

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.09.019

最小曲率法与峰值检测相结合的纸张计数算法*

邱华林¹ 肖昌炎¹ 蒋仕龙²

(1. 湖南大学电气与信息工程学院 长沙 410082; 2. 深港产学研基地 深圳 518000)

摘要:为解决叠层纸张计数的难题,提出了一种最小曲率法与峰值检测相结合的叠层纸张计数算法。首先,从叠层纸张图像中沿垂直纸张方向依此逐行提取灰度剖面,经高斯滤波后计算其曲率值。接着寻找叠层纸张的中心点,由于纸张的灰度剖面图呈高斯形状,所以局部极小曲率点是纸张的中心位置点,并且曲率连续 <0 的宽度为一张纸张的厚度。然后,利用相邻中心位置点之间的距离以及相应点的灰度信息对纸张中心点位置进行校正。最后,利用峰值检测对脊线结果进行计数。本文算法通过融合纸张灰度特征与相邻纸张距离能准确检测异常纸张。实验证明,对于厚度在 $0.05 \sim 0.2$ mm的叠层纸张的计数误差都小于 0.01% 。

关键词: 纸张计数;最小曲率法;峰值检测;中心点校正

中图分类号: TP29;TP319 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.4050

Paper counting algorithm combining minimum curvature and peak detection

Qiu Hualin¹ Xiao Changyan¹ Jiang Shilong²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;
2. PKU-HKUST ShenZhen-HongKong Institution, Shenzhen 518000, China)

Abstract: To solve the problem of stacked papers counting, the method combined minimum curvature with peak detection is presented. First, the profiles of the stacked papers along the vertical orientation of the paper are extracted. The curvatures of the profiles are calculated after processing the images by Gaussian filtering. Second, the centers of the stacked papers need to be detected. As the profile of the sheet is like the shape of Gaussian. So, the local minimums of curvatures indicate the center positions of stacked papers. The width of the region where the curvature is negative represented the thickness of the paper. Then the center positions of stacked papers can be corrected by judging the distance between the two adjacent center points and the gray features. Finally, the counting result can be acquired by using peak detection from the ultimate ridge line result of the stack papers. The algorithm proposed in this paper can accurately detect the abnormal paper by fusing the gray features of the stacked papers and the distance of adjacent paper. The experimental results show that the error rate of the method is less than 0.01% for the paper with the thickness between $0.05 \sim 0.2$ mm.

Keywords: stacked papers counting; minimum curvature; peak detection; correcting center

0 引言

目前,在造纸和印刷等领域,每天都有大量的纸张需要计数。如果通过人工来计数,将需要消耗大量人力和

物力,同时,人的主观意识会影响计数的准确率,并且这样也会对人的视力造成很大的损害。传统的机械式纸张计数存在以下一些问题:1)会对被测的纸张造成一定的磨损;2)对纸张的外形及材料有一定的要求;3)计数过程会产生噪声、且计数速度慢、准确率不高。因此,设计

高效且非接触性型的叠层纸张计数方法对造纸和印刷行业是很有必要的^[1]。

随着机器视觉及图像处理技术的不断发展,其运用的领域也越来越广^[2-4]。在叠层纸张检测及计数上的研究上,国外主要是以专利的形式出现^[5-6]。国内,王富治等人^[7]通过区域极值对纸张图像进行二值化,从而实现纸张计数,该方法得到的脊线结果容易出现粘连和断裂的情况。敖银辉等人^[1]通过分析叠层纸张的纹理特征,运用差分算子和形态梯度提取纸张,该方法对纸张图像质量要求高。郑光等人^[8]先对叠层纸张提取边缘信息,然后利用形态学的开闭运算优化提取边缘,该方法随着检测纸张数量的增加,精度会逐渐减低。杨硕等人^[9]利用快速直线增长算法获取纸张边缘信息,该方法容易出现漏检和多检的情况,且计算量大。戴嵘等人^[10]结合频域分析与相关性度量的算法对于厚度小于0.08 mm的纸张的检测结果不理想。

针对以上方法存在的一些不足,受 Miura 等人^[11]的启发,本文提出了一种最小曲率法与峰值检测相结合的叠层纸张检测与计数算法。通过计算纸张灰度剖面的曲率来寻找纸张中心点,接着对中心点进行校正,从而得到纸张检测的脊线结果,最后采用峰值检测来计数。

1 叠层纸张计数算法

通过对大量不同种类的叠层纸张的图像研究发现,叠层纸张的灰度值远高于纸张间隙的灰度值,每张纸张的亮度由两侧向其中心增加,中心点的亮度值达到最大。理想情况下,叠层纸张灰度剖面情况如图1所示。

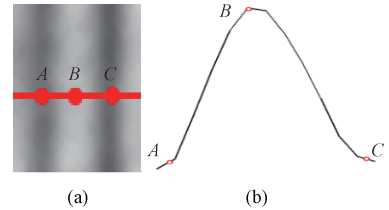


图1 (a)采集的纸张图像;(b)纸张及两侧间隙灰度剖面图

Fig. 1 (a) Collected paper images; (b) The profile of the paper and the both side of its gap

从图1中可知,纸张灰度剖面曲线为上凸的曲线形式,纸张的中心B是曲线的局部极大值所在的点。因为叠层纸张的这种灰度纹理特点,所以可以通过计算叠层纸张灰度剖面的曲率值来寻找纸张的中心点,从而实现叠层纸张的检测及计数。算法流程如图2所示。

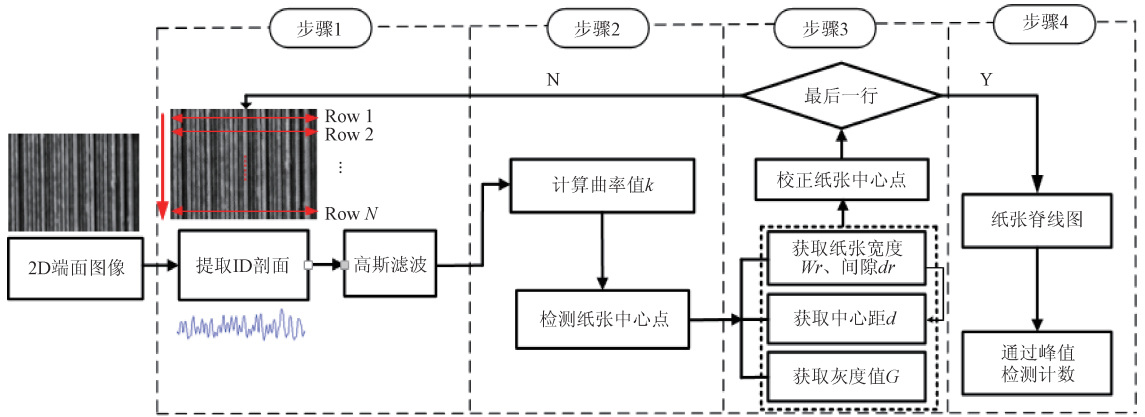


图2 算法流程

Fig. 2 Flowchart of algorithm

1.1 预处理

因采集的纸张图片不可避免的存在一些干扰、噪声等信息,所以需对图像进行预处理。本文利用二维高斯滤波^[12-13]对图像进行预处理。

二维高斯滤波函数为:

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \tag{1}$$

多次实验表明标准差σ取3,能够更好的滤出干扰信号,采用的高斯滤波算子如图3所示,对纸张原始灰度

剖面图进行高斯滤波后的结果如图4中的P_{f(z)}所示,从图4中可知,高斯滤波可以将原始的一些噪声等干扰信号去除,如Z₁处所在纸张滤波后由双波峰变成单波峰,对于本文运用的算法,如果一张纸张不会出现多个波峰,可以有效减少多检情况的发生。

1.2 计算叠层纸张灰度剖面的曲率

假设F是纸张图像,F(x,y)是图像位置(x,y)的灰度值,P_{f(z)}是F(x,y)水平方向的剖面图,函数T_n定义为:
T_n(P_{f(z)}) = F(x,y) \tag{2}

则曲线的曲率为:

$$k(z) = \frac{d^2 P_{f(z)} / dz^2}{\{1 + (dP_{f(z)} / dz)^2\}^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

纸张原始灰度剖面图、滤波后的灰度剖面图及曲率三者之间的关系如图4所示。理想情况下,纸张灰度剖面图呈现这样的规律:纸张位置的灰度值明显高于纸张间隙的灰度值,并且纸张中心处的灰度值达到局部最大值。同时,曲率曲线同样呈现一定的规律:纸张间隙的灰度剖面图是下凹曲线,其曲率是 >0 的,纸张处的灰度剖面图是上凸曲线,其曲率是 <0 的。

1.3 检测叠层纸张的中心点

纸张灰度剖面的凹凸性决定了曲率的正负,当纸张灰度剖面为下凹时,曲率是正值,该部分区域为纸张间隙;当纸张灰度剖面是上凸时,曲率是负值,该部分区域是纸张所在的位置,当灰度剖面曲线上凸至最高点时,该点的曲率为局部极小值,该点即认为是纸张中心点。将检测到的纸张中心点定义为 Z_i , i 的取值为 $0, 1, \dots, N-1, N$ 是局部极小值对应的点的总数。

1.4 校正中心点

实际上,采集的纸张图片不能保证清晰度均匀、纸张无异常情况。如图4中纸张中心点 Z_2 和 Z_6 , Z_2 所在纸张区域出现了两个曲率局部极小值,如果只计算曲率来确定纸张中心点,将被误检为两张纸;而 Z_6 所在纸张处的亮度值整体偏暗,导致其灰度剖面曲线变化不明显,曲率值都是 >0 的,没有局部极小值,该点将会被漏检,所以需对其进行校正。

0.031 8	0.037 5	0.039 7	0.037 5	0.031 8
0.037 5	0.044 3	0.046 9	0.044 3	0.037 5
0.039 7	0.046 9	0.049 5	0.046 9	0.039 7
0.037 5	0.044 3	0.046 9	0.044 3	0.037 5
0.031 8	0.037 5	0.039 7	0.037 5	0.031 8

图3 高斯滤波算子

Fig.3 Gaussian filter operator

由于纸张的厚度是一定的,两张相邻纸张之间的距离也应当是在一个范围内。如图4中检测到的中心点 Z_2 和 Z_6 , 中心距 d_1 (d_2) 远小于 (大于) 正常情况下相邻两中心点的距离,为防止多检或漏检,本文对上一步检测到的纸张中心点再做进一步判断:理想情况下,相邻的两个纸张中心点的距离 d 是一张纸张厚度 Wr 加上缝隙的宽度 dr ,但由于检测到的脊线图并非绝对直线,所以,实际上,相邻的两个纸张中心点的距离 d 应该在1张纸张厚度 Wr 与缝隙宽度 dr 和的基础上正负3个像素,即:

$$d = Wr + dr \pm 3 \quad (4)$$

如果,检测到的两个相邻的中心点的实际距离 d_s 在式(4)中的 $d \sim 2d$ 的范围内,并且这两个相邻中心点中

间位置及左右一个像素内的灰度值都大于70,则认为已检测到的两中心点间漏检了一张纸张;同理,如果检测到的两个相邻的中心点的 d_s 在式(4)中的 $2d \sim 3d$ 的范围内,并且在这两个相邻中心点的 $1/3$ 和 $2/3$ 位置及左右一个像素内的灰度值都大于70,则认为已检测到的两个中心点间漏检了2张纸张;依此类推判断漏检的情况。

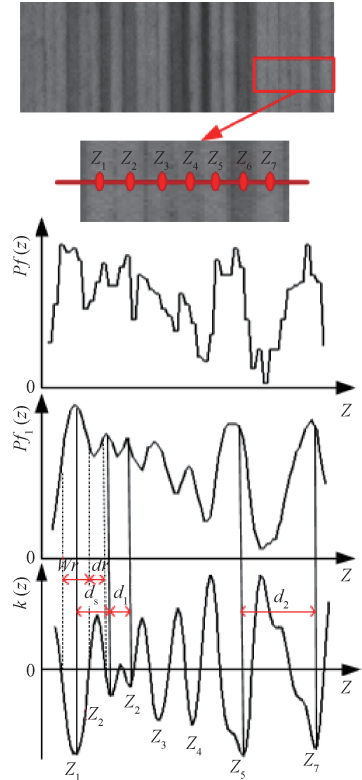


图4 纸张原始灰度剖面 $P_{f(z)}$ 、滤波后的灰度剖面 $P_{f(z)}$ 及曲率 $k(z)$ 三者之间的关系 (Z_1, Z_2' (多检)、 Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6 (漏检)、 Z_7 分别代表纸张中心点, dr, d_s (d_1, d_2), Wr 分别是缝隙宽度、中心点的距离和纸张宽度) Fig.4 The relationship of the original profile $P_{f(z)}$, filtered profile $P_{f(z)}$ and curvature $k(z)$ (Z_1, Z_2' (extra-detection), Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6 (miss-detection), Z_7 represent the paper center respectively. dr, d_s (d_1, d_2), Wr is the width of the gap, the distance of the two adjacent centers and the width of the paper, respectively)

如果,检测到的两个相邻中心点的实际距离 d_s 小于式(4)中 d ,则再进一步判断该点与另一个相邻中心点的距离,如果该点与其相邻的两个中心点的距离之和小于 d ,则认为该点是多检的中心点,并将其去掉。

漏检或多检的纸张数量与中心距和灰度值的关系如表1所示。

当判定已检测的两个相邻中心点漏检一张纸张时,将这两个相邻中心点的中间位置的曲率值取反;当判定

已检测的两个相邻中心点漏检二张纸张时,将这两个相邻中心点的 1/3 和 2/3 的位置的曲率值取反;依此类推。漏检处的曲率值做如式(5)处理:

$$\begin{cases} k_{d/c_{n+1}} = -k_{d/c_{n+1}} \\ k_{2d/c_{n+1}} = -k_{2d/c_{n+1}} \\ \vdots \\ k_{nd/c_{n+1}} = -k_{nd/c_{n+1}} \end{cases} \quad (5)$$

表1 漏检或多检的纸张数量与中心距和灰度值的关系
Table 1 The relationship between the amount of paper that is extra or missed and the distance of two adjacent centers, gradation value

中心距 d_s	相邻两中心点 i 处灰度值 G_i 、与相邻两中心点的距离之和 $d_1 + d_2$	漏检或多检数量(负值代表漏检)
$nd < d_s < (n+1)d$	$\begin{cases} G_{(d_s/(n+1))_{\pm 1}} > 70 \\ G_{(2d_s/(n+1))_{\pm 1}} > 70 \\ \vdots \\ G_{(nd_s/(n+1))_{\pm 1}} > 70 \end{cases}$	$-n$
...
$2d < d_s < 3d$	$\begin{cases} G_{(d_s/3)_{\pm 1}} > 70 \\ G_{(2d_s/3)_{\pm 1}} > 70 \end{cases}$	-2
$d < d_s < 2d$	$G_{(d_s/2)_{\pm 1}} > 70$	-1
$d_s = d$	—	0
$d_s < d$	$(d_1 + d_2) < d$	1

注:多检无需判断多检几张纸张,只需将多检的逐一去掉

实验证明,经过校正后,能够将漏检或多检的纸张很好的检测出来。

1.5 运用峰值检测对纸张计数

文献[14]中通过对检测到的脊线结果逐个像素逐条扫描计数,该方法不仅耗时、计算量大,而且对于非绝对直线的脊线不能正确计数。为防止计数不准确,本文采用峰值检测方法^[15-16]对脊线计数。

从图4中可知,原始纸张由于噪声等外界的一些干扰,其灰度剖面波动较大,如果直接对其进行峰值检测,将很容易出现误检、多检等情况。而通过最小曲率法获得的纸张脊线结果,如图5(a)所示,其剖面图整齐有规律,不会出现波动的情况。当检测的脊线图出现断裂或非绝对直线时,为降低其对检测结果的影响,计算每条脊线的平均值作为该条脊线的值,接着对处理后的纸张脊线进行峰值寻找,如图5(b)所示。对于处理后的纸张脊线图,其峰值所在位置即为纸张的中心点,峰值个数即为叠层纸张计数结果。实验证明该方法可以有效的减小噪声等外界对其的干扰,同时当脊线出现断裂或脊线为非

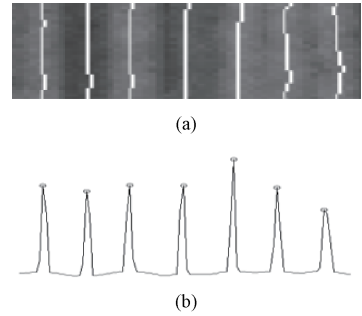


图5 (a)是获取的纸张脊线图;(b)是峰值检测结果
Fig.5 (a) The acquired ridge line; (b) The result of the peak detection

绝对直线时,也可以减少其对计数结果的影响。

2 实验

纸张不可避免的会存在一些异常情况,如端面不齐、宽缝隙、黏连和存在异物等情况,如图6所示。

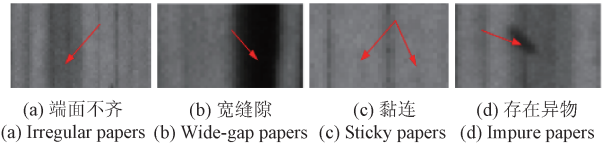


图6 纸张异常情况
Fig.6 Abnormal papers

对图6的4种异常情况的纸张,分别用文献中的快速直线增长算法(LSD)^[9]和频域分析与相关性度量相结合的算法^[10]以及本文未校正算法和本文算法进行检测,检测结果如图7所示。从图7中可知,对于图7(a)中的LSD算法,因其是根据纸张图像的梯度场来检测纸张的,其中图(a1)~(a3)中有些纸张整体偏暗,或纸张与缝隙之间变化不明显,图(a4)中纸张有异物使其梯度变化异常,所以算法会导致图(a1)~(a3)出现一些纸张被漏检的情况,图(a4)出现被多检的情况;对于图7(b)中的频域分析与相关性度量算法,因其用到的梳状滤波对于局部周期异常的纸张很容易造成错检,相关性度量对于弱隐含模态信号容易造成漏检,所以算法会导致图(b1)~(b4)出现漏检和多检的情况;图7(c)中的本文未校正算法,对于灰度变化异常的纸张,纸张区域可能没有曲率极小值,如图7(c1)~(c4)中的A处,这样容易漏检纸张。或一张纸出现多个曲率极小值,如图(c2)中的B处,这样容易多检纸张。而图7(d)中的本文校正算法,在图7(c)的基础上结合纸张灰度特征与相邻纸张距离的信息来对检测到纸张做进一步判断,将漏检的纸张补上,多检的纸张去掉,从而提高了纸张检测的准确率。同时为进

一步验证本文算法的准确性,分别对厚度在 0.05 ~ 0.2 mm 的不同种类型纸张进行计数,计数结果如表 2 所示,从结果中可知,最小曲率法与峰值检测相结合的方法

可以有效的对不同类型的纸张进行计数,其中,未校正前准确率都达到了 99.9%,经过后续校正后的计数误差率都小于 0.01%。

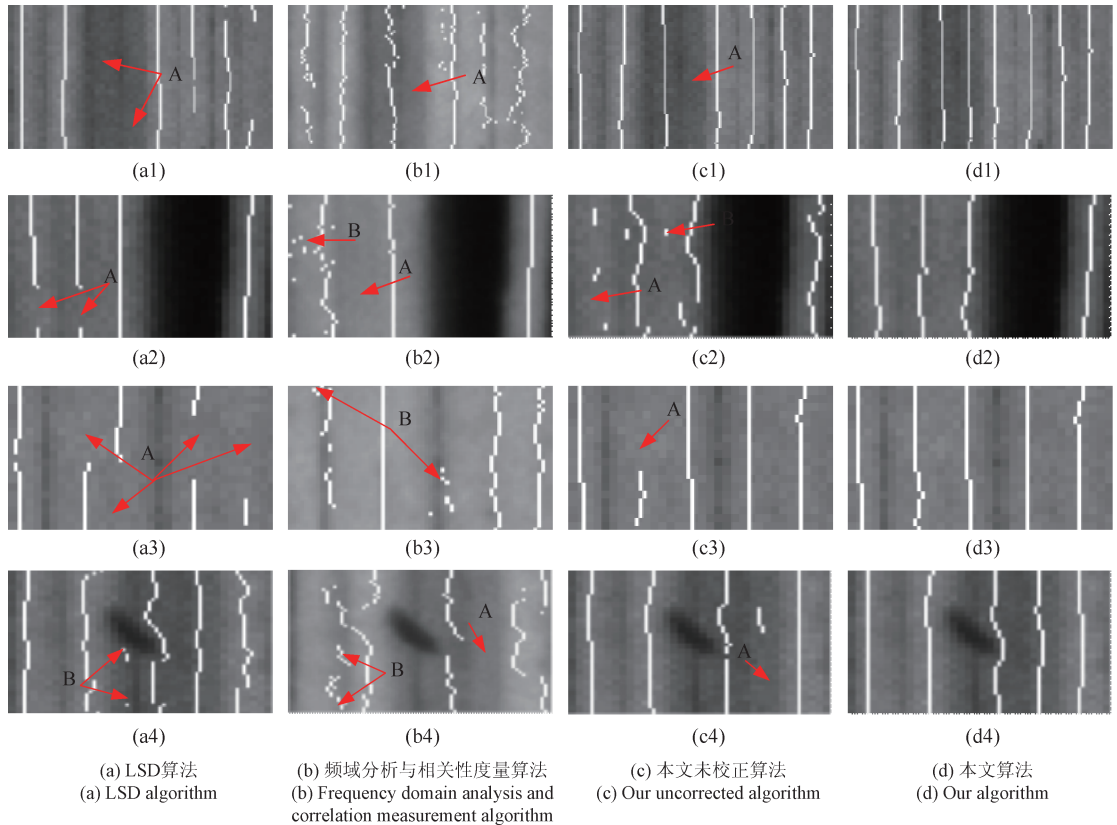


图 7 纸张检测结果对比, A、B 分别代表漏检和多检的情况

Fig. 7 Comparison of paper detection results (A and B represent the paper that is missed or extra)

表 2 计数结果

Table 2 Counting result

纸张类型	厚度/mm	校正前误差/%	校正后误差/%
纸张 1	0.05	<0.1	<0.01
纸张 2	0.08	<0.1	<0.01
纸张 3	0.10	<0.05	<0.01
纸张 4	0.20	<0.01	<0.005

3 结论

本文针对叠层纸张检测与计数的难题,提出了一种运用最小曲率法与峰值检测相结合的叠层纸张检测与计数的方法。基本原理是先获取叠成纸张的灰度剖面图,预处理并计算曲率;接着检测纸张中心点,然后通过判断相邻两中心点间的间距和灰度值对检测到的中心点进行校正,从而获取到叠成纸张的脊线结果,最后采用峰值检测对脊线结果计数。实验证明,本文的算法可以明显减少纸张多检和漏检的情况,能对多种不同类型的纸张计

数,且准确率高。本文的算法已经运用在纸张检测仪器上。

参考文献

[1] 敖银辉,蒋进. 基于纹理分割的纸张计数研究[J]. 包装工程,2015,36(19):135-148.
 AO Y H, JIANG J. Paper counting algorithm based on texture segmentation [J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19) :135-148.

[2] 王新新,徐江伟,邹伟金,等. TFT-LCD 缺陷检测系统的研究[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(3):278-284.
 WANG X X, XU J W, ZOU W J, et al. Research on detecting system for TFT-LCD defects [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2014, 28(3) :278-284.

[3] 吴成中,王耀南,贺振东,等. 基于机器视觉的注射液中不溶异物检测方法研究[J]. 仪器仪表学报,2015,36(7):1451-1461.
 WU C ZH, WANG Y N, HE ZH D, et al. Research on

- fore-ign insoluble particulate detection method for medicinal solution based on machine vision[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(7): 1451-1461.
- [4] 侯维岩,张利伟,党蟒,等.一种基于图像处理的棒材计数测量系统的设计与实现[J].仪器仪表学报,2013,34(5):1100-1106.
- HOU W Y, ZHANG L W, DANG M, et al. Design and im-plementatin of bar count measurement system based on image processing [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2013,34(5):1100-1106.
- [5] PETKER D, LOHWEG V, GILLICH E, et al. Method and system for touchless counting of stacked substrates, especially bundled banknotes [P]. United States: US20140147029A1,2014.
- [6] HARBA R, BERTHE B, PERDOUX D, et al. Card-counting device [P]. United States: US 2010/0226576A1, 2010.
- [7] 王富治,黄大贵.基于峰谷形态的纸张纹路分割算法[J].电子测量与仪器学报,2009,23(6):103-107.
- WANG F ZH, HUANG D G. Paper texture segmentation algorithm based on peak-valley morpho-logical feature[J]. Journal of Electronic Measur-ement and Instrument,2009,23(6):103-107.
- [8] 郑光,陈幼平,余文勇,等.基于数学形态学的纸张计数算法的研究[J].微计算机信息,2007,23(21):214-215,261.
- YOU G, CHEN Y P, YU W Y, et al. The study of algorithm of paper counting based on mathematical morphology[J]. Control & Automation, 2007,23(21): 214-215,261.
- [9] 杨硕,彭双,肖昌炎.用于叠层纸张图像分析计数的快速直线增长算法[J].计算机应用与软件,2015,32(9):188-191.
- YANG SH, PENG SH, XIAO CH Y. A fast straight line growth algorithm for analysing and counting stacked-paper images[J]. Computer Applications and Software, 2015, 32(9): 188-191.
- [10] 戴嵘,肖昌炎.图像频域分析与相关性度量相结合的叠层纸张数量检测[J].中国图象图形学报,2016,21(12):1644-1651.
- DAI R, XIAO CH Y. Stacked paper counting with image frequency spectrum analysis and correlation measurement[J]. Journal of Image and Graphics,2016, 21(12): 1644-1651.
- [11] MIURA N, NAGASAKS A, MIYATAKE T. Extraction of finger-vein patterns using maximum curvature points in image profiles[J]. The Institute of Electronics Information and Communication Engineers, 2007, 90(8): 1185-1194.
- [12] 陈旭文,刘桂雄,黄坚.FPC的图像采集与表面曲向消除方法[J].电子测量与仪器学报,2015,29(6):895-900.
- CHEN X W, LIU G X, HUANG J. Method of image acquisition and curved surface eliminating for flexible printed circuit [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2015,29(6):895-900.
- [13] 陶强,刘莉.基于双区域演化水平集的图像分割方法[J].电子测量技术,2016,39(9):91-95.
- TAO Q, LIU L. Double regional evolution based on level set for image segmentation [J]. Electronic Measurement Technology,2016,39(9):91-95.
- [14] 张明阳,陈振跃,王霞.基于图像纹理的纸张计数算法设计[J].光学技术,2013,39(2):151-156.
- ZHANG M Y, CHEN ZH Y, WANG X. Paper counting algorithm based on image texture [J]. Optical Technique, 2013,39(2):151-156.
- [15] YANG C, HE Z Y, YU W C. Comparison of public peak detection algorithms for MALDI mass spectrometry data analysis[J]. BMC Bioinformatics, 2009, 10(1): 4.
- [16] ZHANG Z M, LIANG Y Z, LU H M, et al. Multiscale peak alignment for chromatographic data sets [J]. Journal of Chromatography A,2012, 1223(3):93-106.

作者简介



邱华林,2015年于南昌大学获得学士学位,现为湖南大学硕士研究生,主要研究方向为机器视觉与图像处理。

E-mail:hualinqiu@hotmail.com

Qiu Hualin received B. Sc. from Nanchang University in 2015. Now she is a M. Sc. candidate in Hunan University. Her main research interest includes machine vision and image processing.



肖昌炎(通讯作者),分别在1994、1997年于国防科技大学分别获得学士学位与硕士学位,2004年于上海交通大学获得博士学位,2008年~2009年于荷兰莱顿大学从事博士后工作,现为湖南大学教授,主要研究方向为机器视觉与图像处理。

E-mail:c.xiao@hnu.edu.cn

Xiao Changyan (Corresponding author) received B. Sc. and M. Sc. both from National University of Defense Technology in 1994 and 1997, and Ph. D. from Shanghai Jiaotong University in 2004, respectively. From 2008 to 2009, he worked as a post-Ph. D. researcher in Leiden University, Netherlands. Now he is a professor in Hunan University. His main research interest includes machine vision and image processing.