

一种基于统计窗的纹线距离估计方法

陈 蕴¹⁾ 尹义龙²⁾ 张晓梅²⁾ 詹小四³⁾

¹⁾(阜阳师范学院计算机系, 阜阳 236032) ²⁾(山东大学计算机科学与技术学院, 济南 250100)

³⁾(南京大学电子科学与工程系, 南京 210093)

摘 要 纹线距离在自动指纹识别中有着广泛的应用,但迄今为止,研究纹线距离估计的文献并不多见,且所述方法对质量较差的指纹图象的处理效果也不尽如人意.为了对质量较差的指纹图象进行可靠的纹线距离估计,提出了一种基于统计窗的纹线距离估计方法,该方法是将指纹图象分成互不重叠的块,并为每块图象定义统计窗和基线,然后采用距离统计的方法来获取统计窗内的指纹纹线分布,进而估计每块图象的纹线距离.部分典型图象的实验结果证明,该方法是有效的.

关键词 计算机图形学(520·6030) 指纹 纹线距离 统计窗 基线

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)03-0266-05

A Method Based on Statistical Window for Ridge Distance Estimation in Fingerprint Image

CHEN Yun¹⁾, YIN Yi-long²⁾, ZHANG Xiao-mei²⁾, ZHAN Xiao-si³⁾

¹⁾(Computer Department, Fuyang Normal College, Fuyang 236032)

²⁾(College of Computer Science & Technology, Shandong University, Jinan 250100)

³⁾(Department of Electronic Science & Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Ridge distance is an intrinsic texture property of fingerprints and it has important application in automatic fingerprint identification system. However, up to now, only several literatures touch ridge distance estimation deeply. Ridge distance estimation is developed in this paper and a method based on statistical window for ridge distance estimation in fingerprint images is brought out. A fingerprint image is divided into non-overlap blocks and a statistical window and a base line is defined for each block image. A statistical method is used to acquire the distribution of ridge in the statistical window and the ridge distance of a block image is estimated. Even to block images in which ridge directions vary acutely only if the dominant direction is existent or to block images in which noises are comparatively serious, such as much ridge breaks, the method still can estimate ridge distance reliably. Tests with some typical images show the good performance of the method presented in this paper.

Keywords Fingerprint, Ridge distance, Statistical window, Base line

0 引 言

近年来,指纹自动识别技术已引起人们的广泛关注^[1].鉴于指纹自动识别系统通常直接依靠指纹细节特征的提取来实现指纹比对,因此对于质量比较差的指纹图象,应先对其进行增强处理,即通过去除噪声和突出指纹固有的结构信息^[2~9],以便可靠地从中提

取到特征信息.在指纹识别中,一方面纹线距离或者纹线频率大多作为指纹增强算法中一个重要参数来使用;另一方面,指纹图象的平均纹线距离还可以直接被用于指纹比对和指纹分类.例如,在相同分辨率下采集到的两个指纹,如果它们的平均纹线距离明显不同的话,那么不需要进行细节特征的比对,就可直接判定这两个指纹是不匹配的,由此可见,可靠地估计纹线距离对自动指纹系统的实现有着重要的意义.

基金项目:安徽省教育厅自然科学基金项目(2002KJ234)

收稿日期:2002-06-13;改回日期:2002-11-20

在指纹自动识别领域,很多文献均强调了纹线距离的重要性,而且已有文献中所提到的纹线距离估计方法,如按图象块的定义可以归结为两类:(1)基于整幅图象的指纹纹线距离估计方法,如在指纹滤波器设计中,将纹线距离作为滤波器的一个关键参数来使用,该方法使用的是纹线距离的统计均值,且假定纹线距离在整幅指纹图象上是一个常量,并将指纹划分为男人、女人和小孩 3 个类别^[5],也有人试图对纹线数目进行自动统计,并假定纹线距离在整幅指纹图象上是一个常量^[6],或在整幅指纹图象上估计纹线的平均距离^[10],但这些都是基于整幅图象的纹线距离估计,而忽略了指纹图象中不同部分间纹线距离的差异,这样当图象中包含部分低质量的指纹区域时,会对纹线距离估计结果的可靠性造成严重影响;(2)基于块图象的纹线距离估计方法(窗口法),如,基于方向窗的纹线频率估计法^[2],但当噪声干扰严重或者方向窗内纹线方向不完全一致时,该方法的性能会受到严重影响。另外,还有几何法和谱分析法^[11],也都因指纹图象质量较差而使运算复杂,因此,对质量较差的指纹图象进行纹线距离的有效估计是指纹自动识别系统中需要很好解决的难题之一。

为此,提出一种基于统计窗的纹线距离估计方法,试图使用简单的算法来进行纹线距离估计,实验证明,这种算法即使对质量较差的指纹图象也能进行较为可靠的纹线距离估计。

1 相关概念与描述

1.1 脊线、谷线和纹线距离

脊线、谷线分别指指纹图象中深色和浅色的纹线,纹线距离定义为两条相邻脊线中心之间的距离(如图 1 所示)。由该纹线距离定义可见,纹线距离越大,表明该处纹线越稀疏;反之,表明该处纹线越密集。纹线距离的大小决定于指纹本身的结构和图象

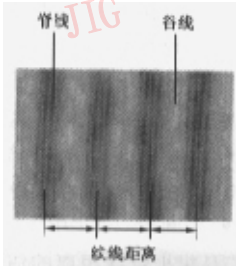


图 1 脊线、谷线和纹线距离的定义

采集的分辨率。另一个与纹线距离相关的概念是纹线频率,它是纹线距离的倒数。

1.2 统计窗

为了能方便地进行纹理统计,需为每块指纹图象定义一个统计窗。对一分块图象,其统计窗定义为以该块图象中心为中心、大小为 $W \times W$ 的方形区域,一块指纹图象的纹线距离是通过对该块图象统计窗区域内的图象进行处理和分析而得到的。

1.3 基线

为了方便指纹纹线密度统计,需要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,其基线定义为通过统计窗的左上顶点,且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,其基线定义为通过统计窗的右上顶点,且平行于统计窗内纹线方向的直线。

1.4 统计数组

统计数组定义为整型数组 $S[D_{max} + 1]$,其中 D_{max} 表示统计窗内有效指纹区域中,脊线上的点与基线的最大可能距离。例如, $S[8] = 14$ 表示统计窗内,与基线的距离为 8 个像素点的距离间,共有 14 个脊线上的点。

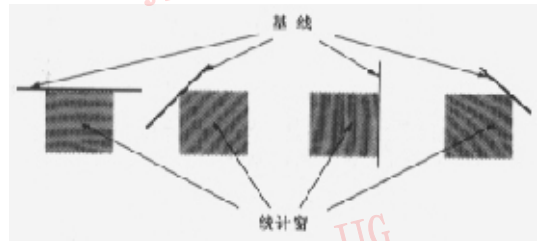


图 2 统计窗和基线定义

2 基于统计窗的纹线距离估计

基于统计窗的纹线距离估计的算法如下:

2.1 纹线方向的计算与图象二值化

(1) 基于块图象计算纹线方向 首先将指纹图象分为 16×16 大小的不重叠块^[2],然后计算每块指纹图象的纹线方向,再对所获取的纹线方向进行平滑,并置每块指纹图象纹线距离估计初值为 -1。

(2) 图象二值化 使用局部自适应分割方法将

灰度指纹图象转化为二值指纹图象^[12],并使脊线上的点取值为1,谷线上的点取值为0.对指纹图象进行二值化的目的是为了增加对比度信息,以利于纹线距离估计.

2.2 为每块指纹图象定义统计窗和基线

通常,由于计算纹线方向时需要保证块内纹线方向尽可能一致,因此一般图象分块尺寸都选得比较小(在500dpi的采集分辨率下,多选用 8×8 或 16×16),而进行纹线距离估计则不同,进行纹线距离估计时,由于要保证用于纹线距离估计的区域应该至少包含两条指纹纹线,因而使用的窗口就比较大.统计窗的尺寸选择与不同指纹的差异以及图象的采集分辨率都有关系,应该是一个经验值.在500dpi的采集分辨率下,取统计窗大小为 32×32 ,即统计窗的面积为块图象面积的4倍.

2.3 统计窗内的指纹纹线分布与直方图

(1) 每块指纹图象统计窗内的纹线分布 对每块指纹图象,首先计算其统计窗内各脊线上的点到基线的距离,然后以各点到基线的距离为横坐标,再以某一距离脊线上的点数为纵坐标,用统计方法得到表达该区域纹线分布的直方图.设 S 为统计数组(如前定义),得到的统计窗内所有脊线上的点到基线的距离为 d ,并令 $S[d]=S[d]+1$.

(2) 检测并记录直方图中所有峰值点的位置 对所有属于区域 $[2, D_{\max}-3]$ 的整数 i ,如果满足条件

$$(S[i-1]+S[i]+S[i+1]) > (S[i-2]+S[i-1]+S[i]) \quad (1)$$

$$(S[i-1]+S[i]+S[i+1]) > (S[i]+S[i+1]+S[i+2]) \quad (2)$$

则 i 是直方图中的一个峰值点.

显然,纹线分布直方图的每个峰值点位置实质上对应着一条指纹脊线,各相邻峰值点的间距即为该区域内相邻两条指纹纹线的距离.

2.4 纹线距离估计

(1) 峰值点间距的均值与方差

在计算结果可靠的情况下,可使用峰值点间距的均值来估计一块指纹图象的纹线距离.

设 \bar{M} 为峰值点间距的均值, V 为峰值点间距的方差,则

$$\bar{M} = \frac{1}{D_{\text{Num}}} \sum_{j=0}^{D_{\text{Num}}-1} d_{\text{Peak}}[j] \quad (3)$$

$$V = \frac{1}{D_{\text{Num}}-1} \sqrt{\sum_{j=0}^{D_{\text{Num}}-1} (d_{\text{Peak}}[j] - \bar{M})^2} \quad (4)$$

其中, $d_{\text{Peak}}[j]$ 表示一块指纹图象内第 j 个纹线间距

($j=i-1$),即纹线分布直方图第 i 和 $i+1$ 个峰值点之间的距离(其中 $i=1,2,\dots,N,N$ 为峰值点总数目),可以直观地理解为块图象内第 i 和 $i+1$ 条脊线之间的距离,其取值越大,表明该处的纹线越稀疏;反之,则表明该处纹线越密集. D_{Num} 表示该块指纹图象内纹线分布直方图峰值点间距的总数目(即 $D_{\text{Num}}=N-1$).

(2) 峰值点间距计算结果的置信度评测与基于块图象的纹线距离估计

对峰值点间距计算结果的置信度评测是一个重要的问题.如果峰值点间距计算结果不可靠,就不应该使用峰值点间距来估计一块图象的纹线距离.

若某一峰值点间距超出了 $3 \sim 20$ 范围,则可以直接认定为计算结果不合理^[11].在从峰值点间距检测结果中剔除掉不合理的距离值后,如果一块图象中剩余的峰值点间距个数小于4,则不对该块图象进行纹线距离估计.

对块图象纹线距离计算结果的置信度可表示为

$$\alpha = 1 - \frac{V}{\bar{M}} \quad (5)$$

如果置信度 α 大于阈值 0.8 (经验值),则可取 \bar{M} 为该块图象的平均纹线距离;否则,认定峰值点间距计算结果不可靠,即不对该块图象进行纹线距离估计.

(3) 纹线距离插值

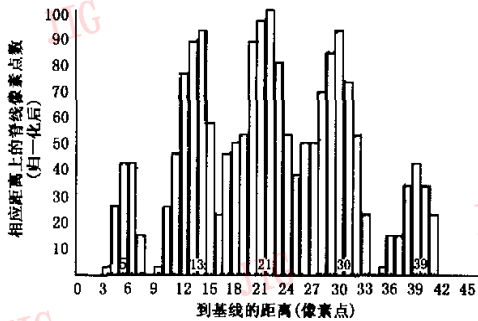
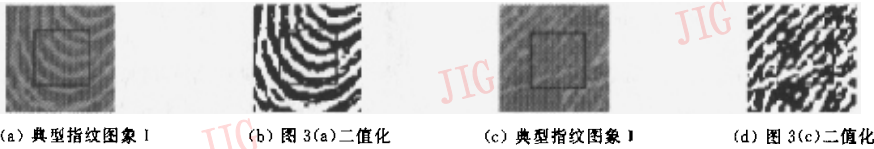
另一方面,由于部分块图象可能包含奇异点(singularity)或者受到噪声的污染,因此对于一幅指纹图象中,不能直接估计纹线距离的图象块,其纹线距离可采用低通滤波器进行平滑^[2]或者使用基于最小梯度的扩散方法^[13]来获得.本文采用前一种方法.

3 实验及其结果

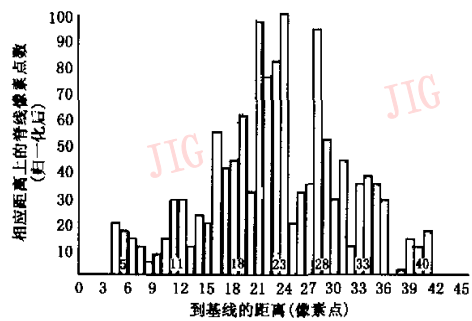
为了验证本文算法的有效性,采用南京大学活体指纹库(包含1200幅活体指纹图象,120个不同手指,每个手指10幅图象,图象采集分辨率500dpi,图象大小为 320×320 ,256色的灰度图象,采集器为ZY202-B型指纹图象采集仪)中的部分典型图象进行了实验.实验内容包括如下两部分:一是选择典型图象块进行纹线距离估计,并用人工观测来估计结果的可靠性;二是根据纹线距离的估计结果,使用基于加博函数的方法对部分指纹图象进行增强.

图 3 是使用本文方法获取的两块典型的低质量指纹图象(图 3(a)是块图象内纹线方向变化较大的情况,图 3(c)是块图象受噪声严重干扰的情况,方框表示相应的统计窗区域)的纹线距离分布. 图 3

(a)块图象的峰值点间距检测结果为:8,8,9,9,纹线距离估计结果为 8.5,置信度为 0.961;图 3(c)块图象的峰值点间距检测结果为:6,7,5,5,5,7,纹线距离估计结果为 5.8,置信度为:0.924.



(e) 图 3(a)统计窗内的纹线分布直方图

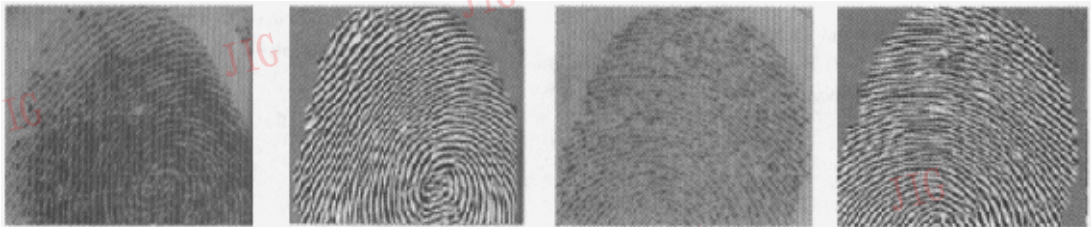


(f) 图 3(c)统计窗内的纹线分布直方图

图 3 两块典型指纹图象及其统计窗内的纹线距离分布

图 4 是以本文估计的分块图象的纹线距离(实际使用的是纹线频率)为参数,对两幅典型低质量指纹图象的增强结果. 尽管指纹增强效果不仅仅决定

于纹线距离的估计结果,还受纹线方向和滤波器性能等因素的影响,但良好的增强效果说明,该纹线距离估计结果是可靠的.



(a) 低质量指纹图象 1 (b) 图 4(a)增强结果 (c) 低质量指纹图象 2 (d) 图 4(c)增强结果

图 4 两幅典型低质量指纹图象及其增强结果

4 结论与探讨

上述基于统计窗的纹线距离估计方法,是首先对指纹图象进行分块,然后使用距离统计的方法分别进行纹线距离估计. 虽然在纹线距离估计前,先进行图象二值化,会造成一定的信息损失,但却有效地突出了纹线结构. 由于该方法纯粹是根据指纹的统计特性,使得它在下列情况下仍可以正确地实现纹线距离估计:

(1) 块图象内,纹线方向变化虽比较剧烈,但纹线的主导方向是存在的.

(2) 块图象受噪声干扰比较严重或者存在严重的纹线间断现象.

在部分典型指纹图象上进行的实验结果证明,本文方法是有效的,而且图象增强的结果也直观地证明了本文方法的纹线距离估计结果的可靠性.

将实验结果严格量化和自适应地选择窗口尺寸(不采用固定的窗口尺寸)是需要做进一步研究和探讨的工作.

参考文献

- 1 尹义龙, 宁新宝, 张晓梅. 自动指纹识别技术发展与应用[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2002, 38(1): 29~35.
- 2 Hong L, Wan Y, Jain A K. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Transactions on PAMI, 1998, 20(8): 777~789.
- 3 Kamei T, Mizoguchi M. Image filter design for fingerprint enhancement [A]. In: Proceedings of ISVC'95 [C], Coral Gables, Florida, USA, 1995: 109~114.
- 4 Sherlock D, Monro D M, Millard K. Fingerprint enhancement by directional fourier filter[J]. IEE Proceedings of Visual Image Signal Processing, 1994, 141(2): 87~94.
- 5 O'Gorman L, Neckerson J V. An approach to fingerprint filter design[J]. Pattern Recognition, 1989, 22(1): 29~38.
- 6 Lin W C, Dubes R C. A review of ridge counting in dermatoglyphics[J]. Pattern Recognition, 1983, 16(2): 1~8.
- 7 Danielsson P E, Ye Q Z. Rotation-invariant operators applied to enhancement of fingerprints [A]. In: Proceedings of 8th International Conference on Pattern Recognition [C], Rome, Italy, 1998: 329~333.
- 8 Coetzee L, Botha E C. Fingerprint recognition in low quality images[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(10): 1441~1460.
- 9 Sherstinsky A, Picard R W. Restoration and enhancement of fingerprint images using M-lattice: A novel non-linear dynamical system[A]. In: Proceedings of 12th, International Conference on Pattern Recognition-B [C], Jerusalem, Palestine, 1994: 195~200.
- 10 Hung D C D. Enhancement feature purification of fingerprint images[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(11): 1661~1671.
- 11 Kovacs-Vajna Z M, Rovatti R, Frazzoni M. Fingerprint ridge distance computation methodologies [J]. Pattern Recognition, 2000, 33(4): 69~80.

- 12 Berson J. Dynamic thresholding of grey-level images [A]. In: Proceedings of 8th International Conference on Pattern Recognition [C], Paris, France, 1986: 1251~1255.



陈 瑾 1958年生, 副教授, 计算机系副主任. 主要研究方向为图象处理与模式识别、生物信息处理等. 发表过《微电脑控制的心电数据床边采集系统》等多篇论文.



尹义龙 1972年生, 2000年获吉林大学工学博士学位, 副教授. 主要研究方向为以指纹为代表的生物特征识别、医学图象处理等, 发表过《自动指纹识别技术的发展与应用》等有关指纹识别的论文多篇.



张晓梅 1971年生, 助教, 1994年获莱阳农学院工学学士学位. 主要研究方向为电子商务、数字图象处理等.



唐小四 1976年生, 博士生. 主要研究方向为以指纹为代表的生物特征识别、数字图象处理等.