

一种新的指纹奇异点区增强算法

李 宁, 贾同辉, 尹义龙

(山东大学计算机科学与技术学院, 济南 250061)

摘要: 提出了一种两步增强指纹奇异点区的新方法。使用基于瑞利函数的滤波器对奇异点区进行带通滤波, 使用间隔 22.5° 的 8 方向加博滤波器组对该区域进行增强, 在获得的 8 幅滤波图像上, 通过计算质量指标, 得到对应于 16 个方向子区的 16 幅最优子区图像, 合成这些子区图像, 得到最终的奇异点区增强结果。实验结果表明该方法有效增强了指纹的奇异点区。

关键词: 指纹; 指纹增强; 奇异点; 瑞利函数; 加博滤波器

A New Fingerprint Enhancement Algorithm for Singular Point Area

LI Ning, JIA Tonghui, YIN Yilong

(School of Computer Science and Technology, Shandong University, Jinan 250061)

【Abstract】 This paper presents a novel method, which is called two-step enhancement method to enhance the singular point area in the fingerprint image. First of all, a filter, based Rayleigh function, is applied to the area for band filtering, and next, it uses eight direction Gabor filters with interval 22.5 degree to enhance this area respectively. The optimum sixteen directional subdomains images, which come from the eight filtered images, can be obtained by using quality index. Finally, it gets the fingerprint enhancement image of the singular point area through synthesizing these subdomains images. Experimental results show an effective enhancement in the singular point area.

【Key words】 Fingerprint; Fingerprint enhancement; Singular point; Rayleigh function; Gabor filter

1 概述

奇异点是指纹识别中一个极为重要的特征信息, 它包括: core 点, delta 点, 其中, core 点位于指纹纹路的渐进中心, 而 delta 点位于从 core 点开始的第 1 个分叉点或者断点、或者两条纹路会聚处、孤立点、转折处, 如图 1 所示(圆点表示 core 点, 三角形点表示 delta 点)。

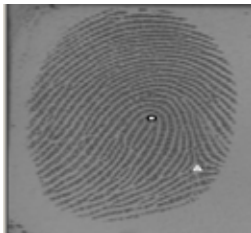


图 1 奇异点示例

奇异点附近区域能否有效增强, 对基于奇异点或细节点的指纹识别系统来说是至关重要的。首先, 能否准确定位奇异点, 提取奇异点附近区域的特征信息, 将在很大程度上影响到基于奇异点的指纹识别系统的最终识别结果。另一方面, 奇异点区的纹线方向变化剧烈, 纹线紧凑, 使得大多数基于纹线方向的增强算法难以有效增强该区域, 增强结果往往丢失了部分真细节点, 同时又引入了大量假细节点, 严重地影响了基于细节点的指纹识别系统的识别性能。鉴于上述情况, 有必要对指纹奇异点区进行专门的增强处理。

对于奇异点区的指纹增强, 国内外很少有文献直接涉及, 更多的是集中于整幅图像的增强处理^[1], 或者不区别奇异点区的分块图像增强处理^[2]。这忽略了一个事实: 奇异点区的纹线紧凑, 纹线频率不同于其它区域, 纹线方向的变化也非常剧烈。这样, 全局设定参数的增强算法, 或基于方向滤波

的增强算法对该区域增强时就难以有良好的增强效果。文献 [3] 虽然就此问题专门设计了一种滤波器, 但其主要参数的设定要视图像的不同而不同。

2 奇异点区指纹增强

本文介绍的奇异点区增强算法包含以下几个步骤: (1) 奇异点区准确定位; (2) 瑞利滤波; (3) 8 方向加博滤波; (4) 图像合成及后处理。如图 2 所示。

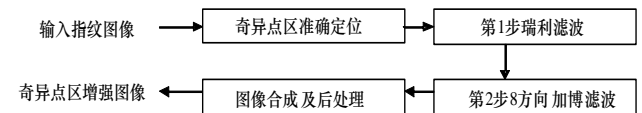


图 2 奇异点区指纹增强算法的处理过程

2.1 奇异点区的准确定位

本文采用了文献 [4] 中定位奇异点的方法。对边界附近易出现假点这种情况, 也设置了判别条件, 对假点予以舍弃。在准确定位奇异点后, 将奇异点区定义为以奇异点所在块(本文分块大小是 8*8 个像素)为中心的一个方形区域。如图 3。

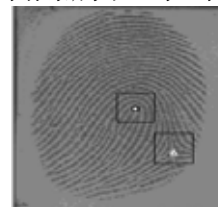


图 3 奇异点区图像

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(06403010); 山东省自然科学基金资助重点项目(Z2004G05)

作者简介: 李 宁(1982—), 男, 硕士, 主研方向: 模式识别与数字图像处理; 贾同辉, 硕士生; 尹义龙, 副教授、博士后

收稿日期: 2006-06-08 E-mail: ylyin@sdu.edu.cn

2.2 瑞利滤波

奇异点区纹线方向变化剧烈,这使得它的傅立叶能量谱,不同于其它分块图像所呈现的两个尖峰,而呈现出围绕傅氏谱中心的能量环带^[4]。

在介绍本文选用的滤波器之前,先介绍一种傅氏谱分析方法。从傅立叶谱中心出发,引出N条离散射线,在每条射线上按距离中心远近均分刻度,任意两条相邻射线间隔360/N度,统计N条射线上相同刻度的灰度值,计算出N条射线上相同刻度的平均能量强度(记为RadiusDensity[r],其中r表示射线上的刻度值,r=1,2,...,maxr(傅氏谱图像的最大内切圆半径))。这样,就可以得到距傅氏谱中心不同位置的能量分布情况。奇异点区的典型能量分布如图4所示。

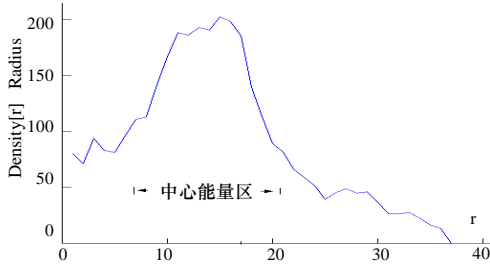


图4 图6(a)按距离傅氏谱中心远近形成的能量分布

从图4可以看出,傅氏谱的主要能量集中在 maxdis(约平均纹线距离处)左右半个纹线距离的宽度内,实际上这块区域保存了奇异点区纹线结构的主要能量,称它为中心区。低频噪声主要集中在中心区左侧较为狭小的范围内,高频噪声则广泛分布在中心区右侧较大的范围内。鉴于此,我们采用了基于瑞利函数的滤波器,其公式如下:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b} & z \geq a \\ 0 & z < a \end{cases} \quad (1)$$

由于傅氏谱取峰值时的距离 maxdis 大约等于平均纹线距离(记为d),而p(z)在 $a + \sqrt{\frac{b}{2}}$ 处取最大值,因此将 $a + \sqrt{\frac{b}{2}}$ 设为平均纹线距离d,a约为d/3。

从图5可以看出,瑞利函数的形状在中心部分接近原来的高斯函数,在中心部分的左侧跨度小,坡度变化相对剧烈,中心部分的右侧跨度大,坡度变化相对平缓,这种形状使得基于此函数的滤波器相对于高斯滤波器^[3]来说更加贴近高低频噪声的实际分布情况,相应地去“噪”也会更为平滑。

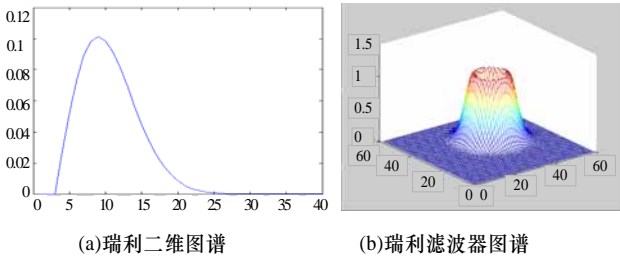


图5 瑞利图谱

2.3 方向加博滤波

2.3.1 滤波器选取及滤波

经过上述瑞利滤波,高低频噪声已经得到相当程度的抑制。下面将借鉴文献[5]中的有关思想,构建基于加博的8方向滤波器组对第1步处理后的图像进行增强。不同于文献[5]中使用的加博滤波函数,本文使用了文献[6]中改进的加博滤波函数,其形式如下:

$$h(m,n) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{m^2}{\delta_m^2} + \frac{n^2}{\delta_n^2} \right] \right\} \cos(2\pi f d_{(m,n)}) \quad (2)$$

其中,离散变量m、n的取值均在-MS/2~MS/2之间,MS为增强模板尺寸, δ_m 和 δ_n 是沿横轴和纵轴的高斯包络参数。使用加博滤波器的一个重要问题是3个参数($f, d_{(m,n)}, \theta_0$)的选取。本文中,f是奇异点区的纹线频率, $d_{(m,n)}$ 是增强模板中的某一元素(m,n)到通过模板中心且方向与滤波器主方向 θ_0 相同的直线的距离[6],这里滤波器的主方向 θ_0 使用了0~180°范围内间隔22.5°的8个方向值:0°,22.5°,45°,...,157.5°。通过使用上述滤波器组对图像进行滤波,获得了相对于上述8个离散方向的8幅滤波图像,如图6。图6(a)是原图像,图6(b)~图6(i)是8个方向滤波后的图像。

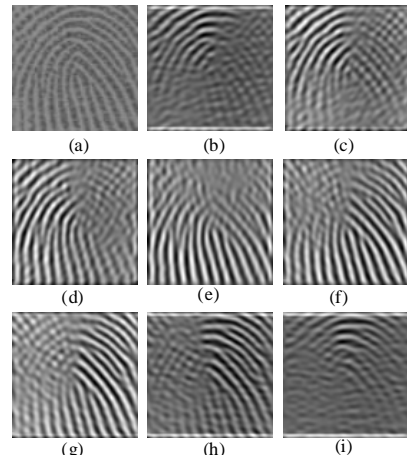


图6 8个离散方向的8幅滤波图像

2.3.2 划分方向子区

将每幅滤波图像划分为16个方向子区(图7所示)。(记为FI_subregion[k][i],这里,(k=0,...,7)表示来自哪幅滤波图像,(i=0,...,15)表示来自哪个方向子区。)

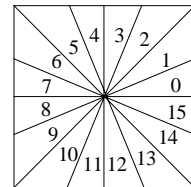


图7 16个方向的方向子区图

从图6的滤波图像可以看出,在每一幅滤波图像中,总有几个方向子区比其它方向子区图像质量好;相应的,每一个方向子区都对应着几个同一位置的优质子区图像。这种情况可以通过计算质量指标选出每一个方向子区对应的最优子区图像。

2.3.3 质量指标

这里的质量指标采用了灰度值方差与空域一致性指标^[7]的融合。

将每一幅滤波图像按8*8大小进行分块。然后对每一个方向子区,找出所有点均落在其内的分块,针对每一分块计算其均衡化一致性指标 \tilde{k} ^[7]:

$$\tilde{k} = \frac{(j_{11} - j_{22})^2 + 4j_{12}^2}{(j_{11} + j_{22})^2} \quad (3)$$

针对每一子区计算其空域一致性指标:

$$Q_c = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \tilde{k}_i \quad (4)$$

r为所有点均落在子区内的分块数目。

空域一致性指标反映了局部纹线结构的清晰程度。如果该子区内的纹理结构比较清晰, Q_c 值就比较高, 反之, 就比较低。

灰度值标准差因子 Q_d :

$$Q_d = \frac{1}{q} * \sqrt{\sum_{(i,j) \in R} (g(i,j) - g_{mean})^2} \quad (5)$$

这里, q 是均衡化常量, g_{mean} 是该子区的灰度值均值。 $(i,j) \in R$ 表示点在子区内。灰度值标准差反映了每个方向子区的灰度对比程度, 进而反映了滤波后每个方向子区的纹线清晰程度。如果该子区的主纹线方向接近滤波器方向, 则该区域纹线结构相对清晰, 灰度值标准差大, 反之, 该值就小。

方向子区的最终质量指标 Q_R :

$$Q_R = c_1 Q_c + c_2 Q_d \quad (6)$$

其中: c_1, c_2 是两个指标的权重, 使用了经验值。

2.4 增强图像合成

首先计算 8 幅滤波图像中同一子区 i ($i=0, \dots, 15$) 的 Q_R 指标, 选出其中 Q_R 值最大的子区图像, 作为该子区的最优子区图像。这样, 总共有 16 幅最优子区图像。然后, 按子区所在位置将 16 幅最优子区图像整合为一幅完整的增强图像。图 8 从 8 幅滤波图像同一方向子区中选出最优子区图像作为该区域的最终图像。

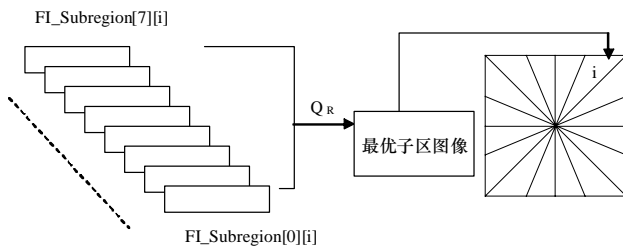


图 8 最终图像

2.5 后处理

对 2.4 节得到的整幅图像进行二值化处理。在二值化后的图像上, 对方向子区边界上的点进行如下处理:

设方向子区边界上的任意一点的坐标为 (i, j) , 以它为中心构建 5×5 模板, 如图 9 所示。

0	0	0	0	0
1	1	1	×	0
1	1	⊗	1	0
1	×	1	1	0
×	1	1	1	1

图 9 后处理模板

模板中心用“ \otimes ”表示, “1”表示二值化图像中灰度值为“255”的点, “0”表示二值化图像中灰度值为“0”的点。对于模板上其它处于边界上的点, 用“ \times ”表示, 计算时不予考虑。然后, 计算模板中为 1 的像素个数 m 、为 0 的像素个数 n 。如果 $m \geq n$, 将距离 (i, j) 最近的为 1 的像素坐标对应的增强图像中的灰度值赋为该点的值, 反之将距离 (i, j) 最近的为 0 的像素坐标对应的增强图像中灰度值赋为该点的值。

经过上述后处理, 最终获得奇异点区的增强图像。

3 实验结果

为验证本文方法的有效性, 在南京大学活体指纹库 (1 200 枚活体指纹图像, 每个指头 10 枚样本, 指纹图像采集分辨率为 500dpi, 图像尺寸为 320×320) 上对本文方法进行了测试。

瑞利滤波前后的对比实验结果如图 10 (图 10 (a) 为奇异点区原指纹图像, 图 10 (b) 为不经过任何处理的二值化图像, 图 10 (c) 为瑞利滤波后图像, 图 10 (d) 为瑞利滤波后的二值化图像)。

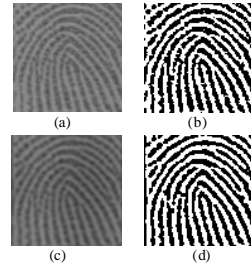


图 10 瑞利滤波前后的对比实验结果

8 方向滤波后的实验结果如图 11 所示。图 11 (a₁)、图 11 (a₂) 是两种典型的奇异点区图像, 图 11 (a₃)~图 11 (a₅) 是 3 幅低质量图像, 图 11 (b₁)~图 11 (b₅) 是对应图像的增强结果, 图 11 (c₁)~图 11 (c₅) 是对应增强图像的二值化结果。

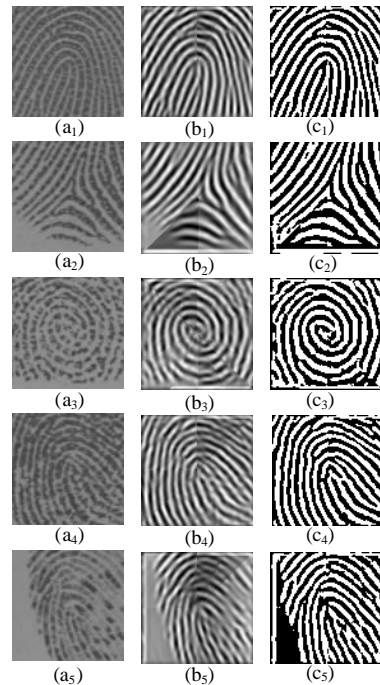


图 11 8 方向滤波后的实验结果

4 总结与探讨

本文介绍的奇异点区增强方法, 在原理上是一种频域滤波和空域滤波相结合的方法。该方法首先使用基于瑞利函数的滤波器对奇异点区进行带通滤波, 然后, 对瑞利滤波后的图像进行 8 方向加博滤波, 在滤波图像集上, 通过划分方向子区, 选择最优子区, 合成最优子区及后处理等一系列步骤, 最终得到增强结果。

实验结果表明了本方法的有效性。图 10 表明瑞利滤波可以有效去除高低频噪声, 大量减少毛刺的出现。图 11 表明本文方法可以有效增强奇异点区, 即使对低质量指纹, 也表现出较好的增强效果。

在瑞利滤波中, 采用平均文献距离作为唯一参数, 减少了由于错误设定滤波器参数而造成的不能有效滤波的情况。在 8 向加博滤波中, 由于采用 8 个常量方向增强奇异点区, 使得增强算法不再依赖奇异点区变化剧烈的局部纹线方向。

(下转第 76 页)