

烟草设备

刘浩, 贺福强, 李荣隆, 等. 基于机器视觉的卷烟小盒商标纸表面缺陷在线检测技术[J]. 中国烟草学报, 2020, 26 (5). LIU Hao, HE Fuqiang, LI Ronglong, et al. On-line detection technology of label paper surface defects of small cigarette packs based on machine vision [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26 (5). doi: 10.16472/j.chinatobacco.2020.101

基于机器视觉的卷烟小盒商标纸表面缺陷在线检测技术

刘浩¹, 贺福强¹, 李荣隆¹, 龚立朋², 聂文豪², 何昊¹

1 贵州大学机械工程学院, 贵阳市花溪区花溪大道南段2708号 550025;

2 贵州西牛王印务有限公司, 贵阳市云岩区改茶工业区内坝路53号 550025

摘要: 【目的】为检测卷烟小盒商标纸表面多种质量缺陷, 提高缺陷检测准确率和检测速度。【方法】以标准图像的定位点通过偏移和相似度量实现快速定位配准, 并改进图像差分算法进行实验。【结果】(1) 待测图像与标准图像存在一定的偏移, 其中最大偏移量为 3.6 mm, 最大偏移角度为 2.1°, 最快配准 99 张图像只需 2.484 s。(2) 传统差分算法检测图像速度为 18.24 s, 改进算法检测最快速度为 15.62 s, 改进后的平均准确率提高了 15.23%。【结论】卷烟小盒商标纸表面缺陷在线检测技术速度快、准确率高, 减轻了人工检测商标纸的工作量。

关键词: 商标纸缺陷; 在线检测; 机器视觉; 快速配准

现有的卷烟小盒商标纸主要是由高速流水线生产, 由于材质、生产环境、加工设备等复杂因素影响, 卷烟小盒商标纸避免不了有破损、歪斜、污点等表面质量问题, 针对高速小盒烟包生产中出现的外观缺陷, 设计了一种烟包检测系统^[1]。通过机器视觉技术结合自动控制、光学、机械设计等知识综合为一体, 实现效果较好的包装机条烟外观视觉检测系统^[2], 而且可检测的商标纸也越来越多样化。针对卷烟小盒商标纸拉线的问题, 还提出了数字图像处理算法^[3], 比如图像滤波、图像匹配、图像分割等多种算法^[4], 通过待测图像的滤波降噪^[5]、图像增强^[6]、目标分割^[7]和目标定位^[8]等关键步骤实现了卷烟小盒商标纸的质量检测, 但是在图像处理速度上比较欠缺, 值得改进算法和深入研究。金怀国^[9]通过边缘检测、长度测量、轮廓计算、ROI 叠加偏移量寻找卷烟小盒商标纸表面是否有缺陷图像, 在速度方面支持 1000 包/min 的检测, 能够较好地检测外观翘边、反包、受损等质量缺陷, 这也是人工检测无法达到的检测速度^[10]。为了提升卷烟小盒商标纸检测的效果和速度,

技术人员从视觉检测设备上进行改进和优化^[11-13], 但还是存在检测速度慢、准确率不高的问题。因此, 本文基于机器视觉结合实际检测分析, 设计了一种卷烟小盒商标纸在线检测技术, 以期提高检测精度及检测效率。

1 视觉检测系统与检测流程

1.1 视觉检测系统结构

机器视觉检测的首要任务是获得完整清晰的图像, 以在线检测为基础的卷烟小盒商标纸进行实时检测, 为获得清晰图像就必须有光源稳定、变频可控的工业相机来采集图像, 其中缺陷特征随机分布在卷烟小盒商标纸的文字、数字、面阵条形码和彩色图案上, 待测卷烟小盒商标纸通过皮带快速传送, 同时旋转编码器测量转速来控制工业相机的曝光频率, 相机在稳定的光照环境下采集图像并传输至图像处理系统进行识别和分析, 实现卷烟小盒商标纸快速检测, 系统结构设计图如图 1 所示。

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2018]2172)

作者简介: 刘浩(1995—), 硕士研究生, 主要研究方向: 机器视觉、缺陷检测, Tel: 15329202279, Email: 1073866795@qq.com

通讯作者: 贺福强(1975—), 博士, 副教授, 主要研究方向: 机器视觉与模式识别、缺陷检测, Email: lh95nb@163.com

收稿日期: 2020-04-15; **网络出版日期:** 2020-08-24

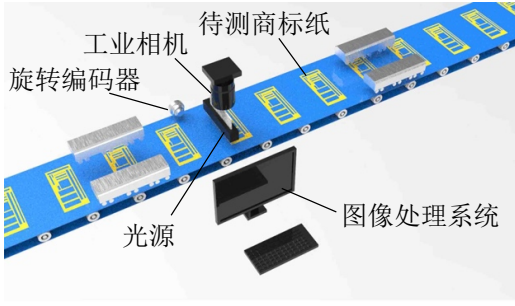


图1 检测系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of detection system structure

1.2 缺陷检测流程

图像采集系统获取标准模板图像，将其保存至模板库中，与采集到的待测图像进行快速配准，通过偏移检测实验统计图像偏移量和时间。以标准图像与待测图像进行梯度和灰度差分，再与改进算法后的实验对比分析，其流程如图2所示。首先采集标准图像，通过图像处理系统的预处理得到图像信息并标记易分辨的特征区域，然后以预处理后的待测图像与标准图像进行配准，通过传统差分算法寻找缺陷发现处理效果不佳，针对算法进行改进实现高速度高准确率的缺陷检测。

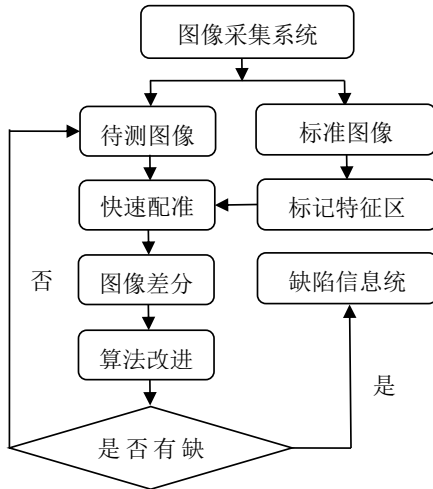


图2 缺陷检测流程

Fig. 2 Defect detection process

2 缺陷在线检测技术

2.1 快速定位配准

卷烟小盒商标纸主要有形状、颜色和纹理特征。若以颜色特征配准需要复杂程度高且耗时长算法，因此选择基于灰度图像的配准。为了实现位置偏移矫

正的快速配准，提出了基于灰度图像的特征区域快速模板配准。选定标准模板图像的2个含有特征的定位区域，分别设为左上区域A(x,y)，右下区域B(x,y)。基于灰度的配准方程如(1)所示。其中，S为相似度量，r、c为行、列值，t(x,y)代表模板中像素点的灰度值，f(r+x,c+y)代表待测像素点的灰度值，T为像素点矩阵。

$$S(r,c) = s\{t(x,y), f(r+x,c+y); (x,y) \in T\} \quad (1)$$

为更好地体现模板与图像的灰度值关系，将相似度量具体化得到方程(2)。其中，模板与图像灰度差的平方和为SSD。

$$SSD(r,c) = \frac{1}{n} \sum |t(x,y) - f(r+x,c+y)|^2_{(x,y) \in T} \quad (2)$$

相似度量S值越接近0，可认为标准图像与待测图像越相似。若两者图像不相似，会得到较大的SSD值。

当待测图像和标准图像在空间位置有偏差，A、B区域通过平移方程(3)和旋转方程(4)实现图像的配准。以A、B横向和纵向的变化值 $t_{x,y}(A)$ 、 $t_{x,y}(B)$ 计算横向平均平移量 t_x 和纵向平均平移量 t_y 。同样地，可用i和j两点的纵向值 y_i 、 y_j 、横向值 x_i 、 x_j 和发生偏移量 t_i 、 t_j 计算旋转角 $\theta_{i,j}$ 。(5)计算平均旋转角 θ 。

$$t_{x,y} = \frac{t_{x,y(a)} + t_{x,y(b)}}{2} \quad (3)$$

$$\theta_{i,j} = \arctan \frac{(y_j + t_j) - (y_i + t_i)}{(x_j + t_j) + (x_i + t_i)} - \arctan \frac{y_j - t_j}{x_j - x_i} \quad (4)$$

$$\theta = \frac{\theta_i + \theta_j}{2} \quad (5)$$

2.2 基于梯度和灰度差分

缺陷在线检测的过程受多种环境因素影响，阈值固定的帧间差分法不能适应环境，而自适应阈值的算法复杂和处理速度慢，为了适应卷烟小盒商标纸图像处理下的快速阈值分割算法，本论文以效果和速度较好的Sobel算子得到梯度图像，并通过灰度差分计算。方程(6)通过像素点f(x,y)与Sobel算子HX、HY计算出近似梯度幅值 $f_n(x,y)$ 。方程(8)中相减可得到差分图像的近似灰度图，再以经验设定方程(9)所需的阈值T以判定差分二值图 $B_n(x,y)$ 。当 $B_n(x,y) = 1$ ，就可判定该像素点为缺陷。

$$f_n(x, y) = |f(x, y) * H_x| + |f(x, y) * H_y| \quad (6)$$

$$H_x = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad H_y = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$D_n(x, y) = |f(x, y) - f_n(x, y)| \quad (8)$$

$$B_n(x, y) = \begin{cases} 1, D_n(x, y) \geq T \\ 0, D_n(x, y) < T \end{cases} \quad (9)$$

2.3 差分改进算法

差分算法以像素点逐一相减, 造成了速度较慢, 不满足在线快速检测的要求。为实现像素点快速差分, 提出一种分区域检测方法, 主要是减少差分的次数和

时间, 从而提高检测速度和准确率。构造分区域检测的过程如下。

(1) 将图像设为 $n*m$ 的矩阵, n 、 m 值根据检测精度来设大小。满足 n 、 m 值越大, 区域包含的像素点越少、准确度越高, 然而检测时间也会越长。

(2) 以 a 中 $A1$ 差分计算, 若 $B_n(x, y)=1$, 继续下一步 b 。反之, 以 $A2$ 继续差分。

(3) 以 b 中 $A1$ 附近的 8 个 B 差分计算, 若均有 $B_n(x, y)=1$, 继续下一步 c 。反之, 以 $A2$ 继续差分。

(4) 以 c 中 B 附近的 16 个 C 差分计算, 若均有 c 、 d 、 e 、 f 的 $B_n(x, y)=1$, 则 $A1$ 存在缺陷并标记。以 $A1$ 的每个像素点差分计算并统计缺陷信息。

(5) 反之, 若 $A1$ 区域无缺陷, $A1$ 像素点不需要差分计算。其余 An 重复 (1) ~ (4) 直到整幅图像完成检测。

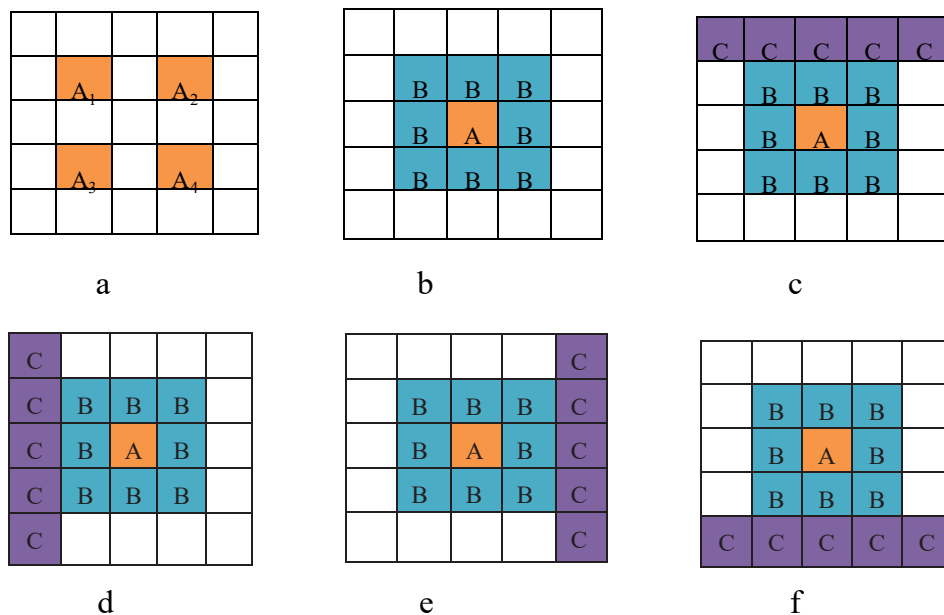


图3 分区域算法原理

Fig. 3 Principle of region algorithm

3 试验效果验证

3.1 试验设计

本文提出的方法所用的软件是 Matlab2016b, 数据处理器是 Intel Xeon E5-1620、主频为 3.6 GHz CPU、16 GB 内存。主要是针对两个实验进行测试:

①图像的快速配准和偏移检测实验。②基于梯度差分和改进算法的缺陷检测对比。

首先, 用标准图像与待检测图像进行快速图像配

准。选择标准图像上含有字符特征的 A、B 区域作为定位点, 通过计算方程 (2) 找到待测图像的定位点, 然后以方程 (3-5) 计算图像偏移实现快速配准。图 4 为标记定位区域。

缺陷检测实验是以梯度和灰度差分算法、差分改进算法通过实验记录信息, 然后与人工检测效果对比验证。



图 4 标记定位区域

Fig. 4 Detection of image offset under test

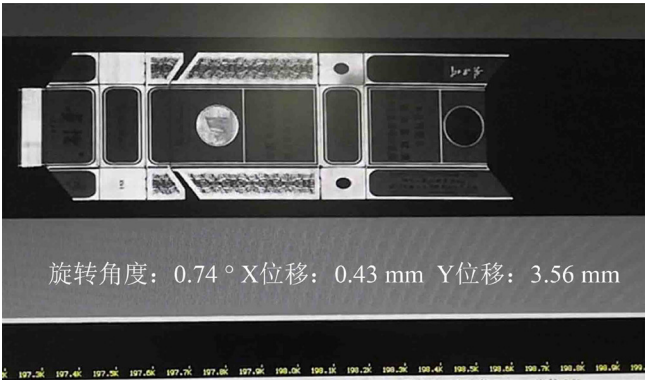


图 5 待测图像偏移检测

Fig. 5 Detection of offset of image to be tested

3.2 应用效果

3.2.1 快速配准检测结果

通过实验统计每张图像的偏移量和偏移角度，验证了图像偏移在一定的范围以内，满足最大值偏移量为 3.6 mm，最大偏移角度绝对值为 2.1°。每张图像配准平均时间小于 30 ms，最快速度 2.484 s 配准 99 张图像，具有较快的速度和准确率。图 5 为图像横向和纵向的偏移量和旋转角度值。

统计图像快速配准的偏移检测实验结果如表 1 所示，待测卷烟小盒商标纸在空间位置上存在一定量的偏移，通过方程（3）、（4）可计算各特征在横向、

纵向的偏移量以及旋转角度，分析数据可知：偏移量越大，图像配准耗时也会增加；旋转角度变化量较大时可能会造成配准难的问题。

3.2.2 缺陷检测实验

为验证改进算法的适用性和稳定性，以 4 种各 100 张卷烟小盒商标纸进行实验，各有 50 张缺陷的小盒分布在 4 种小盒中，有缺陷的小盒中图案、文字、条码区域缺陷随机分布，统计算法检测的缺陷信息和人工检测缺陷结果得到表 2。

表 1 待测图像的偏移参数和耗时

Tab. 1 The offset and time consumption of the image to be tested

类型	$A(x, y)$		$B(x, y)$		$C(x, y)$		θ		耗时	成功\失败\总数
	t_x	t_y	t_x	t_y	t_x	t_y	θ_i	θ_j		
贵烟小盒	[-2.1, 1.6]mm		[-1.9, 2.7]mm		[-1.7, 3.6]mm		[-1.26°, 0.87°]		2.862 s	98\2\100
黄果树小盒	[-1.7, 1.2]mm		[-1.4, 1.6]mm		[-1.9, 1.8]mm		[-2.10°, 1.24°]		2.537 s	99\1\100
磨砂小盒	[-1.4, 1.8]mm		[-1.6, 1.3]mm		[-2.1, 1.3]mm		[-1.43°, 1.21°]		2.484 s	99\1\100
遵义小盒	[-1.2, 2.4]mm		[-2.2, 1.5]mm		[-0.9, 1.2]mm		[-0.85°, 0.96°]		2.596 s	100\0\100

表 2 传统与改进算法实验对比

Tab. 2 Comparison of traditional and improved algorithm experiments

个\s

类型	图案区域			文字区域			条码区域		
	传统算法	改进算法	人工检测	传统算法	改进算法	人工检测	传统算法	改进算法	人工检测
	缺陷数\耗时	缺陷数\耗时	缺陷数	缺陷数\耗时	缺陷数\耗时	缺陷数	缺陷数\耗时	缺陷数\耗时	缺陷数
贵烟小盒	17\6.13	20\5.38	22	26\7.08	32\5.69	39	5\5.03	6\4.55	6
黄果树小盒	13\5.98	18\5.34	19	7\5.95	7\4.82	10	22\6.16	27\5.44	29
磨砂小盒	14\6.39	22\5.46	25	12\6.24	16\5.31	19	15\6.01	16\5.33	17
遵义小盒	10\5.87	15\5.25	17	22\7.37	25\5.58	31	9\5.48	12\5.17	12

表 3 实验数据分析
Tab. 3 Experimental data analysis

类型	缺陷准确率 /%						平均准确率 /%		总耗时 /s	
	图案区域		文字区域		条码区域		总区域			
	传统算法	改进算法	传统算法	改进算法	传统算法	改进算法	传统算法	改进算法	传统算法	改进算法
贵烟小盒	77.27	90.91	66.67	82.05	83.33	100.00	75.76	90.99	18.24	15.62
黄果树小盒	68.42	94.73	70.00	70.00	81.48	93.10	73.3	85.94	18.09	15.65
磨砂小盒	56.00	88.00	63.16	84.11	88.24	94.12	69.13	88.74	18.64	16.10
遵义小盒	58.82	88.24	70.97	80.65	75.00	100.00	68.26	89.63	18.72	16.00

根据表 2 中的算法检测的缺陷数和耗时分析计算得到表 3 的缺陷准确率、平均缺陷准确率和总耗时。其中,缺陷准确率=算法检测缺陷数/人工检测缺陷数,传统算法的平均准确率=(图案区域传统算法的缺陷准确率+文字区域传统算法的缺陷准确率+条码区域传统算法的缺陷准确率)/3,改进算法的平均准确率同理。

根据表 3 实验数据分析可知,改进算法检测 100 张贵烟小盒商标纸的最快检测速度为 15.62 s,而传统算法的检测速度为 18.24 s;当传统算法检测 100 张黄果树小盒商标纸的最快检测速度为 18.09 s 时,改进算法的检测速度为 15.65 s,因此改进算法在检测速度上有明显优势。在缺陷检测准确率方面,当检测磨砂小盒的图案区域时,传统算法的缺陷准确率为最低值 56%,而改进算法的缺陷准确率为 88%,是因为磨砂小盒反光效果较强,造成了传统算法的准确率偏低;改进算法检测条码区域时出现 2 次 100%,而传统算法的缺陷准确率均在 82% 上下浮动,验证了改进算法的缺陷准确率更可靠;当检测贵烟小盒时改进算法检测效果最佳,改进算法比传统算法的平均准确率提高了 15.23%。因此,改进算法在缺陷准确率和平均准确率两方面,相比于传统算法更具可靠性和稳定性。

4 结论

本文根据高速度、高准确率的检测要求设计了一种卷烟小盒商标纸缺陷在线检测系统。主要从图像的快速定位配准和灰度差分进行深入研究,并提出了效果较好的改进算法,以标准模板图像与待测图像进行实验对比表明:(1)当待测图像在空间位置上有偏移量时,偏移量越大、旋转角度越大,都会增加快速

定位配准难度和消耗的时间;(2)传统的差分算法不适应图案较复杂下小盒烟包的阈值分割,通过改进差分算法能够有效地减少差分次数和时间,具有更好的鲁棒性。

参考文献

- [1] 沈宇航. 高速小盒烟包外观质量检测系统设计 [J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(09):69-72.
SHEN Yuhang. Design of the appearance quality inspection system for high-speed small cigarette packs [J]. Mechanical Design and Manufacturing Engineering, 2017, 46(09):69-72.
- [2] 蔡培良, 何邦贵, 华卫, 等. BV 包装机条烟外观质量检测装置的设计 [J]. 包装工程, 2018, 39(23):143-150.
CAI Peiliang, HE Banggui, HUA Wei, et al. Design of the Appearance Quality Inspection Device for Bar Cigarette Packing Machine [J]. Packaging Engineering, 2018, 39(23):143-150.
- [3] 赵冀, 郑启旺, 徐邓, 等. 烟条外观检测软件系统设计 [J]. 机械制造与自动化, 2012, 41(2): 132-134.
ZHAO Ying, ZHENG Qiwan, XU Deng, et al. Soft-ware Design of Cigarette Appearance Detection System[J]. Machine Building & Automation, 2012, 41(2): 132-134.
- [4] 刘欢, 温晶晶. 基于 MATLAB 的香烟小包装图像处理研究 [J]. 科技视界, 2019(27):42-44.
LIU Huan, WEN Jingjing. Study on Image Processing of Cigarette Package Based on MATLAB [J]. Science and Technology Vision, 2019(27):42-44.
- [5] 潘安岳, 覃成林, 曾令金. GD 包装机条外透明纸检测装置的设计应用 [J]. 烟草科技, 2008(9): 27-28.
PAN Anyue, QIN Chenglin, ZENG Lingjin. Design and Application of Carton Film Monitor in GD Packing Line[J]. Tobacco Science & Technology, 2008(9): 27-28.
- [6] 罗彩丽. GDX2 包装机组 CH 小包透明纸检测系统的设计应用 [J]. 烟草科技, 2013(3): 25-26.
LUO Caili. Design and Application of Packet Film Detection System for CH of GDX2 Packing Line[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(3): 25-26.
- [7] 周开辟, 卢荣德, 蔡华川. 如何改善 CH 机的小盒透明纸包装质量 [J]. 包装食品机械, 2005, 23(1): 43-46.
ZHOU Kaipi, LU Rongde, CAI Huachuan. How to Improve the

- Packing Quality of CH Cellophane Packer[J]. Packaging and Food Machinery, 2005, 23(1): 43-46.
- [8] Song L, Li X, Yang Y, et al. Detection of Micro-Defects on Metal Screw Surfaces Based on Deep Convolutional Neural Networks[J]. Sensors, 2018, 18(11).
- [9] 金怀国. 基于 FOCKE 机型的烟包包装质量检测系统设计 [J]. 电子产品世界, 2020, 27(05):68-70.
JIN Huaiguo. Design of cigarette package quality inspection system based on FOCKE model [J]. Electronic Product World, 2020, 27(05):68-70.
- [10] 黄力明. 微粒群优化和区域生长结合的图像分割方法 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(28):193-195+204.
HUANG Liming. An image segmentation method combining particle swarm optimization and regional growth [J]. Computer engineering and applications, 2009, 45(28):193-195+204.
- [11] Zou Y, Du D, Chang B, et al. Automatic weld defect detection method based on Kalman filtering for real-time radiographic inspection of spiral pipe[J]. NDT & E International, 2015, 72(jun.):1-9.
- [12] Zhang E, Chen Y, Gao M, et al. Automatic Defect Detection for Web Offset Printing Based on Machine Vision[J]. Applied sciences, 2019, 9(17):3598.
- [13] Zhao R, Niu X, Wu Y, et al. Optimizing CNN-based object detection algorithms on embedded FPGA platforms[C]// International Symposium on Applied Reconfigurable Computing. Springer, Cham, 2017: 255-267.

On-line detection technology of label paper surface defects of small cigarette packs based on machine vision

LIU Hao¹, HE Fuqiang¹, LI Ronglong¹, GONG Lipeng², NIE Wenhao², HE Hao¹

¹ School of Mechanical Engineering, Guizhou University, No. 2708, South Section of Huaxi Avenue, Huaxi District, Guiyang City, Guiyang 550025, China;

² Guizhou Xiniuwan printing Co. Ltd, No. 53 Houba Road, Gaicha Industrial Zone, Yunyan District, Guiyang City, Guiyang 550025, China

Abstract: [Objective] This study aims to detect a variety of quality defects on the surface of the label paper of small cigarette packs, and improve the accuracy and speed of defect detection. [Methods] The positioning points of standard images are used to realize rapid positioning and registration through offset and similarity measures and the image difference algorithm is improved. [Results] (1) There is a certain offset between the image to be tested and the standard image, where the maximum offset is 3.6 mm and the maximum offset angle is 2.1°. It only takes 2.484 s to realize registration of 99 images. (2) The detection of the traditional difference algorithm can be finished within 18.24 s, and that of the improved algorithm can be finished within 15.62 s. The average accuracy of the improved algorithm is increased by 15.23%. [Conclusion] The on-line detection technology for the surface defects of the label paper of small cigarette packs is fast and accurate, which reduces the workload of manual label paper detection.

Keywords: label paper defect; on-line detection; machine vision; fast registration

*Corresponding author. Email: lh95nb@163.com