

# 基于脊线采样的指纹识别算法

解 梅, 佟 异

(电子科技大学电子工程学院, 四川成都 610054)

**摘 要:** 指纹识别技术因其在身份识别方面的重要性及具有广阔的应用前景而得到了广泛的研究. 但目前的指纹识别算法存在特征提取精度不高, 运算时间长等缺点. 这里提出一种新的基于指纹脊线采样的指纹识别算法, 克服了以往算法的缺点, 取得了良好的实验效果.

**关键词:** 指纹识别; 模式匹配; 指纹方向

**中图分类号:** TP242. 6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 10-1503-03

## A Fingerprint Identification Algorithm Based on Ridge-Sampling

XIE Mei, TONG Yi

(College of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 610054, China)

**Abstract:** Fingerprint identification has been studied widely because it is the most significant biometrics technology and has the potential to be widely adopted in very civilian applications. But so far, the existed fingerprint identification algorithms cannot extract features accurately and are time-consuming. In this paper, a new algorithm which is based on the ridge-sampling is presented. The algorithm overcomes the main shortcomings of the current available algorithms and is simple, fast, effective and robust.

**Key words:** fingerprint identification; pattern matching; fingerprint orientation

### 1 引言

电子设备正不断地进入我们的日常生活中, 例如: 桌面电脑、笔记本电脑、ATM 提款机、蜂窝电话、门禁控制系统等等. 对于安全、方便的个人身份认证技术的需求也在不断增加. 传统上, 一个人的身份验证是通过个人的所有物 (如钥匙) 或个人所掌握的信息 (如密码) 来实现的. 另外还有一种方法, 即利用个人的生理特性, 如指纹、掌纹、声音、签名等也可以实现对身份的验证. 这一验证方法被称为生物测定法 (Biometrics). 因为人的生理特性既不会象密码一样被遗忘, 也不会象钥匙一样被遗失, 所以被认为是一种更为可靠的身份验证方法.

目前主要有九种生物测定技术, 其中有些已经得到广泛的使用, 另一些仍在研究中<sup>[1~7]</sup>. 它们包括: 面孔、指纹、掌形、掌纹、虹膜、视网膜、签字、声音、面部温度. 尽管其中一些已经被用于实际系统或可能成为一种有效的生物测定技术, 但到目前为止, 指纹验证技术是唯一被法律认可的, 能够自动检验的, 已经成熟了的生物测定技术.

### 2 指纹识别的基本原理

指纹是指头表面的脊和谷的模式, 每个人的指纹都是唯一的, 即使孪生子也不相同. 其唯一性既可由脊和谷的整体模式决定, 也可由脊的局部特征点来决定. 因此, 目前主要的指

纹识别算法可分为两类——基于局部特征点的算法和基于纹理特征的算法.

基于特征点的指纹识别算法虽然有指纹模板所需的存储空间很少的优点, 但由于近年来硬件技术的飞速发展, 存储空间已不再是瓶颈. 而特征点算法的固有缺点——由于只提取了指纹的局部信息, 使得在匹配时, 要对大量的可能匹配方式进行检验, 因而匹配时间较长, 尤其是一对多的匹配——使得该算法难以取得理想的应用效果. 而典型的基于纹理的指纹识别算法——Gabor 滤波算法, 由于滤波运算耗时太多, 使得该算法不适用于实时系统.

本文提出一种新的指纹识别算法, 该算法采用对指纹的脊线进行采样的方式来获得指纹特征向量, 使得采集的指纹特征向量模板既包含了指纹的局部信息, 也包含了指纹的全局信息. 虽然模板所需的存储空间比特征点法所需的空间大, 但由此带来的性能上的提高却是值得的.

### 3 基于脊线采样的指纹识别算法

本文算法主要由三部分构成:

- (1) 指纹图像的方向场和参考点算法;
- (2) 指纹特征向量的提取;
- (3) 指纹特征向量的匹配.

下面将对这三个部分加以详细说明.

### 3.1 指纹图像的方向场及参考点定位算法

为了使参考点定位算法在有噪声的情况下也能表现良好,计算方向场时应取较大的邻域.而另一方面,为了准确定位参考点,又希望邻域尽可能小.为了满足这两种互相冲突的要求,这里提出一种新的基于方向场的多尺度分析方法,可以比以往的算法定位精度更高.

首先定义指纹图像的方向场为  $O$ . 用  $w \times w$  的窗口将指纹图像分割成  $P \times Q$  个不重叠的子图像.  $O(i, j)$  表示像素  $pixel(i, j)$  处的局部脊方向. 每个块的方向定义为它的中心像素的方向. 指纹图像的方向场算法采用最小平方估计算法,步骤如下:

(1) 将输入图像  $I$  分割成  $w \times w$  的不重叠的块;

(2) 计算每个像素的梯度  $g_x(i, j)$  和  $g_y(i, j)$ . 根据计算量的要求,梯度算子可以用简单的 Sobel 算子或用复杂的 Marr-Hildreth 算子. 用下面的公式对以像素  $pixel(i, j)$  为中心块的方向进行估算:

$$V_x(i, j) = \frac{1}{2} \left( G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v) \right) \quad (1)$$

$$V_y(i, j) = \frac{1}{2} \left( G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v) \right) \quad (2)$$

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right) \quad (3)$$

$O(i, j)$  是以像素  $pixel(i, j)$  为中心块的局部脊向最小平方估计. 从数学上的观点来看,它表示与  $w \times w$  块的傅立叶频谱主导方向正交的方向.

指纹参考点定位算法如下:

(1) 用前述方法估算方向场  $O$ ;

(2) 对估算的方向场  $O$  平滑处理:

定义方向场的  $x$  和  $y$  分量分别为  $x$  和  $y$

$$x(i, j) = \cos(2O(i, j)) \quad (4)$$

$$y(i, j) = \sin(2O(i, j)) \quad (5)$$

将  $x$  和  $y$  分别用低通滤波器进行滤波,得到  $x$  和  $y$

$$x(i, j) = \frac{w}{2} \sum_{u=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \sum_{v=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} W(u, v) \cdot x(i-u, j-v) \quad (6)$$

$$y(i, j) = \frac{w}{2} \sum_{u=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \sum_{v=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} W(u, v) \cdot y(i-u, j-v) \quad (7)$$

其中  $w$  是二维低通滤波器,宽度为  $w$ . 滤波后的方向场  $O$  是:

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{y(i, j)}{x(i, j)} \right) \quad (8)$$

(3) 计算由  $O$  的  $\sin$  分量构成的图像  $S$ :

$$S(i, j) = \sin(O(i, j)) \quad (9)$$

(4) 初始化一个标记图像  $A$ ;

(5) 对于每个  $S(i, j)$ ,按下式计算:

$$A(i, j) = \frac{S(i, j)}{R1} - \frac{S(i, j)}{R2} \quad (10)$$

区域  $R1$  和  $R2$  如图 1 所示. 由试验确定,这样定义  $R1$  和  $R2$  的目的是获取最大上凸曲率;

(6) 找出  $A$  中的最大值,即是所求的参考点;

(7) 为了提高定位精度,可以用宽度递减的窗口,重复步骤 1-6 若干次,并将每次搜索的范围限定在前次结果的一个邻域内.例如,可以用  $w = 15, 10, 5$  像素的窗口迭代计算,可以将定位精度限制在 5 像素之内.

### 3.2 指纹特征向量的提取

在提取指纹的特征向量之前,首先需要提取出指纹的脊线图.可以采取先将指纹图像二值化,然后再细化的算法,也可以直接从指纹的灰度图像上提取出指纹的脊线图<sup>[2]</sup>. 这里采用的是后者.

首先对以指纹参考点为圆心,半径为  $R$  的圆形区域,从  $0^\circ$  开始,每隔  $(2/N)$  度从圆心作长度为  $R$  的线段进行采样.共采样  $N$  次,采样值为采样线段与脊线相交的次数.如图 2 (a) 所示:

从图中我们可以看出:接近圆心的区域,采样密度很高;而距离圆心较远的区域,采样较稀疏.为了克服这个缺点,我们采用图 2(b) 所示的变尺度采样法.即在靠近圆心处采样次数较少,而随着采样区域远离圆心,采样次数也随之增加.由于最靠近圆心的区域采样误差较大,因此对半径为  $r$  的一个小圆形区域内不进行采样,只在一个  $(R-r)$  的环形区域进行采样.将采样区域分为  $n$  个等宽圆环,每个圆环的宽度为  $(R-r)/n$ ,最内的环采样次数为  $N_1$ ,最外环采样次数为  $N_n$ ,第  $K$  个环采样次数  $N_k = k \times N_1$ . 整个指纹的总采样次数为  $\frac{n(n+1)}{2} \times N_1$ . 圆环的宽度  $(R-r)/N$  约为指纹脊线间的平均距离的二倍.这个脊线间的采样值即构成指纹的一个特征向量.

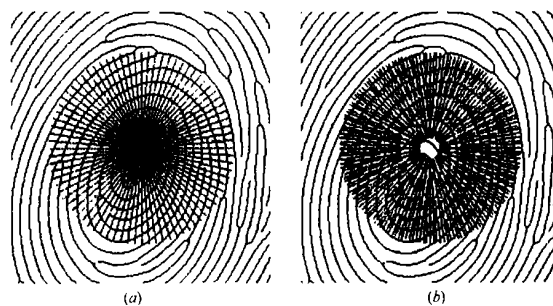


图 2 指纹脊线采样图示

### 3.3 指纹特征向量的匹配

每个指纹向量是一个  $1 \times N$  的向量,其中  $N = \frac{n(n+1)}{2} \times N_1$  为总采样次数,  $n$  为采样环的数目,  $N_1$  为第一个采样环的采样次数. 指纹数据库中每个指纹共有  $m \times m$  个指纹特征向量. 令其中第  $i$  个模板向量为  $P_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}\}$ ,  $i = 0, \dots$

$(m \times m - 1)$ ,  $p_{ik}$  为  $1 \times N_k$  的一维向量,  $N_k = k \times N_1$  为第  $K$  个采样环中的采样数目. 输入指纹的特征向量为  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ ,  $q_k$  为  $1 \times N_k$  的一维向量.

进行指纹匹配前,我们先定义两个一维数组  $rot[n]$  和  $d_i[n]$ ,并对数组值初始化.然后对  $P_i$  中的向量  $p_m$  和  $Q$  中的向量  $q_n$  进行匹配.由于指纹数据库中的指纹模板与输入的指纹模板间可能存在角度偏差,所以要先确定这一偏差的大小.如果指纹的参考点能够正确定位的话,本算法在理论上可以确定  $[-, +]$  之间的角度偏差.实际中由于指纹采集器的框架作用,角度偏差一般不会很大.这里预先定义一个补偿量  $r$ ,算法可以确定  $[-r \times \frac{2}{N_n}, r \times \frac{2}{N_n}]$  范围内的角度偏差,方法如下:

$$d_n[n] = \min_{j \in [-r, +r]} d_{ij}, j \in [-r, +r] \quad (11)$$

其中  $d_{ij} = |p_{in,j} - q_n| = \min_{k=1}^{N_n} |p_{ij}[(j+k+N_n) \% N_n] - q_n[k]|$ . 假设  $i_m = \min d_{ij}$ ,则可推知模板指纹与输入指纹的角度偏差为  $m \times \frac{2}{N_n}$ . 故而令  $rot[k] = \text{round}(\frac{k}{n} \times m)$   $k=1, \dots, n-1$ . 根据前面的计算结果对指纹向量进行匹配.

$$d_i[k] = |p_{ik, rot[k]} - q_k|$$

$$= \min_{v=1}^{N_n} |p_{ik}[(rot[k] + v + N_k) \% N_k] - q_k[v]|, k=1, \dots, n \quad (12)$$

模板指纹特征向量  $P_i$  与特征向量  $Q$  的最终匹配结果为:

$$D_i = \min_{k=1}^n d_i[k] \quad (13)$$

重复以上步骤,共得到  $m \times m$  个匹配结果,取最小值作为最终的匹配.

根据最终匹配值是否小于预先设定的阈值,即可判断出输入指纹和模板指纹是否为同一指纹.

#### 4 实验和结论

我们用上述方法对指纹采集器所采集到的指纹进行了实验.将采集到的指纹用本文所介绍的方法进行特征提取后存入指纹数据库中,将其与指纹库中的指纹图像进行匹配运算.实验结果表明,该算法能正确区分不同的指纹,而且运算时间少,效果令人满意.图3(a)是实际指纹图像经过预处理后的

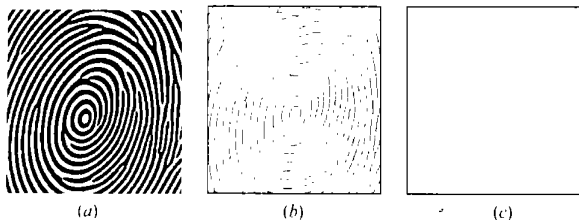


图3 实际指纹图像采样结果

二值图像;图3(b)是该二值图像的脊线图;图3(c)是用以上方法对图3(b)脊线图得出的采样结果.

本文提出了一种新的基于指纹脊线采样的指纹识别算法.该算法克服了传统指纹特征点算法对特征点的遗失和伪特征点引入敏感的缺点,并且通过对脊线的采样,使获得的指纹特征向量不仅包含指纹的局部特征,而且包含了指纹的全局特征,因而使更多的指纹信息得到利用,从而提高了指纹识别的准确性.通过对大量实际指纹图像进行实验证明了该方法的有效性和可靠性.

#### 参考文献:

- [1] A K Jain, L Hong, S R Bolle. An identity authentication system using fingerprint [J]. IEEE Proc., 1997, 85 (9): 1365 - 1388.
- [2] A K Jain, S Prabhakar, L Hong. Filterbank-based fingerprint matching [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 2000, 22 (5): 846 - 859.
- [3] D Maio, D Maltoni. Direct gray-scale minutiae detection in fingerprints [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1997, 19 (1): 27 - 39.
- [4] A K Jain, S Prabhakar, L Hong. A multichannel approach to fingerprint classification [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1999, 21 (4): 348 - 359.
- [5] X D Jiang, W Y Yau, Wee Ser. Detecting the fingerprint minutiae by adaptive tracking the gray-level ridge [J]. Pattern Recognition, 2001, 34: 999 - 1013.
- [6] Lin Hong, Yifei Wan, Anil Jain. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1998, 20 (8): 777 - 789.
- [7] Piotr S. Windyga. Fast impulsive noise removal [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 2001, 23 (1): 78 - 91.
- [8] 陈松灿, 伍艳莲. 模糊识别方法研究与实现 [J]. 电子学报, 2000, 28 (11): 50 - 54.

#### 作者简介:



解 梅 女, 1955 年 12 月生于北京市, 1982 年 2 月毕业于成都电讯工程学院雷达专业, 1992 年和 1996 年在电子科技大学电子工程学院分别获硕士和博士学位, 1997.7 - 1998.7 在香港大学电子工程系从事博士后研究工作, 1998.7 - 1999.7 在美国德克萨斯大学电子工程系从事博士后研究工作, 现为电子科技大学电子工程学院教授, 博导, 目前主要研究领域为图像处理、计算机网络、移动通信.

佟 异 男, 1971 年生于辽宁省丹东市, 1993 年 7 月本科毕业于电子科技大学自动控制专业, 2002 年 3 月在电子科技大学信号与信息处理专业获硕士学位, 目前在深圳图敏实业有限公司工作, 主要从事图像处理方面的技术工作.