

基于图像处理的包装印刷缺陷检测方法

周继彦, 余正泓

(广东省科技干部学院, 珠海 519090)

摘要: **目的** 为了提高包装印刷品缺陷检测的准确度和适用性, 基于图像处理设计一种包装印刷缺陷检测方法。**方法** 采用几个关键步骤包括图像配准、配准区域自动选取、缺陷检测等, 并根据包装印刷品图像特征选择配准区域, 同时给出一种快速图像配准算法, 利用改进差影匹配算法实现缺陷检测; 基于 DSP 和 FPGA 设计控制系统硬件平台, 主要包括控制单元、图像采集与处理单元、成像单元等, 并进行实验研究。**结果** 所述方法能够准确识别出细微的刀丝、拉条类缺陷。**结论** 该方法具有较高的可靠性、通用性, 可实现包装印刷品缺陷的快速检测。

关键词: 图像配准; 缺陷检测; DSP+FPGA

中图分类号: TS851⁺.6; TP391 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)09-0240-05

Package Printing Defect Detection Method Based on Image Processing

ZHOU Ji-yan, YU Zheng-hong

(Guangdong Institute of Science and Technology, Zhuhai 519090, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the accuracy and applicability of package printing defect detection, and design a detection method based on image processing. Several key steps, including image registration, automatic selection of registration areas, and defect detection were adopted. The registration area was selected according to the image features of package printing matter. At the same time, a fast image registration algorithm was presented. Then, the defect detection was achieved on the basis of the improved subtraction matching algorithm. The hardware platform of control system was designed based on DSP and FPGA, mainly including control unit, image acquisition and processing unit, imaging unit and so on. Finally, the experimental study was carried out. Experimental results showed that the described method could accurately identify the subtle defect, such as knife filament and brace. The method has higher reliability and universality, which can realize the rapid detection of package printing defects.

KEY WORDS: image registration; defect detection; DSP+FPGA

近年来,我国包装印刷品种类不断丰富,同时质量也得到了较大提高^[1-2]。由于印刷过程中的各种因素,使得正在流通或使用的包装印刷品依然存在多种缺陷和瑕疵^[3-4]。为避免带有缺陷或瑕疵的产品投入使用,主要采用抽样检测或印刷后目测分拣等方法去除缺陷品^[5-7],但是人工分拣比较容易受主观因素影响,而且效率较低、检测精度不高^[8]。另外,鉴于大批软包装材料在食品、药品包装等领域的应用日趋广泛,对应印刷设备多为卷筒型高速轮转印刷

机,采用传统方法已无法实现印刷缺陷的控制^[9-11],因此,诸多学者和企业高度重视利用新技术代替“人眼识别”,如机器视觉、图像处理等^[12]。“机器眼睛”检测能够有效地提高包装印刷缺陷或瑕疵检测的效率和准确率,已经在烟、酒、食品包装等领域广泛应用^[9]。虽然相关研究不断深入,但仍无法满足系统高精度、实时性等要求。杨祖彬、代小红等^[13]针对传统食品包装印刷缺陷检测系统中所采集图像和标准图像存在较大差异,提出了一种基于图像配准的食品包

收稿日期: 2016-12-02

基金项目: 2016 年广东省自然科学基金博士科研启动基金(2016A030310306); 2016 年珠海市先进装备制造与材料成形技术重点实验室重点基金(201601A); 2016 年广东省高等职业教育特色专业计划基金(2016GZPP055)

作者简介: 周继彦(1978—),女,硕士,广东省科技干部学院讲师,主要研究方向为计算机科学。

装印刷缺陷检测与实现方法，通过图像配准、图像缺陷检测、识别等步骤在一定程度上提高了系统可靠性与稳定性。张强、郝向阳等^[15]基于机器视觉实现了印刷图像色彩的在线检测，结合标准模板创建、图像配准、色彩空间转换克服了人工检测质量不稳定的问题；还提出了一种可用于机器视觉的图像配准快速算法，以提高产品包装印刷的检测速度。张琼、沈海宏等^[16]利用 HALCON 编程设计了一种无标记印刷图像质量检测方法，包括图像配准、相关区域选择、缺陷检测等步骤，实验结果表明检测效果比较理想。文中在现有研究的基础上，结合图像配准、配准区域自动选取、缺陷检测等方法，设计一种包装印刷缺陷检测方法，并通过实验验证所述方法的有效性。

1 检测方法

1.1 图像配准

为建立模板图像和采集图像之间对应关系，可基于特定配准算法实现图像配准。本质上，图像配准就是采用配准准则，进行相似性最佳搜索。文中所用图像配准类属于形状匹配，主要由特征空间、相似度量及搜索策略等 3 个方面组成。

1.1.1 特征空间和相似度量

特征空间是指从图像中获取可用于配准的特征信息，具体过程如下：首先，使用边缘算子，例如 Sobel 算子从待检图像和模板图像中提取边缘灰度图；然后，计算边缘灰度图中各点的关联方向向量。另外，相似度量可用于评价配准测试中的相关度。

在图像配准过程中，为评价配准程度需要创建一个相似度量作为配准参考数值。定义模板图像点集为 $P_i=(r_i, c_i)^T$ ，各点关联方向向量为 $d_i=(t_i, u_i)^T, i=1 \cdots n$ ，其模板图像中心点为 P ；定义待检图像内每点的方向向量为 $e_{r,c}=(v_{r,c}, w_{r,c})^T$ 。

配准过程中，首先计算待检图像点 $q=(r, c)^T$ 到模板图像中心点 P 的变换矩阵 A ；然后，按照变换矩阵 A 完成模板图像整体平移，变换后相应的模板图像点集可表示为 $P'_i=(r'_i, c'_i)^T$ ，关联方向向量可表示为 $d'_i=(t'_i, u'_i)^T$ ；最后，计算相似度量 s ，其为模板图像点集 P'_i 方向向量 d'_i 与待检图像方向向量 $e_{p'_i}$ 点积的和，可表示为：

$$s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d'_i{}^T e_{p'_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t'_i v_{r'_i, c'_i} + u'_i w_{r'_i, c'_i}) \quad (1)$$

式中： $r'_i=r+r_i, c'_i=c+c_i$ 。如果相似度量 s 满足系统阈值 s_{\min} ，那么就表示在点 $q=(r, c)^T$ 处至少存在一个实例与模板相匹配。

1.1.2 搜索策略

如图 1 所示，表示一种基于金字塔形图像数据结

构的分层搜索策略，具体过程可描述如下。

1) 计算模板图像和待检图像的图像金字塔，其层数适当。

2) 配准实例搜索，即在金字塔最顶层上首先实现一次与模板图像的完整配准。

3) 在图像金字塔次高层上进行上述配准结果映射，同时将配准结果周边区域设定为新搜索区域；在新区域进行新一轮配准，得到最新配准结果并将其映射到下一层。

4) 如此反复搜索，一直映射到金字塔最底层为止。由于图像金字塔每层的搜索区域均比较小，所以利用分层搜索可以高效地实现搜索，能够大大地降低运算量。

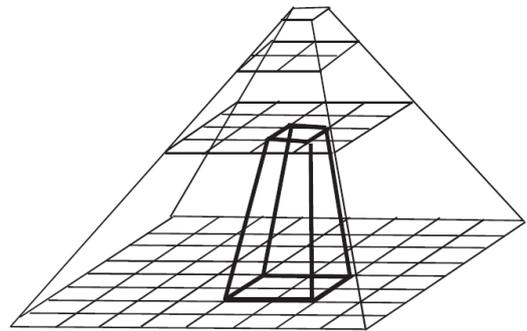


图 1 搜索策略
Fig.1 Search strategy

1.2 配准区域自动选取

配准算法主要在区域边缘进行配准。相对来说，配准区域选择不合适容易出现以下 2 种结果：如果区域过小，那么边缘信息相对较少，容易造成配准精度大幅降低，甚至会出现错误；如果区域过大，那么图像边缘的计算量会很大，严重影响配准速度和精度，另外，如果配准区域太小，还会出现边缘相近的情况，进而造成方向向量十分接近，影响配准精度。综上所述，为提高配准精度和速度，忽略覆盖整个图形或内含较小图形边缘的区域，只选择内含较大图形边缘的区域。

文中所使用区域特征主要包括圆形描绘子和矩形描绘子，以实现配准区域选择。具体过程为：①基于相关算法获取图像边缘以及连通区域，然后进行填充处理，进而得到实心区域；②针对上述实心区域，首先计算其面积，然后筛选出比预定面积阈值大的实心区域，即所选区域；③计算所选区域的圆形和矩形描绘子，并筛选大于描绘子阈值的区域；④如果所有区域均不符合条件，那么需要降低预设阈值，重复步骤②和③；⑤如此重复，筛选出合适实心区域为止，即可实现配准区域的自动选择。

1.3 缺陷检测

比较常用缺陷检测方法有模板匹配，大体可分为

差影匹配和相关匹配。其中差影匹配实时性好、运算简单。相对而言，相关匹配虽然准确率高，但是计算复杂而且实时性较差，故选用差影匹配。

如果差影结果用 $I(r, c)$ 表示，标准图像和待检图像分别用 $h(r, c)$ 和 $f(r, c)$ 表示，那么差影运算可描述为：

$$I_{\text{abs}}(r, c) = |f(r, c) - h(r, c)| \quad (2)$$

图像处理过程中，像素点的灰度值全部为正值。为得到完整缺陷图像，需要反映出差影运算的负差部分，所以需要二者差值取绝对值。通过对 $I_{\text{abs}}(r, c)$ 进行阈值处理，就能够提取到缺陷图像 $g(r, c)$ ：

$$g(r, c) = \begin{cases} b_1, & I_{\text{abs}} \geq g_{\text{thred}} \\ b_0, & I_{\text{abs}} < g_{\text{thred}} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $g(r, c)$ 为一个黑白二值图； $b_1=1$ 表示白， $b_0=0$ 表示黑； g_{thred} 为阈值；如果 $g(r, c)$ 的数值大于 g_{thred} ，则可以判定为缺陷。直接采用上述差影匹配算法，所得缺陷图像常常伴有伪影。此伪影是由仿射变换造成的，具体可以理解为：仿射变换通常按照整数倍像素展开变换；但是图像偏移量一般为非整数，所以变换后标准图像和待检图像的差影处理结果即缺陷图像肯定会出现伪影。即使图像配准精确提高也无法去掉伪影，而且伪影大多集中在图像边缘区域。

为进一步解决伪影问题，文中结合硬阈值和软阈值，提出了一种改进的差影匹配算法。假设全局硬阈值为 $g_{\text{thred}}(r, c)$ 、软阈值为 $g_{\text{soft}}(r, c)$ ；计算抽取标准图像边缘灰度图；膨胀处理，得到灰度图内各点灰度值 $g_{\text{soft}}(r, c)$ ；由 $g_{\text{soft}}(r, c)$ 组成新的偏差图像，可通过下式确定每个像素点的新阈值 $g'_{\text{thred}}(r, c)$ ，即：

$$g'_{\text{thred}}(r, c) = \begin{cases} g_{\text{thred}}(r, c), & g_{\text{thred}}(r, c) \geq g_{\text{soft}}(r, c) \\ g_{\text{soft}}(r, c), & g_{\text{thred}}(r, c) < g_{\text{soft}}(r, c) \end{cases} \quad (4)$$

为有效地去除伪影，可以采用新阈值 $g'_{\text{thred}}(r, c)$ 对 $I_{\text{abs}}(r, c)$ 进行处理，进而得到精确的缺陷图像。

2 硬件平台构建

控制系统硬件平台主要由控制单元、图像采集与处理单元、成像单元等组成，其中控制单元由显示模块、报警模块、通信模块等组成，总体结构见图 2。

控制单元由主控制器、分拣机构、显示、报警、

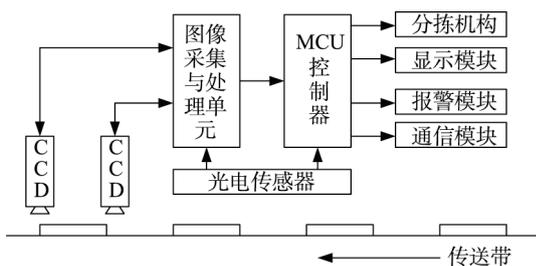


图 2 控制系统硬件结构
Fig.2 Hardware structure of control system

光电传感器和通信等模块组成，主要用于实现传送带上瑕疵包装物筛选、剔除；包装物定位；报警、显示等功能。为完善系统的闭环柔性控制，还可添加通信模块。

成像单元由光源、CCD 摄像机组成，主要用于原始图像数据的采集。CCD 摄像机将模拟视频信号传送到图像采集与处理单元。该系统所用摄像机具有线阵带异步重置外触发功能同时搭配漫反射荧光灯光源，完成对包装物的图像成像。

图像采集与处理单元，可用于实现模拟视频信号接收并进行模数转换，将模拟信号转换为数字信号。根据图像处理算法对所得图像数据进行处理并将运算结果发送至主控制器。如图 3 所示，主控制器由 SpartanXL FPGA 和 TMS320C6201 DSP 组合搭建而成，具体工作过程为：成像单元采集视频信号；利用 SAA7111A 芯片对视频进行解码，然后传送到 FPGA 进行图像预处理；DSP 读取 FPGA 图像预处理数据并通过相关软件处理算法进行判断；控制单元根据判断结果操控执行机构完成相应操作。

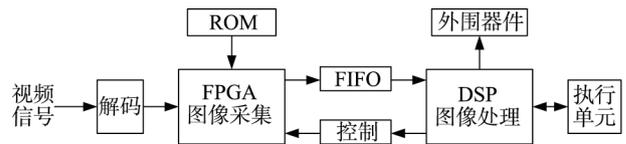


图 3 图像采集处理单元结构
Fig.3 Structure of image acquisition and processing unit

3 实验与分析

为验证系统的有效性和通用性，文中进行了相关测试，其中通用性可用系统可处理和识别样本的种类表征，而有效性可用识别率来表征。实验过程中，分别选取涉及复合材料、塑料、纸质等包装材料的 24 件包装样品并编号。该 24 件包装样品分别来自白酒包装、香烟包装、月饼包装、奶粉包装、糖果包装、牛奶包装等。另外，这些包装样品中部分为正品没有缺陷，部分为次品存在明显缺陷。同时部分样品是伪正品，即存在细微缺陷且这些缺陷无法通过人眼辨别。系统处理时，分别将这 24 件包装样品送入平台，利用彩色相机 CCD 线阵对包装样品印刷表面进行扫描与拍摄；将所获取原始图像作为采集样本，基于所述改进算法进行处理、识别等操作。

3.1 缺陷计数

24 件包装样品的缺陷统计结果见图 4。通过图 4 可以看出：样品 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20 和样品 22 均没有缺陷，属于正品，与实际包装样品情况完全相符；样品 2 和样品 17 内含缺陷样品个数为 1；样品 12 和样品 24 内含缺陷样品个数为 2；样品 3 和样品 21 内含缺陷样品个数为 3；样品

8 内含缺陷样品个数为 4，具有缺陷的样品为次品。所有缺陷样品检测结果与实际情况完全符合，即检测准确率达到了 100%。实验结果验证了所述算法在包装印刷缺陷检测过程中具有一定的正确性和有效性。

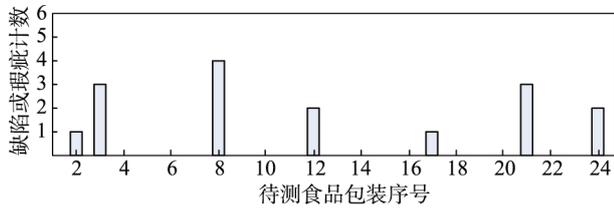


图 4 样品缺陷统计结果
Fig.4 Statistical results of sample defects

另外，如果采用传统检测方法，样品 8 仅有 3 个缺陷，样品 2 并没有缺陷。主要原因在于传统方法无法识别刀丝类缺陷和尘埃缺陷，而在样品 8 中包含一个刀丝缺陷、样品 2 中包含一个尘埃缺陷。综上所述，对于刀丝、尘埃类等很难识别的拉条缺陷以及一些细小缺陷，加上样品背景的影响，采用传统人工目测识别无法解决视觉分辨困难等问题，进而导致缺陷无法识别。相对而言，文中所设计缺陷检测算法能够较好

地弥补传统方法的不足。

3.2 缺陷归类与大小判定

由图 4 中可以看出：7 件含缺陷样品的缺陷数目总计为 16 个，缺陷种类分别为脏污、蹭版、飞墨、漏白、尘埃、刀丝等。缺陷检测图像见图 5，分析图像可知，有些样品包含多种缺陷，例如样品 8 总共包含 3 种 4 个缺陷，即 1 个蹭版缺陷、2 个漏白缺陷、1 个刀丝缺陷。前 2 种缺陷采用传统方法也可以识别，但是对细微刀丝缺陷却无能为力，这就是导致传统检测识别方法漏检的主要原因。

除包装印刷缺陷处理和识别外，所述方法还可以对缺陷大小进行判定。经系统处理和识别后，图 5a 中刀丝缺陷为 0.06 mm，图 5b 中尘埃缺陷为 0.08 mm，图 5c 中漏白缺陷为 1.90 mm²，图 5d 中飞墨缺陷为 3.60 mm²，图 5e 中蹭版缺陷为 1.20 mm，图 5f 中脏污缺陷为 6.30 mm²。根据检测结果可知，基于图像处理的包装印刷缺陷检测办法能够准确地检测和识别出各种常见缺陷，对于一些难以识别的缺陷同样具有比较理想的识别效果。

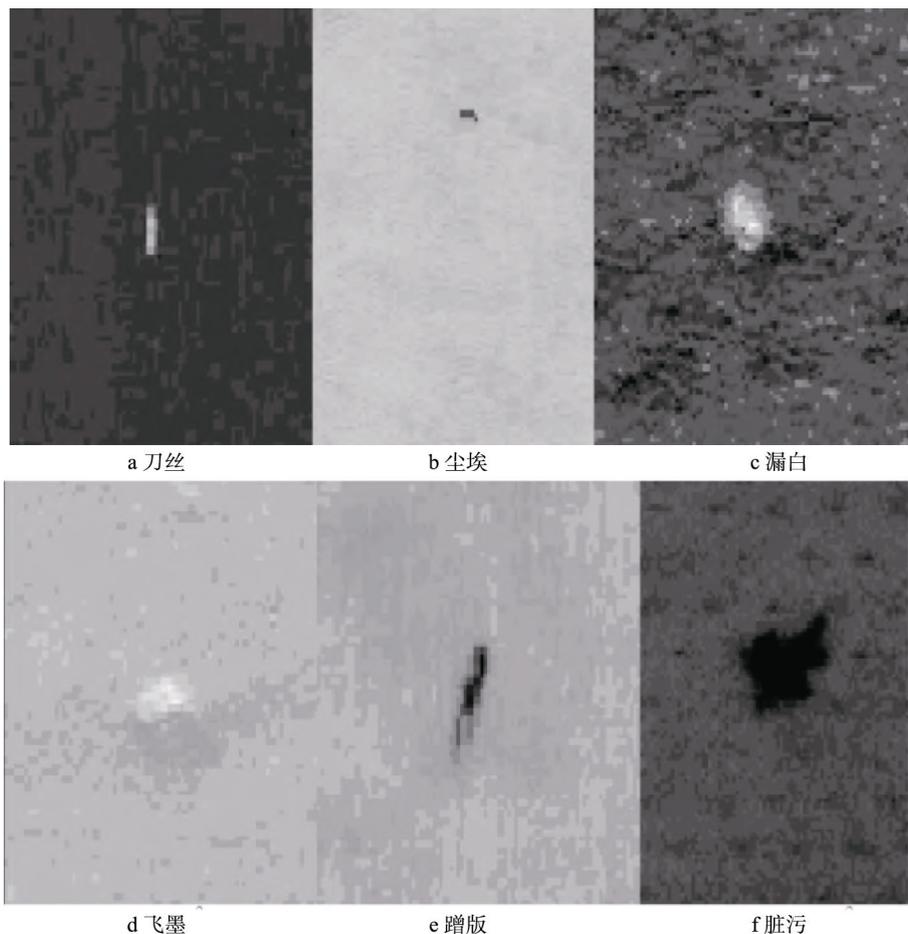


图 5 缺陷检测图像
Fig.5 Defect detection images

4 结语

包装印刷产品表面通常会存在一些缺陷和瑕疵,如果不能及时识别和处理势必产生次品,降低产品合格率。针对包装印刷缺陷处理、识别等问题,文中基于图像处理设计了一种缺陷检测系统。详细阐述了图像配准、配准区域自动选取、缺陷检测等方法,为缺陷检测奠定理论基础。同时搭建了控制系统硬件平台,最后进行了实验验证。实验结果表明:所述检测方法和系统能够很好地识别出一些很难识别的缺陷,可以弥补传统方法的不足。利用图像处理方法进行缺陷检测可在一定程度上提高包装、印刷等行业自动化、智能化水平,降低劳动强度。

参考文献:

- [1] 孙小鹏,孔玲君. 基于图像处理的数字印刷线条质量检测方法研究[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 84—89.
SUN Xiao-peng, KONG Ling-jun. Research on Measurement Method of Digital Printed Line Quality Based on Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7): 84—89.
- [2] 胡方尚,郭慧. 基于 ROI 模板的印刷品图像配准方法[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 582—586.
HU Fang-shang, GUO Hui. Printing Image Registration Based on ROI Template[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2016, 42(4): 582—586.
- [3] 周阳,王正家,徐伟,等. 基于 HALCON 的大幅面柔性印刷品质量检测[J]. 湖北工业大学学报, 2016, 31(4): 14—16.
ZHOU Yang, WANG Zheng-jia, XU Wei, et al. A Study of Large Format Print Quality Testing Based on HALCON[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2016, 31(4): 14—16.
- [4] 陈丽,唐万有. 基于 DP 方法的印刷品图像检测技术研究[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 116—120.
CHEN Li, TANG Wan-you. Image Detection Technology of Printing Based on the DP Method[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 116—120.
- [5] 胡方尚,郭慧,邢金鹏,等. 基于印刷缺陷检测的图像配准方法研究[J]. 光学技术, 2017, 43(1): 16-21.
HU Fang-shang, GUO Hui, XING Jin-peng, et al. Image Registration Based on Label Printing Defect Detection[J]. Optical Technique, 2017, 43(1): 16—21.
- [6] AN Meng, JIANG Zhi-guo, ZHAO Dan-pei. High Speed Robust Image Registration and Localization Using Optimized Algorithm and Its Performance Evaluation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 21(3): 520—526.
- [7] 何伟,李薇,张玲. 基于计算机图像处理的电路印刷板缺陷检测[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(10): 1295—1297.
HE Wei, LI Wei, ZHANG Ling. Research on Defect Detecting Method of Printed Circuit Board[J]. Computer Measurement & Control, 2007, 15(10): 1295—1297.
- [8] TSAI D, CHIANG I, TSAI Y. A Shift-tolerant Dissimilarity Measure for Surface Defect Detection[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1): 128—137.
- [9] LUNDSTROM J, VERIKAS A. Assessing Print Quality by Machine in Offset Colour Printing[J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 37: 70—79.
- [10] 田敏,刘全香. 分区域等级的印刷品缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 122—127.
TIAN Min, LIU Quan-xiang. Method of Print Defects Detection Based on Sub-region and Grading[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 122—127.
- [11] 李正明,黎宏,孙俊. 基于数字图像处理的印刷电路板缺陷检测[J]. 仪器仪表与传感器, 2012(8): 87—89.
LI Zheng-ming, LI Hong, SUN Jun. Detection of PCB Based on Digital Image Processing[J]. Instrument Technique and Sensor, 2012(8): 87—89.
- [12] 张琴,王保升. 基于数字图像处理的瓦楞纸材料破损度自动检测[J]. 包装工程, 2010, 31(1): 10—12.
ZHANG Qin, WANG Bao-sheng. Damage Degree Automatic Detection of Corrugated Board Material Based on Digital Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1): 10—12.
- [13] 杨祖彬,代小红. 基于图像配准的食品包装印刷缺陷检测与实现[J]. 计算机科学, 2015, 42(8): 319—322.
YANG Zu-bin, DAI Xiao-hong. Printing Defects Detection and Realization in Food Packaging Based on Image Registration[J]. Computer Science, 2015, 42(8): 319—322.
- [14] 李文育,张二虎,于佳,等. 基于机器视觉的印刷图像色彩在线检测系统设计[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(2): 159—164.
LI Wen-yu, ZHANG Er-hu, YU Jia, et al. The Design of Online Detection System for Printing Image Color Based on Machine Vision[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2013, 29(2): 159—164.
- [15] 张强,郝向阳,刘松林,等. 一种用于机器视觉检测的图像配准快速算法[J]. 测绘学院学报, 2005, 22(1): 33—35.
ZHANG Qiang, HAO Xiang-yang, LIU Song-lin, et al. A Rapid Method of Image Registration for Inspection Based on Machine Vision[J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2005, 22(1): 33—35.
- [16] 张琼,沈海宏,沈民奋,等. 基于 HALCON 的无标记印刷品图像质量检测[J]. 汕头大学学报(自然科学版), 2011, 26(2): 63—68.
ZHANG Qiong, SHEN Hai-hong, SHEN Min-fen, et al. The Quality Detection of the Non-Mark Printing Image Based on HALCON[J]. Journal of Shantou University (Natural Science), 2011, 26(2): 63—68.