

指纹图像增强与特征提取

汤 婷, 吴小培, 项 明

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘 要:在指纹匹配中,从指纹图像中自动和可靠地提取特征点是一个关键性步骤。输入的指纹图像质量在自动识别和认证算法中起着重要的作用。基于脊线的频率和方向,提出了一个快速指纹图像增强和特征提取算法。指纹图像增强首先求出指纹的方向场,然后根据方向场进行滤波。指纹特征提取则先从细化图中得到特征点并剔除伪特征点。实验结果验证了该方法的有效性。

关键词:指纹识别;特征提取;指纹增强;方向场

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)01-0081-03

Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction

TANG Ting, WU Xiao-pei, XIANG Ming

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

Abstract: Automatic and reliable extraction of minutiae from fingerprint images is a critical step in fingerprint matching. The quality of input fingerprint images plays an important role in the performance of automatic identification and verification algorithms. Presents a fast fingerprint enhancement and minutiae extraction algorithm which improves the clarity of the ridge and valley structures of the input fingerprint images based on the frequency and orientation of the local ridges and thereby extracts correct minutiae. Experimental results show that the method performs well.

Key words: fingerprint recognition; minutiae extraction; fingerprint enhancement; orientation field

0 引 言

由于指纹的唯一性和不变性,以及指纹识别技术的可行性和实用性,指纹识别已成为当前最流行、最方便、最可靠的个人身份认证技术之一。指纹是手指皮肤表面隆起的脊和凹下的谷构成的特定纹路。特征点就是由于指纹纹路经常出现中断、分叉或打折而形成的端点、分叉点。这些特征点提供了指纹唯一性的确认信息。目前大部分指纹识别系统使用的局部特征都是美国联邦调查局(FBI)提出的细节点匹配模型,它利用末梢点与分叉点(如图1所示)这两种特征来鉴定指纹^[1]。

文中也是采用提取末梢点和分叉点的细节点匹配模型。针对低质量指纹图像特征点提取的难题,提出了一种快速且错误率低的特征提取方法。



图1 指纹两种特征点

1 算法步骤描述

1.1 预处理

1.1.1 指纹图像规格化

图像规格化是对原始灰度图像上每一个像素点的一种操作,人为改变它的灰度值,规格化的目的是把不同原图像的对比度和平均灰度调整到一个固定的级别上,降低不同指纹图像对比度不同带来的影响,为后续处理提供一个较为统一的图像规格^[5],规格化步骤:

(1)先计算整幅图像的灰度均值和方差:

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

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

收稿日期:2008-04-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60375010)

作者简介:汤 婷(1985-),女,安徽巢湖人,硕士研究生,研究方向为指纹识别;吴小培,教授,博士生导师,研究方向为智能信息处理。

$$(i, j) \in I \quad (2)$$

(2) 按如下公式对指纹图像进行规格化处理:

$$G(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\text{VAR}_0 * (I(i, j) - M(I))^2 / \text{VAR}(I)} \\ I(i, j) \in I \geq M(I) \\ M_0 - \sqrt{\text{VAR}_0 * (I(i, j) - M(I))^2 / \text{VAR}(I)} \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

其中, M_0 和 VAR_0 分别是期望的均值和方差。

按上式对原始指纹图像进行点运算后即可实现图像的规格化处理,使得加工后的图像的灰度均值和方差与预定值一致,文中灰度均值和方差分别取 140、600。实验结果如图 2 所示。



(a) 指纹原图 (b) 规格化后的图像

图 2 指纹原图和规格化后的图像

1.1.2 最小均方估计块方向算法

假设 $f(i, j)$ 代表指纹图像在 (i, j) 处的灰度值,则方向图的具体计算步骤如下:

(1) 将图像分成大小为 $W \times W$ 的块,这里 W 的大小以包含一脊一谷(即一周期)为宜;

(2) 用 SOBEL 算子计算块中每个像素 $f(i, j)$ 在 x 轴和 y 轴上的梯度 $G_x(i, j)$ 和 $G_y(i, j)$;

$$\text{Sobel}_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Sobel}_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

(3) 用下面的公式计算以像素 $f(i, j)$ 为中心 $W \times W$ 块的方向 $\theta(x, y)$;

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

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} (G_x^2(u, v)G_y^2(u, v)) \quad (6)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)}\right) \quad (7)$$

(4) 方向图的平滑:虽然由上面的算法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,但有时候还需要进一步对它进行平滑。这里,介绍一种将方向图正交分解后分别进行滤波的方法^[2],实验证明,这种方法比一般用的中值滤波和加权平滑的方法效果

好(如图 3 所示)。计算步骤如下:

① 将方向图转变为连续的向量场:

$$\phi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)) \quad (8)$$

$$\phi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)) \quad (9)$$

这里 ϕ_x, ϕ_y 分别是向量场 x, y 方向上的分量。

② 实现低通滤波:

$$\phi'_x(i, j) = \sum_{u=-w/2}^{u=w/2} \sum_{v=-w/2}^{v=w/2} W(u, v) \cdot \phi_x(i - uw, j - vw) \quad (10)$$

$$\phi'_y(i, j) = \sum_{u=-w/2}^{u=w/2} \sum_{v=-w/2}^{v=w/2} W(u, v) \cdot \phi_y(i - uw, j - vw) \quad (11)$$

这里 W 是一个大小为 $w \times w$ 的二维低通滤波器,一般使用 5×5 的均值滤波。

③ 平滑后的方向场:

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{\phi'_y(i, j)}{\phi'_x(i, j)}\right) \quad (12)$$



(a) 指纹原图 (b) 该图的方向场

图 3 指纹原图和该图的方向场

1.1.3 脊线频率的估算

脊线频率的估算是建立在方向图的基础上的,计算方法如下^[4]:

(1) 对指纹图像中的任意一个子块 (i, j) (i, j 为子块图像中心的横坐标和纵坐标),建立一个以像素点 (i, j) 为中心的方向窗口 $N \times S$ (文中取 33×17),该窗口的边框与指纹脊线方向对应,且 N 与脊线方向垂直, S 与脊线方向平行。

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

$$X(k) = \frac{1}{S} \sum_{d=0}^{S-1} G(u, v), k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (13)$$

$$u = i + (d - \frac{S}{2})\cos(\theta(i, j)) + (k - \frac{N}{2})\sin(\theta(i, j)) \quad (14)$$

$$v = j + (d - \frac{S}{2})\sin(\theta(i, j)) - (k - \frac{N}{2})\cos(\theta(i, j)) \quad (15)$$

式中 $\theta(i, j)$ 为图像子块方向即指纹脊线方向。如果方

向窗口中的指纹图像是有效的,则 $X(k)$ 应为一离散正弦波,从中可以获得脊线频率。

1.1.4 图像滤波

图像滤波部分采用 Gabor 滤波器,指纹纹线的方向和频率参数是滤波最有用的信息,利用这些信息可以去除噪声。

偶对称 Gabor 滤波器的一般形式如下:

$$h(x, y; \phi, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\phi}^2}{\delta_x^2} + \frac{y_{\phi}^2}{\delta_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi f x_{\phi})$$

$$x_{\phi} = x \cos \phi + y \sin \phi$$

$$y_{\phi} = -x \sin \phi + y \cos \phi \quad (16)$$

其中 ϕ 是 Gabor 滤波器的方向, f 是正弦平面波的频率, δ_x 和 δ_y 分别是沿着 x 和 y 轴的高斯包迹的空间常量。

对于非背景区域的图像,把得到的 Gabor 离散滤波器和图像进行卷积得:

$$G(i, j) = \sum_{u=w/2}^{w/2} \sum_{v=-w/2}^{w/2} h(u, v; \theta(i, j), F(i, j)) * N(i - u, j - v) \quad (17)$$

如果这时对于滤波后的图像设定阈值,可以直接对 $G(i, j)$ 二值化:

$$B(i, j) = 1, \text{if}(G(i, j) > \text{Thershold}), \text{else } B(i, j) = 0 \quad (18)$$

1.2 特征提取

对于细化二值图像(文中采用 MATLAB 中的细化二值函数求得图像),像素点的灰度值只有 2 种情况(假设:0 表示白点,1 表示黑点)的模板如图 4 所示, M 是待检测的点, X_1, X_2, \dots, X_8 是它的 8 个邻域点,沿逆时针方向排列, $R(1), R(2), \dots, R(8)$ 分别是点 X_1, X_2, \dots, X_8 的灰度值^[3]。

| | | |
|-------|-------|-------|
| X_2 | X_1 | X_8 |
| X_3 | M | X_7 |
| X_4 | X_5 | X_6 |

图 4 特征提取模板

如果 M 是端点,则它的 8 邻域点满足:

$$cn(M) = \frac{1}{2} \sum_{i=1 \dots 8} |R(i+1) - R(i)| = 1, R(9) = R(1) \quad (19)$$

如果 M 是分叉点,则它的 8 邻域点满足:

$$cn(M) = \frac{1}{2} \sum_{i=1 \dots 8} |R(i+1) - R(i)| = 3, R(9) = R(1) \quad (20)$$

这样就可以找到特征点,并记

录它们的类型。其中函数 $cn(M)$ 称为点 M 的分叉数。

1.3 后处理

1.3.1 伪特征的分析

对于取端点及分叉点作为特征算法^[6],伪特征主要指图 5 中的五种。

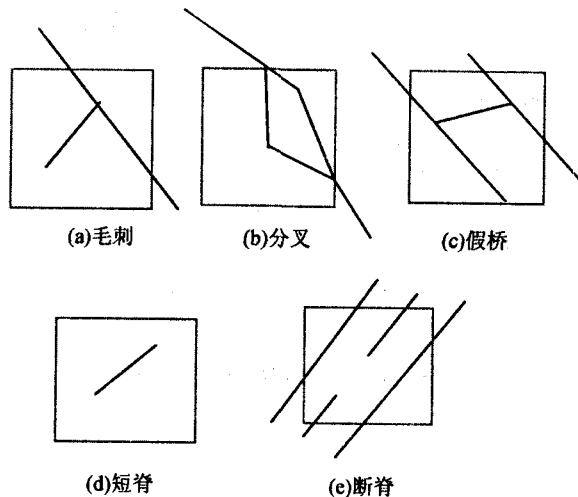


图 5 五种主要伪特征点

1.3.2 伪特征滤除

对每一个特征点,进行以下局部处理:

- (1) 若半径 $R(R=10)$ 邻域内无相邻特征点,则是真特征;
- (2) 若半径 $R(R=10)$ 邻域内有 N 个相邻特征点,则该邻域内所有特征为伪特征;
- (3) 滤除边缘特征点。

2 实验结果

在微机上实现了该算法,不仅速度快,且取得了很

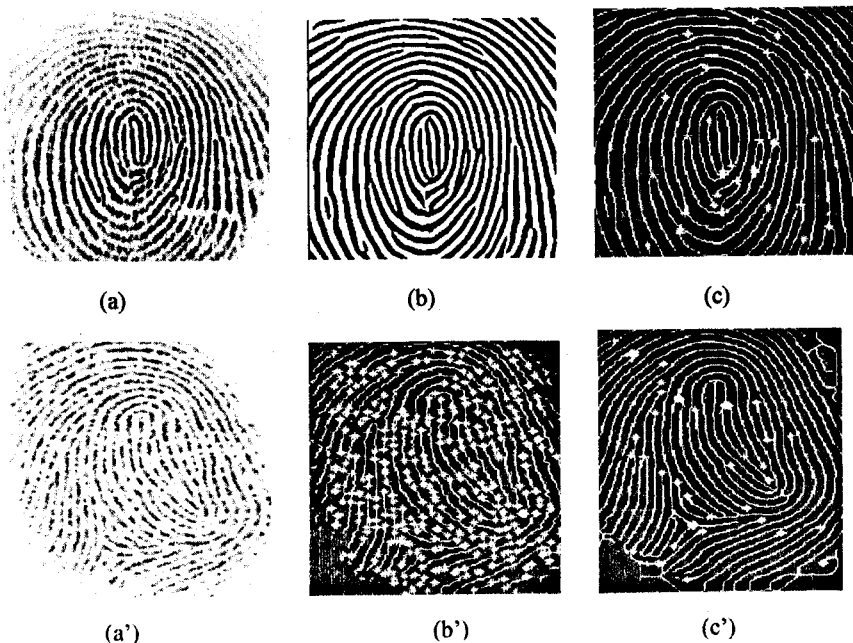


图 6 指纹图像特征提取实验结果

(下转第 87 页)

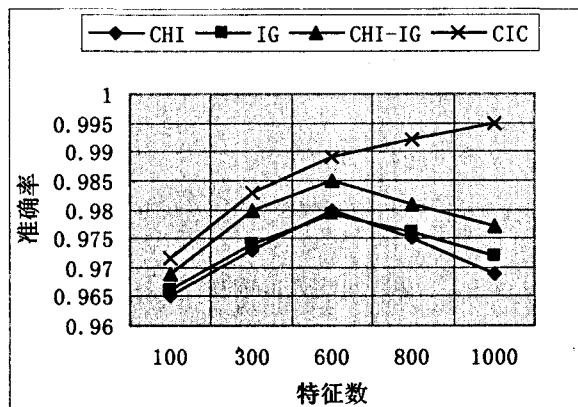


图1 准确率比较

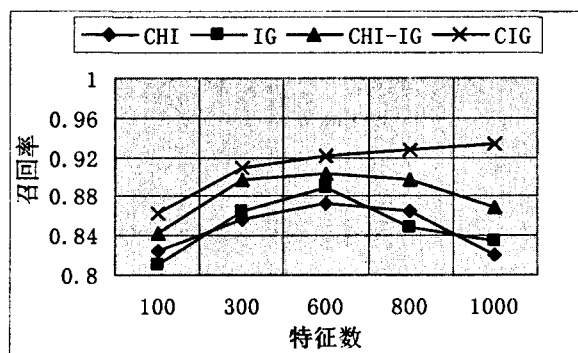


图2 召回率比较

滤中存在的缺陷,并设计了一种新的特征选择评价函数。由于基于评价函数的特征方法在一定程度上只度量了特征与类的关系,忽略了特征之间依赖的关系,因此通过对特征空间的聚类来消除特征间的冗余。实验

结果表明,新的评价函数和组合特征选择算法可以有效地改善特征子集的质量,提高邮件过滤器的性能。

参考文献:

- [1] 王 申. 基于内容的垃圾邮件过滤技术若干研究[D]. 北京:中国科学院,2005.
- [2] Yang Yiming. A Comparative Study on Feature Selection in Text Categorization[C]//The ICML97. Nashville: [s. n.], 1997.
- [3] 董 梅,胡学钢. 基于多特征选择的中文文本分类[J]. 计算机技术与发展,2007,17(7):117-119.
- [4] Hwee Tou Ng, Wei Boon Goh, Kok Leong Low. Feature selection, perceptron learning, and a usability case study for text categorization[C]//In: Proceedings of the 20th ACM International Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR-97). Philadelphia, USA: [s. n.], 1997: 67-73.
- [5] 黄志刚. 基于贝叶斯的中文垃圾邮件过滤系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2005.
- [6] 王卫玲,刘培玉,初建崇. 一种改进的基于条件互信息的特征选择算法[J]. 计算机应用,2007,17(2):433-435.
- [7] Han Jiawei. 数据挖掘概念与技术[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [8] Androutsopoulos, Koutsias J, Chandrinos K V, et al. An Evaluation of Naive Bayesian Anti-Spam Filtering[C]//Proceedings of the Workshop on Machine Learning in the New Information Age, 11th European Conference on Machine Learning (ECML 2000). Barcelona, Spain: [s. n.], 2000: 9-17.

(上接第83页)

好的伪特征去除效果。图6(b)为增强后的效果。从实验结果中可以看出,通过合理的确定指纹脊线频率,利用 Gabor 滤波器可以有效增强指纹的脊线结构,抑制大量伪特征点的出现,提高了指纹匹配的可靠性。(a)和(a')为指纹原图;(b)为从增强后的指纹图;(b')为未进行增强就提取特征的指纹图;(c)和(c')为增强并去伪特征点后的指纹图(白色*,+代表端点和分叉点)。

3 结束语

通过对大量指纹图的处理,发现利用文中算法增强指纹图像和特征提取效果是非常令人满意的,其特点是:1)速度快;2)有效地增强指纹;3)消除伪特征彻底和准确。

文中方法是一种有效的指纹快速特征提取方法,有较好的应用价值。

参考文献:

- [1] Hong Lin, Wan Yifei, Jain A. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Maching Intelligence, 1997, 19(4): 302-305.
- [2] Sherlock D, Monro D M, Millard K. Fingerprint enhancement by directional filtering[J]. IEEE Proc. Vis. Image Signal Processing, 1994, 141(2): 87-94.
- [3] 简 兵. 基于脊线跟踪的指纹图细节提取算法[J]. 模式识别与人工智能, 2001, 6(3): 1-5.
- [4] 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.
- [5] Jain A K, Hong L, Pantanki S, et al. An Identity Authentication System Using Fingerprints[J]. Proc of the IEEE, 1997, 85(9): 1365-1388.
- [6] 王建成,郭成安. 一种基于局部结构信息的指纹伪特征滤除算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(12): 1467-1474.