

一种指纹宏观曲率特征提取算法

张 雄, 贺贵明

(武汉大学软件工程国家重点实验室, 湖北武汉 430072)

摘 要: 在自动指纹识别系统中, 如何有效的利用大量的指纹脊线弯曲信息是个重要问题. 本文提出了一种新算法, 通过综合邻近几条指纹脊线的信息, 求出了一种能反映指纹宏观弯曲规律的特征. 实验结果表明, 该算法提取出的特征清楚地描述了指纹脊线的弯曲规律, 同时对噪声不敏感, 可作为指纹识别的辅助特征.

关键词: 指纹识别; 特征; 特征提取; 曲率

中图分类号: TP391. 41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 11-1722-04

An Algorithm to Extract the Macroscopic Curvature Feature of Fingerprint

ZHANG Xiong, HE Gui-ming

(The State Key Lab of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China)

Abstract: In the Automatic Fingerprint Identification System (AFIS), we face the fact how to effectively use the huge curve information of fingerprint to describe fingerprint. This article proposes a novel algorithm; it embraces information of few fingerprint ridges nearby to extract a new characteristic which can describe the curvature feature of fingerprint. Experimental results show the algorithm is feasible, and the characteristics extracted by it can clearly show the inner macroscopic curve properties of fingerprint image and can be used for fingerprint verification as a supplement to the customary minutiae. The result also shows that this kind of characteristic is robust to noise and pollution.

Key words: fingerprint recognition; minutiae; feature extraction; curvature

1 引言

和传统认证技术相比, 以指纹作为身份认证具有明显的优点^[1, 2]. 在自动指纹识别系统 (AFIS) 中, 是通过比较两幅指纹图像的特征是否匹配来进行身份验证的. 常用的特征是指纹脊线上的特征点 (包括端点和分叉). 此外, 指纹脊线的弯曲也含有大量信息, 目前, 人们对这种弯曲信息的研究和利用主要集中在两个方面: 一种是将特征点处的局部方向作为特征点的一个描述^[2-5]; 另一种是求出由指纹脊线的局部方向组成的方向场, 通过比较两幅指纹图的方向场的异同来进行指纹识别^[6, 7]. 前一种对指纹特征的描述时只是使用了特征点的局部方向信息, 丢弃了绝大多数方向信息. 后一种方法虽然使用了指纹图像全局的方向信息, 但是对这些信息的使用只是局部信息的简单求和, 而没有在更高层次上分析这些信息的联系和内涵, 并且仅根据局部的方向信息来进行判决, 易于受到噪声的影响而产生误判. 我们观察发现, 虽然每一条单独的指纹曲线的弯曲是很不规则的并且存在着不连续和分叉, 但相邻的几条指纹曲线组成的弯曲带的曲率变化却是有规律可寻的. 它对单段指纹曲线的曲率突变不敏感, 但能反映这个带内所有脊线的共同弯曲特征. 同时, 不同的指纹带一起反映

了整个指纹的宏观弯曲性质. 上面两种方法都没对这点进行研究. 本算法的目的就是搜索出这些弯曲带, 并提取其宏观曲率特征, 作为指纹的一个特征描述. 进而可以利用这种新特征作为常用的细节特征的补充提高指纹的识别效率; 或用于指纹图像的初匹配, 从而减少进行指纹匹配搜索的样本范围, 提高 AFIS 的速度.

本文介绍的算法, 分为选择兴趣区域、脊跟踪、曲线拟合、取特征几步.

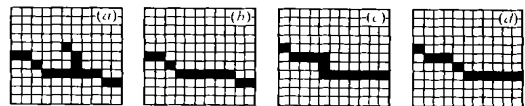


图 1 细化的指纹脊线

(a)、(c) 是处理前的, 分别带有小分叉和剧烈折角;

(b)、(d) 是处理后的, 去掉了小分叉和剧烈折角

本算法是在经过瘦化的二值指纹图像上进行的, 瘦化过的指纹图像的脊具有一个像素的宽度, 去除了短的分叉, 并且在破坏脊线连续的情况下去除了剧烈的折角. 如图 1 所示.

2 选择兴趣区域

指纹图像中心点 (center) 的下方是大量不同方向指纹脊

线交汇的地方.不同类别的指纹图像其脊和谷的走势差别很大^[8,9],很难统一比较.而在指纹图像中心点以上的部分,不同的指纹图像都是呈现类似同心圆弧的结构,这种近似统一的结构便于算法实现和结果的比较.所以,在这个地方选择将处理的兴趣区域.选择如图 2 所示的矩形区域为下一步处理的兴趣区域, O 点既是指纹图像的中心点(center),也是线段 AD 的中点.

3 脊跟踪

脊跟踪算法是本算法的关键.它的目的在于选择出由几条相邻脊曲线组成的一个指纹带,然后在后面的算法中对这个指纹带处理.传统的基于四邻域或八邻域的区域搜索方法,是一种在各个方向以步长为一的搜索,在用于指纹脊线跟踪时效率低,不适合实时指纹验证,下面的算法克服了上述缺点.

设 I 是经过瘦化的二进制图像, $t(x, y)$ 是图像 I 在点 (x, y) 处的取值.设 $t_0(i, j)$ 是搜索的开始点, k 是点 $t(i, j)$ 的局部方向 ($k = 0, 1, 2, \dots, 7$), 如图 3 所示.在开始讨论之前,作如下定义:



图 2

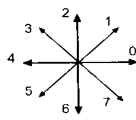


图 3

定义 1 正向搜索 如图 4(a) 所示.

定义 2 反向搜索 如图 4(b) 所示.

定义 3 沿方向 k 的搜索 如图 4(c)、(d).指在区域 $G_k(i, j)$ 内搜索满足 $t(x, y) = 1$ 的点,其中 $G_0(i, j) = \{t(i+5, j-2), t(i+5, j-1), t(i+5, j), t(i+5, j+1), t(i+5, j+2)\}$, $G_1(i, j) = \{t(i+5, j+2), t(i+4, j+3), t(i+3, j+4), t(i+2, j+5)\}$, 其余六个区域和 $G_0(i, j)$ 、 $G_1(i, j)$ 对称.

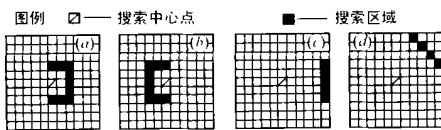


图 4 (a) 正向搜索; (b) 反向搜索; (c) 沿方向 0 搜索; (d) 沿方向 1 搜索

在进行上述定义之后,就可以开始本算法.初始条件为令 M 表示搜索的次数,初始化为 1.队列 P 存放搜索到的脊上的点.

Step1:判断 $M > 3$ 是否成立,若成立,则终止算法;若不成立,在沿 OAB 路径的邻域内选择第一条未被搜索过的脊线上的点,作为搜索开始点 t_0 .

Step1 用来控制算法的执行次数,这里设 M 为 3 表示选取相邻的三条脊线作为一个指纹带.

Step2:以 t_0 作为中心点正向搜索指纹图像脊上的点.搜索到的点记为 D_1, D_2, \dots, D_N .对于 $N > 1$ 的情况,可以通过下面 4 介绍的邻域中多个点的合并规则,选取其中最能代表真实信息的点,将其转化为 $N = 1$ 或 $N = 2$ 的情况.因此,根据 N

的不同,有下列三种情况:

Case1 如果 $N = 1$,表明只搜索到这条脊线上下一个点,这时候则令 $t_0 = D_1$,返回到 Step2 继续搜索.

Case2 如果 $N = 2$,这对应着搜索到了分叉点的情况.这时分别以 D_1 和 D_2 为中心做一步反向搜索.通过这步反向搜索来区分分叉是前向分叉还是后向分叉,若反向搜索得到的点组成一个区域,说明分叉是前向分叉,否则是后向分叉.对于前向分叉,本算法将搜索分为两支,原来的一个正向搜索进程转变为沿着这两个分叉的两个正向搜索进程.对于后向分叉,也将搜索分为两支,一支继续正向搜索,另一支则沿着向后的分叉反向搜索.

Case3 如果 $N = 0$,表明没有搜索到下一个点.这时遇到的可能是末梢点,也可能是由于脊曲线的不连续的假末梢点.为了不因不连续的假末梢点而阻碍搜索进程,本算法进行沿当前指纹脊线方向 k 的搜索.这样,一方面加大了搜索的距离(由 2 个像数距离增大为 5 个像数距离),便于跳过脊线上的小的不连续.另一方面为了避免搜索到不属于本条指纹脊线的像素点,采用了当前搜索中心点的方向信息对搜索邻域进行了限制.

对每个搜索进程如果遇到了下列条件之一,则终止本次搜索:

- Condition1 :遇到了如 Case3 中的末梢点.
- Condition2 :搜索遇到了矩形框 $ABCD$ 的边界.

4 邻域中多个点的合并规则

本规则用来根据不同情况(如图 5 所示)合并搜索到的多个点,以便于脊跟踪算法用来判断搜索是否遇到了分叉.

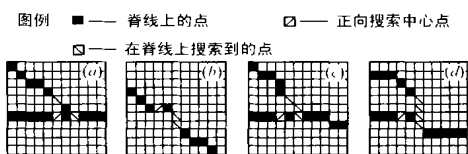


图 5 在邻域中搜索到了多个点的情况
(a) 搜索到了两个不相邻的点; (b) 搜索到了两个相邻的点;
(c)、(d) 搜索到了多于两个点

规则 1 若在点 P 的正向搜索(反向搜索)邻域中,只找到两个点 D_1 和 D_2 ,且这两个点在搜索邻域内是不相邻的,那么这两个点就是要寻找的点.

规则 2 若在点 P 的正向搜索(反向搜索)邻域中,找到两个点 D_1 和 D_2 ,并且这两个点在搜索邻域内是相邻的,则将这两个点中的任一个删除,将剩下的一个作为 D_1 .

规则 3 若在点 P 的正向搜索(反向搜索)邻域中,找到多于两个点.不论这些点在搜索邻域内是相邻的还是不相邻的,都选取其中距离最远的两个点作为 D_1 和 D_2 ,其余的点丢弃.

5 脊线的拟合和最大曲率的求取

目的是用一条曲线拟合上面搜索到的多条脊线中的点,然后提取这条曲线的特征.

5.1 求脊线拟合方程

对上面的队列 P 中的点,采用最小二乘原理进行曲线拟合.我们的目的是求最大曲率的位置,因此,选择具有变化曲率的函数如多项式函数、样条等作为基函数.为了处理曲线局部方向和坐标轴垂直的情况,可采用极坐标或对直角坐标旋转.

5.2 求最大曲率点

对上面求得的具有变化曲率曲线,可以很容易求得其最大曲率位置,这里不再细述.最大曲率位置 u_k 对应的点 z_k ,即一次本算法得到的特征点.该特征点可描述为一个三元组 $P(x, y, \theta)$. x, y 是特征点 P 的直角坐标, θ 是 P 点的方向.

6 实验结果和讨论

利用电容式的指纹输入设备得到 300×300 的图像,然后进行去除系统误差、滤波增强、二指化、细化处理.在这个基础上执行本算法.

图 6 是一次算法执行的结果,图 6(a) 是一次脊跟踪算法搜索到的一组脊线,图 6(b) 是对这组脊线进行曲线拟合和求特征点和特征方向



图 6 一次算法执行结果

的结果(标在包含这组脊线的指纹带上).

图 7(a) - (d) 显示了本算法在不同指纹图像上提取出的指纹特征.每个特征点显示了附近几条指纹图像的最大弯曲位置和方向.图 7(e)、(f) 是图 7(d)、(c) 中特征点的连线轨迹,清楚地显示了各个指纹带的最大弯曲位置的变化趋势,和人对各圈指纹脊线的弯曲变化的主观感觉吻合得很好.这表明了本文提取这种特征表现了指纹的宏观弯曲特性和指纹图像内在属性.



图 7 (a) - (d) 为提取出的指纹特征,

(e)、(f) 分别是 (d)、(c) 中特征点的轨迹

因为指纹图像会受到各种干扰,我们对这种特征的抗噪声性能进行了研究.选取 50 幅实验室采取的中等质量的指纹图像,用两种强度的 Gaussian 噪声对其作污染.一种是均值 $M=0$,方差 $V=0.05$;一种是均值 $M=0$,方差 $V=0.10$.对原始图像和污染的图像,分别利用文献[5]的算法对其提取传统特

征(末梢点和分叉点),同时利用本文的算法对其提取特征.表 1 表示了文献[5]提取的传统特征的错误率和噪声的关系.这里错误率 p 用公式: $p = (M_1 + M_2) / M_0$ 计算.其中 M_1 是错误的特征数目,由类型错误的特征和假特征两部分组成. M_2 是遗漏的特征. M_0 是算法提取出来的正确的特征.由表 1 可见,传统特征对噪声很敏感,在噪声增加的情况下,特征的错误率大幅度提高,导致算法对指纹的验证失败.图 8 表示了本算法执行的结果,在噪声方差为 0.05 时特征基本不受影响,对于在噪声方差为 0.10 的强噪声,有一些特征点的位置发生了变化,但是变化后的位置仍处在原始图像的特征轨迹线上(图中白线),这是因为噪声的增加使得细化的指纹脊线的分叉点和末梢点的位置变化很大,但是脊线的弯曲趋势基本不变,所以算法提取出的特征仍较好地显示了脊线带的宏观弯曲性质.



图 8 特征和噪声的关系

(a)、(b)、(c) 是分别在无噪声、噪声 $V=0.05$ 、 $V=0.1$ 下文献[5]提取出的传统特征(·);

(d)、(e)、(f) 是分别在无噪声、噪声 $V=0.05$ 、 $V=0.10$ 下本算法特提取出的特征(·)

表 1

	原始图像	污染图像 ($D=0.05$)	污染图像 ($D=0.10$)
正确特征数	1890	1462	943
错误特征数	381	674	1219
遗漏特征数	29	155	147
错误率 (%)	21.7	56.7	144.9

实验结果表明,本算法求得的特征反映了指纹脊线的弯曲变化特性,同时对噪声不敏感.这种特征可以作为传统指纹特征的一个补充提高指纹的识别效率,也可以用来进行指纹图像的初选,大大减少利用传统特征进行匹配搜索的样本范围,提高 AFIS 的速度.

参考文献:

- [1] 孙冬梅,裘正定. 生物特征识别技术综述[J]. 电子学报, 2001, 29(12):1744 - 1748.
- [2] Hong L, Jain A. Integrating faces and fingerprints for personal identification[J]. IEEE Trans. PAMI, 1998, 20(12):95 - 107.
- [3] 漆远,田捷,邓翔. 基于遗传算法的指纹图点匹配算法及应用[J]. 软件学报, 2000, 11(4):488 - 493.
- [4] 洪波,荣钢,黄韬. 一种基于遗传算法的指纹比对算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001, 2(3):93 - 96.
- [5] Jain A, Hong L, Bolle R. On-line fingerprint verification [J]. IEEE Trans. PAMI, 1997, 19(4):302 - 314.
- [6] Bahuguna R. Fingerprint verification using hologram matched filterings [A]. Proc. Biometric Consortium Eighth Meeting [C]. San Jose, CA: June 1996.
- [7] Gold S, Rangarajan A. A graduated assignment algorithm for graph matching[J]. IEEE Trans. PAMI, 1996, 18(4):377 - 388.
- [8] Senior A. A combination fingerprint classifier[J]. IEEE Trans. PAMI, 2001, 23(10):1165 - 1174.
- [9] Karu K, Jain A. Fingerprint classification [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(3):389 - 404.

作者简介:



张 雄 男, 1975 年 12 月生于山西大同, 2000 获武汉大学硕士学位, 现是武汉大学软件工程国家重点实验室博士生, 研究领域: 机器视觉、图形图像处理、信息安全. Email: hearinsnow@163.com



贺贵明 男, 1946 年 7 月生于湖北浠水县, 教授, 博士生导师, 在武汉大学软件工程国家重点实验室工作, 研究领域为数字图像处理、视音频技术、计算机网络与通信等.