基于机器视觉的内层包装缺陷检测光源的优化

王天怡[1]，王鑫[2]，曹兴强[2]，曾建[3]，贾真真[1]，　李晓[1]，姚二民[1]
（1.郑州轻工业学院，郑州 450000；2.河南中烟工业公司南阳卷烟厂，河南 南阳 473000；
3.深圳三叶草科技开发有限公司，广东 深圳 518000）

摘要：目的 针对食品内层包装纸的缺陷特征，对机器视觉识别系统的照明光源进行优化，以提高内层包装缺陷的识别率，减少缺陷包装量。**方法** 基于计算机视觉识别技术，通过斑点检测不同光源下内层包装纸的常见缺陷特征，分别采用 Matlab 的三维绘图、相关性分析的方法，依次确定照明光源类型、形状和角度，并进行应用验证。**结果** 红外光源为纸铝复合内层包装纸缺陷特征识别的最适光源类型；条形光源与内层包装纸呈极显著相关，缺陷识别率达 96.95%；60°的高角度照明位置与内层包装纸呈显著相关，缺陷识别率达 96.96%。红外条形光源高角度照明，缺陷识别率达 99%。**结论** 将红外条形光源高角度照明应用于纸铝复合内层包装纸的在线检测，与 LED 环形光源相比，其缺陷特征视觉识别率提高了 0.51 个百分点。

关键词：机器视觉；光源；食品内层包装纸
中图分类号：TB487　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2019)17-0174-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.025

Optimization of Light Source for Defect Detection of Inner Packaging Paper Based on Machine Vision

WANG Tian-yi[1], *WANG Xin*[2], *CAO Xing-qiang*[2], *ZENG Jian*[3], *JIA Zhen-zhen*[1], *LI Xiao*[1], *YAO Er-min*[1]
(1.Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450000, China;
2.Henan Tobacco Industrial Company Nanyang Cigarette Factory, Nanyang 473000, China;
3.Shenzhen Clover Technology Development Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

ABSTRACT: The work aims to optimize the light source of the machine vision recognition system based on the defect features of the food inner packaging, in order to improve the recognition rate of the inner packaging defects and reduce the amount of defective packaging. Based on computer vision recognition technology, the common defect features of inner packaging paper under different light sources were detected by spots. The type, shape and angle of light source were determined in order respectively by means of Matlab three-dimensional drawing and correlation analysis for application verification. The result was that, the infrared light source was the most suitable light source type for the defect feature recognition of paper aluminum composite inner packaging paper. The strip light source was extremely significantly correlated with the inner packaging paper, with the defect recognition rate of 96.95%.The 60° high angle illumination position was significantly correlated with the inner packaging paper, with the defect recognition rate of 96.96%. For the infrared strip light source under high-angle illumination, the defect recognition rate was 99%. Compared with LED ring

收稿日期：2019-04-25
基金项目：河南省科技攻关计划（142102210639）；郑州轻工业学院 2018 年研究生教育创新计划基金（2018031）
作者简介：王天怡（1996—），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加工技术。

light source, the infrared strip light source under high-angle illumination is applied to the on-line detection of paper aluminum composite inner packaging paper and its visual recognition rate of defect features is increased by 0.51 percentage points.

KEY WORDS: machine vision; light source; inner packaging paper of food

随着食品行业生产线上自动化程度的提高，传统的包装制品质量检测方式已经不能满足行业内对检测精度的要求，利用机器视觉识别技术检测食品多层包装质量成为了研究热点[1]。在食品的多层包装中，包装纸差别较大，其产生的缺陷类型和程度也有很大差异，所以纸铝复合内层包装纸的质量检测会有特别的检测要求及其自身识别方式，检测精度对于视觉系统有了更加严格的要求[2]。光源在机器视觉识别系统中起着至关重要的作用，在其照射下图像采集质量的好坏直接影响后期图像处理的速度和效果，而合适的光源以及照明技术有助于采集到特征明显的图像信息，进而提高检测效率[3]。任斌[4]等为了提高 AOI 系统的性能，通过光强传递函数和照明原理，设计了二级照明光源系统并建立相应的 5 种照明模式，达到各种元件图像采集的要求，为后续图像处理和模式识别提供了良好的条件。王增琴[5]等运用鱼骨图分析，通过改变图形表面干燥度、更换为拱形光源等措施，改进印刷检测仪中机器视觉图像采集系统，提高采集图像质量，满足生产要求。李智慧[6]等针对圆形金属工件表面缺陷检测的不灵敏问题，通过调整机器视觉系统的光源亮度和相机镜头角度等，确定光源在缺陷检测中的最佳摆放位置。目前机器视觉识别技术应用越来越广泛，但在食品内层包装纸的缺陷检测方面缺乏系统的研究。本研究旨在优化内层包装纸的机器视觉识别系统，选用不同类型、形状、照射角度的光源对纸铝复合内层包装纸的缺陷特征进行检测，探究合适的光源条件，提高视觉识别的图像采集效果和检测精度，减少缺陷包装量。

1　实验

1.1　材料与仪器

材料：选取 10 个品牌多层包装制品的内层包装纸铝复合纸作为实验样品；实验仪器见表 1。

1.2　方法

1.2.1　样品前处理

取内层包装纸样品，截取成一定的规格（长 85 mm，宽 53 mm），每种包装纸人为制造 6 种缺陷类型：破损、划痕、褶皱、翘边、露底和拼接错误。其中破损选择破洞或缺边，破损形状为圆形、三角形、正方形和不规则形状，面积在 10~50 mm^2 之间不等；划痕选择直线或曲线，长度在 10~50 mm 不等；选择褶皱、翘边、露底和拼接错误的缺陷程度各不相同。

表 1　主要仪器

Tab.1 Main instruments

仪器	型号	厂家
机器视觉系统	—	KENENCE 公司
LED 光源	SL-VL14728	OPT 公司
红外光源	SL-VL14728-IR940	OPT 公司
紫外光源	SL-VL15544-UV365	OPT 公司
条形光源	SL-VL14728-IR940	OPT 公司
方形无影光源	SL-HRL120-IR940	OPT 公司
同轴光源	SL-VC140-IR940	OPT 公司
环形光源	SL-RL14500-IR940	OPT 公司
环形无影光源	SL-RL15030-IR940	OPT 公司
环形高亮无影光源	SL-RL15060-IR940	OPT 公司
环形低角度光源	SL-RL14690-IR40	OPT 公司

1.2.2　视觉识别系统检测方法

采集来自 CCD 的图像信息，进行颜色抽出预处理，将拍摄的彩色图像转换成适合图像处理的黑白图像，采用小波变换域去噪算法进行图像去噪，对含噪图像进行小波变换，图像中的噪声在小波域中生成小波系数，减小该系数或使其衰减为 0，最后进行反变换得到去噪后的图像。系统设定斑点检测，用 Surf 算法检测关于斑点（块）的特征量，如面积、位置坐标等。斑点是指二值化（黑白）图像内具有相同浓淡度（255 或者 0）的像素集合，跟单纯的角点对比，它表示的是一个区域，有很好的稳定性和较强的抗噪声能力。

检测图像时按照从面积较大的斑点开始的顺序做编号，进行处理。输出的检测结果有：指定值数（输出检测的斑点数）、面积和斑点的重心位置等特征量，见图 1。实验中采用指定值数作为斑点检测的识别结果，若指定值数不为 0，则说明有缺陷，并记录缺陷包装纸图像的识别数。

1.2.3　数据处理方法

采用 Matlab 图像软件对机器视觉系统采集的图像进行三维化处理并绘制三维曲面图，采用 EXCEL 绘制不同缺陷包装纸的识别率曲线图，使用 SPSS Statistics 软件对不同光源下缺陷包装纸的识别率进行 Spearman 相关性分析。

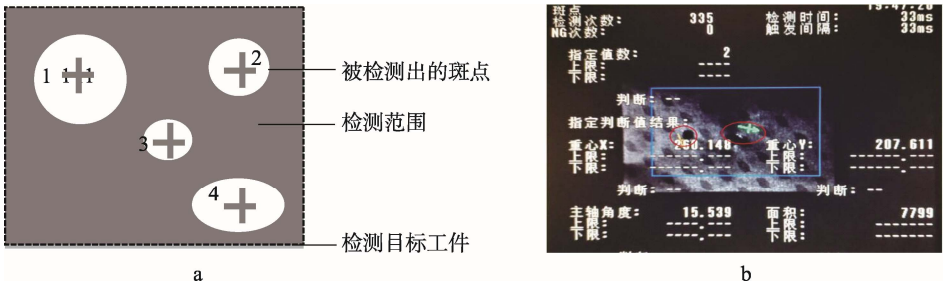

图 1　斑点检测
Fig.1 Spot detection

2　结果与分析

2.1　光源类型的选定

为选定食品内包视觉识别系统的照明光源类型，将缺陷包装纸采集的 RGB 格式数字图像转化为灰度图，然后用 Matlab 进行三维化处理，并绘制三维曲面图。利用 Matlab 的视角、等高线等功能，判断光源的均匀度、对比度及鲁棒性等特性，对 LED 光源、红外光源及紫外光源条件下的缺陷包装纸分别进行三维分析，见图 1—7（观察视角为：方位角=45°，仰视角=25°）。

在图 2—7 的三维曲面图中，中间较高的柱状体代表包装纸上光源的光强分布，其上较矮的散落在周

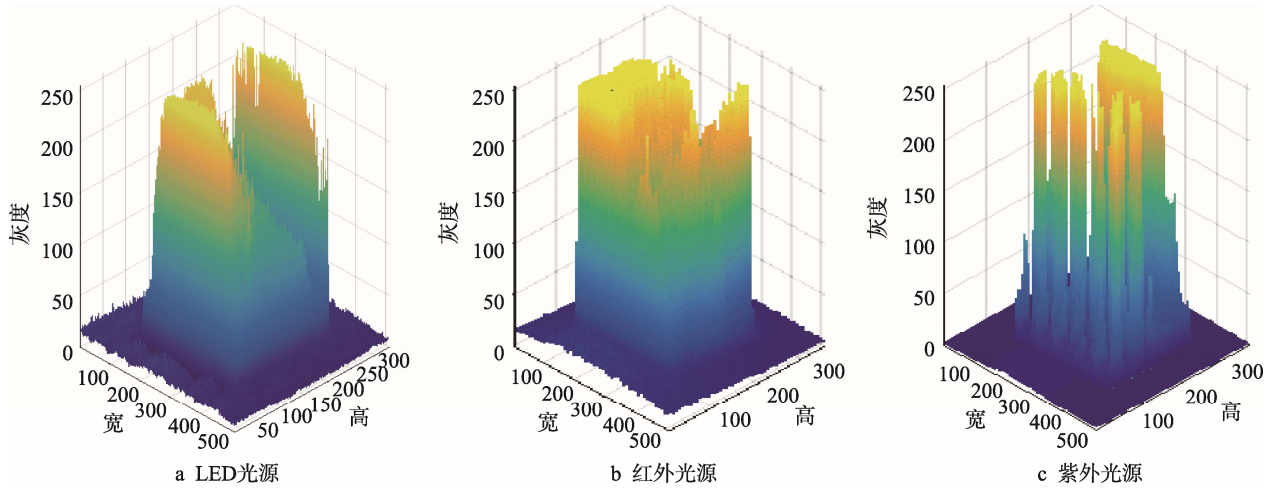

图 2　不同光源下破损包装纸的三维曲面
Fig.2 3D surface drawing of damaged packaging paper under different light sources

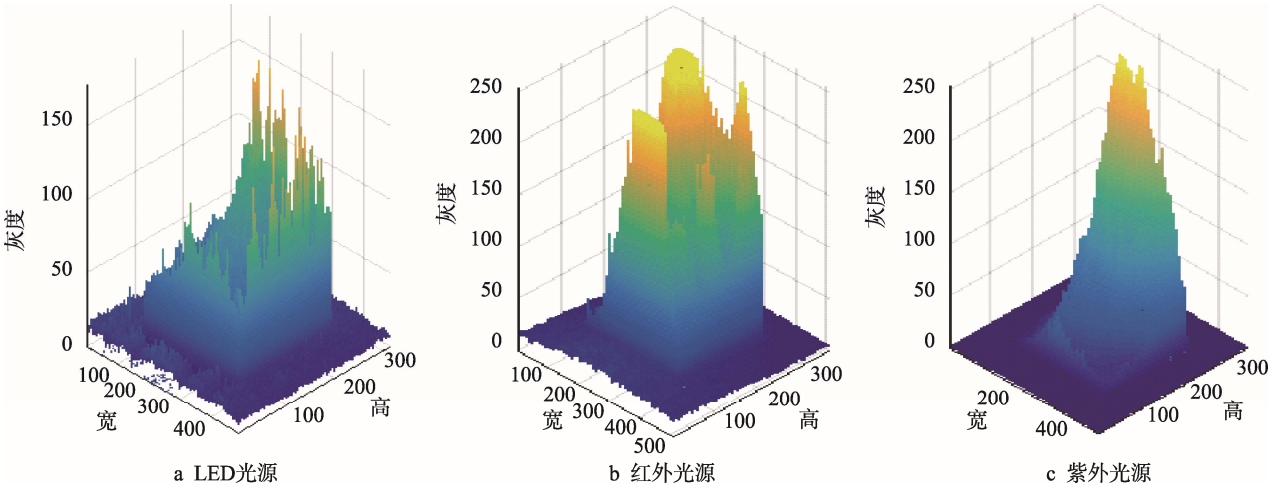

图 3　不同光源下划痕包装纸的三维曲面
Fig.3 3D surface drawing of scratched packaging paper under different light sources

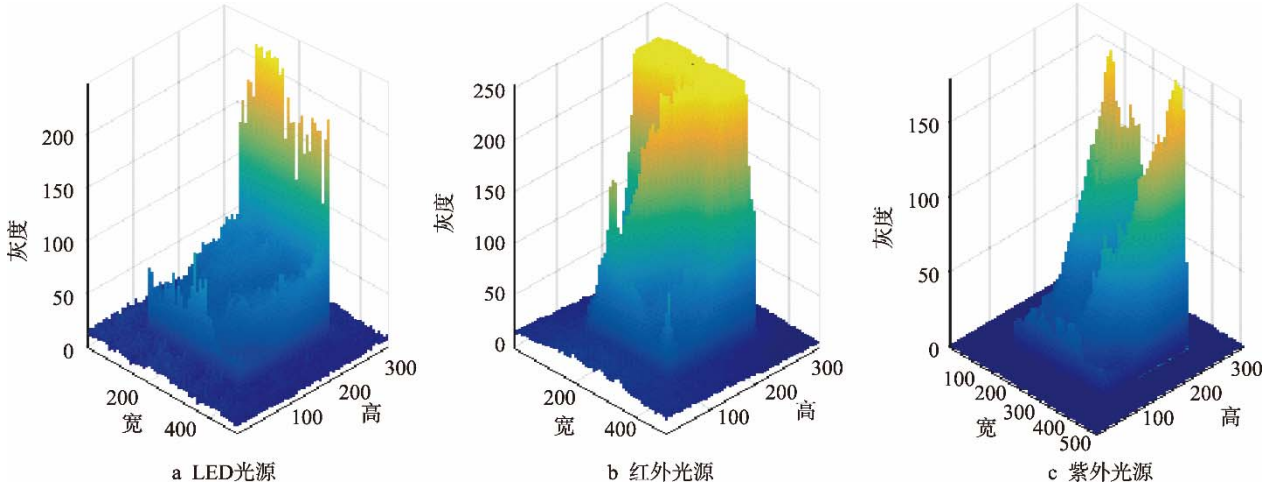

图 4　不同光源下褶皱包装纸的三维曲面

Fig.4 3D surface drawing of pleated packaging paper under different light sources

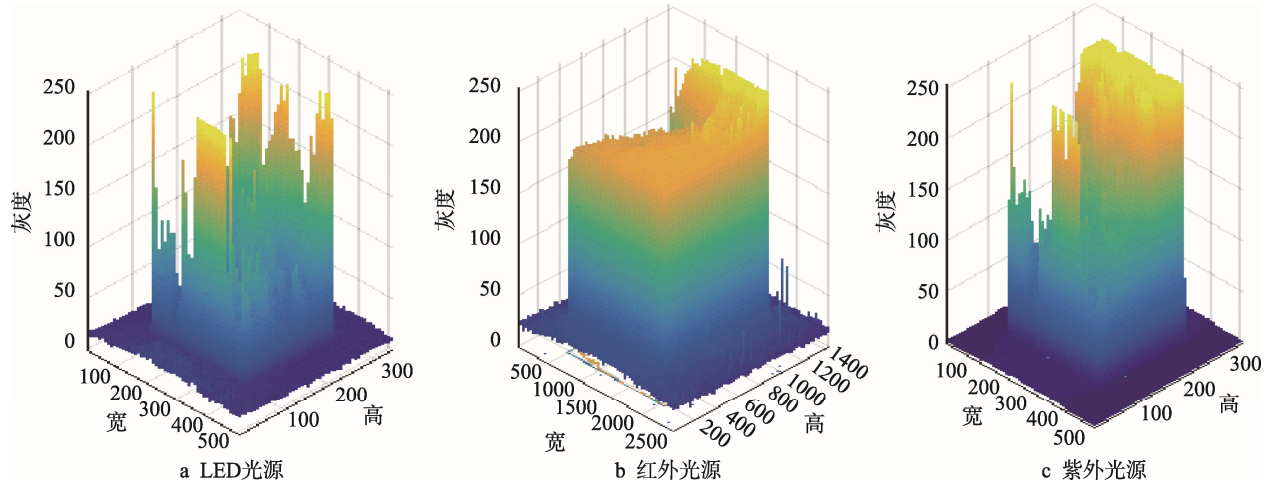

图 5　不同光源下翘边包装纸的三维曲面

Fig.5 3D surface drawing of the warped packaging paper under different light sources

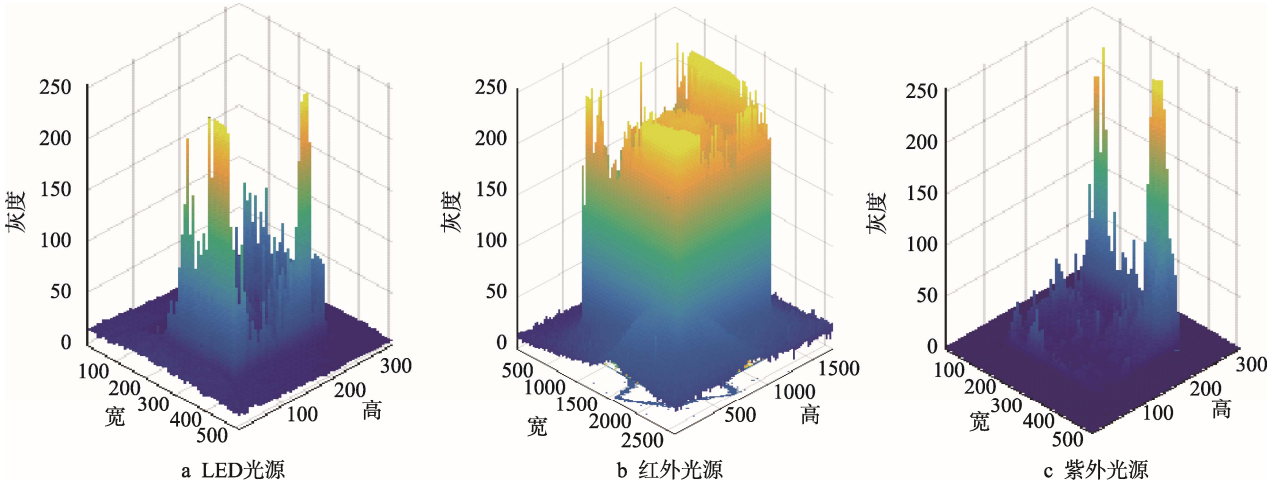

图 6　不同光源下露底包装纸的三维曲面

Fig.6 3D surface drawing of the outcrop packaging paper under different light sources

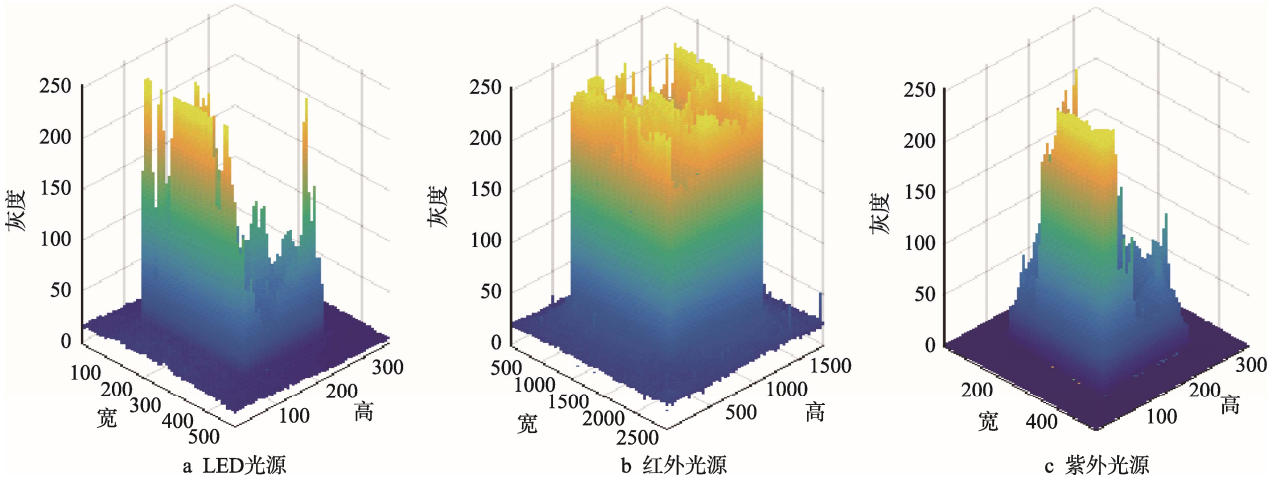

图 7　不同光源下拼接错误包装纸的三维曲面

Fig.7 3D surface drawing of wronglysplicedpackaging paper under different light sources

围的柱状体代表背景上光源的光强分布，最下面的小方块代表 LED 光源的等高曲线。由图可知，在 LED、红外、紫外 3 种类型光源下，破损包装纸的光强分别处于灰度区间[20，250]，[20，250]，[5，250]，灰度差分别是 230，230，245 个灰度级，鲁棒性都较好，但紫外光源下光强分布不均；划痕包装纸的光强分别处于灰度区间[20，140]，[20，250]，[5，250]，灰度差分别是 120，230，245 个灰度级，鲁棒性一般，但 LED 光源和紫外光源下光强分布不均匀；褶皱包装纸的光强分别处于灰度区间[20，150]，[20，250]，[5，180]，灰度差分别有 130，230，175 个灰度级，LED 光源下鲁棒性较好，但左侧光源亮度较低，紫外光源下鲁棒性较差；翘边包装纸的光强分别处于灰度区间[20，250]，[20，200]，[5，250]，灰度差分别是 230，180，245 个灰度级，鲁棒性都较好，红外光源下光强分布更均匀；露底包装纸的光强分别处于灰度区间[20，200]，[20，180]，[5，100]，灰度差分别是 180，160，95 个灰度级，LED 光源和紫外光源下鲁棒性较差；拼接错误包装纸的光强分别处于灰度区间[20，250]，[20，220]，[5，200]，灰度差分别是 230，200，195 个灰度级，红外光源下鲁棒性较好，且光照分布均匀。

以上研究结果表明，对于大多数缺陷包装纸，在 LED 光源和紫外光源照射下光强分布不均匀，且鲁棒性一般，红外光源照射下光强分布比较均匀良好且鲁棒性较好，即红外光源能满足不同缺陷类型内层包装纸的视觉识别条件。

2.2　光源形状的选定

由于光源形状的多样性和研究的复杂性，在确定光源类型后进行光源形状的选定。采用斑点检测方法检测 7 种形状红外光源下的内层包装缺陷，记录指定值数不为 0 的包装纸数量，识别率即识别出缺陷的包装纸数量与总包装纸数量的比例。不同形状光源照射下，每种缺陷包装纸缺陷的识别率见表 2。

表 2　不同形状光源下缺陷包装纸的识别率

Tab.2 Recognition rate of defective packaging paper under differently shaped light sources　　%

缺陷类型	条形光源	方形无影光源	同轴光源	环形光源	环形无影光源	环形高亮无影光源	环形低角度光源
破损	97.67	93.00	95.00	96.67	94.67	96.67	93.33
划痕	96.33	92.00	93.67	93.67	95.33	96.00	93.00
褶皱	96.00	91.67	95.67	92.67	92.67	94.33	92.00
翘边	97.00	93.67	94.33	96.33	95.00	96.00	94.00
露底	96.00	92.33	93.67	94.00	93.67	96.00	94.33
拼接错误	98.67	93.67	96.33	97.00	95.00	94.00	94.33
平均	96.95	92.72	94.78	95.06	94.39	95.50	93.50

由表 2 可知，在不同形状的光源下，不同内层包装纸缺陷识别率有所差别，但都能达到 90% 以上。不同形状光源照射下缺陷内包视觉检测的识别率曲线，见图 8。

由图 8 可知，条形光源照射下，不同缺陷包装纸识别率都是最高的，其次是环形高亮无影光源，识别率最低的是方形无影光源。不同形状光源对包装纸的识别率从大到小依次为：条形光源（96.95%）>环形高亮无影光源（95.50%）>环形光源（95.06%）>同轴光源（94.78%）>环形无影光源（94.39%）>环形低角度光源（93.50%）>方形无影光源（92.72%）。为继续探究不同形状光源对内层包装纸的影响，用 SPSS Statistics 软件对包装纸和不同形状光源的识别率进行 Spearman 相关性分析，结果见表 3。

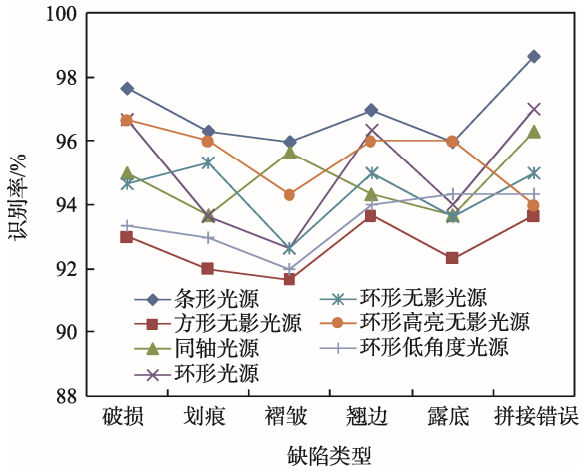

图 8　不同形状光源下缺陷包装纸的识别率曲线

Fig.8 Curveof recognition rate of defective packaging paper under differently shaped light sources

表 3　不同形状光源与缺陷包装纸的相关性分析

Tab.3 Correlation analysis of differently shaped light sources and defective packaging paper

光源类型	条形光源	方形无影光源	同轴光源	环形光源	环形无影光源	环形高亮无影光源	环形低角度光源
相关系数	0.954**	0.927**	0.418	0.951**	0.327	0.037	0.445
显著性 Sig.（双侧）	0.001	0.003	0.350	0.001	0.474	0.937	0.317

由表 3 可知，条形光源、方形无影光源、环形光源和包装纸的相关性呈极显著正相关，相关系数分别为 0.954，0.927，0.951，P 值均小于 0.01，条形光源和缺陷包装纸的相关性最强，即条形光源对不同缺陷类型的包装纸影响最大，虽然环形光源和方形无影光源对缺陷包装纸的影响比较显著，但它们的识别率较低，不适宜进行视觉识别缺陷检测。

2.3　照射位置的选定

在确定光源类型、光源形状这些参数后，进行光源照射位置的选定。实验选择前向照明技术检测内层包装纸的缺陷，采用低角度照明（45°）和高角度照明（60°）2 种角度进行实验（见图 9）。

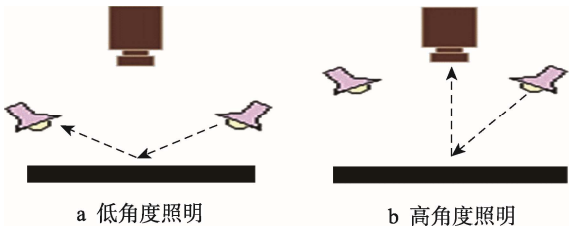

图 9　低角度和高角度照明

Fig.9 Low angle and high angle illumination

为分析低角度和高角度光源照射下，视觉检测各个缺陷包装纸的情况，根据斑点检测的指定值数是否为 0，若为 0 则有缺陷，记录不同类型缺陷的识别数并计算缺陷识别率，结果见表 4 和图 10。

由表 4 可知，在不同角度光源照射下，同一种缺陷包装纸的识别数不同，但不同缺陷包装纸的识别率都达到 90%以上，同一照射角度下，不同类型缺陷的包装纸识别数相差不大。

表 4　低角度和高角度照射下每个内层包装纸的识别数及识别率

Tab.4 Identification number and recognition rate of each inner packaging paper under low angle and high angle illumination

缺陷类型	样本总数	低角度（45°）		高角度（60°）	
		识别数	识别率/%	识别数	识别率/%
破损	104	97	93.27	100	96.15
划痕	104	98	94.23	101	97.12
褶皱	104	96	92.31	102	98.08
翘边	104	97	93.27	101	97.12
露底	104	96	92.31	100	96.15
拼接错误	104	96	92.31	101	97.12
平均	104	96.67	92.95	100.83	96.96

由图 10 可知，低角度光源照射下各个缺陷包装纸的识别率在 92%~95%之间，而高角度光源照射下各种缺陷包装纸的识别率在 96%~99%之间。这说明高角度光源照射下，视觉检测试验中不同类型缺陷包装纸的识别率更高。而且由表 4 可知，低角度光源照射下所有缺陷的总识别率为 92.95%，而高角度光源照射下所有内层包装纸的总识别率为 96.96%。这说明在高角度光源照射下，视觉系统对不同缺陷包装纸的图像采集效果较好。

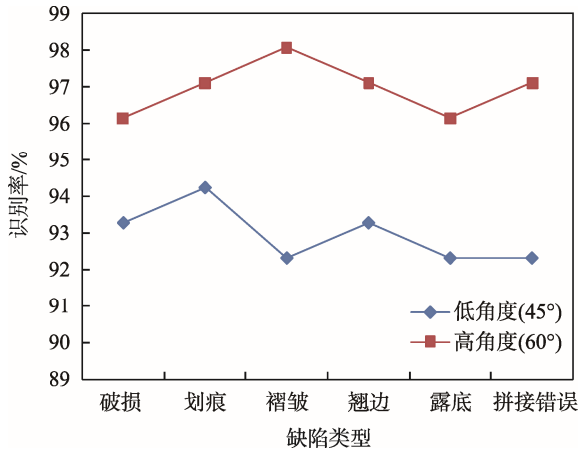

图 10　低角度和高角度照射下缺陷包装纸视觉检测的识别率

Fig.10 Recognition rate of visual inspection of defective packaging paper under low angle and high angle illumination

表 5　不同角度光源与缺陷包装纸的相关性分析

Tab.5 Correlation analysis of different angle light sources and defective packaging paper

不同角度	低角度（45°）	高角度（60°）
相关系数	0.609	0.770*
显著性 Sig.（双侧）	0.147	0.043

用 SPSS Statistics 软件对包装纸和不同角度光源的识别率进行 Spearman 相关性分析，结果见表 5。由表 5 可知，不同角度光源和缺陷包装纸都呈正相关关系，低角度光源和缺陷包装纸的相关系数为 0.609，P=0.147>0.05，呈不显著影响，高角度光源和缺陷包装纸的相关系数为 0.770，P=0.043<0.05，呈显著影响。显然高角度光源照明对缺陷包装纸的视觉检测不仅识别率高，而且识别精度较高，缺陷识别采用高角度照明光源。

2.4　优化应用验证

经过以上分析，采用红外条形光源高角度照射条件对缺陷包装纸进行在线检测验证。在某食品厂选取已安装机器视觉系统的包装机组作为实验设备，实验前光源条件为 LED 环形光源，调整为红外条形高角度光源后，1 个月内每隔 1 天进行 1 次缺陷识别，见表 6。

优化照明条件后，视觉系统在线检测内包的识别率稳定在 99%左右，与之前采用的 LED 环形光源相比，识别率提高 0.51%。这说明优化后的照明条件可以提高采集图像的质量，因此有效提高了内层包装的缺陷识别率。

表 6　9 月内包装视觉识别情况

Tab.6 Visual recognition of inner packaging paper in September

序号	测试量	优化前识别数	优化后识别数	差值	优化前识别率/%	优化后识别率/%	差值/%
1	24350	23862	24029	167	97.99	98.68	0.69
2	27832	27374	27514	140	98.36	98.86	0.50
3	30533	30072	30166	94	98.49	98.80	0.31
4	28609	28082	28268	186	98.16	98.81	0.65
5	25204	24752	24873	121	98.21	98.69	0.48
6	35650	35082	35281	199	98.41	98.97	0.56
7	32044	31447	31630	183	98.14	98.71	0.57
8	38162	37489	37613	124	98.24	98.56	0.33
9	40350	39701	39876	175	98.39	98.83	0.43
10	36383	36112	36281	169	99.26	99.72	0.47
11	37215	36943	37129	186	99.27	99.77	0.50
12	29371	29115	29287	172	99.13	99.71	0.59
13	31520	31239	31383	144	99.11	99.57	0.46
14	29879	29615	29732	117	99.12	99.51	0.39
15	36327	36010	36214	204	99.13	99.69	0.56
平均值	32229	31786	31951.73	166	98.63	99.12	0.51

3　结语

通过不同光源对缺陷特征的识别研究，实现了智能检测系统中光源照射条件由经验主导转变为理论主导，为提高内层包装纸缺陷特征的图像采集质量提供了理论依据，有利于提高缺陷识别率。研究表明，红外光源照射下包装纸成像光强分布均匀，鲁棒性较好，为缺陷检测最适光源类型；条形光源对缺陷包装纸的识别率（96.95%）最高，与包装纸呈极显著相关，相关系数为 0.954；高角度（60°）照明位置内包识别率达 96.96%，与缺陷包装纸呈显著相关，相关系数为 0.770。选用红外条形高角度光源对内层包装在线检测，缺陷识别率高达 99%，与 LED 环形光源相比，

识别率提高 0.51%。在实际生产中，机器视觉识别系统可选用红外条形高角度光源，使包装纸的图像采集效果更好，提高缺陷检测精度，后期企业可用此识别系统查找缺陷原因，调整机器参数，减少内层包装纸缺陷，提高包装合格率。

参考文献：

[1] 王飞. 机器视觉技术发展及其工业应用[J]. 电子技术与软件工程, 2018(16): 246.
WANG Fei. Development of Machine Vision Technology and Its Industrial Application[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2018(16): 246.

[2] 胥磊. 机器视觉技术的发展现状与展望[J]. 设备管理与维修, 2016(9): 7—9.
XU Lei. Development Status and Prospect of Machine Vision Technology[J]. Equipment Management and Maintenance, 2016(9): 7—9.

[3] 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 Source in Machine Vision System[J]. Journal of Luoyang Teachers College, 2014, 33(8): 45—49.

[4] 任斌, 程良伦. AOI 机器视觉系统中检测光源的分析和设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25(27): 42—44.
REN Bin, CHENG Liang-lun. Analysis and Design of Detection Light Source in AOI Machine Vision System[J]. Microcomputer Information, 2009, 25(27): 42—44.

[5] 王增琴. 印刷检测仪采集图像的质量提升[J]. 山西电子技术, 2018(3): 23—26.
WANG Zeng-qin. Quality Improvement of Images Collected by Printing Detectors[J]. Shanxi Electronic Technology, 2018(3): 23—26.

[6] 李智慧. 表面缺陷检测中工件与光源相机位置关系研究[J]. 电子科技, 2018, 31(5): 66—68.
LI Zhi-hui. Research on the Positional Relationship between Workpiece and Light Source Camera in Surface Defect Detection[J]. Electronic Technology, 2018, 31(5): 66—68.

[7] 常青. 机器视觉识别技术[J]. 家具, 2011(3): 105—108.
CHANG Qing. Machine Vision Recognition Technology[J]. Furniture, 2011(3): 105—108.

[8] 骆伟岸. 面向机器视觉应用的智能光源设计与优化研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2018.
LUO Wei-an. Design and Optimization of Intelligent Light Source for Machine Vision Applications[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2018.

[9] 张巧芬, 高健. 机器视觉中照明技术的研究进展[J]. 照明工程学报, 2011, 22(2): 31—37.
ZHANG Qiao-fen, GAO Jian. Research Progress of Lighting Technology in Machine Vision[J]. Journal of Lighting Engineering, 2011, 22(2): 31—37.

[10] 尹中信, 王全良. 机器视觉系统中的照明优化设计[J]. 微计算机信息, 2010, 26(7): 129—131.
YIN Zhong-xin, WANG Quan-liang. Lighting Optimization Design in Machine Vision System[J]. Microcomputer Information, 2010, 26(7): 129—131.

[11] MATSUSHIA Y, YAMASHITA Y. Effect of a Stepwise Lighting Method Termed "Stage Reduced Lighting" Using LED and Metal Halide Fishing Lamps in the Japanese Common Squid Jigging Fishery[J]. Fish Sci, 2012, 78: 977—983.

[12] 任小川, 王晶. 卷烟条盒包装质量检测机器视觉系统设计[J]. 控制工程, 2006(S2): 58—60.
REN Xiao-chuan, WANG Jing. Design of Machine Vision System for Quality Inspection of Cigarette Box Packaging[J]. Control Engineering, 2006(S2): 58—60.

[13] 李定川. 机器视觉光源基础及选型指导(三)[N]. 电子报, 2018-08-05(009).
LI Ding-chuan. Machine Vision Light Source Foundation and Selection Guide (3)[N]. Newsletter, 2018-08-05(009).

[14] SIECZKA E J, HARDING K G. Light Source Design for Machine Vision[C]// Optics, Illumination, & Image Sensing for Machine Vision VI. International Society for Optics and Photonics, 1992.

[15] 苑玮琦, 毕天宇. 玻璃质量在线视觉检测系统光源的设计[J]. 应用光学, 2015, 36(3): 369—375.
YUAN Wei-qi, BI Tian-yu. Design of Light Source for Glass Quality Online Visual Inspection System[J]. Applied Optics, 2015, 36(3): 369—375.

[16] 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.

[17] 沈虹, 刘卜源. 机器视觉系统中采集高质量图像方法的研究[J]. 信息技术, 2012, 36(2): 79—81.
SHEN Hong, LIU Bu-yuan. Research on the Method of Collecting High Quality Images in Machine Vision System[J]. Information Technology, 2012, 36(2): 79—81.

[18] 杨勇, 刘勇军. 基于电涡流传感器的烟包包装纸缺陷检测系统设计[J]. 现代制造工程, 2018(8): 128—133.
YANG Yong, LIU Yong-jun. Design of Defect Detection System for Cigarette Package Paper Based on Eddy Current Sensor[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2018(8): 128—133.

[19] KUMARSK. Lighting Design for Machine Vision Application, Image and Vision Computing, 2006, 24: 720—726.

[20] 王雪娇, 邹波. 视觉检测背光源强度评估方式[J]. 内燃机与配件, 2018(16): 208—210.
WANG Xue-iao, ZOU Bo. Method of Visual Detection Backlight Intensity Evaluation[J]. Internal Combustion Engine and Accessories, 2018(16): 208—210.

[21] 刘畅, 乔建军. 铝箔纸端部折叠缺陷的检测与剔除[J]. 中国科技投资, 2013(Z2): 150.
LIU Chang, QIAO Jian-jun. Detection and Elimination of Folding Defects in Aluminum Foil Ends[J]. China Science and Technology Investment, 2013(Z2): 150.