УДК 510.51

А.С. Рыканов

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАНИЯ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦА

Проанализированы современные алгоритмы (методы) распознания отпечатков пальцев. Исследованы современные алгоритмы классификации отпечатков пальцев. Проанализированы алгоритмы, которые представлены на рынке.

***Ключевые слова**: алгоритм распознания отпечатка пальца, минуции, векторизация, утоньшение.*

Введение

В связи с возросшей информатизацией современного общества и увеличением числа объектов и потоков информации, которые необходимо защищать от несанкционированного доступа, все более актуальными становятся проблемы использования технологий идентификации личности по биометрическим параметрам для разграничения доступа к информационным ресурсам.

Использование биометрических характеристик для подтверждения личности предполагает использование физических характеристик, таких как лицо, голос или отпечатки пальцев, с целью удостоверения личности. Сопоставление отпечатков пальцев является самой удачной технологией биометрической идентификации благодаря простоте использования, отсутствию постороннего вмешательства и надежности. Отпечаток пальца состоит из борозд и полосок, образующих сложный узор, уникальный для каждого человека, а потому, обеспечивающий оптимальный метод верификации [1].

Цель статьи: рассмотреть существующие на сегодняшний день методы обработки и классификации отпечатков пальца.

Локальные и глобальные характеристики отпечатка пальца

Кожа человека состоит из двух слоев:

- эпидермиса (epidermis), наружного слоя;
- дермы (derma), более глубокого слоя.

На пятом месяце внутриутробного развития человека дерма, до этого ровная, становится неровной и начинает приобретать вид множества чередующихся между собой дермальных бугорков (иногда их называют сосочками). На поверхности пальцев эти бугорки складываются в ряды. Эпидермис повторяет строение внешнего слоя дермы и образует небольшие складки, отображающие и повторяющие ход рядов дермальных бугорков.

Эти складки, видимые на поверхности кожи невооруженным глазом, называются папиллярными линиями (от лат. papillae – сосочки) и отделяются друг от друга неглубокими бороздками. На вершинах складок – гребнях папиллярных линий находятся многочисленные мельчайшие поры – наружные отверстия выводных протоков потовых желез кожи. Папиллярные линии на поверхности пальцев рук образуют различные узоры, называемые папиллярными узорами.

Окончательно папиллярный узор на поверхности пальцев формируется к 7 месяцу внутриутробного развития. С этого времени бороздки, сформировавшиеся на поверхности пальцев, остаются неизменными в течение всей жизни человека [2].

Из папиллярного рисунка возможно определить два типа признаков – глобальные и локальные. Глобальные признаки – те, которые можно увидеть невооружённым глазом (рис. 1).

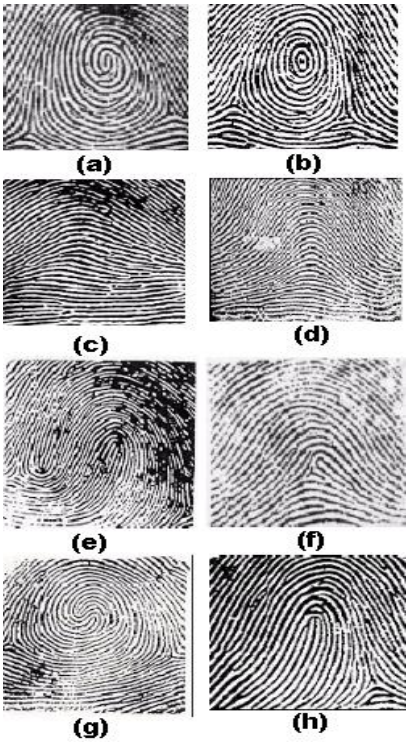

Рис. 1. Глобальные признаки отпечатка пальца: (a) – завиток (спираль); (b) – завиток (концентрические круги); (c) – простая дуга; (d) – узкая дуга; (e) – двойная петля; (f) – дельта; (g) – смешанный признак; (h) – обычная петля

Другой тип признаков – локальные. Их называют ***минуциями*** – уникальные для каждого отпе-

© А.С. Рыканов

чатка признаки, определяющие пункты изменения структуры папиллярных линий (окончание, раздвоение, разрыв и т.д.), ориентацию папиллярных линий и координаты в этих пунктах. Каждый отпечаток содержит до 70 минуций (рис. 2) [3].

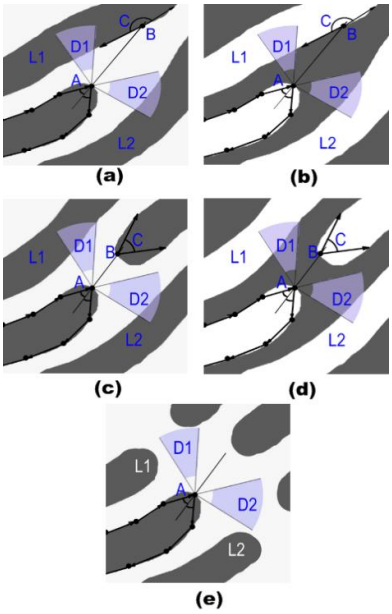

Рис. 2. Локальные признаки отпечатка пальца:
(a) – окончание; (b) – раздвоение (разветвление);
(c) – разрыв линии; (d) – слипание линий; (e) – порез

Понятие верификации и идентификации

Верификация (аутентификация) отвечает на вопрос *«Тот ли это человек, за кого себя выдает»*. Она производит попарное сравнение имеющегося и предоставленного набора информации, с их помощью реализуется подтверждение личности человека. Результатом верификации есть либо «Опознан», либо «Не опознан» с указанной долей вероятности.

Идентификация отвечает на вопрос *«Кто этот человек»*. Для этого один и тот же входной отпечаток должен быть сравнен со всеми имеющимися в базе данных. Так как базы данных могут достигать очень больших размеров, для уменьшения вычислений была введена классификация отпечатков пальцев. При идентификации производится сравнение только с имеющимися отпечатками того же класса.

Классификация основывается на наличии в отпечатке сингулярных точек – глобальных признаках отпечатка пальца (рис. 1).

Практика показывает, что отпечатки пальцев разных людей могут иметь одинаковые глобальные признаки, но совершенно невозможно наличие одинаковых деталей (локальных признаков). Поэтому глобальные признаки используют для разделения базы данных на классы и на этапе аутентификации. На втором этапе распознавания (идентификация) используют уже локальные признаки.

Принцип распознавания (анализ) отпечатка пальца

В зависимости от качества полученного со сканера изображения отпечатков пальцев, на нем можно выделить некоторые характерные признаки поверхности пальцев, которые в дальнейшем можно использовать в целях идентификации.

На самом простом техническом уровне, например, если разрешение полученного со сканера изображения составляет 300–500 dpi, на изображении поверхности пальца можно выделить достаточно большое количество мелких деталей (минуций), по которым можно их классифицировать, но, как правило, в автоматизированных системах используют всего два типа деталей узора (особых точек):

- конечные точки – точки, в которых «отчетливо» заканчиваются папиллярные линии;
- точки ветвления – определяются как точки, в которых папиллярные линии раздваиваются.

На рис. 3 представлен пример, на котором явно видно, что из себя представляют конечные точки и точки ветвления.

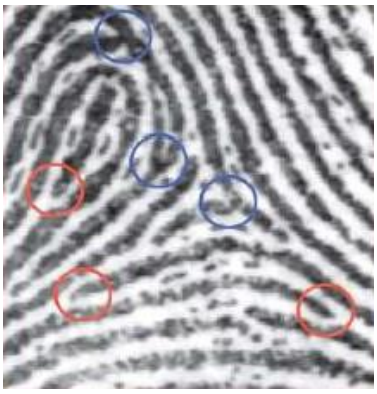

Рис. 3. Конечные точки и точки ветвления

Если есть возможность получить изображение поверхности пальца с разрешением около 1000 dpi, на нем можно обнаружить детали внутреннего строения самих папиллярных линий, в частности, поры потовых желез (рис. 4), и соответственно использовать уже их расположение в целях идентификации. Однако этот метод мало распространен из-за сложности получения в не лабораторных условиях изображений такого качества.

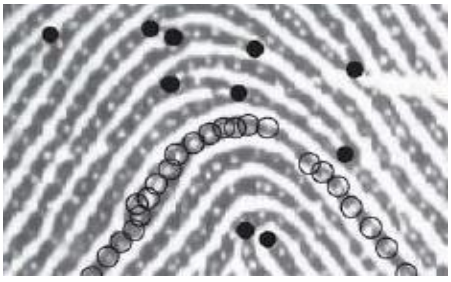

Рис. 4. Более подробное представление папиллярного рисунка (пустыми кружками отмечены поры; черными кружками отмечены конечные точки и точки ветвления)

Качество получаемого со сканера изображения папиллярного узора пальца является одним из основных критериев, от которого зависит избираемый алгоритм формирования свертки отпечатка пальца и в конечном итоге идентификации человека [2].

Сейчас в основном используются стандарты ANSI и ФБР США. В них определены следующие требования к образу отпечатка:

- каждый образ представляется в формате несжатого TIF или BMP;
- образ должен иметь разрешение не ниже 500 dpi;
- образ должен быть полутоновым с 256 уровнями яркости;
- максимальный угол поворота отпечатка от вертикали не более 15 градусов;
- основные типы минуций — окончание и раздвоение [3].

Исходя из приведенных выше требований, принцип распознавания пальцев (верификации) базируется на наличии в отпечатке особых точек – локальных признаков или, другими словами, минуций. Каждая особая точка условно имеет свои координаты, направление и тип (окончание, разветвление и т.д.).

Имея известный набор особых точек {(x,y,θ,type)}, извлеченный при регистрации, алгоритм оценивает схожесть точечных образцов и выдает результат – «Опознан» или «Не опознан».

В задаче идентификации/верификации человека по отпечатку пальца можно выделить следующие три основных этапа, которые свойственны (используются) современным алгоритмам:

1) обработка исходного изображения;
2) выделение минуций;
3) сопоставление минуций отпечатков пальцев.

Как правило, исходное изображение отпечатка, если оно не получено электронным способом, имеет плохое качество (повреждены линии, имеются разные искажения и т.д.).

Для достоверного определения минуций необходимо обработать изображение и привести к особому виду (формату). Процесс обработки изображения может осуществляться по двум сценариям. Стоит отметить, что разбиение на сценарии носит условный характер, то есть, возможно комбинирование.

Первый сценарий [4]:

1) вычисление ориентации линий;
2) улучшение качества линий;
3) бинаризация изображения;
4) утончение линий изображения.

Для подробного описания метода введём следующие обозначения: I – матрица исходного изображения. Размерность матрицы определяется размером изображения в пикселях. Элементы матрицы – натуральные числа от 0 до 255 (цвет пикселя).

Множество W(u,v,n)={(i,j) | |i–u|<n, |j-v|<n} матрицы I назовем окном для точки (i, j) размером n . Векторы P(i,j)=((i–u),(j–v)) и d(i,j)=P(i,j)/|P(i,j)| определяются для любой точки каждого окна.

Вычисление ориентации линий. Для вычисления ориентации линий выбираются точки (u,v)∈I, рассматриваются окна W(u,v,n), где n зависит от размерности матрицы, определяется вектор, перпендикулярный к прямой, которой принадлежит выбранная точка, и определяются суммы:

$$S_1 = \sum_{(i,j)\in W} g_1(u,v,i,j); \quad S_2 = \sum_{(i,j)\in W} g_2(u,v,i,j),$$

$$g_1(u,v,i,j) = \begin{cases} 0, |I(u,v) - I(i,j)| < T; \\ d(i,j)\cdot|I(u,v) - I(i,j)|, d_y(i,j) \ge 0; \\ -d(i,j)\cdot|I(u,v) - I(i,j)|, d_y(i,j) < 0; \end{cases}$$

где

$$g_2(u,v,i,j) = \begin{cases} 0, |I(u,v) - I(i,j)| < T; \\ d(i,j)\cdot|I(u,v) - I(i,j)|, d_x(i,j) \ge 0; \\ -d(i,j)\cdot|I(u,v) - I(i,j)|, d_x(i,j) < 0, \end{cases}$$

T – постоянная величина (на примере T = 60), а вектор d(i, j) был определен выше.

Используя эти формулы, для всех точек (u,v)∈I определяется вектор D(u,v):

$$D(u,v) = \begin{cases} S_1/|S_1|, & |S_1| > |S_2|, \\ S_2/|S_2|, & |S_2| > |S_1|. \end{cases}$$

Этот процесс повторяется 5 раз (число 5 выбрано по результатам экспериментов). После первого применения алгоритма некоторые векторы получаются нулевыми. При следующих применениях алгоритма качество изображения улучшается и, следовательно, количество нулевых векторов уменьшается.

Для уточнения направлений полученных векторов рассматриваются окна W(u,v,n) для всех точек (u,v)∈I. Используя нулевой вектор D(i,r) , для всех векторов D(i, j) определяется угол между векторами D(i,r) и D(i, j). Если этот угол тупой, то D(i,r) = D(i,r) – D(i, j), в противном случае D(i,r) =D(i,r) + D(i, j) . Вычисляется вектор D(u,v)=D(i,r)/|D(i,r)| для всех точек окна W(u,v,n). Этот процесс также повторяется 5 раз [4].

Улучшение качества линий. Используя векторы D(u,v), полученные выше, и средний вес окон W(u,v,n), можно улучшить качество линий, заменяя значения всех элементов матрицы на средний вес их окон. В качестве веса берется модуль sinα, где α – угол между векторами D(u,v) и d(i, j), (i, j)∈W.

Средний вес окна считается по формуле:

$$I(u,v) = \frac{S(u,v)}{Q(u,v)},$$

где $S(u,v) = \sum_{(i,j)\in W} I(i,j)\cdot|\sin\alpha|$, $Q(u,v) = \sum_{(i,j)\in W} |\sin\alpha|$.

Этот процесс повторяется 5 раз.[4]

Бинаризация изображения. Бинаризация изображения – это приведение изображения к черно-белому цвету. Процесс бинаризации начинается после вычисления направлений всех линий и улучшения качества изображений. Для всех элементов (u,v) матрицы I рассматриваются окна W(u,v,n) и вычис-

ляется средняя величина весов. Бинаризация изображения осуществляется по следующей формуле:

$$I(u,v) = \begin{cases} 0, & S(u,v)/Q(u,v) > 0; \\ 255, & S(u,v)/Q(u,v) \le 0, \end{cases}$$

$$S(u,v) = \sum_{(i,j)\in W} (I(u,v) - I(i,j)) \cdot |\cos\alpha|,$$

где

$$Q(u,v) = \sum_{(i,j)\in W} |\cos\alpha|.$$

Здесь α – угол, образованный векторами D(u,v) и d(i,j, (i,j)∈W, (u,v)∈I.

Этот процесс повторяется 5 раз [4].

Утончение линий (построение скелетной модели). Этап обработки изображений завершается утончением черных линий (шириной 1 или 2 пикселя). Для этого необходимо из черных линий убрать крайние точки.

Рассматриваются окна W(u,v,n) для всех точек (u,v) матрицы I, где n – такое число, при котором в окне не могут оказаться точки черного цвета из соседних линий. Далее считается сумма:

$$S(u,v) = \sum_{(i,j)\in W} I(i.j) \cdot \cos\alpha,$$

где α – угол, образованный векторами D(u,v) и d(i,j, (i,j)∈W, (u,v)∈I. Элементы (u,v) матрицы I заменяются нулями (черный цвет заменяется на белый), если соответствующие суммы S(u,v) больше заранее заданной величины T (на примере T=90). Этот процесс повторяется 4 раза [4].

Другими словами, утоньшение – это морфологическая операция, приводящая бинарное изображение к его скелету, в котором толщина всех линий – 1 пиксель. Операция стягивает линии в центр, не делая при этом разрывов.

Второй сценарий:

1) адаптивная фильтрация, выделение зоны интереса;
2) бинаризация, выделение однородных областей;
3) морфологическая обработка;
4) утоньшение;
5) векторизация;
6) векторная постобработка.

Ниже приведено описание пунктов, которые разнят первый и второй сценарии.

Адаптивная фильтрация. Адаптивная фильтрация (рис. 5) направлена на:

- устранение шумов входного изображения (грязь, пыль на датчике);
- устранение мелких дефектов (затягивание небольших разрывов, пор, сглаживание линий пальца).

Реализована на основе обработки фильтрами с апертурой 9×9 с учетом локальной направленности линий.

Область применения фильтров – 8-битные серые изображения, использующие весь динамический диапазон значений, т.е. имеющие плавные переходы значений от линии пальца к впадине.

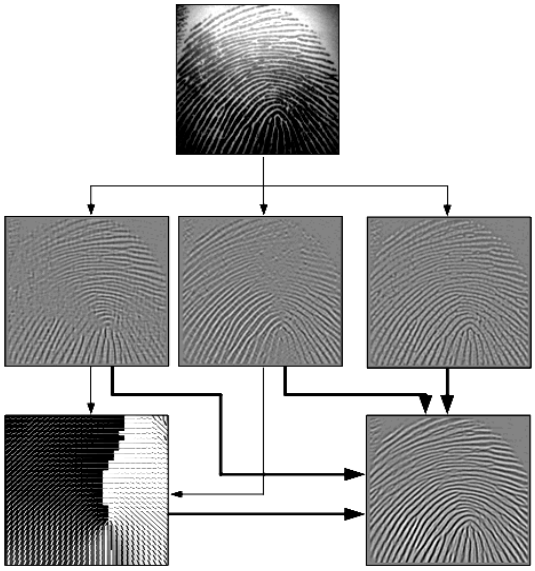

Рис. 5. Адаптивная фильтрация отпечатка пальца

Морфологическая обработка. После бинаризации отфильтрованного изображения производится выделение однородных областей и последующая морфологическая обработка изображения. Она включает в себя удаление так называемого шума «Соль и перец», т.е. удаление мелких областей белого и черного цветов. Это устраняет такие ложные структуры, как «озера» в толстых линиях и мелкие линии, что отсеивает часть ложных особых точек на этой стадии (рис. 6).

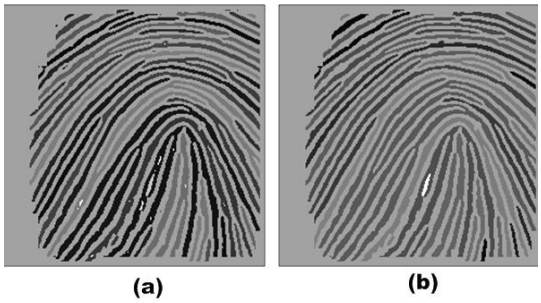

Рис. 6. Морфологическая обработка:
(a) – изображение после бинаризации;
(b) – изображение после морфологической обработки

Векторизация. Процедура векторизации преобразует скелет изображения в кусочно-линейное представление, отбрасывая чрезмерную информацию о линиях пальца. Точность аппроксимации может регулироваться с помощью параметров алгоритма. Векторизация оставляет особые точки без изменений, выбрасывая лишь промежуточные. После работы алгоритма компактный шаблон отпечатка с полной информацией о пальце может быть сохранен в отдельный файл.

Известные алгоритмы первичной векторизации работают, как правило, с двухцветным изображением. Скелет аппроксимируется набором прямолинейных отрезков и из них строится планарный граф линий, в котором все ребра прямолинейные отрезки,

а вершины концы отрезков или точки сочленения нескольких отрезков. На втором этапе – объектной векторизации – из отрезков составляются ломаные линии, многоугольники и другие фигуры (рис. 7).

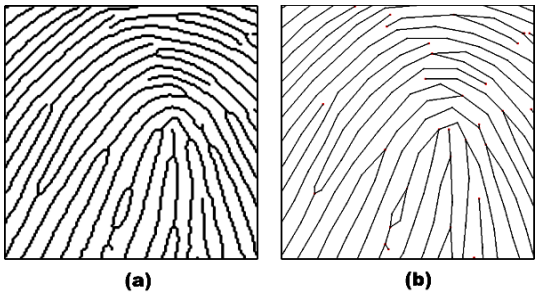

Рис. 7. Векторизация изображения отпечатка пальца (a) – скелетное изображение отпечатка пальца; (b) – векторизированное изображение отпечатка пальца

Векторная постобработка. Векторная постобработка направлена на отсеивание ложных структур в кусочно-линейном представлении отпечатка. Некоторые конфигурации линий заведомо не свойственны линиям отпечатка пальцев, и если они все-таки встречаются, то они наверняка являются результатом недоработки предыдущих этапов (рис. 8).

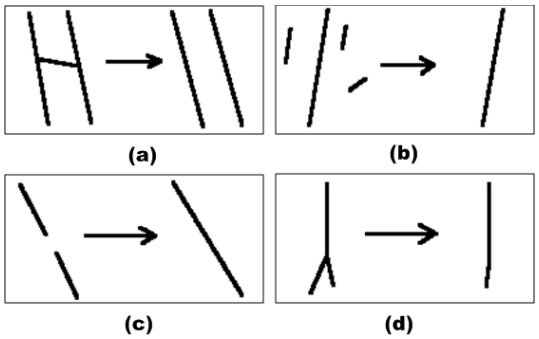

Рис. 8. Векторная постобработка. Некоторые из производимых операций: (a) – удаление «мостов», (b) – удаление «палочек», (c) – соединение небольших разрывов, (d) – удаление «усиков»

После этого этапа полученное векторное изображение может использоваться как шаблон (эталон) некоторого пальца.

На этом рассмотрение методов обработки входного изображения отпечатка пальца окончены.

Выделение минуций. Данный метод выделения минуций применим к первому сценария обработки входного изображения, когда не выполняется векторизация скелетного изображения отпечатка пальца.

На данном этапе имеется изображение отпечатков лучшего качества с тонкими линиями. Для нахождения минуций рассматриваются окна W(u,v,n) для всех точек (u,v) матрицы I (на примере n=2 число n выбирается достаточно маленьким, таким, чтобы в окне не оказались точки черного цвета из соседних линий). Выбирается центральная точка окна и подсчитывается число черных (ненулевых) пикселей, находящихся вокруг окна. Пиксель в центре считается минуцией, если он сам ненулевой, и количество ненулевых пикселей вокруг окна – одно (минуция типа «окончание») или три (минуция типа «раздвоение»). Координаты обнаруженных минуций и их углы ориентации записываются в вектор M(p), p – количество минуций. Данный подход позволяет получить все возможные потенциальные минуции. Реальные минуции определяются путем удаления из множества M(p) соседних и краевых точек изображения.

Для удаления соседних точек рассматривается пара элементов множества M(p). Вычисляется расстояние между элементами данной пары. Элементы, расстояние между которыми меньше, чем заданная величина T (на примере T=2), удаляются из множества, а в множество добавляется средняя точка этих элементов. Этот процесс выполняется для всех возможных пар элементов множества M(p). В итоге получается множество минуций M(r), где $r \le p$.

На следующем этапе выявляются и удаляются минуции тех участков, которые в исходном изображении имели плохое качество и при улучшении качества не восстановились. Удаление этих точек выполняется следующим образом: из множества M(r) удаляются те точки (u,v), которым соответствует нулевой вектор D(u,v). Полученное множество минуций обозначим через M(q), где $r \le p$. Окончательное множество реальных минуций определяется путем удаления краевых точек изображения. Из множества M(q) удаляются те точки, расстояние которых от края изображения меньше, чем заранее заданная величина T1 (на примере T1=8). После завершения этого этапа получается множество реальных минуций, которое на следующем этапе будет использоваться для сравнения отпечатков пальцев [4].

Сопоставление минуций. Минуции однозначно характеризуют отпечаток пальца, поэтому для сравнения двух отпечатков пальцев (эталонный, идентифицируемый) достаточно сопоставление множеств реальных минуций. Процесс сопоставления минуций реализуется с помощью следующих этапов: нахождение центра, перемещение, поворот и изменение масштаба.

Центр определяется как средняя точка элементов множества реальных минуций. На этом этапе имеется множество минуций E(q), q – количество минуций для эталонного отпечатка и множество минуций M(p), p – количество минуций для идентифицируемого отпечатка пальца.

Процесс перемещения начинается определением центральных точек элементов множеств M и E, затем выбираются точки $a \in M(p)$ и $b \in E(q)$ такими, чтобы расстояние от точки a до центральной точки M и расстояние от точки b до центральной точки E были меньше заданной величины TR (на примере TR=5). Процесс перемещения завершается сдвигом всех точек множества M(p) таким образом, чтобы точки a и b совпали.

Для выполнения поворота рассматриваются все пары минуций (a,b), a∈M(p) и b∈E(q), удовлетворяющие следующему условию: расстояние от точки a до центральной точки M и расстояние от точки b до центральной точки E меньше заданной величины TR. Изображение идентифицируемого отпечатка поворачивается вокруг точки a на угол α, где α – угол между векторами D данной пары минуций.

Этап изменения масштаба изображений не рассматривается. Считается, что изображения двух отпечатков пальцев имеют одинаковый размер.

Коэффициент соответствия отпечатков пальцев считается по формуле:

$$K = S / \min(p, q) \cdot 100\%,$$

где K – коэффициент соответствия, S – количество совпавших минуций, p – количество минуций в эталонном отпечатке, q – количество минуций в идентифицируемом отпечатке. Две минуции считаются совпавшим, если расстояние между этими точками меньше заранее заданной величины Td (на примере Td=7), а угол между векторами D этих точек меньше заданной величины Tα (на примере Tα=0,85). Отпечатки считаются идентичными, если коэффициент соответствия составляет 65% и выше (этот порог можно изменить).

Число совпавших минуций вычисляется после каждого поворота изображения.

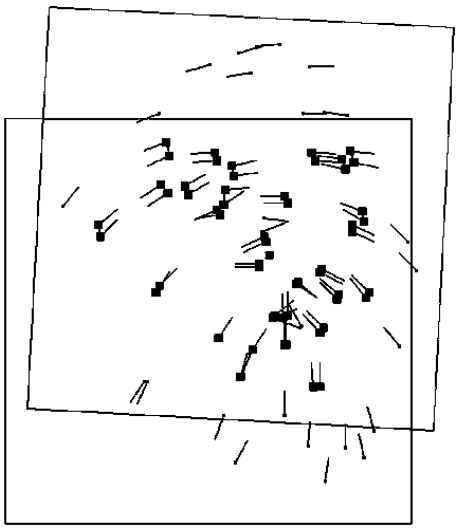

Рис. 9. Сопоставление минуций

Классификация отпечатка пальца. Как уже упоминалось выше, главной задачей идентификации является ответ на вопрос «Кто этот человек?». Поэтому в рамках данной задачи возникает потребность сравнивать текущий отпечаток пальца со всеми имеющимися эталонными отпечатками в базе данных, для этого в алгоритм идентификации была введена возможность классифицировать отпечаток пальца по определенному глобальному признаку.

Классификация отпечатка пальца – это метод, используемый, чтобы определить отпечаток пальца в один из нескольких уже принятых типов, которые могут обеспечить механизм индексации. Классификация отпечатка пальца может быть рассмотрена как грубое соответствие отпечатков пальца. Вводимый отпечаток пальца сначала может быть отнесен на грубом уровне к одному из указанных типов и затем, на более точном уровне, это – сравнение с подмножеством в базе данных, соответствующей этому типу отпечатка пальца.

Классификатор – алгоритм отнесения объекта к какому-либо классу на основании его признаков. Существует несколько наиболее известных и используемых классификаторов:

1) классификатор K-ближайший;
2) классификатор нейронная сеть;
3) двухэтапный классификатор;
4) классификатор "отклонение выбора";
5) классификатор скрытой модели Маркова;
6) классификатор дерева решения.

Классы алгоритмов сравнения отпечатков пальца

В настоящее время выделяют три класса алгоритмов сравнения отпечатков пальцев:

Корреляционное сравнение. Суть метода заключается в следующем: полученный со сканера отпечаток пальца накладывается на каждый эталон из базы данных поочередно, после чего прямо по пикселям изображений осуществляется просчет различий между ними. Правда, при этом приходится учитывать один момент. Дело в том, что человек каждый раз прикладывает палец под разными углами и не точно в одно и то же место рабочей области сканера, а это значит, что процесс сравнения отпечатка его пальца с эталонами должен включать в себя множество итераций, на каждой из которых изображение, полученное со сканера, поворачивается под небольшим углом или чуть-чуть смещается.

Главным преимуществом этого рассматриваемого метода идентификации являются низкие требования к качеству изображения отпечатка пальца.

Недостатком же остается большая длительность процедуры сравнения полученного папиллярного узора с эталонами, а это очень сильно ограничивает область применения корреляционного сравнения.

Вследствие сложности и длительности работы данного алгоритма, особенно при решении задач идентификации (сравнение "один-ко-многим") – системы, построенные с его использованием, сейчас практически не используются.

Сравнение по особым точкам. По одному или нескольким изображениям отпечатков пальцев со сканера формируется шаблон, представляющий собой двухмерную поверхность, на которой выделены локальные особенности. При сравнении – на отсканированном изображении отпечатка также выделяются эти точки, карта этих точек сравнивается с шаблоном и по количеству совпавших точек принимается решение по идентичности отпечатков (рис. 10).

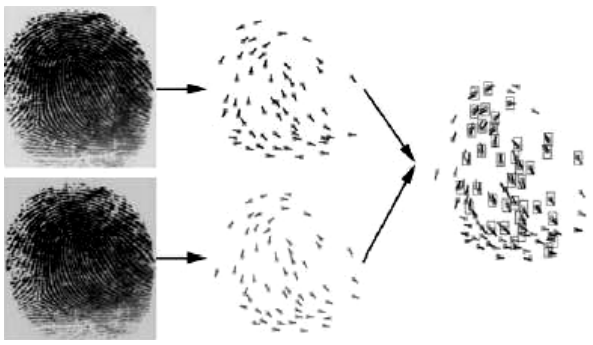

Рис. 10. Сравнение по особым точкам

Главным преимуществом алгоритма сравнения отпечатков пальцев по особым точкам является быстрота его работы. Больше всего времени в процессе идентификации занимает перебор эталонов в поиске отпечатка, идентичного временному.

Поэтому в силу простоты реализации и скорости работы – алгоритмы данного класса являются наиболее распространенными. Правда, есть у метода сравнения по особым точкам и недостаток. Им являются относительно высокие требования к качеству изображения папиллярного узора. Для их удовлетворения сканер должен обеспечивать разрешение не меньше 300 dpi, а лучше – около 500 dpi [6].

Сравнение по узору. В данном алгоритме сравнения используется непосредственно особенности строения папиллярного узора на поверхности пальцев. Полученное со сканера изображение отпечатка пальца разбивается на множество мелких ячеек, как показано на рис. 11 (размер ячеек зависит от требуемой точности).

Рис. 11. Разбиение папиллярного узора на ячейки

Расположение линий в каждой ячейке описывается параметрами некоторой синусоидальной волны (рис. 12), т.е., задается начальный сдвиг фазы (δ), длина волны (λ) и направление ее распространения (θ).

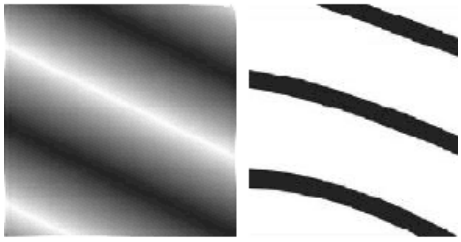

Рис. 12. Волновое представление линий в ячейке

Специальный модуль рассматривает папиллярные линии в квадратиках поочередно и каждую из них описывает уравнением синусоидальной волны, то есть устанавливает начальный сдвиг фазы, длину волны и направление ее распространения. Именно эти данные и используются для идентификации: в базе данных эталонов хранятся параметры всех отрезков бугорков в каждой области. И именно они сравниваются с данными, полученными при сканировании.

Главными плюсами рассмотренного алгоритма являются достаточно высокая скорость его работы и низкие требования к качеству получаемого изображения. К сожалению, метод сравнения по узору пока не получил широкого распространения. Дело в том, что он очень сложен для реализации и требует солидной математической базы. Поэтому только немногие компании взяли на вооружение подобный подход.

Отдельно стоит заметить, что в автоматизированной идентификации существует несколько проблем, связанных со сложностью сканирования и распознавания некоторых типов отпечатков пальцев, в первую очередь, это касается маленьких детей, так как их пальцы очень маленькие, для того, чтобы даже на хорошем оборудовании получить их отпечатки пальцев с детализацией, приемлемой для распознавания. Кроме этого, около 1% взрослых людей являются обладателями настолько уникальных отпечатков пальцев, что для работы с ними приходится или разрабатывать специализированные алгоритмы обработки, или делать исключение в виде персонального для них отказа от биометрии [2].

Реализации алгоритмов сравнения отпечатков пальца

Из всех реализаций хотелось бы уделить внимание алгоритму компании Precise Biometrics, который называется Precise BioMatch.

Precise BioMatch использует как методы выделения ключевых точек, так и алгоритмы сопоставления узоров. Объединение двух разных технологий позволяет Precise BioMatch более эффективно работать с различными типами изображений, даже с отпечатками низкого качества. Например, отпечаток пальца с несколькими ключевыми точками или отпечатки с размытым рисунком могут помешать пользователю при регистрации, однако смешанная технология, используемая алгоритмом Precise BioMatch, в данном случае будет иметь преимущество.

Выражаясь в терминах теории информации, два описанных метода используют различные подмножества данных об отпечатке – в каком-то смысле эти подмножества можно назвать ортогональными (проще говоря, независимыми, невыражаемыми друг через друга). В результате их совмещения получается алгоритм с очень хорошими характеристи-

ками распознавания – высоким соотношением правильного распознавания к числу ложных тревог (Receiver Operating Characteristic).

Преимущества алгоритма Precise BioMatch:

1. Способность к взаимодействию с различными типами устройств считывания: для получения отпечатка может использоваться широкий ряд датчиков и сканеров, начиная от высококачественных приборов AFIS-класса и заканчивая стандартными считывающими устройствами. Работает со всеми известными на данный момент устройствами.

2. Способность взаимодействовать с различным программным обеспечением: адаптация к любому интерфейсу частного программного обеспечения довольно проста, если вы используете инструменты разработки программного обеспечения Precise BioMatch SDK.

3. Кросс-платформенность: может быть использован на сервере, рабочей станции или на смарт-карте с одинаковым уровнем производительности и статистических показателей.

4. Низкая вероятность ложной тревоги и ложного подтверждения (FAR, FRR), ошибок регистрации (FTE), и низкий уровень равной вероятности ошибок (EER) из-за смешанного типа сопоставления.

5. Сочетаемость с системами AFIS: может импортировать необработанные изображения из базы данных AFIS. Возможна автономная регистрация без взаимодействия с пользователем. Данная технология справляется с любым форматом необработанных изображений.

6. Соответствие всем необходимым промышленным стандартам, включая BioAPI, CBEFF, ISO 7816-11 и JCF.

7. Сертифицированное качество реализации: алгоритм показал себя подходящим для включения в список сертифицированной продукции FIPS 140.

8. Отсутствие четких требований к размерам образца. Размер образца отпечатка пальца колеблется в пределах от 150 байтов (одна ключевая точка) до 1700 байтов, в зависимости от продукта и прикладных задач [1].

Заключение

В рамках данной статьи были рассмотрены основные подходы в обработке изображения отпечатка пальца и алгоритмы сравнения отпечатков пальца. Подробное рассмотрение алгоритмов в данной статье не приводится, хотя этапу обработки и анализа отпечатка (ключевые действия для алгоритма сравнения по особым точкам) дано полное описание. Также в статье подробно описаны глобальные и локальные характеристики отпечатка пальца и приведено определение понятий аутентификации (верификации) и идентификации.

Анализируя ситуацию на рынке, можно сказать, что чистые алгоритмы сопоставления узоров и алгоритмы, полагающиеся только на сопоставление ключевых точек, не могут удовлетворить всем требованиям. Например, чистый алгоритм выделения ключевых точек предъявляет слишком большие требования к размерам считывающего устройства, а, следовательно, дает плохие результаты при небольшом размере сканера или наличии у пользователя небольшого количества ключевых точек. С другой стороны, чистый метод сопоставления узоров не может работать со стандартизированными ключевыми точками [1]. Поэтому объединяя сильные стороны обоих алгоритмов возможно добиться хороших результатов.

Список литературы

1. *Технология биометрической аутентификации Precise BioMatch. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.morepc.ru.*
2. *Задорожный Виталий. Идентификация по отпечаткам пальцев / Виталий Задорожный // PC Magazine/Russian Edition №2. – 2004.*
3. *, Дактилоскопия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.ru.wikipedia.org.*
4. *Гаспарян А.В. Система сравнения отпечатков пальцев по локальным признакам / А.В. Гаспарян, А.А. Киракосян // Вестник РАУ. Серия физико-математические и естественные науки. – 2006.*

Поступила в редколлегию 9.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАННЯ ВІДБИТКІВ ПАЛЬЦЯ

О.С. Риканов

Дана стаття розповідає про сучасні методи розпізнання відбитків пальця. Стаття дає визначення термінам аутентифікації та верифікації, приведені формальні реалізації алгоритма розпізнання відбитка пальця. Також стаття розповідає про сучасні алгоритми розпізнання відбитків пальця.

***Ключові слова**: аутентифікація та верифікація за відбитком пальця, алгоритми розпізнання відбитка пальця.*

ANALYSIS OF FINGERPRINT AUTHENTIFICATION AND VERIFICATION METHODS

A.S. Rykanov

As the title implies, the article describes modern methods and algorithms of fingerprint authentification and verification. The text gives a valuable information on fingerprint theory. Also the article gives description of modern algorithms of fingerprint recognition. The aim of this article is to describe main features of fingerprint authentification and verification technologies.

***Keywords:** fingerprint authentification and verification, algorithms of fingerprint recognition.*