

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО ОТПЕЧАТКУ ПАЛЬЦА

Олешко И.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. БИТ, тел.(057) 702-16-25,

E-mail: InnaG88@gmail.com

These days fingerprint recognition is one of the most reliable and popular biometric recognition methods. In this paper we describe fingerprint recognition systems that consist of two main steps – fingerprint image preprocessing and feature matching by four different processes. The identification using co-occurrence matrix has reduced FAR and FRR than other processes. This method is simple, performs the comparison step quickly and has a good noise resistance.

На сегодняшний день биометрические технологии идентификации личности получили широкое распространение в различных областях обеспечения безопасности: от контроля и управления доступом в офисные помещения до гражданской идентификации правоохранительных приложений. С распространением таких технологий актуальной становится проблема выбора того или иного метода биометрической идентификации. Основным фактором, определяющим результаты выбора, является точность идентификации, которую можно оценить на основании ошибок первого (FRR – False Reject Rate, вероятность ложного отказа) и второго (FAR – False Acceptance Rate, вероятность ложной идентификации) рода. В настоящее время активно используются следующие биометрические признаки: отпечатки пальцев; геометрическая форма кисти руки; форма и размеры лица;

Особенности голоса; узор радужной оболочки и сетчатки глаз. Наибольшее распространение получила идентификация по отпечаткам пальцев. Основные достоинства систем аутентификации по отпечатку пальца состоят в следующем: во-первых, отпечаток пальца уникален (за всю историю дактилоскопии не было обнаружено двух совпадающих отпечатков пальцев, принадлежащих разным лицам), а во-вторых, папиллярный узор не меняется на протяжении всей жизни человека.

Изображения отпечатков пальцев в электронно-цифровом виде формируются в результате сканирования дактилокарт с помощью планшетного сканера, ввода пальцев с «живого сканера», фотографирования цифровым фотоаппаратом следов пальцев с фото пленки и т.д. Изображения состоят из линий, обычно темного цвета, являющихся отображением папиллярных линий и имеющих разнообразную форму, между которыми на некотором расстоянии друг от друга расположены отверстия потовых канальцев.

Несмотря на многообразие строения папиллярных узоров, они поддаются четкой классификации, обеспечивающей процесс их индивидуализации и идентификации. Все папиллярные узоры делятся на три основных типа: дуговые, петлевые и завитковые, которые и составляют основу их классификации. Пример простого дугового, петлевого и завиткового узора приведены на рис. 1.



Рис. 1. Пример простого дугового (а), петлевого (b) и завиткового (c) папиллярного узора

В каждом отпечатке пальца можно определить два типа признаков: глобальные и локальные. Глобальные – это те признаки, которые можно увидеть невооруженным глазом: папиллярный узор, область изображения, ядро, пункт «дельта», тип линий, количество линий. Локальные признаки, или минуции, – уникальны для каждого отпечатка и определяют пункты изменения структуры папиллярных линии (окончание, раздвоение, разрыв и т.д.). Каждый отпечаток пальца содержит до 70 минуций. Практика показывает, что отпечатки пальцев разных людей могут иметь одинаковые глобальные признаки, но совершенно невозможно наличие одинаковых множеств минуций. Идентификацию личности целесообразно осуществлять через локальные признаки. Основными локальными признаками являются окончание и разветвление линий.

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 осуществляется следующим образом: вычисление ориентации линий, улучшение качества линий, бинаризация изображения, утончение линий изображения.

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

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

где

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

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

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

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

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

Этот процесс повторяется 5 раз. 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 $(u,v) \in I$. 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.

Улучшение качества линий. Используя векторы $D(u, v)$, 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 $\sin \alpha$, где α – угол между векторами $D(u, v)$ и $d(i, j)$, $(i, j) \in W$. Средний вес окна считается по формуле:

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

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

Этот процесс повторяется 5 раз (рис. 2-б).

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

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

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

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

Здесь α – угол, образованный векторами $D(u, v)$ и $d(i, j)$, $(i, j) \in W$, $(u, v) \in I$. Этот процесс повторяется 5 раз.

Утончение линий. 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 $d(i, j)$, $(i, j) \in W$, $(u, v) \in I$. 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 (рис. 2-в).



Рис.2. Этапы обработки изображения: а) – исходное изображение, б) – изображение после улучшения качества, в) – изображение после утончения линий, г) – изображение с минуциями

После процесса обработки изображение применяется конкретный метод аутентификации. Методы аутентификации по отпечатку пальца имеют дело не с реальными биометрическими образцами, а с цифровыми изображениями или их шаблонами. Решение о степени сходства двух дактилоскопических изображений (ДИ) A_1 и A_2 или их шаблонов $T_1 = f(A_1)$ и $T_2 = f(A_2)$ без потери общности лежит в диапазоне 0–1, где f — функция вычисления шаблона. Под шаблоном понимается математическая модель биометрического образца, например набор особенностей, представленных координатами и углом направления. Большинство алгоритмов оперирует с шаблонами T_1 и T_2 , и только некоторые из них — непосредственно с серыми изображениями A_1 и A_2 .

Известно, что сопоставление пары ДИ крайне сложная задача, главным образом из-за бесчисленного множества вариаций отпечатков одного и того же пальца. В целом все алгоритмы сопоставления ДИ или их шаблонов можно разбить на четыре большие группы:

- сопоставление изображений, основанное на различных модификациях корреляции многомерных сигналов;
- сопоставление шаблонов, основанное на характеристиках особенностей: координаты, угол направления, тип особенности (окончание и разветвление), вероятность наличия особенности, кривизна в окрестности особенности;
- сопоставление шаблонов, основанное как на характеристиках особенностей, так и на гребневом счете между особенностями;
- сопоставление шаблонов, основанное как на характеристиках особенностей, так и на топологических характеристиках особенностей.

В работе рассматриваются такие методы аутентификации по отпечатку пальца: на основании фильтра Габора, фильтра быстрого преобразования Фурье, с использованием момента Цернике, с помощью матрицы взаимного расположения. Основными показателями при оценке биометрических систем являются ошибки первого (FRR) и второго (FAR) рода. Результаты сравнений методов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов аутентификации по отпечатку пальца

Метод	Фильтр Габора	Фильтр БПФ	Момент Цернике	Матрица взаимного расположения
FAR(%)	1,6	0,48	7,108	0,35
FRR(%)	18	12,5	7,151	0,21

Из таблицы можно сделать вывод о том, что наилучшим методом аутентификации по отпечатку пальца является метод на основе матриц взаимного расположения.