

指纹纹线距离估计的两种方法:谱分析法和统计窗法^①

Two Methods of Ridge Distance Estimation in Fingerprint Images: Spectral Analysis and Statistical Window

景波 刘莹 黄兵 (南京审计学院计算机系 南京 210029)

摘要:指纹纹线距离的可靠估计对自动指纹识别系统的实现具有重要的意义。本文利用传统的谱分析方法在频域实现了对指纹图像纹线距离的估计,提出了一种基于统计窗的纹线距离估计方法,在空间域实现了纹线距离估计,并对两种方法用于纹线距离估计的性能进行了对比和分析。实验结果表明,模式区附近等纹线方向变化剧烈的区域,谱分析方法可以更为可靠地实现对纹线距离的估计,而在模式区以外的区域,统计窗方法对图像质量表现出更好的鲁棒性,可以取得更好的效果。

关键词:指纹 纹线距离 谱分析 统计窗 基线

目前的自动指纹识别系统主要是依靠指纹的细节特征来实现指纹比对的。细节特征主要是指纹线端点和纹线分叉点两类^[1],可靠地提取细节特征是自动指纹识别研究的一个重点。但是对于质量比较差指纹图像,要想可靠地从中提取特征信息,就必须先对其进行增强处理,以去除噪声、突出指纹固有的结构信息^[2-7]。而在大多数指纹增强算法中,纹线距离或者纹线频率都是作为一个重要参数来使用的。此外,指纹图像的平均纹线距离还可用于指纹比对和指纹分类。

在自动指纹识别领域,很多文献使用了纹线距离(或纹线频率)并强调了它的重要性。已有文献提到的方法主要可以归结为两类:基于整幅图像的纹线距离估计方法和基于块水平的纹线距离估计方法(窗口方法)。

Kovacs-Vajna^[8]等人提出了纹线距离估计的两种方法:几何法和谱分析法,两种方法都是针对分块图像估计纹线距离的,也属于窗口方法的范畴。几何法的一个优点是它不需要纹线方向的计算结果作为先导。但由于该方法中有很多阈值需要精确选定,这些阈值又会因图像质量的差异和其他因素的影响而变化,这就使得这种方法比较复杂,实现的难度也比较

大。谱分析法则将图像分块,利用离散傅立叶变换将每块图像由空间域表达转换为频域表达,然后根据谐波系数分布估计该块图像的纹线距离。

在指纹图像质量不理想的情况下能否可靠地进行纹线距离估计,是纹线距离估计方法的关键。本文提出的基于统计窗的纹线距离估计方法属于窗口方法的一种。

1 谱分析方法

采用离散傅立叶变换,将指纹图像由空间域表达转换为频域表达,在频域实现了对指纹纹线距离的估计,是指纹纹线距离估计的传统方法,称为谱分析法。谱分析法是一种典型的频域分析方法,是指纹纹线距离估计的传统方法。

设 $g_{(x,y)}$ 表示大小为 $N \times N$ 的图像中坐标为 (x,y) 的像素点的灰度值,则 $g_{(x,y)}$ 的离散傅立叶变换 $G_{(u,v)}$ 定义为:

$$G_{(u,v)} = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} g_{(x,y)} e^{-2\pi i \langle (x,y) | (u,v) \rangle}$$

设 $|g_{(u,v)}|$ 表示 $g_{(u,v)}$ 的模,即 $g_{(u,v)}$ 的幅值。在实际使用中,从运算效率的角度出发,多采用二维快速傅立叶变换算法实现。在指纹纹线距离估计中,

① 基金项目:国家自然科学基金项目(70571032);南京审计学院科研重点项目(NSK2006/A03)

$|G_{(u,v)}|$ 在一定程度上表示了 (u,v) 点信号的周期特性。考察一个区域内各点的取值,可以获得该区域信号的变化的主导周期。图1是一幅指纹图像及其分块傅立叶变换的结果,图像分块尺寸为 32×32 。

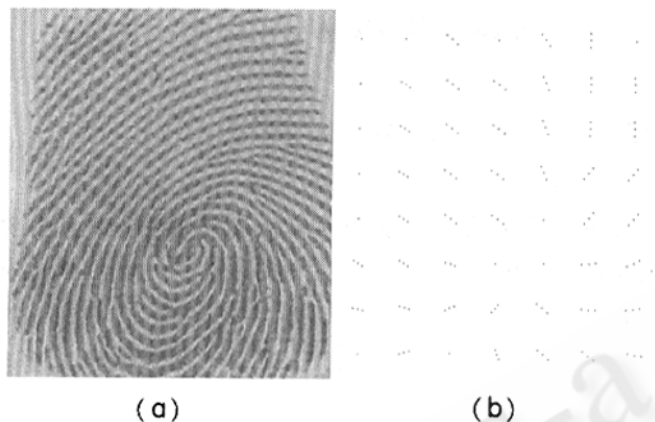


图1 一幅指纹图像及其分块傅立叶变换结果
(a) 一幅指纹图像; (b) 相应的分块傅立叶变换结果



图2 一块指纹图像的频谱中 r 的意义

定义径向分布函数:

$$Q(r) = \frac{1}{\#C_r} \sum_{(u,v) \in C_r} |G_{(u,v)}|$$

其中 C_r 代表满足

$\sqrt{u^2 + v^2} = r$ 的各坐标点的集合, $\#C_r$ 代表 C_r 中元素的个数, 则 $Q(r)$ 表示了 $N \times N$ 的图像上纹线距离为 N/r 的信号分布强度, $Q(r)$ 的峰值位置对应的 r 的取值即为该图像区域内主导信号出现的周期次数。

Z. M. Kovacs - Vajna^[8] 等人提出的用谱分析法进行指纹纹线距离估计的主要步骤为:

- ① 将指纹图像分成互不重叠、大小为 32×32 的块
- ② 对每块图像中各像素点 $(x, y), x, y \in \{0, \dots, 31\}$ 利用傅立叶变换计算相应的频域表达幅值 $|G_{(u,v)}|$, 为简化计算, 使用二维快速傅立叶变换来实现。
- ③ 计算 $Q(r), 0 \leq r \leq N-1$

④ 寻找一个 r' , 使得对于任意 $0 \leq r_{\min} \leq r \leq r_{\max} \leq N-1, r \neq r'$ 满足 $Q(r') \geq Q(r)$ 。一块图像中 r' 的意义如图2所示。

⑤ 如果不满足 $Q(r') > Q(r-1)$ 且 $Q(r') > Q(r+1)$, 即 $Q(r')$ 不是局部极大值, 则认定不能直接估计该块图像的纹线距离; 否则:

⑥ 寻找 r'' , 使得对于任意 $0 \leq r_{\min} \leq r \leq r_{\max} \leq N-1, r \neq r', r \neq r''$ 满足 $Q(r'') \geq Q(r)$

⑦ 当置信度水平

$$\frac{a}{Q(r')} \min\{Q(r') - Q(r''), Q(r') - Q(r'-1),$$

$$Q(r') - Q(r'+1)\} \geq 0.4$$

时估计该块图像的纹线距离为 $\bar{d} = Nr'$; 否则, 认定不能直接估计该块图像的纹线距离。

其中, r_{\min} 和 r_{\max} 分别表示 r 可能的最小和最大取值。对 500dpi 分辨率下采集的指纹图像来讲, 纹线距离的最大变化范围不超过 3 ~ 20, 所以, 取 $r_{\min} = 32/20 \approx 2, r_{\max} = 32/3 \approx 11$ 。

2 统计窗方法

经典 P 统计窗方法是一种典型的空域分析方法, 也属于窗口方法的一种。

基于统计窗的指纹纹线距离估计方法主要包含以下步骤:

① 基于块水平计算纹线方向

使用 L. Hong 等人^[2] 提出的方法计算纹线方向, 将指纹图像分为 32×32 大小的不重叠的块, 计算每块图像的纹线方向并对所获取的纹线方向进行平滑。同时置所有块图像纹线距离估计初值为 -1。

② 图像二值化

使用 J. Berson^[9] 提出的局部自适应分割方法将灰度指纹图像转化为二值指纹图像, 使脊线上的点取值为 1, 谷线上的点取值为 0。对图像进行二值化的目的是增加对比度信息, 以利于纹线距离估计。

③ 为每块图像定义统计窗和基线

定义一块 32×32 大小的指纹图像为一个统计窗。为每一个统计窗定义一条基线。当统计窗内的纹线方向为 0 或者小于 $\pi/2$ 时, 定义其基线为通过统计窗的左上顶点、平行于统计窗内纹线方向的直线。当统计窗内的纹线方向大于或等于 $\pi/2$ 时, 定义其基线为通

过统计窗的右上顶点、平行于统计窗内纹线方向的直线。

④ 对每块图像使用距离统计的方法获得统计窗内的纹线分布

对每块图像,计算其统计窗内各脊线上的点到基线的距离,以各点到基线的距离为横坐标,在某一距离上的脊线上的点数为纵坐标,得到表达该区域纹线分布的直方图。设 SA 为统计数组(如前定义),计算统计窗内所有脊线上的点到基线的距离 d 并令 $SA[d] = SA[d] + 1$ 。

⑤ 检测直方图中所有峰值点的位置并做记录

对所有属于区域 $[2, MD - 3]$ 的整数 i, 如果满足条件

$(SA[i-1] + SA[i] + SA[i+1]) > (SA[i-2] + SA[i-1] + SA[i])$ 且 $SA[i-1] + SA[i] + SA[i+1] > (SA[i] + SA[i+1] + SA[i+2])$ 则 i 是直方图中的一个峰值点。

显然,每个峰值位置实质上对应着一条脊线,各相邻峰值的间距即为该区域内相邻两条纹线的距离。

⑥ 峰值间距计算结果的置信度评测与基于块水平的纹线距离估计

对峰值间距计算结果的置信度评测是一个重要的问题。如果峰值间距计算结果不可靠,就不应该使用它们估计一块图像的纹线距离。

若某一峰值间距超出了 $3 \sim 20$ 范围,则可以直接认定为计算结果不合理^[8]。从峰值间距检测结果中剔除不合理的值后,如果一块图像中剩余的峰值间距个数小于 4,则不对该块图像进行纹线距离估计。否则,设 M_0 为峰值间距的均值,Var 为方差:

$$M_0 = \frac{1}{PDNum} \sum_{i=0}^{PDNum-1} PeakDist[i] \quad (3)$$

$$Var = \frac{1}{PDNum-1} \sqrt{\sum_{i=0}^{PDNum-1} (PeakDist[i] - M_0)^2} \quad (4)$$

则该块图像纹线距离计算结果的置信度表示为:

$\alpha = 1 - \frac{Var}{M_0}$ 如果置信度 α 小于阈值 0.8 (经验值),则认定峰值计算结果不可靠,不对该块图像进行纹线距离估计。否则,取 M_0 为该块图像的平均纹线距离。

无论采用哪一种方法进行纹线距离估计,要想直

接估计出所有图像块的纹线距离都是很困难的。对于不能直接估计出纹线距离的图像块,其纹线距离可通过普通的低通平滑方法或者最小梯度插值等方法获得,在此不再赘述。

3 实验结果

选择南京大学活体指纹库(包含 1200 幅活体指纹图像,120 个不同手指,每个手指 10 幅图像,图像采集分辨率 500dpi,图像大小为 320×320 ,256 色灰度图像,采集器为中国科学院光机所方圆公司生产的 ZY202-B 型)中的部分典型图像,对谱分析方法和统计窗方法的纹线距离估计结果进行了实验验证。实验表明,对一幅图像进行纹线距离估计,谱分析方法和统计窗方法平均用时分别为 0.63 秒和 0.52 秒,部分图像的纹线距离估计结果如图 3 所示。

4 结论和探讨

从实验结果可以得出以下结论:

谱分析方法:

(1) 对纹线方向的变化不敏感。

与其它区域相比,对于模式区附近等纹线方向变化比较剧烈的区域,谱分析法反倒可以取得更为可靠的估计结果。

(2) 对图像质量变化较为敏感。

当指纹图像比较模糊(图 3(c))或者对比度较差图 3(e)时,谱分析法的纹线距离估计效果会急剧下降,造成大量区域难以直接估计出纹线距离。

(3) 方法本身的局限使得估计结果较为粗糙。

(4) 由于算法本身的复杂度比较高,处理速度比较慢。

统计窗方法:

(1) 方法实现相对简单,处理速度比较快。

(2) 对图像质量变化不是太敏感。

当图像质量比较低时,仍能够较为可靠地大部分区域的纹线距离(图 3(d)和(f))。

(3) 对纹线方向的变化比较敏感。

对于模式区附近等纹线方向变化剧烈的区域,不能有效地实现纹线距离的估计。

(4) 基线的定义使得统计窗方法的性能对分块图像纹线方向的计算结果有着较为严重依赖性。

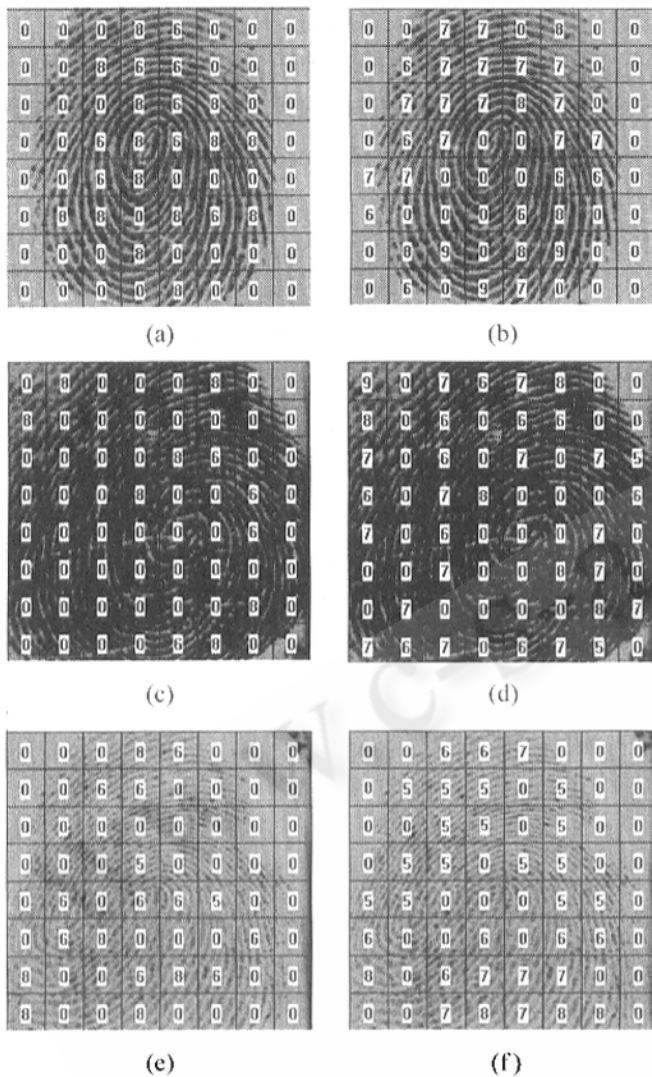


图 3 两种方法对部分典型图像的纹线距离估计结果

对于谱分析法,最大的难点是频域分块图像中的检测问题。如果的检测方法能够得到进一步提高,则谱分析法的纹线距离估计效果还可以得到较大幅度的提高。对于统计窗方法,如何在指纹图像质量很低时仍能相对可靠地计算分块图像的纹线方向则是该方法的关键。基于现有的技术水平,将谱分析法和统计窗法结合使用,在模式区附近的区域使用谱分析法,而在其它纹线方向变化相对平缓的区域使用统计窗方法,应该可以取得更好的纹线距离估计效果。

此外,关于指纹纹线距离估计结果的评价问题,即

通过哪些指标来衡量纹线距离估计方法的优劣,就作者所知,现有文献还没有深入涉及。这是今后应该尽快着手研究的一个问题。

参考文献

- 1 Yin Yilong. Development on automatic fingerprint identification system. Jilin University of Technology, Ph D Dissertation, 2000, 18 ~ 19 (in Chinese).
- 2 Hong L, Wan Y and Jain A K. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. IEEE Transactions on PAMI, 1998, 20 (8): 777 ~ 789.
- 3 Kamei T, Mizoguchi M. Image filter design for fingerprint enhancement. Proceedings of ISVC '95, Coral Gables, Florida, USA, 1995: 109 ~ 114.
- 4 Sherlock D, Monro D M and Millard K, Fingerprint enhancement by directional fourier filter. IEE Proceedings of Visual Image Signal Processing, 1994, 141(2): 87 ~ 94.
- 5 Danielsson P E, Ye Q Z. Rotation - invariant operators applied to enhancement of fingerprints. Proceedings of 8th International Conference on Pattern Recognition, Rome, Italy, 1998: 329 ~ 333.
- 6 Coetzee L, Botha E C. Fingerprint recognition in low quality images. Pattern Recognition, 1993, 26(10): 1441 ~ 1460.
- 7 Sherstinsky A, Picard R W. Restoration and enhancement of fingerprint images using M - lattice: A novel non - linear dynamical system. Proceedings of 12th, International Conference on Pattern Recognition - B, Jerusalem, Palestine, 1994: 195 ~ 200.
- 8 Kovacs - Vajna Z M, Rovatti R and Frazzoni M. Fingerprint ridge distance computation methodologies. Pattern Recognition, 2000, 33(4): 69 ~ 80.
- 9 Berson J. Dynamic thresholding of grey - level images. Proceedings of 8th International Conference on Pattern Recognition, Paris, France, 1986: 1251 ~ 1255.