0_0	0_1	0,166248
1_1	8_1	0,033013	0_0	0_2	0,306681
1_1	8_2	0,049796	0_0	0_3	0,484639
1_1	8_3	0,05229	0_0	0_4	0,346349
1_1	8_4	0,214177	0_0	0_5	0,28879
1_1	8_5	0,051358	0_0	0_6	0,245287
1_1	8_6	0,066666	0_0	0_7	0,338063
1_1	8_7	0,05912	0_1	0_2	0,386257
1_1	9_0	0,281655	0_1	0_3	0,332314
1_1	9_1	0,084131	0_1	0_4	0,181061
1_1	9_2	0,140809	0_1	0_5	0,34472
1_1	9_3	0,18105	0_1	0_6	0,253618

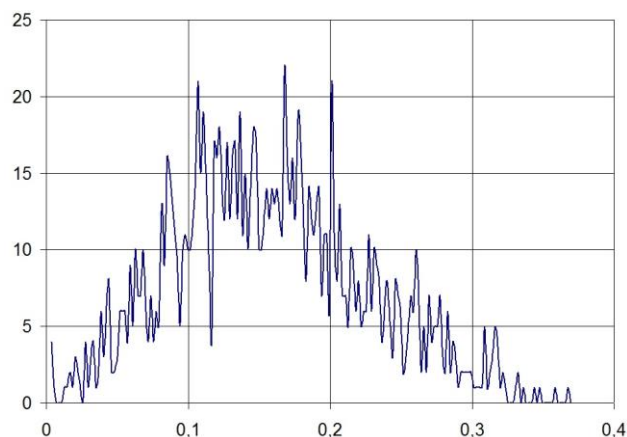


Рис. 6 – Гистограмма распределения истинных испытаний

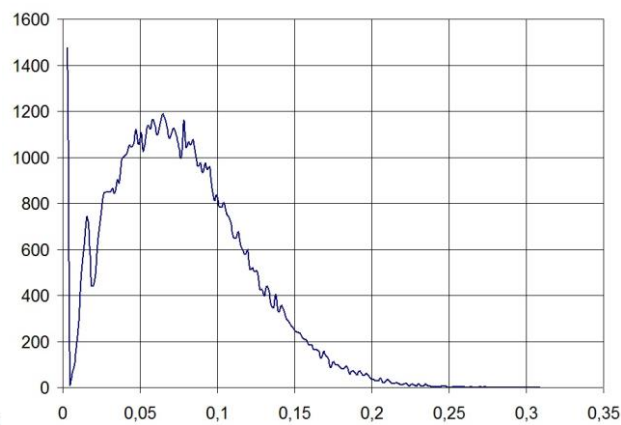


Рис. 7 – Гистограмма распределения ложных испытаний

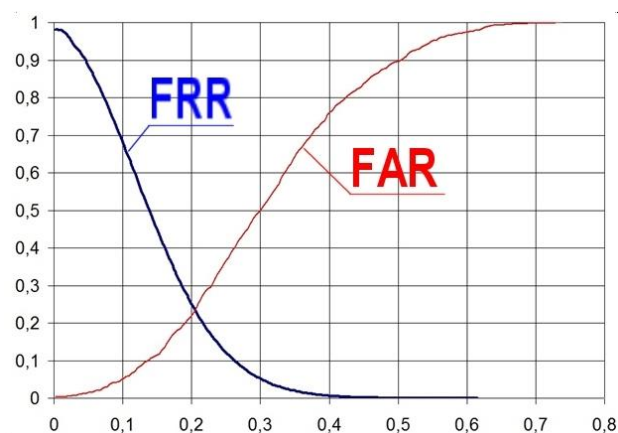


Рис. 8 – Зависимости FRR и FAR

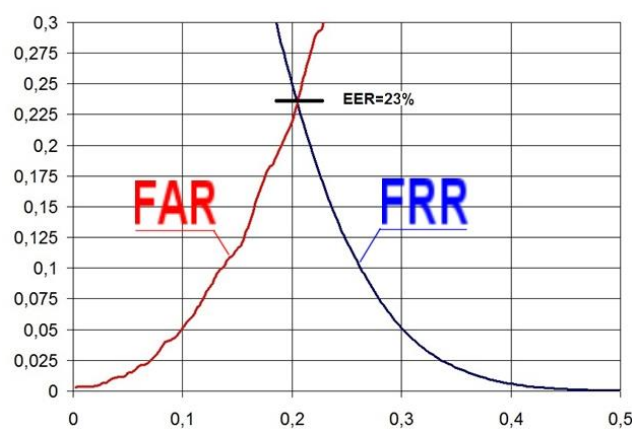


Рис. 9 – Зависимости FRR и FAR

5 Выводы

1. В работе рассмотрено практическое решение задачи верификации отпечатков методом декомпозиции минуций, который позволяет синтезировать локальные структуры для всех минуций, образующих соответствующий шаблон отпечатка.

2. К очевидным преимуществам этого метода следует отнести: - простоту реализации и высокую скорость обработки базы данных. Так, время обработки всей базы данных составляет 42 с, а одного шаблона - 0,17 с. При использовании же цилиндрического кода, полный перебор той же базы данных, занимает 30 мин.

Полный перебор при постановке задачи верификации составляет 60 мин, тогда как при обработке цилиндрического кода это может занять 24 часа.

3. К недостаткам описанного метода следует отнести низкую точность полученных результатов, $EER = 23\%$. Однако путем реализации некоторых манипуляций, возможно, некоторое улучшение полученного результата. Например, это может быть построение выпуклой оболочки для координат минуций шаблона, которая будет обеспечивать исключение крайних искаженных точек образца (отпечатка).

Ссылки

- [1] Lantian Li, Chao Xing, Dong Wang, Kaimin Yu, Thomas Fang Zheng, Binary Speaker Embedding, In arXiv:1510.05937v2 31 Mar 2016. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7918381> - 20.06.2020.
- [2] Jin Zhe, Andrew Teoh Beng Jin, Fingerprint template protection with Minutia Vicinity Decomposition. Article, 2011. https://www.researchgate.net/publication/261431544_Fingerprint_template_protection_with_Minutia_Vicinity_Decomposition_-_20.06.2020.
- [3] Wajih Ullah Baig, Umar Munir, Waqas Ellahi, Adeel Ejaz, Kashif Sardar Minutia texture cylinder codes for fingerprint matching <https://arxiv.org/pdf/1807.02251.pdf>, Article 2018 - 20.06.2020.

- [4] Melkozerova, O., Shlokin, V., Malakhov, S. Mathematical model of the biometric system of fingerprint authentication. Problems of informatization: abstracts of the reports of the seventh international conference on November 13-15, 2019, Pages. 92.
- [5] Melkozerova, O., Malakhov, S. Features of automated software testing procedures. Problems of informatization: abstracts of the reports of the seventh international conference on November 13-15, 2019, Pages 36.
- [6] Melkozerova, O., Rassomakhin, S. Identification of fingers on the basis of Hamiltonian cycles of local features. the Bulletin of KNU Series "Mathematical Modeling. IT. ACS". Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems». 2019. Issue 44. Pages 51–65. <https://periodicals.karazin.ua/mia/article/view/15767-20.06.2020>.

Reviewer: Vyacheslav Kalashnikov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Full Prof., Department of Systems and Industrial Engineering, Campus Monterrey, Monterrey, Mexico. E-mail: kalash@itesm.mx

Received on April 2020.

Authors:

Olha Melkozerova, Ph.D., Senior Lecturer, Department of Security of Information Systems and Technologies, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine. E-mail: olja.mex@gmail.com

Serhii Malakhov, Ph.D., Senior Researcher, Associate Professor, Department of Security of Information Systems and Technologies, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine. E-mail: mailgate@meta.ua

Fingerprint verification by the method of minutia decomposition.

Abstract. Currently, an attempt is being made to introduce biometric technologies in various spheres of public and state life: forensics, access control systems, applications on mobile devices, banking, etc. The problem of accuracy remains an open question for discussion, because when solving the problem of verification of biometric samples there are problems of addition or disappearance of reference points, deformation of distances between them, linear and angular displacements of the whole sample. Also, the developed biometric systems do not meet all the requirements of information security, namely the integrity, accessibility, authenticity, indisputability, observability and confidentiality. The article presents an analysis of the method of decomposition of minefields during fingerprint verification, describes its advantages and disadvantages in comparison with other methods. It is based on the creation of local structures for each minute of the imprint, because it is the local structures that are resistant to mixing, angular and linear displacement of points. Building global structures often does not lead to good accuracy, as there is a problem of centering the entire sample. A complete list of tests of samples of the database of fingerprints during their verification by this method. An algorithm for constructing a code for an arbitrary minution and an algorithm for comparing two sample templates are described. The results of the article show the value of pairwise comparisons of two templates for true and false tests. The indicators of false rejection rate (*FRR*), false access rate (*FAR*), single equivalent error rate (*EER*) were studied.

Keywords: Fingerprints; Method Of Minutia Vicinity Decomposition; Minutia.

Рецензент: В'ячеслав Калашников, д.ф.-м.н., проф., департамент систем і промислового виробництва Технологічного університету Монтеррея, Монтеррей, Мексика. E-mail: kalash@itesm.mx

Поступила: Квітень 2020.

Автори:

Ольга Мелкозорова, к.т.н., доцент кафедри Безпеки інформаційних систем і технологій, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна. E-mail: olja.mex@gmail.com

Сергій Малахов, к.т.н., с.н.с., доцент кафедри Безпеки інформаційних систем і технологій, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна. E-mail: mailgate@meta.ua

Верифікація відбитків пальців методом декомпозиції мінуцій.

Анотація. У теперішній час здійснюється спроба впровадження біометричних технологій у різні сфери суспільного і державного життя: криміналістика, системи контролю доступу, додатки на мобільних пристроях, банківське діло і т.п. Проблема точності при цьому залишається відкритим питанням для обговорення, тому що при вирішенні задачі верифікації біометричних зразків виникають проблеми дописування або зникнення опорних точок, деформація відстаней між ними, лінійні та кутові зміщення всього зразку. Також розроблені біометричні системи не відповідають всім вимогам інформаційної безпеки, а саме цілісності, доступності, автентичності, незаперечності, спостережливості та конфіденційності. У статті наведено аналіз методу декомпозиції околиць мінуцій при верифікації відбитків пальців, описано його переваги та недоліки у порівнянні з іншими методами. Він базується на створенні локальних структур для кожної мінуції відбитку, тому що саме локальні структури мають стійкість до змішування, кутового та лінійного зміщення точок. Побудова глобальних структур найчастіше не призводить до гарних показників точності, так як виникає проблема центрування всього зразку. Проведено повний перебір випробувань зразків бази даних відбитків пальців при їх верифікації цим методом. Описано алгоритм побудови коду для довільної мінуції та алгоритм порівняння двох шаблонів зразку. У результатах статті наведено значення парних порівнянь двох шаблонів для істинних та хибних випробувань. Досліджено показники хибної відмови (*FRR* – *False Rejection Rate*), хибного доступу (*FAR* – *False Acceptance Rate*), єдиної еквівалентної помилки (*EER* – *Equal Error Rate*).

Ключові слова: відбитки пальців; метод декомпозиції околиць мінуцій; мінуція.