

Идентификация отпечатков пальцев по типу контрольных точек

В.Ю. Гудков¹
diana@sonda.ru

¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

В работе предлагается метод идентификации изображений отпечатков пальцев, устойчивый к шуму и дефектам изображений. Метод опирается на контрольные точки, разветвления и окончания, которые под воздействием помех могут изменить свой тип. Такие нежелательные изменения влияют на величину гребневого счета, на топологические и другие характеристики изображений, что может снизить надежность их идентификации. Для компенсации эффекта влияния помех вводится топологический вектор и правила его нумерации для разветвлений и окончаний. Предлагается способ приведения топологических векторов от одного типа контрольной точки к другому. В результате приведения топологические векторы для разветвлений и окончаний нумеруются подобно. Это обеспечивает устойчивость измерения гребневого счета, надежность сопоставления различных топологических векторов и, как следствие, минимальные ошибки идентификации. Приводятся результаты тестирования предлагаемого метода, реализованного в алгоритме.

Ключевые слова: идентификация отпечатков пальцев, топологический вектор, мутация, контрольная точка.

Fingerprints Identification by Minutiae Types

V.J. Gudkov¹
diana@sonda.ru

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

The paper proposes a method for identifying fingerprints that is resistant to noise and image defects. The method relies on minutiae, bifurcations and endings, which, under the influence of defects, can change their type. Such undesirable changes affect the ridge counting, the topological and other characteristics of the images. It can reduce the reliability of their identification. To compensate for the effect of interference, a topological vector is introduced and its numbering rules for bifurcations and endings are described. A method is proposed for converting topological vectors from one type of minutiae to another. As a result of the cast, topological vectors for bifurcations and endings are numbered alike. This ensures the stability of the ridge counting, the reliability of matching of various topological vectors and, consequently, the minimal identification errors. The method is implemented in the algorithm. The results of testing the proposed method are given.

Keywords: fingerprint identification, topological vector, mutation, minutia.

1. Введение

В настоящее время отпечатки пальцев (ОП) широко используются для идентификации личности [11]. Они применяются в дактилоскопических информационных системах, системах контроля доступа и др. Идентификация опирается на свойства самих ОП [1, 12]. Особо выделяют контрольные точки (КТ), под которыми обычно понимают окончания и разветвления папиллярных линий [9], а также отношения между ними. Процедуру идентификации выполняют компьютерные системы, взаимодействующие с большими базами данных (БД), а личность в БД распознают не по изображениям ОП человека, а по шаблонам изображений, как их моделям [1, 3]. При этом могут возникнуть ошибки распознавания: ложного признания (false accepted rate, FAR) и ложного отказа (false rejected rate, FRR) [1, 11]. Уменьшение величины этих ошибок является сложной задачей, которую возможно решить с помощью новых подходов, моделей, методов и алгоритмов [3, 4]. В этой статье рассматривается новый метод надежного распознавания шаблонов ОП.

Статья организована следующим образом. Во введении рассматривается текущее состояние задачи распознавания личности по ОП. Во второй главе делается обзор предшествующих работ, нацеленных на снижение ошибок распознавания. В третьей главе излагаются топологические векторы и их свойства. В четвертой главе обсуждается алгоритм идентификации ОП на основе топологических векторов. В пятой главе демонстрируются преимущества нового метода идентификации на основе результатов международного тестирования. Выводы и дальнейшие направления исследований приводятся в заключении.

2. Обзор предшествующих работ

Известны методы, повышающие надежность сравнения изображений ОП [11]. Как правило, верный выбор похожих пар КТ на запросном изображении и изображении из БД имеет решающее значение [3, 5]. В то же время дескрипторы КТ, как и отношения между ними, могут сохраняться в шаблоне различными способами. Например, гребневый счет [1, 8] или Евклидово расстояние [3, 7]. Согласно стандарту [9] гребневый счет определяют как число гребней, пересекаемых отрезком, проводимым между двумя различными КТ на изображении одного ОП.

В работе [8] предложены локальные топологические структуры (local minutiae topological structures, LMTS), устойчивые к шумам и искажениям на основе дескрипторов, инвариантных к повороту и переносу изображений. В их состав входит гребневый счет и геометрические отношения между различными КТ. Позже, Y. Feng усовершенствовал метод комбинирования LMTS по двое в пары [7], а J. Cao – в звездные структуры [3]. В целом подход на основе LMTS подобен методу комбинирования других подобных структур для окрестностей КТ по двое, по трое и по другому целому числу k [12].

В работе [5] для каждой КТ и ее окрестности рассмотрены структуры, называемые k -plet. На их основе как для верификации, так и для идентификации, авторы предлагают модифицированный поиск в ширину (coupled breadth first search, CFBS). Алгоритм CFBS сравнивает два графа, которые построены на основе скелетов соответствующих изображений. Сами структуры типа k -plet строят, прослеживая скелетные линии узора. Этим обеспечивают инвариантность структур k -plet к повороту, переносу и ограниченным деформациям ОП. Та же идея, но

несколько позже, развита в работе [4]. В целом сопоставление двух изображений ОП выполняется сравнением их моделей – ориентированных графов.

Кроме того, в той же работе [4] представлен граф смежности [2] для КТ (minutiae adjacency graph, MAG). Каждая КТ снабжается структурой MAG, которая учитывает ближайшие другие КТ в соответствии с заданным допуском на расстояние. Каждое ребро графа MAG представлено номерами двух КТ, образующих вершины ребра, расстоянием и гребневым счетом между ними, а также ориентацией ребра.

В работе [10] авторы расширили подход с применением графа MAG. Они предложили построение этого графа не только для КТ, но и для петель, дельт, завитков и вообще для сколь-нибудь устойчивых и значимых признаков изображений.

Общим для этих работ является то, что они нацелены на изображения ОП среднего и хорошего качества, которое оценивается по критерию, изложенному в докладе [13]. Предложенные структуры, графы и, в целом, шаблоны однозначно определяются множеством КТ. В процессе идентификации изображений ОП их графы сравнивают и рассчитывают степень подобия графов. Причем сравнение развивается от тех пар КТ двух изображений, подграфы которых наиболее похожи. Поэтому первоначальный выбор пар КТ как затравок для развития фрагментов узоров очень важен.

Однако помехи и искажения изображений могут изменить структуру и содержание графов. Например, преобразование разветвления в окончание может существенно изменить значение гребневого счета, а деформация зон высокой кривизны изображений ОП – тоже [1, 8]. В упомянутых работах эти недостатки, увеличивающие ошибки распознавания, не освещены. Поэтому задача повышения надежности идентификации ОП остается актуальной.

3. Топологические векторы

В большинстве известных подходов КТ определяют по скелетным линиям узора, которые строят на этапе обработки изображения [9, 11, 12]. В описании каждой КТ m_i входят ее координаты (x_i, y_i) , ориентация α_i , причем $\alpha_i \in [0; 2\pi)$, и, для полноты представления, тип $t_i \in \{0,1\}$ со значением $t_i = 1$ для окончания и $t_i = 0$ для разветвления [1]. Таким образом, множество всех КТ записывают в виде

$$\{m_i\} = \{(x_i, y_i), \alpha_i, t_i\}, i \in 1..n, \quad (1)$$

где n – число КТ, детектированных на изображении.

Проведем проекции от каждой КТ перпендикулярно ее ориентации вправо и влево на смежные скелетные линии (далее, просто линии). Зафиксируем проекции. Тогда, на линии могут располагаться окончания, разветвления и их проекции [1].

От каждой КТ проведем сечение вправо и влево перпендикулярно нескольким линиям. Сечение изгибается параллельно направлению кривизны линий. Это свойство стабилизирует сечение. Оно разрезает каждую пересекаемую линию на две части, которые назовем связями. Число связей зависит от типа КТ. Тип КТ может изменить мутация.

Определение 1. Мутацией первого рода называют замыкание окончания в разветвление на смежную линию или разрыв разветвления в окончание.

Определение 2. Мутацией второго рода называют переход окончания через линию в окончание или разветвления на смежную линию в разветвление.

Реализация мутации, если смотреть по направлению ориентации КТ, может быть выполнена вправо или влево.

Для окончания 220 в сечении, показанном точками на рис. 1, связи пронумерованы 0–12, а другие КТ имеют номера 110, 330, 440, 550. От них же пунктиром проведены проекции на смежные линии перпендикулярно им. Для разветвления 220 в сечении, показанном точками на рис. 2, связи пронумерованы 0–12, а другие КТ, отображенные в сечении, имеют те же номера. Разветвление получено как результат мутации первого рода окончания, которое замыкается на смежную линию влево. Направление ориентации каждой КТ показано стрелкой.

Связи нумеруют по спирали по часовой стрелке, как показано на рис. 1 и рис. 2. При мутации КТ, очевидно, изменение ориентации КТ не происходит. Глубина сечения, которое обычно симметрично в обе стороны, выбирается разработчиком произвольно. Число связей в сечении определяют в виде

$$w_i = 4x + 2 + (-1)^{t_i},$$

где t_i – тип КТ m_i , x – число пересекаемых линий.

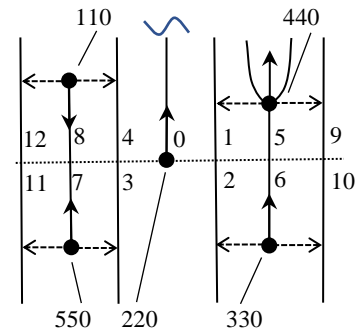


Рис. 1. Сечение для окончания.

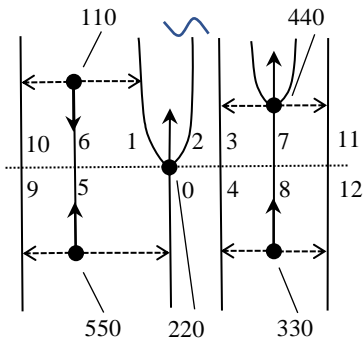


Рис. 2. Сечение для разветвления.

Каждую связь, полученную в сечении, прослеживают по линии от точки сечения до встречи с КТ или с проекцией от КТ. Направление хода связи определяется направлением движения по линии. При движении детектируют события. Состав события в байте следующий. В битах 0–1 записывают значения: 1 – проекция от КТ справа, 2 – проекция от КТ слева, 3 – КТ расположена на связи, 0 – связь обрывается на границе узора или замыкается, не встречая ни КТ, ни проекции от КТ. В бите номер 2 записывают значение 0, если КТ ориентировано по ходу связи, иначе 1. В бите номер 3 записывают значение 1, если событие сгенерировано окончанием, и 0 в противном случае. Событие ассоциируют с номером КТ.

Обозначим символом j номер связи в сечении для КТ m_i , $i \in 1..n$ по формуле (1), $j \in 0..w_i$. Пусть на связи обнаружено событие e_j , ассоциированное с КТ номером n_j .

Определение 3. Базовым топологическим вектором V_i называют нумерованный набор связей с заданной упорядоченной парой (e_j, n_j) на каждой j -й связи в сечении для m_i .

Если в сечении для КТ m_i обнаружена другая КТ, то можно измерить расстояние l_j от m_i до КТ номером n_j , а также азимут как угол поворота β_j вектора α_i по (1) до луча, ориентированного от m_i на КТ номером n_j .

Определение 4. Расширенным топологическим вектором V_i называют нумерованный набор связей с заданной упорядоченной четверкой (e_j, n_j, l_j, β_j) на каждой j -й связи в сечении для m_i .

Топологический вектор для окончания на рис. 1 представлен в табл. 1, а для разветвления на рис. 2 – в табл. 2.

Таблица 1.

Связь	КТ	Событие	Расстояние	Азимут
0	-	0000	-	-
1	440	0001	l_1	β_1
2	330	1110	l_2	β_2
3	550	1101	l_3	β_3
4	110	1110	l_4	β_4
5	440	0011	l_1	β_1
6	330	1111	l_2	β_2
7	550	1111	l_3	β_3
8	110	1111	l_4	β_4
9	440	0010	l_1	β_1
10	330	1101	l_2	β_2
11	550	1110	l_3	β_3
12	110	1101	l_4	β_4
...

Таблица 2.

Связь	КТ	Событие	Расстояние	Азимут
0	550	1101	l_3	β_3
1	110	1110	l_4	β_4
2	-	0000	-	-
3	440	0001	l_1	β_1
4	330	1110	l_2	β_2
5	550	1111	l_3	β_3
6	110	1111	l_4	β_4
7	440	0011	l_1	β_1
8	330	1111	l_2	β_2
9	550	1110	l_3	β_3
10	110	1101	l_4	β_4
11	440	0010	l_1	β_1
12	330	1101	l_2	β_2
...

Отметим свойства топологических векторов.

Свойство 1. Непрерывная спиралевидная нумерация связей сохраняет монотонность роста номеров связей при увеличении глубины сечения.

Свойство 2. Сечение изгибается параллельно направлению кривизны линий.

Свойство 3. Так как события представлены наиболее полно за счет проекций, то влияние мутаций ограничено.

Свойство 4. Базовый топологический вектор инвариантен к масштабным преобразованиям изображения, к переносу и повороту изображения.

Свойство 5. Расширенный топологический вектор инвариантен к переносу и повороту изображения.

Свойство 6. Существует единственное правило перенумерации связей, однозначно устанавливающее соответствие между топологическими векторами для окончания и разветвления.

Свойства 1–5 очевидны и известны [1, 5]. Они следуют из способа проведения сечения для КТ и построения топологического вектора. Неочевидным является шестое свойство.

Пусть окончание 220, показанное на рис. 1, замыкается влево с образованием разветвления 220 на рис. 2. Тогда, с целью сохранения топологической одноименности связей, для связи номер 0 в сечении для окончания необходимо рассматривать связь номер 2 в сечении для разветвления, для связи номер 1 в сечении для окончания – связь номер 3 в сечении для разветвления и т.д. Это ясно при сопоставлении сечений на рис. 1 и рис. 2.

Для мутаций первого рода можно вывести следующие четыре правила преобразования номеров связей.

Если окончание замыкается влево на смежную линию, то связи после мутации перенумеровывают по формуле $H_1(j) = \{2,3,4, 0,1,7,8, (5,6,11,12), (9,10,15,16)\}$. (2)

Если окончание замыкается вправо на смежную линию, то связи после мутации перенумеровывают по формуле $H_2(j) = \{1,2,0, 5,6,3,4, (9,10,7,8), (13,14,11,12)\}$. (3)

Если разветвление разрывается влево, то связи после мутации перенумеровывают по формуле $H_3(j) = \{2,0,1, 5,6,3,4, (9,10,7,8), (13,14,11,12)\}$. (4)

Если разветвление разрывается вправо, то связи после мутации перенумеровывают по формуле $H_4(j) = \{3,4,0, 1,2,7,8, (5,6,11,12), (9,10,15,16)\}$. (5)

Если мутация КТ отсутствует, то номера связей не изменяют.

Каждую формулу можно рассматривать как таблицу, номер ячейки которой (начиная с нулевой) есть номер связи в сечении для КТ со стороны запросного шаблона, а значение в этой ячейке – номер связи в сечении для КТ со стороны шаблона из БД.

В формулах для мутаций в скобках указаны номера связей, которые подчиняются закону периодичности. Так для связи номер 7 в сечении для окончания топологически одноименной является связь номер 5 в сечении для разветвления. Поэтому в ячейке номер 7 записано значение 5 по (2). А для связи номер 11 в сечении для окончания топологически одноименной является связь номер 9 в сечении для разветвления. Поэтому в ячейке номер 11 записано значение 9 по (2). Каждую последующую четверку значений можно вычислить добавлением числа 4 к значениям в текущей скобке (см. рис. 1 и рис. 2). Поэтому эти четыре таблицы можно продолжить до произвольной глубины сечения.

Мутации второго рода встречаются значительно реже мутаций первого рода [1]. Поэтому аналогичные четыре формулы преобразований номеров связей для них не представлены.

4. Сравнение топологических векторов

При идентификации дескрипторы каждой КТ со стороны запросного шаблона сравнивают с дескрипторами каждой КТ со стороны шаблона из БД. При этом выбирают наиболее похожие пары КТ, которые служат затравками для развития фрагментов соответствующих изображений. Ошибки на этом шаге идентификации критичны.

Выполним сравнение КТ m_q из запросного шаблона, $q \in 1..n_1$, с КТ m_r из шаблона БД, $r \in 1..n_2$, где n_1 – число детектированных КТ на запросном изображении, а n_2 – на изображении из БД. Для сравнения воспользуемся соответствующими расширенными топологическими векторами V_q и V_r (определение 4). Вычислим оценку степени подобия очередной j_q -й связи, $j_q \in 0..w_q$, со связью $j_r, j_r \in 0..w_r$, перебирая все связи в топологическом векторе V_q по порядку, в виде

$$f^{qr}(j_q, j_r) = f(T_d - \Delta d(j_q, j_r), T_\beta - \Delta \beta(j_q, j_r)), \quad (6)$$

где $\Delta d(j_q, j_r) = \|l_{j_q} - l_{j_r}\|$ – норма разности расстояний для связи номер j_q вектора V_q и связи номер j_r вектора V_r ;

$\Delta\beta(j_q, j_r) = \|\beta_{j_q} - \beta_{j_r}\|$ – норма разности азимутов для тех же связей; T_d – допуск на расстояние, T_β – допуск на азимут.

Обозначим особенности функции f по (6). Она, как правило, полином степени не выше второй. Допуски T_d и T_β на разность расстояний и азимутов настраивают на этапе обучения алгоритма. Чем меньше значения норм разностей, тем большее значение возвращает функция f . Если хотя бы один из допусков превышен, то значение функции равно нулю. Кроме того, события влияют на возвращаемое значение функции. Так, если значение события хоть для одной связи равно нулю (обрыв связи), то значение функции равно нулю. Наконец, если значения во втором бите двух событий для сравниваемых связей не совпадают (КТ ориентированы противоположно), то функция тоже возвращает ноль. Таким образом, функция f по (6) учитывает не только геометрическое подобие расширенных топологических векторов, но и топологическое подобие структуры линий.

Для оценки степени подобия ψ^{qr} векторов V_q и V_r в целом сравнивают все их одноименные связи, находят наилучшую оценку связи в виде

$$f_{max} = \max_q \max_j f^{qr}(j_q, j_r), \quad (7)$$

и рассчитывают подобие векторов по формуле

$$\psi^{qr} = \frac{1}{w_{q+1}} \sum_{j_q=0}^{w_q} f^{qr}(j_q, j_r) / f_{max}. \quad (8)$$

Очевидно, что $0 \leq \psi^{qr} \leq 1$. Кроме того, в общем случае, сравнение несимметрично: $\psi^{qr} \neq \psi^{rq}$.

Если КТ одного типа, то мутаций нет и $j_q = j_r$. В этом случае, если две КТ действительно истины, оценка по (8) тяготеет к величине 1. Например, сравнивая окончание с окончанием по табл. 1 получаем нулевые разности и наибольшую степень похожести векторов.

Если КТ разного типа, то выдвигают гипотезу о мутации. Остановимся на мутации первого рода. Для окончания – замыкание вправо или влево, а для разветвления – разрыв вправо или влево.

Пусть окончание на рис. 1 сравнивается с разветвлением на рис. 2. Выполняя сравнение одинаково пронумерованных связей по табл. 1 и табл. 2 видим, что расстояния и азимуты, как правило, различны. Поэтому оценка степени подобия векторов по (8) без учета мутаций близка к нулю.

Пусть выдвинута гипотеза H_2 по (3), $j'_q = H_2(j_q)$. Тогда связь номер 0 для окончания сравнивается со связью номер 1 для разветвления, связь номер 1 со связью номер 2, связь номер 2 со связью номер 0 и т.д. (не показано). Для неверной гипотезы параметры расстояний и азимутов на связях, как правило, сильно расходятся и оценка по (8) тоже близка к нулю.

Пусть выдвинута гипотеза H_1 по (2), $j'_q = H_1(j_q)$. Тогда связь номер 0 для окончания сравнивается со связью номер 2 для разветвления, связь номер 1 со связью номер 3, связь номер 2 со связью номер 4 и т.д. (см. рис. 1 и рис. 2). Фактически из табл. 1 при применении гипотезы H_1 получают табл. 2. Ясно, что в этом случае оценка по (8) близка к единице.

Таким образом, для преобразования окончания при мутации первого рода выдвигают гипотезу H_1 по (2) и H_2 по (3). Финальная степень похожести векторов рассчитывается по формуле

$$\lambda^{qr} = \max_{H_1, H_2} \psi^{qr}. \quad (9)$$

Для преобразования разветвления при мутации первого рода выдвигают гипотезу H_3 по (4) и H_4 по (5). Финальная степень похожести векторов рассчитывается по формуле

$$\lambda^{qr} = \max_{H_3, H_4} \psi^{qr}. \quad (10)$$

Если мутаций нет, то номера связей $j_q = j_r$ и

$$\lambda^{qr} = \psi^{qr}. \quad (11)$$

Введем следующие стадии идентификации.

1) *Инициализация*. Создадим список L и очистим его.

2) *Затравка*. Применяя формулы (6)–(11) с учетом выдвигаемых гипотез сравнивают каждую КТ со стороны запросного шаблона с каждой КТ со стороны шаблона из БД и выбирают те пары КТ, которым соответствуют наилучшие оценки, и помещают их в список L . Обычно выбирают от трех до семи пар КТ. Далее для простоты рассмотрим вариант с единственной затравкой.

2) *Упорядочивание*. Список L упорядочивают по степени похожести λ по (9)–(11).

3) *Расщепление*. Из списка L выбирают лучшую пару КТ с номерами q и r . Для нее на соответствующих связях в расширенных топологических векторах с учетом мутации КТ набирают другие возможные пары КТ (на рис. 1 и рис. 2 это КТ с одинаковыми номерами). Новые набранные пары КТ помещают в список L и оценивают их степень подобия. Если в том же списке находятся пары КТ, для которых номера КТ совпадают с номерами q или r , то их удаляют из списка. Также из списка удаляют ту пару КТ, для которой выполнено расщепление.

4) *Проверка*. Если список L не пуст и степень похожести λ_k лучшей k -й пары КТ больше заданного порога, идти к п.2.

5) *Результат*. Строят набор оценок $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$, где m – число расщепленных пар КТ из списка L . Конец.

Сделаем некоторые замечания.

Поскольку пары КТ набирают на связях в сравниваемых векторах, автоматически выполняется консолидация дескрипторов. Для улучшения результата консолидации пары КТ набирают на стадии расщепления только в том случае, если формула по (6) возвращает значение, превышающее заданный порог, который настраивается при обучении. При консолидации фрагменты изображений развиваются, начиная от затравки.

Финальную степень подобия запросного шаблона и шаблона из БД на основе (9)–(11) находят в виде

$$\lambda = \sum_{k=1}^m \lambda_k / \sqrt{m * \min(n_1, n_2)} + 1, \quad (12)$$

где m – число расщепленных пар КТ из списка, n_1 и n_2 – число КТ из запросного шаблона и шаблона из БД по (6).

В случае нескольких затравок от каждой из них развивается свой путь по изображениям. В таком варианте можно выбрать наилучший путь по (12).

5. Результаты экспериментов

Метод идентификации отпечатков пальцев с применением топологических векторов реализован в алгоритме PPM на языке C++. Мутации КТ компенсируют выдвиганием гипотез о направлении мутации и выбирают лучшую оценку сравнения векторов. В отличие от других подходов, здесь тип КТ играет ведущую роль. В оценке степени подобия шаблонов участвуют не только геометрические, но и топологические характеристики узоров.

В зависимости от качества изображения, мутации возникают чаще или реже. Частотность мутаций второго рода значительно меньше частотности мутаций первого рода. Этот факт определил объем статьи.

Для сравнения с разработками других авторов алгоритм протестировали на сайте FVC OnGoing на базе изображений ладоней PV-FULL-1.0. Учет мутаций КТ требует дополнительного времени сравнения. Возникает опасность, что при допустимых ошибках идентификации время станет неприемлемым. Особенно для больших изображений, таких как отпечатки ладоней. Однако, как показали эксперименты, это не так.

В табл. 3 показаны результаты экспериментов на 6 мая 2019 года, которые опубликованы на сайте FVC OnGoing. Выбрано шесть лучших результатов. В ней представлены

имена алгоритмов, среднее время сравнения одной пары шаблонов, средний размер шаблона и ошибка FNMR@FMR₁₀₀₀₀ [6]. Такая ошибка выбрана потому, что она характеризует вероятность пропуска на охраняемый объект террориста.

Метод идентификации отпечатков пальцев непрерывно развивается. В табл. 4 показаны ошибки распознавания для FNMR@FMR₁₀₀₀₀, FNMR@FMR₁₀₀₀ и равные ошибки EER, достигнутые в 2017 и 2018 годах соответственно алгоритмом PPM. Видно, что величины ошибок уменьшаются на 16–37% по сравнению с предшествующим годом. Эти данные опубликованы на том же сайте.

Таблица 3.

Алгоритм	Время, ms	Шаблон, байты	FMR ₁₀₀₀₀
PPM	51	36922	6,179
M3gl	911	88958	9,643
MinutiaeCluster	86	3344160	10,214
HXKJ	705	12288	17,536
DMC	809	191289	19,393
MCC-Based (Baseline)	241	214629	20,107

Таблица 4.

Алгоритм	EER	FMR ₁₀₀₀	FMR ₁₀₀₀₀
PPM – 2018	1.355	2,250	6,179
PPM – 2017	2.170	2.679	7.357

6. Заключение

В статье предлагается метод идентификации отпечатков пальцев, опирающийся на топологические векторы для КТ. Структура и состав вектора зависят от типа КТ: окончание или разветвление. Сам метод идентификации состоит из нескольких стадий, одна из которых является расщеплением. Она определяет направление развития фрагментов изображений и одновременно консолидацию дескрипторов КТ. В методе явно учитывается тип КТ и это играет решающую роль в оценке степени подобия различных шаблонов.

Метод, реализованный в алгоритме, показывает неплохие величины ошибок распознавания изображений отпечатков пальцев и ладоней (см. табл. 3). К тому же алгоритм демонстрирует хорошую производительность идентификации и сохраняет баланс скорость-качество.

Дальнейшее направление исследований планируется в расширении области применения мутаций; использовании мутаций второго рода; перестройке всего связанного графа, узлами которого являются топологические векторы, с учетом предполагаемых мутаций КТ; увеличении стадий идентификации с включением перестроенных связанных графов; использовании изображений ОП с их постобработкой в процессе идентификации, если изображения плохого качества; повышении производительности метода за счет введения специальных ускорителей и отбраковки явно не совпадающих пар КТ.

7. Литература

- [1] Гудков В.Ю. Модель гребневого счета на основе топологии дактилоскопического изображения // Вестник ЧелГУ, 2011. Вып. 13. С. 99-108.
- [2] Новиков Ф.А. Дискретная математика: Учебник для вузов. 2-е изд. Стандарт третьего поколения. Издательский дом "Питер", 2012 г. 400 с.

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Chikkerur S., Cartwright A., Govindaraju V. K-plet and cbfs: A graph based fingerprint representation. International Conference on Biometrics ICB 2006: Advances in Biometrics, pp. 309-315.
- [6] 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). pp. 725-732.
- [7] Feng Y., Feng J., Chen X., et al. A Novel Fingerprint Matching Scheme Based on Local Structure Compatibility, International Conference on Pattern Recognition, pp. 374-377, 2006.
- [8] Jiang X., Yau W. Y. Fingerprint Minutiae Matching Based on the Local and Global Structures. International Conference on Pattern Recognition, vol. 2(1): pp. 1038–1041, 2000.
- [9] ISO/IEC 19794-2:2011. Information technology – Biometric data interchange formats – Part 2: Fingerprint minutiae data.
- [10] 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, pp. 4730-4739, 2018.
- [11] Maltoni D., Maio D., Jain A. K., et al. Handbook of Fingerprint Recognition. London, Springer-Verlag, 2009.
- [12] 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.
- [13] Tabassi E., Wilson C., Watson C. Fingerprint Image Quality. NIST Internal Report 7151, National Institute for Standards and Technology, 2004.

Об авторах

Гудков Владимир Юльевич, д.ф.-м.н., профессор кафедры электронных вычислительных машин высшей школы электроники и компьютерных наук Южно-Уральского государственного университета. E-mail: diana@sonda.ru.

Область интересов: обработка и распознавание изображений, искусственный интеллект.