

改进的 Gabor 指纹图像增强算法^①

张 跃, 王 昊

(辽宁工业大学 电子与信息工程学院, 锦州 121001)

摘 要: 算法采用按方向计算的灰度曲率, 并将它归一化后用来作为衡量块内方向是否一致的标准, 并通过此参数和指纹图像的平均频率共同调节滤波窗口的大小. 实验结果表明, 该方法不仅可以很好的消除粘连和连接断线, 而且可以缓解因方向图求取不准确而对图像增强造成的不利影响, 同时还增加了滤波器本身的稳定性和适用性.

关键词: 灰度曲率; 方向一致性; 自适应滤波窗口; Gabor 滤波器

Improved Fingerprint Enhancement Algorithm Based on Gabor

ZHANG Yue, WANG Hao

(School of Electronic and Technology, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China)

Abstract: Algorithm calculates the gray curvature based on the directional image, and then normalizes it to range 0-1 as the standard of direction consistency by which and average fingerprint ridges frequency the window size of Gabor filter is adjusted. The experiment proves that, this algorithm can not only improve the joint of faulted ridges and separation of accretionary ridges, but also enhance the stability and applicability.

Key words: gray curvature; direction consistency; adaptive windows size of filters; Gabor filters

由于指纹信息采集简单, 操作方便, 特征信息量大, 识别成本低等诸多优点, 指纹识别技术已成为当今生物识别技术的主角, 同时也是当前运用最为成熟、可靠和广泛的生物识别技术之一. 指纹图像在采集过程总是不可避免的受到外界因素的干扰, 产生如“脱皮”、“黑图”等低质量的指纹, 这些指纹不但会影响指纹特征点的准确提取, 而且还会影响指纹识别系统的整体性能. 因此一个好的指纹增强算法是提高指纹识别可靠性的根本保证.

目前, 较为理想的指纹增强算法是 Hong 提出的基于 Gabor 滤波器的指纹增强算法^[1], 该算法利用 Gabor 滤波器对方向和频率的选择性, 可以很好的消除指纹粘连和连接断线, 提高指纹纹线的清晰度和对比度. 在这种方法中, 准确的指纹方向图和指纹频率是保证 Gabor 滤波器增强效果的必要条件. 对此, 陈^[2]等人提出了一种纠正指纹方向可靠性的平滑滤波改进算法, 提高了指纹方向图的准确性, 并使用方向一致

性系数自适应的调节 gabor 滤波器窗口的大小. 李^[3]等人使用纹线归一化后曲率来调整滤波模板的大小. 刘^[4]等人将图像分为不同大小的块, 求其方向图, 并用大块校正小块的方式来对方向图进行校正.

本文首先通过用梯度法计算指纹图像的块方向, 并根据指纹图像的块方向来计算指纹图像的纹线频率和纹线方向上的灰度曲率, 然后根据图像的灰度曲率和平均纹线频率两个参数来共同调节 Gabor 滤波器的滤波窗口大小, 以达到指纹增强的目的.

1 改进的 Gabor 滤波增强

基于灰度曲率和频率场的自适应 Gabor 滤波函数表示如下:

$$h(x, y, \theta, \tau, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi f x_{\theta}) \quad (1)$$

$$x_{\theta} = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

$$y_{\theta} = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (3)$$

① 收稿时间:2012-11-04;收到修改稿时间:2012-12-04

$$\sigma'_x = \frac{\tau}{f} \sigma_x \quad (4)$$

$$\sigma'_y = \frac{\tau}{f} \sigma_y \quad (5)$$

其中, x, y 表示指纹图像的像素位置, θ 表示纹线的方向, τ 表示归一化后的曲率值, f 表示指纹的频率值. σ_x, σ_y 为高斯空间常数 ($\sigma_x=0.6, \sigma_y=0.6$). 其滤波过程如图 1 所示:

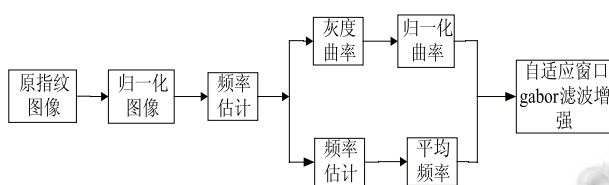


图 1 指纹预处理流程框图

2 算法与实现

2.1 指纹图像的归一化

指纹图像归一化的目的是为了减少指纹图像脊线和谷线像素点的灰度变化, 使图像的灰度值达到一个预先定义的均值 M_0 和方差 VAR_0 [2], 确保指纹方向和频率以及灰度曲率估计的准确性和有效性. 其公式如下:

$$G(i,j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{VAR_0(I(i,j)-M)^2}{VAR}}, & \text{if } I(i,j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{VAR_0(I(i,j)-M)^2}{VAR}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

其中 $I(i,j)$ 为指纹图像的灰度值, M 和 VAR 分别为指纹图像的灰度均值和方差, $G(i,j)$ 为归一化后指纹图像的像素值.

2.2 指纹图像块方向的计算

1) 首先把原始指纹图像分成互不重叠的 $w \times w$ ($w=16$) 的小块, 并根据 Sobel 算子求梯度法, 计算出小块内每个像素点 (i,j) 的水平梯度 ∂_x 和垂直梯度 ∂_y .

2) 估计每个块中心点处 (i,j) 的方向 $\theta(i,j)$:

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} [\partial_x(i,j)^2 - \partial_y(i,j)^2] \quad (7)$$

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2\partial_x(i,j) \partial_y(i,j) \quad (8)$$

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{V_y(i,j)}{V_x(i,j)}\right) \quad (9)$$

2.3 指纹图像频率的计算

1) 将指纹图像分成 $w \times w$ 的小块, 设 (i,j) 为某一小块的中心像素点, 以 (i,j) 为中心, 在指纹图像上取一块 $L \times W$ (32×16) 的指纹块. 其中 W 沿纹线方向, L 垂直于纹线方向.

2) 计算 L 上 32 个点每个点沿 W 方向上的平均值 $X[0], X[1], X[2], \dots, X[L-1]$.

$$x[k] = \frac{1}{w} \sum_{d=0}^{w-1} I(u,v) \quad (10)$$

$$u = i + (d - \frac{W}{2}) \cos \theta(i,j) + (k - \frac{L}{2}) \sin \theta(i,j) \quad (11)$$

$$v = j + (d - \frac{W}{2}) \sin \theta(i,j) + (k - \frac{L}{2}) \cos \theta(i,j) \quad (12)$$

3) $X[k]$ 形成一个离散的正弦波. 其频率和指纹脊线频率相同, 设 d 为 $X[k]$ 中两个连续峰值之间的像素点的个数, 则指纹脊线的频率为:

$$f_i = \frac{1}{d_i} \quad (13)$$

4) 求指纹的平均频率.

$$f = \sum_{i=1}^n f_i / n \quad \frac{1}{25} < f_i < \frac{1}{3} \quad \text{且 } n \text{ 为 } f_i \text{ 的个数} \quad (14)$$

2.4 指纹图像灰度曲率的求取^[5]

将指纹看作是峰谷相间的曲面, 则沿着指纹纹线方向, 由于峰和谷像素点的灰度值变化是连续渐变的, 因此, 指纹曲率的绝对值很小; 在垂直于指纹纹线的方向上, 由于峰谷相间, 像素点的灰度值变化很大, 则指纹曲率的绝对值很大.

1) 将指纹图像分为 $w \times w$ 的小块, 每个块的方向为 $\theta(i,j)$, 其中 $p(i_\theta, j_\theta - 1)$ 、 $p(i_\theta, j_\theta)$ 和 $p(i_\theta, j_\theta + 1)$ 是图像纹线方向 $\theta(i,j)$ 上三点, 则按方向计算的曲率差分公式如下:

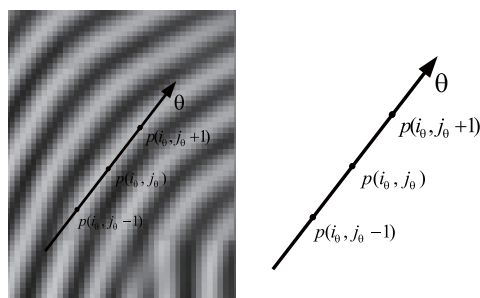


图 2 沿着纹线方向 θ 上的像素点

$$k_{\theta}(i_{\theta}, j_{\theta}) = \frac{\frac{p(i_{\theta}, j_{\theta}+1) - p(i_{\theta}, j_{\theta})}{\Delta h_{\theta}} - \frac{p(i_{\theta}, j_{\theta}) - p(i_{\theta}, j_{\theta}-1)}{\Delta h_{\theta}}}{\Delta h_{\theta}} \\ = \frac{p(i_{\theta}, j_{\theta}+1) - 2p(i_{\theta}, j_{\theta}) + p(i_{\theta}, j_{\theta}-1)}{(\Delta h)^2} \quad (15)$$

2) 计算出小块内每一点的曲率后, 则每一小块中心位置 (i, j) 处的平均灰度曲率 $k(i, j)$ 为:

$$k(i, j) = \frac{1}{w^2} \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^w |k_{\theta}(i, j)| \quad (16)$$

3) 设 $\tau(i, j)$ 为归一化后的曲率值, 则 $\tau(i, j)$ 值越大说明块内方向一致性越好, 在用滤波时可以选用较大的滤波窗口; $\tau(i, j)$ 值越小则说明块内方向一致性越差, 在滤波时可以选用较小的滤波窗口. 用 $\tau(i, j)$ 来衡量块内指纹方向是否一致不仅直观而且有助于滤波器在滤波时选取合适的模板, 并能消除在方向图估计误差较大时对滤波效果造成的影响.

$$\tau(i, j) = \frac{\sin(k(i, j))}{k(i, j)} \quad (17)$$

2.5 自适应窗口的 Gabor 滤波器指纹图像增强

本文采用指文图像按方向计算的灰度曲率来衡量指纹块内方向的一致性, 用归一化的曲率和指纹图像的频率值来共同决定滤波窗口的大小, 设滤波窗口大小为 w_g , 滤波后的图像为 E , 则有:

$$E(i, j) = \sum_{u=-\frac{w_g}{2}}^{\frac{w_g}{2}} \sum_{v=-\frac{w_g}{2}}^{\frac{w_g}{2}} h(u, v, \theta(i, j), \tau(i, j), f(i, j)) I(i-u, j-v) \quad (18)$$

$$w_g = 2\sigma'_x \quad (19)$$

3 实验结果

本实验分别利用实验室实验指纹分类库和 FVC2004 指纹库的指纹图像对本文算法进行实验测试, 测试软件环境为 matlab7.0. 实验结果如图 3 所示, 从图中可以看出, 本文算法在处理低质量指纹时增强效果明显, 不仅可以很好的消除粘连, 而且能够最大可能的修复指纹原有的纹理信息, 提高了高指纹对比度, 增强效果显著. 为后续指纹特征点的准确提取奠定了基础.

4 结论

本文研究了基于 Gabor 滤波器的指纹增强算法, 采用按方向计算的灰度曲率和指纹图像的平均频率来共同调节滤波窗口的大小. 通过实验验证, 本文算法不仅使滤波器在消除粘连和连接断线方面的能力有所提高, 而且还有效缓解了因方向图求取不够准确而对图像增强造成的不利影响, 在一定程度上缓解了指纹图像增强效果对方向图准确性的依赖, 增加了滤波窗口选择的灵活性, 提高了滤波器的稳定性和适用性.



图 3 指纹增强结果比较

参考文献

- 1 Hong L, Wan Y, Jain AK. Fingerprint image enhancement: Algorithms and performance evaluation. IEEE Trans. on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1998,20:777-789.
- 2 陈宁, 曾勇. 一种新型自适应指纹图像增强算法. 计算机工程与应用, 2011,30(47):180-182.
- 3 李铁军, 秦伟. 自适应模板大小的 Gabor 指纹增强方法. 计算机工程与应用, 2010,20(46):216-218.
- 4 刘军波, 马利庄, 聂栋栋, 等. 改进的基于 Gabor 滤波器的指纹增强算法. 计算机工程, 2005,15(31):146-147.
- 5 李丽娟, 何克清, 孙星明. 基于点的方向图算法. 湖南大学学报, 2005,32(4):104-107.