

工业干扰环境下基于模板匹配的印刷品缺陷检测

赵翔宇¹, 周亚同¹, 何峰¹, 王帅², 张忠伟²

(1.河北工业大学, 天津 300401; 2.北京市安视中电科技有限公司, 北京 100871)

摘要: 目的 提出一套应用于实际工业干扰环境下的印刷品缺陷检测算法, 解决在工业环境中由于受灰尘干扰和传送装置振动干扰等因素影响, 一些传统的印刷品缺陷检测算法在检测速度和精度等方面已经无法胜任的问题。**方法** 算法主要包括图像预处理、模板制作、模板匹配、灰尘处理、缺陷提取等5部分, 其中图像预处理主要包括图像去噪、图像旋转、图像归边、图像剪裁和图像平移等环节。**结果** 该算法在实际工业流水线上的运行结果表明, 若检测400 mm×400 mm的印刷品, 检测速度最快可小于1 s, 检测精度可达到0.1 mm。**结论** 该算法能够对传统预处理添加图像归边处理, 以及对印刷品帧差结果图进行形态学处理, 克服了工业环境下灰尘和传送装置振动等的干扰。

关键词: 印刷品缺陷检测; 灰尘干扰; 传送装置振动; 预处理; 数学形态学

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)11-0187-06

Printing Defects Detection Based on Template Matching under Disturbing Industrial Environment

ZHAO Xiang-yu¹, ZHOU Ya-tong¹, HE Feng¹, WANG Shuai², ZHANG Zhong-wei²

(1.Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2.Beijing Anshizhongdian Technology Co., Ltd., Beijing 100871, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a set of printing defects detection algorithms applied in the actually disturbing industrial environment, so as to solve the problem that some traditional printing defects detection algorithms are incompetent in detecting speed and accuracy, etc. due to such influencing factors as interferences of dust and vibration of transmitter. The algorithms were mainly composed of image preprocessing, template fabrication, template matching, dust treatment and defects extraction. Wherein, image preprocessing mainly included image denoising, image rotation, image edge normalizing, image cutting, image translation and other links. The running results of such algorithms in the actual industrial assembly line showed that, if the 400 mm×400 mm printing matters were detected, the fastest detection speed could be less than 1 s and the detection accuracy could reach 0.1 mm. In conclusion, the proposed algorithms can add image edge normalizing to traditional preprocessing, carry out morphological processing on the frame difference result diagram of printing matters, and overcome the interferences caused by dust and vibration of transmitter, etc. in the industrial environment.

KEY WORDS: printing defects detection; interferences of dust; vibration of transmitter; preprocessing; mathematical morphology

印刷业作为我国的传统行业, 占据着举足轻重的地位。由于生产设备和生产环境的影响, 产品可能会出现一些缺陷, 例如图像断裂、油墨堆积和图弯曲等。目前, 工厂普遍通过人工肉眼对印刷品逐一检测存在

着很大弊端^[1], 受到主观因素影响, 当印刷缺陷精确到0.1 mm以内时, 判决准则很难保持一致; 人工肉眼会有疲劳感, 降低工业生产效率和准确率^[2]; 肉眼检测非在线, 严重影响工业生产流水一体化^[3]。

收稿日期: 2016-12-16

基金项目: 中国博士后基金(F2013202254); 河北省自然科学基金(E2016202341); 教育部人文社会科学研究规划基金(15YJA630108)

作者简介: 赵翔宇(1992—), 男, 河北工业大学硕士生, 主攻图像处理与机器视觉。

通讯作者: 周亚同(1973—), 男, 河北工业大学教授、博导, 主要研究方向为智能信息处理。

在印刷品缺陷检测发展过程中,很多研究人员提出了检测算法,百家森^[4]通过采集模板,利用模板与样品之间的灰度信息检测缺陷;贾志城^[5]通过预处理提高印刷品图像质量之后再进行缺陷检测;杨欧等^[6]在检测中利用数学形态学减少缺陷误判。这些方法在一定的实验条件下基本可以检测出特定范围的缺陷。上述对印刷品缺陷检测的研究仅考虑了理想情形,几乎没有考虑实际工业生产环境。在实际工业环境中存在的灰尘、振动、光线等各种干扰,不能通过改动硬件设置完全滤除。只有全面考虑了上述各种干扰,所构建的检测算法才具有实际应用价值。针对实际工业生产中的各种干扰,刘苏阳等^[7]提出了一种结合高斯滤波和中值滤波的去噪方式,但是这种算法无法去掉灰尘干扰。郭桂平等^[8]通过采集多张无缺陷的印刷品图像,制作成一个模板进行匹配,在一定程度上解决了光线干扰的问题,这种算法经过实际运行,发现其在实际工业生产上存在弊端,由于传送装置自身的振动,会影响到传送带的直线度。目前基于机器视觉的印刷品缺陷检测都是通过线阵相机完成的^[9],因此在工业环境下,郭桂平等所提的多模板匹配算法将不再适用。文中将在此基础之上更进一步,通过改进传统预处理算法,使模板匹配真正应用到工业。

1 传统印刷品缺陷检测流程

利用传统模板匹配算法检测印刷品缺陷的流程见图1。

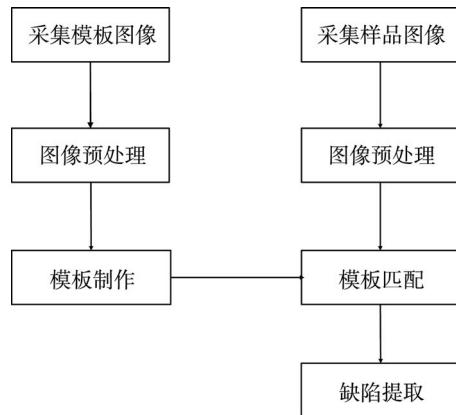


图1 传统印刷品缺陷检测流程

Fig.1 The traditional process of printing defects detection

文中将按照图1的流程,构建新的印刷品缺陷检测算法,解决一些传统印刷品缺陷检测算法所不能解决的实际工业生产问题,并且以真实印刷品为例,检验算法的缺陷检测效果。文中所采用的真实印刷品图像见图2。图2为苏泊尔电磁炉面板印刷完成后图像(有缺陷),其材质为黑晶玻璃。



图2 原始印刷品图像
Fig.2 The original printing image

2 工业环境下印刷品缺陷检测中的干扰问题

在实际工业生产中,存在着2个比较严重的干扰问题:传送带承载印刷品传送过程中,灰尘会落到印刷品上,直接影响后序的匹配帧差运算,具体干扰图像见图3;整个装置在运作的过程中会产生很大振动,而传送带长期处于此振动下,最终会影响到传送带的直线度,导致印刷品图像呈无规则平行四边形(即当印刷品在x方向已经保持水平,但在y方向依然存在倾斜),具体图像见图4。

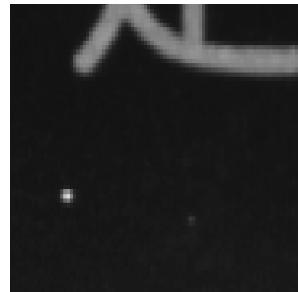


图3 受灰尘干扰图像
Fig.3 The image of dusty interference



图4 受振动干扰图像
Fig.4 The image of machinery vibration

3 提出的抗干扰印刷品缺陷检测算法

文中提出了一种能应用于工业干扰环境下的印刷品缺陷检测算法,其主要步骤及具体算法见图5。

通过图5可以看出,文中的工作重点有2个,分别用来去除工业灰尘干扰和传送装置振动干扰。一是

在预处理过程中添加图像归边运算，补偿电机以及光源振动所带来的直线度问题。二是在模板匹配后，利用数学形态学对帧差结果图进行处理，消除工业灰尘对印刷品缺陷检测所带来的干扰。

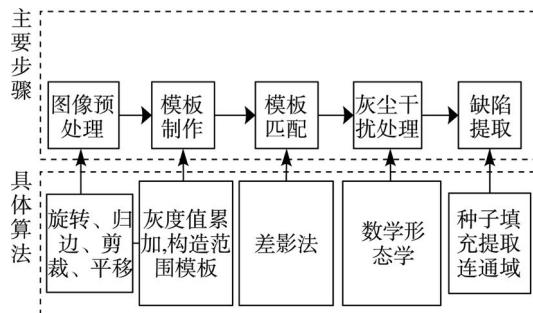


图 5 印刷品缺陷检测算法架构

Fig.5 The algorithm structure of printing defects detection

3.1 印刷品图像预处理

印刷品图像具体预处理流程为：图像去噪→图像旋转→图像归边→图像剪裁→图像平移。

3.1.1 印刷品图像去噪

在预处理的过程，首先对图像进行去噪处理，文中分别用高斯滤波、中值滤波、高提升滤波对带有灰尘干扰的印刷品图像进行去噪处理。通过对实验效果，发现这几种去噪算法对于光噪声处理效果较好，对于灰尘干扰的处理效果很差，因此文中决定采用高斯滤波和中值滤波相结合滤除灰尘干扰以外的噪声，而对灰尘干扰的处理将在匹配之后进行。

3.1.2 印刷品图像旋转倾斜校正

工作人员将印刷品放到传送带上时，只能做到控制印刷品的正反，很难避免印刷品倾斜，需要对图像做倾斜矫正处理，因此文中将边缘检测和 Hough 变换相结合，求出印刷品区域图像倾斜角度，通过搬移像素灰度值，最终实现图像倾斜校正。首先利用 canny 算子对印刷品图像进行边缘检测，并将检测出来的边缘提取出来。在印刷品的轮廓图像中，所需要的是其上边缘图像。为了使效果明显，对其进行反色处理，见图 6。

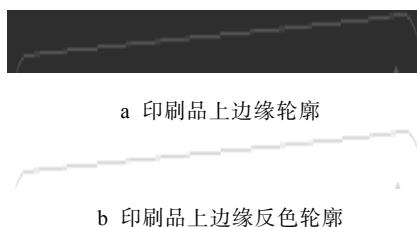


图 6 上边缘图像

Fig.6 The top edge of image

对固定范围内印刷品轮廓图像使用 Hough 变换^[10]，检测出印刷品轮廓图像中的直线，将印刷品的

上边缘提取出来。Hough 变换结果见图 7。在利用 Hough 变换提取印刷品轮廓图的上边缘的同时会得到印刷品上边缘的直线函数式 $y=kx+b$ ，通过 k 值，求出印刷品倾斜角度。最后经过图像旋转，使印刷品图像完成倾斜校正。

图 7 Hough 变换结果
Fig.7 The result image of Hough transformation

3.1.3 印刷品图像归边

图像归边算法先从图像的最上方开始向下遍历搜索印刷品的上边缘，并取得离最左端为 50 个像素单位的点（50 个像素点是根据文中所采用样本而定，此印刷品四角呈弧形，需将其避开），记为上归边点 (x_1, y_1) 。再从图像的最下方开始向上遍历搜索印刷品图像的下边缘，并取得离最左端为 50 个像素单位的点，记为下归边点 (x_2, y_2) 。通过此 2 点求得印刷品受机械振动干扰后，偏离直线程度，并实现矫正。文中以所提供样品图为例，具体步骤如下所述。

设印刷品图像中任一像素的灰度值为 t_1 ，首先求图像的上边缘归边点 (x_1, y_1) ，具体公式为：

$$n_1 = \sum_{i=0}^{h/2} \sum_{j=0}^{w/2} (1 | t_1 \leq 200) \quad (1)$$

式中： n_1 为符合条件 $t_1 \leq 200$ 的个数； $h/2$ 为整幅印刷品图像的高度的一半； $w/2$ 为整幅印刷品图像的宽度的一半。

当 $n_1=50$ 时， $\begin{cases} x_1 = j \\ y_1 = i \end{cases}$ ，接下来求印刷品的下边缘归边点 (x_2, y_2) ，具体公式为：

$$n_2 = \sum_{i=h}^{h/2} \sum_{j=0}^{w/2} (1 | t_1 \leq 200) \quad (2)$$

式中： n_2 为符合条件 $t_1 \leq 200$ 的个数； $h/2$ 为整幅印刷品图像的高度的一半； $w/2$ 为整幅印刷品图像的宽度的一半； h 为整幅印刷品图像的高度。

当 $n_2=50$ 时， $\begin{cases} x_2 = j \\ y_2 = i \end{cases}$ ，在得到上归边点 (x_1, y_1) 和

下归边点 (x_2, y_2) 之后，需求出受干扰畸变函数，通过与基准函数相计算，实现归边矫正。文中所采用的基准函数为 $x=0$ 这条线，而畸变函数设为 $y=k_g x + b_g$ ，其计算方法为：当 $x_1=x_2$ 时， k_g 不存在；当 $x_1 \neq x_2$ 时，

$$k_g = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad b_g = y_1 + x_1 k_g, \quad \text{在得到 } y=k_g x + b_g \text{ 之后，开始对图像进行归边矫正，首先根据 } b_g \text{ 值，将印刷品区域图像整体向上平移 } b_g \text{ 个像素单位，再通过 } x=(y-b_g)/k_g \text{ 可以得到印刷品区域图像中每一行的振动偏移量，将每一行都向左平移 } x \text{ 个像素单位，即完成印刷品图像的归边矫正。}$$

3.1.4 印刷品图像剪裁

采集印刷品图像时,会将传送带也采集进图像范围。尤其在印刷品图像完成上一步图像归边处理之后,印刷品会向左上方拉扯,导致整幅图像的右侧和下方会出现一片黑色区域,而这些干扰都会影响到最终的模板匹配。在模板制作和模板匹配之前,需要先将感兴趣区域,即真正的印刷品区域提取出来。通过对印刷品进行轮廓提取,最终得到印刷品图像的轮廓图^[11],因为图像归边处理后印刷品区域已经紧靠图像的上侧和左侧,所以只需从整幅图像的下方和右方分别遍历扫描,最终获取印刷品图像的下边缘和右边缘,通过 opencv 自带函数提取 roi 感兴趣区域,并重新保存为一幅新的图像,最终见图 8。



图 8 剪裁后图像

Fig.8 The image of clipping

3.1.5 印刷品图像平移

图像平移是制作模板和模板匹配的前一步,目的是为了让印刷品图像彻底对准^[12]。由于每一块电磁炉板子上的图案位置都会有 0~3 mm 的偏差,需要通过找寻图像中一个具有标志性的参考块,并根据此参考块进行图像平移,见图 9。每剪裁一幅印刷品图像之后,在印刷品图像中搜索此参考块,并与固定的一个印刷品图像中此参考块进行计算对比,求出坐标差值,根据此差值来平移印刷品图像,即可完成图像 平移。



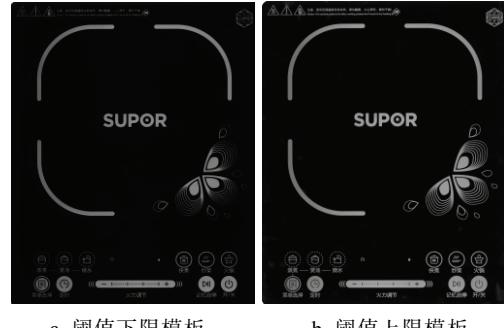
图 9 标志图像

Fig.9 Logo image

3.2 印刷品模板制作

文中所采用的模板匹配方式为多模板匹配,多模板匹配相对于单模板匹配有着鲁棒性更强,准确率更高等优势^[13]。文中对多幅无缺陷印刷品图像进行处理,最终得到双阈值模板,模板制作的具体步骤为:首先采集 30 幅无缺陷的印刷品图像,且都采用文中提出的预处理算法进行预处理;将处理后的 30 幅图像逐像素点求灰度最大值 $M_{\max}(x,y)$ 和灰度最小值

$M_{\min}(x,y)$; 将所求所有像素点的灰度最大值存储为一幅新的图像,定为阈值上限模板,同理,将所求所有像素点的灰度值最小值存储为一幅新的图像,定为阈值下限模板; 最终会得到 2 幅模版图像,见图 10。



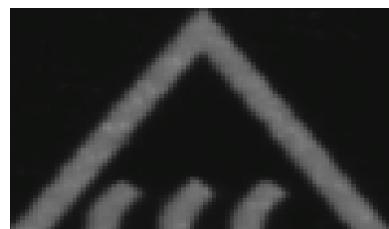
a 阈值下限模板 b 阈值上限模板

图 10 双阈值模板

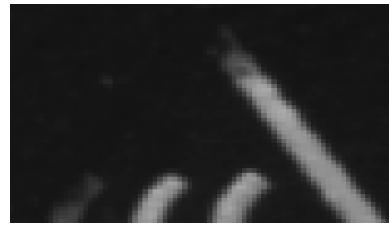
Fig.10 The template of double threshold

3.3 印刷品模板匹配

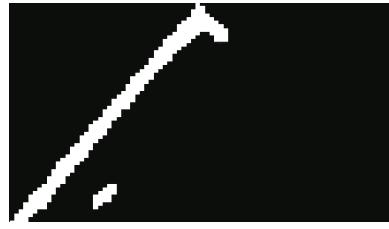
在模板制作完成后,通过改进型帧差法进行模板匹配。将传统的定值帧差改为范围帧差,具体步骤为:采集 1 幅图像,并用文中提出的预处理算法处理;加载之前做好的双阈值模板,此时,相对于图像的每个像素点来说,都会获取到一个灰度阈值范围;将待检测图像,逐像素点与模板阈值范围做对比,若在此范围内,则将此像素点灰度值置为 0,若不在此范围内,则将此像素点灰度值置为 255; 最终模板匹配后效果见图 11。



a 无缺陷图像



b 有缺陷图像



c 帧差匹配后图像

图 11 帧差匹配效果图像

Fig.11 The result image of frame differential diagram

3.4 灰尘干扰处理

文中对于灰尘干扰处理,采用的是基于数学形态学的开运算。先利用结构元素对帧差结果图进行腐蚀,在腐蚀的基础上再进行膨胀处理^[14]。腐蚀的具体过程:获得已求得的帧差结果图及图像的宽和高;定义一个二维数组,用来存储自己设定的 3×3 结构元素;为防止越界,不处理最左、最右、最上和最下四边的像素,而从第2行第3列开始将像素灰度值赋为0,利用结构元素数组判断该像素的八邻域中是否全为前景点,符合的像素灰度值赋为255,否则保持不变;循环上一步,直到处理完全图所有像素。膨胀的具体过程:获得已求得的帧差结果图及图像的宽和高;定义一个二维数组,用来存储自己设定的 3×3 结构元素;为了防止越界,不处理最左、最右、最上和最下四边的像素,而从第2行第2列开始将像素灰度值赋为0,利用结构元素数组判断该像素的八邻域中是否有相交点,符合的像素灰度值赋为255,否则保持不变;循环上一步,直到处理完全图所有像素。

通过以上操作,能够去除一些图像中孤立的小点和毛刺,即实际工业环境中灰尘所成的像。真正的产品缺陷所成的像,其位置和形状都不会发生改变。值得指出的是,文中腐蚀与膨胀所采用的 3×3 结构元素需视实际工业生产环境而定。

3.5 印刷品缺陷提取

3.3节中曾提到,在模板匹配之后,最终得到的帧差结果图是一幅二值图像。如图11c所示,在缺陷提取的过程中,文中采用了基于种子填充求连通域的方式来提取缺陷^[15],具体流程如下所述。

1) 从印刷品图像左上角坐标为(0, 0)的点开始全图遍历搜索。

2) 当遍历搜索到灰度值为255的像素点后,就将此点作为种子点,并将其填充为50灰度值。

3) 从此点开始,继续搜索与此点相邻的邻域(4邻域或8邻域)。

4) 若有满足灰度值为255条件的像素点,那么这一点将成为新的种子点,并填充为50灰度值,然后继续重复2)操作。

5) 当种子的邻域搜索不到满足灰度值为255的像素点时,结束搜索,将之前所填充的一片区域作为一个连通域,这就是一个印刷品的缺陷。

6) 继续遍历整幅图像,并重复2)~5)的操作,最终将连通域(缺陷)全部提取出来。

4 结语

提出了一种工业干扰环境下基于模板匹配的印刷品缺陷检测算法。将印刷品生产线中的实际生产环

境考虑进来,具体分为传送带振动、光源散热器振动和灰尘干扰等,并且提出一整套完整解决方案,可应用于实际工业生产。目前检测系统的组成器件含有:分辨率为4 k的DALSA(CCD)灰度线阵相机、焦距为35 mm的Ricon镜头、线阵冷光源、传送带外接同轴编码器与激光传感器。DALSA灰度线阵相机与Ricon镜头组装成图像采集模块,采集时通过同轴编码器外触发。图像采集模块在实现精确度为0.1 mm的情况下最大可以采集0.4 m宽的印刷品图像,足以满足目前销量较大的各类印刷品缺陷检测任务。

参考文献:

- [1] FU Yuan-hu, SHAOHUI S. Research on Defect Detection System for Print Based on Machine Vision[C]// Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Management Science (ICIEMS 2013), 2013: 7.
- [2] 代小红, 王光利. 基于机器视觉的印刷品缺陷检测与识别[J]. 半导体光电, 2011, 32(5): 714—718.
DAI Xiao-hong, WANG Guang-li. Inspection and Recognition on the Defects of Printed Matter Based on Machine Vision[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2011, 32(5): 714—718.
- [3] KUO Chung-feng, HSU J, MAX C T, et al. Automatic Detection System for Printed Fabric Defects[J]. Textile Research Journal, 2012, 82(6): 591—601.
- [4] 白家森. 图像处理技术在印刷缺陷检测中的应用[J]. 印刷质量与标准化, 2013(5): 54—56.
BAI Jia-sen. Application of the Digital Image Processing on Printed Matter[J]. Printing Quality & Standardization, 2013(5): 54—56.
- [5] 贾志城. 基于机器视觉的印刷品质量检测系统设计[J]. 中国包装工业, 2013(20): 3—4.
JIA Zhi-cheng. The System of Printing quality Detection Based on Machine Vision[J]. China Packaging Industry, 2013(20): 3—4.
- [6] 杨欧, 胡涛, 郭轩, 等. 灰度形态学在印刷品缺陷检测中的应用[J]. 微计算机信息, 2008(7): 226—227.
YANG Ou, HU Tao, GUO Xuan, et al. Application of the Pre-processing on Grey Morphology on Printed Matter[J]. Microcomputer Information, 2008(7): 226—227.
- [7] 刘苏阳, 唐万有. 图像去噪在印刷品质量检测上的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 83—86.
LIU Su-yang, TANG Wan-you. Application of Image Denoising in Print Quality Detection[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15): 83—86.
- [8] 郭桂平, 罗兵. 基于多模板匹配的丝印缺陷快速检

- 测方法[J]. 电子质量, 2016(4): 8—11.
- GUO Gui-ping, LUO Bing. Fast Screen Printing Defects Inspection Based on Multi-template Matching[J]. Electronics Qulity, 2016(4): 8—11.
- [9] 邹柏贤, 林京壤. 图像轮廓提取方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(25): 161—165.
- ZOU Bai-xian, LIN Jing-rang. The Research of Image Contour Extraction[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(25): 161—165.
- [10] 易端阳, 唐万有, 郝健强, 等. 图像拼接在印品检测中的应用研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 111—114.
- YI Duan-yang, TANG Wan-you, HAO Jian-qiang, et al. Application Research of Imge Mosaic in Print Detection[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 111—114.
- [11] 段汝娇, 赵伟, 黄松岭, 等. 一种基于改进 Hough 变换的直线快速检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(12): 2774—2780.
- DUAN Ru-jiao, ZHAO Wei, HUANG Song-ling, et al. Fast Line Detection Algorithm Based on Improved Hough Transformation[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(12): 2774—2780.
- [12] ZHU Zheng-wei, GUO Yu-ying. On Image Registration and Defect Detection Techniques in the Print Quality Detection of Cigarette Wrapper[C]// Technical Committee on Control Theory, Chinese Association of Automation. Technical Committee on Control Theory, Chinese Association of Automation, 2008: 5.
- [13] 杨欧, 郭宝平, 胡涛, 等. 多模板检测算法在印刷品缺陷检测中的应用[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 55—57.
- YANG Ou, GUO Bao-ping, HU Tao, et al. Application of Multitemplates Algorithm in Defect Inspection of Printed Matter[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 55—57.
- [14] 刁智华, 赵春江, 吴刚, 等. 数学形态学在作物病害图像处理中的应用研究[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(8): 194—199.
- DIAO Zhi-hua, ZHAO Chun-jiang, WU Gang, et al. Application Research of Mathematical Morphology in Image Processing of Crop Disease[J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(8): 194—199.
- [15] 左敏, 曾广平, 涂序彦, 等. 基于等价对的图像连通域标记算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(1): 14—16.
- ZUO Min, ZENG Guang-ping, TU Xu-yan, et al. A Connected Domain Labeling Algorithm Based on Equivalence Pair in Binary Image[J]. Computer Simulation, 2011, 28(1): 14—16.