

基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值设置方案研究

冯波^{1,2}, 汤伟¹, 曲蕴慧¹, 佟永亮¹

(1. 陕西科技大学 电气与信息工程院, 西安 710021; 2. 陕西科技大学镐京学院, 西安 712046)

摘要: **目的** 提高阈值法在纸病检测系统中的通用性。**方法** 通过实验法获取不同时间段图像灰度数据, 依据获取数据的时间段对图像灰度数据进行分类, 求得相应时间段的灰度最大平均值、灰度最小平均值、总体灰度平均值以及灰度标准差, 应用图表分析法对图像灰度的各种数据进行对比分析, 总结出图像灰度变化规律, 使用 Visual studio 2015 进行编程并验证。**结果** 实验结果显示此方案可以较好地适应外界光线的变化, 提高纸病检测系统的鲁棒性。**结论** 基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值设置方案, 可以有效提高阈值法在纸病检测系统中的通用性。

关键词: 纸病检测; 模糊逻辑; 动态阈值

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)03-0218-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.03.034

Dynamic Threshold Setting Scheme of Paper Disease Detection Based on Fuzzy Logic

FENG Bo^{1,2}, TANG Wei¹, QU Yun-hui¹, TONG Yong-liang¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China; 2. Haojing College of Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 712046, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the generality of threshold method of paper disease detection system. Firstly, the image gray-scale data were obtained by experiment and were classified according to different time periods. Secondly, the maximum average value, the minimum average value, the average value of overall gray-scale and the standard deviation of image grey-scale data were calculated. Finally, the graph analysis method was used to compare and analyze data on grey-scale of image, summarize the regular pattern of the change of image gray-scale value and complete programming and verification by Visual studio 2015. The experiments showed that the proposed method can significantly adapt to the changes of external light, and improve the robustness of paper disease detection system. The dynamic threshold setting scheme of paper disease detection based on fuzzy logic can effectively enhance the universality of the paper disease detection system.

KEY WORDS: paper disease detection; fuzzy logic; dynamic threshold

纸病是指在纸张的生产过程中,由于生产工艺或环境影响所造成的纸张上出现的与标准要求不同的缺陷或瑕疵,如比标准厚度薄的地方会形成亮斑,破损的位置会形成孔洞和纸缝,蚊虫或浆块会造成的黑

收稿日期: 2019-05-27

基金项目: 陕西省教育厅自然专项(17JK0645); 陕西省科技统筹创新工程计划(2012KTCQ01-19); 陕西省重点科技创新团队计划(2014KCT-15)

作者简介: 冯波(1982—),男,陕西科技大学博士生,主要研究方向为纸病检测、图像处理、计算机应用、网络安全。

通信作者: 汤伟(1971—),男,陕西科技大学教授、博导,主要研究方向为纸病检测、制浆造纸全过程自动化、工业过程高级控制、大时滞过程控制及应用。

斑等,这些缺陷会影响纸张的质量,对于用户的使用体验有较大不良影响。提前发现纸病的存在,在纸张复卷时及时将有纸病的区域去除,就成为了一项非常重要的工作。

基于机器视觉的检测系统具有非接触、高精度、高效率的特点,根据纸病检测系统的功能组成,可以将纸病检测系统分成 4 个主要的功能模块:光源模块、图像采集模块、纸病检测模块和纸病识别模块。光源模块当前使用较多的主要是高亮度、高频率的 LED 灯,为图像采集模块提供均匀的光线,保证图像采集模块所采集到的图像灰度均匀;图像采集模块主要由一个或多个线性 CCD 相机组成,主要功能是根据生产线上纸张运行的速度,使用合适的采集频率,为纸病检测系统提供灰度均匀且清晰的图像,并将采集到的图像快速地提交给纸病检测模块;纸病检测模块的主要功能是快速判断当前获取的图像区域内是否存在纸病,如果存在纸病则将图像交给纸病识别模块处理,不存在纸病则将图像丢弃;纸病识别模块在获取到纸病检测模块提交的图像后,对图像进行分割,将有纸病的区域进行标记,并将其坐标保存到数据库,然后对分割后的纸病区域进行识别,分析纸病种类并利用大数据分析算法对纸病产生的原因进行分析,提出生产的改进建议。

文中研究的部分为纸病检测模块,当前主要的纸病检测方法有 3 种,分别是阈值法、形态学方法和灰度级统计法^[1]。阈值法是一种简单有效的纸病检测方法,它用一个或几个阈值将图像的灰度级分为几个部分,当图像像素的灰度不在指定的阈值范围内时,则认为发现了一个纸病。数学形态学是研究图像形态结构特征与快速并行处理方法的理论,通过对目标图像的形态变换,实现结构分析和特征提取。数学形态学算子的性能主要以几何方式进行刻画,传统的理论却以解析方式的形式描述算子的性能,而几何描述特点似乎更适合视觉信息的处理和分析,这种方法克服了阈值法检测中不同纸病选取不同阈值的繁琐工作,而且对图像细节和边缘定位具有很好的结果。灰度级统

计法是一种基于纸页纤维结构随机分布的统计分析方法。从物体亮度的物理性质看,纸病代表了灰度对背景平均值的一种偏离,不同纸病其偏离程度不同。随机信号的标准差(均方差)正是信号的幅值相对于均值分散程度的一种表示,所以用统计的方法可以检测和定义各种纸病^[1]。

从上面的介绍可知,数学形态学和灰度级统计法虽然克服了阈值法的多种问题,可是也增加了运算的复杂度,而且有很多部分和纸病识别模块的功能重复,从模块化编程的角度分析,以上 2 种方法不适用于中高速纸机的实时检测。阈值法因其具有计算简单、运算率高等优点,在中高速纸机的实时检测上得到了广泛应用,理想状态下,系统在一个光线恒定环境中运行,可以得到很好的检测效果。

1 纸病检测中阈值法存在的问题

实际生产环境中的光线并不恒定,由于每个生产车间的位置、开工时间、车间窗户朝向等不同,会对光源造成比较大的影响,见图 1,图像采集模块采集到的图像灰度值在不同的环境下会有较大的变化,导致阈值法不具有通用性^[2]。在生产实践中经常需要根据不同的生产环境对阈值进行调整,即使如此,在光线变化比较大的车间仍然不能正常使用。

河南江河纸业股份有限公司的蒋东节等人提出了动态调整相机曝光时间或增益来动态保证图像灰度的稳定的方案,同时也发现缩小曝光时间会造成图像模糊现象,增大曝光时间在某些条件下还会造成图像里出现横向黑线条之类的干扰,增加相机的增益会降低图像的信噪比等^[2]。这种方法的使用会影响到图像的采集效果,进而增加后期对纸病类型识别的难度,同时也会因为对相机频繁的设置影响到相机的使用寿命。

也有人为获得恒定的光源环境,提出了在图像采集模块的外围增加一层或多层遮光罩来挡住外界光线的方法和将生产车间全密封的方法;这种方法虽然



图 1 不同纸厂纸机生产环境

Fig.1 Production environment of different paper mills

可以较好地解决光源变化的问题,但也会产生新的生产成本和维护成本,并会因此影响到生产的流程,对于已经有完整生产线的企业来讲,会受到比较大的影响,不利于纸病检测系统的推广。

文中提出的基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值设置方案,可以在保持现有生产硬件环境不变的情况下,根据外部光线的变化,结合模糊逻辑中不确定性概念判断和推理思维方式,利用模糊性思维及其表达方式动态地调整阈值的范围,对纸张是否存在纸病进行快速检测,有效降低基于阈值法的纸病检测系统的建设成本,增强阈值法纸病检测系统的通用性。

2 模糊逻辑

在现实生活中,经常会出现各种不确定性的问题,此类问题很难直接为其建立一种精确的数学模型或者一种确定的描述系统,解决这些类型的问题没有一个统一的判断标准,需要人脑根据经验来推理出最终的结果。模糊逻辑所要解决的问题就是模拟人脑推理时所使用的各种判断条件和方式,利用模糊集合、模糊关系进行处理,表达过渡性界限或定性知识经验,实行模糊综合判断,推理解决常规方法难以解决的各种不确定性的问题。

一般的模糊逻辑的处理流程见图2,系统将收集到的离散数据进行模糊化判断,并产生模糊集合,加入由生产经验设计好的模糊规则,再经过去模糊化判断,形成新的离散数据。

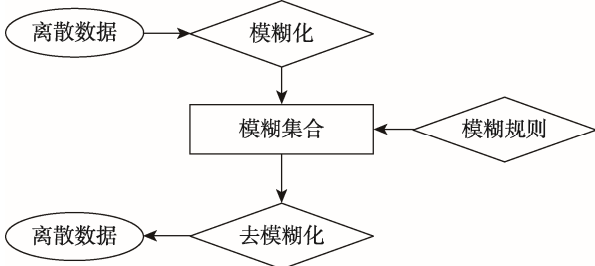


图2 模糊逻辑处理流程
Fig.2 Flow chart of fuzzy logic processing

3 实验

在中高速纸机的纸病检测过程中,需要使用高频线性 CCD 相机快速采集纸张的图像信息,并传递给上位机处理,为了让检测的速度尽可能快,系统在使用阈值法时只考虑像素的最小值 p_{min} 和最大值 p_{max} ,当像素值在 $[p_{min}, p_{max}]$ 这个范围之内时,认为没有纸病存在,将图像舍去,不进行其他操作,反之则将图像传递给纸病类型识别模块进行处理。当系统处于一个光源恒定的实验环境下时,阈值设定好后,可以较好地实现纸病的检测效果。然而当前大部分企业都较

难以提供一个恒定的光源环境,为了解决光源不恒定所造成的阈值法通用性差的问题,课题组模拟生产车间,搭建了类似生产车间的实验环境。

将实验设备放置于实验楼的北侧靠近窗户的位置,设备不会受到太阳的直射,外界干扰光线的变化情况与生产车间接近。同时为了保证实验效果,采用了基于菌群算法的纸病检测系统光源优化控制方案,该方案可根据获取到的无纸病图像灰度值的变化,动态设置 LED 灯珠的功率,光源的照度均匀度可达 97.39%,在没有外界光线干扰的情况下,可精准检测到灰度变化不明显的皱褶、压痕等纸病^[3],见图3。



图3 实验室纸病检测环境

Fig.3 Paper disease detection environment in laboratory

为了找出合适的阈值范围,对正常纸张的阈值范围进行了跟踪,收集了2018年11月1日到12月1日的30日内间隔12min的图像灰度的最大值和最小值,对最大和最小灰度值求平均值,见图4。从图4可知,在00:00—06:30和17:40—24:00这2个时段,图像灰度的稳定性较好, p_{min} 和 p_{max} 基本没有变化;阈值变化的时间段主要集中在07:00—17:00这一个时间段,在中午12:00—13:00之间达到最大值,然后开始下行,与太阳的光照强度轨迹接近度较大,说明图像灰度变化的主要影响因素是自然界的光线变化;虽然 p_{min} 和 p_{max} 的大小变化比较明显,但二者的差值变化并不明显,二者几乎在同步变化。

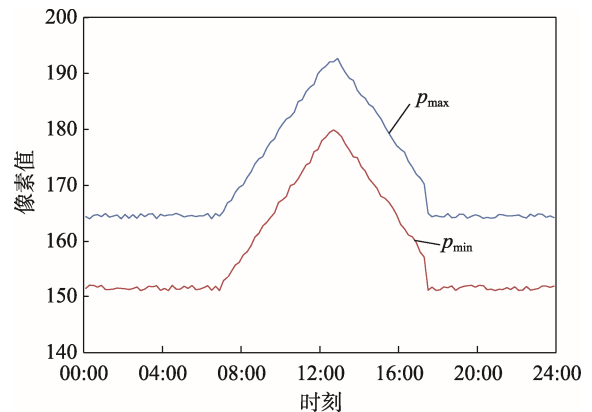


图4 图像灰度最大值和最小值的变化曲线
Fig.4 Changing curve of maximum and minimum image grey-scale

在 17:00—18:00 之间,图像灰度的变化并没有像早上一样有一个缓慢下降的过程,而是直接下降到晚上的效果,分析发现实验室所在的位置西侧有一个南北走向的高层教学楼,当太阳运行到教学楼西面时,教学楼的阴影会快速地将实验室所在的区域覆盖,从而导致实验室提前进入夜晚状态。

4 基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值模糊规则

根据模糊逻辑的执行流程,将获取到的图像灰度信息进行模糊化处理,得到阈值范围的模糊集合 $[p_{min}, p_{max}]$,模糊规则的设定原计划根据时间来进行设置,但是在实验中发现,灰度值的变化并不是完全与时间同步。灰度变化主要由外界光线的变化引起,而影响光线的因素除了太阳的运行轨迹外,还和天气有关,阴天、下雨、下雪、多云、雾霾等都会对图像的灰度造成不同程度的影响,2018 年 11 月 28 日雾霾天气记录的图像灰度变化情况见图 5,灰度图像的曲线变化幅度明显小于总平均变化。显然以时间作为模糊规则的参数不是一个合适的方法。为了找到与阈值变化相关的参数,对图像灰度均值和图像灰度标准差进行了研究^[4]。

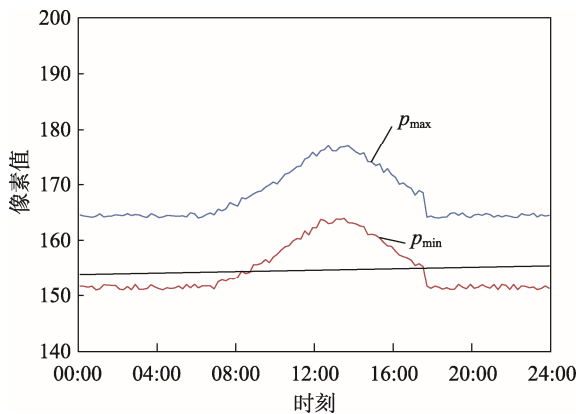


图 5 雾霾天气图像灰度变化曲线

Fig.5 Changing curve of image grey-scale in haze weather

4.1 灰度均值

图像的灰度均值即为图像各像素点的灰度平均值^[5]。每帧图像的灰度均值 M_{can} 见式 (1)。

$$M_{can} = \frac{1}{MN} \sum f(i, j) \quad 0 \leq i < M, 0 \leq j < N \quad (1)$$

式中: $f(i, j)$ 为图像 (i, j) 点的灰度值; M, N 为图像域的长和宽; $M \times N$ 则为图像区域总像素点的个数^[4]。当前实验环境下图像采集模块采集的每帧图像的大小 $M \times N$ 为 4096×1048 像素。将前期采集的图像像素值代入公式,得到图像灰度均值的 12 min 变化曲线,见图 6。

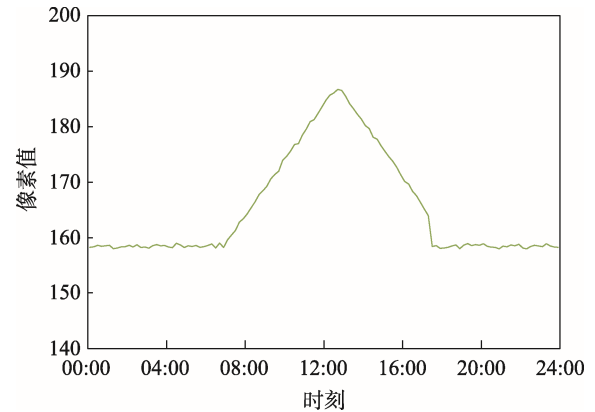


图 6 图像灰度平均变化曲线

Fig.6 Changing curve of average grey-scale

对比图 4 和图 6 可以发现,图像灰度平均的变化幅度与图像灰度最大值和最小值的变化幅度相同,由此可以看出图像灰度均值的变化趋势可以作为阈值调整的参考因素。

4.2 灰度标准差

图像的灰度标准差反映图像各像素点灰度值与图像平均灰度值的离散程度^[4]。图像的灰度标准差 σ 见式 (2)。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum (f(i, j) - M_{can})^2} \quad 0 \leq i < M, 0 \leq j < N \quad (2)$$

式中各参数的含义与式 (1) 中相同, M_{can} 由式 (1) 计算得出。2018 年 11 月 18 日间隔 12 min 的图像灰度标准差 σ 的变化曲线见图 7。

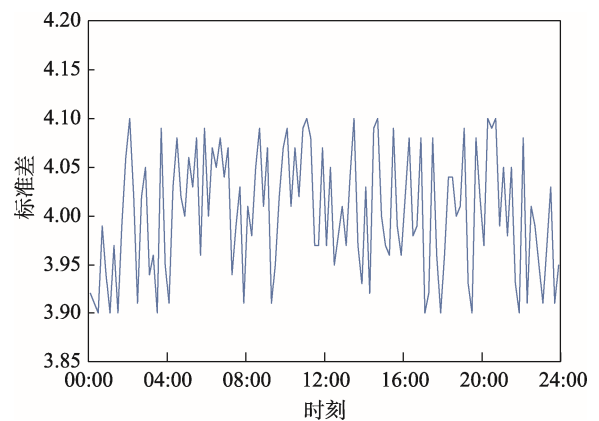


图 7 灰度标准差 σ 变化曲线

Fig.7 Changing curve of grey-scale standard deviation σ

经过大量计算发现,在采集到的正常纸张的图像中灰度的标准差比较稳定,基本集中在 4.0 左右,上下幅度小于 0.2,可以作为阈值动态设置的参考因素。

通过上面的分析可以发现,图像灰度均值和灰度标准差都与阈值的变化密切相关,可以将二者作为动态阈值设置的参考模糊规则。

5 基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值的实现

在利用机器视觉对纸病检测阈值的设定过程中,其标准应该参考人类肉眼可以识别的灰度阶数,如果阈值范围设置得过大,会导致机器检测的效果低于人眼检测的效果,进而影响纸张的出厂质量,阈值范围设置得过小则会带来大量的误判,增加复卷时的工作量。

根据医学影像学的相关资料,人类肉眼可以识别的灰度阶数为16阶^[6],而机器视觉可以识别的灰度阶数为256阶。由此可以推出,纸病检测的阈值范围应小于 $256/16$,即 $p_{\max} - p_{\min} < 16$ 。由图4和图5可知,当前实验环境下,得到的 p_{\max} 与 p_{\min} 的最大差值为13,高于人类肉眼的识别能力。

5.1 纸病检测初始阈值的设置

新产品上线时,系统需要对生产线的光源环境进行学习,此时需要生产线保证纸张不存在纸病,否则会影响系统学习的效果。学习过程如下所述。

1) 图像采集模块将采集到的图像传递给阈值标准学习模块。

2) 阈值学习模块,遍历图像所有像素,找出灰度值最大的像素值 p_{\max} 、灰度值最小的像素值 p_{\min} 、图像的灰度平均值 M_{can} 和灰度标准差 σ 。

3) 判断 p_{\max} 与 p_{\min} 差值是否大于16,如果判定条件为真,则说明当前图像存在纸病,发出警报并将图像传递给纸病识别模块,转到第1)步继续。

4) 如果第3步的判定条件为假,则说明满足阈值的设定条件,将阈值的范围设定为 $[p_{\min}, p_{\max}]$,保存灰度平均值 M_{can} 和灰度标准差 σ 。

5.2 纸病检测动态阈值的设置

纸病检测初始阈值的设置完成后,纸病检测模块进入标准检测流程,当没有纸病产生时系统阈值不用发生变化,不需要进行阈值的更改;当有新的纸病产生时,调用动态阈值设置模块,在纸病识别模块前先判断当前报错的原因,是否是因为应该更改阈值引起的。如果是则进行新的阈值设定,如果不是则再将图像交给纸病识别模块进行处理。纸病检测动态阈值设置过程如下所述。

1) 纸病检测模块将发现问题的图像传递给动态阈值设置模块。

2) 动态阈值设置模块,遍历图像所有像素,找出灰度值最大的像素值 N_p_{\max} 、灰度值最小的像素值 N_p_{\min} 、图像的灰度平均值 N_M_{can} 。

3) 判断 N_p_{\max} 与 N_p_{\min} 差值是否大于16,如果判定条件为真,则说明当前图像存在纸病,发出警

报并将图像传递给纸病识别模块,动态阈值设置模块结束。

4) 如果上一步的判定条件为假,则判断 N_M_{can} 和 M_{can} 差的绝对值是否大于2,如果返回值为真,则说明出现了极值变化,可能存在纸病,将图像交给纸病识别模块处理;如果返回值为假,进入下一步。

5) 求灰度标准差 N_sigma (见式(2)),判断 N_sigma 与 σ 差的绝对值是否大于0.2,如果返回值为真,则说明可能出现纸张均匀度方面的纸病,将图像交给纸病识别模块处理;如果返回值为假,则说明满足阈值重新设定的条件,将 $[N_p_{\min}, N_p_{\max}]$ 赋值给 $[p_{\min}, p_{\max}]$,将 N_M_{can} 赋值给 M_{can} ,将 N_sigma 赋值给 σ ,纸病检测动态阈值设置过程结束。

5.3 运行结果及分析

对基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值设置方案进行了大量的实验测试,测试的图像见图8。在多个不同时间段采集到的相同纸张的图像在灰度上有较大的区别,该程序均可以正常分析出纸病的存在,从程序的运行效果来看,基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值设置方案可以迅速达到稳态,同时系统的自适应能力较强,说明了此方案具有很好的自适应性和稳态性能。

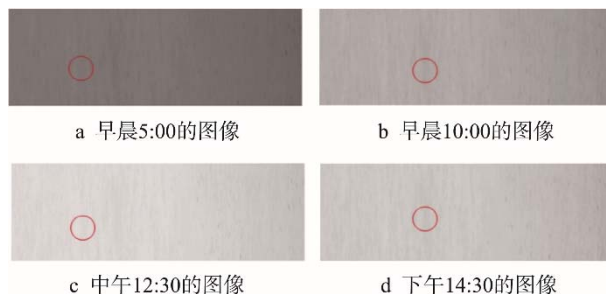


图8 不同时间段的纸病检测效果

Fig.8 Paper disease detection effect in different time periods

6 结语

针对阈值法通用性较差的问题,提出了基于模糊逻辑的纸病检测动态阈值设置方案。实验结果表明,方案可以动态调整纸病判定的阈值范围,可以在不依赖硬件的情况下实时判断是否存在纸病,有效提高了系统的稳定性,有效提高了阈值法在不同光源环境下纸病检测的通用性。

参考文献:

- [1] 李茜,文豪,曲蕴慧,等.边缘跟踪算法在多纸病图像分割中的应用[J].中国造纸,2017,36(8):41—45.
LI Qian, WEN Hao, QU Yun-hui, et al. Application of Edge Tracking Algorithm to Multiple Paper Defects

- Segmentation[J]. *China Pulp & Paper*, 2017, 36(8): 41—45.
- [2] 蒋东节, 慕利娟, 安通. 高速造纸机纸病检测系统(DZ-WIS)的研发与实践[J]. *中华纸业*, 2013, 34(16): 18—21.
JIANG Dong-jie, MU Li-juan, AN Tong. Research and Application of Web Inspection System (DZ-WIS)[J]. *China Pulp & Paper Industry*, 2013, 34(16): 18—21.
- [3] 王峥, 周强, 李敏, 等. 基于菌群算法的纸病检测系统光源优化控制[J]. *中国造纸学报*, 2017, 32(4): 47—52.
WANG Zheng, ZHOU Qiang, LI Min, et al. Optimal Control of Light Source in Paper Defect Detection System Based on Bacterial Colony Algorithm[J]. *Transactions of China Pulp and Paper*, 2017, 32(4): 47—52.
- [4] 曲蕴慧, 汤伟, 冯波. 一种基于差影法及 SVM 的在线纸病检测分类方法[J]. *包装工程*, 2018, 39(23): 176—180.
QU Yun-hui, TANG Wei, FENG Bo. On-line Detection and Classification Method Based on Background Subtraction and SVM[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(23): 176—180.
- [5] NIXON M S, AGUADO A S. *Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision*[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2014.
- [6] 白人驹, 徐克. *医学影像学*[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013.
BAI Ren-ju, XU Ke. *Medical Imaging*[M]. Bei Jing: People's Medical Publishing House(PMPH), 2013.
- [7] 王伟刚, 周强, 肖强宏, 等. 一种基于分块思想的多纸张缺陷一次提取算法[J]. *中国造纸学报*, 2018, 33(4): 36—43.
WANG Wei-gang, ZHOU Qiang, XIAO Qiang-hong, et al. An Algorithm for Extracting Multiple Paper Defects at Once Based on Blocking Idea[J]. *Transactions of China Pulp and Paper*, 2018, 33(04):36—43.
- [8] 何平, 曹胜梅, 李岐, 等. 基于线阵相机的纸病在线检测系统的设计[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2014, 30(3): 357—360.
HE Ping, CAO Sheng-mei, LI Qi, et al. Design of oOn-line Detection System for Paper Defects Based on Line-scan Digital Camera[J] *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition)*, 2014, 30(3): 357—360.
- [9] 尚伟. 基于线阵相机的纸病在线自动检测系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
SHANG Wei. Research on Online Automatic Detection System of Paper Disease Based on Line Array Camera[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [10] OLIVAS F, VALDEZ F, MELIN P, et al. Interval Type-2 Fuzzy Logic for Dynamic Parameter Adaptation in a Modified Gravitational Search Algorithm[J]. *Information Sciences*, 2019: 476.
- [11] AKUMU C E, WOODS M, JOHNSON J A, et al. GIS-fuzzy Logic Technique in Modeling Soil Depth Classes: Using Parts of the Clay Belt and Hornepayne Region in Ontario, Canada as a Case Study[J]. *Geoderma*, 2016: 283.
- [12] MA Yan, CHEN Huai-jun. Dynamic Research of a Translational Bubble in a Strong Acoustic Field[J]. *Applied Acoustics*, 2019, 146.
- [13] 望熙荣, 望熙贵. *OpenCV 和 Visual Studio 图像识别应用开发*[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.
WANG Xi-rong, WANG Xi-gui. *OpenCV& Visual Studio Application and Development of Image Recognition*[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2017.
- [14] 赵晓, 何立风, 姚斌, 等. 一种基于连通域标记的纸病检测算法[J]. *中国造纸学报*, 2018, 33(2): 51—56.
ZHAO Xiao, HE Li-feng, YAO Bin, et al. Algorithm of Paper Defect Detection Based on Connected-component Labeling[J]. *China Pulp & Paper*, 2018, 33(2): 51—56.
- [15] 王亚波, 周强, 王伟刚, 等. 基于自适应神经模糊推理系统的纸病二次辨识[J]. *中国造纸*, 2017, 36(12): 56—62.
WANG Ya-bo, ZHOU Qiang, WANG Wei-gang, et al. The Secondary Identification of Paper Defects Based on Adaptive Neural-fuzzy Inference System[J]. *China Pulp & Paper*, 2017, 36(12): 56—62.