

УДК 517.8

СИСТЕМА СРАВНЕНИЯ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ ПО ЛОКАЛЬНЫМ ПРИЗНАКАМ

А.В. Гаспарян, А.А. Киракосян

Российско-Армянский (Славянский) государственный университет

В работе предлагается метод определения коэффициента соответствия двух отпечатков пальцев. Описывается алгоритм с соответствующей программной реализацией для улучшения качества исходного изображения, бинаризации изображения, утончения линий и нахождения особых точек отпечатков пальцев.

Введение

Среди всех биометрических технологий идентификация по отпечаткам пальцев является самым старейшим и самым распространенным методом, который успешно применяется во многих областях. У каждого человека свои уникальные и неизменяемые отпечатки пальцев [1].

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 [2]. Отпечатки пальцев могут отличаться друг от друга поворотом, смещением, изменением масштаба и площадью соприкосновения. Предлагаемый подход разработан для сравнения отпечатков пальцев одинаковой размерности и состоит из трёх основных этапов: улучшение качества исходного изображения, выделение минуций и сопоставление минуций отпечатков пальцев.

Описание метода

Задача идентификации личности по отпечатку пальца решается путем сопоставления идентифицируемого отпечатка с эталонными. Коэффициент (процент) соответствия вычисляется по формуле $K = S / \min(p, q) * 100\%$,

где S – количество совпавших минуций, p – количество минуций в эталонном отпечатке, q – количество минуций в идентифицируемом отпечатке. Отпечатки считаются идентичными, если коэффициент соответствия составляет 65% и выше (этот порог можно изменить).

Метод решения данной задачи состоит из трех основных этапов: обработка исходного изображения, выделение минуций и сопоставление минуций отпечатков пальцев.

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 $W(u,v,n)=\{(i,j) \mid |i-u|<n, |j-v|<n\}$ 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.

Обработка исходного изображения

Как правило, исходное изображение отпечатка (если оно не получено электронным способом [3], имеет плохое качество (повреждены линии, имеются разные искажения и т.д. (рис.1-а).

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:

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

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

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

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 (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 $(u, v) \in I$. 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 $D(u, v)$, 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 $\sin \alpha$, где α – угол между векторами $D(u, v)$ и $d(i, j)$, $(i, j) \in W$.

Средний вес окна считается по формуле:

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

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

Этот процесс повторяется 5 раз (рис.1-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:

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

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.



Рис 1.

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. 1-в).

Выделение минуций

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 $r \leq p$.

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 $r \leq p$. 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 T_1 (на примере $T_1=8$). После завершения этого этапа получается множество реальных минуций (рис.1-г), которое на следующем этапе будет использоваться для сравнения отпечатков пальцев.

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 $b \in E(q)$ таки-

ми, чтобы расстояние от точки a до центральной точки M и расстояние от точки b до центральной точки E были меньше заданной величины T_R (на примере $T_R=5$). 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) , $a \in M(p)$ и $b \in E(q)$, удовлетворяющие следующему условию: расстояние от точки a до центральной точки M и расстояние от точки b до центральной точки E меньше заданной величины T_R . Изображение идентифицируемого отпечатка поворачивается вокруг точки a на угол α , где α – угол между векторами D данной пары минуций.

Этап изменения масштаба изображений в данной работе 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. Две минуции считаются совпавшим, если расстояние между этими точками меньше заранее заданной величины T_d (на примере $T_d=7$), а угол между векторами D этих точек меньше заданной величины T_α (на примере $T_\alpha=0.85$).



Рис 2.

Число совпавших минуций вычисляется после каждого поворота изображения. Значением параметра S является максимальное значение этих чисел.

Вышеописанный метод программно реализован, проверен для разных отпечатков пальцев, получены соответствующие результаты (при одинаковых изображениях коэффициент соответствия составляет 100 %, для разных отпечатков пальцев этот коэффициент соответствия составляет от 3 % до 18 %, при разных изображениях отпечатка одного пальца (рис. 2) коэффициент соответствия составляет 76 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Jain, S. Pankanti, Fingerprint Classification and Matching. // Handbook for Image and Video Processing, A. Bovik (ed.), Academic Press, April 2000.
2. H. Lin, A. Jian, S. Pankanti, R. Bolle, Fingerprint enhancement. //Applications of Computer Vision, 1996. WACV '96.
3. В. Задорожный, Идентификация по отпечаткам пальцев. // PC Magazine, № 1, 2, 2004.

Поступила в редакцию
15.12.2006

ՄԱՏՆԱԴԵՏՔԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ ԸՍՏ ՏԵՂԱՅԻՆ ՀԱՅՏԱՆԻՇՆԵՐԻ

Հ.Վ. Գասպարյան, Ա.Ա. Կիրակոսյան

Աշխատանքում դիտարկված է երկու մատնահետքերի նույնականության գործակիցը հաշվելու մի մեթոդ: Նկարագրված է մատնահետքի սկզբնական պատկերի որակի լավացման, բինարացման, գծերի բարակեցման և մատնահետքում բնութագրիչ կետերի հայտնաբերման ալգորիթմը՝ համապատասխան ծրագրային իրականացմամբ:

THE COMPARISON SYSTEM OF FINGERPRINTS BY LOCAL FEATURES

H.V. Gasparian, A.A. Kirakosian

The method of correspondence factor determination of two fingerprints is presented in the work. The algorithm with appropriate program realization is used for the improvement of the starting image, the image binarization, the line thinning and the finding of special points of fingerprints.