

◎图形、图像、模式识别◎

指纹周期/频率的亚像素精确算法

韩松峰¹,陈大海²,郭雷³,刁海南¹,孟卫华²

HAN Song-feng¹,CHEN Da-hai²,GUO Lei³,DIAO Hai-nan¹,MENG Wei-hua²

1.凯迈(洛阳)电子有限公司,河南 洛阳 471000

2.中国空空导弹研究院,河南,洛阳 471009

3.西北工业大学 自动化学院,西安 710072

1.CAMA(Luoyang) Electronics Co.,Ltd,Luoyang,Henan 471000,China

2.China Airborne Missile Academy,Luoyang,Henan 471009,China

3.School of Automation,Northwestern Polytechnic University,Xi'an 710072,China

E-mail:han555@yeah.com

HAN Song-feng,CHEN Da-hai,GUO Lei,et al.Sub-pixel precision algorithm for fingerprint periodicity/frequency. Computer Engineering and Applications,2009,45(5):161-163.

Abstract: Fingerprint periodicity/frequency is an important parameter for filtering,segmentation,ridge line tracking and matching in Automated Fingerprint Identification System(AFIS).Due to the influence of image definition,even a half-pixel error may cause periodicity/frequency calculation error,resulting in a subversive result in the post-processing.With the sub-pixel calculation,the fingerprint periodicity matrix and normal direction image can be gotten accurately and the sharp corner of fingerprint image center line in existing direction image method can be avoided,the AFIS performance also can be improved significantly.

Key words: fingerprint;periodicity/frequency;sub-pixel

摘要: 指纹的周期/频率是 AFIS 中的滤波、分割、脊线跟踪和匹配的重要参数。受图像分辨率的影响,半个像素单位的误差都可能造成周期/频率的计算错误,导致后处理过程中出现颠覆性结果。通过亚像素的计算,可以精确地输出指纹的周期矩阵和法线图,避免了方向图算法中无法计算指纹中心线急转弯的问题,使整个 AFIS 的性能得到了很大的提高。

关键词: 指纹;周期/频率;亚像素

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.05.047 **文章编号:**1002-8331(2009)05-0161-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391.41

1 介绍

在各类指纹自动识别系统(Automated Fingerprint Identification System,AFIS)中,都需要对指纹的周期/频率进行计算。如果没有准确的周期/频率,滤波器的参数只能凭借经验值来确定,导致滤波效果难以控制;图像分割中只有方向参数,难以分清纹线区域和非纹线区域;脊线跟踪中没有相邻脊线的信息,难以确定准确的跟踪路线;在匹配算法中没有准确的距离计算,影响匹配的精度,从而直接影响着整个识别系统的性能。

对指纹的周期/频率研究的论文中,周期或频率名词的使用没有统一的规范。在计算周期/频率过程中,并不是都在频域进行的,因此,文中使用周期一词来说明我们的算法。目前,关于指纹周期的算法可以分为两类:一类是基于整幅图像的纹线周期估计^[1-2],理想地认为指纹周期分布是正态的,在实际指纹库

中,同一枚指纹周期会出现二倍的差异;另一类是基于图像区域的局部纹线周期估计^[3-4],需要准确地找到频谱的峰值点,这在算法上是很很难做到的。文献[5]采样直线进行二值化处理计算纹线周期,在精度上有所提高,但是采用自动阈值会给计算分割点带来极大的误差。

普遍来看,现有的指纹周期算法大多为 Gabor 滤波器输入了一个参数,周期计算精度不高,也很少用于核心算法的其它部分中。提出了一种新的指纹周期的亚像素^①精确计算方法,在犬齿交错的纹线边界中,把周期的计算精度提高到 1/4 个像素单位,准确计算出每条纹线上的点所在纹线的周期,并找出该纹线处的法线方向,同时输出周期图和法线图。与现有的指纹方向图算法^[7-8]比较,法线图算法的精度远远优于方向图算法。在一组平行的纹线中,法线图算法计算出的纹线上的点具有一

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60675015);国家科技型中小企业技术创新基金(No.05C26214101032);国家火炬计划项目(No.2005EB041126)。

作者简介:韩松峰(1969-),男,高级工程师,主要研究方向:软件工程,生物识别;陈大海(1970-),男,博士后,主要研究方向:模式识别、生物识别;郭雷(1956-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:神经计算、视觉计算、图像和视频处理、模式识别;刁海南(1968-),男,研究员,主要研究方向:信号与信息处理,生物识别;孟卫华(1969-),男,研究员,主要研究方向:红外制导、模式识别。

收稿日期:2008-08-05 **修回日期:**2008-11-10

致的方向,而方向图算法纹线中有许多偏离的方向,需要通过分块统计直方图来校正。在指纹中心曲率最大的地方,方向图算法受分块大小和分块位置的影响,无法计算中心点的准确方向,而法向图算法可以在亚像素级别中,准确地输出指纹各点的方向和周期信息。因此,本文的算法具有很高的准确性和广泛的适用性。

2 算法原理

2.1 亚像素问题的提出

指纹图像是由脊线和谷线构成,采集器的分辨率通常是500 dpi,这样指纹的一个周期仅有10~12个像素。再高的分辨率会带来更大的计算量,再低的分辨率会难以分清指纹线。在计算周期过程中,需要知道由脊线到谷线的一次完整变化,这个变化还要包括周期的两端到达的边界点(如图1所示)。所谓指纹周期的边界点就是由脊线到谷线,或由谷线到脊线过渡的地方,通常采用梯度算子或者二值化的方法求出边界点所在的像素位置。

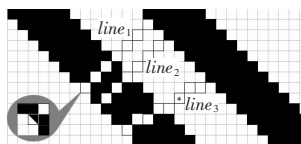


图1 指纹周期欧式距离计算误差图

那么,这个像素点位置准确吗?对于水平或垂直方向的平行线来讲,周期的边界点位置没有问题,边界点之间的最短距离能够代表周期。但是对于斜向的纹线,边界点位置之间存在复杂的邻域关系,这将导致计算欧式距离时发生差错。

以图1中的情况为例,可以说明目前周期算法的误差。

图1给出了135°方向上的平行线,最短的欧氏距离应该在其垂直的45°方向上,而事实并非如此:受边界点位置关系的影响,135°方向上的周期 $Line_1$ 和 $Line_2$ 的长度相差就有1个像素单位,这样与22.5°方向上周期 $Line_3$ 比较如下:

设纹线周期计算的两个边界点的坐标分别为 (x_1, y_1) 和

(x_2, y_2) ,根据欧氏距离公式:

$$Line = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

根据图1的实际情况,计算周期如下:

$$Line_1 = \sqrt{6^2 + 6^2} = \sqrt{72}$$

$$Line_2 = \sqrt{5^2 + 5^2} = \sqrt{50}$$

$$Line_3 = \sqrt{7^2 + 4^2} = \sqrt{65}$$

显然, $Line_1 > Line_3 > Line_2$;计算结果有误。

如果把边界点分为 $m \times m$ 小单元格。那么,欧氏距离应该为:

$$Line = \sqrt{(x_2 - x_1 - \delta)^2 + (y_2 - y_1 - \delta)^2} \quad (2)$$

其中, δ 为亚像素级的边界点的修正量。在实际计算中,可以认为亚像素单元格把原像素单元格所分成的面积比例。图1中的 δ 取值为:

$$\delta = \frac{1/2(m \times m)}{m \times m} = \frac{1}{2}$$

这样,就可以得到正确的结果:

$$(Line_1 = Line_2) < Line_3$$

即:两个135°方向上的周期相等,并且都小于22.5°方向上的

周期。

因此可以认为:在目前采集器分辨率的条件下,指纹图像计算中,凡是涉及距离计算的地方,或者涉及像素点灰度值求平均的地方,都需要引入亚像素计算才能消除误差的影响。

2.2 亚像素周期算法

对于灰度指纹图像的脊线、谷线沿着其垂直于纹线方向的分布并不是理想的正弦波形,也没有尖峰的突出峰值,因此,基于灰度的周期算法只能适应清晰均匀的指纹图像。文献[5]改用周期线的二值化算法来确定纹线的周期,对周期算法有很大的改进。事实上,灰度图像的二值化算法有很多,采用文献[9]的算法,可以直接得到整幅指纹的二值图像。这样可以有效地减少后面的计算量。算法的流程图见图2。

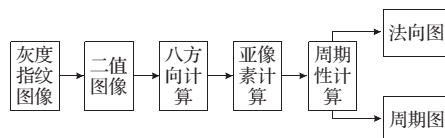


图2 指纹周期亚像素算法流程图

2.2.1 边界亚像素算法

对于一个周期[0, 1]数组中的单像素边界点,在计算亚像素欧氏距离时,需要判断保留像素点的面积百分比。

对于不同的邻域关系,归纳为角邻域和边邻域两种类型:

δ 的取值说明如下:

(1)角邻域中遇到0, 1值转换的边界点。利用四邻域中其他两个像素点值进行判断。如果都与边界点值相同, δ 取值为0;如果都与边界点值不同, δ 取值为1/2;如果只有一个值与边界点值不同, δ 取值为1/4(如图3(a)所示)。



(a)角邻域 δ 取值0, 1/4, 1/2

(b)边邻域 δ 取值0, 1/2, 1

图3 边界点的亚像素判断

(2)边邻域中遇到0, 1值转换的边界点。利用八邻域中其他两个边邻域像素点值进行判断。如果都与边界点值相同, δ 取值为0;如果都与边界点值不同, δ 取值为1;如果只有一个值与边界点值不同, δ 取值为1/2(如图3(b)所示)。

2.2.2 周期算法

对于二值指纹图像中的每个像素点,在一个 $m \times n$ 大小的窗口的 $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$ 八个方向上各得到一个[0, 1]的数组(如图4所示)。在该数组中,通过0, 1值转换的边界点可以得到周期 T_1, T_2, T_1, T_2 为脊线上的一个点在两边方向上所具有的周期。必须满足以下条件:

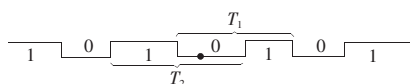


图4 指纹一个方向上的[0, 1]数组

(1) T_1, T_2 在足够大的窗口中必须具有3个0, 1值转换的边界点,如果不够或多出,则 T_1 或 T_2 不存在;

(2) $T_1/T_2 < t, t$,为周期变化的阈值;

(3)如果 T_1 或 T_2 有一个不存在,则另一个 T_1 或 T_2 需要在相反的方向上寻找3个转换的边界点。即:一个周期的运算需要两条脊线和一条谷线来完成,或者由两个谷线和一条脊线来

完成。

所以,该纹线的周期定义为:

$$P = \frac{(T_1 + T_2)}{2}$$

同理,可以在八个方向的数组中判断每个数组是否具有周期性,并得到其周期的均值。用以下公式计算八方向的周期的最小值:

$$\begin{cases} T = \min(P_i) \\ N = i_{\min} \end{cases}; i = 1, 2, \dots, 8 \quad (3)$$

八个方向上最小的周期认为是该处纹线的周期值,同时该方向就是该处纹线的法向值。遍历整幅图像可以得到法向图和周期图。

3 实验

首先,制作了不同方向的平行纹线,比较亚像素算法和方向图算法的优劣。

图5中以22.5°方向上粗细不等的纹线为例,比较了方向图算法和亚像素算法的不同,图5(b)中可以看出方向图算法造成平行纹线中方向不一致。而亚像素算法可以精确地计算出纹线中每个点的准确方向。



图5 平行纹线上的方向图算法和亚像素算法比较

其次,从公安指纹库中随机抽取1000幅指纹图像,图像分辨率为500 dpi,大小为640×640,分为含有噪声组图像和不含噪声组图像进行测试,测试结果是:不含噪声的图像,亚像素算法可以准确地输出法向图和周期图;含有噪声的图像仅加入法向有周期、方向无周期这一条判据也可以较好地得到指纹图像的法向图和周期图(图6)。

4 总结

在计算指纹纹线周期过程中,因为采用了二值化算法,纹线周期计算的速度得到了很大的提高;亚像素的引入使得欧氏



图6 指纹的方向图算法和亚像素算法比较

距离的计算十分准确,从而可以在八个方向上准确地提取到纹线的周期值,并输出相应的周期图和法向图;亚像素算法较方向图算法有更高的准确性,也不需要块平滑处理,确保了应对指纹中心曲率最大处的方向计算精准问题,算法具有较强的鲁棒性,可以应对二值图像中的各种复杂情况,可以为后期的图像滤波、分割、脊线跟踪和匹配提供可靠参数。总之,亚像素算法具有很高的工程应用价值。

参考文献:

- [1] Lin W C, Dubes R C. A review of ridge counting in dermatoglyphics[J]. Pattern Recognition, 1983, 16(2): 1-8.
- [2] Hung C D. Enhancement feature purification of fingerprint Images[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(11): 1661-1671.
- [3] Hong L, Wan Y, Jain A K. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation[J]. IEEE Transactions on PAMI, 1998, 20(8): 777-789.
- [4] Kamei T, Mizoguchi M. Image filter design for fingerprint enhancement[C]//Proc ISCV'95, 1995: 109-114.
- [5] ZHU En, YIN Jianping, ZHOU Jing. Fingerprint Classification by Using Average Period[J]. Journal of National University of Defense technology, 2004, 26(4): 22-26.
- [6] KANG Sheng, WANG Jiangan. Using repetitious subtracting and fusing images for detecting and tracking dim-point target[J]. Laser & Infrared, 2006, 36(4): 330-332.
- [7] Yuan Weiqi, Min Jingyan. Fingerprint image segmentation algorithm based on frequency of gray levels and eight-directional image[J]. Opto-Electronic Engineering, 2005, 32(6): 24-26.
- [8] Nie Guijun, Wu Chen. Studies on continuously distributed directional image in automated fingerprint identification system[J]. Journal of Image And Graphics, 2005, 10(3): 315-319.
- [9] Chen Da-hai, Guo Lei, Chang Jiang, et al. Method for fingerprint image binarization using difference[J]. Journal of Computer Application, 2007, 27(1): 169-171.

(上接 153 页)

算法和系统是基于单词统计的,无法对于短语的相关性进行分析。因此进一步的工作是将现有的单词相关性分析系统进行改进,研究单词共现交集,短语单词化等方法,实现对短语相关性的定性和定量分析。

参考文献:

- [1] Kou Huaizhong, Gardarin G. Similarity model and term association for document categorization[C]//Proceedings of the 13th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002: 256-260.
- [2] Sogou 搜狗. 中文词语搭配库[DB/OL]. (2006-10). <http://www.sogou.com/labs/dl/r.html>.
- [3] 孙宏林. 词语搭配在文本中的分布特征[C]//ICCP'98, Beijing, 1998: 230-236.

- [4] Lo Tsz-wai R, He B, Ounis I. Automatically building a stopword list for an information retrieval system[J]. Journal on Digital Information Management: Special Issue on the 5th Dutch-Belgian Information Retrieval Workshop (DIR'05), 2005.
- [5] Hégarret P L, Wood L, Robie J. What is the document object model? [EB/OL]. (2000). <http://www.w3.org/TR/DOM-Level-3-Core/introduction.html>.
- [6] Microsoft. Platform SDK document indexing service, IWordBreaker [M/CD]. 2005.
- [7] Porter M F. An algorithm for suffix stripping[DB/OL]. (1998). <http://www.tartarus.org/martin/PorterStemmer>.
- [8] The Information Retrieval Group, University of Glasgow. Stop word list of English [EB/OL]. http://www.dcs.gla.ac.uk/idom/ir_resources/linguistic_utils/stop_words.