

文章编号:1000-582X(2004)09-0029-04

指纹图像增强及无效区域提取*

张腾,李见为,王玮,陈庆接

(重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室,重庆400030)

摘要:由于指纹采集设备的不完善性,对于干、湿、脏、老化、磨损的指纹,往往难以采到清晰的图像。本文给出了一套指纹增强的方法,实现了指纹沿指纹方向的图像增强,并针对该算法提出一种有效的去除无效区域的算法。

关键词:Gabor; 指纹增强; 图像分割

中图分类号:TP 391

文献标识码:A

信息化社会的到来,使指纹自动识别系统在身份认证方面有着广阔的前景。目前自动指纹识别系统大多是依靠细节特征实现指纹的识别,准确可靠地提取细节特征是自动指纹识别实现的前提和基础。而细节特征提取的准确性严重依赖于指纹图像的质量。为了确保特征提取算法的性能对指纹图像的质量具有足够的鲁棒性,研究指纹增强算法是十分必要的。同时为了确保增强后的指纹能够有效地反映指纹信息,有效区域的提取同样是十分重要的^[1-6]。

1 图像增强

对于指纹图像增强,本文主要依据沿脊线垂直方向的灰度变化呈正弦波形的假设,设计具有方向选择性的滤波器。因为沿着垂直于纹线的方向来看,指纹纹线大致形成一个二维的正弦波(如图1矩形框内的部分),除了模式区等少数异常区域以外,在一个小的局部区域内,指纹纹线的分布具有良好的频率特性和方向特性。充分利用局部区域内纹线的频率和方向信息,对每个局部区域构建相应的模板进行增强就能有效地去除噪声,突出纹线的固有结构。Gabor函数具有最佳时域和频域连接分辨率的特点,是唯一能够达到时频测不准关系下界的函数,可以很好地兼顾时域和频域信息,但是由于Gabor滤波计算量大、运算复杂度高,直接使用很难满足实际工程的需要。为此本文对Gabor滤波实现方式进行了改进。

笔者改进的主要思想如下:



图1 指纹波形

1) 考虑到指纹的方向和脊频都具有局部一致性,就没必要对图像中的每一点进行统计。本文的做法是将图像分割成大小为的小块,以该小块中心点的方向和脊频作为该小块中每一点的方向和脊频。

2) 对Gabor滤波器的复杂度最大的两个参数(方向和脊频)进行量化,这样就可以用有限个模板满足整个滤波的要求。

1.1 图像规一化

指纹图像规一化的主要目的是降低沿脊线、谷线方向的灰度的变化程度,而不改变脊线和谷线结构的清晰对比度,使图像具有预定的均值与方差。在本文所述的算法中,若不进行规一化,Gabor滤波后会产生大量的饱和区。具体算法,请读者参考文献[3]。

1.2 计算区域方向

区域的方向是Gabor滤波器中的最重要的参数,如果滤波器使用的方向与实际的方向相差的角度太大,滤波的效果会适得其反。用Sobel算子计算方向能够很好的满足Gabor的需要。

如直接使用的窗口,对于干、湿非常严重的指纹极易求错方向,根据Sobel的特性窗口越大,所求得的方向越准确,以所求块的中心点为中心,选取大小为 $W \times$

* 收稿日期:2004-03-22

作者简介:张腾(1978-),男,山东荣城人,重庆大学硕士研究生,主要研究方向为数字图象处理和模式识别。

W 的块(以大块的方向来估计小块的方向),本文采用的 W 值为 17。具体算法如下:

1) 采用 Sobel 算子^[4] 计算每一像素点(i,j)的 $G_x(u,v)$ (沿 X 轴方向)和 $G_y(u,v)$ (沿 y 轴方向)其模板系数如图 2:

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

X 轴方向

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Y 轴方向

图 2 模板系数

(2) 计算每块以点(i,j)为中心的局部方向 $\theta(i,j)$,公式如下:

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2G_x(u,v)G_y(u,v) \quad (1)$$

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

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{V_y(i,j)}{V_x(i,j)}\right) \quad (3)$$

$\theta(i,j)$ 为指纹的纹线方向。由于反正切函数的值域为 $-\pi/2$ 到 $\pi/2$,故 $\theta(i,j)$ 的取值范围为 $-\pi/4$ 到 $\pi/4$,所以判断 $\theta(i,j)$ 所在象限应该根据 $V_x(i,j)$ 和 $V_y(i,j)$ 的值。若 $\theta(i,j)$ 在第二或第三象限,则求出的 $\theta(i,j)$ 应相应地加上 $\pi/2$ 。当 $V_x(i,j)$ 和 $V_y(i,j)$ 同时为零时,就无法得到 $\theta(i,j)$,在这种情况下,应该把 $\theta(i,j)$ 设为某个默认数值(本文取 0),否则将会对后续处理带来难以预料的影响。方向计算效果如图 3。

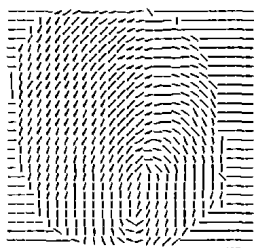


图 3 方向计算效果

将 $\theta(i,j)$ 进行量化,实现算法步骤如下:

- 1) 将弧度值 $\theta(i,j)$,转换为角度值 $\theta'(i,j)$ 。
- 2) 求方向量化后的序号。方法如下:

$$xuhao = (\text{int})\left(\frac{\theta'(i,j) \times 8}{180} + 0.5\right) \quad (4)$$

式中 int 表示取整,xuhao 的取值范围为:0,1,2,3,4,5,6,7,8。分别代表角度:0,22.5,45,67.5,90,112.5,135,157.5,180。

1.3 计算 Gabor 模板

其形式如下^[3]:

$$h(x,y,\theta,f) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{(X)^2}{\delta_x^2} + \frac{(Y)^2}{\delta_y^2}\right)\right\} \cos(2\pi fX) \quad (5)$$

$$X = x \cos(\theta)$$

$$Y = y \sin(\theta)$$

式中 x,y 为求得的模板内的坐标值, θ 为区域内沿指纹方向的角度, f 为区域内脊频(纹线间距的倒数), δ_x 和 δ_y 为高斯包络层的标准偏差。

脊频是 Gabor 滤波的基础。通常的做法如下:

- 1) 沿指纹方向选取一个比较大的窗口。
- 2) 统计该窗口内谷线的条数。
- 3) 根据统计结果计算谷线之间的平均间距。

以上做法不仅需要进行坐标变化,而且窗口内必须有三条以上的谷线,否则,计算结果误差很大。对于一幅质量较好的指纹,由于噪声的影响,计算出的纹线间距的误差在 1 ~ 3 像素之间;对于较干和较湿的指纹,计算的结果往往和实际的值相差很大。经实验发现,Gabor 滤波器对纹线间距的准确性并不敏感,即当 Gabor 滤波器中使用的纹线间距与实际的纹线间距的误差在一定范围内时,不会影响处理效果,实际上不同人的指纹对于同一指纹传感器来说,指纹的纹线间距的差别满足这个误差范围。

根据以上所述,对于同一指纹传感器踩得的指纹进行 Gabor 滤波时,完全可以使用固定的纹线间距,这样省去求脊频(即纹线间距的倒数),大大减少的运算量,提高了效率,同时也使过分干湿的区域(无法正确求取纹线间距的区域)有个比较好的处理效果。

在进行改进前的 Gabor 滤波时,对于不同的区域都需要求取一个滤波模板 $h(\theta,f)$,模板中每个系数的求取都需要经过(1.5)的运算,计算量很大。对一幅大小为 300×300 的图像进行处理时,用(5)运算的次数一定大于 $13 \times 13 \times 13$ 。

在进行求模板运算时,对于该区域只有 f 和 θ 两个变量,令模板为 $h(\theta,f)$ 。从前面的讨论可以知道, f 和 θ 一共只有 9 种组合,即共有 9 种 $h(\theta,f)$ 模板,这样在滤波时可以先将所用到的 9 种 $h(\theta,f)$ 求出来,然后按照所求的量化的 $xuhao$ 值(4)以索引方式去调用 $h(\theta,f)$,这样可以大大的减少处理时间。

1.4 Gabor 滤波

利用上面得到的 Gabor 模板,对指纹图像每个区域进行滤波,公式为:

$$f'(i,j) = \sum_{m=-n_w/2}^{n_w/2} \sum_{n=-n_h/2}^{n_h/2} h(m,n)f(i-m,j-n) \quad (6)$$

式中 $f(i,j)$ 和 $f'(i,j)$ 分别为滤波前后的图像, n_w 是滤

波器窗口的大小(本文取 10)。处理结果如图 4(左图为原图像,右图为滤波后分割的结果):



图 4 滤波处理的结果

本文对改进前和改进后的处理流程作了比较:

改进前的处理流程:

- 1) 图像规一化;
- 2) 计算局部区域的方向;
- 3) 计算局部区域的脊频;
- 4) 计算局部区域的 Gabor 滤波模板;
- 5) 进行卷积计算,计算滤波结果。

改进后的处理流程:

- 1) 图像规一化;
- 2) 计算量化的 9 个滤波模板;
- 3) 计算局部区域的方向;
- 4) 通过量化的 *xuhao* 索引滤波模板;
- 5) 进行卷积计算,计算滤波结果。

在配置为毒龙 1G CPU, 256 M 内存的 PC 机上,进行一次该处理所需的时间为 0.07 s。这样有了进行多次 Gabor 的可能。

2 有效区域的提取

有效区域的提取对后续的匹配工作具有十分重要的意义,后处理所得到的特征点与周围无效区域的距离是个非常重要的参数。

在此,提出一种新的算法,主要思想是将无效区域分为前景无效区域、背景无效区域两种分别进行处理。

2.1 背景无效区域的处理

根据指纹本身的特点,对于所取的范围内,有效的指纹图象的前景点的数量和背景点的个数因该在左右,根据上述特点,背景点的数目过多,就应认为该图象区域无效,算法如下:

- 1) 求前景点和背景点的灰度均值。

$$f_{\text{num}} = \sum_{i=0}^{N_w} \sum_{j=0}^{N_h} Ff_{\text{num}}(i, j) \quad (7)$$

$$Ff_{\text{num}}(i, j) = \begin{cases} 1, & f(i, j) \geq M \\ 0, & f(i, j) < M \end{cases} \quad (8)$$

$$b_{\text{num}} = \sum_{i=0}^{N_w} \sum_{j=0}^{N_h} Fb_{\text{num}}(i, j) \quad (9)$$

$$Fb_{\text{num}}(i, j) = \begin{cases} 1, & f(i, j) < M \\ 0, & f(i, j) \geq M \end{cases} \quad (10)$$

$$M = \frac{1}{N_w \times N_h} \sum_{i=0}^{N_w} \sum_{j=0}^{N_h} f(i, j) \quad (11)$$

其中 f_{num} 为前景点的个数, b_{num} 为背景点的像素数, N_w , N_h 分别为图像的宽度和高度。 M 为原图像的灰度均值,在规一化中使用过该参数。

$$f_{\text{aver}} = \frac{1}{f_{\text{num}}} \sum_{i=0}^{N_w} \sum_{j=0}^{N_h} Ff_{\text{sum}}(i, j) \quad (12)$$

$$Ff_{\text{sum}}(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & f(i, j) > M \\ 0, & f(i, j) \leq M \end{cases} \quad (13)$$

$$b_{\text{aver}} = \frac{1}{b_{\text{num}}} \sum_{i=0}^{N_w} \sum_{j=0}^{N_h} Fb_{\text{sum}}(i, j) \quad (14)$$

$$Fb_{\text{sum}}(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & f(i, j) < M \\ 0, & f(i, j) \geq M \end{cases} \quad (14)$$

其中, b_{aver} 为背景点的灰度值, f_{aver} 为前景点的灰度值;

- 2) 滤波处理。

对于窗口大小为 $n_w \times n_w$ 的窗口有:

$$\text{sum}_{\text{win}} = \sum_{i=0}^{n_w} \sum_{j=0}^{n_w} f_{\text{win}}(i, j) \quad (15)$$

sum_{win} 为窗口所有象素的灰度和, $f_{\text{win}}(i, j)$ 为窗口内的像素的灰度值。对整幅图象用下式处理:

$$f'(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & \text{sum}_{\text{win}} > (f_{\text{aver}} \times (\text{size} - \sigma) + \sigma \times b_{\text{aver}}) \\ -1, & \text{其它} \end{cases} \quad (16)$$

其中 $f'(i, j)$ 为对小区域的有效性进行判断后的结果,若有效则继续保持原值,否则置为 -1,表示该区域无效。 $\text{size} = n_w^2$ 表示窗口内像素的个数, σ 与窗口的大小,作者取 15。实验表明该算法对背景噪声非常有效。

2.2 前景无效区域的处理

指纹本身具有很强的方向性,没有方向的指纹区域就是无效的,根据以上思想,前景无效区域的处理算法如下:

- 1) 求取点的方向。

用 Sobel 算子来确定指纹的方向,在图象增强部分中已经详细论述过。

- 2) 求方向上的灰度和。

按照指纹方向求取的灰度和:

$$\text{sum}_{\text{max}} = \sum_{i=0}^{n_w} f_{m, n} \quad (17)$$

按照垂直于指纹方向求取灰度和:

$$\text{sum}_{\min} = \sum_{i=0}^{n_w} f_{m,n} \quad (18)$$

其中 n_w 是所选取的窗口大小, 本文取值为 15, $f_{m,n}$ 为指纹线上的像素的灰度值, 令

$$T = | \text{sum}_{\max} - \text{sum}_{\min} | \quad (19)$$

T 为沿指纹方向的像素和与垂直指纹方向的像素和的差值的绝对值。从上式可以看出, T 越大则该小块的方向性越强, 所以该值可以作为判断该区域是否有方向的判据。令

$$T_0 = 2 \times \sqrt{V}$$

$$V = \frac{1}{N_w \times N_h} \sum_{i=0}^{N_w} \sum_{j=0}^{N_h} (f(i,j) - M) \quad (20)$$

式中 V 是规一化中的一个重要的参数。当 $T > T_0$ 时该点为有效点, 当 $T < T_0$ 时为无效点, 此方法对前景无效区的判别很理想, 在实际应用时, 该判据应在非背景区域的基础上再进行判断。这是因为:

1) 使背景区域和前景区域的无效区域的判断分离。由于两种计算不相关, 使两种区域去除无效区域的大小可以单独调节。

2) 减少了重复计算, 提高了处理速度, 不影响处理结果。处理结果如图 5 (其中中间深色的区域是通过方向求得的)。



图 5 前景无效区域的处理结果

这种方法的立足点是指纹本身的方向性, 对于 Gabor 滤波来说结果是准确的。同时, 算法中所需要的大部分参数在 Gabor 滤波中都可以得到, 即该部分与第一次 Gabor 变换可以同时实现, 只占少量的处理时间。

3 结束语

本文提出了一套指纹图像增强算法以及与之相应的提取无效区域算法, 并且已经在 PC 机上通过 Visual C++ 6.0 实现。实验证明, 对于受到各种原因影响而得到的质量较差的指纹图像, 通过本文改进的 Gabor 滤波器对其进行增强, 不仅增强效果明显, 而且处理速度快, 对指纹的后续处理具有很强的鲁棒性和实用性。其中提取无效区域算法保证了 Gabor 滤波的准确性。

参考文献:

- [1] 王来生. 计算机图形处理技术[M]. 西安: 西安交大出版社, 1988.
- [2] 徐建华. 图像处理与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [3] Q XIAO, H RAAFAT. Fingerprint image postprocessing: a combined statistical and structural approach [J]. Pattern Recognition, 1991, 24(10): 985-992.
- [4] L HONG, Y WAN, A K JAIN. Fingerprint image enhancement: algorithms and performance evaluation [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligent, 1998, 20(8): 77-789.
- [5] HUANG D C. Enhancement and feature purification of fingerprint image [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(11): 1661-1671.
- [6] STONEY D A. Distribution of Epidermal Ridge Minutiae Am [J]. J Physical Anthropology, 1988, 77: 367-376.

Fingerprint Enhancement and Segmenting

ZHANG Teng, LI Jian-wei, WANG Wei, CHEN Qing-jie

(Key Laboratory of Opto-electronic Technique and Systems Under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Owing to the defects of fingerprint sampling facilities, it is often difficult to collect the distinct and intact images under the conditions that the finger is too dry, too wet, dirty or frayed. The authors provide a method of Gabor filtering to enhance the images which follows the orientation of fingerprint, and provide an effective method to identify and remove the invalid areas.

Key words: gabor function; fingerprint enhancement; image segmenting