

# 基于 Gabor 滤波器的指纹图像增强算法

杜培明, 巩 静

(安徽工业大学 电气信息学院, 安徽 马鞍山 243002)

**摘 要:** 介绍了一种基于 Gabor 滤波器的指纹图像增强算法, 该方法对传统的 Gabor 滤波器的参数和大小进行了优化。实验表明这种算法具有很好的处理效果。

**关键词:** 指纹识别; Gabor 滤波器; 指纹增强

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)05-0032-03

## Algorithm of fingerprint image enhancement based on Gabor filter

Du Peiming, Gong Jing

(College of Electrical Information, Anhui University, Maanshan 243002, China)

**Abstract:** This paper introduces an algorithm of fingerprint enhancement based on Gabor filter. Parameters and size of traditional Gabor filter are optimized in this method. Experiments show that this algorithm has very good treatment effect.

**Key words:** fingerprint recognition; Gabor filter; fingerprint enhancement

指纹具有唯一性和终身不变性。指纹识别技术即是利用指纹的这种特性, 通过对指纹特征的提取和比对完成对个人的身份验证。其具体流程如图 1 所示。



图 1 指纹识别处理过程

从采集头得到的指纹图像往往带有大量的噪声。这些噪声主要有: 采集头上的污点、指纹本身带有的疤痕、指纹太湿造成的指纹粘连、指纹太干造成的纹线断裂。这些噪声不利于指纹原本特征信息的准确提取, 所以需要采集到的指纹图像进行图像增强。

指纹增强的方法有: 纹理滤波法<sup>[1]</sup>、傅里叶分析法、小波分析法和基于知识的方法等。指纹图像增强的主流方法是纹理滤波方法, 该方法计算指纹图像每个局部区域的方向和频率特征, 用纹理滤波器对指纹图像进行滤波增强。Hong 提出一种基于 Gabor 滤波器的指纹增强方法<sup>[2]</sup>, Gabor 滤波器<sup>[3]</sup>可以在空域和频域上获得最佳的分辨率, 具有良好的带通性和方向选择性。但该方法有时存在块效应或方向效应, 并且对不同频率的图像有不同的增强程度。本文在基于 Gabor 滤波器指纹增强<sup>[4]</sup>

的基础上, 提出一种改进的 Gabor 滤波器算法。实验证明了该方法的有效性及其可行性。

### 1 归一化

归一化是为了消除指纹采集过程中由于传感器自身的噪声以及因为手指压力不均造成的灰度差异, 将指纹图像的对比度和灰度调整到一个固定的级别上, 为后续处理提供一个较为统一的图像规格<sup>[5]</sup>。一般按式(1)~式(3)进行归一化。

设指纹图像为  $I$ , 其宽度为  $W$ , 高度为  $H$ , 而  $I(i, j)$  表示在第  $i$  行、第  $j$  列的灰度值, 则整个图像的平均值为:

$$M(I) = \frac{1}{WH} \sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} I(i, j) \quad (1)$$

$$VAR(I) = \frac{1}{WH} \sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} (I(i, j) - M(I))^2 \quad (2)$$

则归一化后的指纹图像  $G$ :

$$G(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{VAR_0(I(i, j) - M(I))^2}{VAR}}, & I(i, j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{VAR_0(I(i, j) - M(I))^2}{VAR}}, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

指纹图像归一化处理后的图像如图 2 所示。

### 2 方向场的计算

指纹方向场真实地反映了指纹图像最本质的纹理

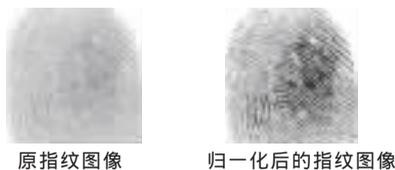


图2 指纹图像归一化处理

特征,再现了指纹的中心纹路、外围包络线及脊线的形状和走势。由于脊线具有缓变性的特点,求出的方向场也不可能发生走向的剧变,利用这一特征可以对有噪声情况下求出的方向场进行平滑处理,从而可以获取低质量指纹图像效果较好的方向场<sup>[6]</sup>。方向场是对纹线形状的一种描述,这种描述可以大大简化研究指纹的几何拓扑结构问题。方向场的计算如下:

(1)把指纹图像分成大小为  $W \times W$  的方块,对于 500 DPI 指纹图像,  $W$  常选为 16。

(2)计算点  $(i, j)$  的梯度和。本文根据计算的要求,梯度算子可以选择简单的 Sobel 算子,也可以选择较复杂的 Marr-Hildreth 算子。Sobel 算子公式如下:

$$\begin{cases} \partial_x(u, v) = 2 \times N(u, v+1) + N(u-1, v+1) + N(u+1, v+1) - \\ 2 \times N(u, v-1) - N(u-1, v-1) - N(u+1, v-1) \\ \partial_y(u, v) = 2 \times N(u-1, v) + N(u-1, v+1) + N(u-1, v-1) - \\ 2 \times N(u+1, v) - N(u+1, v+1) - N(u+1, v-1) \end{cases} \quad (4)$$

(3)计算以  $i, j$  为中心的每一块的方向:

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v)) \quad (5)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)) \quad (6)$$

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right) \quad (7)$$

(4)计算在  $(i, j)$  的局部方向场:

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{\phi'_y(i, j)}{\phi'_x(i, j)} \right) \quad (8)$$

归一化后的指纹图像和方向图如图 3 所示。

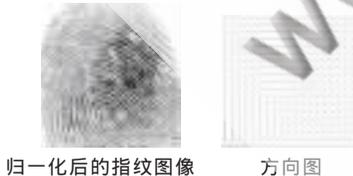


图3 归一化后的指纹图像和方向图

### 3 Gabor 滤波增强

Gabor 滤波器使用方向场图像来进行增强,是指纹增强算法中最常见的一种。这种算法的基本出发点是基于指纹的数学模型,指纹在局部小区域内可以认为是一组平行的具有一定频率的直线,可以顺着脊线的方向使用 Gabor 窗函数去过滤图像,使脊线的信息得到加强。由于是顺着脊线的方向滤波,在顺着脊线的方向上有平

滑的作用,因此能将一些断裂的脊线修复回原来的状态;同时由于 Gabor 滤波器具有良好的频率选择性,可以在有效地去除脊线上的噪声的同时,保持脊线的结构。

通常的二维 Gabor 滤波算子的定义如下:

$$h_{\text{even}}(x, y, \theta, f) = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \times \exp(j2\pi f x_{\theta}) \quad (9)$$

$$x_{\theta} = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (10)$$

$$y_{\theta} = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (11)$$

取其实数部分得:

$$h_{\text{even}}(x, y, \theta, f) = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \times \cos(j2\pi f x_{\theta}) \quad (12)$$

图像滤波后得到:

$$G'(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (h_{\text{even}}(u, v, O(i, j), f(i, j), G(i, j))) \quad (13)$$

经过 Gabor 滤波后,大部分的噪声被去除了,指纹中存在的断纹被连接上,而粘连部分则被断开,留下了纹线清晰的指纹纹理,并且没有破坏原有指纹的细节特征,如图 4 所示。由图可以看出,指纹图像的 Gabor 滤波是一种比较好的指纹滤波算法。实验验证了在 Gabor 滤波函数中,将标准差  $\delta_x$  和  $\delta_y$  值均取为经验数值 4.0,其滤波效果最好。但并不代表  $\delta_x$  和  $\delta_y$  这种取值对所有指纹图像都适用,在指纹图像的纹理不均匀时,这种取固定数值的方法有一定局限性。



图4 经 Gabor 滤波后的指纹纹理图

### 4 Gabor 滤波算法改进

#### 4.1 Gabor 滤波器的标准差 $\delta_x$ 和 $\delta_y$ 的改进

滤波器的带宽表示的是该滤波器所反映的频率范围,它由 Gabor 滤波器沿 X 轴和 Y 轴的标准差  $\delta_x$  和  $\delta_y$  决定。因为指纹图像的局部频率决定了滤波器的带宽,所以  $\delta_x$  和  $\delta_y$  也应该与指纹图像的局部频率有关。固定频率方法没有考虑到脊线频率的变化,因此指纹图像增强将会受到影响。本文标准差  $\delta_x$  和  $\delta_y$  不适用固定值,而是由下面公式来决定:

$$\delta_x = k_x \frac{1}{F(i, j)} \quad (14)$$

$$\delta_y = k_y \frac{1}{F(i, j)} \quad (15)$$

式中,  $F(i, j)$  是脊线频率,  $k_x, k_y$  为常数。

#### 4.2 Gabor 滤波器的大小

在传统的 Gabor 滤波器算法中,滤波器的宽度和高度被设置为固定值,但是固定的滤波器大小不能容纳不同尺寸带宽的小波。因此,为了使滤波器的大小能按照 Gabor 小波的带宽变化,本文把滤波器的宽度  $W_x$  和高度  $W_y$  建立了与标准偏差有关的方程:

$$w_x = 6 \delta_x \quad (16)$$

$$w_y = 6 \delta_y \quad (17)$$

由于绝大多数的 Gabor 小波信息都包含在  $[-3\delta, 3\delta]$

内,所以,在式中所选的参数能够容纳绝大多数有用的 Gabor 小波信息。

在得到每一小块的脊线频率、标准差和滤波器大小后,利用 Gabor 滤波器的脊线响应对指纹图像进行滤波后得到经过参数优化 Gabor 滤波器处理后的图像为:

$$\varepsilon(i, j) = \sum_{u=-w_x/2}^{w_x/2} \sum_{v=-w_y/2}^{w_y/2} h(u, v, o(i, j), F(i, j)) G(i-u, j-v) \quad (18)$$

式中,  $G$  为归一化后的图像,  $O$  为像素点  $(i, j)$  方向图,  $F$  为在点  $(i, j)$  为中心的  $w_x \times w_y$  区域的频率。

改进前后滤波效果如图 5 所示。

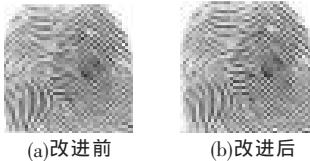


图 5 改进前后滤波效果比较

## 5 实验结果分析

本文提出的改进的 Gabor 滤波器算法能够较好地避免传统方法中产生的虚假的脊线或谷线,并能达到一致性的增强,通过图像的增强算法,图像得到明显的增强,细节信息得到了很好的保留。在本文设计的滤波器中,窗口的大小是动态变化的,与指纹的脊线和谷线的宽度有关,所以需要花费更多一点的时间来换取对图像增强质量的提高。

## 参考文献

- [1] JAIN A K, FARROKHNI F. Unsupervised texture segmentation using Gabor filters [J]. Pattern Recognition, 1991, 24(12):167-186.
- [2] Hong Lin, Wan Yifei, JAIN A. Fingerprint Image enhancement: algorithm and performance evaluation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8):777-789.
- [3] 刘映杰,马义德,冯晓兰,等.Gabor 滤波器在基于细节点的指纹识别中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(1):132-134.
- [4] 夏振华,石玉,于盛林.基于 Gabor 滤波器的指纹图像增强[J].工程图学学报, 2006(5): 80-85.
- [5] 林青松,王小琼.基于改进 Gabor 滤波指纹图像增强算法研究[J].现代计算机专业版, 2008(2): 36-38.
- [6] 林喜荣,苏晓生,丁天怀,等.Gabor 滤波器在指纹图像处理中的应用[J].仪器仪表学报, 2003, 24(2): 183-186.

(收稿日期:2010-11-03)

## 作者简介:

杜培明,男,1964 年生,副教授,主要研究方向:图像处理。

巩静,女,1983 年生,在读研究生,主要研究方向:指纹识别和图像处理。