

一种有效的指纹图像预处理方法

孙林森, 吴小培, 项明

(安徽大学 计算机智能与信息处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要: 预处理是指纹自动识别系统中非常关键的部分, 它直接影响着指纹识别的最终效果。指纹预处理一般包括规格化、方向图计算、脊线频率计算、增强、二值化、细化等环节。文中研究并实现了一种有效的指纹图像预处理方法, 并采用了一种高效的指纹细化算法。实验结果表明, 这种方法能有效地去除传感器表面残留纹印引入的噪声, 进一步增强了指纹的脊线和谷线, 使指纹纹线变得清晰、连续、光滑, 改善指纹图像的质量, 提高了指纹识别的可靠性。

关键词: 指纹; 预处理; 增强; 细化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)02-0133-03

An Effective Method of Fingerprint Image Preprocessing

SUN Lin-sen, WU Xiao-pei, XIANG Ming

(Ministry of Education Key Lab. of Intelligent Computing and Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Preprocessing plays a key role in the fingerprint identification system, which directly influences the final accuracy of fingerprint identification. The preprocessing in the automatic fingerprint identification system usually includes six steps: normalization, directional graph computation, ridgeline frequency computation, enhancement, binarization and thinning. An effective method of fingerprint image preprocessing is accomplished and a resultful thinning algorithm is adopted in this paper. Experiment results show that this kind of algorithm can available wipe off yawp imported by the incomplete leave fingerprint - masking of sensor surface, and also further enhance ridge line and vale line of fingerprint so that make the lines of fingerprint clear, continuum and lubricity, at the same time, effectively improves the quality of fingerprint images and promotes the reliability of fingerprint identification.

Key words: fingerprint; preprocessing; enhancement; thinning

0 引言

自动指纹身份识别技术是根据细节特征点的匹配而实现的, 所以细节特征点的准确提取在基于细节特征点匹配的自动指纹识别技术中就显得至关重要。但是在采集指纹的时候, 常常由于手指产生的噪声(旋转移动、压力不均、干湿程度、表皮受伤、粘有污物)以及指纹采集器产生的噪声(电子噪声以及其上面的遗留指纹、汗渍等)等都会造成采集的指纹含有不同程度的噪声, 比如纹线断裂、严重粘连、模糊不清、含有遗留指纹等^[1]。如果直接从含有大量噪声的指纹图像中提取细节特征点, 将会产生大量的伪特征点, 这在基于细节特征点匹配的自动指纹识别系统中是绝不允许的。因

此, 在提取指纹特征前必须对输入的指纹图进行预处理, 预处理的目的是去除图像中的噪声, 获得一幅清晰的二值点线图, 以便于正确地提取指纹特征^[2]。

1 指纹图像预处理

自动指纹识别过程中, 由于各种因素的影响输入的指纹图像是一幅含噪声较多的灰度图像, 如果直接从含有大量噪声的指纹图像中提取细节特征点, 将会产生大量的伪特征点, 严重影响着指纹识别的效果。因此需要对指纹图像进行预处理。文中提出了一套较完善的指纹图像预处理算法, 包括规格化、脊线方向计算、脊线频率计算、增强、二值化和细化等步骤(如图1所示)。预处理是指纹自动识别系统中的第一步, 它的好坏直接影响着指纹识别的效果。

1.1 规格化

规格化的目的是把不同原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。对原始指纹灰度图(256级灰度, 分辨

收稿日期: 2008-05-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60375010)

作者简介: 孙林森(1984-), 男, 安徽蚌埠人, 硕士研究生, 研究方向为指纹图像处理; 吴小培, 教授, 博士生导师, 研究方向为智能信息处理。

率为 500dpi),一般按下列进行规格化:

$$G(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{\text{Var}_0(I(i, j) - M)^2}{\text{Var}}}, & \text{当 } I(i, j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{\text{Var}_0(I(i, j) - M)^2}{\text{Var}}}, & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

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

其中 $I(i, j)$ 是点的灰度值, M 、 Var 是原图像的灰度均值和方差, N_0 、 Var_0 是期望的灰度均值和方差(本实验取 $M_0 = \text{Var}_0 = 100$)。

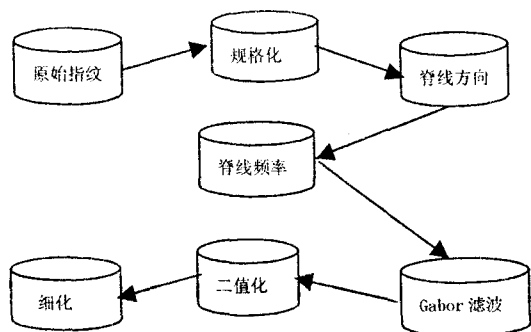


图 1 指纹图像预处理流程图

1.2 脊线方向计算

方向场是指纹图像的一种变换表示,它的方向就是指纹脊线的走向,一般有点方向场和块方向场两种,方向场给出了指纹的拓扑特征,不仅对指纹的分类有重要价值,而且可用于跟踪脊线和提取指纹纹路。方向场的提取有多种方法,下面提出一种 Rao's algorithm 的算法^[3,4]:

(1) 将指纹图分割成互不重叠的 $W \times W$ (本实验取 15×15) 的子块;

(2) 计算每块子图中各个像素的 X 和 Y 梯度,分别记为 G_x 和 G_y :

$$G_x = \frac{I(i+1, j) - I(i-1, j)}{2}$$

$$G_y = \frac{I(i, j+1) - I(i, j-1)}{2} \quad (3)$$

(3) 计算每块以 (i, j) 为中心的局部方向 $\theta(i, j)$:

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2G_x(u, v)G_y(u, v) \quad (4)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} (G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v)) \quad (5)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{V_x(i, j)}{V_y(i, j)}\right) \quad (6)$$

1.3 脊线距离和频率计算

在指纹图像的前景区,沿着垂直于脊线的方向,图像灰度分布近似为正弦波,该正弦波的频率可视为指

纹局部区域的脊线频率。它和脊线方向一样,也是指纹图像的一个重要属性。利用脊线频率和方向,可以有效地对指纹图像进行滤波增强。脊线频率的计算方法如下^[5,6]:

(1) 将归一化指纹图像 G 划分为大小为 $w \times w$ 的块(w 取 16)。

(2) 以块中心点 $P(i, j)$ 为中心做一方向窗 $N \times S$ (文中取 33×17) 如图 2 所示。

(3) 对于每一子块 (i, j) ,沿 S 方向计算 S 个像素的灰度均值 $X(k)$,沿 N 方向上共统计 N 个 $X(k)$,计算方法如下:

$$X(k) = \frac{1}{S} \sum_{d=0}^{S-1} G(u, v), k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (7)$$

$$u = i + (d - \frac{S}{2})\cos(\theta(i, j)) + (k - \frac{N}{2})\sin(\theta(i, j)) \quad (8)$$

$$v = j + (d - \frac{S}{2})\sin(\theta(i, j)) - (k - \frac{N}{2})\cos(\theta(i, j)) \quad (9)$$

(4) 估算频率:计算 $X[0], \dots, X[N-1]$ 中极值数目以及相邻极值之间的坐标差(两个极值中间的像素个数),假设极大值数目为 n ,各个坐标差为 D_1, \dots, D_{N-1} ,那么脊和谷的频率 $f(i, j)$ 为 $n / \sum_{d=1}^{n-1} D_d$ 。

(5) 无效频率标记:由于噪声以及奇异点等因素的影响,有些区域不能形成比较好的正弦波形,使得估计的频率较大,因此需要对这些点的频率进行标记,以进行修正。若 $X[0], \dots, X[N-1]$ 中的最大值和最小值之差小于 40,则认为该频率无效,置该点频率为 -1;对于 500dpi 的指纹图像来说,指纹的频率范围约在 $[\frac{1}{25}, \frac{1}{3}]$,若计算的频率超出了这个范围,则置该点频率为 -1。

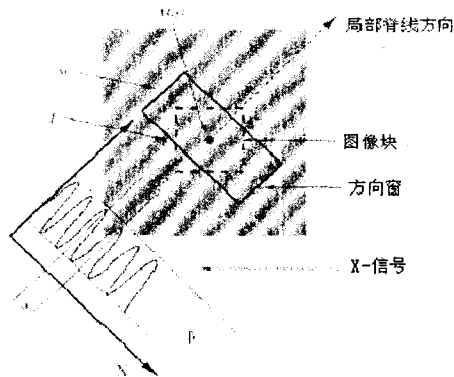


图 2 指纹局部区域

1.4 指纹图像增强

文中所采用的是具有良好的方向和频率选择性的 Gabor 滤波器^[2]。脊线方向和脊线频率的准确性和可

靠性,是保证 Gabor 函数增强效果的基础。偶对称 Gabor 滤波器定义如下:

$$h(x, y, \theta, f) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{u^2}{\delta_x^2} + \frac{v^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi fu) \quad (10)$$

$$u = x \cos\theta + y \sin\theta \quad v = -x \sin\theta + y \cos\theta \quad (11)$$

θ 为 Gabor 滤波器的方向, f 为频率, δ_x 和 δ_y (文中取 $\delta_x = \delta_y = 4.0$) 为 Gabor 滤波器沿两个坐标轴 x 和 y 空间尺度常数, u 和 v 是旋转后的坐标。

1.5 二值化

二值化^[6]指纹图像是将灰度图像变成 0、1 两个灰度级的图像,前景点(指纹脊线)取作 1,背景点取作 0,以把指纹线提取出来,便于后续处理。根据指纹图像中脊线与谷线宽度大致相等的特点,即二值化后黑白像素的个数应大致相同。文中采用局部阈值自适应算法,把指纹图分成 $w \times w$ (w 为一个纹线周期) 的子块,在每一子块内计算灰度均值:

$$V = \frac{1}{w \times w} \sum_i \sum_j f(i, j) \quad (12)$$

$f(i, j)$ 为子块内 (i, j) 的灰度值。在该块内若某一点的灰度值 $f(i, j) > V$, 则 $f(i, j) = 1$; 若 $f(i, j) \leq V$, 则 $f(i, j) = 0$ 。对每一块都进行这样的处理,可得到如图 3(e) 的二值图像。

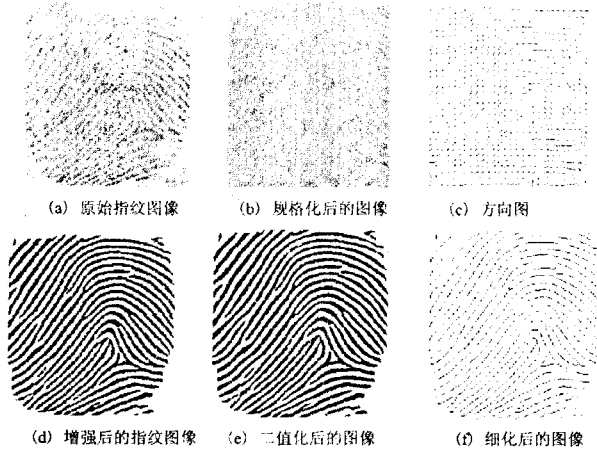


图3 实验结果

1.6 细化

细化的目的是使指纹图像中的每条纹线都变为单像素宽的“点线”,且细化后的纹线近似处于原图的“中轴”,为以后的特征提取奠定基础。对各种传统的细化算法进行了尝试,如骨架线法、层层推进法^[7],但这些算法的效果都不理想,不仅速度慢,而且细化后的图像噪音也多。因此,文中采用了一种高效的指纹细化算法^[8]:串并行混合细化算法,取得了很好的细化效果。下面给出这种细化算法的具体过程。算法用到 4 个模板如图 4 所示。

(a) $P_8 = 1, P_1 = 1, P_4 = 0$;

(b) $P_2 = 0, P_1 = 1, P_6 = 1$;

(c) $P_8 = 0, P_1 = 1, P_4 = 1$;

(d) $P_2 = 1, P_1 = 1, P_6 = 0$;

算法只对满足 4 个模板其中之一的点进行处理。

对应上述 4 个模板分别给出关键点的判断条件如下:

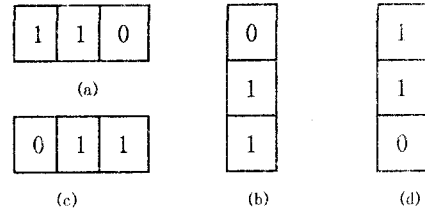


图4 细化模板

(a) 对匹配模板的像素,若满足 $(P_2 = 0 \wedge P_3 = 1) \vee (P_6 = 0 \wedge P_5 = 1)$ 则 P 为关键点。

(b) 对匹配模板的像素,若满足 $(P_8 = 0 \wedge P_1 = 1) \vee (P_4 = 0 \wedge P_3 = 1)$ 则 P 为关键点。

(c) 对匹配模板的像素,若满足 $(P_2 = 0 \wedge P_3 = 1) \vee (P_6 = 0 \wedge P_7 = 1)$ 则 P 为关键点。

(d) 对匹配模板的像素,若满足 $(P_8 = 0 \wedge P_7 = 1) \vee (P_4 = 0 \wedge P_5 = 1)$ 则 P 为关键点。

对满足上述模板的目标像素,使用上述判断条件判断此点是否为关键点,若为关键点,则不可删除,若此点不是关键点,则再判断此点是否为端点,若是端点则将 P 点保留,否则将 P 点删除。

本算法为 4 次迭代,每次迭代对应一个模板,先使用模板(a)对图像中满足(a)模板的像素进行处理,删除可删除的点。将输出图像再使用模板(b)满足模板(b)的像素进行处理,删除可删除点。依此类推。直至第 4 次输出即为细化图像。算法每次迭代内部处理是并行的,而各迭代之间又是串行的,因此,该算法称为串并行混合细化算法。

2 实验结果

在微机上用 VC++ 6.0 编程实现了上述算法,实验结果如图 3 所示,其中,图 3(a)是指纹的原始图像,图 3(b) 是进行规格化后的图像,图 3(c)是指纹图像的方向图,图 3(d)是进行增强后的指纹图像,图 3(e)是进行二值化后的指纹图像,图 3(f)是细化后的图像。

由图可见,文中提出的这种指纹图像预处理方法可将一幅带有较多噪声的原始指纹图像转变成一幅清晰、流畅、无粘连、无断裂、纹间距离大致相同的二值点线图,为特征提取和特征匹配提供了准确而有效的特征信息,从而提高了指纹识别的准确性和可靠性。

3 结束语

综上所述,文中根据指纹图像的具体特征研究并实现了一种有效的指纹图像预处理方法。该算法不但处理效果好,满足了预处理要求,而且速度快,是很好的指纹图像的预处理算法。

参考文献:

- [1] Lin Hong, Wan Yifei, Jain A. Fingerprint image enhancement algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777 - 789.
- [2] Yin Y L, Zhan X S, Tan T Z, et al. An algorithm based on Gabor function for fingerprint enhancement and its application [J]. Journal of Software, 2003, 14(3): 484 - 490.

(上接第 129 页)

5 结束语

在整个系统研究的过程中,笔者阅读了大量的资料,对相关工作进行了细致的研究。

通过实验,特征点跟踪和提取风格化因子是一种进行风格化处理的有效方法。人脸部结构性强,适合使用特征点变换进行风格化。现有的风格化软件主要基于笔触模拟的方法,合成质量较好,但速度较慢,不适合大量处理图片、视频。采用特征点跟踪和提取风格化因子的方法有较快的速度。在实验中处理一张有 58 个特征点的 $431 * 431$ 图片的时间约为 10 秒。

本系统还有一些局限性,如对头发的处理还很不成熟,目前在跟踪中没有对头发进行准确定位。另外,在风格化合成中,输入图片中人物的肤色、脸的角度都对风格化效果都有影响。

(上接第 132 页)

5 结束语

文中提出了一种云层运动的线性仿真方法。这种方法在二维空间上对云层模型横截面应用马赛克算法,在三维空间下,利用马赛克算法中的小区块长度在竖直方向上将云层模型划分为许多个粒子。引入了线性插值原理,并在它的基础上进行风层密集化处理。将处理后的风层对云层粒子运动方式的影响实时模拟,能够得到比较理想的结果。实践证明将该模拟方式应用于相关大型模拟仿真系统有着很好的效果。

参考文献:

- [1] 崔屹. 图像处理与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 43

- [3] He Y L, Tian J. Image enhancement and minutia matching algorithms in automated fingerprint verification [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(9 - 10): 1349 - 1360.
- [4] 马笑潇, 黄席樾, 周欣, 等. 指纹自动识别系统中的关键技术——方向图[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2001, 24(3): 91 - 94.
- [5] Jain A, Lin Hong, Bolle R. On - line Fingerprint Verification [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4): 302 - 314.
- [6] 刘灵丽, 李丽娟. 指纹图像预处理和特征提取[J]. 计算机工程, 2006, 32(16): 190 - 192.
- [7] 卢响, 陶刚, 李吉桂. 一种新的指纹图像细化算法[J]. 现代计算机, 2002, 25(5): 42 - 44.
- [8] 李徐周, 于飞. 有效的指纹纹线细化算法[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(4): 626 - 628.

参考文献:

- [1] Cooper D H, Cootes T F, Taylor C J, et al. Active shape models - their training and application[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1995, 61(1): 38 - 59.
- [2] Cootes T F, Edwards G J, Taylor C J. Active Appearance Models[C]//In Burkhardt H, Neumann B, editors. 5th European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer, 1998: 484 - 498.
- [3] Beier T, Neely S. Feature - Based Image Metamorphosis[J]. Computer Graphics, 1992, 26(2): 35 - 42.
- [4] Lee Tong - Yee, Lin Young - Ching, Lin Leeween, et al. Fast Feature - Based Metamorphosis and Operator Design [J]. Computer Graphics Forum, 1998, 17(3): 15 - 22.
- [5] 王健宁, 董峰, 石教英. 基于三角形对应关系的 Morphing 技术[J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(8): 641 - 646.

- 55.

- [2] Smeulders A W M, Worring M, Santini S, et al. Content - based image retrieval at the end of the early years[J]. IEEE Trans on Pattern analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(12): 1349 - 1380.
- [3] Dempster A P, Laird N M, Rubin D B. Maximum likelihood from incomplete data vi the EM algorithm[J]. J. R. Statist. Soc. B, 1977, 39: 1 - 38.
- [4] Schattenburg M L, Chen C. Sub - 100 nm metrology using interferometrically produced fiducials[J]. J. Vac. Sci. Technol., 1999, B17(6): 2692 - 2697.
- [5] Pawlak Z. Rough sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data[M]. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1991.