

图文信息技术

基于反向 P-M 扩散分割的缝线断线检测

贺振东^a, 崔良建^a, 刘洁^b, 赵素娜^a, 葛世举^a

(郑州轻工业大学 a.电气信息工程学院 b.机电工程学院, 郑州 450002)

摘要: **目的** 实现面粉袋缝线断线自动化检测。**方法** 设计反向 P-M 扩散分割的缝线断线检测方法。首先采集缝线图像, 并进行灰度开运算, 以消除复杂背景及面粉袋两边端线的干扰。针对现场光照变化、反射不均、面粉噪声等环境因素对缝线提取的影响, 对面粉袋表面与缝线的灰度特征、梯度特征进行分析, 设计反向 P-M 扩散因子, 先将图像进行反向 P-M 扩散, 将扩散后的图像与开运算处理后的图像进行差分处理, 从而抑制复杂背景纹理, 增强缝线与面粉袋的区分度, 将阈值分割出的缝线与面粉袋顶端缝边长度进行对比, 判断缝线是否断线。**结果** 实验结果表明, 利用该算法进行缝线检测实验, 断线检测准确率达到 96%, 每张缝线图片处理时间只需 120 ms。**结论** 基于反向 P-M 扩散分割的缝线断线检测方法是一种无接触缝线断线检测新方法, 具有准确率高、速度快等优点, 满足面粉生产企业断线自动化检测的要求。

关键词: 灰度开运算; 反向 P-M 扩散; 阈值分割; 缝线检测

中图分类号: TS237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)19-0297-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.19.036

Stitch Breakage Detection Based on Inverse P-M Diffusion Segmentation

HE Zhen-dong^a, CUI Liang-jian^a, LIU Jie^b, ZHAO Su-na^a, GE Shi-ju^a

(a. College of Electrical and Information Engineering b. College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: The work aims to realize automatic detection of flour bag stitch breakage. A inverse P-M diffusion segmentation method was designed to detect stitch breakage. First, the stitch image was collected for gray-scale opening operation to eliminate the interference of complex background and the end lines on both sides of the flour bag. In view of the effects of environmental factors such as on-site illumination change, uneven reflection and flour noise on the extraction of stitches, the gray-scale features and gradient features of the surface of flour bags and stitches were analyzed, and the inverse P-M diffusion factor was designed. First, the image was inverse P-M diffused, and the diffused image was differentiated from the image after opening operation, so as to suppress complex background texture and enhance the differentiation between stitches and flour bags. The stitch segmented by the threshold value was compared with the stitch at the top of the flour bag in terms of length to judge whether the stitch was broken. The experimental results showed that, when the algorithm was used for stitch detection experiment, the accuracy of stitch breakage detection was 96% and the processing time of each stitch image was only 120ms. The stitch breakage detection method based on inverse P-M diffusion segmentation is a new non-contact stitch breakage detection method, which has the advantages of high accuracy and fast speed, and meets the requirements of automatic detection of stitch breakage in flour production enterprises.

KEY WORDS: gray-scale opening operation; inverse P-M diffusion; threshold segmentation; stitch detection

收稿日期: 2021-12-23

基金项目: 国家自然科学基金 (62073299, 62003312); 河南省科技攻关计划 (202102210306, 202102110125); 河南省大学创新研究群体 (科技方向) 计划 (20IRTSTHN017)

作者简介: 贺振东 (1981—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为机器视觉、缺陷检测。

通信作者: 刘洁 (1981—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为图像处理、智能装备制造。

编织袋在农业、物流、食品等生产企业的包装中应用广泛^[1]。编织袋的缝线检测对于产品运输储存的安全性十分重要,编织袋缝线不合格将造成产品的散落。随着食品生产企业生产线自动化程度的不断改进,食品生产企业对编织袋缝线检测的效率和准确度的要求越来越高。目前,我国多数面粉生产企业的面粉装填系统和缝线系统已实现部分自动化,但是缝线检测工作仍采用人工目检的方式来判别缝线是否合格。由于检测人员长时间盯着流水线上的面粉袋缝线,其眼睛容易产生疲劳,从而做出错误的判断。这对于面粉生产企业日益剧增的面粉生产量无法做到广泛应用和长久高效处理,导致缝线检测的不及时,从而影响面粉生产企业的发展。

将机器视觉技术应用于织物产品的缺陷检测^[2-5]已经成为一种趋势。例如,王海波等^[6]对传统的灰度共生矩阵进行了改进,采用该方法对印刷品的缺陷特征进行提取,利用支持向量机完成缺陷的检测。黄露等^[7]将遗传算法与二维最大熵相结合,并运用于编织袋的缺陷检测。张缓缓等^[8]将改进的加权中值滤波与 K-means 聚类相结合,并将该方法用于纹理织物疵点的检测。李小宁等^[9]利用自适应中值滤波和灰度-梯度共生矩阵的方法来提取纺织物的缺陷特征,以消除复杂背景干扰,提高了缺陷检测的准确率。SHI 等^[10]采用梯度信息低秩分解与结构化图相结合的方法,有效克服了低秩分解模型在织物缺陷检测中的缺点。赵树志等^[11]针对纺织品瑕疵检测工作,提出了基于改进判别性完整局部二值模式与格分割的织物瑕疵检测方法,提高了织物瑕疵检测的准确率。迟欢^[12]针对编织袋的缺陷检测问题,对编织袋图像进行了预处理操作,以消除噪声干扰,接着采用图像差分二值化方法剔除背景,最后准确检测出编织袋的缺陷。综上所述,许多方法都针对织物缺陷进行了研究,针对面粉袋缝线断线检测的相关研究非常少,因此文中拟设计一种基于反向 P-M 扩散分割的图像处理方法,以期实现面粉袋缝线断线的自动化检测。

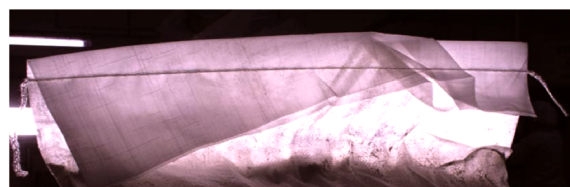
1 缝线检测算法设计

1.1 缝线图像特征分析

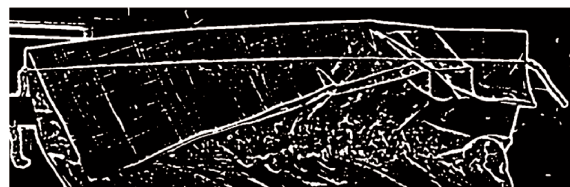
基于面粉生产企业的工作环境,采用相机获取的面粉袋缝线图片容易受到光照变化、反射不均、背景光源、面粉噪声等因素的影响,导致采集的面粉袋缝线图像背景复杂。利用常规阈值分割图像处理方法进行提取,各种边缘都会被提取出来,这给缝线的检测带来了较大的干扰,如图 1 所示。

图像边缘是缝线断线检测的重要特征,因此需要在滤除噪声和复杂背景的同时,保护好缝线的边缘信息。面粉袋是由塑料丝编制而成的织品,塑料丝表面的纹理特征平整、光滑、纹理变化小。通过对面粉袋

的缝口图像进行灰度特征和边缘梯度特征分析,发现面粉袋的灰度特征和梯度特征变化不大,具有低灰度、低梯度的特性。在面粉袋顶端缝边与缝线处,由于受到背光源打光的影响,面粉袋顶端边缘、缝线与面粉袋相比,具有低灰度、高梯度的特征,利用这一特征设计了反向 P-M 扩散因子,从而进行顶端缝边、缝线的图像分割。



a 缝线原始图像



b 缝线阈值分割处理图像

图 1 阈值分割方法缝线检测结果
Fig.1 Stitch detection results of threshold segmentation method

1.2 缝线断线检测算法

通过分析面粉袋缝口图像的灰度特征和边缘梯度特征,设计了基于反向 P-M 扩散的面粉袋缝线检测算法。主要步骤包括缝线灰度图像开运算、反向 P-M 扩散、图像差分、阈值分割、形态学处理等。缝线检测算法流程如图 2 所示。

1.3 灰度图像开运算

为了减轻面粉袋两端缝线端线和复杂背景对缝线提取的影响,进行了灰度开运算。先用 51 像素 × 51 像素的矩形掩码对缝线灰度图像进行腐蚀操作,随后用上述矩形掩码对腐蚀所得结果进行膨胀操作,通过开运算能够消除两端端线和复杂背景的干扰。

1.4 反向 P-M 扩散

基于偏微分方程的图像去噪方法得到了广泛的应用^[13-16]。其中,最典型的是 Peron 和 Malik^[17]提出的各向异性扩散方程——P-M 扩散方程。P-M 扩散方程的表达式如式(1)所示。

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t}(x, y, t) = \nabla [c(x, y, t) \nabla I] & t > 0 \\ I(x, y, 0) = I_0(x, y) & t = 0 \end{cases} \quad (1)$$

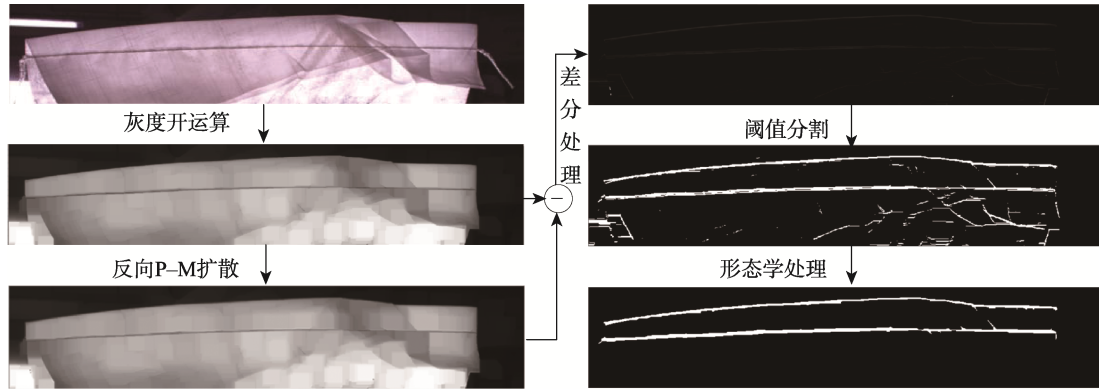


图 2 缝线检测算法流程

Fig.2 Flowchart of stitch detection algorithm

式中: $(x, y) \in R^2$; $I(x, y, t)$ 为时刻 t 的图像灰度值; I_0 为原始图像灰度值; ∇I 为梯度算子; $c(x, y, t)$ 为非线性扩散因子, 如式 (2) 所示。

$$c(\nabla I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\nabla I}{K}\right)^2} \quad (2)$$

由式 (2) 可知, 扩散系数随梯度变化, 当 $\nabla I \rightarrow 0$ 时, $c \rightarrow 1$, 图像被平滑处理; 当 $\nabla I \rightarrow \infty$ 时, $c \rightarrow 0$, 图像被保持。P-M 扩散模型的离散形式可以由式 (3) 表示。

$$I(x, y, t+1) = I(x, y, t) + \lambda \sum_i c_i(x, y, t) \nabla I_i(x, y, t) \quad (3)$$

式中: $0 \leq \lambda \leq 1/4$; $i = N, S, E, W$, 表示 (x, y) 的 4 个邻域; $I(x, y, t)$ 为第 t 次扩散时坐标 (x, y) 处的图像灰度。

为了分割缝线图像, 应保留缝线的目标区域, 仅对面粉袋的区域进行平滑处理, 该过程与 P-M 扩散相逆, 称为反向 P-M 扩散。传统的 P-M 扩散模型只利用单一的梯度信息, 为了准确地分割出面粉袋图像中的缝线, 所提方法增加了图像灰度变量, 设计了如式 (4) 所示的反向 P-M 扩散因子。

$$g(\nabla I, f) = \frac{1}{1 + f \left(\frac{K}{\nabla I}\right)^2} \quad (4)$$

首先进行归一化操作, 令 $f = I_0/255$, $\nabla I(x, y)$ 为 (x, y) 处的梯度, K 为正则化因子。当 $\nabla I \rightarrow 0$ 时, $g \rightarrow 0$, 图像保持不变; 当 $\nabla I \rightarrow \infty$ 时, $g \rightarrow 1$, 图像被平滑。反向扩散过程与式 (1) 相同, 仅将扩散因子 c 用反向扩散因子 g 代替。从式 (4) 中可以看出, 反向扩散因子与 ∇I 成正比, 与 f 成反比。由此可见, 当 ∇I 增大或 f 减小时, 反向扩散因子都将增大。由于缝线区域同时具有低灰度、高梯度的特征, 因此得到的反向扩散因子更大。另外, 当 ∇I 增大、 f 减小时, g 迅速增大, 缝线区域被迅速平滑。由于低灰度、低梯度面粉袋区域的灰度与缝线的灰度相比, 所产生的反向扩散因子较小, 平滑效果较弱, 因此可以将缝线区域分割出来。

文中同时改进了最近邻差分机制, 如式 (5) 所示, 以减弱噪声的影响。

$$\begin{aligned} \nabla I_{SN}(x, y, t) &= |I(x+1, y, t) - I(x-1, y, t)| \\ \nabla I_{EW}(x, y, t) &= |I(x, y+1, t) - I(x, y-1, t)| \end{aligned} \quad (5)$$

1.5 图像差分与阈值分割

经过反向 P-M 处理后的图像与开运算图像进行差分处理。 I_0 为开运算处理后的面粉袋图像, I_t 为反向 P-M 扩散得到的图像。将开运算图像与反向 P-M 扩散后的图像的差 (ΔI) 定义为缝线差分图像, 如式 (6) 所示。

$$\Delta I(x, y) = |I_0(x, y) - I_t(x, y)| \quad (6)$$

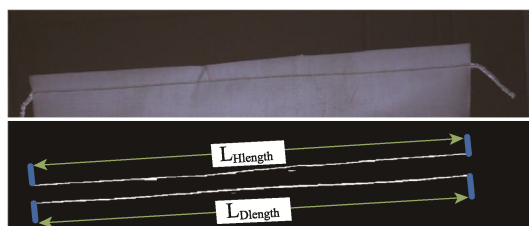
设计自适应阈值 T 对差分图像 ΔI 进行阈值二值化分割, 若 $\Delta I > T$, 则该像素点为缺陷点, 赋值为 255, 否则赋值为 0。经二值化后的图像如式 (7) 所示。

$$B(x, y) = \begin{cases} 255 & \Delta I(x, y) > T \\ 0 & \Delta I(x, y) \leq T \end{cases} \quad (7)$$

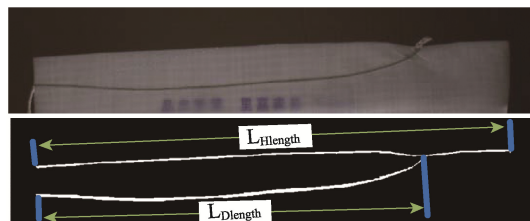
1.6 形态学处理与缝线断线判断

经过阈值分割的缝线图像, 由于分割的不完整缝线区域可能会受到一些白色噪声的干扰, 需要进行形态学操作, 删除小的连通区域, 以去除白色噪声的干扰。根据实际缝线情况, 设置连通域的阈值 $T_p = 300$ 像素, 当连通域的阈值小于 T_p 时, 将该连通区域删除, 从而消除噪声对缝线提取的影响。然后再对提取的缝线进行细化处理。

缝线是否断线是以面粉袋顶端缝边为标准长度基准, 首先对细化后的图像自上而下扫描, 当像素点第 1 次从黑色变为白色时获取像素点坐标, 计算像素点长度, 作为顶端缝边长度 $L_{Hlength}$, 接着继续向下扫描当第 2 次从黑色变白色时获取像素点坐标, 计算像素点的长度作为缝线的长度 $L_{Dlength}$, 然后将两者长度进行比较。当两者相差大于 300 像素时, 判断为断线, 即不合格, 如式 (8) 所示, 示意图如图 3 所示。



a 合格缝线



b 不合格缝线

图 3 缝线断线判断标准

Fig.3 Judgement criteria for stitch breakage

$$\begin{cases} L_{Hlength} > L_{Dlength} & \text{不合格} \\ L_{Hlength} = L_{Dlength} & \text{合格} \end{cases} \quad (8)$$

2 结果与分析

为了验证文中所提算法的性能,在面粉厂企业实

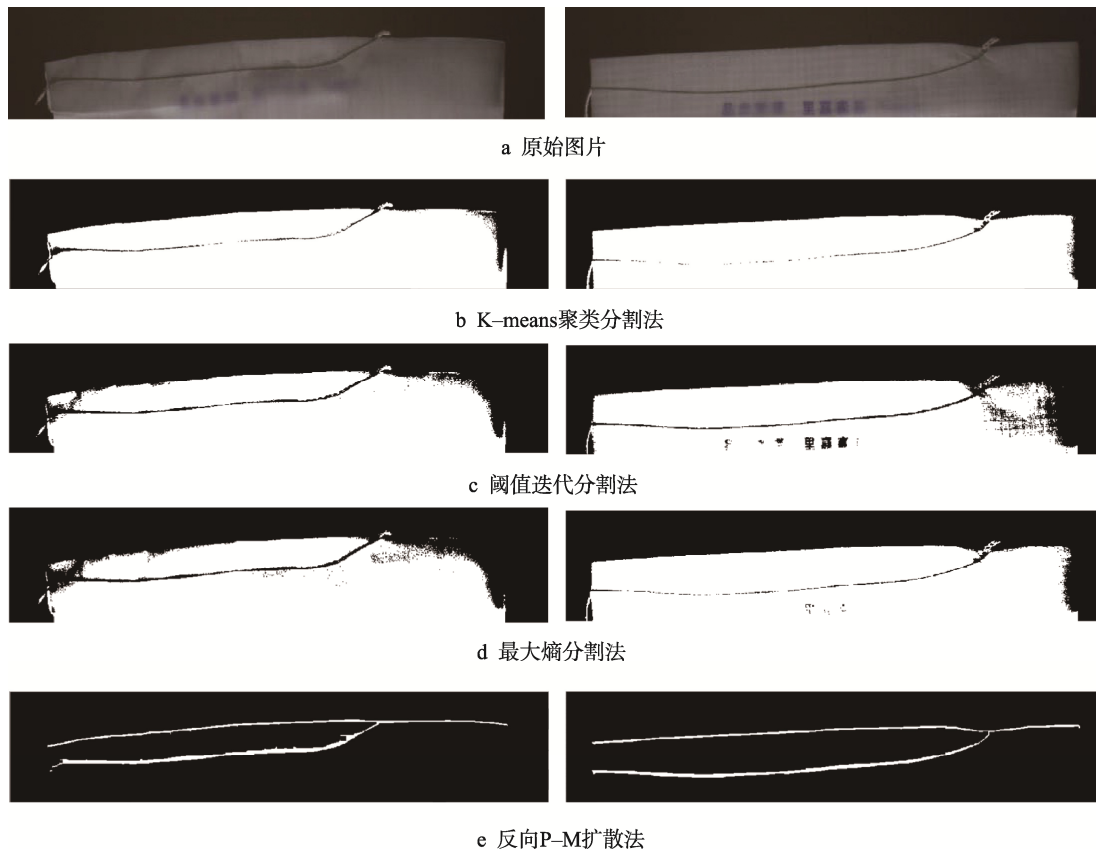
际生产情况下进行面粉袋缝线断线检测实验,搭建了断线检测实验平台,如图4所示。采用背光源打光,用相机正面采集面粉袋的缝线图片,软件编译环境为VS2015,并利用OpenCV4视觉库完成基于图像处理的缝线缺陷检测算法。



图 4 缝线图像采集平台

Fig.4 Stitch image collection platform

对缝线图像分别使用 K-means 聚类分割、阈值迭代分割、最大熵分割等方法进行处理,并与文中算法对比,结果如图5所示。



e 反向P-M扩散法

图 5 4种分割方法的缝线分割结果

Fig.5 Stitch segmentation results of four segmentation methods

对 4 种分割算法进行了分析。K-means 聚类分割算法适用于色彩复杂的图像分割, 由于面粉袋的背景与缝线的颜色接近, 差别不明显, 因此分割的准确性较差。阈值迭代分割法、最大熵分割法适用于前景与背景差异明显的图像分割, 而面粉袋的背景容易受到光照变化、噪声的影响, 且缝线前景与面粉袋的背景差异不明显, 因而无法分割。文中提出的反向 P-M 扩散分割算法, 先进行灰度开运算处理和反向 P-M 扩散, 然后将开运算处理和扩散后的图像进行差分操作, 既能将复杂背景剔除, 又能将面粉袋的前景剔除, 然后对差分图像进行阈值分割, 能够准确地分割出顶端缝边与缝线图像。

为了准确地验证文中分割算法的有效性, 选取 300 幅面粉袋缝线图像进行分割处理, 从准确率、误检率、分割时间等指标对 4 种方法进行比较, 结果如表 1 所示。其他 3 种分割方法的准确率均不足 80%, 误检率较高。文中所提基于反向 P-M 扩散方法, 其准确率可以达到 96%, 误检率只有 4%, 并且每张面粉袋缝线图片的处理时间只需 120 ms, 能够很好地满足面粉生产企业流水线要求的准确性和实时性。

表 1 4 种分割方法分割结果比较

Tab.1 Comparison of segmentation results of four segmentation methods

方法	准确率/ %	误检率/ %	分割时间/ ms
K-means 聚类分割法	60	15	110
阈值迭代分割法	68	13	135
最大熵分割法	71	10	141
文中方法	96	4	120

3 结语

针对面粉生产企业的面粉袋缝线断线人工检测速度低、检测质量难以保证等难题, 根据缝线断线检测的要求, 通过对面粉袋缝线图像的灰度特征和梯度特征进行分析, 设计了基于反向 P-M 扩散分割的面粉袋缝线断线检测算法。利用灰度开运算处理去除了背景和端线干扰, 然后与反向 P-M 扩散图像进行差分处理, 有效地去除了面粉袋的前景干扰。利用自适应阈值分割算法分割缝线, 并进行判断。利用设计的缝线检测装置对面粉袋缝线断线进行实验, 结果表明, 文中设计的缝线断线检测装置可以有效地检测出缝线的断线情况, 准确率达到 96%, 误检率只有 4%, 有效地解决了人工检测效率低、不准确等问题, 提高了面粉生产企业的缝线检测效率。

参考文献:

[1] 薛延学, 张二虎, 吴学毅. 基于计算机视觉的印刷包装品缺陷检测系统[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 185-187.
XUE Yan-xue, ZHANG Er-hu, WU Xue-yi. The Defects Detection System of Printed Products Based on Computer Vision[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(5): 185-187.

[2] 王胜, 吕林涛, 杨宏才. 卷积神经网络在印刷品缺陷检测的应用[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 203-211.
WANG Sheng, LYU Lin-tao, YANG Hong-cai. Application of Convolutional Neural Network in Printing Defect Detection[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 203-211.

[3] FOUDA Y M. Integral Images-Based Approach for Fabric Defect Detection[J]. Optics & Laser Technology, 2022, 147: 107608.

[4] LI Feng. Bag of Tricks for Fabric Defect Detection Based on Cascade R-CNN[J]. Textile Research Journal, 2021, 91(5/6): 599-612.

[5] 李海山, 唐海艳, 梁栋, 等. 基于卷积神经网络的印刷品颜色缺陷检测[J]. 包装工程, 2021, 42(23): 170-177.
LI Hai-shan, TANG Hai-yan, LIANG Dong, et al. Detection of Printing Color Defect Based on Convolutional Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(23): 170-177.

[6] 王海波, 谢玉芳. 改进灰度共生矩阵的印刷品表面缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2020, 41(23): 272-278.
WANG Hai-bo, XIE Yu-fang. Printing Surface Defect Detection Method Based on Improved GLCM[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(23): 272-278.

[7] 黄露, 夏军勇, 吴庆华, 等. 基于遗传算法与二维最大熵的编织袋缺陷检测[J]. 轻工机械, 2021, 39(5): 69-73.
HUANG Lu, XIA Jun-yong, WU Qing-hua, et al. Woven Bag Defect Detection based on Genetic Algorithm and Two-Dimensional Maximum Entropy[J]. Light Industry Machinery, 2021, 39(5): 69-73.

[8] 张缓缓, 马金秀, 景军锋, 等. 基于改进的加权中值滤波与 K-means 聚类的织物缺陷检测[J]. 纺织学报, 2019, 40(12): 50-56.
ZHANG Huan-huan, MA Jin-xiu, JING Jun-feng, et al. Fabric Defect Detection Method Based on Improved Fast Weighted Median Filtering and K-Means[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(12): 50-56.

[9] 李小宁, 杨学志. 结合自适应中值滤波和 GGCM 的织

- 物质量检测[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2016, 39(7): 906-910.
- LI Xiao-ning, YANG Xue-zhi. Fabric Defect Detection Method based on Adaptive Median Filtering Algorithm and GGCM[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2016, 39(7): 906-910.
- [10] SHI Bo-shan, LIANG Jiu-zhen, DI Lan, et al. Fabric Defect Detection via Low-Rank Decomposition with Gradient Information and Structured Graph Algorithm[J]. Information Sciences, 2021, 546: 608-626.
- [11] 赵树志, 狄岚, 何锐波. 基于改进判别性完整局部二值模式与格分割的织物瑕疵检测方法[J]. 纺织学报, 2018, 39(9): 57-64.
- ZHAO Shu-zhi, DI Lan, HE Rui-bo. Fabric Defect Inspection based on Modified Discriminant Complete Local Binary Pattern and Lattice Segmentation[J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(9): 57-64.
- [12] 迟欢. 基于机器视觉的编织袋缺陷在线检测方法[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(20): 201507.
- CHI Huan. Online Detection Method of Woven Bag Defects Based on Machine Vision[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(20): 201507.
- [13] 陈一虎. P-M 扩散方程图像去噪方法分析[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2010, 30(4): 14-17.
- CHEN Yi-hu. An Analysis of the Method of P-M Diffusion Equation for Image Denoising[J]. Journal of Baoji University of Arts and Sciences (Natural Science Edition), 2010, 30(4): 14-17.
- [14] 许宛如, 刘奎, 吴海峰. 基于结构张量的混合阶偏微分方程图像去噪[J]. 合肥学院学报(综合版), 2020, 37(5): 26-33.
- XU Wan-ru, LIU Kui, WU Hai-feng. Structure Tensor Based Hybrid Order Partial Differential Equation for Image Denoising[J]. Journal of Hefei University (Comprehensive Ed), 2020, 37(5): 26-33.
- [15] 闫颖. 基于偏微分方程的遥感成像雷达距离图像分类方法[J]. 吉林大学学报(理学版), 2019, 57(6): 1472-1478.
- YAN Ying. Distance Image Classification Method for Remote Sensing Imaging Radar based on PDE[J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2019, 57(6): 1472-1478.
- [16] GILBOA G, SOCHEN N, ZEEVI Y Y. Forward-and-Backward Diffusion Processes for Adaptive Image Enhancement and Denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(7): 689-703.
- [17] PERONA P, MALIK J. Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629-639.

责任编辑: 彭颀