

基于三角形局部特征点模型指纹匹配算法*

袁东锋¹, 杜 恒², 秦小铁³

(1. 南阳理工学院 计算机与信息工程学院, 河南 南阳 473004; 2. 河南工业职业技术学院 计算机工程系, 河南 南阳 473000; 3. 重庆科技学院 图书馆, 重庆 401331)

摘要 指纹识别是一种生物识别技术, 指纹匹配是指纹识别的一个重要过程, 如何解决指纹匹配过程中出现的待识别指纹出现的指纹平移、旋转与挤压引起的形变问题, 是本文重要的研究内容。提出了一种基于局部特征点的三角形模型匹配算法, 根据指纹中图像中的细节点, 与其相邻的局部细节点构成一个三角形, 并引入了它与邻近细节点间的距离、脊线数目作为判断因素, 从而有效解决指纹图像匹配过程中遇到的因平移、旋转与挤压引起形变导致的识别率较低的问题, 提高了指纹识别的精确度和可靠性。最后通过 3 个实验的结果表明, 本文提出的算法比另外 2 种算法具有拒识率低、正确识别率高(正确率达到 98.92%)的特点, 即基于三角形局部特征点模型的指纹匹配算法有较好的性能。

关键词 指纹识别; 局部特征点; 匹配算法; 极坐标; 可靠性

中图分类号 TP301.6

文献标志码 A

文章编号 1672-6693(2013)02-0069-05

信息技术高速发展的同时, 信息安全逐渐成为人们关注的一个重要议题, 生物识别技术是信息安全的一个重要研究方面, 已经日渐成熟, 相关的生物识别技术有虹膜识别、人脸识别、声音识别、掌纹识别与指纹识别等。指纹是生物特性的一个典型标识, 指纹具有唯一性与不变性, 本文针对指纹识别技术进行深入研究, 提高其精确度与可靠性。

指纹是人体的一种基本特征, 指纹具有个体唯一性, 且终生不变的这种特点, 因此, 用指纹来区分不同的个体是一种较好的方法, 并且是现在广泛应用的生物识别技术之一。随着计算机图像处理技术的不断发展, 指纹的自动匹配识别能力的性能已经越来越优良。指纹识别系统包括原始指纹图像的采集, 并将其进行处理, 形成指纹特征数据库。指纹识别技术是指将需要识别的指纹图像与指纹特征数据库中的图像进行匹配运算的一种技术。指纹图像的特征匹配是整个指纹识别系统的核心部分, 匹配算法的优良与否直接影响到指纹识别技术的性能、效率以及可靠性。指纹的匹配过程中, 需要识别的指纹往往会和原始采集的指纹图像存在一定的不同, 尤其是指纹图像的平移、旋转及挤压受力不同引起的指纹形变。因此, 解决指纹匹配过程中的移动、旋转与形变问题成为一个很重要的研究点。

指纹匹配方法目前最常用的是 FBI 提出的细节点坐标模型匹配法, 对于这一模型的匹配算法也有出现了 Ranade 和 Rosenfeld 得出的松弛法点匹配算法^[1], Chang 等人提出的利用二维聚类匹配算法^[2], 这些算法在一定程度上能够解决指纹移动、旋转或挤压对指纹识别性能的影响, 但是或多或少存在一些不足, 本文在参考朱宁等人^[3-8]提出的指纹局部特征多边形细节点匹配算法, 提出了基于三角形局部特征点模型的匹配算法, 使得匹配算法具有更高的可靠性和识别效率, 从而提高指纹识别系统的性能。

1 指纹细节点

指纹识别系统(AFIS)首先是对原始图像进行采集分析, 构造指纹特征库, 其次是将待识别的指纹与其进行匹配, 待匹配的指纹如果与原始指纹特征库匹配吻合, 则待识别的指纹为有效指纹, 完成指纹识别, 用户可以进入相关系统对其进行操作, 否则, 为无效指纹, 拒绝非法用户进入相关系统。自动指纹识别系统流程图如图 1 所示。

指纹识别系统中, 完成指纹原始图像采集后, 此后较关键的过程便是将待识别的指纹进行指纹匹配。指纹匹配的方法有 3 类: 基于图形图像指纹匹配; 基于脊线结构指纹匹配; 基于细节点(特征点)的指纹匹配算

* 收稿日期 2012-11-16 网络出版时间 2013-03-16 13:37

资助项目 河南省科技项目(No. 112400450137)

作者简介 袁东锋, 男, 讲师, 研究方向为软件工程、算法与数据挖掘, E-mail: yuan_df@163.com

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130316.1337.201302.69_017.html

法。其中,基于细节点的指纹匹配算法具有简单、快速、效率高等优点,是较为常用的一种指纹匹配算法。

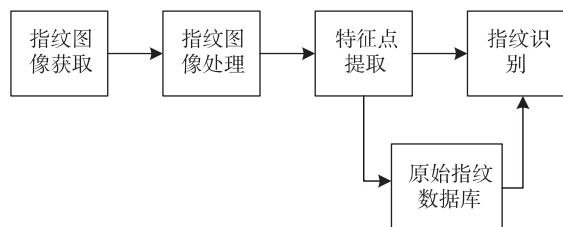


图1 指纹识别流程图

在指纹图像中,末梢点(Ridge ending)与分叉点(Ridge bifurcation)^[9]这两种点的特征较为明显,如图2所示,末梢点是纹线结束的点,分叉点是由一条纹线突然分开为二条纹线的点,这两种类型的点在指纹中出现的机率最大,且有较高的稳定性,而且在指纹图像中非常易于检测,通过多个这样的细节点,完全能够描述指纹的唯一性。因此,这两种特殊的点常被用来作为基于细节点指纹匹配算法的主要比较因素。指纹原始图像提取到后,对图像进行一系列处理后,将能够得到指纹中较为清晰的特征点库。每一个特征点都记录了3方面重要信息:特征点的位置 (x, y) 、特征点类型(端点或末梢点);点所在脊线的方向角 θ ,其中 $\theta \in [0, 2\pi]$ 。因待识别的指纹图像往往会与原始指纹存在有平移、旋转或局部受到挤压引起变形等差异,使得整个指纹的匹配算法具有一定的复杂性。然而,特征点周围的脊线或者位置出现的偏差并不影响其周围脊线的数目和相对角度。因此,可以有效地利用特征点的距离、脊线数目、方向角等结构建立局部特征向量,有效地解决指纹图像的平移、旋转及挤压形变问题。

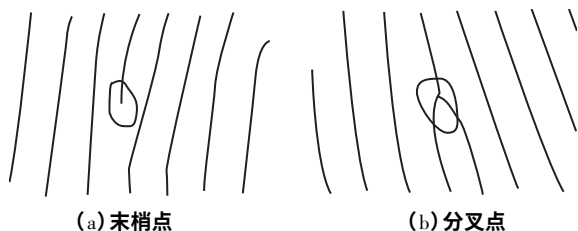


图2 指纹图像中2种常用的特征点

2 指纹匹配算法

为了提高指纹匹配过程中对非用户指纹识别的拒绝速度,并且提高对合法用户指纹的识别准确度,指纹匹配算法的匹配过程分为两部分,分别是初匹配和再匹配。初匹配是对指纹的初步简单的一个匹配识别过程,方法是利用相邻细节点之间的结构关系建立特征向量集,并与指纹库原始指纹图像的特征向量集进行快速的比较识别,从而提高对非法指纹的识别拒绝速

度。再匹配是以初匹配为基础,将指纹图像转换为极坐标系下的指纹图像,使用可变大小限界法判断两点是否匹配。再匹配过程从全局角度对指纹图像中的特征点进行再一步的匹配。

2.1 初匹配

1) 建立局部特征向量。将指纹图像进行特征点提取后,指纹图像就变成了有限个特征点(末梢点和分叉点)组成的集合。细节点表示为 $N_i = (x_i, y_i, s_i, \theta_i)$,其中 (x_i, y_i) 表示第 i 个细节点的位置, s_i 表示第 i 个细节点的类型, θ_i 表示其方向角并且 $\theta_i \in [0, 2\pi]$ 。那么,对于输入的指纹图像则可以提取出其全部的细节点,构成指纹图像的细节点集合 PC ,表示为

$$PC = ((x_1, y_1, s_1, \theta_1), (x_2, y_2, s_2, \theta_2), \dots, (x_i, y_i, s_i, \theta_i), \dots) \quad (1)$$

在指纹图像发生了平移、旋转或局部形变的情况下,只使用特征点的存储信息会有较大的变化,从而影响匹配的可靠性与精确度。如果加入了相邻细节点的距离、脊线数与方向角这些判断因素,会对指纹的匹配过程大幅度地降低误判率,提高可靠性与精确度。因此,利用相邻特征细节点间的距离、脊线数目与方向角建立局部特征向量,可以很好地解决指纹图像平移、旋转与局部形变问题,从而提高指纹识别精确度。

对于每个细节点,取与它相邻的较近的两个细节点构成一个三角形,结构图如图3所示。图中, i 节点、 k 节点、 m 节点构成了一个三角形形状的结构图, d_{ik} 表示 i 到 k 之间的距离, r_{ik} 表示 i 节点与 k 节点之间的纹线数;同理,可以用 d_{im} 表示节点 i 到节点 m 之间的距离, r_{im} 表示 i 节点与 m 节点之间的纹线数。

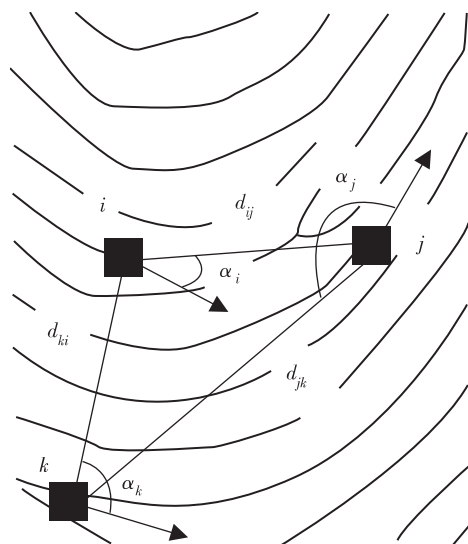


图3 局部三角形特征点结构模型

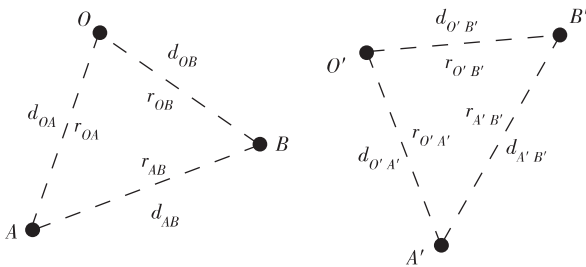
局部细节点的三角向量模型可以表示为: $PC_i(PC_k, PC_m, d, r)$,其中 PC_i 表示特征点 i , PC_k 、 PC_m

是与 i 构成三角形的另外两个特征点; d 是距离向量 d_{im} 和 d_{ik} 的集合,与相应的特征点成映射关系, r 是纹线数的集合,其中对应的是 r_{im} 与 r_{ik} 。

2) 匹配过程。待匹配的指纹需要被识别,则识别过程需要与指纹原始图像库中指纹进行匹配。假设需要识别的指纹为 A , 指纹图像库中的任意一个指纹 B , 用细节点集表示为: $A = ((x_1^A, y_1^A, s_1^A, \theta_1^A), \dots, (x_l^A, y_l^A, s_l^A, \theta_l^A))$, 表示指纹 A 的图像中有 l 个细节点; $B = ((x_1^B, y_1^B, s_1^B, \theta_1^B), \dots, (x_m^B, y_m^B, s_m^B, \theta_m^B))$, 表示指纹库中某一条指纹 B 的图像中有 m 个细节点。指纹图像 A 中的细节点可以根据局部特征向量构造一个 L 维的特征点局部相关向量, 指纹图像 B 可以根据三角形相关特征点模型构造一个 M 维的特征点局部相关向量。

初匹配的过程是将指纹 A 的 L 维局部特征向量与指纹 B 的 M 维局部特征向量进行比较, 过程是将指纹图像 A 中细节点 A_i 的三角形局部特征向量 PC_i^A 与指纹库中指纹图像 B 中细节点 B_j 的三角形局部特征向量 PC_j^B 进行一一匹配, 匹配结果用 $Score$ 记录。匹配方法是: 如果 $PC_i^A \neq PC_j^B$, 表示指纹图像 A 中的第 i 个细节点与指纹库中某一指纹图像 B 中的第 j 个细节点不匹配, 其中 $i \in [1, 2, \dots, l]$, $j \in [1, 2, \dots, m]$, 那么 $Score[i][j] = 0$; 如果 $PC_i^A = PC_j^B$, 表示指纹图像 A 中的第 i 个细节点与指纹库中某一指纹图像 B 中的第 j 个细节点匹配, 其中 $i \in [1, 2, \dots, l]$, $j \in [1, 2, \dots, m]$, 那么 $Score[i][j] = 1$ 。

三角形模型的局部特征向量细节点匹配如图4所示。三角模型匹配过程中不仅对细节点自身的特点进行匹配, 包括判断细节点的类型(末梢点与分叉点), 而且加入了它与邻近特征点之间的距离因素、脊线数目因素的判断。图4中, O 点代表待匹配的细节点, A 、 B 分别是其邻近的特征点, 边 OA 上的参数 d 与 r 分别代表 O 点与 A 点之间的距离与脊线数目, 可表示为 d_{OA} 和 r_{OA} , 同理, 可以用 d_{OB} 和 r_{OB} 表示 O 点与 B 点之间的距离和脊线数目。局部特征点的匹配过程分3步。



(a) 指纹库原始指纹图像

(b) 待匹配指纹图像

图4 指纹细节点三角模型匹配

①待匹配指纹图像中的细节点 O' 与指纹库中指纹

图像中的 O 点进行匹配。首先对点向量进行比较, 即比较 x_o, y_o, s_o, θ_o 与 $x_{o'}, y_{o'}, s_{o'}, \theta_{o'}$, 如果相同, 则匹配成功, 说明点 O' 点与原始采集指纹细节点相同, 不存在有指纹偏移、旋转或形变等现象。否则进入第②步匹配过程。

②对距离向量 d_{OA}, d_{OB}, d_{AB} 与 $d_{O'A'}, d_{O'B'}, d_{A'B'}$ 进行比较匹配。方法是计算 $d1 = |d_{OA} - d_{O'A'}| + |d_{OB} - d_{O'B'}| + |d_{AB} - d_{A'B'}|$, 如果 $d1$ 在偏差范围 η 之内, 即 $d1 \leq \eta$ 则匹配成功, 否则进行第3步匹配过程。

③对特征点边上的脊线数向量 r_{OA}, r_{OB}, r_{AB} 与 $r_{O'A'}, r_{O'B'}, r_{A'B'}$ 进行比较匹配, 方法是计算 $r1 = |r_{OA} - r_{O'A'}| + |r_{OB} - r_{O'B'}| + |r_{AB} - r_{A'B'}|$, 如果 $r1 \leq \varphi$, 即脊线数目的偏差在允许的偏差阈值 φ 范围内, 则匹配成功。否则匹配不成功, 则进入下一个节点的匹配过程。

经过上述匹配过程, 则可以对每一个特征点进行准确的匹配, 并且如果匹配成功, 则将 $Score[i][j]$ 置1, 表明匹配成功。经过基于邻近特征点的三角模型匹配方法, 可以有效地消除待匹配指纹图像的移动和因挤压引起的形变对指纹识别精度的影响。

2.2 再匹配

1) 极坐标转换。将指纹图像 A 与指纹库中的图像转换到极坐标系下, 这种转换的好处是只需要计算输入图像与指纹库图像之间的旋转角度, 而不需要考虑指纹图像的平移^[10]。极坐标的转换见公式(1)。

$$\begin{pmatrix} r_t \\ e_t \\ s_t \\ \varphi_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{(x_t - x_c)^2 + (y_t - y_c)^2} \\ \arctan\left(\frac{y_t - y_c}{x_t - x_c}\right) + \Delta\theta - \theta_c \\ s_t \\ \theta_t - \theta_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中 $\Delta\theta = \begin{cases} 0, & \text{当 } \Delta x > 0, \Delta y > 0 \\ \pi, & \\ 2\pi, & \text{当 } \Delta x < 0, \Delta y < 0 \end{cases}$

式中, $(x_c, y_c, s_c, \theta_c)$ 为极坐标系原点坐标, $(x_t, y_t, s_t, \theta_t)$ 为待转换的细节点坐标, $(r_t, e_t, s_t, \varphi_t)$ 分别是转换后的细节点在极坐标系下的极径、极角、点类型、该点所在脊线与原点所在脊线的方向差。

坐标转换后, 指纹图像中的细节点可以按极角递增的方向进行排序得出新的细节点集, 用 A'' 和 B'' 表示, 具体表示为

$$\begin{aligned} A'' &= ((r_1^A, e_1^A, s_1^A, \varphi_1^A)^T, \dots, (r_i^A, e_i^A, s_i^A, \varphi_i^A)^T, \dots, \\ &\quad (r_l^A, e_l^A, s_l^A, \varphi_l^A)^T), i \in (1, l) \\ B'' &= ((r_1^B, e_1^B, s_1^B, \varphi_1^B)^T, \dots, (r_j^B, e_j^B, s_j^B, \varphi_j^B)^T, \dots, \\ &\quad (r_m^B, e_m^B, s_m^B, \varphi_m^B)^T), j \in (1, m). \end{aligned}$$

2) 可变大小限界法全局匹配。为了克服非线性形

迹对指纹匹配识别的影响,引入可变大小限界法^[11]对指纹图像 A'' 和 B'' 进行匹配。可变大小限界法中的限界盒就如同放在指纹特征点上的一个盒子,限界盒大小限着指纹特征点的极角与极半径动态变化,如图 5 所示。从图中可以明显看出,限界盒的大小取决于当前细节点与原点的距离,距离原点越近,极半径变小极角变大 相反,细节点距离原点越远,极半径变大极角变小。当两个指纹图像中的特征点 A''_i 和 B''_j 落在同一个限界盒中时,则认为这两个特征点匹配成功。

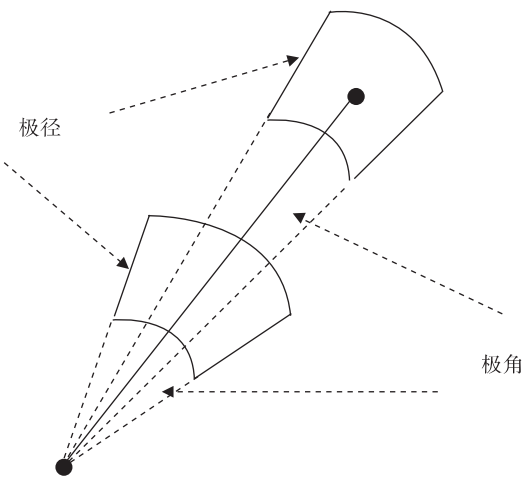


图 5 可变大小限界盒

完成极坐标转换并且获得指纹库图像的细节点限界盒后,为了从全局的角度对指纹进行匹配,以便能够准确地得到两个指纹图像间的相似程度,对指纹图像进行了第二阶段的再匹配过程。假设两个指纹图像中细节点总数为 N_A 和 N_B ,再匹配过程中,由可变大小限界盒的方法得到 n 个匹配成功的细节点,那么,如果满足 $\frac{n}{\min(N_A, N_B)} \geq \beta$ 则表示指纹细节点集成功,即待识别的指纹与指纹库中某一指纹是同一枚指纹,表示用户合法。其中 β 是匹配点集中合格点率,一般情况下, $\beta > 0.6$ 。

3 分析与实验

在 Windows 平台下,采用 Matlab7.0 仿真工具,对指纹识别匹配算法过程进行了仿真实验,根据 FVC2000 提供的指纹数据库 DB1、DB2、DB3、DB4^[12] 的 Set B 库中的各枚指纹图像进行匹配测试,每个数据库中都存有 10 个人的指纹图像。本算法的仿真为实验 1,文献[13]提出的算法为实验 2,文献[14]提出的算法为实验 3,将实验 1 的匹配结果与其他 2 个实验进行比较,比较结果如表 1 所示。结果表明,本文提出的算法具有拒识率低,正确识别率高的特点,不仅很好地解决了指纹识别过程中因指纹平移、旋转与挤压引起的

形变等问题对指纹识别的影响,从而提高了指纹识别的正确率与可靠性,而且和其他算法相比,本文提出的算法在各方面都有较好的特性。

表 1 实验结果对比 %

实验结果	误识率 FAR	拒识率 FAA	正确率 CR
实验 1	0	1.25	98.92
实验 2	0	2.209	7.81
实验 3	0	3.31	96.69

4 结语

为了很好地解决指纹匹配过程中因指纹图像平移、旋转及因挤压引起的指纹形变对其识别率与准确性的影响,本文提出了基于三角形局部邻近特征点模型的细节点匹配算法,在初匹配过程中,利用三角模型中的相关局部特征点结构进行比较匹配,加入了识别点与邻近点之间的距离、脊线数目参考因素,从而有效解决了指纹匹配中因指纹旋转、平移及形变这样的问题。根据相关文献提出的可变大小限界盒方法对指纹细节点进行了再匹配过程。最后,通过仿真实验,将本文提出的算法与现有的算法进行仿真分析比较,发现本文算法对于有效解决指纹匹配过程中的问题是有益的。

参考文献：

[1] Ranade S, Rosenfeld A. Point pattern matching by relaxation [J]. Pattern Recognition,1980,12(4) 269-275.

[2] Chang C H, Cheng F H, Hsu W H, et al. Fast algorithm for point pattern matching :Invariant to translation rotation and scale changes[J]. Pattern Recognition,1997,30(2) 311-316.

[3] 朱宁,施荣华,吴科桦. 一种新的点模式指纹匹配方法[J]. 计算机工程与应用,2006,5 74-76.

Zhu N, Shi R H, Wu K H. A new fingerprint matching method of minutiae[J]. Computer Engineering and Applications,2006, 5 74-76.

[4] 王伟,李春明. 基于 ARM-Linux 指纹识别系统的设计[J]. 电子设计工程,2012,20(15) 180-183.

Wang W, Li C M. Design of the fingerprint identification system based on ARM-Linux[J]. 2012,20(15) 180-183.

[5] 曾彤. 基于嵌入式处理器指纹识别系统的设计和实现[J]. 电子设计工程,2010,18(4) 119-121.

Zeng T. Design and implement of fingerprint identification system based on embedded microprocessor[J]. Electronic Design Engineering,2010,18(4) 119-121.

[6] 陈鹏,郭宝龙. 基于 ARM 的指纹采集仪的设计与实现[J].

- 电子设计工程,2009,17(1) 36-38. [J].
- Chen P,Guo B L. Design and realization of fingerprint capturing set based on ARM [J]. Electronic Design Engineering, 2009,17(1) 36-38.
- [7] 肖秦琨,刘向军. 基于局部特征匹配的目标跟踪研究[J]. 电子设计工程,2011,19(22) 154-156.
- Xiao Q K,Liu X J. Design and realization of fingerprint capturing set based on ARM [J]. Electronic Design Engineering, 2011,19(22) 154-156.
- [8] 张彤,肖南峰. 基于 BP 网络的指纹识别系统[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版,2010,24(1) 47-50.
- Zhang T,Xiao N F. Fingerprint recognition system based on BP neural network [J]. Journal of Chongqing University of Technology Natural Science,2010,24(1) 47-50.
- [9] 尹义龙,宁新宝,张晓梅. 自动指纹识别技术的发展与应用[J]. 南京大学学报:自然科学版,2002,38(1) 29-35.
- Yin Y L,Ning X B,Zhang X M. Development and application of automatic fingerprint identification technology [J]. Journal of Nanjing University Natural Sciences,2002,38(1) 29-35.
- [10] Zhu E,Yin J P,Zhang G M. Fingerprint matching based on the transference of referenceminutiae [J]. Journal of Nanjing University Natural Sciences,2005,41(4) 424-428.
- [11] 罗希平,田捷. 自动指纹识别中的图像增强和细节点匹配算法[J]. 软件学报,2002,13(5) 946-955.
- Luo X P,Tian J. Image enhancement and minutia matching algorithms in automated fingerprint identification system [J]. Journal of Software,2002,13(5) 946-955.
- [12] BioLab-University of Bologna. FVC2000: fingerprint verification competition [EB/OL]. (2011-11-10) [2000-8]. <http://bias.csr.unibo.it/fvc2000>.
- [13] 廖阔,杨万麟. 点模式指纹匹配算法研究与实现[J]. 电子科技大学学报,2004,33(2) 154-157.
- Liao K,Yang W L. Research and implementation of fingerprint matching method of minutiae [J]. Journal of UEST of China, 2004,33(2) 154-157.
- [14] 廖阔. 自动指纹识别系统的研究与设计 [D]. 成都:成都理工大学,2001.
- Liao K. Research and development on automated fingerprint identification system [D]. Chengdu:Chengdu University of Technology,2001.

Fingerprint Matching Algorithm Based on Local Triangular Feature Point Model

YUAN Dong-feng¹, DU Heng², QIN Xiao-tie³

(1. College of Computer and Information Engineering, Nanyang Institute of Technology, Nanyang Henan 473004 ;

2. Dept. of Computer Engineering, Henan Polytechnic Institute, Nanyang Henan 473000 ;

3. Library, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China)

Abstract : Fingerprint identification as one of biometric technology, fingerprint matching is an important process. It is a question on how to solve the identified fingerprint problem caused by the fingerprint translation, rotation and deformation because of different pressure of fingerprint, and it is the important subject of this article resolved. In the paper I propose a local triangular model of the feature point matching algorithm based on neighbor point. It is based on the image of fingerprint minutiae and adjacent local minutiae to form a triangle, and import two judgment factors for the algorithm which is distance factor and the ridge line number factor between the two neighboring minutiae points of triangle, in order to effectively address encountered the low recognition rate in the matching process of the fingerprint image caused by the translation, rotation and extrusion deformation. The fingerprint matching algorithm based on local triangular feature point model improved the precision of the fingerprint identification and made it more reliability. Finally, the experimental comparison analysis results obtained the triangle local feature points model based fingerprint matching algorithm has better performance.

Key words : fingerprint recognition ; local feature points ; matching algorithm ; polar coordinates ; reliability

(责任编辑 游中胜)