

应用纹理分析的纸张计数算法

李毅 阮秋琦

(北京交通大学信息科学研究所, 北京 100044)

摘要 针对生产和生活中大量应用的机械纸张计数装置存在体积大、功耗高、笨重和不易保养维护等缺点, 提出了一种基于纹理分析的纸张计数算法, 试图从机器视觉的角度来解决这一问题。该方法是将规律排列的纸张叠层图像的边棱看作条纹纹理, 同时认为原图纸张排列的规律性必将造成频域内存在着大量的相关资源, 并试图分别从二维 Gabor 滤波和一维逐行频率分析处理的角度入手, 通过这些资源的滤出来得到用于确定纸张数目的纸张边棱信息, 实验结果显示, 虽然用二维 Gabor 滤波器进行纸张边棱提取速度较快, 但由于该算法受纸张叠层图像的质量影响较大, 因而适用范围有限; 而用逐行分析处理的手段来进行纸张边棱提取, 虽然速度较慢, 但由于该算法能够很好地对实验中用到的纸张叠层图像进行处理, 因而能够得到精确的计数结果。

关键词 纹理分析 纸张计数 Gabor 滤波

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)09-1042-07

Algorithm of Paper Counting Based on Texture Analysis

LI Yi, RUAN Qiu-qi

(Information Science Institute in Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract An algorithm of paper counting based on texture analysis is proposed in the paper, in which machine vision method is employed, for the reason that paper counting machines used widely have some defects, such as taking up a lot of room, consuming much energy, being hulking, inconveniencing the maintenance work etc. So two complementary methods for paper counting based on Image Processing technology are proposed in this paper. One is paper counting by 2D Gabor filter, the other is paper counting by 1D line-by-line frequency analysis, in which periodicity of distribution of intensity caused by periodic placement of paper is considered as stripe texture. The information for counting and the paper number is gained through filtering the image and retaining the stripe texture using Texture Analysis knowledge because the orderly placement of paper in the image causes the interrelated resource in frequency domain. The experiments show that paper counting by 2D Gabor filter is affected deeply by the quality of the paper image and has limited application range in despite of running faster, and paper counting by 1D line-by-line frequency analysis can works well and gain the accurate paper number despite low speed. Generally speaking, algorithm of paper counting by digital image processing and texture analysis is infrequent in China, so some attempts are made in the paper. The result indicates that the algorithm of paper counting has fine future in application.

Keywords texture analysis, paper counting, Gabor filter

1 引言

纸张计数是工业生产中经常遇到的一个问题, 快捷、精确的纸张计数方法往往能成倍地提高工作效率, 但在目前的工业生产中, 纸张计数基本都是由机械操作完成的。因为这种计数方式耗时、占用场

地、成本高, 且容易产生误差, 所以, 企业界一直在寻找用一种新的纸张计数方法来代替传统的方法。

鉴于现代数字图像采集技术已经可以很方便地采集到清晰的目标图像^[1], 且速度较快, 为此, 本文提出了应用图像纹理分析的纸张计数算法, 试图以精度较高的图像摄取装置和高效的后台处理算法来解决这个问题。

2 纸张叠层图像特点分析

2.1 纸张叠层图像与纹理模式的内在联系

本文采用如下方式摄取纸张叠层图像:首先将纸张整齐叠放,然后用 CCD 相机进行侧面采集(如图 1 所示)。

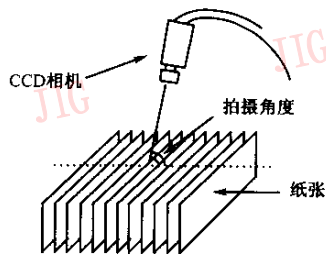


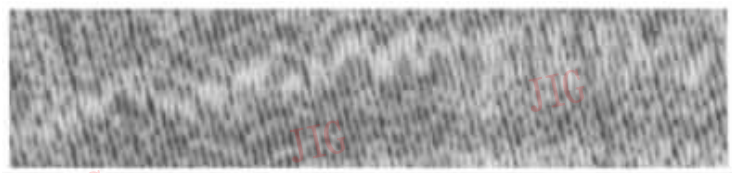
图 1 纸张叠层图像摄取方法

图 2 示出了用此方法拍摄到的部分纸张叠层图像。仔细观察不难发现,虽然该组图像中的纸张材质各不相同,排列方式也有一些差异,但它们却有着一

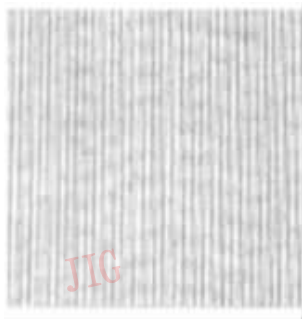
个非常明显的共同特点,那就是纸张码放均匀整齐,纸张的边棱彼此基本平行。

图 3 是图 2 中各图像的局部放大,从图 3 可以清楚地看到上面提到的这种规律:在图像中,平直或基本平直的边棱两侧的灰度高低对比明显,这种灰度的高低对比均匀地分布于整幅图像之中,极具规律性,呈明显的条纹状分布。该视觉效果是由光照在纸张边棱附近留下的阴影造成的,这些阴影使得边棱附近灰度对比起伏明显。这样,从纹理分析的角度考虑,纸张的叠层图像可以近似看作是一幅由黑白斑条彼此重复排列组成的纹理图像。因为目前一种比较普遍的观点认为,纹理是由大量或多或少相似的纹理元或模式组成的一种结构^[2],这与本文图 2 中各图像的特性吻合。

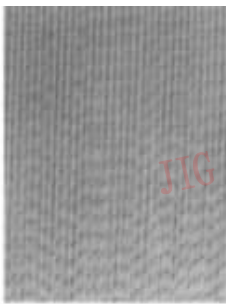
由于该纹理结构有以下两个十分明显的规律:(1) 黑白条纹周期性重复排列,造成频域中存在大量的相关频率资源;(2) 由于条纹彼此基本平行,并且有很强的方向性,因此,一旦获得该近似纹理图像中



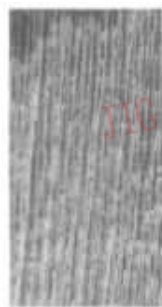
(a) 纸张叠层图像 1



(b) 纸张叠层图像 2

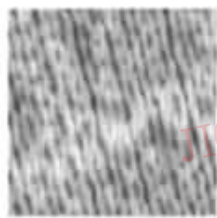


(c) 纸张叠层图像 3

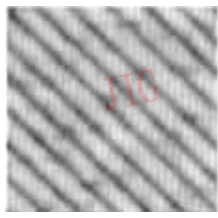


(d) 纸张叠层图像 4

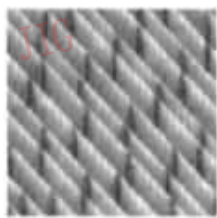
图 2 部分纸张叠层图像



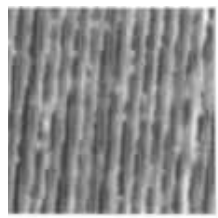
(a) 纸张叠层图像 1 局部放大图



(b) 纸张叠层图像 2 局部放大图



(c) 纸张叠层图像 3 局部放大图



(d) 纸张叠层图像 4 局部放大图

图 3 图 2 中纸张叠层图像的局部放大图

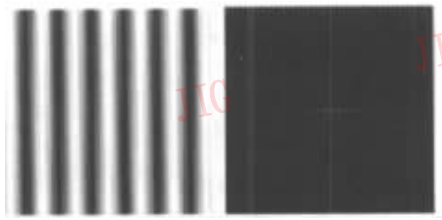
关于黑白条纹的频率和方向信息,并据此信息滤出纸张边棱后,则最终获得计数结果就会容易许多。因为图像中纸张边棱的数目与纸张的数目是完全相等的。

2.2 纸张叠层图像中条纹纹理的频率和方向

为了更深入地探讨由纸张叠层形成的条纹纹理的频率和方向特性,本文在图4中用理想化的标准正弦条纹来模拟纸张叠层图像中的纹理模式。图4还示出了这些正弦条纹的傅里叶频谱图。图中有3个主要亮点,其中,中间的亮点是频率原点,旁边两个对称于原点的亮点代表条纹重复出现的频率。这些亮点分布在一条直线上,直线所指的方向正是条

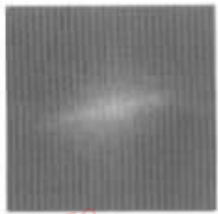


(a) 正弦条纹1(左)及其频谱图(右)

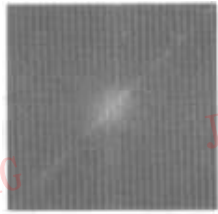


(b) 正弦条纹2(左)及其频谱图(右)

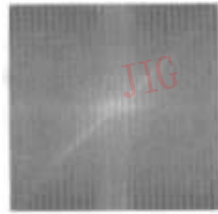
图4 正弦信号模拟的纸张叠层图像及其频谱图



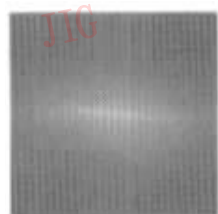
(a) 图3(a)频谱图



(b) 图3(b)频谱图



(c) 图3(c)频谱图



(d) 图3(d)频谱图

图5 图3各纸张叠层图像的二维傅里叶频谱图

3 应用 Gabor 滤波器的纸张边棱提取算法

3.1 Gabor 滤波器的特性

在图像处理和图像分析领域,Gabor 滤波器已经得到了成功的应用。Gabor 滤波器的一个优越性在于它满足“不确定性原理”,这意味着 Gabor 滤波器可以同时时域和频域获得最佳的局部化;Gabor 滤波器的另一个优越性在于它是带通的,这一特点恰好与人类视觉接收场模型相吻合^[4]。

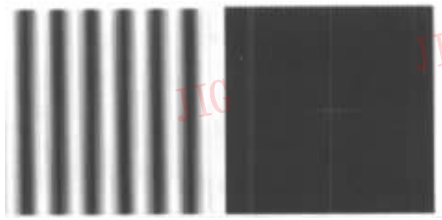
Gabor 函数是由 Gabor 首先定义的,然后由 Daugman 将其扩展为二维结构。在一般情况下,往往令二维 Gabor 函数的纵横比为 1,这样二维 Gabor 函数^[5]可以表示为

$$h(x, y) = g(x, y)e^{-2\pi j(U \cdot x + V \cdot y)} \quad (1)$$

纹伸展的方向^[1,3],而且频率越高,这两点离原点的距离越远。

图5为图3各纸张图像的傅里叶频谱图,从中可以看出,虽然较图4而言,频率成分变得复杂,但仍然有指示条纹的类似频率信息存在,这说明图像中有正弦或者近似正弦信号,由于它们是条纹的重要组成部分,为此,需要设计一个能把这些正弦或者近似正弦频率信息滤出的滤波器,以使用它们对图像进行滤波,以得到纸张边棱,然后方可计数。

本文选择方向和频段选通性能优越的二维带通 Gabor 滤波器来完成这个工作。



(b) 图3(b)频谱图

式中, U, V 表示特定的空间频率, $g(x, y)$ 为如下式所示的高斯函数

$$g(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \quad (2)$$

其中, σ_x 和 σ_y 分别为高斯函数在 x 和 y 方向上的包络常数。

可见,Gabor 函数 $h(x, y)$ 是一个被复正弦函数调制的高斯函数, $h(x, y)$ 的傅里叶变换为

$$H(u, v) = 2\pi\sigma_x\sigma_y \left[e^{-2\pi^2[(u-U)^2\sigma_x^2 + (v-V)^2\sigma_y^2]} \right] \quad (3)$$

Gabor 滤波器 O_h 可以定义为

$$m(x, y) = O_h(i(x, y)) = |i(x, y) * h(x, y)| \quad (4)$$

其中, $i(x, y)$ 代表一幅图像, $m(x, y)$ 是其滤波输出,* 表示卷积,|·| 表示模运算。

3.2 基于 Gabor 滤波器的边棱提取

对图5中示出的傅里叶频谱进行分析后,就能够获得条纹纹理的频率和方向信息,再将它们提取

出来送入二维 Gabor 滤波器,便可得到图 6 的处理结果。从图 6 可以看出,图 6(b)取得了很好的效果,图 6(c)的处理效果基本令人满意,但图 6(a)和图 6(d)的效果较差,并存在比较严重的边棱漏检现象。这说明,条纹越清晰、图像质量越高,干扰目标越少,其纸张边棱的检测结果也就越理想。可见,本算法的实施效果依赖于图像质量,这是因为送入 Gabor 滤波器的参数是条纹纹理的频率和方向,所以处理效果在很大程度上依赖于频率和方向数据的准确性。显然,如果纸张叠层图像中条纹越规律,纸张边棱的弯曲和局部方向改变越少,那么它们的频率和方向信息也就越统一,这就导致经统计得出的数据能很好地体现每一局部的特性;相反,当条纹规律性变

差、纸张边棱褶皱严重,导致每一边棱不同部分的方向差异较大时,此时经统计得出的数据则无法反映每个局部区域的具体情形,这样以全概偏进行处理,自然会使结果变差。然而,在实际操作过程中,由于各种情况差别很大,所以获得的图像质量不可能维持在一个稳定的水平。这样,当图像质量变差时,边棱附近灰度对比变化呈周期排列的特性便受到了一定程度的破坏,此时图像的频率信息也随之变得复杂;此外,毛边现象和码放过程中可能出现的纸张扭曲,亦可导致边棱的方向一致性遭到不同程度的破坏,且这些破坏所造成的局部信息变化不能在显示整体信息的二维傅里叶频谱中得到很好的体现,于是就出现了滤波效果变差的现象。

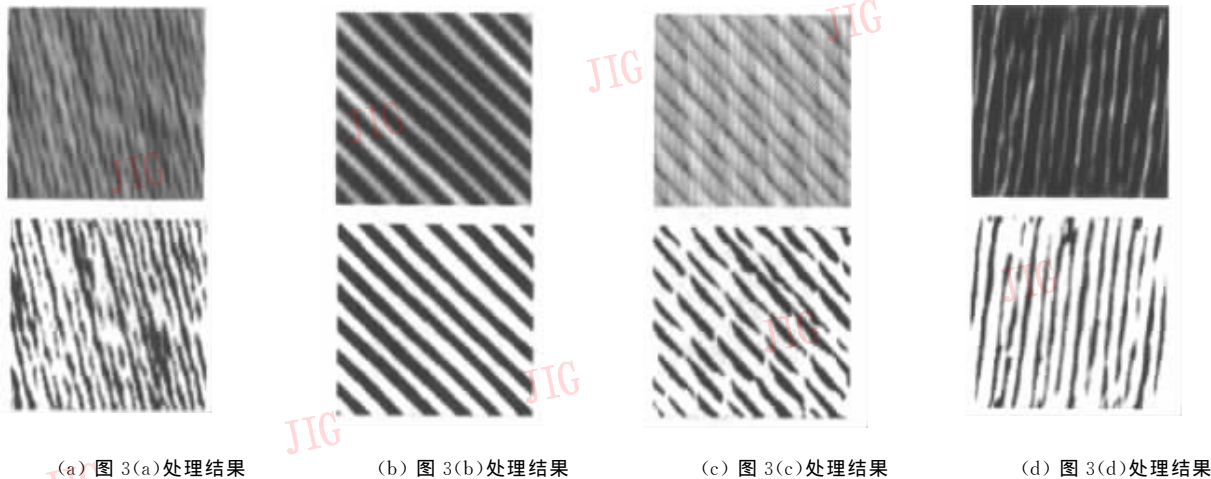


图 6 基于 Gabor 滤波的部分边棱提取结果
(上面一行为进行 Gabor 滤波后的图像,下面一行为其二值化图像)

4 基于逐行频率分析的纸张边棱提取算法

针对上述基于 Gabor 滤波的纸张边棱提取算法适用范围有限的不足,本文从另一个角度入手提出了一种新的基于逐行频率分析的纸张边棱提取算法,其基本操作思想是逐行扫描,逐行处理,该算法是从对纸张叠层图像行像素所做的分析中得出的。图 7 为纸张叠层图像行像素示意图。该图表明,由于作为实验图像组成单元之一的行像素保留了图像中边缘灰度规律起伏变化的特性,因而这种一维数据

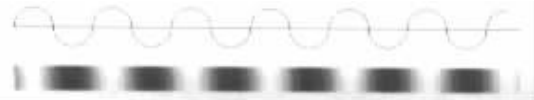


图 7 纸张叠层图像行像素示意图

依然蕴涵着能代表灰度变化的相对稳定的频率成分,图 8 是图 3 各图像中某行像素的一维傅里叶频谱图。因为图中代表灰度周期变化的频率资源(图中箭头所指区域)是频率域的主要成分,所以只要用一维滤波器把这部分频段滤出,就可以获得灰度的周期规律变化信息。这样,经逐行处理遍历整幅图像后,自然能够获得仅保留纸张边棱信息的结果。图 9 是该算法实施流程示意图。

本文使用该算法对图 3 中列出的 4 幅图像进行了处理,处理结果及其二值化图像见图 10。非常明显,本算法可以取得令人满意的纸张叠层图像边棱提取效果。

这是因为:(1)逐行扫描,逐行分析频率可以更好地获取图像的局部信息,并可克服二维滤波时从整体考虑问题忽略细节的缺陷;(2)逐行扫描避免了方向信息的提取和选择,可有效消除由于方向选取

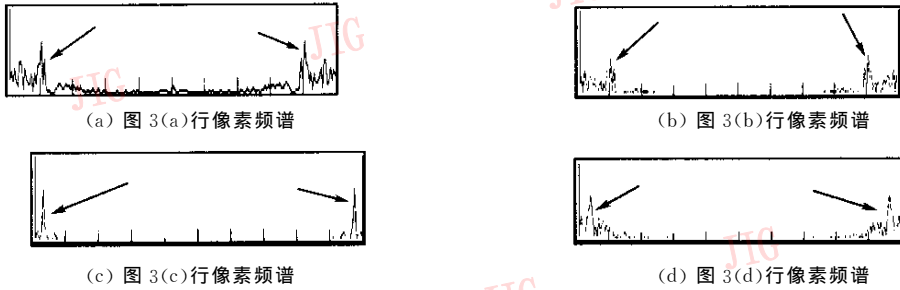


图 8 图 3 中各图像行像素频谱

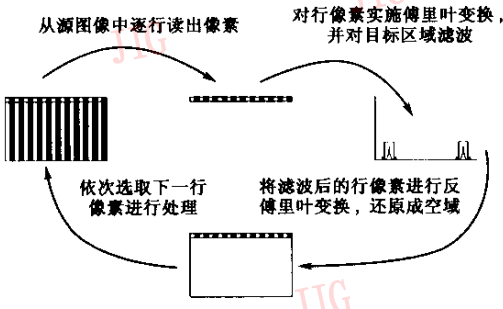


图 9 基于逐行频率分析的纸张边棱提取算法流程

所带来的误差。本来,作为同一纸张叠层图像边棱的不同区域,虽然其方向应该是相同的,但由于纸的材质比较柔软、堆放方式欠妥或者光照条件不合理等因素的影响,造成纸张叠层图像中同一边棱的部分区域与其他区域的方向不一致(如图 11 中箭头所示区域),所以如果从整体入手得出统一的方向信息,就不能很好地反映出这种变化,并会对边棱提取结果造成不利影响。

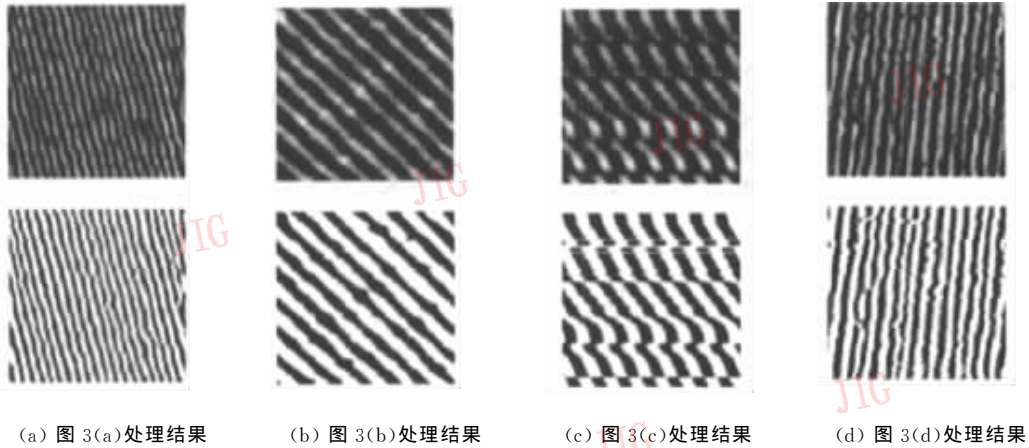


图 10 基于逐行频率分析的部分边棱提取图像

(上面一行为进行逐行频率分析并滤波后的图像,下面一行为其二值化图像)

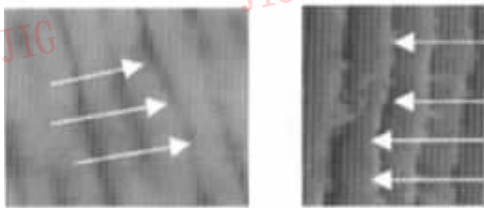


图 11 同一边棱不同区域方向不一致示例

做为纸张计数的最终结果。为了避免可能出现的边棱错检对计数的准确性产生影响,本文有针对性地采取如下措施进行预防:首先逐行记下图像中黑色条纹的个数,然后对其进行统计,并取出现频数最大的值作为最终的计数结果。这样做的目的是为了剔除可能出现的错误计数值,图 12 示出了采用上述计数方法来剔除错误计数结果的过程。

表 1 分别示出文中的两种算法对图 2 中各纸张叠层图像的计数结果。

从表 1 中可以看出,应用二维 Gabor 滤波的边棱提取算法只能对图 2(b)进行准确计数,而使用逐行频率分析的边棱提取算法则可对所有实验图像进

5 最终计数结果

当边棱提取结束后,记下黑色条纹(最终的二值图像中用黑色条纹代表提取出的边棱区域)的数量,

表 1 两种算法的计数结果统计

算法		图 像			
		图 2(a)	图 2(b)	图 2(c)	图 2(d)
算法 1	实际值	88	31	40	35
	测试值	75	31	35	26
算法 2	实际值	88	31	40	35
	测试值	88	31	40	35

行精确的计数。图 13 为利用两种算法对图 2 中各纸张叠层图像的最终处理结果(只列出最佳处理结果)。

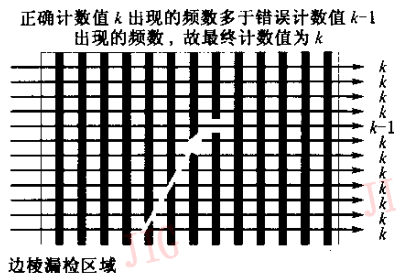
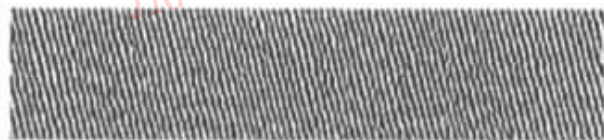
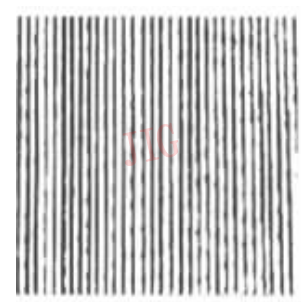


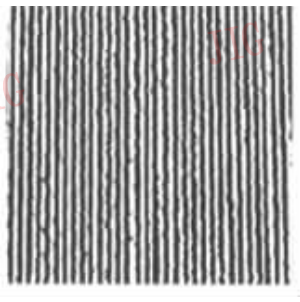
图 12 剔除错误计数值示意



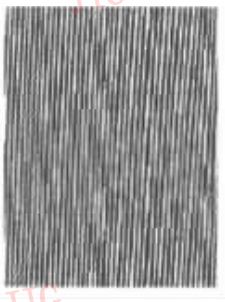
(a) 图 2(a)边棱提取结果(算法 2)



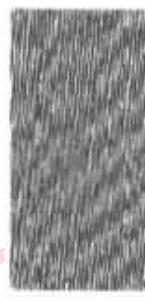
(b) 图 2(b)边棱提取结果 (算法 1)



(c) 图 2(b)边棱提取结果 (算法 2)



(d) 图 2(c)边棱提取结果 (算法 2)



(e) 图 2(d)边棱提取结果 (算法 2)

图 13 图 2 各图像最终边棱提取结果

6 两种算法的比较

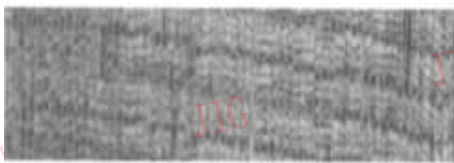
这两种算法的共同之处是,都利用了由纸张叠层图像中由于边棱近似平行排放所造成的边棱附近灰度产生起伏的特性,并据此把边棱的排列看作是条纹的排列,然后从纹理分析的角度入手,提取出条纹纹理的方向或频率,进而实现边棱信息的提取和纸张的计数。

当然,两种算法也存在许多不同点,主要表现在处理手段的差异上:第 1 种方法(算法 1)是从全局入手,先提取整幅图像的频率和方向信息,待得到图像的整体数据后,再用二维 Gabor 滤波器处理;第 2 种方法(算法 2)则从局部入手,采用逐行扫描,逐行分析频率,逐行用一维滤波器进行滤波的方法处理。从最终结果上看,算法 2 的整体实施效果优于算法 1,其具体原因已在第 3 节中做了说明,但必须指出,因为算法 2 要进行数据的逐行处理,所以运算量明显偏大,在处理数

据量较大的图像时,这种缺点表现得更为明显。

综上所述,两种算法的优点和不足各不相同。算法 1 省时,但对图像比较挑剔;算法 2 费时,但处理效果不受图像质量的影响。由此可见,对质量较好的图像,可使用算法 1 进行处理;对质量较差的图像,应使用算法 2 进行处理。

最后,图 14 给出了一幅 150 张纸的纸张叠层图



(a) 150 张纸的纸张叠层图像



(b) 边棱提取结果(算法 2)

图 14 150 张纸的纸张叠层图像及其最终边棱提取结果

像和应用算法 2 进行边棱提取的结果。

7 结 论

通过上面的分析可以看出,在纸张整齐排列的情况下,实现精确的纸张计数是完全可能的,这是因为文中用到的纸张叠层图像具有纹理特征,所以可从纹理分析的角度入手进行处理。

当然,若想在实际生产中应用此算法,还应解决好以下几个问题:首先,进行纸张码放和平整的机械装置必须符合要求,因为本文算法建立在将纸张叠层图像看作是条纹纹理的基础之上,纸张的均匀码放是其实施的前提;其次,由于文中用到了频域处理手段,大大加重了系统的运算负担,为了满足生产中实时快速处理的要求,建议使用相应的可编程数字逻辑硬件;最后,由于该算法对图像品质尚存在一定依赖性,所以应尽量保证纸张叠层图像的摄取质量。

总的来讲,从数字图像处理角度入手、应用纹理分析的手段对纸张进行计数的研究在国内尚不多见,本文在这方面做了一些有意义的尝试,提出了两种算法,试图利用纹理分析的相关手段解决这个问题。实验结果表明,本文算法可以胜任实验中提供的纸张叠层图像的计数工作。当然,使用图像处理技术进行纸张计数是一个新的研究领域,还有许多的问题有待解决。相信,随着研究的不断深入,该技术必将在纸张计数中发挥越来越大的作用。

参 考 文 献

- 1 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001: 8~13.
- 2 盛文, 杨江平, 柳健等. 一种基于纹理元灰度模式统计的图像纹理分析方法[J]. 电子学报, 2000, 28(4): 73~75.
- 3 Rosenfeld Azriel, Kak Avinash C. Digital picture processing [M]. New York: Academic Press, 1982.
- 4 吴高宏, 章毓晋, 林行刚. 分割双纹理图像的最佳 Gabor 滤波器设计方法[J]. 电子学报, 2001, 29(1): 48~50.
- 5 Weldon T P, Higgins W E, Dunn D F. Gabor filter design for multiple texture segmentation[J]. Optical Engineering, 1996, 35(10): 2852~2863.



李 毅 1977 年生, 2001 年获北方交通大学电子信息工程专业工学学士学位, 2004 年获北京交通大学信号与信息处理专业工学硕士学位。研究方向为数字图像处理、模式识别。

E-mail: j31898@xinhuanet.com



阮秋琦 1944 年生, 北京交通大学教授、博士生导师。主要研究方向为图像处理、计算机视觉、多媒体信息处理、虚拟现实、计算机支持的协同工作 CSCW、模式识别与智能系统。