

指纹图像质量评价方法^①

Approach for Estimating the Quality of Fingerprint Image

方晨艳 杨 凡 (浙江师范大学 数理信息与工程学院 浙江 金华 321004)

摘 要: 指纹图像质量的好坏对于自动指纹识别系统的性能有着重要的影响。根据指纹图像本身的纹理特征,提出一种新型的指纹图像质量评价方法。首先将指纹图像分成 $\omega \times \omega$ 的子块,对每一图块进行多通道 Gabor 滤波,用滤波结果的均值和标准差进行图像的有效面积和纹理质量的分析;再检测图像的奇异点的位置;最后综合以上几个参数,给出图像的最终评价结果。实验结果表明:该算法能有效地判断指纹图像的质量,有助于提高自动指纹识别系统的整体性能。

关键词: 指纹识别 指纹质量评价 Gabor 滤波器 奇异点 图像质量

指纹识别技术是当今应用最为广泛的一种生物识别技术。在实际应用中,由于手指汗渍、褪皮、干湿、伤疤、压力等不良因素的影响,加上采集设备的技术性能不完善等原因,往往难以采集到清晰的指纹图像。低质量的指纹图像将增加指纹识别的难度,降低指纹识别系统的性能。因此,在自动指纹识别系统中对采集到的指纹图像进行图像质量评价是十分必要的。

已有不少学者对指纹图像的质量评判进行了研究,Tabassi^[1]等通过提取指纹图像各子块的对比度、主纹线流和曲率特征测量指纹图像质量,但这种方法只是从指纹图像局部纹理进行分析,不足以反映指纹图像全局信息;Ratha 和 Bolle^[2]等人提出了一种基于小波变换的图像质量评估方法,这种方法适用于 WSQ 压缩指纹图像,但对于非压缩指纹图像并不理想,因为小波变换的计算相当复杂。Hong^[3]等人通过计算指纹图像每一块指纹纹线垂直方向上的灰度方差评估指纹图像质量,它在图像噪声较大时并不能很好获得指纹图像的方向图,从而影响最后的评估效果。方正飞,林喜荣^[4]等人提出基于 3 个评价因子(前景比重、Gabor 滤波特征值和指纹图像中心位置)的指纹图像综合评估方法,能准确有效地评估指纹图像质量,但在计算前景比重方面过于复杂,没有充分利用 Gabor 滤波结果带来的信息。针对以上问题,本文在已有的指纹图像质量评价理论基础上,综合考虑了决定指纹图像质量的各种因素,设计出通过多个

评价参数将指纹图像的局部特征和全局特征相结合

的指纹图像质量评价的方法。

1 指纹图像质量评价

1.1 多通道 Gabor 滤波特征值计算

指纹是一种独特的纹理图像,从全局上看属于非平稳信号;从局部上看,又具有明显的方向一致性和频率稳定性。传统的傅立叶分析方法和常见的统计分析方法无法兼顾指纹的这些特征,不适于指纹的图像分析。而二维 Gabor 滤波器由于其优良的时频局部特性和人眼视觉通道的相似性,被广泛地使用在指纹纹理的分割和增强等方面。研究表明,二维 Gabor 滤波器特别适合分析那些包含较多特定分辨率和方向特征的纹理^[5,6]。为此,本文尝试首先将图像分成相同大小的小块($\omega \times \omega$),对每一小块进行多通道二维 Gabor 滤波器分解,计算滤波结果的平均值及其标准差 G 。滤波结果的标准差 G 能很好地反映指纹图像的纹线结构。对于质量好的图块,纹线结构清晰,脊线谷线分明,方向性强, G 就大;反之,质量差的图块, G 就小。所以滤波结果的方差 G 不仅可以用于指纹图像的分割而且可以用于指纹图像质量评价^[7]。

偶对称 Gabor 滤波器的一般形式如下:

① 基金项目:浙江省教育厅科研基金资助项目(20070440)

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

$$\begin{aligned} x_{\theta} &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y_{\theta} &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (1)$$

式中是 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 轴的高斯包络的空间常量, 根据经验值 $\delta_x = \delta_y = 4$ 。

将指纹图像分成若干 $\omega \times \omega$ 小块, 对每一图块中心点 (x, y) , 进行 8 个方向 $\theta_k = \pi(k-1)/8 (k=1, \dots, 8)$ 的 Gabor 滤波。对每一个图块, 得到 8 个 Gabor 滤波结果

$$g_k(x, y; \theta_k, f) = \left| \sum_{m=-w/2}^{w/2-1} \sum_{n=-w/2}^{w/2-1} I(x+m, y+n) h(m, n; \theta_k, f) \right| \quad (2)$$

$$k = 0, 1, \dots, 7$$

式中: f 是正弦平面波的频率, 在这即为指纹图块的脊线频率, 在指纹图像的局部非奇异区域里, 沿垂直于脊线的方向看, 指纹脊线和谷线像素点灰度值大致成一个二维正弦波, 定义脊线频率为相邻的两个波峰或波谷之间的像素点数的倒数; $I(x+m, y+n)$ 为指纹图块对应位置像素灰度值; $h(m, n; \theta_k, f)$ 为 Gabor 滤波模板。

这样, 每一个指纹图块都将获得 8 个 Gabor 滤波结果 $g_k, k=0, 1, \dots, 7$ 。在用 Gabor 滤波器进行纹理特征提取时, 一旦纹理分布与 Gabor 滤波器中的某个方向及某个尺度上的函数模型相似时, 滤波输出的能量最大。所以把中最大值所对应的方向 θ_k 作为块的方向 $\theta_n^{[8]}$:

$$\theta_n = \text{ord}(\max_{k=0}^7(g_k)) \quad (3)$$

计算 Gabor 滤波结果 $g_k, k=0, 1, \dots, 7$ 的标准差 G 公式如下:

$$G = \left(\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (g_k - \bar{g})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \bar{g} = \frac{1}{m} \sum_{k=0}^{m-1} g_k, m=8 \quad (4)$$

式中: \bar{g} 为所有指纹图块 Gabor 滤波结果的均值。

根据各个图块标准差计算结果 G 的不同赋予该图块不同的灰度值后的示意图。



(a) 原图 (b) Gabor 滤波输出特征图像
图 1 原图及 Gabor 滤波输出特征图像

1.2 指纹图像有效面积

对于指纹图像而言, 研究的兴趣主要在于图像中的指纹本身, 即前景区域, 而背景图像在我们的研究中没有意义。为了保证能够提取到足够的指纹特征信息, 要求前景区域面积足够大, 对于前景区域面积过小的指纹图像可以直接拒绝进入下一步的处理。因此, 有效面积是评价指纹图像的首要指标。

由公式(4)计算出各块 G 值后, 如果 G 小于域值 G_1 时, 标定该指纹图块为背景图块, 反之为前景图块; 如图 2 所示。

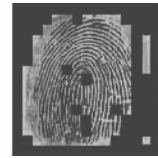


图 2 指纹图像前景背景初步分割示意图

这是独立判断各图像块的属性(前景还是背景), 会引入一些误差, 因此有必要再根据各图像块的邻域进一步确认其属性。在实验中使用了 3×3 的窗口, 对每个小块进行分析, 如果在一个背景块(前景块)的周围 8 邻域至少有 4 个为前景块(背景块), 则把该图像块标记为前景(背景), 这样, 就消除了孤立的背景块或前景块, 如图 3 所示。

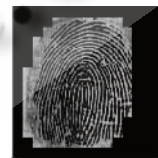


图 3 指纹图像修正后前景背景分割示意图

计算前景指纹图像与原始指纹图像面积比重 Q_s

$$Q_s = \frac{\text{前景图块数目}}{\text{图块总数}} \quad (5)$$

如果 Q_s 小于一定值 T_s , 则说明有效图像部分面积太小, 应要求重新采集指纹图像, 否则, 进行下一步的判断。

1.3 指纹图像有效区域质量评价

指纹图像有效区域的质量评价可以分为局部质量评价和全局质量评价, 局部质量评价用于指导指纹图像增强和特征提取匹配, 而全局质量评价则用于指导用户采集到高质量图像。

1. 指纹图像有效区域局部质量评价

指纹图像有效区域局部质量评价是基于块水平的。我们根据公式(6)把前景图像块分成三类:清晰块(255)、次清晰块(200)、模糊块(150)。并用不同灰度值来显示这些图块如图4所示。

$$\text{块质量} = \begin{cases} \text{清晰块} & G > G_3 \\ \text{次清晰块} & G_3 > G > G_2 \\ \text{模糊块} & G_2 > G > G_1 \end{cases} \quad (6)$$

G_1, G_2, G_3 由实验给出,显然 $G_1 > G_2 > G_3$ 。



(a) 原图 (b) 质量图示

图4 原图及其基于块质量评价图示

2. 指纹图像有效区域全局质量评价

由公式(6)求得各块图像的质量后,根据公式(7)计算指纹图像的全局质量分数。

$$Q_o = \frac{\text{清晰块数} + \text{次清晰块数}/2}{\text{前景块总数}} \quad (7)$$

如果 Q_o 小于阈值 T_o ,判定指纹图像质量太差,需要重新采集。

1.4 指纹图像奇异点的检测及偏心率

指纹的奇异点即指纹的核心点(Core)和三角点(Delta),是指纹图像的一个重要特征。现在的指纹识别系统为了降低成本把采集设备面积做的很小,所以为了提取到有效的指纹图像,在采集时必须把指纹的奇异点对准采集设备。对于采集到的指纹图像,如果没有核心点和三角点应给出提示,进行重新采集。并根据核心点的位置与图像中心位置的比较判断图像是否过偏。

包含奇异点的块与其8邻域块之间的方向关系具有方向汇聚的特性:顺时针绕核心点一周,方向值是递增的;顺时针绕三角点一周,方向是递减的。基于这种汇聚特性,本算法首先按公式(3)计算图像块的方向,再按图5所示找包含奇异点的块。

对所有图像块,以 3×3 的邻域为单位(即所研究的中心块及其8邻域)记录邻域内方向的突变的次数,从中选出4个变化次数最大的 3×3 邻域作为候选奇

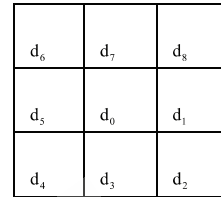


图5 检测奇异点块示意图

异点所在区域。对每个候选区域设其中心块为奇异点所在的候选块,以此候选块为中心点,顺时针比较其8邻域小块的方向,并按

$$\begin{cases} U_{num} = \sum_{i=2}^8 u(d_i - d_{i-1}) \\ D_{num} = \sum_{i=2}^8 u(d_{i-1} - d_i) \end{cases} \quad (8)$$

计算方向递减或递增的数目。其中, $u(x) = \begin{cases} 1, x > 0 \\ 0, x \leq 0 \end{cases}$; d_i 为块方向,取离散值 $0, 1, \dots, 7$; $i = 1, 2, \dots, 8$ 。

根据上述奇异点的方向汇聚特性,若 U_{num} 大于给定阈值,则候选块是真正的核心块;若 D_{num} 大于给定阈值,则该候选块是真正的三角块^[9]。

实验中选取核心块的中心点为核心点,设核心点坐标为 (i_c, j_c) ,图像中心坐标为 (i_o, j_o) ,以 r 表示核心点到 $M \times N$ 大小图像中心的距离,则以公式(9)计算指纹偏离图像中心程度,偏离越大,该项衡量指标得分也越低。

$$\begin{aligned} Q_c &= 1 - r/R \\ r &= \sqrt{(i_o - i_c)^2 + (j_o - j_c)^2} \\ R &= \min(M, N)/2 \end{aligned} \quad (9)$$

1.5 指纹图像质量评价最终结果

由于图像所带信息的复杂性和指纹图像的特殊性,有时一个参数很难评价一幅指纹图像的质量,所以我们要对量化后的三个参数进行综合评价。根据实际需要,对不同的参数给予不同的权值 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$,指纹图像质量评价最终结果

$$FIQ = \omega_1 \times Q_o + \omega_2 \times Q_c + \omega_3 \times Q_d \quad (10)$$

其中: $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ 。显然, $FIQ \in [0, 1]$, FIQ 越大,指纹图像质量越好,反之越差。因为指纹面积从一定程度上反映了指纹偏离图像中心的程度,所以在实验中 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, 分别取 $0.45, 0.45, 0.1$ 。

2 实验结果

实验中指纹图像取自 FVC2004 DB4,评价结果给

出了图像的局部质量和整体质量分数,图 4 所示为 6 幅图像的原图及局部块质量的图示。表 1 给出图 4 中 6 幅图像各参数值及综合评价结果。

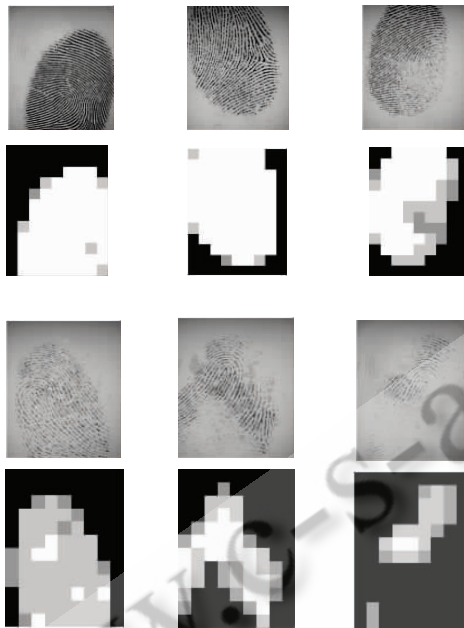


图 6 典型图列及其基于块质量评价图示

表 1 质量评价结果

	Qs 指纹 面积	Qa 指纹		图像 质量 评价 结果	提示
		有效区 域质量	偏心率		
图 a	0.831	0.962	0.350	0.842	好
图 b	0.857	0.830	0.400	0.799	较好
图 c	0.685	0.703	0.556	0.680	中等
图 d	0.602	0.431	0.476	0.512	稍差
图 e	0.463	0.560	0.659	0.526	稍差
图 f	0.320	0.304	0.000	0.281	很差

实验结果表明,这种算法比基于指纹灰度分布的空域评价方法更稳定,更准确;而且我们也将该算法得出的结果与我们主观评价结果进行了比较,与人的视觉要求接近。

3 小结

本文提出的指纹图像质量评价算法,综合考虑了决定指纹图像质量的多种因素,兼顾了指纹图像的局部特征和全局特征,实验结果表明了该算法的有效性。但在使用中,也发现算法中阈值的选取对评价结果有较大影响,如何根据图像本身的特征来自适应地选取各种阈值,有待进一步深入研究。

参考文献

- 1 Tabassi F, Wilson C I, Watson C I. Fingerprint Image quality. Gaithersburg, USA: National Institute of Standard Technology, 2004.
- 2 Nalini K, Ratha and R. Bolle. Fingerprint Image Quality Estimation. In: Proc of ACCV2000. 2000, 1:819 - 823.
- 3 Lin Hong, Yifei Wan, and Anil Jain, Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation. IEEE Transactions on PAMI, 1998, 20(8):777 - 789.
- 4 方正飞,林喜荣,周斌. 指纹图像质量综合评估方法. 电视技术, 2007, 31(7):93 - 96.
- 5 Daugman J G. Complete Discrete 2_D Gabor Transforms by Neutral of image Analysis and Compression. IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal processing, 1988, 36(7):1169 - 1179.
- 6 Daugman J G. Uncertainty Relation For Resolution in Space, Spatial Frequency and Orientation Optimized By Two - Dimensional Visual Cortical filters. 1985, 123(7):1160 - 1169.
- 7 SHEN Linlin, KOT A, KOO W. Quality measures of fingerprint images. In: proc of the 3rd International Conference on Audio and Video based Biometric Person Authentication. Halmstad, Sweden, 2001. 266 - 271
- 8 王玮,李见为. 半导体指纹传感器图像质量评估方法. 光电工程, 2006, 33(10):104 - 108.
- 9 赵衍运,蔡安妮. 指纹图像质量分析. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(5):644 - 650.