

基于梯度的方向信息在指纹预处理中的应用

马建敏¹, 李晶², 杨奎河¹, 王政³

(1. 河北科技大学 信息科学与工程学院, 河北 石家庄 050018;

2. 河北化工医药职业技术学院, 河北 石家庄 050026;

3. 石家庄法商职业学院, 河北 石家庄 050091)

摘要: 为了提高指纹图像预处理算法的抗噪能力,给出了一种基于梯度的指纹方向图获取方法,并利用指纹图像的方向信息进行指纹图像的预处理,得到了更为精确的指纹细节点图。在指纹预处理过程中引入该方法,能有效地改善指纹纹线的质量。实验分析表明,该方法具有很好的使用价值。

关键词: 预处理; 方向图; 二值化; 细化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)16-0044-03

Application of direction information based on gradient in fingerprint preprocessing

MA Jian Min¹, LI Jing², YANG Kui He¹, WANG Zheng³

(1. School of Information Science & Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China;

2. Hebei Vocational College of Chemical Industry and Medicine, Shijiazhuang 050026, China;

3. Shijiazhuang Vocational College of Law and Commerce, Shijiazhuang 050091, China)

Abstract: In order to maintain and restore fingerprint ridge structures, and improve the noise immunity of fingerprint image preprocessing algorithm. In the paper, a method for getting direction image based on gradient is given. Using direction information of fingerprint image, we execute a sequence of operations, such as: image enhancement, binarization, thinning, and a more accurate linear graph is obtained. This method which is proposed in process of fingerprint preprocessing can effectively improve the quality of fingerprint ridge and has an obvious restrain effect for different kinds of image noise. The experiment results show that the method achieves the desired result.

Key words: preprocessing; direction image; binarization; thinning

随着网络与通信技术的飞速发展和人类活动空间的不断扩大,人类对自身身份识别的准确性、安全性与实用性提出了更高要求。由于指纹具有唯一性、稳定性(终生不变性)等突出优点,因此,自动指纹识别成为一个重要的研究热点。

自动指纹识别系统主要由以下三部分构成:指纹图像预处理、特征提取和特征匹配。实践中受多种因素的影响,输入的指纹图像存在各种噪声,这些噪声对指纹细节特征的提取造成一定的影响,因此,在提取指纹特征之前需要对指纹图像进行预处理。

由于指纹方向图能够反映指纹图像纹理结构的本质,被广泛应用于指纹图像处理中。针对输入指纹图像

的特点和系统要求,通过当前比较流行的预处理算法,从方向信息着手,结合指纹图像的预处理过程,重点研究了基于梯度的方向图获取方法。

1 方向图的基本概念

方向图是描述指纹图像中纹理方向及对应位置的一个二维平面场,它可看作是原始灰度指纹图像的一种变换表示法。图1所示为局部放大的指纹图,从图可知,在局部范围内指纹具有如下特点^[1]:(1)纹线具有一致的方向性;(2)纹线的宽度基本相同;(3)纹线间的距离基本相同。方向图算法正是基于上述特点,将原始指纹图像进行变换,用纹线上某点的方向来表示该纹线的方向。

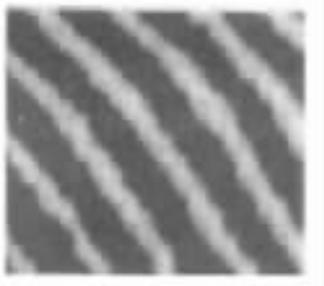


图1 指纹局部放大图

另外,在指纹图像处理过程中涉及一些术语,它们名称相近,联系紧密,而意义却相去甚远,需要加以明确和区别。

(1)方向场与方向图:方向场是根据指纹图像所具有的方向流特性,将图像看成一个流场,利用梯度或者其他计算方法得出,值域为 $[0, 2\pi)$;而方向图指的是指纹纹理的方向,值域为 $[0, \pi)$,可以通过方向场得到方向图。

(2)点方向与块方向:点方向是指纹图像中每一个像素点的方向;而块方向则是把指纹图像划分成许多不重叠的块,用块的平均方向代替块中每一像素点的方向。一般来说,点方向对噪声敏感,而块方向对噪声的抑制能力较强,效率较高,效果更好。

2 指纹图像预处理

2.1 指纹图像归一化

指纹图像的归一化^[2]是对原始灰度图像上每一个像素点的一种操作,其目的是将指纹图像的灰度均值和方差规范到固定的范围,为后续图像的处理提供一个规格的图像。

设指纹图像 G 大小为 $M \times N$, $P(i, j)$ 为像素点 (i, j) 的灰度值, M 和 VAR 分别为图像灰度均值与方差, $P'(i, j)$ 为像素点 (i, j) 归一化后的灰度均值,归一化步骤如下:

(1)依据以下公式计算整幅图像的灰度均值和方差:

$$VAR = \sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} (P(i, j) - M)^2 / (M \times N), (i, j) \in G \quad (1)$$

$$M = \sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} P(i, j) / (M \times N), (i, j) \in G \quad (2)$$

(2)根据式(3)实现归一化处理:

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

其中, M_0 和 VAR_0 分别为期望的均值与方差,它们的值一般由经验确定。按式(3)对原始指纹图像进行点运算后即可实现图像的归一化处理。

2.2 指纹图像分割

根据指纹图像被噪声干扰的程度及能否正确恢复,可把图像细分为四类区域^[3]:白背景区、前景区、不可恢复区和模糊区。指纹图像分割的目的是割除白背景区和不可恢复区,保留前景区,尽可能保留模糊区中能恢复

的部分。这里采用一种比较简单的分割方法^[4]来割除白背景区,就可以达到预期的效果。

假设 $p(i, j)$ 代表指纹图像 (i, j) 处的灰度值,将图像分成大小为 $M \times M$ 的块 (M 的大小以包含一脊一谷为宜),通过计算以下两种灰度特征来判别前景区与背景区。

(1)根据式(4)计算第 (m, n) 块的灰度均值:

$$mean = \left[\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} p(i+m \times M, j+n \times M) \right] / (M \times M) \quad (4)$$

(2)根据式(5)计算第 (m, n) 块的方差:

$$variance = \left[\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} (p(i+m \times M, j+n \times M) - mean)^2 \right] / (M \times M) \quad (5)$$

设置适当的均值阈值 T_1 和方差阈值 T_2 , 当 $mean > T_1$ 且 $variance < T_2$ 时,该块即为背景区,可以割除。在实际操作中,通常 M 取较小值,例如 $M=6$ 。随着 M 的不同,阈值 T_1 和 T_2 要做相应的调整。

2.3 基于梯度的指纹方向图提取

利用指纹进行身份识别主要是对指纹图像进行处理,分析其纹理结构特征,抽取指纹的特征点。计算方向图的基本思想是:在灰度图像中计算每一点(或每一块)在各个方向上的某个统计量(如灰度差、梯度等),根据这些统计量在各个方向上的差异,确定该点(该块)的方向。

这里给出一种基于梯度的改进的指纹方向图方法^[5-7]。其思想是:在计算方向图时采用块重叠的方式,即在求某一小块的方向时,先以此小块为中心扩大块的范围并计算该大块的方向,然后将此大子块方向作为小子块方向,所得的块方向图更连续、更准确。

(假设一幅大小为 $M \times N$ 的灰度指纹图像 G , 用 $p(i, j)$ 表示像素点 (i, j) 的灰度值,该算法描述如下:

(1)将指纹图像 G 分成大小分别为 $W \times W$ 与 $w \times w$ 的子块。其中 $W > w$, w 的大小以包含一脊一谷(即一个周期)为宜, W 以包含一周半为宜。

(2)对每一大子块,利用公式(6)和公式(7)计算块中每个像素点 $p(i, j)$ 在水平方向上的梯度 $\partial_x(u, v)$ 和垂直方向上的梯度 $\partial_y(u, v)$, 这里选用简单的梯度算子,如 Sobel 算子。

(3)利用以下公式计算以像素点 $p(i, j)$ 为中心的各大子块的方向:

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

$$v_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)) \quad (7)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{v_y(i, j)}{v_x(i, j)} \right) \quad (8)$$

其中, $\theta(i, j)$ 所表示的方向即为以点 $p(i, j)$ 为中心的大子块的方向, $\partial_x \neq 0$ 且 $\partial_y \neq 0$, 当 $W \times W$ 的块中 ∂_x 或 ∂_y 为 0

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

的比率很大(多于大子块总像素点数的 80%)时,令块方向为 0 或 π ,这样 $W \times W$ 块中的每一个像素的方向都等于 θ 。

(4)将该大子块的方向 $\theta(i,j)$ 作为小子块的方向保存起来,然后循环计算下一块的方向。

由于指纹图像噪声的存在,尽管由上面的步骤求出的方向图已经能够比较精确地反映出指纹纹线的方向,但有时根据情况的不同还要做进一步处理。这里采用一种将方向图正交分解后,利用高斯低通滤波器对各块指纹图像的方向信息进行平滑处理。具体步骤为:

首先根据下式计算 $\theta(i,j)$ 在 x 轴与 y 轴上的投影分量:

$$\xi_x(i,j) = \cos[\theta(i,j)] \quad (9)$$

$$\xi_y(i,j) = \sin[\theta(i,j)] \quad (10)$$

再根据以下公式进行低通滤波表示:

$$\xi'_x(i,j) = \sum_{u=-W_\xi/2}^{W_\xi/2} \sum_{v=-W_\xi/2}^{W_\xi/2} H(u,v) \cdot \xi_x(i-uw, j-vw) \quad (11)$$

$$\xi'_y(i,j) = \sum_{u=-W_\xi/2}^{W_\xi/2} \sum_{v=-W_\xi/2}^{W_\xi/2} H(u,v) \cdot \xi_y(i-uw, j-vw) \quad (12)$$

其中, $H(u,v)$ 为一个大小为 $W_\xi \times W_\xi$ 的二维低通滤波器(一般取 $W_\xi=5$)。

最后,计算块平滑后的方向为:

$$\theta'(i,j) = \tan^{-1}(\xi'_y(i,j)/\xi'_x(i,j))/2$$

2.4 二值化

指纹图像二值化是将灰度图像转化成 0、1 两个灰度级的图像,前景点(指纹脊线)取作 1,背景点(谷线)取作 0,其目的是把指纹脊线提取出来。二值化^[8-9]的方法很多,阈值的选择是图像二值化的关键。本文采用区域自适应阈值法^[10-11]对指纹图像进行二值化。二值化算法的步骤为:

(1)将指纹图像划分为互不重叠的 $W \times W$ 子块;

(2)计算出每个子块的灰度均值;

(3)将每个子块计算所得的灰度均值作为动态阈值 T , $p(i,j)$ 为子块内像素点 (i,j) 的灰度值。根据阈值 T 对该区域内的像素点进行二值化处理。若某一点的灰度值 $p(i,j) > AV$, 则 $p(i,j) = 1$; 若 $p(i,j) \leq AV$, 则 $p(i,j) = 0$ 。

(4)根据上述第(3)步,依次对每一子块进行二值化处理。

2.5 细化

细化^[12]是图像分析、信息压缩、特征提取和模式识别常用的基本技术,细化的目的是为了更方便后续特征提取的操作。细化算法^[13-14]的种类很多,常用的细化方法有 OPTA 方法、Hilditch 方法、E.S.Deutsch 方法和 Sherman 方法,基于不同的情况,需进行具体的选择。本文采用一种常用的细化算法——查表法。其原理为:某一黑点,如果它在图形边缘,要去掉它以实现细化,这样它周围的八点必定表现为一定的色彩顺序,如图 2 所示。

细化算法如下:

(1)按顺序对八邻域组合进行编码;

(2)根据上述原理制作一张消除表,实际上是一个容量为 256 的数组,下标分别与八邻域组合的编码一一对应;

(3)对二值图像进行从上到下、从左到右的扫描,对每一个黑点做相应处理;

(4)对二值图像进行从左到右、从上到下的二次扫描,对每一个黑点做类似处理;

(5)如果本次循环有黑点被删除,则跳到第(3)步循环执行;否则,终止循环,细化结束。

3 实验结果与分析

采用 Visual C++.NET 编程实现上述预处理过程,通过对 100 余幅指纹图像进行预处理实验。实验参数如下: M_0 和 VAR_0 均为 125,大块尺寸为 11×11 ,小块尺寸为 7×7 。图 3 为实验得到的典型结果,图 3(a)是利用 Solid4000B 指纹采集仪采集到的原始指纹灰度图片,图 3(b)为分割后的效果,图 3(c)为方向图,图 3(d)为经过平滑后的效果,图 3(e)是二值化输出结果,图 3(f)是细化后的结果。将细化后的指纹图像与原指纹图像比较,可以发现减少了指纹图像中的伪结构,有利于后续工作的进行。



图 3 指纹图像预处理结果

本文对现有求取方向图方法进行分析,给出了一种改进的获取指纹图像方向信息的方法。实验结果表明,该方法具有实现简单、速度快、鲁棒性好等特点。指纹图像经过上述预处理,能够获得较好的效果,为后续指纹图像的处理提供了有力保障,具有较好的应用价值。

参考文献

- [1] RATHA N K, CHEN S Y, JAIN A K. Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images [J]. Patter Recognition, 1995, 28(11):1657-1672.
- [2] WANG Feng, LI Ji Gui. Fingerprint image enhancement

- algorithm research[J].Modern Computer, 2003(2):157.
- [3] FENG Jian Jiang. Combining minutiae descriptors for fingerprint matching [J]. Pattern Recognition, 2008,41(1): 342-352.
- [4] 冯星奎,颜祖泉,肖兴明,等.指纹图像合成分割法[J]. 计算机应用研究,2000,17(1):76-77.
- [5] 翟波,纪工波,聂谈.基于方向信息的指纹图像预处理. 计算机工程与科学,2005(27):60-63[14].
- [6] 黄贤武,苏鹏程,柏培权.基于方向滤波分割的指纹自动识别系统算法[J].中国图象图形学报,2002,7(8): 829-834.
- [7] CHEN X J, TIAN J, YANG X. A new algorithm for distorted fingerprints matching based on normalized fuzzy similarity measure[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2006, 15(3):767-776.
- [8] BENHAMMADI F, AMIROUCHE M N, HENTOUS H, et al. Fingerprint matching from minutiae texture maps[J]. Pattern Recognition, 2007,40(1):189-197.
- [9] MALTONI D, MAIO D, JAIN A K, et al. Handbook of fingerprint recognition[M]. Springer-Verlag New York, Inc., 2003.
- [10] BAZEN A M. Systematic methods for the computation of the directional fields and singular Points of fingerprints[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7):905-919.
- [11] 李建华,马小妹,郭成安.基于方向图的动态阈值指纹图像二值化方法.大连理工大学学报[J]. 2002,42(5):626-628.
- [12] 王业琳,宁新宝,尹义龙.指纹图像细化算法的研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2003,39(4):469-475.
- [13] 冯星奎,李林艳,颜祖泉.一种新的指纹图像细化算法. 中国图象图形学报, 1999, 4(10):835-838.
- [14] AREEKUL V, WATCHAREERUETAI U, SUPPASRIWA-SUSETH K, et al. Separable gabor filter realization for fast fingerprint enhancement[C]. IEEE International Conference on Image Processing. 2005,3:253-256.

(收稿日期:2010-06-10)

作者简介:

马建敏,男,1975年生,硕士研究生,主要研究方向:网络数据库、图像处理、模式识别。

李晶,女,1979年生,讲师,硕士,主要研究方向:图像处理、模式识别。

杨奎河,男,1966年生,教授,博士,硕士生导师,主要研究方向:计算机网络、数据库应用技术、人工智能。