

文章编号: 1000-5013(2013)02-0151-05

采用八方向 Gabor 滤波的指纹识别算法

毛元, 冯桂, 汤继生

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 采用指纹增强算法与复滤波器中心点定位结合的方法,有效地解决低质量指纹图像中心点定位问题,实现了平移不变.同时,采用基于结构的指纹特征提取算法,用八方向 Gabor 滤波提取指纹的全局特征和局部脊线特征,实现了旋转不变.在 FVC2004 指纹库上的仿真实验表明:该算法取得较好的识别效果,优于基于单 Finger Code 特征和基于点模式的指纹识别算法.

关键词: 指纹识别; 图像增强; 中心点; Gabor 滤波; 特征匹配

中图分类号: TP 391. 41 **文献标志码:** A

随着身份鉴别技术在社会各个领域的广泛应用,生物特征识别技术成为近年来研究的热点. 指纹特征因具备普遍性、长久性、唯一性和易采集性的特点,同时可以实现一对一比对和一对多的比对模式,使得指纹识别成为解决现代身份认证问题的有效方法之一. 指纹中心点的计算精度和有效的提取指纹特征是影响指纹识别系统正确率的关键因素. 目前,基于特征点的匹配算法^[1-2]已被大部分自动指纹识别系统所采用,主要思想为根据指纹脊线端点和交叉点的坐标及方向信息进行匹配. 此算法在一定程度上取得了较好的识别效果,但低质量指纹图像因细节点较难有效提取,其识别效果往往不佳. 为解决平移不变问题 and 提高指纹识别性能,本文将指纹增强算法和复滤波器中心点定位结合使用,提出一种基于八方向 Gabor 滤波的指纹识别算法.

1 指纹识别算法原理

采用基于结构的特征提取算法不仅可以提取指纹局部脊线特征,而且考虑到全局纹理特征^[3]. 算法主要有 3 个步骤:1) 指纹图像增强; 2) 指纹中心点定位; 3) 确定感兴趣区域(region of interest, ROI)和特征提取. 把围绕中心点作的同心环作为 ROI 并进行分扇区归一化,将八方向 Gabor 滤波器组与归一化后的 ROI 相卷积;最后将待匹配指纹的特征与指纹模板库进行最小距离匹配. 图 1 为算法流程图.

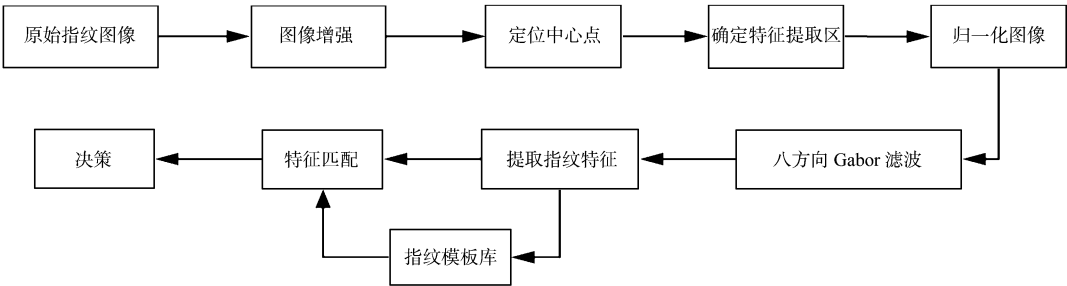


图 1 指纹识别算法流程图
Fig. 1 Algorithm flow chart for fingerprint identification

1.1 指纹图像增强

由于指纹在采集过程中可能会带来各种噪声,产生的一些低质量指纹图像,影响到指纹中心点的定位和识别系统的准确率. 因此,需要先对指纹图像进行增强以获取更好的指纹脊线结构. 采用 Hong 等提出的基于 Gabor 滤波的指纹图像增强算法^[4-5]进行图像增强. 图 2 为指纹图像增强算法框图,该算法主要包括如下 3 个步骤.

1) 方向场估算. 将图像划分为 $w \times w$ 的小块,并在每一小块中计算像素 (i, j) 处的梯度值 $\partial_x(i, j)$ 和 $\partial_y(i, j)$,最后计算出以像素 (i, j) 为中心的方向 $\theta(i, j)$. 即

$$\gamma_x(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v), \tag{1}$$

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

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{\gamma_y(i, j)}{\gamma_x(i, j)}\right). \tag{3}$$

由于采集环境和手指本身状态等原因造成指纹图像含有噪声,所求方向场中因存在着方向突变块并不准确,故需用高斯低通滤波器进行平滑.

2) 频率场估算. 根据指纹纹线在垂直于纹线的方向上灰度大致成正弦波的规律,可以计算出相邻峰值之间的平均像素数 $T(i, j)$,则纹线频率 $F(i, j) = 1/T(i, j)$.

3) Gabor 滤波. 以方向场和频率场为参数构造 Gabor 滤波函数,适当调整滤波器参数,则可以减弱脊线噪声,增强指纹图像.

1.2 指纹中心点定位

指纹中心点定义为指纹脊线曲率最大的点,其定位精度很大程度上影响匹配的正确率. 定位指纹中心点是解决指纹平移问题的常用方法,而旋转不变问题可以通过循环旋转指纹码的特征值得到较好的解决^[6]. 定位指纹中心点可以在方向图上进行,而 Poincare 索引数值法^[7]是广泛应用的方法之一,但该方法的缺陷在于方向场较难提取或估计精度往往不够时,导致定位效果不理想. Nilsson 等^[8]提出利用指纹中心点的对称性对复滤波器的强响应,从而定位中心点的方法. 该算法把指纹图像的块方向和脊线细节特征有机结合起来,相比仅依赖局部脊线结构的定位方法能有效地抵抗图像噪声,从而更好地定位中心点. 文中采用该算法确定指纹中心点位置,有如下 3 个基本步骤.

1) 计算原始指纹图像 $I(x, y)$ 的复方向场,即有

$$z(x, y) = (f_x + if_y)^2. \tag{4}$$

式(4)中: f_x 和 f_y 分别表示原始指纹图像在 x 方向和 y 方向的梯度.

2) 由于仅对检测中心点感兴趣,故只需使用抛物对称形式的滤波器,即

$$h = (x + iy)g(x, y). \tag{5}$$

式(5)中: $g(x, y) = \exp(-(x^2 + y^2)/(2\sigma^2))$,文中 σ 取 $\sqrt{55}$.

3) 将复方向场图像与中心点相匹配的滤波器进行卷积并取模,即

$$R(x, y) = \|(x + iy)g(x, y)\| \cdot z(x, y) \|. \tag{6}$$

式(6)中:中心点是 $R(x, y)$ 最大时所对应的像素点.

该算法较好地解决了低质量指纹图像中心点问题. 3 种不同低质量类型指纹增强后中心点定位效果,如图 3 所示.

1.3 感兴趣区域的确定和特征提取

当指纹中心点检测出后,中心点周围的区域被定义为指纹感兴趣区域(ROI). ROI 经八方向 Gabor 滤波便可提取出指纹的全局和局部特征. 具体算法有如下 7 个主要步骤.

1) 确定指纹中心点位置,并围绕中心点裁剪指纹感兴趣区域(ROI).

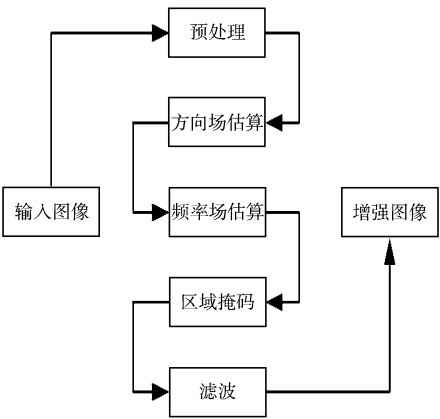


图 2 基于 Gabor 滤波的增强过程
Fig. 2 Process for image enhancement based on Gabor filters

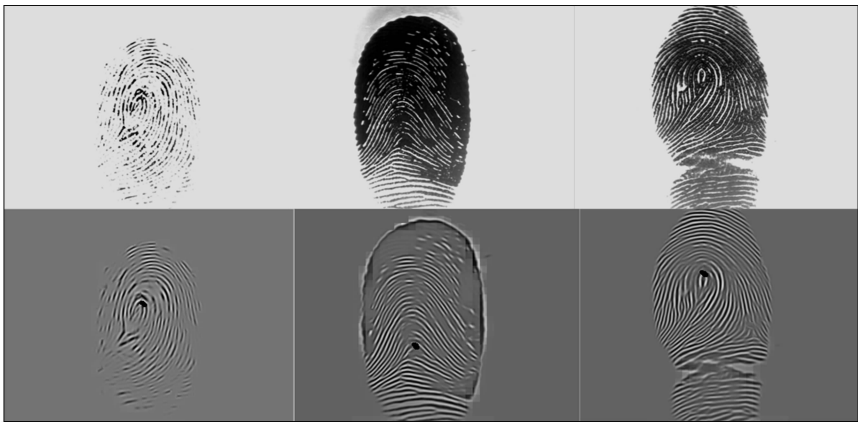


图 3 3 种不同低质量类型指纹图像中心点定位

Fig. 3 Reference point location on three different poor quality fingerprints

- 2) 以中心点为中心作同心圆,分割 ROI 成 B 个环形区域,最后将每个环形区域分割成 K 个扇形区域. 对于分辨率为 500 dpi 的指纹图像,取环形区域的宽度为 20 个像素宽, $B=5, K=16$.
- 3) 为消除指纹噪声的影响,分扇区归一化指纹图像.
- 4) 归一化后的 ROI 与八方向 Gabor 滤波器组分别进行卷积.
- 5) 图像经滤波后,计算每个扇区 S_i 内的平均绝对误差 (average absolute deviation, AAD) 特征值,其计算式为

$$V_{i,\theta} = \frac{1}{n_i} \left(\sum_{n_i} \| F_{i,\theta}(x,y) - P_{i,\theta} \| \right). \quad (7)$$

式(7)中: $F_{i,\theta}(x,y)$ 为扇形区域 S_i 内的各个像素的灰度值; $P_{i,\theta}$ 表示区域 S_i 内像素灰度的均值; n_i 表示环形区域 S_i 内的数目; $i \in \{0, 1, 2, \dots, 79\}$; $\theta \in \{0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ\}$; $V_{i,\theta}$ 被称为平均绝对误差 (AAD) 特征值. 其中,每一方向的滤波图像可由个数为 $5 \times 16 = 80$ 的特征向量来表示,故每幅指纹图像经 8 方向滤波后提取 AAD 特征个数为 $8 \times 80 = 640$,AAD 特征向量表示的指纹特征被称为 Finger Code.

6) 设 Finger Code 1 从指纹原图像中提取获得,Finger Code 2 通过将原图像旋转 11.25° 以后提取获得. 将 Finger Code 1 和 Finger Code 2 分别旋转 $R \times 22.25^\circ (R=0, \dots, 15)$,来实现旋转不变性,旋转特征向量与将指纹图像先旋转再提取特征向量等价. 对于偏转集中在 $\pm 45^\circ$ 的指纹库,可以只将两个特征向量分别旋转 $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 315^\circ, 337.5^\circ$;对于每个指纹,对应 10 个指纹模板保存在指纹模板库中.

7) 计算输入指纹的 AAD 特征值与指纹模板库中每个指纹模板的欧式距离,并采用最小距离法进行匹配.

2 实验结果与分析

在 CPU 为 3.40 GHz,3.39 GHz,内存为 2.00 GB 的 PC 和 Matlab R2006A 的开发环境下,选用 FVC2004DB1 的指纹数据库 (<http://bias.csr.unibo.it/fvc2004>) 作为实验对象. 该指纹库图像来自 100 个不同的手指,每个手指分别采集 8 次,共 800 幅,图像尺寸为 $480 \text{ px} \times 640 \text{ px}$,分辨率为 500 dpi.

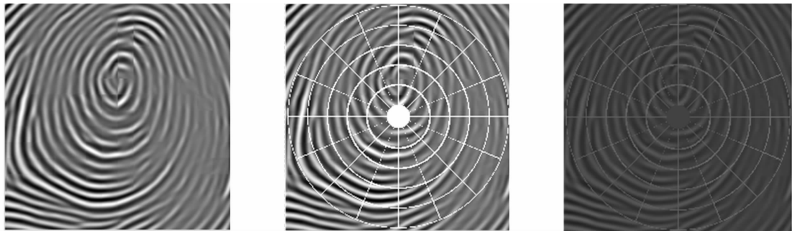
1) 选取 DB1 中 5_3.tif 为实验对象,其指纹中心点定位,ROI 确定和归一化图像,如图 4 所示.



(a) 原始图像

(b) 增强图像

(c) 中心点定位



(d) 裁剪指纹图像 (e) 划分扇形区域 (f) 归一化扇形区域

图 4 确定特征提取区和图像归一化

Fig. 4 Area of interest and normalized image

2) 八方向 Gabor 滤波及特征提取. 指纹图像与 Gabor 滤波器组卷积后, 每一方向滤波后图像中各个扇区的 AAD 反映了指纹的局部特征, 而扇区的有序排列则表征了指纹的全局特征. 与滤波结果相对应的 AAD 特征, 如图 5 所示.

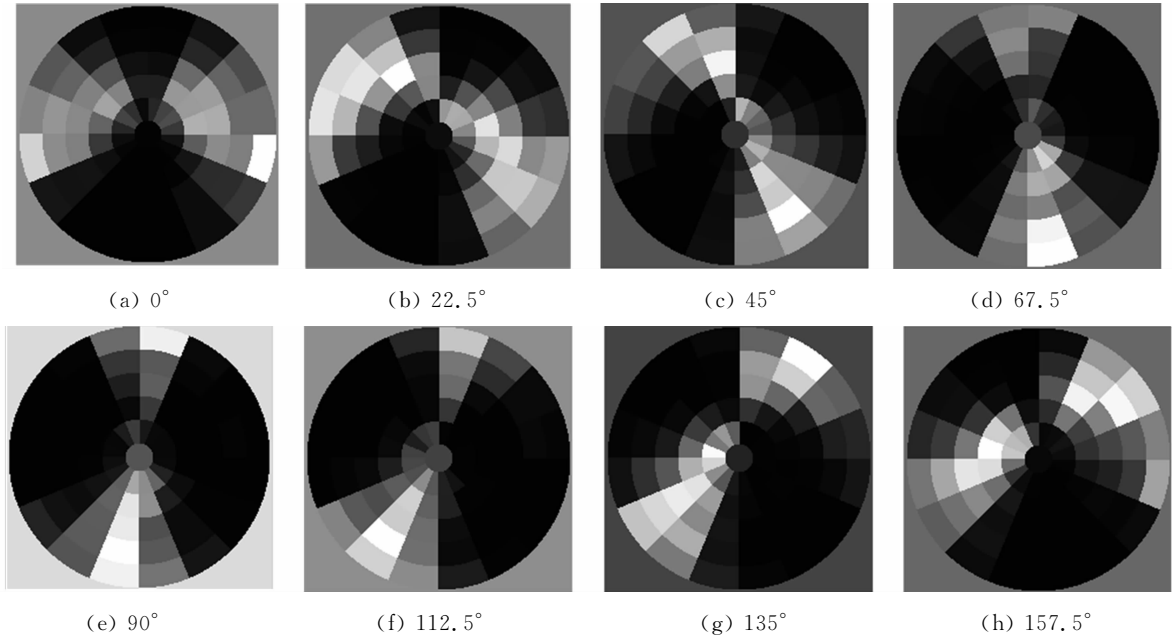


图 5 与八方向滤波结果相对应的 AAD 特征

Fig. 5 AAD feature corresponding to eight directions filtering results

3) 指纹识别性能对比. 指纹识别系统的性能评价参数, 主要有正确识别率(CR)、拒识率(FRR)、误识率(FAR)和等错率(EER). $FAR = \frac{\text{不该识别而识别的次数}}{\text{匹配总次数}}$; $FRR = \frac{\text{该识别而没有识别的次数}}{\text{匹配总次数}}$; $CR = 1 - (FAR + FRR)$; EER 为 ROC 曲线上 FAR 和 FRR 相等时的错误率. 正确识别率越高, 拒识率和误识率越低, 或等错率越低, 则指纹识别性能越好. 文中主要以正确识别率评价指纹识别的性能.

实验中采用的每个手指是从 8 幅中选取 5 幅作为模板指纹, 3 幅作为输入指纹. FVC2004DB1 的指纹数据库中指纹图像偏转集中在 $\pm 45^\circ$, 通过将原始指纹和旋转 11.25° 的指纹图像进行八方向 Gabor 滤波, 提取到两个 FingerCode 特征. 分别将其旋转 $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 315^\circ, 337.5^\circ$, 与待验证指纹进行 $5 \times 2 = 10$ 次匹配, 近似实现旋转不变性.

表 1 列出了单 Finger Code^[9] 和本文算法(双 Finger Code)两种匹配方法的识别率. 由表 1 可见: 基于双 Finger Code 匹配算法(本文算法)比基于单 Finger Code 算法的更有效.

表 1 单 Finger Code 和双 Finger Code 的识别率

Tab. 1 Recognition rate of single finger code and double finger code

特征提取方法	匹配次数	测试数目	正确数目	正确率/%
单 Finger Code 旋转	5	300	252	84.00
双 Finger Code 旋转	10	300	278	92.67

点模式匹配算法^[10-11]和本文算法的实验结果对比, 如表 2 所示. 由表 2 可见: 采用本文算法的识别率为 92.67%, 较点模式匹配算法识别率有所提高.

3 结 论

将指纹增强算法和复滤波器中心点定位结合使用,对指纹尤其低质量指纹图像取得良好的定位效果,较好的解决了平移不变问题.同时,循环移动双 Finger Code 特征值近似实现旋转不变性,算法取得了较好的识别效果.八方向 Gabor 滤波器组同时提取指纹的全局和局部特征,该算法优于基于单 Finger Code 特征和基于点模式的指纹识别算法.

参考文献:

[1] RANADE S,ROSENFELD A. Point pattern matching using minutiae and by relaxation[J]. Pattern Recognition, 1980,12(5):269-275.

[2] JAIN A K,PRABHAKAR S,CHEN Shao-yun. Combining multiple matchers for a high security fingerprint verification system[J]. Pattern Recognition Letters,1999,20(11/12/13):1371-1379.

[3] 回红. 基于结构的指纹表达及匹配算法研究[D]. 杭州:浙江大学,2002:42-45.

[4] HONG Lin,WANG Yi-fei,JAIN A. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1998,20(8):777-789.

[5] 太艳荣. 基于 MATLAB 实现的指纹图像预处理[J]. 西南民族大学学报:自然科学版,2008,34(4):837-838.

[6] 贺颖,蒲晓蓉. 应用 Gabor 滤波的指纹识别算法的研究与实现[J]. 计算机工程与应用,2010,46(12):172-175.

[7] 田捷,杨鑫. 生物特征识别理论与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005:213-218.

[8] NILSSON K,BIGUN J. Localization of corresponding points in fingerprints by complex filtering[J]. Pattern Recognition Letters,2003,24(13):2135-2144.

[9] JAIN A K, PRABHAKAR S, HONG Lin. Finger code: A filterbank for fingerprint representation and matching [C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Colorado:IEEE Press,1999:187-193.

[10] 张志禹,侣薇. 一种基于混合匹配的指纹识别方法[J]. 微型机与应用,2011,30(2):42-44.

[11] 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.

Fingerprint Recognition Algorithm Based on
the Eight Directions Gabor Filter

MAO Yuan, FENG Gui, TANG Ji-sheng

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This paper solves the center point localization on poor quality fingerprints effectively, by using the fingerprint image enhancement algorithm coupled with the localization of core point by the complex filters, and realizes the translation invariant. In addition, the eight directions Gabor filter can capture the global and local ridge structures by using the method on structure-based fingerprint feature extraction, and realize the rotation invariant. The simulation experimental results based on the FVC2004 fingerprint database show that the performance of the paper is better than that of the single finger code-based and the minutiae-based method.

Keywords: fingerprint recognition; image enhancement; core point; Gabor filter; feature matching

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 吴逢铁)

表 2 两种模式指纹匹配算法实验结果
Tab.2 Experimental results of the different
fingerprint identification algorithm

所用算法	测试数目	正确数目	正确率/%
点模式匹配算法	300	276	92.00
本文算法	300	278	92.67