

一种改进的指纹图像二值化处理方法

田俊青, 徐荣青, 李亚玲, 姚晓宇

(南京邮电大学 光电工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 提出了一种指纹图像二值化处理方法, 该方法利用维纳滤波对原始图像进行预处理, 然后采用连续块方向图计算指纹方向, 结合方向信息用方向滤波模板对图像进行增强二值化。实验结果表明, 该算法可以消除孔洞、去除粘线、粘连断线, 二值化后的图像效果良好, 脊线饱满平滑。

关键词: 维纳滤波; 连续方向图; 二值化

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)18-0052-04

An improved binarization method for the fingerprint image

TIAN Jun Qing, XU Rong Qing, LI Ya Ling, YAO Xiao Yu

(School of Opto-Electronic Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper proposes a method for binarizing fingerprint image, which process the original image with Wiener filter. Then it calculate fingerprint direction with continuous block direction images, and enhance fingerprint images with orientation of filter templates. At last it binarizes the image. The experimental results indicate that the presented algorithm can achieve good capability of repairing the disconnected line, eliminating the holes and removing crossed lines in the fingerprint images.

Key words: Wiener filtering; continuously directional image; binarization

随着社会和经济的发展, 人们对身份鉴别的准确性、安全性与实用性提出了更高的要求。而指纹具有唯一性、不变性、稳定性, 以及易采集等优点, 使得指纹识别成为当前生物识别技术中最受青睐的技术之一, 在电子商务、犯罪鉴别、信息安全等领域都有广泛的应用。在指纹识别算法中, 由于现有指纹采集设备的不完善性, 均需对采集的图像进行二值化处理, 这个过程是相对最难突破的一个不可或缺的重要环节。二值化是将含有噪声的灰度图像处理成适于特征提取的二值图像, 其处理结果的好坏直接影响着整个识别系统的性能。

二值化指纹图像就是将图像上的点的灰度值置成 0 或 255, 即通过阈值使白色的谷线区域灰度都达到 255, 黑色的脊线区域灰度都达到 0, 由此使指纹纹线对象成为黑白两色图像。二值化主要有全局阈值法、局部阈值自适应算法和基于方向信息的二值化方法。全局阈值是在整幅图像内采用固定的阈值分割图像, 经典的方法是以灰度直方图为处理对象, 但由于单一的阈值会造成特征点的丢失, 因此该方法一般不会单独使用, 局部阈值自适应算法是将原始图像分成几个小的子图像, 再对每个小图像分别求出最优分割阈值, 如参考文献[1]采用

的改进的自适应指纹图像二值化方法, 虽然对于一些质量差的指纹图像能够很好地保留重要的特征信息, 但是该方法得到的二值化图像有很多噪声, 不利于后面细节的提取, 需要进一步处理。上述方法对阈值的选取有很高的依赖性, 而且没有考虑指纹图像本身的纹理特征, 处理结果不理想。基于方向信息的二值化方法目前使用很广, 它利用指纹方向信息对指纹断裂和粘连有连接和隔离效果, 但是由于有干扰的存在和中心点处方向判断困难, 局部区域二值化效果出现偏差, 还会出现孔洞, 为后期处理增加了困难, 参考文献[2]的算法还会在特征点处出现严重的干扰, 这样会对特征提取造成一定影响。楚亚蕴^[3]提出了一种结合指纹方向信息的自适应动态阈值二值化算法, 该方法能有效提高二值化精度, 并对断线具有一定的连接效果, 但始终没有解决二值化的孔洞及粘线问题。本文针对上述情况, 提出了一套指纹图像二值化处理方法。该算法充分考虑到指纹图像是一种纹理性的图像, 先进行维纳滤波, 防止后期产生孔洞, 然后采用连续块方向图计算指纹的方向, 最后以方向图为基础, 采用方向滤波模板对指纹图像进行滤波增强, 实现二值化。实验结果表明, 此方法对于不同质量的

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

指纹图像都有令人满意的处理效果,在指纹图像预处理中有良好的应用前景。

1 指纹图像二值化处理

在指纹图像进行二值化之前先要对它进行图像分割,这里采用最大类间方差图像分割^[4]。为了获得没有噪声或者噪声强度相当低的图像,本文选用维纳滤波进行图像预处理。

1.1 维纳滤波

维纳滤波器根据各像素局部领域的统计估计进行自适应滤波。它将图像信号和噪声都看成随机信号,在对随机信号进行分析统计的基础上设计出符合最优准则的滤波器。假设图像信号 $g(x,y)$ 是由真实图像 $f(x,y)$ 和噪声信号 $n(x,y)$ 构成,设计图像滤波器的目的就是使输出的图像 $I(x,y)$ 尽可能地降低噪声信号 $n(x,y)$,同时恢复真实图像 $f(x,y)$ 。定义误差信号为:

$$e(x,y)=f(x,y)-I(x,y) \quad (1)$$

均方误差是平均误差的度量:

$$MSE = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (e^2(x,y)) \quad (2)$$

维纳滤波器以最小均方误差作为最优准则设计滤波器。这是因为对误差进行平均运算将使得大误差的分量远远大于小误差的分量,选择最小化均方误差就可以限制滤波器输出的主要误差^[5]。

维纳滤波是使原始图像 $f(x,y)$ 及其恢复图像 $I(x,y)$ 之间均方误差最小的恢复方法,其计算公式为:

$$g(x,y) = \iint h(x-\alpha, y-\beta) f(\alpha, \beta) d\alpha d\beta + n(x,y) \quad (3)$$

给定了 $g(x,y)$, 并不能精确求解出 $f(x,y)$, 在此只能找到一个估算值 $I(x,y)$, 使得均方误差 $e^2 = E\{[f(x,y) - I(x,y)]^2\}$ 最小, 其中 $I(x,y)$ 叫做给定 $g(x,y)$ 时 $f(x,y)$ 的最小二乘方估计。最小二乘方滤波器的传递函数表示形式为:

$$M(u,v) = \frac{1}{h(u,v)} \cdot \frac{|H(u,v)|^2}{|H(u,v)|^2 + K} \quad (4)$$

式中, K 是噪声对信号的功率密度比, 它近似为一个适当的常数。

实验中使用 Matlab 中的 `wiener2` 函数对采集到的图像进行滤波。 `wiener2` 的调用格式如下:

$$[J, Noise] = wiener2(I, [M N]);$$

其中, I 表示输入图像, $[M N]$ 表示卷积使用的邻域大小, $Noise$ 是滤波器估计的噪声强度。

然后对滤波之后的指纹图像利用方向图进行二值化。

1.2 方向图的计算

方向图是描述指纹图像上各点的纹线走向指示图。将纹线的走向分为 8 个方向, 基准点位于方向模板的中心, 从水平位置开始, 按逆时针方向, 每隔 $\pi/8$ 确定一

个方向, 分别用 $i=1, 2, \dots, 8$ 来表示, 此方法计算的方向角范围是 $[0, \pi]$ 。本文选用计算方向图^[6], 具体计算步骤如下:

(1) 采用 7×7 窗口, 设其为矩阵 A , A_{44} 为基准点 $P(i, j)$, 其中有 4 个方格是 3 个方向共用的, 如图 1 所示, A_{33} 、 A_{55} 是方向 6、7、8 共用的方向, A_{35} 、 A_{33} 是方向 2、3、4 共用的方向。采用此窗口设置方向充分考虑了基准点附近较近点的灰度值, 共用点的权值比较大。

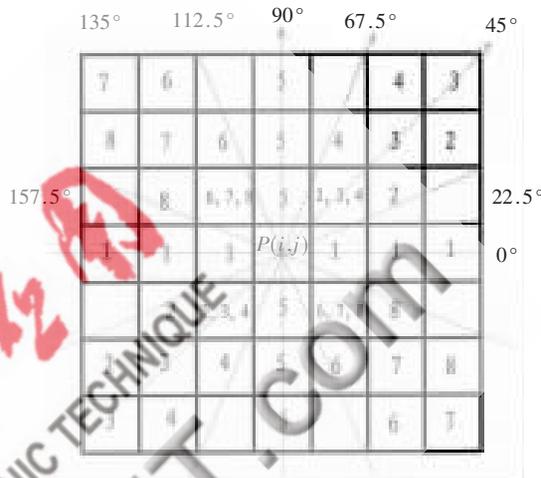


图 1 8 个方向的方向模板

(2) 对指纹图像中的每一点 $P(i, j)$, 分别计算 8 个方向上的灰度平均值, 即对图 1 中标有 $i(i=1, 2, \dots, 8)$; 分别代表 8 个方向) 的位置上的像素灰度值求算术平均值, 得到 G_i ;

(3) 把这 8 个平均值按两两垂直的方向分成 4 组: 1 和 5 为一组, 2 和 6 为一组, 3 和 7 为一组, 4 和 8 为一组, 分别计算每组中两个平均值的差的绝对值。

(4) 根据上一步求出的方向组的差值, 取绝对值最大的方向组中的两个方向作为可能的脊线方向。

(5) 确定方向组中的两个方向: 将这两个方向上的像素灰度的平均值与像素 $P(i, j)$ 的灰度值 G 进行比较, 取灰度平均值与 $P(i, j)$ 的灰度值 G 接近的方向作为该像素点 $P(i, j)$ 的脊线方向, 这样得到的是指纹图像的点方向图。

(6) 用连续滑动的 $w \times w$ 大小的窗口对点方向图中的每一点 $P(x, y)$ 进行平滑处理, 分别统计每个窗口内方向直方图, 这里 w 的取值需要考虑, 如果取得太大, 对纹线方向变化比较快的区域得到的方向不精确, w 取值小时又会引起噪声误差, 二值化时会产生气泡, 通常 w 取值要比一个纹线间距略小;

(7) 将直方图的峰值所对应的方向作为点 $P(x, y)$ 的方向, 根据此方法对点方向图中的每个点进行平滑处理, 便可得到连续方向图 $O(i, j)$ 。

图 2(b) 所示为对图 2(a) 分别用 8 个颜色代表纹线的 8 个方向的示意图。

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 18 期

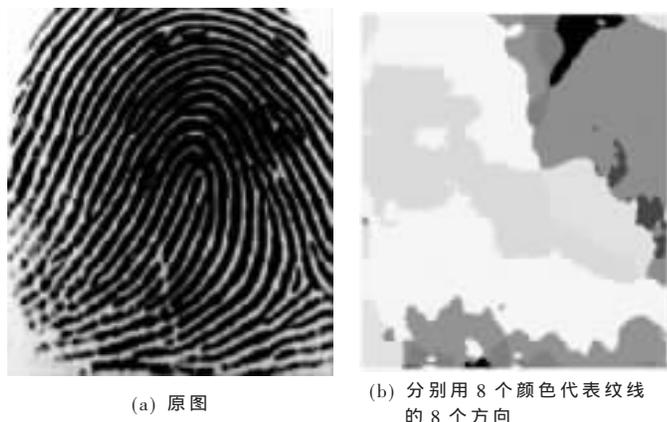


图2 方向图

1.3 指纹图像增强滤波及二值化

利用上面计算出的连续方向图,就能根据其方向设计出相应的方向自适应滤波模板。其设计思想是使指纹纹线在切线方向平滑,在法线方向锐化,以消除指纹图像中纹线的断裂和叉连。方向自适应滤波器是由多个方向的滤波模板组成的,本文选用 O'Gorman 提出的方法构造滤波模板^[8]。

取水平方向的滤波器为:

$$h = \begin{bmatrix} -60 & -154 & -200 & -242 & -220 & -154 & -60 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 36 & 90 & 130 & 142 & 130 & 90 & 36 \\ 50 & 128 & 180 & 200 & 180 & 128 & 50 \\ 36 & 90 & 130 & 142 & 130 & 90 & 36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -60 & -154 & -220 & -242 & -220 & -154 & -60 \end{bmatrix}$$

其他方向(2~8)的滤波器可由其旋转相应的角度得到。Matlab 中利用函数 `imrotate()` 实现。

在指纹图像上,从上到下、从左至右逐点移动,根据每个像素的方向值,选用相应的滤波器模板进行卷

积滤波运算。经过上述滤波处理后,消除了一些断点和叉连现象。在本算法中,对 8 个方向进行滤波增强,脊线图像提取之后对它们进行组合、二值化。

图 3 所示为 8 个方向提供的有线图像、脊线组合后的图像以及二值化后的图像。

这时,只需要一个全局阈值就可以将灰度图像二值化了。直接使用 Matlab 中的 `im2bw` 函数对灰度图像进行二值化图像的转化。调用格式如下:

```
level=graythresh(I);
BW=im2bw(I,level);
```

2 实验结果及性能分析

为了验证上述算法的有效性,在 CPU 为 Pen-tium 42.66 GHz、内存为 1 GB 的计算机上,运用 Matlab 7.1 编程工具实现了上述算法,实验结果如图 4 所示。从处理实例中可以看出,图 4(b)采用局部阈值二值化,受到采集仪器和一些不可抗拒的噪声的影响,处理的结果不理想,有断纹和粘线。参考文献[2]介绍的方法利用了纹线方向信息,比较某点切线和法线方向上的灰度值,从而判断该点是在脊线还是在谷线上,虽然这种方法考虑了纹线方向,但是在方向变化剧烈的中心点区域附近,处理的纹线会出现错位现象。参考文献[7]的方法是利用方向模板滤波得到的二值化图像,可以看到二值化后的图像比较平滑,但是有很明显的孔洞现象,还需要进行后期处理。相比于上述算法,本文的方法首先进行维纳滤波,较好地保持了原始指纹图像信息,又最大限度地消除了噪声影响,避免了二值化处理后产生孔洞现象。然后,利用指纹方向信息设计方向滤波模板,对图像滤波增强,实现二值化。可以看到采用本文方法得到的二值化图像基本保持了原有指纹图像的细节,二值化后的线条平滑,对断裂的指纹有一定的连接作用,消除了孔洞、连线,细化的结果令人满意。

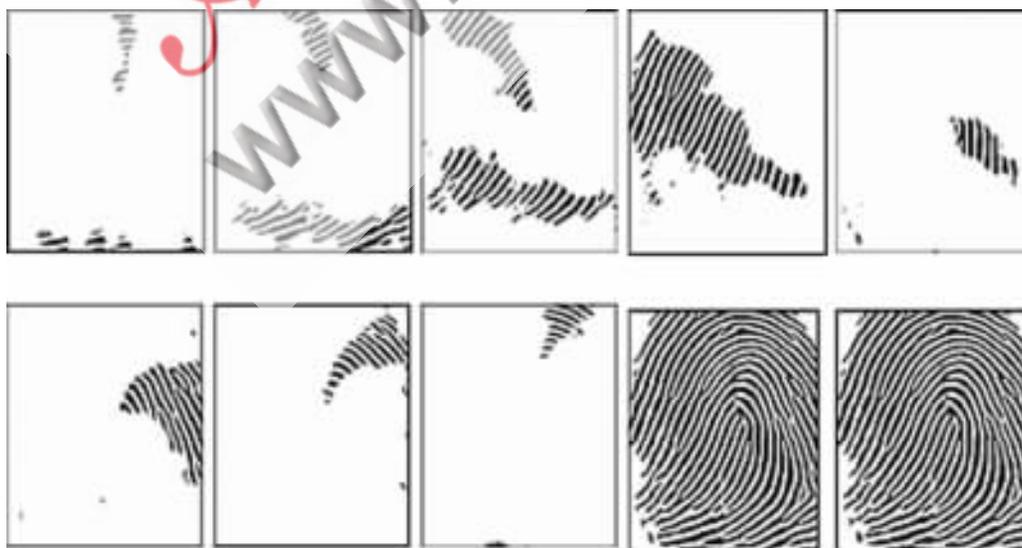


图3 8 个方向提取的脊线图像、脊线组合后的图像以及二值化后的图像



图4 实验结果

本文详细介绍了一种指纹图像的二值化处理方法,对于一般的利用方向信息得到的二值化图像中产生的如孔洞、在脊线方向变化剧烈的区域提取信息不准确等问题,进行了解决。两次滤波后实现的二值化图像的线条平滑饱满,消除了孔洞、连线,并且对断裂的纹线起到一定的连接作用,特征点处的处理图像也很清晰准确,效果明显,为后面的准确提取细节做准备。本文算法简单,易于工程实现,通用性和实用性强,能够直接或者在稍作改造后用于诸如身份辨认、身份识别等场合。基于该指纹识别预处理方法的指纹识别系统能够在提高经济效益、降低工作人员劳动强度方面起到较大的作用,具有一定的社会和经济意义。

参考文献

- [1] JOSEF S B, NILSSON M, NORDBERG J, et al. Improved adaptive fingerprint binarization[J]. Congress on image and

signal processing, 2008:756-760.

- [2] 孙以雷,陈红卫.指纹图像二值化方法研究[J].舰船电子工程,2006,151(1):110-112.
- [3] 楚亚蕴,詹小四,孙兆才,等.一种结合方向信息的指纹图像二值化算法[J].中国图象图形学报,2006,11(6):854-860.
- [4] 贾则,戴荣涛,张芬,等.基于连续分布方向图的指纹图像分割算法研究[J].微电子学与计算机,2007,24(12):141-143.
- [5] 周光,罗元,张毅,等.基于维纳滤波的自适应二值化技术的研究[J].软件时空,2008,24(7):231-233.
- [6] 聂桂军,吴陈.自动指纹识别系统中连续分布方向图的研究[J].中国图象图形学报,2005,10(3):315-319.
- [7] 张正言,聂桂军,徐荣青.基于连续方向图的指纹图像增强算法[J].微电子学与计算机,2007,24(3):56-58.
- [8] O'GORMAN L, LINDBERG, NICKERSON J V. An approach to fingerprint filter design[J]. Pattern Recognition, 1989, 22(1):29-38.

(收稿日期:2010-07-07)

作者简介:

田俊青,女,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:自动指纹识别系统。

徐荣青,男,1966年生,教授,博士,主要研究方向:光电信息检测,指纹处理。

李亚玲,女,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:视频处理。