

智能包装检测系统中光源波长研究

靳杉杉¹, 张涛², 曹兴强², 曾建³, 李晓¹, 姚二民¹

(1. 郑州轻工业学院, 郑州 450000; 2. 河南中烟工业有限责任公司 南阳卷烟厂, 南阳 473000;
3. 深圳三叶草科技开发有限公司, 深圳 518000)

摘要: **目的** 通过优化智能包装检测系统中的光源条件, 提高多层包装中缺陷内衬纸智能检测的识别率和包装的良品率。 **方法** 在智能包装检测系统中, 通过改变光源的波长来检测不同颜色的缺陷内衬纸, 并对缺陷内衬纸面积检测的像素数量进行分析, 来确定合适的光源波长。 **结果** 色相性导致红光、绿光及蓝光等可见单色光不能使相同颜色的内衬纸在智能包装检测系统中成像, 但在白光、红外光和紫外光照射下可以检测出所有的缺陷内衬纸。进一步分析得知, 智能包装检测系统在红外光照射下缺陷内衬纸的成像效果最好; 在白光、红外光和紫外光照射下的识别率分别为 90.5%, 99.5%, 96.5%, 红外光照射下的识别率最高。 **结论** 在实际包装车间生产中, 为使智能包装检测系统的准确率最高, 可根据色相性选择光源或者直接选择红外光光源。

关键词: 智能包装; 检测; 机器视觉; 光源波长; 内衬纸; 多层包装

中图分类号: TS452⁺.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0018-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.004

Light Source Wavelength in Intelligent Packaging Inspection System

JIN Shan-shan¹, ZHANG Tao², CAO Xing-qiang², ZENG Jian³, LI Xiao¹, YAO Er-min¹

(1. Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450000, China;

2. China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Nanyang Cigarette Factory, Nanyang 473000, China;

3. Shenzhen Trifolium Science Technology Development Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the recognition rate of intelligent inspection of defective liner paper in multi-layer package and the rate of good product of package by optimizing the light source conditions in the intelligent packaging inspection system. In the intelligent packaging inspection system, the defective liner paper of different colors was detected by changing the wavelength of the light source, and the pixel number of defective liner paper area detection was analyzed to determine the appropriate light source wavelength. The chromaticity resulted in red, green and blue visible monochrome light which could not image the liner paper of the same color in the intelligent packaging inspection system, but could detect all the defective liner paper under white, infrared and ultraviolet light. Further analysis showed that the imaging effect of defective liner paper was the best when the intelligent packaging inspection system was under infrared illumination, and the recognition rates under white light, infrared light and ultraviolet light were 90.5%, 99.5% and 96.5%, respectively. The recognition rate under infrared illumination was the highest. In the actual production of the packaging workshop, in order to achieve the highest accuracy of the intelligent packaging inspection system, the light source can be chosen according to the chromaticity or the infrared light source can be directly chosen.

KEY WORDS: intelligent packaging; inspection; machine vision; light source wavelength; inner paper; multi-layer package

收稿日期: 2018-07-24

基金项目: 河南省科技攻关计划 (142102210639)

作者简介: 靳杉杉 (1992—), 女, 郑州轻工业学院硕士生, 主攻烟草加工技术。

通信作者: 姚二民 (1961—), 男, 郑州轻工业学院教授, 主要研究方向为烟草工艺。

食品生产中大部分产品都是多层包装，如糕点、果片果干、真空包装肉制品、休闲食品、烟草制品等。如今高速的流水线作业、庞大的市场需求都促使食品的生产逐渐步入了高速自动化时代。机器视觉作为一项自动化成像技术却恰恰在这方面有着很高的适用性，替换人眼检测，使食品检测智能化，且可以做到非接触、无污染、不损坏。朱作付^[1]等论述了机器视觉技术在包装外观印刷品、药品包装、烟包包装、钞票检测中的应用现状。陈娜^[2]分析了在包装检测过程中引用机器视觉的必要性，并进行了一些实用研究。近年来，机器视觉技术被越来越多地应用在食品、药品、印刷品等包装的检测上。光源是机器视觉系统中采集图像时至关重要的部分，是保证系统运行稳定、成像清晰的关键因素。陶凯^[3]在不同颜色光源下苹果分级的计算机视觉方法研究中指出，选用合适的颜色光源与特征能够显著提高分级精度和分级效果。侯远韶^[4]的研究也表明，可以通过控制光源的颜色，找出适合在不同照明情况下识别图像特征的最佳光源颜

色，来提高图像的分辨率，进而为后续的图像特征的提取与算法编写作好铺垫。

光源分为可见光（也称光源颜色）和不可见光，区别在于光源波长的长短，但目前对视觉系统中光源的研究并没有涉及不可见光光源的研究。基于此，文中采用机器视觉与 PLC 控制系统结合的智能包装检测系统，针对不同波长光源（包括可见光光源和不可见光光源）下缺陷内衬纸的检测进行研究，以期提高智能包装检测系统中采集内衬纸图像的成像效果，从而提高内衬纸破损识别精度，提高食品包装良品率。

1 试验

1.1 材料与仪器

被拍摄物体的颜色决定对光源的反射能力，所以物体颜色的选择影响着采集图像的质量，不同颜色的物体在同一光源照射下会呈现不同的颜色^[5-6]。故试验材料选择了 8 种颜色的内衬纸（见图 1）。

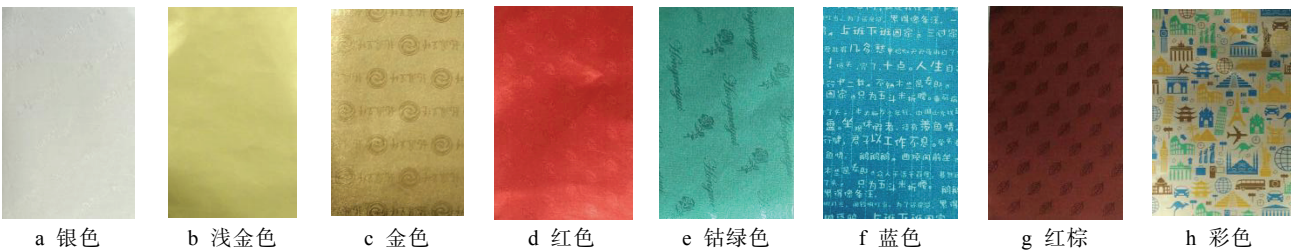


图 1 内衬纸
Fig.1 Liner paper

物体的颜色与照明光源有着密切的关系，同一物体在不同光源照射下，由于不同波长的光源投射到同一个物体上时，其成像效果是不同的，因此物体呈现的颜色也会有差异^[7-8]。该试验中选取不同波长的光源，主要包括可见光光源（ λ 为 380~780 nm 的白光、 $\lambda=625$ nm 的红光、 $\lambda=525$ nm 的绿光、 $\lambda=470$ nm 的蓝光）和不可见光光源（ $\lambda=940$ nm 的红外光、 $\lambda=365$ nm 的紫外光）。因为 LED 灯具有使用寿命长、稳定性较好等优势^[9]，故试验的光源采用 LED 灯。主要试验仪器和设备见表 1。

1.2 智能包装检测系统

为实现对内衬纸的高速在线检测与剔除，并适合工业化推广，智能包装检测系统选取 KEYENCE CV-5001 系列的高性能机器视觉系统和 KV-1000 型号的 PLC 控制系统。CV-5001 系列的先进同步处理系统速度最快，适用于大多数生产线且效率较高；具有 18 种检测模式，比如面积、边缘位置、斑点、彩色检测等，模式较多，优于同类其他产品。智能包装检测系统主要由 CCD 相机、镜头、光源、图像控制箱组成，见图 2。试验采用黑白相机，黑白相机测量敏

表 1 主要试验仪器和设备 Tab.1 Main test instrument and equipment			
类别	品牌	型号	备注
LED 白色光源	OPT	SL-VL14728-W	$\lambda=380\sim780$ nm
LED 红色光源	OPT	SL-VL14728-R	$\lambda=625$ nm
LED 绿色光源	OPT	SL-VL14728-G	$\lambda=525$ nm
LED 蓝色光源	OPT	SL-VL14728-B	$\lambda=470$ nm
LED 红外光源	OPT	SL-VL14728-IR940	$\lambda=940$ nm
LED 紫外光源	OPT	SL-VL15544-UV365	$\lambda=365$ nm
CCD 黑白相机	KEYENCE	CV-035M	32 万像素
镜头	KEYENCE	CA-LS6	
图像控制器	KEYENCE	CV5501	
PLC	KEYENCE	KV-1000	
操作手柄	KEYENCE	OP-84231	

感度较高，且可以对红外光、紫外光成像。该系统的 CCD 相机位置不变，采用垂直拍摄方式，可减少因图像变形引起的误差^[10-12]。由于拍摄对象是长方形，故选择条形光源。光源的照射方式不变，采用漫反射

光源,可减少反光现象。整个检测装置处于暗室中,避免了外界环境光的影响。机器视觉系统采集图像后进入内存,可直接对图像进行各种处理与分析,并及时输出检测结果。

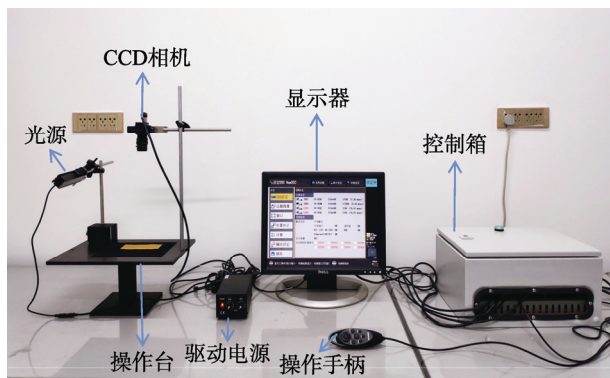


图2 智能包装检测系统的组成

Fig.2 Composition of intelligent packaging inspection system

1.3 试验步骤

为研究不同波长的光源对缺陷内衬纸成像的影响,在智能包装检测系统中对缺陷内衬纸进行图像采集及处理。

1.3.1 内衬纸的前处理

取图1所示的8种内衬纸样品各1份,截取成一定的规格(长86.45 mm,宽54.40 mm),并人为制造缺陷,将每种类型的内衬纸任意位置上各裁去一个边长为10.00 mm的小正方形,然后将其展平,为下一步的图像采集做准备。

1.3.2 图像采集

选取黑布作为拍摄背景,将缺陷内衬纸依次置于操作台的黑布上。照射光源依次为:白光、红光、绿光、蓝光、红外光和紫外光。用操作手柄在智能包装检测系统中注册图像,即用相机拍摄图像从而采集到图像,每张缺陷内衬纸在相同条件下分别测3次。

1.3.3 图像处理

采集到的图像分为背景区和感兴趣区。对图片的处理一般从提取感兴趣区域开始,这样可以在一幅图像中取得对缺陷检测有意义的区域信息,合理分配计算资源,避免了无意义的搜索,极大地提高了系统工作效率^[5],故对图像提取感兴趣区域,去除黑色背景。

为了避免检测的图像出现拖影,以及受到光线变化的干扰,使图像清晰地呈现其几何特征,减少图像识别时的工作量,提高识别速度,因此对图像进行了二值化操作。二值图像中的像素值只有黑(0)、白(255)2个值,可以清晰地呈现出图像的几何特征,尽可能地凸显出图像的感兴趣区域,方便后续的特征提取与模式识别操作^[13]。

运用闭运算填补空洞,闭运算的原理是先用膨胀

算法扩张前景图像^[14],膨胀处理可以将断裂开的目标物进行合并,便于对其进行整体提取。膨胀是将与某物体接触的所有背景点合并到该物体中的过程,使物体的面积增大了相应数量的点。如果2个物体在某一点相隔少于3个像素,则他们将在该点连通起来,合并成一个物体^[15],然后用腐蚀算法将图像还原。故在前处理中,选择对图像进行膨胀处理。最后在系统中进行面积检测,并记录缺陷内衬纸图像的像素数量。

2 结果与分析

由于智能包装检测系统输出的检测面积是像素,像素是指基本原色素及其灰度的基本编码^[16],所以需要确定厘米与像素之间的关系。测量系统经过带有测量目标与校正尺的图片设定标尺,得到测量系统中单位厘米的像素点为38,从而建立实际空间尺度数据与图像中像素之间的关系,得到缺陷内衬纸图像面积检测的理论像素数量,即边长为10.00 mm的小正方形缺陷面积的理论像素数量为 $38 \times 38 = 1444$ 。

2.1 不同波长光源照射下缺陷内衬纸面积检测的结果与分析

光源照在内衬纸上,内衬纸只反射与自身颜色相同的光色,不同色光源照在互补色物体上完全不反光。红光照射红色缺陷内衬纸、绿光照射绿色缺陷内衬纸或蓝光照射蓝色缺陷内衬纸时,黑白相机成像为白色,因这3种情况下无法识别缺陷内衬纸,所以试验舍去这3种情况。先计算出不同波长光源照射下每个缺陷内衬纸图像像素数量的平均值,为研究智能包装检测系统中不同波长的光源照射下缺陷内衬纸图像面积检测的情况,分析不同颜色的缺陷内衬纸在不同波长光源照射下的情况,随后在SPSS Statistics 22.0软件里对缺陷内衬纸面积检测平均像素数量进行方差分析、Spearman相关性分析,结果分别见表2、表3。

表2 缺陷内衬纸面积检测平均像素数量的方差分析
Tab.2 Variance analysis of average pixel number in defective inner lining area detection

指标	平方和	自由度	均方	F检验值	显著性
群组之间	789.965	5	157.993	9.246	0.000
在群组内	666.428	39	17.088		
总数	1456.392	44			

表3 缺陷内衬纸面积检测平均像素数量的Spearman相关性指标
Tab.3 Spearman correlation analysis of average number of pixels in defective inner paper area detection

相关系数	显著性 Sig. (双侧)	样本数量
0.652**	0.000	45

注:**在置信度(双侧)为0.01时,相关性为显著

根据表 2 可知,不同颜色缺陷内衬纸面积检测像素数量群组之间的显著性为 0.000 (<0.01),即不同波长光源照射下缺陷内衬纸组间的像素数量存在极显著的差异,这说明不同颜色缺陷内衬纸在不同波长光源照射下是有区别的。由表 3 的相关系数可知,不同颜色缺陷内衬纸与像素数量的相关系数为 0.652,

且是正相关关系,这说明不同波长的光源对不同颜色的缺陷内衬纸影响很大。为进一步具体分析不同波长光源照射下不同颜色缺陷内衬纸的差异,进而计算了缺陷内衬纸面积检测平均像素数量与理论像素数量差值的绝对值,绝对值越小,说明缺陷内衬纸面积检测的像素数量越接近理论像素数量,具体见表 4。

表 4 平均像素数量与理论像素数量差值的绝对值
Tab.4 Absolute value of the difference between the average pixel number and the theoretical pixel number

光源	银色 内衬纸	浅金色 内衬纸	金色 内衬纸	红色 内衬纸	钴绿色 内衬纸	蓝色 内衬纸	红棕色 内衬纸	彩色 内衬纸
白光	15.7	10.7	10.0	6.7	10.3	13.0	9.3	8.7
红光	22.7	18.0	18.7	—	6.0	3.0	23.0	6.3
绿光	11.7	12.7	12.3	6.0	—	13.7	7.0	14.3
蓝光	6.3	11.7	10.7	3.0	14.7	—	5.7	11.7
红外	2.3	0.7	2.0	2.3	2.7	2.7	2.3	1.3
紫外	4.3	3.7	3.0	5.0	2.7	5.0	3.7	4.0

根据表 4 可知,在红光照射下,红色缺陷内衬纸不能成像,蓝色缺陷内衬纸图像的平均像素数量最接近理论像素数量;在蓝光照射下,红色缺陷内衬纸图像的平均像素数量最接近理论像素数量,蓝色缺陷内衬纸不能成像,且红色缺陷内衬纸比在白光、绿光、紫外光照射下的平均像素数量都要接近理论像素数量;在红光照射下,蓝色缺陷内衬纸比白光、绿光、紫外光照射下的平均像素数量都要接近理论像素数量。这可以看出颜色对色材(对象物)的重要性,红光照射红色内衬纸时,其照片颜色很淡且发白,对比度不大;蓝光照射红色内衬纸时,图片的对比度很大,成像效果很好,这正好符合色相性(照明色与色材之相性),所以在智能包装检测系统中,可以根据内衬纸的颜色选择突出图像对比度的光源,如照射红色内衬纸时用蓝光,照射蓝色内衬纸时用 红光。

并不是所有的内衬纸颜色都符合色相性,如银色内衬纸、带有 2 种颜色以上的彩色内衬纸就无法根据色相性来选择光源。也正是因为色相性,导致红光不能使红色内衬纸成像、蓝光不能使蓝色内衬纸成像、

绿光不能使绿色内衬纸成像、黄光不能使黄色内衬纸成像等,限制了一些光源的使用范围。由表 4 可知,在白光、红外光和紫外光照射下,智能包装检测系统可以检测出所有的缺陷内衬纸。可见这 3 种光源照射下,不同颜色的内衬纸都可以成像。

2.2 不同波长光源照射下缺陷内衬纸成像效果的分析

虽然白光、红外光和紫外光照射下,不同颜色的内衬纸都可以在智能包装检测系统中成像,但是缺陷内衬纸成像的效果不一样。表 4 中,白光远不如红外光、紫外光照射下缺陷内衬纸图像的平均像素数量离理论像素数量近,这是因为白光是复色光源,会对成像系统产生色差,而用单色的光源则可以避免色差。为深入分析白光、红外光和紫外光这 3 种波长的光源照射下缺陷内衬纸的成像效果,用 SPSS Statistics 22.0 软件计算了这 3 种波长的光源照射下不同颜色缺陷内衬纸图像像素数量的标准偏差、实际像素数量与理论像素数量的平均相对误差率,见表 5。

表 5 白光、红外光和紫外光照射下缺陷内衬纸面积检测像素数量的分析
Tab.5 Analysis of pixel number of defective inner paper area detected by white light, infrared light and ultraviolet light

内衬纸	白光		红光		紫光	
	标准偏差	平均相对误差率/%	标准偏差	平均相对误差率/%	标准偏差	平均相对误差率/%
银色	5.79	1.08	0.47	0.16	1.70	0.30
浅金色	3.68	0.74	0.47	0.05	2.05	0.25
金色	5.35	0.69	0.82	0.14	0.82	0.21
红色	3.09	0.46	0.47	0.16	0.82	0.35
钴绿色	3.68	0.72	0.47	0.18	1.25	0.18
蓝色	2.94	0.90	0.47	0.18	0.82	0.35
红棕色	4.99	0.65	0.47	0.16	1.25	0.25
彩色	4.64	0.60	0.47	0.09	0.82	0.28

根据表 5 可知, 红外光照射条件下, 每个缺陷内衬纸面积检测像素数量的标准偏差比白光、紫外光照射下都少, 说明红外光照射下缺陷内衬纸面积检测的精密密度最好。根据各个缺陷内衬纸像素数量的平均相对误差率可知, 在红外光照射下像素数量的平均相对误差率最小, 说明在此条件下缺陷内衬纸面积检测的可信度最高。故智能包装检测系统中, 选择用于检测不同颜色缺陷内衬纸的光源时, 发现红外光是最佳的照射光源, 能使采集到的图像效果最好。

为验证红外光照射下的识别精度, 进行了内衬纸缺陷识别率验证。随机取试验中的卷烟内衬纸 200 份 (长 86.45 mm, 宽 54.40 mm), 人为在每张内衬纸上制造污点或破损, 各个缺陷大小不同、形状不同, 系统中其他试验条件不变, 在白光、红外光和紫外光照射下采集图像, 并选择斑点检测对内衬纸图像上的缺陷进行检测。缺陷识别结果为: 白光、红外光和紫外光照射下, 分别识别出 181, 199, 193 份, 识别率分别为 90.5%, 99.5%, 96.5%。红外光比白光、紫外光照射下的识别率分别高 9%, 3%, 所以红外光照射下, 智能包装检测系统中内衬纸检测的识别率更高。

3 结语

通过不同波长光源的研究, 实现了智能包装检测系统中光源照射的运行参数由经验主导向理论指导的转变, 试验结果为提高内衬纸图像的质量提供了理论指导, 有利于提高缺陷内衬纸的识别率。试验表明, 不同波长的光源照射下, 智能包装检测系统中内衬纸的成像效果是不同的, 虽然符合色相性的内衬纸可以选择突出图像对比度的光源, 但是也正因为色相性限制了可见单色光源的使用范围。通过成像效果的分析, 发现红外光源照射下, 不仅可以检测出不同颜色的缺陷内衬纸, 且可使采集到的图像效果最好, 智能检测的识别率最高。尽管试验的研究对象是内衬纸, 但试验结果对于纸质包装的产品都适用, 因此, 在实际生产中, 智能包装检测系统可根据色相性选择光源或者直接选择红外光照射, 使采集的图像效果更优, 简化包装车间后续在线检测、剔除不合格包装产品的流程, 以此提高包装检测的准确率, 提高产品包装的良品率。

参考文献:

- [1] 朱作付, 徐超, 葛红美. 机器视觉技术在包装领域的应用[J]. 包装工程, 2010, 31(3): 124—127.
ZHU Zuo-fu, XU Chao, GE Hong-mei. Application of Machine Vision Technology in Packaging Field[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 124—127.
- [2] 陈娜. 包装检测过程中的机器视觉应用研究[J]. 中国包装工业, 2015(7): 59.
CHEN Na. Application Research of Machine Vision in Packaging Inspection Process[J]. China Packaging Industry, 2015(7): 59.
- [3] 陶凯. 不同颜色光源下苹果分级的计算机视觉方法研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2012.
TAO Kai. Computer Vision Method of Apple Grading Under Different Color Light Sources[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2012.
- [4] 侯远韶. 机器视觉系统中光源的选择[J]. 洛阳师范学院学报, 2014, 33(8): 45—49.
HOU Yuan-shao. Selection of Light Sources in Machine Vision System[J]. Journal of Luoyang Normal University, 2014, 33(8): 45—49.
- [5] 郑越. 基于机器视觉的轴承内圈表面缺陷检测系统研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017.
ZHENG Yue. Machine Vision Based Surface Defect Detection System for Bearing Inner Rings[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2017.
- [6] ELANGO V, KARUNAMOORTHY L. Effect of Lighting Conditions in the Study of Surface Roughness by Machine Vision—an Experimental Design Approach[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 37(1/2): 92—103.
- [7] 应朝福. 不同光源下标准色板的颜色误差分析[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2001, 24(2): 146—149.
YING Chao-fu. Color Error Analysis of Standard Color Plates Under Different Light Sources[J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Science), 2001, 24(2): 146—149.
- [8] PENG T, YONGHUI H E. Adaptive Illumination Light Source for Online Machine Vision Inspection of Tin Steel Strips[J]. Baosteel Technical Research, 2013, 7(4): 25—28.
- [9] 陈志特. 机器视觉照明光源技术要点分析[J]. 河南科技, 2014(2): 63.
CHEN Zhi-te. Key Points of Machine Vision Lighting Source Technology[J]. Henan Science and Technology, 2014(2): 63.
- [10] 王晖, 程小虎, 赵淑华, 等. 基于机器视觉的接装纸缺陷检测装置[J]. 烟草科技, 2015, 49(8): 92—96.
WANG Hui, CHENG Xiao-hu, ZHAO Shu-hua, et al. Machine Vision Based Defect Detection Device for Solder Joints[J]. Tobacco Technology, 2015, 49(8): 92—96.
- [11] SINGH A, KAUR J. Driver Fatigue Detection Using Machine Vision Approach[C]// Advance Computing Conference. IEEE, 2013: 645—650.
- [12] 蔡培良, 何邦贵, 杨剑锋, 等. GDX1 小盒软包透明纸热封缺陷的视觉检测系统[J]. 包装工程, 2017, 38(5): 92—95.
CAI Pei-liang, HE Bang-gui, YANG Jian-feng, et al. GDX1 Small Box Soft Package Transparent Paper Thermal Sealing Defect Visual Inspection System[J].

- Packaging Engineering, 2017, 38(5): 92—95.
- [13] 周江, 任锬, 帅英琦, 等. 基于机器视觉的磁钢片缺陷检测研究[J]. 机电工程, 2014, 31(12): 1541—1546.
ZHOU Jiang, REN Kun, SHUAI Ying-qi, et al. Defect Detection of Magnetic Steel Sheet Based on Machine Vision[J]. Electrical and Mechanical Engineering, 2014, 31(12): 1541—1546.
- [14] 李艳文, 胡浩波, 丁乙, 等. 一种基于 RGB 颜色分量的枝干图像分割方法[J]. 燕山大学学报, 2016, 40(5): 446—450.
LI Yan-wen, HU Hao-bo, DING Yi, et al. A Branch Image Segmentation Method Based on RGB Color Component[J]. Journal of Yanshan University, 2016, 40(5): 446—450.
- [15] 汪洋. 基于机器视觉的香烟外包装膜在线检测技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
WANG Yang. On Line Inspection Technology of Cigarette Outer Packaging Film Based on Machine Vision[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [16] 吴启海. 像素、CCD尺寸与图像、色彩分辨率[J]. 照相机, 2010(2): 76—77.
WU Qi-hai. Pixel, CCD Size and Image, Color Resolution[J]. Camera, 2010(2): 76—77.