

文章编号:1000-582x(2001)03-0091-04

指纹自动识别系统中的关键技术—方向图

马笑潇, 黄席樾, 周欣, 黎昱, 刘涛

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

摘要: 指纹方向图具有真实性、渐变性、抽象性的特点,能以简化的形式直观地反映指纹图象最基本的形态特征,因此在指纹自动识别系统中具有重要的研究价值。目前方向图已被广泛应用于指纹图象增强、纹型特征的提取、指纹的自动分类、方向模板匹配、编码重构等许多关键处理环节,特别是以指纹方向图为基础构建的 Gabor 滤波器进行指纹的沿纹线方向滤波,收到了非常好的滤波效果。笔者系统地介绍了近年来发展起来的求取指纹方向图的方法,对其时间快速性和对噪声的鲁棒性进行了比较,提出了每种方法进一步改进的思路。最后对方向图在指纹自动识别系统中的典型应用作了分析,指出了进一步的研究方向。

关键词: 指纹方向图; 指纹自动识别系统; Gabor 滤波器

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A

指纹自动识别作为一个有较大难度的模式识别研究分支,其研究难点主要集中在如何对采集进来的各种有噪声图象进行滤波和增强^[1,2]、如何抽取指纹的全局和局部特征^[3]以及如何对在图象不能完全定位和图象可能发生扭曲变形情况下的特征匹配^[4]上。指纹图象从其图象本质上而言,属于纹理图象模式范畴^[3],研究指纹的自动识别问题必须紧密结合指纹图象纹理结构特征进行,采用局部的基于图象纹理特征的图象处理方法可以避免走很多弯路。由于指纹方向图抽象了指纹脊线与纹谷交错平行分布的特点,反映了指纹图象纹理结构的本质,已越来越受到人们的重视。指纹方向图已经被认为是解决指纹自动识别中的某些关键技术的一个重要途径^[1,2]。目前方向图最为成功的应用是用于构造 Gabor 滤波器进行沿指纹方向滤波,对采集的不确定性指纹进行图象增强^[2,5],此外,还被广泛用在指纹纹型特征的提取^[3,6]、指纹的分类^[3,6-8]、方向模板匹配^[5]、图象编码^[6]等许多处理环节。方向图之所以具有如此高的研究价值是因为其具有以下特点:

● **真实性** 指纹局部方向图真实地反映了指纹图象最本质的纹形特征,再现了指纹的中心花纹、外围包络线和根基线的形状和走势。

● **渐变性** 由于纹线具有缓变性的特点,求出的方向图也不可能发生走向的剧变,利用这一特性可以对在有噪声情况下求出的方向图进行平滑处理,从而可能获取低质量指纹图象的效果较好的方向图。

● **抽象性** 块方向图是对纹线形状的一种抽象的描述,因此使研究指纹的几何拓扑结构问题得以大大简化。

1 求取指纹方向图的方法

近年来,国内外不少研究指纹识别的学者在求取指纹方向图上已取得了不少成果。B. M. Mehre^[9]等人提出了一种基于邻域内方向模板上灰度统计特性的求取方向图的方法;A. R. Rao^[10]提出了一种利用梯度算子求取方向图的方法;Anil Jain^[1,2]等人对 Rao 的方法作了进一步的改进,采用了一种后处理平滑算法,并利用 Gabor 滤波器对频率和方向的选择性,实现了图象增强。M. M. S. Chong^[11]等人利用 B-样条曲线抽取指纹图象的几何框架并基于此进行指纹的分类。A. Tojo^[6]等人在分析了图象边缘 2×2 窗口对纹线局部方向的作用之后,提出了一种求块局部纹线平均方向的方法;黄席樾^[5,7]等通过对指纹图象方向基元集的定义和描述,对 A. Tojo 的方法给出了数学上的解

• 收稿日期:2000-09-05

作者简介:马笑潇(1975-),男,山东临沂人,重庆大学博士研究生。从事人工智能与模式识别、现代集成制造系统等的研究。

释,并针对平均方向计算公式抗噪能力较弱的缺点,提出了根据局部图象质量的不同采用不同的计算平均方向的自适应方法;北京大学^[12]通过对图象圆盘标准方向偏子集的定义和变差分析,提出了一种计算纹线方向图和不可定向图的方法。下面介绍几种效果较好的求取指纹方向图的方法。

1.1 邻域方向模板法

B. M. Mehre^[9]等人提出的邻域方向模板法按下式计算点方向图:

$$V_d = \sum_{m=1}^L |f(i, j) - f_d(i_m, j_m)|$$

则 $\theta_p(i, j) = d$, d 满足: $V_d = \min_{\substack{N-1 \\ d=0}}(V_i)$

式中 $f(i, j)$ 为点 (i, j) 的灰度值, $f_d(i_m, j_m)$ 为 d 方向上的第 m 点的灰度值, L 为选取的邻域大小,一般取 16。 N 是方向模板的方向数取 $N = 8$ 或 $N = 4$ 。

图象中每个象素的点方向求出以后,将图象分成 $w \times w$ 大小的块,对每一块计算方向模板的各标准方向统计直方图,直方图中的峰值方向即为该块的方向。

1.2 基于梯度算子的最小均方根法

A. R. Rao^[10]提出了一种利用梯度算子求取方向图的方法。该算法如下:

将图象以 $w \times w$ 的窗口划分成块,对每一块内的每个象素计算 x 轴和 y 轴方向上的偏微分量 $\partial_x(i, j)$ 和 $\partial_y(i, j)$ 。并按下式估算块平均方向:

$$g_x(i, j) = \sum_{u=-\frac{w}{2}}^{+\frac{w}{2}} \sum_{v=-\frac{w}{2}}^{+\frac{w}{2}} 2\partial_x(i, j) \cdot \partial_y(i, j)$$

$$g_y(i, j) = \sum_{u=-\frac{w}{2}}^{+\frac{w}{2}} \sum_{v=-\frac{w}{2}}^{+\frac{w}{2}} (\partial_x^2(i, j) - \partial_y^2(i, j))$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{g_x(i, j)}{g_y(i, j)} \right)$$

Anil Jain^[1,2]等人对 Rao 的方法作了进一步的改进,采用了一种后处理平滑算法,对求出的方向进行平滑处理。由于指纹纹线方向具有渐变性的特点,因此选择合适的低通滤波器是可以进行块方向的平滑滤波的。

1.3 基于方向基元集描述的求取方向图的方法

黄席樾^[5]等通过对指纹图象方向基元集的定义和描述,对 A. Tojo^[6]的方法作了进一步的改进。该方法运用了一种从微观局部象素的分布预测纹线方向的思想,首先定义 2×2 窗口为方向基元,然后对方向基元的全部样本集进行局部方向估计。该方向基元集共有 $2^4 = 16$ 个样本。将这 16 个样本根据其局部走向划分为表示 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 和 135° 等 4 个基本方向以及不能

反映方向的子集共 5 大类。分别以 C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 表示。

将 $X \times Y$ 大小的二值图象划分为 $N \times N$ 大小的块,以 2×2 窗口为单位,对 $(N-1) \times (N-1)$ 个方向基元进行上述 C_0 到 C_4 的划分归类,然后统计每一类方向基元的个数并记为 n_i (n_i 与 C_i 对应)。为了尽可能地降低图象二值化造成的毛刺、孔洞等噪声对所求方向的影响,按以下 4 种情况求该 $N \times N$ 块的平均方向 $\bar{\theta}$ 。

1) 若存在 $n_j \gg \sum_{i=0, i \neq j}^3 n_i$ ($j = 0, 1, 2, 3$)

则 $\bar{\theta} = j \times 45^\circ$ 。

2) 若存在

$$n_j \gg \sum_{i=0, i \neq j, i \neq l}^3 n_i$$

且 $n_l \gg \sum_{i=0, i \neq j, i \neq l}^3 n_i$ ($l, j = 1, 2, 3; l \neq j$)

则

$$\bar{\theta} = (a_j \cdot n_j \times j \times 45 + a_l \cdot n_l \times l \times 45) / (n_j + n_l)$$

3) 若两峰值为 n_0, n_1 , 则 $\bar{\theta} = 45 \cdot n_1 / (n_0 + n_1)$

若两峰值为 n_0, n_3 ,

$$\text{则 } \bar{\theta} = (180 \cdot n_0 + 135 \cdot n_3) / (n_0 + n_3)$$

4) 如果 $N \times N$ 块中 n_i 的统计直方图有 3 个较大均匀值或 4 个均匀值。表明该区域含有细节特征点或该区域纹线粘连严重,其方向不能由其方向基元的统计特性求出,只能由其周围块方向所决定的纹线大致走势平滑地给出。

按上述 4 种情况求出平均块方向后,进行 4 标准方向或 8 标准方向的归整,即可以求得整副指纹图象的方向图。

2 性能评价

根据对有噪声图象处理的鲁棒性和算法的时间复杂性指标判断一种指纹方向图算法的优劣。对上述 3 种求取指纹方向图的方法作出比较。

2.1 关于对噪声的鲁棒性

1) 上述各种方法对采集效果较好的图象处理结果差别不大,对于质量非常差的图象,如不加进指纹知识进行矫正处理,结果都不甚理想。只是对不同程度的噪声处理结果有所差别。2) 邻域方向模板法^[9]对噪声具有较好的鲁棒性,其对噪声的敏感性随所取邻域的加大逐渐降低,但当 L 超过 16 以后,中心区域和三角区等方向会聚点的方向图效果变差,理想的改进算法是对纹线外围线选取较大邻域半径,中心区域和

三角区选取较小的邻域半径。3) Rao^[10]的方法在选用 Marr-Hildreth^[13]算子计算梯度有较好的抗噪声能力,但相应的计算复杂度增加。Anil Jain^[1,4]采用后处理平滑算法加以改进后,对求出的方向图有一定的改进,但缺点是对整幅方向图采用低通滤波器时有可能对中心区、三角区等纹线正常变化的区域产生副作用。理想的改进算法是结合指纹的纹型知识,分辨出哪些地方是指纹走向正常变化区域(如中心区、三角区),那些地方是不可能存在方向跳变的区域(如外围包络线)。

4) A. Tojo^[6]采用统一的经验公式计算平均方向,显然抗噪能力较差。而且这种从 2×2 窗口的微观局部象素的分布预测局部纹线方向的方法本身就易受到噪声干扰。黄席樾^[5]等通过对指纹图象方向基元集的定义和描述,提出了根据局部图象质量的不同采用不同的计算平均方向的自适应方法,增强了这种方法的抗干扰能力。A. Tojo 的方法的最大优点是算法简单,时间复杂度最小。

2.2 关于时间复杂性

在 P II 333 计算机上运用上述几种方法对一副 256×256 大小指纹图象做方向图变换,CPU 运行时间如下:

Mehre's	Rao's	Jain's	Tojo's	黄's
0.94	0.98	1.12	0.67	0.72

上栏为求方向图的各种方法的简称,数据为处理时间(s)。

综上所述,Mehre's 和黄席樾的方法对噪声图象具有较强的鲁棒性,而且算法较为简单,处理速度较快,在实际的指纹识别系统中有较强的应用价值。

3 方向图的典型应用

3.1 实现方向滤波

从原理上分析,一幅指纹图象是由纹线和纹谷所组成的线条状图像,因此其灰度直方图上应表现出明显的双峰性质,但是,由于指纹采集时各种噪声的影响,使得实际得到的灰度直方图往往并不呈现双峰性质,因此运用一般的基于灰度的图象滤波与校正方法(如直方图校正,对比度增强等)很难取得明显的效果。因此,近年来,人们把研究的重心转移到如何把指纹图象本身的特征与滤波方法的有机结合上,提出了沿方向滤波的概念。文献^[2,14,15]都成功地用到了方向滤波。利用 Gabor 滤波器良好的对方向和频率的选择性进行方向滤波是最为成功的一个例子。实践证明,以

Gabor 函数的偶分量实部为模板,纹线与纹谷形成的近似正弦波的频率为滤波器频率,以指纹的局部方向为方向构建的滤波器,其去噪能力是非一般方法能够比拟的,滤波后的图象已呈明显的双峰性质。

Gabor 滤波器的脉冲响应具有以下形式:

$$h(x, y; \varphi, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\varphi}^2}{\delta_x^2} + \frac{y_{\varphi}^2}{\delta_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi f x_{\varphi})$$

其中:

$$x_{\varphi} = x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi$$

$$y_{\varphi} = -x \cdot \sin \varphi + y \cdot \cos \varphi$$

则滤波后的图象灰度值为:

$$E(i, j) = \sum_{x=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \sum_{y=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} h(x, y; \varphi(i, j), f(i, j)) g(i-x, j-y)$$

这里, φ 为 Gabor 滤波器的方向, f 为纹线正弦波的频率, δ_x, δ_y 为高斯函数沿 x 轴, y 轴的包络线常数, g 为原始灰度图象, w 为滤波器的窗口大小,一般应大于一根纹线和纹谷的宽度和。

运用 Gabor 滤波器的关键是合适地选取滤波器的上述参数,特别是纹线局部方向和纹线宽度,如果方向计算有误,就会出现滤波后图象扭曲现象。因此成功运用 Gabor 滤波器的前提是求得良好的方向图,对于低质量的指纹图象,如何对求出的方向图进行基于指纹知识的修正是下一步要解决的关键问题。

3.2 全局特征抽取与自动分类

方向图的另外一个重要应用是进行指纹的自动分类,研究指纹的自动分类,对解决大容量指纹库匹配的实时性问题具有重要意义。指纹纹型特征是指纹分类的主要依据。中心点和三角点的确定对于指纹纹型分类有很大的意义,一般情况下,可以在指纹方向图上加以确定。因为中心区域和三角区一般是方向会聚的地方,只要图象预处理效果较好,通常可以检测到。文献^[3,6~8]都用到了方向图分类的方法。

3.3 指纹图象方向编码

图象作了方向图变换以后,抽象出了指纹最基本的形态特征,如果求出的块方向图与纹线宽度对称的话,是可以按照方向数据进行纹线编码的。这对于解决指纹图象的压缩问题有一定的应用前景。

3.4 基于方向图的模板匹配

对于一对一的匹配问题,可以通过旋转方向模板的方法进行指纹的验证,如方向图的匹配率低于某个阈值,可以直接排除这幅指纹,高于阈值的才进入细节

特征的匹配,这种方法比较简单,可以降低匹配时间,文献[5]采用了这种方法进行指纹的第一级匹配。

4 结论

研究指纹的自动识别问题,必须紧密结合指纹图象纹理结构特征进行。由于指纹方向图抽象了指纹脊线与纹谷交错平行分布的特点,反映了指纹图象纹理结构的本质,实践证明,指纹方向图是解决 AFIS 中某些关键技术的一个重要途径。在现有的求取指纹方向图基础上,下一个重要任务是如何挖掘指纹纹线的走势特征,解决有噪声图象的方向图变换问题。

参考文献:

- [1] JAIN A K. An overview of biometrics, <http://biometrics.cse.msu.edu/infor.html/> 1999-07-20.
- [2] HONG L, JAIN A K, PANKANTI S, et al. Fingerprint image enhancement [A]. Proc. First IEEE WACV [C], 1996, Sarasota, Fla: 1 661-1 671.
- [3] NALINI K. RATHA, KALLE KARU, CHEN SHAO-YUN, et al. A real-time matching system for large fingerprint database [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine intelligence, 1996, 18(8): 799-812.
- [4] HRECHAK A K, MCHUGH J A. Automated fingerprint recognition using structural matching [J]. Pattern Recognition, 1990, 23(8): 893-904.
- [5] 黄席樾, 马笑潇, 汪鹏 等. 基于方向基元集描述的求取指纹方向图的方法及应用 [J], 重庆大学学报 (自然科学版), 2000, 23(5): 57-61.
- [6] KAWAGOE M, TOJO A. Fingerprint pattern classification [J]. Pattern Recognition, 1984, 17(3): 295-303.
- [7] 黄席樾, 马笑潇, 沈志熙 等. 基于遗传算法的神经网络指纹分类器研究 [J]. 重庆大学学报 (自然科学版), 2001, 24(1): 74-77.
- [8] LOUIS COETZEE, ELIZABETH C. BOTHA. Fingerprint recognition in low quality images [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(10): 1 441-1 460.
- [9] MEHTRE B M, CHATTERJEE B. Segmentation of fingerprint image-a composite method, Pattern Recognition, 1989, 22(4): 381-385.
- [10] RAO A R. A taxonomy for texture description and identification [M]. New York: Springer-Verlag, 1990.
- [11] MICHAEL M. S. CHONG, TAN HAN NGEE, LIU JUN. Geometric framework for fingerprint image classification [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(9): 1 475-1 488.
- [12] 赵向欣. 中华指纹学 [M]. 北京: 群众出版社, 1977.
- [13] MARR D, HILDRETH E C. Theory of edge detection [A]. Proc. R. Soc. London [C]. 1980, B207: 187-217.
- [14] LAWRENCE O' GORMAN, JEFFREY V. NICKERSON, An approach to fingerprint filter design [J]. Pattern Recognition, 1989, 22(1): 29-38.
- [15] FITZ A P, GREEN R J. Fingerprint classification using a hexagonal fast fourier transform [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(10): 1 587-1 597.

A Key Technology in Automatic Fingerprint Identification System: Directional Image

MA Xiao-xiao, HUANG Xi-yue, ZHOU Xin, LI Yu, LIU Tao
(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Because fingerprint directional image represents the basic structural feature really and abstractly, It has very important research value in automatic fingerprint identification system. Now it has been widely used to solve the problem of image enhancement, global feature extraction, automatic classification, template matching and image encoding. Especially the Gabor filter based on directional image gets a marvelous effect, which can filter the noises along ridges. Combining the author's research work, several newly developed methods to get directional image are introduced. The performance of real-time and robust to noise of these methods are assessed, and the mending methods are presented also. In the end, the typical applications are systematically overviewed and the direction for further study is provided.

Key words: directional Image; automatic fingerprint identification system; gabor filter

(责任编辑 吕赛英)