

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2021.04.014

基于彩色图像处理与 EDLines 的 数码印花缺陷检测系统

黄乾玮^{1,2}, 张团善¹, 周 玲¹, 汤 锋¹, 李乐乐¹

(1. 西安工程大学 机电工程学院, 陕西 西安 710048;
2. 绍兴市柯桥区西纺纺织产业创新研究院, 浙江 绍兴 312030)

摘 要:针对数码印花生产过程中由于喷头堵塞、电机偏差引起的 PASS 道缺陷问题,课题组设计了一套基于彩色图像处理与 EDLines 的数码印花缺陷检测系统。首先构建颜色补偿矩阵覆盖无关背景花案,增强缺陷与主色间差异性;然后分别在 HSI 颜色空间 3 通道采用自定义线型滤波锐化感兴趣区域并基于 EDLines 实现缺陷配准,并将 3 通道缺陷匹配结果进行区域融合和形态学处理;最后根据水平投影实现 PASS 道缺陷定位。实验结果表明:检测系统对印花织物表面缺陷的检测准确率达到 96% 以上,满足实际检测要求,为数码印花缺陷检测提供新的方法。

关 键 词:缺陷检测;颜色空间;颜色补偿;EDLines

中图分类号:TS107;TH165 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2021)04-0074-06

Digital Printing Defect Detection System Based on Color Image Processing and EDLines

HUANG Qianwei^{1,2}, ZHANG Tuanshan¹, ZHOU Ling¹, TANG Feng¹, LI Lele¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710600, China;
2. Shaoxing Keqiao West-Tex Textile Industry Innovative Institute, Shaoxing, Zhejiang 312030, China)

Abstract: A digital printing defect detection system based on color image processing and EDLines was designed to solve the problem of PASS defect caused by nozzle blockage and motor deviation in digital printing production. Firstly the color compensation matrix was built to overlay the irrelevant background pattern and enhance the differences between defects and the main color. Then the region of interest was sharpened in HSI color space three-channel by using custom linear filtering and the defect registration was realized based on EDLines. The three-channel defect registration results were regional integrated and morphologically processed. Finally, PASS channel defect location was realized according to the horizontal projection. The experimental results show that the detection accuracy of printed fabric surface defects can reach above 96%, which meets the actual detection requirements and provides a new method for the detection of digital printing defects.

Keywords: defect detection; color space; color compensation; EDLines

数码印花凭借其工序简单、成本低、色彩种类多及品质高等优势,在纺织品印花市场中占有越来越大的比重。但在实际生产过程中,由于喷头堵塞、电机偏差原因,会在印花布匹上产生平行、细长的线状 PASS 道缺陷,严重影响印花布匹的品质和价值。由于花型图

案的多样性,导致印花织物表面缺陷检测困难,目前主要采取人工检测方式保证布匹质量,但其效率易受视觉疲劳、员工情绪等影响。

为提高产品质量,研究者们尝试采用图像处理技术检测印花织物缺陷。陈宁等^[1]提出基于 Hough 变

收稿日期:2020-12-13;修回日期:2021-04-25

基金项目:国家自然科学基金(61701384);西安市现代智能纺织装备重点实验室资助项目(2019220614SYS021CG043)。

第一作者简介:黄乾玮(1996),男,浙江温州人,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理与机器视觉。E-mail:547322373@qq.com

换与互相关系数结合的数码印花飞线自动检测系统,通过 Hough 变换提取直线特征信息,再利用互相关系数定位直线位置;但其实质基于理想模板匹配条件,实际场景中难以精准匹配。张团善等^[2]通过构建基矩阵并计算差异矩阵,对比疵点因子得到其缺陷二值图像,但此方法仅适用纯色的防羽布,对花型复杂的印花织物检测效果不佳。李敏等^[3]提出一种基于改进高斯混合模型的疵检测方法,该方法对印花织物分块处理并根据像素块的均值来建立高斯混合模型,最后基于图像块检测疵点;不足之处在于该方法更适用于块状花型,因此存在局限性。刘绥美等^[4]对无缺陷印花织物与有缺陷印花织物分别训练水平与垂直方向的字典,得到其对应投影特征;最后利用结构相似性比较水平与垂直特征从而分割异常区域,但该算法速度较慢且同样不适用于复杂花型。

课题组针对 PASS 道缺陷的特点,设计了一套基于彩色图像处理与 EDLines 的数码印花缺陷检测系统。通过实验发现该系统稳定且能满足数码印花织物缺陷检测需求。

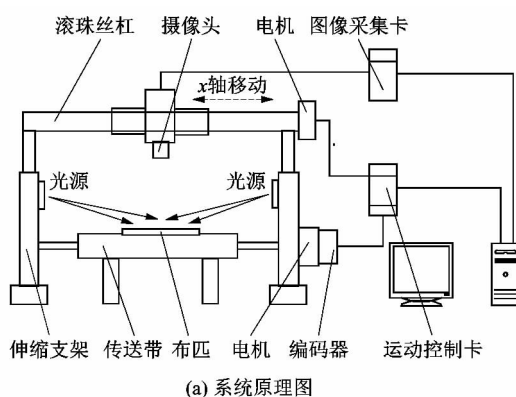
1 检测系统硬件构成

数码印花缺陷检测系统主要由 CCD 传感器相机、镜头、图像采集卡、光源和传送带等组成。相机选用选用迈德威视公司的产品 MV-GED500C-T,分辨率和帧率为 $(2\,448 \times 2\,048)$ dpi,9 帧/s,以太网接口,满足实验和实际生产的需要;镜头选择迈德威视公司的 MV-LD-25-5M-K 工业镜头,其焦距为 $(0 < f < 25)$ mm;光源选择色温为 6 500 K 的正白 LED 光源作为照明光源并采取 2 边打光去除阴影;图像采集卡传送带由 86HS12 步进电机驱动,电机由运动控制卡发送脉冲信号控制,当到达采集区域后运动控制卡发送停止指令。视觉检测平台如图 1 所示。

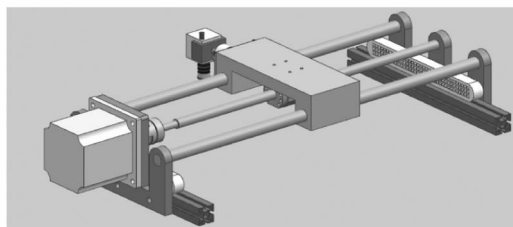
系统具体流程:①电机驱动传送带运输印花布,传送带的速度可由编码器反馈给电机进行调节,当布匹到达图像采集区域时传送带停止运动;②步进电机驱动双轴滚珠丝杆直线导轨模组沿 x 轴方向移动,带动相机采集图像,图像采集卡将采集到的图像传入 PC 端;③图像经 PC 端处理实现缺陷检测和定位。

2 印花织物缺陷检测算法

缺陷样本如图 2 所示,其中平行、细长突变窄道为 PASS 道缺陷即感兴趣区域。但图像中存在复杂花型及背景干扰,且 PASS 道相对背景不显著。针对复杂花型背景下缺陷检测,提出基于彩色图像处理与 EDLines 的数码印花缺陷检测算法。算法流程图如图



(a) 系统原理图



(b) 硬件建模图

图 1 视觉检测平台

Figure 1 Visual detection platform

3 所示,对 CCD 相机采集到的织物图像进行彩色补偿处理,然后变换 HSI 空间进行图像处理,分别在 3 通道采用自定义线型滤波增强感兴趣区域并采用 EDLines 算法实现缺陷配准,最后将 3 通道缺陷匹配结果进行区域融合和形态学处理,根据水平投影实现 PASS 道缺陷定位。



图 2 缺陷图

Figure 2 Defect figure

2.1 彩色补偿

课题组将采集的图像分为 3 部分:感兴趣区域(PASS 道缺陷),主要背景(较明花案)和次要背景(较暗花案)。印花织物图像由于光照和印花染料之间的交融影响,导致缺陷区域与相邻花型背景区域对比度较弱,产生颜色扩散现象。为保持它们之间的正确空间关系,采用补偿 3 通道颜色分量的方法,实现缺陷区域与相邻花型背景区域的分离并弱化次要背景。

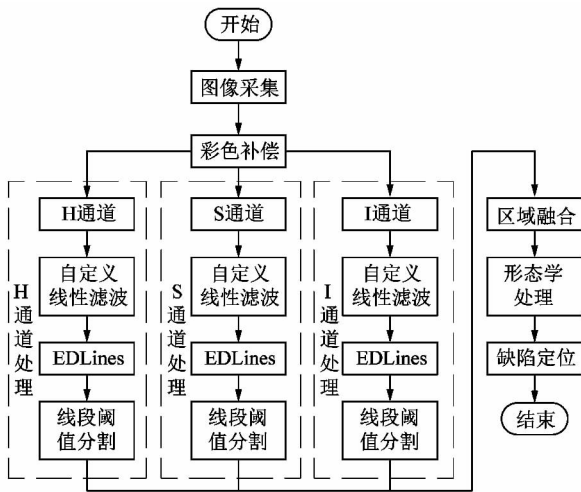


图 3 算法流程

Figure 3 Algorithm process

根据采集图像建立线性变换,用矩阵 C 定义颜色在 3 个通道中的扩散情况;每个元素 C_{ij} 表示数字图像彩色通道 i 中像素点 j 所占的亮度的比例。令 x 为 3×1 的向量,它代表理想灰度级向量,得到:

$$y = Cx + e. \quad (1)$$

式中 e 为黑度偏移量。

通过变换得到:

$$x = C^{-1}[y - e]. \quad (2)$$

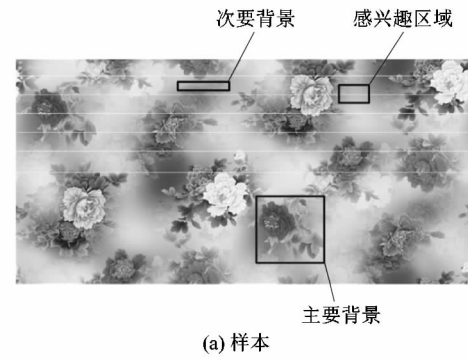
首先依据主观视觉提取 3 点 U_1, U_2 和 U_3 , 分别对应于纯红、纯绿和纯蓝;各点的 3 通道数值分别为 (R_1, G_1, B_1) 、 (R_2, G_2, B_2) 和 (R_3, G_3, B_3) 。其次依据式(3)加权灰度值计算缺陷图像 RGB 的 3 通道分量。其中 a, b 和 c 为权值,影响整体颜色布局。最后构建颜色扩散矩阵 C , C 的逆矩阵即为颜色补偿矩阵。根据印花的花案主色占比,经过多次实验后权值 a, b 和 c 依次取 0.1, 0.5 和 0.4。最后将颜色补偿矩阵代回式(2)。

$$\left. \begin{aligned} R^* &= a \times R_1 + b \times G_1 + c \times B_1; \\ G^* &= a \times R_2 + b \times G_2 + c \times B_2; \\ B^* &= a \times R_3 + b \times G_3 + c \times B_3. \end{aligned} \right\} \rightarrow C = \begin{bmatrix} R^* & 0 & 0 \\ 0 & G^* & 0 \\ 0 & 0 & B^* \end{bmatrix}. \quad (3)$$

由图 4 可观察到彩色补偿后,感兴趣区域与主要背景的亮度与饱和度整体增强,次要背景相对弱化。

2.2 HSI 色彩空间

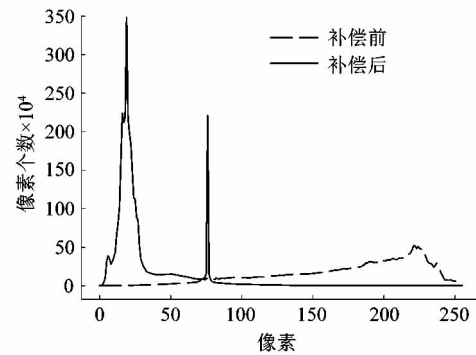
RGB 空间通过 3 基色叠加调制多样颜色,3 分量之间存在较强相关性且 RGB 颜色空间是高度线性相关的非均匀颜色空间,不适用于基于 3 个分量独立运算的图像分割^[5]。加之印花织物自身花案的复杂性



(a) 样本



(b) 颜色补偿



(c) 补偿前后曲线

图 4 颜色补偿

Figure 4 Color compensation

及光照影响加大了缺陷分割难度,但可以由 RGB 空间转化其他彩色空间对缺陷图像进行处理。其中 HSI 空间是从色调、饱和度和亮度 3 方面描述图像,比较直观且符合人的视觉特性。为图像处理的目的,有必要在 RGB 和 HSI 的 2 种空间进行转化。依据式(4)转化公式,对彩色补偿后的图像变换 HSI 格式,得到 3 通道图像,如图 5 所示。

$$\left. \begin{aligned} H &= \arccos \left\{ \frac{1/2[(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + 1/2(R-B)(G-B)]} \right\}; \\ S &= 1 - \frac{3}{R+G+B} [\min\{R, G, B\}]; \\ I &= \frac{R+G+B}{3}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

2.3 自定义线性滤波

尽管颜色补偿后次要背景大致去除,HSI 通道转

换后主要背景的复杂花案得到弱化,但花案仍影响后续缺陷分割,所以需对采集到的图像进行预处理,主要采用自定义线性滤波。笔者设计 5×5 矩形掩码,分别

对 3 通道 H 、 S 和 I 进行卷积,消除花案干扰并增强 PASS 道缺陷特征。

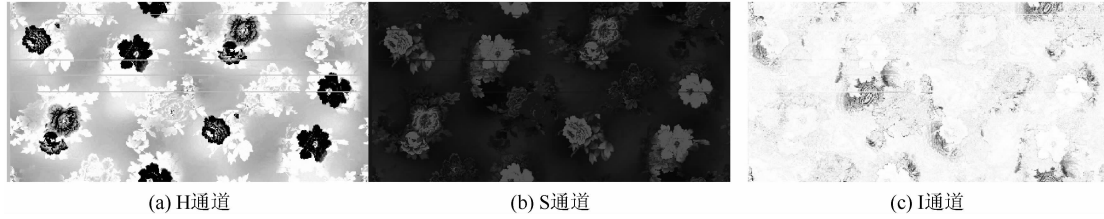


图 5 HSI 空间转换

Figure 5 HSI space conversion

自定义矩形掩码为:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

经过线性滤波处理(图 6 所示),削弱了花案主要背景的干扰,图像整体平滑。待分割的缺陷呈现直线段特征,因此后续可在图像中匹配直线段以检测 PASS 道缺陷。

2.4 EDLines 算法

通过线性滤波,将 PASS 道缺陷分割转化为缺陷匹

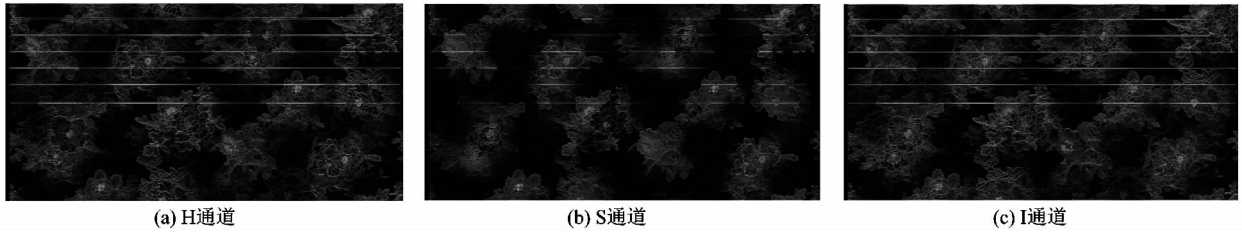


图 6 线性滤波

Figure 6 Linear filtering

配,因此如何在印花织物图中快速精准检测出直线状缺陷是课题组要解决的关键问题。直线检测最经典的算法是基于 Hough 变换方法,它具有强鲁棒性,但是需要较大的计算空间和计算量,提取的参数受参数空间的量化间隔制约,易产生错误检测^[6]。因此课题组采用更准确且具有错误检测控制的实时线段检测器 EDLines。

基于 EDLines 的缺陷匹配流程可分为 3 步骤:①将给定缺陷图像灰度二值化,通过边缘绘制(ED)算法产生一系列干净、连续的像素链即连续边缘片段,像素链直观描述缺陷相样本边缘信息;②通过最小二乘线拟合法提取缺陷样本中像素链;③基于亥姆霍兹原理验证线状缺陷,消除错误的线段检测。

2.4.1 相关参数

1) 边缘的绘制需计算像素 (x, y) 梯度大小和水平线角度 A

$$\left. \begin{aligned} g_x(x, y) &= \frac{S(x+1, y) - S(x, y) + S(x+1, y+1) - S(x, y+1)}{2}; \\ g_y(x, y) &= \frac{S(x, y+1) - S(x, y) + S(x+1, y+1) - S(x+1, y)}{2}; \\ g &= \sqrt{g_x(x, y)^2 + g_y(x, y)^2}; \\ A &= \arctan\left(\frac{g_x(x, y)}{-g_y(x, y)}\right). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

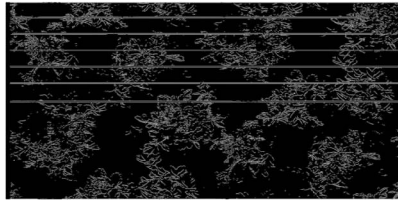
式中: $S(x, y)$ 是像素 (x, y) 处输入图像的强度, g 是梯度大小, A 是水平线角度。

2) 锚点阈值与扫描间隔。锚点即边缘元素,锚点对应于梯度算子产生最大值的像素,即梯度图的峰值。将锚点连接形成像素链,EDLines 通过非最大抑制执行锚计算,若像素处的梯度值大于或等于该像素在梯度方向上的 2 个相邻像素,则非最大抑制将该像素视为边缘候选,而如果该像素的梯度值大于该像素在梯

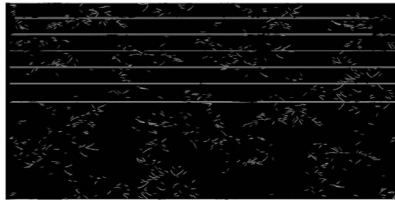
度方向上的2个相邻像素一定量的锚阈值,则ED将该像素视为锚。设置锚点阈值可筛选高质量的锚点,从而产生高质量的边段。扫描间隔表示隔行、列进行扫描,结合锚点阈值提炼线段。

3) 线拟合参数。在直线拟合步骤开始时依据最小线段长度公式计算最小线段长度:

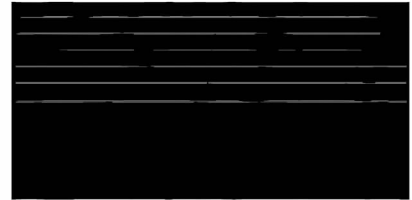
$$n \geq \frac{-4\log(N)}{\log(p)} \quad (6)$$



(a) 阈值10



(b) 阈值40



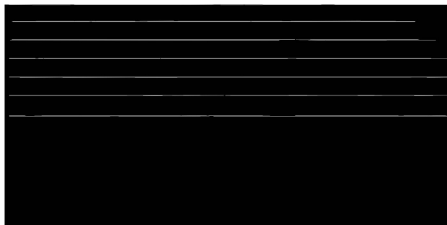
(c) 阈值70

图7 H通道阈值

Figure 7 H channel threshold



(a) S通道



(b) I通道

图8 剩余通道匹配结果

Figure 8 Remaining channel matching results

2.5 区域融合

为获取最佳缺陷信息,故将3通道缺陷信息区域融合。背景为0标记为黑色,缺陷为1标记为白色,将图像二值化后进行数学运算。最后形态学操作,细化感兴趣区域,运算处理使用单元结构为 5×5 的结构矩阵。

2.6 缺陷定位

为定位缺陷,将形态学处理后的印花织物缺陷图在水平方向投影,如图10所示。 x 轴对应图像宽度, y 轴为每行的非零像素值的个数,缺陷像素标记为1。水平投影直观地显示了缺陷位置信息,可通过峰值点的横坐标定位PASS道缺陷^[7]。

式中: n 为最小线段长度; p 为2像素点对齐的概率,依据先验知识取0.125; N 为拟假设线段长度。

课题组取 H 通道预处理图像,最小线段长度作为阈值依次递增筛选PASS道缺陷,图7中3个图对应不同阈值筛选结果。 S 和 I 通道直线匹配结果如图8所示。



图9 区域融合

Figure 9 Regional integration

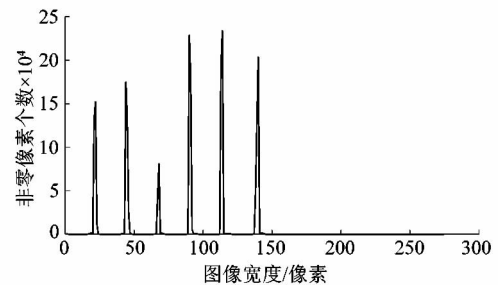


图10 缺陷定位

Figure 10 Defect location

3 实验结果与分析

实验环境:处理器为Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU@2.60 GHz 2.59 GHz,内存为16 GiB,软件开发工具为64位Windows10,Python3.7、OpenCV4.2.0。课题组统一缺陷样本,分别比较Hough变换直线检测算法与EDLines算法,并将检测缺陷梯度映射于原图。如图11所示,基于Hough变化检测是将检测直线的问题转化为参数空间中对点的检测问题,但受参数空间

限制,实际检测到的线段必须依次对应于峰值,因此易造成缺陷的遗漏,仅检测出部分缺陷。而基于 EDLines 算法是对应锚点,依据梯度构成像素链,对全图边缘检测并设置阈值筛选缺陷区域,检测效果较佳。

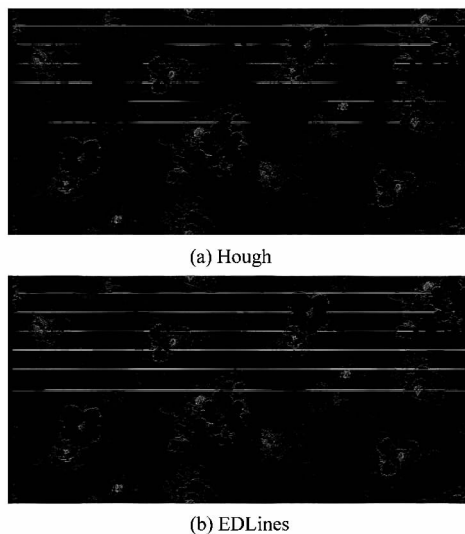


图 11 比较结果

Figure 11 Comparison results

为进一步体现本系统检测算法的有效性,选取 150 张不同印花织物缺陷图片为样本,用此算法和文献[1]中算法进行,比较结果如表 1 所示。

表 1 算法比较结果

Table 1 Algorithm comparison results

算法类型	缺陷图片数量	正确率/%	漏检数量	漏检率/%	平均用时/ms
文献[1]算法	150	85.33	22	14.67	167.49
本文算法	150	96.67	5	3.33	97.31

从表 1 中可见本系统检测算法较于文献[1]算法漏检率低,检测精度高达 96.67%,比文献[1]算法高出 11.34%,平均用时短 70.18 ms。漏检 5 张主要是因为 EDLines 检测过程中,锚点阈值不确定性导致像素链产生间断,影响较短线状缺陷的匹配,从而较短线状缺陷被漏检。实验结果表明本文算法满足实际生产检测要求。

4 结论

课题组针对数码印花生产过程中产生的 PASS 道缺陷问题,设计一套基于彩色图像处理与 EDLines 的数码印花缺陷检测系统,并搭建了实验系统。介绍了系统硬件构成与系统检测算法,通过算法间的对比验证,表明新系统的识别正确率为 96.67%,基本满足实际工业质量检测要求。后续将进一步研究锚点阈值的自适应调整,提高系统的检测率。

参考文献:

- [1] 陈宁,赵鹏. Hough 变换在数码印花飞线检测中的应用[J]. 计算机系统应用,2013,22(2):182-185.
- [2] 张团善,石玮. 噪声干扰下的防羽布疵点检测算法[J]. 西安工程大学学报,2020,34(1):14-19.
- [3] 李敏,崔树芹,谢治平. 高斯混合模型在印花织物疵点检测中的应用[J]. 纺织学报,2015,36(8):94-98.
- [4] 刘绥美,李鹏飞,张蕾,等. 基于稀疏编码字典学习的疵点检测[J]. 西安工程大学学报,2015,29(5):594-599.
- [5] 庞晓敏,闵子建,阚江明. 基于 HSI 和 LAB 颜色空间的彩色图像分割[J]. 广西大学学报(自然科学版),2011,36(6):976-980.
- [6] 齐永菊,裴亮,魏显虎,等. 基于 EDLines 的遥感影像直线快速提取方法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2018,41(9):109-113.
- [7] 苏泽斌,高敏,李鹏飞,等. 融合小波分解的 LBPV 数码印花缺陷检测方法[J]. 传感器与微系统,2020,39(9):126-128.