

# 自动指纹识别系统中连续分布方向图的研究

聂桂军 吴 陈

(江苏科技大学 电子信息工程学院, 镇江 212003)

**摘 要** 方向图(场)(directional image/field)是自动指纹识别中的一项关键技术,为了进一步提高指纹方向图的精确度,提出了指纹连续分布方向图(场)的概念及其算法。该算法是利用直方图滤波技术对指纹点方向图进行滤波处理,得到连续分布方向图。实践证明这种连续分布方向图过渡平滑、自然,既具有很好的连续性、渐变性和抗噪性,又具有极高的精确度,还兼有指纹点方向图的连续过渡性和块方向图的抗噪性优点。实验结果表明,由于连续分布方向图能更精确地反映指纹脊线的结构特征,且能有效地解决指纹图像方向图的连续过渡性、精确性和抗噪性问题,因而为自动指纹识别系统(AFIS)中高精度的指纹图像增强、二值化、全局特征的提取、自动分类、模板匹配、指纹图像编码等许多关键处理步骤奠定了良好的基础。

**关键词** 生物识别技术 自动指纹识别系统 连续分布方向图 指纹图像预处理 去噪

**中图法分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)03-0315-04

## Studies on Continuously Distributed Directional Image in Automated Fingerprint Identification System

NIE Gui-jun, WU Chen

(School of Electronics and Information Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003)

**Abstract** Fingerprint directional image/field is a key technique of automated fingerprint identification system (AFIS). In order to improve the accuracy of fingerprint directional image further, combining the advantage of the continuity of the point directional image with the advantage of the robustness of the block directional image to the noises in the fingerprint image, a novel concept on the continuously distributed directional image/field (CDDF) and the method to compute it in the fingerprint images are developed, which transits smoothly and exhibits not only good continuity, well gradualness and excellent robustness to the noises, but very high precision, also. Therefore, it can effectively overcome the defect of low robustness to the noises of the point directional image and the weakness of low precision of the block directional image of the fingerprint image. The experimental results prove that the continuously distributed directional image can not only filter the noises in point directional image, but also represent the basic structural feature of fingerprint more precisely. Furthermore, it can solve the key problem of the continuity, the precision and the performance of robustness of fingerprint directional fields effectively, and lays the base for high precision of fingerprint image enhancement, binarization, global feature extraction, automatic classification, template matching and image encoding in AFIS.

**Keywords** biometrics, automated fingerprint identification system (AFIS), continuously distributed directional image/field (CDDF), preprocessing of fingerprint image, noise cleaning

## 1 引 言

随着经济全球化和信息技术的飞速发展,当今世

界电子化、信息化的程度日益提高,信息安全问题越来越受到重视,对高效的自动身份识别系统的要求更加迫切<sup>[1,2]</sup>。由于指纹具有普遍性、唯一性、永久性(终生不变性)、可采集性、无法复制、不会丢失、不会

基金项目:江苏省教育厅自然科学基金项目(院编 2002316)

收稿日期:2004-01-15;改回日期:2004-10-12

第一作者简介:聂桂军(1966~),男,工程师,1988年毕业于南京农业大学植物保护专业,获农学学士学位,现为江苏科技大学计算机应用技术专业硕士研究生。研究方向为智能信息处理、图像处理与模式识别、以指纹为代表的生物特征识别技术及软件开发。E-mail: nieguijun@sina.com

被遗忘和使用方便等突出优点<sup>[2,3]</sup>,因而,自动指纹识别系统(automated fingerprint identification system, AFIS)已成为当前一个重要的研究课题,有着非常广阔的应用前景<sup>[1-3]</sup>。由于指纹方向图(场)抽象了指纹脊线与谷线交替平行分布的本质特征,并反映了指纹图像纹理结构的本质,因此既具有真实性、渐变性(连续性)、抽象性等特点,又能以简化的形式直观地反映指纹图像最本质的形态特征,正是由于方向图的精确度在很大程度上决定了自动指纹识别系统的精确度,所以在自动指纹识别系统中,方向图(场)具有特别重要的研究价值<sup>[4-16]</sup>,已经被公认为是自动指纹识别中的一项关键技术。

近年来,指纹的方向图一直是国内外从事指纹识别学者研究的热点之一<sup>[2,4-16]</sup>,方向图分为点方向图(point directional image/field)和块方向图(block directional image/field)两种<sup>[4,5]</sup>,其中点方向图是连续变化的,类似“连续函数”,具有连续性和渐变性,其相邻像素点的方向虽过渡自然,但含有很多噪声,由于其对噪声的鲁棒性差,因此不能完全反映指纹脊线的真实走向;而块方向图由于能很好地去除噪声,所以,在实际应用中,往往使用块方向图,而很少直接使用点方向图,但是,由于块方向图的变化是分块(区)连续的,类似于“分段函数”,且在脊线方向改变的临界区域,块方向图的误差很大,致使块方向图整体过渡性差,精确度不高,因而,块方向的过渡也不能精确地反映指纹脊线的真实走向。本文提出了指纹连续分布方向图(场)的概念及其算法,这种连续分布方向图兼有指纹点方向图的连续过渡性和块方向图的抗噪性优点,因而能有效提高自动指纹识别系统的性能。

## 2 指纹连续分布方向图的计算步骤

### 2.1 计算点方向图

把指纹脊线的走向分为 8 个方向<sup>[6]</sup>(如图 1 和图 2 所示),其基准点位于方向模板的中心,从水平位置开始,按逆时针方向,每隔  $\pi/8$  确定一个方向  $i$ ,其可用数字  $0, 1, 2, \dots, 7$  来表示,此方法计算的方向角范围是  $[0, \pi)$ 。

具体计算步骤如下:

(1) 对指纹图像中的每一点  $P(x, y)$ ,在以该点为中心的  $9 \times 9$  大小的窗口内,分别计算 8 个方向上的灰度平均值,即对图 2 中标有数字  $i (i = 0, 1, 2, \dots, 7; \text{分别代表 } 8 \text{ 个方向})$  位置的像素灰度值求平

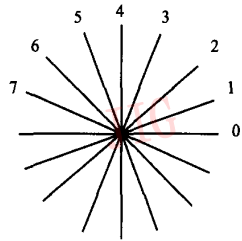


图 1 在每个像素处的 8 个方向

Fig. 1 The eight ridge directions of a pixel

6	5	4	3	2		
7	6	5	4	3	2	1
0	0	0	0	0		
1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6		

图 2 8 个方向的  $9 \times 9$  方向模板

Fig. 2 The  $9 \times 9$  template of the eight directions

均,首先得到 8 个方向的灰度平均值  $\bar{G}_i$ ;

(2) 将这 8 个平均值按两两垂直的方向分成 4 组:0 和 4 为一组,1 和 5 为一组,2 和 6 为一组,3 和 7 为一组,再分别计算每组中两个灰度平均值差的绝对值

$$\Delta G_i = |\bar{G}_i - \bar{G}_{i+4}| \quad (1)$$

其中,  $i$  为脊线方向 ( $i = 0, 1, 2, 3$ );

(3) 取灰度平均值差的绝对值最大的一组中的两个方向作为可能的脊线方向,即若

$$i_{\max} = \text{ord}(\text{Max}_{i=0}^3 \Delta G_i) \quad (2)$$

其中,  $\text{ord}(A_i) = i, \text{ord}()$  为取数组(向量)  $A$  的元素  $A_i$  的下标(序号)  $i$  的函数。则方向  $i_{\max}$  和  $i_{\max} + 4$  为像素  $P(x, y)$  处可能的脊线方向;

(4) 取  $i_{\max}$  和  $i_{\max} + 4$  两个方向中像素灰度平均值与像素  $P(x, y)$  的灰度值  $G$  比较接近的方向,作为像素点  $P(x, y)$  的脊线方向

$$D(x, y) = \begin{cases} i_{\max} & \text{若 } |G - \bar{G}_{i_{\max}}| < |G - \bar{G}_{i_{\max}+4}| \\ i_{\max} + 4 & \text{否则} \end{cases} \quad (3)$$

以此方法分别对指纹图像中每一个像素点进行处理,便可得到指纹的点方向图  $D(x, y)$ 。

### 2.2 计算连续分布方向图

在计算出指纹的点方向图  $D(x, y)$  后,再采用连

续滑动的  $w \times w$  大小的窗口(模板)来对点方向图  $D(x,y)$  进行平滑处理,本文取  $17 \times 17$  pixels 的平滑窗口(即  $w=17$ ,  $w$  的取值为—脊—谷的宽度之和,其由指纹脊线的周期决定)来对点方向图中每一点  $P(x,y)$  进行平滑,即在以此点为中心的  $w \times w$  大小的窗口范围内进行方向直方图统计,具体做法如下:

- (1) 分别统计该  $w \times w$  大小的窗口内方向值为  $i$  ( $i=0,1,2,\dots,7$ , 分别代表 8 个方向)的像素个数  $N_i$ ;
- (2) 把方向直方图中峰值所对应的方向(即  $w \times w$  大小的窗口内方向统计数最大的一个方向)作为点  $P(x,y)$  的方向,即

$$O(x,y) = \text{ord}(\text{Max}_{i=0}^7(N_i)) \quad (4)$$

其中,  $\text{ord}(A_i) = i$ ,  $\text{ord}()$  为取数组(向量)  $A$  的元素  $A_i$  的下标(序号)  $i$  的函数。

以此方法分别对点方向图  $D(x,y)$  中的每一点进行平滑处理,便可得到平滑点方向图  $O(x,y)$ ,为了与传统的点方向图和块方向图相区别,本文定义这种平滑点方向图为指纹的连续分布方向图(场)(continuously distributed directional image/field, CDDF)。

### 3 实验结果与分析

为了验证上述算法的有效性,本文在微机上,用

Visual C#. NET 实现了上述算法,并在江苏科技大学指纹库上进行了实验测试。该指纹库是用上海同济斯玛特识别技术有限公司生产的光学指纹采集仪所采集,分辨率为 450dpi,图像尺寸为  $248 \times 292$  pixels, 256 级灰度图像。该库共包含 4 000 幅各种类型的指纹图像,来自 500 个不同手指,男女各占 50%,每个手指取 8 幅图像,采集时允许任意角度的指纹旋转。现从实验结果中选择常见的拱型(arch)、尖拱型(tented arch)、左旋型(left loop)、右旋型(right loop)、双旋型(twin loop)和漩涡型(whorl)各一幅具有代表性的指纹列于文中(如图 3 所示),这 6 幅指纹的点方向图、块方向图和连续分布方向图分别如图版 I 中图 1~图 4 所示,图中用不同的颜色分别表示 0~7 等 8 个不同方向值的区域,其中

- 灰色:表示方向值 0(0 rad);
- 黑色:表示方向值 1( $\pi/8$  rad);
- 红色:表示方向值 2( $2\pi/8$  rad);
- 绿色:表示方向值 3( $3\pi/8$  rad);
- 蓝色:表示方向值 4( $4\pi/8$  rad);
- 黄色:表示方向值 5( $5\pi/8$  rad);
- 青色:表示方向值 6( $6\pi/8$  rad);
- 紫色:表示方向值 7( $7\pi/8$  rad);
- 白色:表示背景(无方向)。



图 3 6 种类型原指纹图像

Fig. 3 The original fingerprint images of the six categories

为了进一步验证本文所提出的连续分布方向图的性能,本文将连续分布方向图应用于指纹奇异点(singularity)检测中(Poincare index 法<sup>[15,16]</sup>),并对江苏科技大学指纹库的 4000 幅各种类型的指纹图像进行了实验测试,其部分奇异点检测结果如图 4 所示,其中白色圆圈的中心点为核心点(core point),白色正方形的中心点为三角点(delta point)。

本文的实验结果表明,该算法能够在像素级水平精确定位指纹奇异点(核心点和三角点),精确度达到一个像素,这与传统的使用块方向图的指纹奇异点检测算法(Poincare index 法)<sup>[16]</sup>相比,不仅极大地提高了奇异点检测的精确度和可靠度,即使对低质量指纹图像也具有很好的鲁棒性,而且本文方法不需要对所提取的奇异点进行后处理。



图 4 图 3 指纹的奇异点检测结果

Fig. 4 The singularities detected from the fingerprints of fig. 3

分析上述实验结果可得如下结论:

(1) 指纹点方向图(如图版 I 图 1 所示)是连续变化的,即具有连续性和渐变性,其相邻像素点的方向虽过渡自然,但由于含有很多噪声,且对噪声的鲁棒性差,因而不能完全反映指纹脊线的真实走向,之所以不能直接使用,这是由于原指纹图像含有大量的随机噪声所致。

(2) 指纹块方向图(如图版 I 图 2 所示)能很好地去掉噪声,但是,在脊线方向改变的临界区域(如图版 I 图 2 (d)中黄色与蓝色的边界折线所示),其块方向过渡呈“锯齿”状“跃变”,这与指纹脊线的真实走向不符。这是由于块方向图是用块与块之间彼此不重叠的  $w \times w$  大小的窗口来计算的(即把点方向图分为  $w \times w$  大小的离散块来计算),因而块方向图的变化是分块(区)连续的,由于这样求出的块方向图仅由该块所包含的像素点的信息所决定,而没有考虑其周围相邻块中像素点信息的影响,因此会造

成临界区域方向的不连续性,以致块方向的过渡不能完全精确地反映指纹脊线的真实走向。

(3) 指纹连续分布方向图(如图版 I 中图 4 所示),不仅具有很好的连续性、渐变性和抗噪性,同时又具有较高的精确度,其在脊线方向改变的临界区域(如图版 I 图 4 (d)中黄色与蓝色之间的光滑连续边界曲线所示)方向的过渡平滑、自然,符合脊线的真实走向,可见它既克服了点方向图抗噪性差的缺点,又克服了块方向图临界区域非自然过渡(呈“锯齿”状跃变的折线)的缺点。

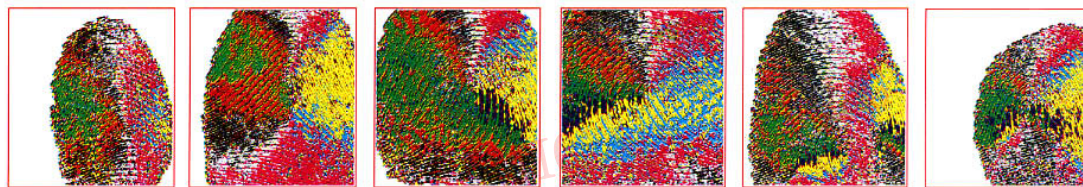
## 4 结 论

由于指纹图像本质上属于纹理图像模式范畴,它的纹理性和方向性很强,因此自动指纹识别系统的研究,必须紧密结合指纹图像纹理结构特征来进行。由于指纹方向图抽象了指纹脊线与谷线交替平

行分布的最本质特征,即反映了指纹图像纹理结构的本质,且自动指纹识别系统的精确度在很大程度上由方向图的精确度来决定,因此指纹方向图是自动指纹识别中的一项关键技术。实验表明,本文提出的连续分布方向图不仅能更好地反映指纹脊线的走势特征,而且有利于解决指纹图像方向图的连续过渡性、抗噪性和精确性问题,因而能有效提高自动指纹识别系统的性能。

### 参考文献 (References)

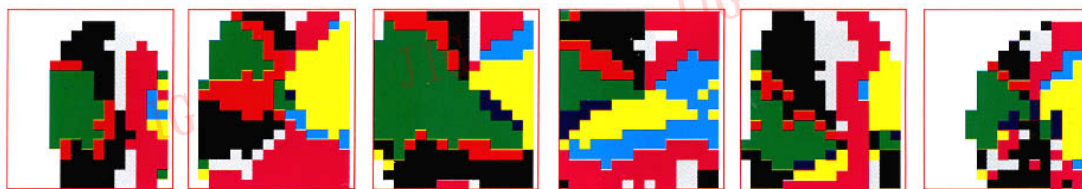
- Jain A K. An overview of biometrics [EB/OL]. <http://biometrics.cse.msu.edu/infor.html/1999-07-20>.
- Jain A K, Hong L, Bolle R. On-line fingerprint verification [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, 19(4): 302 ~ 314.
- Pankanti S, Prabhakar S, Jain A K. On the individuality of fingerprints [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(8): 1010 ~ 1025.
- Mehre B M, Chatterjee B. Segmentation of fingerprint image—A composite method [J]. *Pattern Recognition*, 1989, 22(4): 381 ~ 385.
- Rao A R. A taxonomy for texture description and identification [M]. New York: Springer Verlag, 1990.
- Luo Xi-ping, Tian Jie. Image enhancement and minutiae matching algorithms in automated fingerprint identification system [J]. *Journal of Software*, 2002, 13(5): 946 ~ 956 (in Chinese with English abstract). [罗希平, 田捷. 自动指纹识别中的图像增强和细节匹配算法 [J]. *软件学报*, 2002, 13(5): 946 ~ 956.]
- Wang Sen, Zhang Wei-wei, Wang Yang-sheng. Fingerprint classification by directional fields [A]. In: *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Multimodal Interfaces 2002 (ICMI '02) [C]*, Pittsburgh, Penn., USA, 2002: 395 ~ 398.
- Hong L, Jain A K, Pankanti S, *et al.* Fingerprint enhancement [A]. In: *Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision [C]*, Sarasota, Florida, USA, 1996: 202 ~ 207.
- Zhang Wei-wei, Wang Yang-sheng. Singular point detection in fingerprint image [A]. In: *Proceedings of the 5th Asian Conference on Computer Vision [C]*, Melbourne, Australia, 2002: 793 ~ 796.
- Cappelli R, Lumini A, Maio D, *et al.* Fingerprint classification by directional image partitioning [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(5): 402 ~ 421.
- Huang Xian-wu, Su Peng-cheng, Bai Pei-quan. Algorithms for an automatic fingerprint identification system based on oriented filtering and segmentation [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, 7(8): 829 ~ 834. [黄贤武, 苏鹏程, 柏培权. 基于方向滤波分割的指纹自动识别系统算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2002, 7(8): 829 ~ 834.]
- Ma Xiao-xiao, Huang Xi-yue, Zhou Xin, *et al.* A key technology in automatic fingerprint identification system: directional image [J]. *Journal of Chongqing University (natural science edition)*, 2001, 24(3): 91 ~ 94. [马笑潇, 黄席越, 周欣等. 指纹自动识别系统中的关键技术—方向图 [J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2001, 24(3): 91 ~ 94.]
- Zhang Chao-ming, Liu Yun-chao. Implementation of fingerprint continuous classification by GA [J]. *Computer Applications*, 2001, 21(3): 31 ~ 33. [张朝鸣, 刘运超. 指纹连续分类基于遗传算法的实现 [J]. *计算机应用*, 2001, 21(3): 31 ~ 33.]
- Feng Xing-kui, Xiao Xing-ming, Yin Hong-jun. The directional medial filtering with weights [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2000, 5(7): 609 ~ 611. [冯星奎, 肖兴明, 尹洪君. 方向加权中值滤波算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2000, 5(7): 609 ~ 611.]
- Kawagoe M, Tojo A. Fingerprint pattern classification [J]. *Pattern Recognition*, 1984, 17(3): 295 ~ 303.
- Hong L. Automatic personal identification using fingerprints [D]. Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA, 1998.



(a) 拱型 (b) 尖拱型 (c) 左旋型 (d) 右旋型 (e) 双旋型 (f) 漩涡型

图1 6种类型指纹图像的点方向图

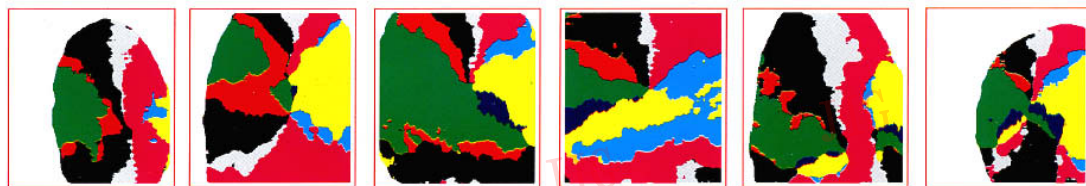
Fig.1 The point directional images of the fingerprints



(a) 拱型 (b) 尖拱型 (c) 左旋型 (d) 右旋型 (e) 双旋型 (f) 漩涡型

图2 6种类型指纹图像的块方向图

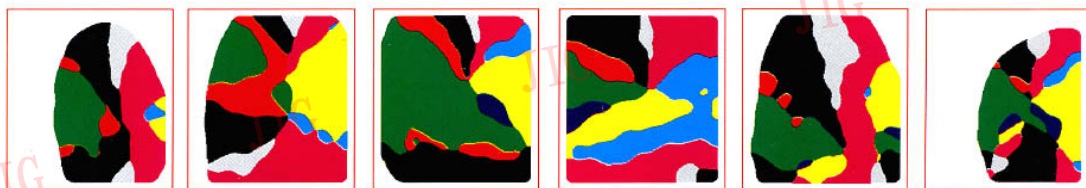
Fig.2 The block directional images of the fingerprints



(a) 拱型 (b) 尖拱型 (c) 左旋型 (d) 右旋型 (e) 双旋型 (f) 漩涡型

图3 6种类型指纹图像的连续分布方向图(经过1次平滑)

Fig.3 The continuously distributed directional images(After 1 time's smoothing)



(a) 拱型 (b) 尖拱型 (c) 左旋型 (d) 右旋型 (e) 双旋型 (f) 漩涡型

图4 6种类型指纹图像的连续分布方向图(经过3次平滑)

Fig.4 The continuously distributed directional images(After 3 time's smoothing)