

基于模板匹配的啤酒箱印刷质量检测方案

于谦, 常江, 巩雪, 丁常瑜
(哈尔滨商业大学 轻工学院, 哈尔滨 150028)

摘要: **目的** 快速且精准地检测啤酒箱常见的印刷缺陷。**方法** 以啤酒箱面纸为检测目标, 通过提取模板图像中形状和灰度值信息构建差异模型的模板匹配方法, 对啤酒箱印刷中常见的缺陷特征进行检测, 根据检测结果判断印刷质量是否合格, 并通过检测验证实验对质量检测方案的效果进行评估。**结果** 通过对所采集的 500 张图像进行检测实验并统计结果, 该方法的平均准确率达到 96.18%, 漏检率小于 0.9%, 误判率为 3.08%, 平均检测耗时低于 10 ms。**结论** 使用该方法对啤酒箱面纸这类胶印制品进行质量检测的效果优秀且稳定, 可以对细小划痕等高精度要求的缺陷进行精准检测, 而且检测速度也快于其他方法。

关键词: 啤酒箱; 模板匹配; 差异模型

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)03-0290-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.03.036

Quality Inspection Scheme for Beer Box Printing Based on Template Matching

YU Qian, CHANG Jiang, GONG Xue, DING Chang-yu

(School of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT: The work aims to quickly and accurately detect common printing defects in beer box. With beer box surface paper as the detection target, the common defect features in beer box printing were detected by the template matching method of constructing variation model by extracting the shape and gray value information from the template image. Printing quality was judged according to the defect inspection results, and the effect of the quality inspection scheme was evaluated through inspection and verification experiment. According to the test experiment and accounting of the 500 images collected, the average accuracy of this method was 96.18%, the rate of missed detection was less than 0.9%, the rate of misjudgment was 3.08%, and the average detection time was less than 10 ms. Detecting quality of offset printing products such as beer box surface paper with this method has excellent and stable results. It can accurately detect the defects with high precision requirement, such as small scratches, and the detection speed is faster than other methods.

KEY WORDS: beer box; template matching; variation model

啤酒作为一种日常消费的饮品, 每年会生产几十亿个啤酒箱, 因此对啤酒箱印刷进行质量检测利于良品率的控制, 十分具有市场价值和环保意义。常见的传统印刷品检测方法又存在速度慢、主观性强、用工成本大等弊端^[1], 随着技术的发展, 机器

视觉技术在印刷品的质量检测领域得到了广泛的应用。

刘克平等^[2]通过改进 Canny 算法对边缘信息提取的能力使得模板匹配的应用更加准确快速。高聪等^[3]通过结合 HOG 局部特征进行二次检测的方法大幅提

收稿日期: 2021-07-27

基金项目: 国家自然科学基金 (51802061)

作者简介: 于谦 (1996—), 男, 哈尔滨商业大学硕士生, 主攻机器视觉。

通信作者: 常江 (1982—), 男, 博士, 哈尔滨商业大学副教授、硕导, 主要研究方向为智能人机交互技术。

高了模板匹配的检测准确率。王刚等^[4]通过将曼哈顿距离替换欧氏距离从而确定匹配间的相似性度量的改进方法解决了模板匹配容易受外界干扰的问题,大大提高了算法的稳定性。丁筱玲等^[5]针对纹理不丰富物品通过 DOT 算法对梯度特征进行筛选从而提高模板匹配的检测准确率和鲁棒性,王艳等^[6]又针对复杂背景下准确率问题提出了一种基于最大极值稳定区域同模板匹配相结合的方法提高了复杂背景下模板匹配检测的准确率和鲁棒性。目前,模板匹配算法的发展虽已较为成熟,但在印刷品质量检测领域的应用仍有短缺,故此文中使用改进后的模板匹配方法完成在啤酒箱印刷质量检测上的应用。

1 质量检测方案的整体设计

1.1 检测目标与需求分析

市场上售卖的主流几款啤酒的包装箱的制作均由预印工艺完成,因此,对啤酒箱印刷质量检测就是对啤酒箱面纸的检测,判断面纸在印刷过程中是否存在如图 1 所示的如污点、划痕、污团、异物等缺陷特征^[7]。

通过在工厂对啤酒箱面纸印刷的实际考察,可以明确对啤酒箱印刷质量检测的实际需求:检测精度小于 $0.2\text{ mm} \times 0.2\text{ mm}$ 、检测速度大于 120 m/min 、检测幅面大于 $260\text{ mm} \times 260\text{ mm}$ 。

1.2 图像采集装置

根据啤酒箱检测幅面与检测精度要求等实际情况确定合适的硬件设备,作为采集优质清晰图像的装置,相机选用 MER-502-79U3C-L 工业相机,镜头选用 12 mm 定焦镜头,光源选择飞利浦 D65 高显色线性 LED 光源,考虑面纸由胶印完成印刷会存在反光现象,因此选取 40° 入射角的照明方式完成对啤酒箱面纸的图像采集。

1.3 基于模板匹配的印刷质量检测流程

整个基于差异模型 (Variation Model) 的模板匹

配算法可以分为制作差异模型的模板部分和基于差异模型对待检测图像匹配对比部分。

如图 2 所示,首先输入模板图像,分割模板图像中的主要检测区域即感兴趣区域 (ROI)^[8],获取 ROI 中的边缘轮廓信息和灰度值信息,结合 2 种信息生成作为模板的差异模型。然后输入待检测图像,将待检测图像与差异模型根据轮廓进行定位与对齐,并以差异模型为基准放缩待检测图像的灰度值范围使待检测图像与模型在同一范围内进行对比,对比后将存在灰度值异常的区域可归类为存在缺陷,即该产品质量不合格。

2 基于差异模型的模板匹配

2.1 图像的采集与检测区域的选取

通过搭建好的图像采集装置对啤酒箱面纸进行图像采集,所采集的啤酒箱面纸原始图像见图 3。

感兴趣区域的选取对模板匹配算法十分重要,选取合适的区域作为感兴趣区域有利于模板模型的制作以及后续匹配对比的速度。首先通过最大类间方差法^[9]对选取的模板图像进行阈值分割,初始化阈值并计算前景与背景区域像素占比 ω_0 与 ω_1 为:

$$\omega_0 = N_0 / M \times N \quad \omega_1 = N_1 / M \times N \quad (1)$$

根据前景区域对应的平均灰度值 μ_0 与背景对应的 μ_1 计算整幅图像总平均灰度 μ :

$$\mu = \omega_0 \times \mu_0 + \omega_1 \times \mu_1 \quad (2)$$

根据式 (1—2) 计算求得类间方差 g :

$$g = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (3)$$

通过上述步骤对图像进行遍历求得 g 的最大值即最大类间方差,以此确定最佳阈值 T 。根据最佳阈值将图像二值化分割为前景区域与背景区域,分割效果见图 4。

观察前景区域图像,红色为印刷图像的主要信息,蓝色为背景区域。其中有多个区域黏连在一起不利于后续主要信息区域的分割,因此使用半径为 1.5 的圆形结构元素对前景区域图像进行腐蚀处理^[10],

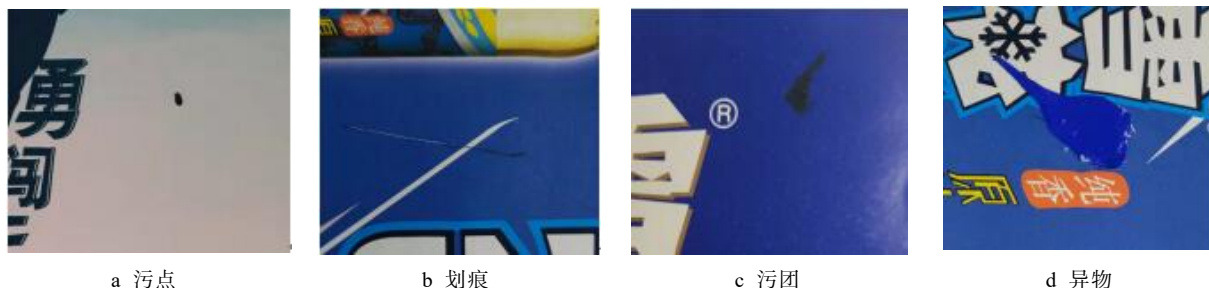


图 1 啤酒箱面纸常见缺陷特征

Fig.1 Common defect characteristics of beer box surface paper

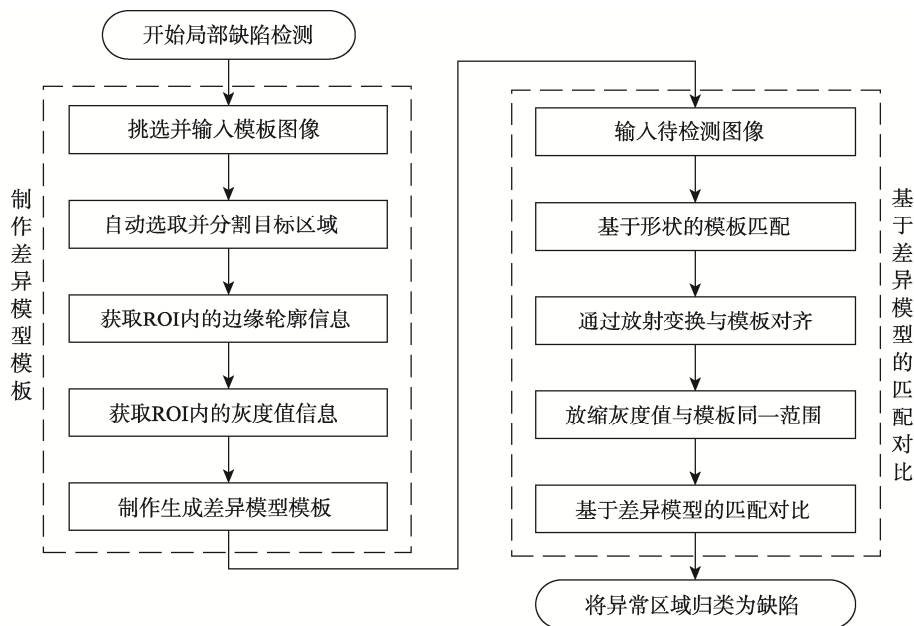


图 2 基于差异模型的模板匹配工作流程

Fig.2 Template matching workflow based on variation model



图 3 啤酒箱面纸原始图像

Fig.3 Original image of beer box surface paper



a 前景区域

b 背景区域

图 4 最大类间方差法分割效果

Fig.4 Segmentation results Otsu

$I(x,y)$ 为输入图像, $G(i,j)$ 为掩膜核, 锚点定位于坐标 (a_i, a_j) 之上:

$$H(x,y) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(x+i-a_i, y+j-a_j) G(i,j) \quad (4)$$

腐蚀处理后的效果见图 5, 主要图像信息区域减少了像素的黏连。将腐蚀后的图像进行分割连通域^[11]

处理, 使周围 8 个像素没有灰度信息的区域独立化, 并以不同颜色进行区分, 其独立化效果见图 6。



图 5 腐蚀处理效果

Fig.5 Effect of corrosion treatment



图 6 分割连通域效果

Fig.6 Connected domain effect of segmentation

观察分割连通域后的图像, 红色的区域多数为非主要的图像信息, 因此对剩余的独立连通域进行面积特征的筛选, 将像素面积过小或过大的区域进行过滤筛选, 达到只保留主要图像信息和消除噪声的影响的

效果, 筛选后的效果见图 7。

最终以剩余的主要图像信息为主体画最小外接矩形与最小外接圆, 并求得二者的交集即为分割后的感兴趣区域, 分割后的效果见图 8, 后续以此 ROI 用作模板差异模型的制作。



图 7 面积特征筛选效果
Fig.7 Area feature screening effect



图 8 分割提取的 ROI
Fig.8 Segmentation of ROI

2.2 差异模型的模板制作

差异模型的制作需要提取 ROI 中的边缘轮廓信息, 首先创建一个形状模板, 创建一个可放缩变形的形状模型见图 9, 用于后续匹配对比时的金字塔搜索。通过放射变换^[12]可以将可放缩形状模型进行平面内的移动, 见图 10。



图 9 可放缩形状模型
Fig.9 Scalable shape model

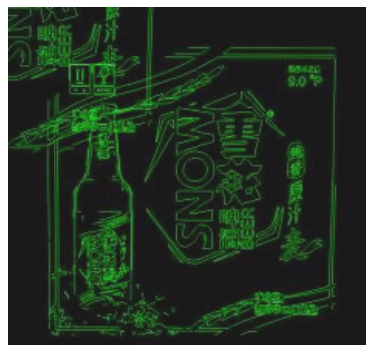


图 10 仿射变换
Fig.10 Affine transformation

观察可放缩形状模型, 轮廓边缘信息有所丢失, 为制作含有完整边缘信息的差异模型, 文中通过使用 Sobel 边缘算法对模板图像进行轮廓边缘信息的提取^[13], 通过 A 与 B 2 种作为边缘检测滤波器的卷积因子对图像中每个像素进行卷积处理, A 与 B 2 个卷积因子均为三阶矩阵, 使用 2 个卷积因子对模板图像中每个像素进行卷积, G_x 与 G_y 分别为从横向和纵向进行卷积后像素的灰度值结果, 根据式 (9) 将横向与纵向的卷积结果计算求得该像素点的灰度大小 G :

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

通过 Sobel 算子对模板图像卷积后将噪声进行了平滑处理, 且能够提供精确的图像边缘信息, 从而为差异模型的制作提供了完整的边缘信息, 其效果见图 11。



图 11 Sobel 提取的完整边缘信息
Fig.11 Complete edge information extracted by Sobel

对差异模型输入边缘轮廓信息后, 通过考虑实际情况与技术需求确定获取差异模型的灰度值信息的绝对阈值和相对阈值。其中绝对阈值 (AbsThreshold) 为当前图像与模板图像之间可以存在的最小绝对灰度值差, 相对阈值 (VarThreshold) 是待检测图像与差异模型中模板图像之间存在的最小相对灰度值差。

若 $i(x,y)$ 为模板图像, $v(x,y)$ 为差异模型, a 为绝对阈值, b 为相对阈值, 计算最大灰度值图像 $t_u(x,y)$ 与最小灰度值图像 $t_l(x,y)$ 的公式为:

$$t_u(x, y) = i(x, y) + \max\{a_u, b_u v(x, y)\} \quad (6)$$

$$t_l(x, y) = i(x, y) - \max\{a_l, b_l v(x, y)\} \quad (7)$$

通过确定 2 个阈值可以得到检测区域中灰度值最大极限的图像与灰度值最小极限的图像,其效果见图 12—13。



图 12 最大灰度值图像
Fig.12 Maximum grayscale image



图 13 最小灰度值图像
Fig.13 Minimum grayscale image

通过提取的模板图像中的边缘信息与灰度值信息综合训练得到作为模板的差异模型,并以句柄 (VariationID) 的形式直接保存在内存中。

2.3 基于差异模型的匹配对比

基于差异模型的匹配对比主要可分为 2 步:先是进行基于形状的模板匹配,以此对待检测图像进行定位^[14],将待检测图像与模型进行完全对齐;然后在完全对齐的情况下对比两者的灰度值差异,若灰度值差异过大则判定该区域存在缺陷特征。

先用 Sobel 算子对理想图像和待检测图像进行边缘检测,并计算其方向向量,然后根据不受遮挡和混乱所影响的相似度量进行形状轮廓的搜寻与匹配。

定义模板图像像素点集 $P_i=(r_i, c_i)^T$, 其中每个像素点所对应的梯度向量点集 $d_i=(t_i, u_i)^T$, $i=1, 2, \dots, n$, 待检测图像所对应的点为 $q(r, c)$, 通过 Sobel 算子卷积

后的像素点对应梯度向量为 $e_{r,c}=(V_{r,c}, W_{r,c})^T$, P_i' 与 d_i' 分别为模型经过仿射变换后的像素点集与对应的梯度向量,根据模板图像中的点与待检测图像中对应点的梯度向量的内积和最终得到避免混乱和异物干扰的相似度量 s 为:

$$s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_i^T e_{q+p'}}{\|d_i\| \times \|e_{q+p'}\|} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_i' V_{r+r_i', c+c_i'} + u_i' W_{r+r_i', c+c_i'}}{\sqrt{t_i'^2 + u_i'^2} \sqrt{V_{r+r_i', c+c_i'}^2 + W_{r+r_i', c+c_i'}^2}} \quad (8)$$

通过最小二乘法调整匹配参数,从而达到比搜索空间还要精确的亚像素精度等级的位姿^[15],并减少金字塔搜索策略进行匹配的计算量,最终达到对待检测图像精准且快速定位的目的。

完成对待检测图像的定位后通过一个由旋转和平移组成的刚性仿射变换,将两者进行空间意义上的完全对齐,这个齐次变换矩阵 H_{2D} 由一个旋转矩阵 R 和一个平移向量 T 2 个分量组合而成,齐次变换矩阵的计算式为:

$$H_{2D} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = H(T) \cdot H(R) \quad (9)$$

想要对比待检测图像与差异模型的灰度值信息,需要将两者的灰度值范围对齐,以差异模型的灰度值范围为基准,放缩待检测图像的灰度值范围以抵消诸如仿射变换等算法带来的影响^[16]。

若 R 为感兴趣区域, p 为计算区域的像素点, g 为该点的灰度值, F 为整个区域的面积,然后通过式 (10—11) 去分别计算前景与背景的主次灰度值即平均值 M_1 和偏差 D 。

$$M_1 = \frac{\sum_{p \in R} g(p)}{F} \quad (10)$$

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{p \in R} (g(p) - M_1)^2}{F}} \quad (11)$$

然后通过最大类间方差法将图像分为前景和背景区域, M_{fore} 为前景区域平均灰度值, M_{back} 为背景区域灰度平均值, D_{fore} 与 D_{back} 分别为前景区域的灰度偏差和背景区域的灰度偏差,并以此计算得到比例因子 M_t 与偏离量 A :

$$M_t = \frac{(M_{fore} - M_{back})}{(D_{fore} - D_{back})} \quad (12)$$

$$A = M_{fore} - M_t \times D_{fore} \quad (13)$$

以差异模型为基准对输入的待检测图像进行灰度值映射,即灰度值范围的放缩处理,放缩后对应像素点的灰度值为 g' , 计算公式为:

$$g' = g \times M_t + A \quad (14)$$

经过上述处理使得待检测图像的灰度值范围与差异模型的灰度值范围完全对齐。在同一灰度值范围内,输入的当前待检测图像 $c(x, y)$ 与差异模型的 $t(x, y)$

进行比较：

$$c(x,y)>t_u(x,y)\vee c(x,y)<t_l(x,y)$$

(15)

将所有小于差异模型中最小灰度值图像对应的区域与大于差异模型中最大灰度值图像所对应区域的区域总和进行输出，输出的部分为灰度值存在异常现象的区域，即被检测出存在缺陷特征的区域，并通过筛选面积特征达到控制检测精度的目的。

3 啤酒箱印刷质量检测实验

输入大量样品图像对文中检测方法进行实验，并验证效果，分别挑选了具有代表性的雪花原汁麦啤酒

箱面纸图像进行检测，效果见图 14。

从所有采集的图像中抽选 500 张图像，不存在缺陷的图像为 100 张，对每张存在缺陷的图像中独立缺陷特征记为一处缺陷，据统计共 973 处缺陷特征，即检测实验的样本总容量为 1073。对检测结果进行统计，对 973 处缺陷特征共检测出 965 处，平均准确率达到 96.18%，漏检率为 0.82%，误判率为 3.08%，且平均检测耗时不高于 10 ms。

为验证检测算法的适用性和兼容性，对另一款不同尺寸，不同图案的啤酒箱进行检测，其检测效果见图 15。如实验的检测结果显示，证明了该检测算法的有效性 with 适用性。



图 14 雪花原汁麦面纸检测效果
Fig.14 Detection effect of surface paper for Snow Yuanzhi Mai



图 15 雪花勇闯天涯面纸检测效果
Fig.15 Detection effect of surface paper for Snow Yongchuang Tianya

4 结语

基于差异模型的模板匹配算法在啤酒箱印刷质量检测上展现了优秀的检测效果，整套检测方案检测速度快、准确率高、漏检率低、检测精度高各方面都满足于实际生产中的技术要求。准确率损失主要集中在误判率上，由于精度要求过高对有些没有缺陷的地方进行了误判，主要因素在于环境因素的干扰，后续对硬件设备进行改进有利于抵抗环境的干扰。

参考文献：

[1] 周继彦, 余正泓. 基于图像处理的包装印刷缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 240-244.
ZHOU Ji-yan, YU Zheng-hong. Package Printing Defect Detection Method Based on Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 240-244.

[2] 刘克平, 李西卫, 隋吉雷, 等. 基于改进 Canny 算法的工件边缘检测方法[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017(6): 2022-2029.

- LIU Ke-ping, LI Xi-wei, SUI Ji-lei, et al. Workpiece Edge Detection Method Based on Improved Canny Algorithm[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2017(6): 2022-2029.
- [3] 高聪, 王福龙. 基于模板匹配和局部 HOG 特征的车牌识别算法[J]. 计算机系统应用, 2017, 26(1): 122-128.
- GAO Cong, WANG Fu-long. Algorithm of License Plate Recognition Based on Template Matching and Local HOG Feature[J]. Computer Systems & Applications, 2017, 26(1): 122-128.
- [4] 王刚, 孙晓亮, 尚洋, 等. 一种基于最佳相似点对的稳健模板匹配算法[J]. 光学学报, 2017, 37(3): 274-280.
- WANG Gang, SUN Xiao-liang, SHANG Yang, et al. A Robust Template Matching Algorithm Based on Best-Buddies Similarity[J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(3): 274-280.
- [5] 丁筱玲, 赵强, 李贻斌, 等. 基于模板匹配的改进型目标识别算法[J]. 山东大学学报(工学版), 2018, 48(2): 1-7.
- DING Xiao-ling, ZHAO Qiang, LI Yi-bin, et al. Modified Target Recognition Algorithm Based on Template Matching[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2018, 48(2): 1-7.
- [6] 王艳, 谢广苏, 沈晓宇. 一种基于 MSER 和 SWT 的新型车牌检测识别方法研究[J]. 计量学报, 2019, 40(1): 82-90.
- WANG Yan, XIE Guang-su, SHEN Xiao-yu. A New Vehicle License Plate Recognition Method Based on MSER and SWT[J]. Acta Metrologica Sinica, 2019, 40(1): 82-90.
- [7] 陈亚军, 张二虎. 基于图像处理的印刷缺陷在线检测系统研究[J]. 包装工程, 2005, 26(6): 64-66.
- CHEN Ya-jun, ZHANG Er-hu. Research On-Line Defect Detection System for Printed-Matter Based on Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6): 64-66.
- [8] 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. Research on Image Registration Method Based on Printing Defect Detection[J]. Optical Technique, 2017, 43(1): 16-21.
- [9] YANG Shan-tang, DAO Hua-xia, GUI Yang-zhang, et al. The Detection Method of Lane Line Based on the Improved Otsu Threshold Segmentation[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 3844: 354-358.
- [10] 文昊天, 王小鹏, 杨文婷, 等. 基于椭圆结构元素的自适应形态学运算方法[J]. 传感器与微系统, 2021, 40(2): 150-153.
- WEN Hao-tian, WANG Xiao-peng, YANG Wen-ting, et al. Adaptive Morphological Operation Method Based on Elliptical Structuring Elements[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2021, 40(2): 150-153.
- [11] 甘玲, 林小晶. 基于连通域提取的车牌字符分割算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(4): 336-339.
- GAN Ling, LIN Xiao-jing. License Plate Character Segmentation Based on Connected Component Extraction[J]. Computer Simulation, 2011, 28(4): 336-339.
- [12] 李玉峰, 李广泽, 谷绍湖, 等. 基于区域分块与尺度不变特征变换的图像拼接算法[J]. 光学 精密工程, 2016, 24(5): 1197-1205.
- LI Yu-feng, LI Guang-ze, GU Shao-hu, et al. Image Mosaic Algorithm Based on Area Blocking and SIFT[J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 24(5): 1197-1205.
- [13] RANA H, NEERU N. A Comprehensive Review of Sobel Edge Detector Using Gray Scale Images[J]. Research Cell: An International Journal of Engineering Sciences, 2016, 22: 688-692.
- [14] 白冰峰, 温秀兰, 张中辉. 基于 Haar 小波和形状模板的图像快速匹配算法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(2): 37-40.
- BAI Bing-feng, WEN Xiu-lan, ZHANG Zhong-hui. Fast Image Matching Algorithm Based on Wavelet and Shape Template[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2017(2): 37-40.
- [15] 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, 592.
- HU Fang-shang, GUO Hui. Printing Image Registration Based on ROI Template[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2016, 42(4): 582-586.
- [16] 马倩茹, 冶继民. FastICA 算法的收敛性与一致性分析[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(2): 35-41.
- MA Qian-ru, YE Ji-min. Convergence and Consistency Analysis of FastICA Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56(2): 35-41.