

基于纹理分割的纸张计数研究

敖银辉, 蒋进

(广东工业大学, 广州 510006)

摘要: **目的** 研究运用数字图像技术实现纸张自动计数。**方法** 通过对印刷纸张叠层图像的纹理分析, 针对大幅面计数场合, 借助一阶差分算子和形态梯度对纹理区域进行定位与提取; 用定方向形态灰度修复纹理; 对细化的纹理进行统计计数, 分析对比各方法优缺点及对计数的影响。**结果** 该流程方法强化了弱点缺省信息, 对实际工况下纸张因毛边、磨损等造成的纹理破坏具有良好的修复效果。实验验证了该计数方法。**结论** 该计数方法具有高效、稳定的特点, 能够对实况下大幅面纸张进行有效、精准的计数。

关键词: 纹理特征; 纹理修复; 弱点强化

中图分类号: TS865 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)19-0135-04

Paper Counting Algorithm Based on Texture Segmentation

AO Yin-hui, JIANG Jin

(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to research and implement automatic paper precision counting using digital image technology. By analyzing the image texture of overlaid wafers, a counting algorithm was put forward targeting at the situation of large-format paper counting. First, first-order differential operator and morphological gradient were used for localization and extraction of texture region, then the oriented morphological grayscale was used for texture repair, finally, statistical counting of refined texture was conducted, and the advantages and disadvantages of each method as well as their influences on counting were compared. This algorithm strengthened the weak points of default information, and was suitable for repairing the damaged texture by trimmings and wear under the actual production condition. This counting method was experimentally validated. In conclusion, this counting method, with the characteristics of highly efficient and stable, can effectively and accurately count large-format paper under actual condition.

KEY WORDS: texture feature; paper texture repair; strength weak points

目前,在国内造纸行业或者印刷行业的生产中,有大量的纸张需要清点,纸张计数对造纸或印刷业都有重要的意义。传统的机械式纸张计数器存在难以改善的固有缺点,如对纸张的尺寸及材质有要求、计数过程有噪声、速度有限、容易造成纸面磨损和计数精度不高等,这些给生产管理带来了诸多不便。因此,研制高效的非接触纸张计数设备具有重大意义。

由于数字图像处理技术理论的逐步完善,使用图

像技术对叠层纸张图像进行计数成为发展趋势。国外的成果多以专利的方式出现^[1-3]。在国内,李毅^[4]等从频率域角度筛选图像中的纸张纹理,图像经傅里叶变换,滤波器通过频段选择实现纹路提取,计算量大、耗时。苗良^[5]等利用LOG滤波器做边缘检测,差分统计计数算法对漏检纸张的补加操作改变了计数的真实情况,其对100张样本检测,单列计数波动范围95~104。郑光^[6]等对图像做基于二值化后形态学处理,纸

收稿日期: 2014-12-28

基金项目: 国家自然科学基金(51275093)

作者简介: 敖银辉(1973—),男,湖北人,博士,广州大学教授,主要研究方向为设备检测与故障诊断、视觉检测识别与智能维护方法。

张修复效果并不理想。这些研究的测试样品数在100~200张左右,没有考虑到纸张图像的特点,以及大幅面纸张给计数精度带来的影响。同时,外界因素对纸张纹理的破坏,修复效果的好坏直接影响计数的稳定性。这里从印刷纸张计数的应用出发,提出基于纹理分割的计数方法及实现流程。

1 纸张图像特点

这里的测试对象为印刷用白纸,纸张厚度为0.1~0.2 mm,测试环境为无光暗室,采集设备为MICROTEK Phantom v700PLUS。采集图像是由一系列明暗相间的条纹组成,水平边缘两侧的灰度值对比明显,见图1。叠层纹理图的纹理基元具有很强的方向性,表现为水平。基元周期性地排布具有一定的重复性。

纸张图像的灰度不仅与光照环境有关,而且与



图1 纸张图像灰度图

Fig.1 Grayscale of paper image

成像纸张幅面有关^[7]。当在光照环境不变的情况下,增加成像纸张的幅面,纸张准确计数的难度会增加。导致这一问题的原因主要有:纸张增加,纸面反射光源相互干扰加剧;纸张相互挤压,致使纸张间隙减少;对同一像素图像,纸张幅面增加,每张纸占有像素点减少。

2 基于纹理分割计数

2.1 纹理边缘提取与修复

图像纹理边缘一般是指图像中像素灰度有阶跃变化的像素集合,它存在于目标与背景、基元与基元之间。有效的边缘检测对纹理提取有非常大的作用。在边缘检测算法研究中,提出了比较多的检测算法,如Sobel算子、Canny算子和梯度算子等,这些算法对方向非常敏感,抗干扰性比较差。基于小波变换的边缘检测方法^[8-9]具有良好的局域化特征,但是对于边缘信息很难保留完全。使用单一的形态学

梯度算法对边缘提取,虽然可以抑制噪声,但也会破坏低强度边缘。考虑到纸张纹理边缘具有同方向的信息特性,因此,采用一种对方向敏感的单一结构元算子检测边缘,通过形态学抑制噪点。这里利用对垂直边缘响应的单结构Sobel算子与图像卷积,纹理提取效果见图2。



图2 纹理提取结果

Fig.2 The result of texture extraction

纸张大部分纹理边缘被提取出来,由于Sobel是基于—阶导数差分的算子,算子中引入了类似局部平均的运算,图像整体灰度被拉低,此时很难对图像做适当地分割,分割的结果要么噪声点过多,要么纹理丢失严重,后期难以平衡噪声抑制和纹理修复,特别是当纸张本身存在一定质量影响时,计数精度不好。局部阈值在一定程度上能改善分割结果,但从时效性考虑不是一种好的方式。处理后纹理上有部分点的灰度远小于周围点,将该类点称为弱点。单一结构元素数学形态学算法忽略边缘方向,只针对图像边缘强度信息进行处理。因此,定方向的灰度级形态学处理,能利用纹理渐变弱点尽可能修复真实纹理的数量。

灰度图像腐蚀运算的数学定义^[10-11]为:

$$g(x,y)=\text{arode}[f(x,y),B]=\min\{f(x+x',y+y')-B(x',y')|(x',y')\in D_B\} \quad (1)$$

式中: $g(x,y)$, $f(x,y)$ 分别为腐蚀后的灰度图像和原灰度图像; D_B 是 B 结构元的定义域。

灰度图像膨胀运算的数学定义为:

$$g(x,y)=\text{dilate}[f(x,y),B]=\max\{f(x-x',y-y')+B(x',y')|(x',y')\in D_B\} \quad (2)$$

由于测试对象纸张(纸张面与缝隙)所占像素点个数为4~5,因此,不适合使用多尺度多结构元进行修复(容易造成修复纹理粘连)。为了充分利用弱点信息,用单一的水平结构元 B 对图像定方向灰度膨胀。膨胀后的图像渐变弱点、纹理边缘被明显加强,加强后弱点灰度值大于分割阈值,这会减少二值化后断点数量以及边缘凹点数量,同时噪声也被加强,因此对图像进行1次灰度腐蚀操作。纹理修复后弱点处的前

后对比见图3。



图3 弱点强化对比

Fig.3 Contrast of strengthening of weak points

在图3中,背景为图像纹理边缘某局部,前景数字表示对应点灰度值,A和B及C和D是同一局部。形态学处理后图像纹理弱点被加强,离边缘近的噪声被并入纹理。此时,图像纹理清晰、噪声偏离边缘,能够用于分割处理。根据纸张边缘受损程度,可增加单一定向结构元的形态学迭代操作次数。

2.2 最优阈值分割

为了简化图像使纹理灰度值统一,确定最优的阈值才能保证有效的分割^[12-13]。将图像的直方图用2个或更多个正态分布的概率密度函数近似,阈值取为离对应于2个或者更多个正态分布最大值之间、最小概率处的最近灰度值,其结果是具有最小错误的分割。

设给定的灰度图像处于灰度级 $i(i=1,2,\dots,L)$ 的像素个数为 f_i ,总像素数 $N=f_1+f_2+\dots+f_L$ 。灰度级 i 出现的概率为 p_i ,则有 $p_i=f_i/N$ 。阈值 t 把图像分成 $C_1=(0,1,\dots,t)$ 和 $C_2=(t+1,t+2,\dots,L-1)$ 。则2类出现的概率 w_1 和 w_2 见式(3)。

$$w_1=p_r(C_1)=\sum_{i=0}^t p_i=w(t), w_2=p_r(C_2)=\sum_{i=t+1}^{L-1} p_i=1-w(t) \quad (3)$$

C_1 和 C_2 的平均灰度 u_1 和 u_2 的计算公式为:

$$u_1 = \sum_{i=1}^t \frac{ip_i}{w_1}, u_2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{ip_i}{w_2} = \frac{u_r - u(t)}{1 - w(t)} \quad (4)$$

$$\text{式中: } u_r = \sum_{i=1}^L ip_i, u(t) = \sum_{i=1}^t ip_i, w(t) = \sum_{i=1}^t p_i。$$

对任意的 t 有:

$$w_1+w_2=1, w_1u_1+w_2u_2=u_r \quad (5)$$

C_1 的类内方差 δ_1^2 和 C_2 的类内方差 δ_2^2 为:

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^t (i - u_1)^2 \frac{p_i}{w_1}, \sigma_2^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - u_2)^2 \frac{p_i}{w_2} \quad (6)$$

类间方差 δ_B^2 具体表示为:

$$\delta_B^2 = w_1(u_1 - u_r)^2 + w_2(u_2 - u_r)^2 = w_1u_1(u_1 - u_2)^2 \quad (7)$$

将式(3)(4)代入式(7)可得:

$$\sigma_B^2 = \frac{[u_r w(t) - u(t)]^2}{w(t)[1 - w(t)]} \quad (8)$$

式中: $u_r = \sum_{i=1}^L ip_i; u(t) = \sum_{i=1}^t ip_i; w(t) = \sum_{i=1}^t p_i$ 。那么,最佳阈值 t^* 为:

$$\sigma_B^2(t^*) = \max_{1 \leq t \leq L} \{ \sigma_B^2(t) \} \quad (9)$$

通过多次迭代得出阈值最优化,可以分割出图像纹理,见图4。



图4 纹理分割结果

Fig.4 The result of texture segmentation

2.3 纹理细化

分割后的图像纹理宽度是不一致的,直接用于统计计数会有一定影响。因此,用抽取骨架的方式将条纹纹理细化为只有1个像素宽度的直线。抽取骨架采用烧草地技术^[14]。图像 A 的骨架 $S(A)$ 应满足:在求 $S(A)$ 的过程中, A 应有规律的缩小;在 A 逐步缩小的过程中其连通性质保持不变。数学形态学对骨架 $S(A)$ 的描述^[15]为:

$$S(A) = \bigcup_{k=0}^K S_k(A); S_k(A) = (A \ominus kB) - (A \ominus (k+1)B) \quad (10)$$

式中: B 为1个结构元, $(A \ominus kB)$ 表示对 A 连续 k 次腐蚀,结果见图5。



图5 抽取骨架结果

Fig.5 The result of skeleton extraction

2.4 纸张计数

处理完成的图像从上往下逐行计数,每次遇到像素点值大于0时累加器自动加1,有少量断层没有修复,通过多列统计消除错误信息对结果计数的干扰。对纸张数为103,360,509分别进行1次测试实验,每次测试抽取51个样本列(样本为纸张某一列)进行计

数统计。

每一列的计数结果一致,不同数量纸张的样本统计计数值没有明显波动,表明纸张纹理提取效果好,单列间计数平稳。对数量为400~500张的印刷用白纸,进行300次测试,计数准确率达99.43%,计数时间5~8 s(VC环境)。实验表明:单列计数稳定性、统计结果精度和测试纸张的幅面均高于文献[4—6]的结果。

3 实验分析

在暗箱实验环境下(采集纸张面为3~4 pixel,缝隙为1~2 pixel,面与缝隙平均灰度值比值为1.10),测试了不同数量的样品。测试结果表明:该计数方法不仅有较高的计数精度,而且单列之间、不同样本数之间的计数具有很好的稳定性。该算法克服了纸张因幅面增加引起的计数波动。同一局部是否利用弱点信息修复纹理的对比见图6。

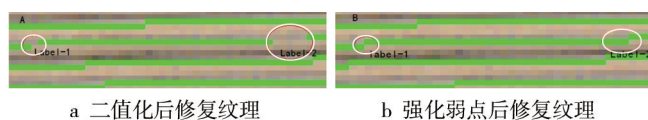


图6 修复对比

Fig.6 The contrast of breakpoints recovery

图6a和图6b为纸张同一局部,背景为真实纸张,前景为纸张骨架,图6a表示没有利用弱点信息,阈值分割后对纹理修复,出现的断点用圆圈标记;图6b为利用弱点信息修复纹理的骨架,用圆圈标记对应图6a位置不再出现断点。

4 结语

图像纸张计数的基础是明暗纹理。分割出真实的纹理是计数的基础,纹理修复提高了计数结果的稳定性。给出了一种基于纹理分割的纸张精密计数方法及实现流程,实验证明该方法借助弱点强化了边缘信息,从而增加了损伤纹理的可分离性及纹理断点的修复。当纸张幅面增加、不同场景光照等因素引起的图像像素发生改变时,由于算法在纹理分割及计数过程中没有人为设置任何的经验值,因而该方法依旧有效。同样,针对相似纹理对象(如太阳能板、基片等)的计数,该方法有良好的适用性。考虑到实际对象的复杂性,对于叠层纹理面通用计数的可靠性有待进一步研究。

参考文献:

- [1] PETERC D. Method and System for Touchless Counting of Stacked Substrates, Especially Bundled Banknotes: China, CN103210404 A[P]. Kaba Notari Seth Co. Ltd, 2011.
- [2] MADHUSOODHANA C S. Method for Dynamic Paper Counting MFP: India, B41J-003/44, IN200501703-14 [P]. 2005.
- [3] IKEDAH, ABE T, ONO R, et al. Paper Counting Device for Paper Machine Based on Processed Image: Japanese, B65H-001/00, JP200818081-A[P]. 2008.
- [4] 李毅,阮秋琦. 应用纹理分析的纸张计数算法[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(9): 1042—1048.
LI Yi, RUAN Qiu-qi. Algorithm of Paper Counting Based on Texture Analysis[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(9): 1042—1048.
- [5] 苗良,平西建. 基于纹理特征的纸张计数算法研究[J]. 信息工程大学学报, 2005, 6(4): 47—50.
MIAO Liang, PING Xi-jian. Algorithm of Paper Counting Based on Texture Feature[J]. Journal of Information Engineering University, 2005, 6(4): 47—50.
- [6] 郑光,陈幼平,余文勇. 基于数学形态学的纸张技术算法的研究[J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 214—215.
ZHANG Guang, CHEN You-ping, YU Wen-yong. The Study of Algorithm of Paper Counting Based on Mathematical Morphology[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(7): 214—215.
- [7] 吕岑,张玉杰,孙瑜. 基于图像灰度的纸病检测方法的研究[J]. 西北轻工业学院学报, 2002, 20(6): 91—93.
LU Cen, ZHANG Yu-jie, SUN Yu. Research Paper Defect Detection Method Based on Image Gray[J]. Journal of Northwest University of Light Industry, 2002, 20(6): 91—93.
- [8] 孙江雄,谷达宝. 基于小波域多状态隐马尔科夫树模型多尺度文本图像分割[J]. 模式识, 2004, 37(7): 1315—1324.
SUN Jiang-xiong, GU Da-bao. A Multiscale Edge Detection Algorithm Based on Wavelet Domain Vector Hidden Markov Tree Model[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(7): 1315—1324.
- [9] 张琳,薄鹏. 小波域内基于尺度乘法的边缘检测[J]. 模式识别, 2002, 23(14): 1771—1784.
ZHANG Lin, BAO Peng. Edge Detection by Scale Multiplication in Wavelet Domain[J]. Pattern Recognition, 2002, 23(14): 1771—1784.
- [10] Milan Sonka. 图像处理分析与机器视觉[M]. 艾海舟,译.北京,清华大学出版社,2012.
SONKA M. Image Processing, Analysis and Machine Vision [M]. AI Hai-zhuo. Beijing: Tsinghua University Press, 2012.
- [11] SERRA J. Image Analysis and Mathematical Morphology [M]. London: Academic Press, 1982.

(下转第148页)

- LIANG Wen-jing. Research on the Government Support of Packaging Industry[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [14] 吴子竑. 我国软包装行业商业模式创新探析[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- WU Zi-hong. Research on Business Model Innovation of Flexible Packaging Industry[D]. Suzhou: Soochow University, 2013.
- [15] 何京. 水溶性塑料包装薄膜的性能及应用前景[J]. 中国包装, 2004(5): 86—87.
- HE Jing. The Properties and Application of Water Soluble Plastic Packaging Film[J]. China Packaging, 2004(5): 86—87.

(上接第 138 页)

- [12] NIKHI R. A Review on Image Segmentation Techniques[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1277—1291.
- [13] 陈敏. 一种自动识别最优阈值的图像分割方法[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(4): 85—86.
- CHEN Min. An Automatic Recognition Method of the Best Threshold for Image[J]. Computer Applications and Software, 2006, 23(4): 85—86.
- [14] 江萍, 徐晓冰, 方敏. 基于形态学骨架提取算法的研究及其实现[J]. 计算机应用, 2003, 23(6): 136—137.
- JIANG Ping, XU Xiao-bing, Fang min. Realization Algorithm Based on Morphological Skeleton Extraction[J]. Computer Applications, 2003, 23(6): 136—137.
- [15] 刘敏捷, 杨杰, 施鹏飞. 数字形态学细化算法[J]. 上海交通大学学报, 1998, 32(9): 15—19.
- LIU Min-jie, YANG Jie, Shi Peng-fei. Thinning Algorithm Based on Mathematical Morphology[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 1998, 32(9): 15—19.

(上接第 144 页)

- istics Management, 2000, 30(1-2): 55—71.
- [13] 李晓春, 钟雪灵, 王雄志, 等. 并行分区拣货系统储位优化设计[J]. 计算机工程与应用, 2013(19): 20—24.
- LI Xiao-chun, ZHONG Xue-ling, WANG Xiong-zhi, et al. Parallel Partition Picking a Storage System Optimization Design[J]. Computer Engineering and Application, 2013(19): 20—24.
- [14] 李诗珍. 基于工作量均衡的分区同步拣货系统储位分配与评价[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 114—118.
- LI Shi-zhen. Storage Allocation Evaluation of the Partition Synchronous Picking System Based on the Balanced Workload [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 114—118.
- [15] 蔺宇, 邓永锋. 基于均衡化的单量份拣选储位分配方法[J]. 制造业自动化, 2013(16): 127—130.
- LIN Yu, DENG Yong-feng. The Single Amount Picking Storage Allocation Method Based on the Equalization[J]. Journal of Manufacturing Automation, 2013(16): 127—130.
- [16] 雷英杰, 张善文, 李继武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- LEI Ying-jie, ZHANG Shan-wen, LI Ji-wu, et al. MATLAB Genetic Algorithm Toolbox and Its application[M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology University Press, 2005.

欢迎订阅 欢迎投稿