

基于滑动滤波和自动区域生长的陶瓷瓦表面裂纹检测

李小磊¹, 曾曙光^{2*}, 郑胜², 肖焱山², 张绍伟², 李强²

¹ 三峡大学电气与新能源学院, 湖北 宜昌 443002;

² 三峡大学理学院, 湖北 宜昌 443002

摘要 针对具有复杂背景干扰和立体结构的陶瓷瓦表面裂纹缺陷, 提出基于滑动滤波和自动区域生长的方法对陶瓷瓦表面裂纹进行提取。首先对采集图像进行预处理, 并将图像分割为瓦头和纹理两个区域; 然后用自定义滑动滤波法对瓦头区域的裂纹缺陷进行检测, 用自动区域生长方法检测纹理区域的裂纹; 最后用形态学运算去除杂散干扰点, 提取裂纹的特征参数。实验结果表明, 本文方法可有效去除复杂背景干扰, 能提取出立体结构的陶瓷瓦表面裂纹。

关键词 图像处理; 陶瓷瓦; 滑动滤波; 自动区域生长; 形态学运算

中图分类号 TP391 文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP56.211003

Surface Crack Detection of Ceramic Tile Based on Sliding Filter and Automatic Region Growth

Li Xiaolei¹, Zeng Shuguang^{2*}, Zheng Sheng², Xiao Yanshan², Zhang Shaowei², Li Qiang²

¹ College of Electrical Engineering & New Energy, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China;

² College of Science, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China

Abstract This study proposes a method which combines sliding filter with automatic region growth to extract surface crack defects on ceramic tiles with complex background interference and stereochemical structure. First, the acquired image is preprocessed and divided into two regions, namely tile head and texture area. Crack defects in the tile head region are detected by the customized sliding filter method, whereas those in the texture area are detected by the automatic region growth method. Finally, a morphological operation removes the spurious interference points and extracts the characteristic parameters of the cracks. Experimental results demonstrate that the proposed method effectively removes the complex background interference and extracts the surface cracks of ceramic tiles with stereochemical structure.

Key words image processing; ceramic tile; sliding filter; automatic region growth; morphological operation

OCIS codes 100.2000; 100.2960; 330.5000; 330.7310

1 引言

在陶瓷瓦的生产中, 存在缺陷的陶瓷瓦会影响陶瓷瓦的外观及实用性, 因此陶瓷瓦缺陷检测在生产过程中尤为重要。目前, 陶瓷瓦缺陷检测仍然依靠人工检测, 存在劳动强度大、主观性强、眼睛易疲劳、漏检率高等问题。机器视觉技术在工业上应用广泛^[1-2], 如桥梁表面缺陷检测^[3]、道路表面缺陷检

测^[4]等, 是工业自动化检测发展的趋势。在工业生产中利用机器视觉技术, 能减少劳动力, 提高生产效率。

裂纹是陶瓷瓦表面中出现频率最多的缺陷, 且形态各异的裂纹为工业自动化检测带来巨大挑战。目前已有多种裂纹检测算法, 如边缘检测算法^[5]、阈值分割^[6]、聚类算法^[7]等。机器视觉技术结合裂纹检测算法在检测磁瓦、钢轨、工件等裂纹缺陷方面已

收稿日期: 2019-04-01; 修回日期: 2019-04-24; 录用日期: 2019-04-30

基金项目: 国家自然科学基金(U1731124)

* E-mail: zengshuguang@163.com

有较好的应用,如采用离散小波变换实现对瓷瓦裂纹的提取^[8]、采用最大熵法对钢轨的裂纹进行检测^[9]、采用 sobel 算法对工件的边缘进行提取^[10],这些算法对平滑、色彩单一的表面裂纹检测效果较好,而对于具有纹理和立体结构的表面裂纹检测,还是会在存在误检的问题。文献^[11]采用滤波法,增大了缺陷对比度,实现了目标提取,但不能完全去除纹理的干扰;文献^[12-13]采用区域生长法,可以完整地分割出裂纹,但在目标与背景相似时,会出现误提取。目前对具有立体结构和丰富纹理的陶瓷瓦表面裂纹检测的研究鲜有报道。

本文提出一种基于机器视觉的陶瓷瓦表面裂纹检测方法,采用自定义滑动滤波和自动区域生长相结合的方法提取陶瓷瓦表面裂纹缺陷。其中,自定义滑动滤波用于检测瓦头区域的裂纹,自动区域生长用于检测纹理区域的裂纹。实验结果表明,本文算法很好地实现对陶瓷瓦表面裂纹检测,有效地提高检测准确性和检测效率。

2 陶瓷瓦裂纹检测系统及图像采集

2.1 陶瓷瓦裂纹检测系统

陶瓷瓦裂纹检测系统包括照明系统、传感系统、图像采集、图像处理、信号输出 5 大部分,如图 1 所示。光源采用点状光源 LED,并进行背光式照明^[14],光照射到反光布上,漫反射到陶瓷瓦表面;陶瓷瓦经过传动带旁边设定的光电开关时,将触发 CMOS 相机采集陶瓷瓦图像;然后,陶瓷瓦

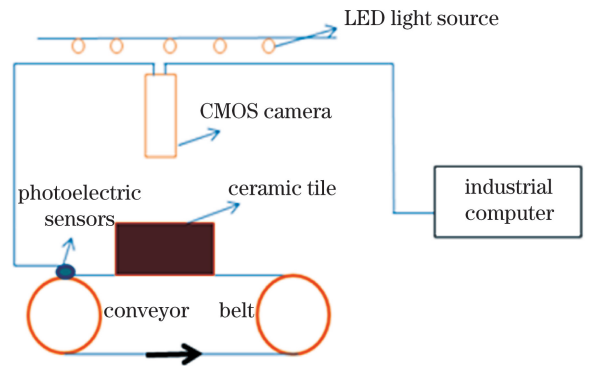


图 1 系统设计

Fig. 1 System design

图像由图像采集卡传入工控机并进行图像处理;最后,通过工控机输出信号,显示出陶瓷瓦是否存在裂纹缺陷。

2.2 陶瓷瓦表面裂纹图像特点分析

图 2(a)为瓦头区域裂纹,图 2(b)为纹理区域裂纹。由图可知陶瓷瓦表面缺陷对比度低;陶瓷瓦表面和纹理具有立体结构,以致陶瓷瓦表面整体光照不均匀;陶瓷瓦表面瓦头区域和花纹区域呈现两种不一样的形态,瓦头区域较为光滑,花纹区域纹理较多。瓦头区域裂纹特征呈水平狭长型特点,裂纹区域像素值与周围像素值对比度较小。纹理区域裂纹特征较暗,易与纹理混淆。纹理区域的纹理为三角爪型,呈 120° 分布,每行纹理交错分布。为保证检测算法的适应性和准确性,需要把陶瓷瓦分为瓦头区域和纹理区域,不同的区域采用不同的算法。

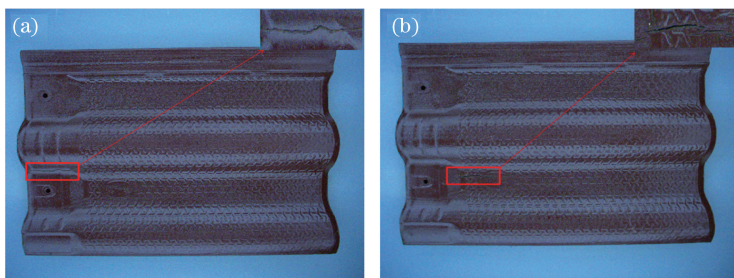


图 2 陶瓷瓦原图像。(a)瓦头区域裂纹;(b)纹理区域裂纹

Fig. 2 Original images of ceramic tile. (a) Crack in the tile head; (b) crack in the texture region

3 陶瓷瓦裂纹检测算法

图像检测算法分为图像预处理、裂纹检测和裂纹判定 3 部分,如图 3 所示。图 3(a)为图像预处理,主要对原图像进行去噪,增加缺陷对比度;图 3(b)为裂纹检测,是整个检测中最重要环节,采用自定义滑动滤波和自动区域生长相结合的方法对陶瓷瓦表面裂纹进行检测;图 3(c)为裂纹判定,采用形

态学去除干扰点,提取缺陷的特征,由几何特征判断陶瓷瓦是否存在裂纹缺陷。

3.1 图像预处理

由于图像在采集及传输过程中存在噪声干扰和光照不均的情况,因此在裂纹检测前需要对原图像进行预处理。采用原图像中的红色通道图像,红色通道图像保留裂纹完整性并且光照不均的干扰较小。接着采用 5×5 窗口大小的中值滤波器对红色

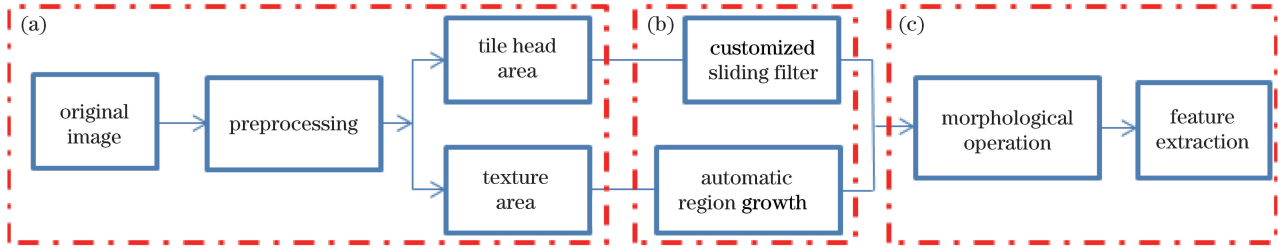


图3 检测算法框图。(a)图像预处理;(b)裂纹检测;(c)裂纹判定

Fig. 3 Block diagram of detection algorithm. (a) Image preprocessing; (b) crack detection; (c) crack determination

通道图像进行去噪, 5×5 窗口大小的中值滤波器去除散点噪声效果较好, 并且裂纹失真程度小。图像预处理过程如图4所示。图4(a)为原图像, 图4(b)为原图

像中红色通道图像, 图4(c)为红色通道图像经过中值滤波处理后的图像。原图像经过预处理后, 图像中噪声点减少, 缺陷对比度增加, 便于下一步裂纹分割。

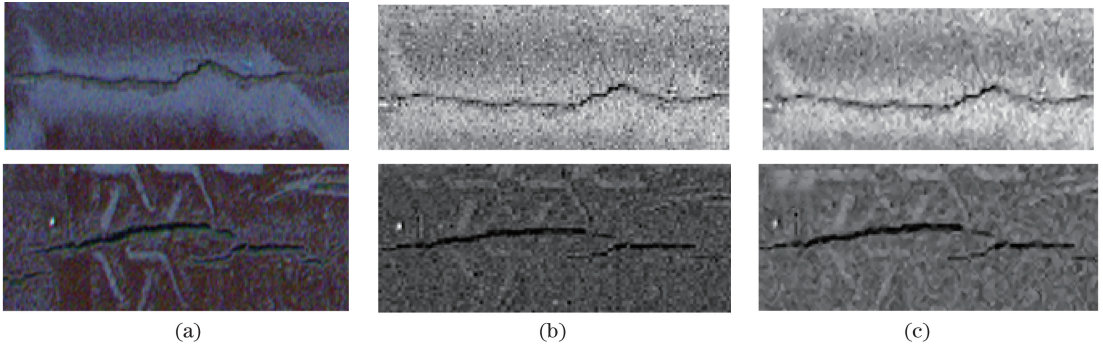


图4 瓦头区域与纹理区域的图像预处理。(a)原图像;(b)红色通道图像;(c)中值滤波图像

Fig. 4 Image preprocessing of tile head area and texture area. (a) Original images; (b) red channel images; (c) median filtered images

3.2 裂纹检测

3.2.1 瓦头区域裂纹检测

瓦头区域裂纹大多呈水平狭长型特征, 且缺陷与背景区域对比度低。边缘检测算法对瓦头区域裂纹检测有较好的抗噪效果^[15], 但依然会存在伪裂纹。针对边缘检测算法的不足, 采用本文自定义模板的滑动滤波方法, 即双窗模型^[11]。双窗模型在结构和裂纹的形态上相似, 可抑制背景区域干扰, 凸显缺陷区域, 去除伪裂纹。双窗模型如图5(a)所示, 外窗(outside window)为背景区域, 大小为 15×15 , 内窗(inner window)为检测区域, 大小为 7×15 , 其模板构造表示为

$$\mathbf{h}_1 = -\frac{1}{120} [1 \quad \cdots \quad 1]_4, \quad (1)$$

$$\mathbf{h}_2 = \frac{1}{105} [1 \quad \cdots \quad 1]_7, \quad (2)$$

$$\mathbf{h}_0 = [\mathbf{h}_1 \quad \mathbf{h}_2 \quad \mathbf{h}_1]^T, \quad (3)$$

式中, \mathbf{h}_1 大小为 1×4 , \mathbf{h}_2 大小为 1×7 , \mathbf{h}_0 为模板的某一行。

$$\mathbf{s} = [1 \quad \cdots \quad 1]_{15}, \quad (4)$$

$$\mathbf{h}(m, n) = \mathbf{h}_0 \times \mathbf{s}, \quad (5)$$

式中, \mathbf{s} 的大小为 1×15 , $\mathbf{h}(m, n)$ 为滑动滤波的模板, m 为滑动滤波模板的长度, n 为滑动滤波模板的宽度。滑动滤波后的图像可表示为

$$\mathbf{g}(x, y) = \mathbf{h}(m, n) * \mathbf{f}(x, y), \quad (6)$$

式中, $*$ 为卷积运算符号, $\mathbf{f}(x, y)$ 为中值滤波后的图像。瓦头区域的中值滤波图像经双窗模型滤波后, 检测效果如图5(b)所示, 缺陷对比度显著提高。采用全局阈值分割提取裂纹, 检测结果如图5(c)所示

3.2.2 纹理区域裂纹检测

纹理区域裂纹检测采用自动区域生长的方法。纹理区域裂纹呈沟壑型, 纹理易对裂纹检测造成误检。陶瓷瓦中纹理区域裂纹特征较暗, 通过中心点和窗口均值比较, 自动确定种子点, 可以去除纹理干扰。区域生长可以保留缺陷完整性^[12-13], 因此提出自动种子选取的区域生长法进行纹理区域的裂纹检测。通过局部窗口扫描的方式, 对局部窗口的均值和中心点的数值进行比较, 确定种子点。采用 21×21 的滑动窗口 C , 计算滑动窗口的均值为

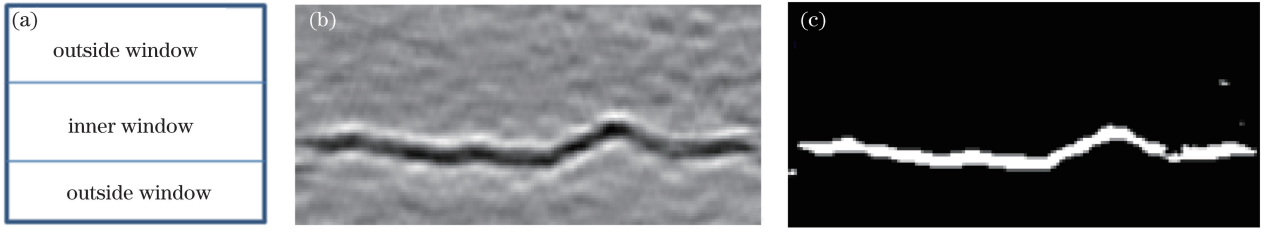


图5 瓦头区域缺陷检测。(a)滤波模板;(b)滤波后的图像;(c)滤波检测结果图

Fig. 5 Defect detection for tile head area. (a) Filter template; (b) filtered image; (c) filter detection result

$$M = \frac{\sum_{(x,y) \in C} f(x,y)}{N \times N}, \quad (7)$$

式中, $f(x,y)$ 为滑动窗口的像素值, (x,y) 为滑动窗口中像素的坐标位置, $N \times N$ 为滑动窗口的大小, M 为滑动窗口的均值。

裂纹像素值比陶瓷瓦背景的像素值要小, 若其满足中心点的条件

$$q\left(\frac{N+1}{2}, \frac{N+1}{2}\right) < k \times M, \quad (8)$$

即可作为种子点进行区域生长。其中, $q\left(\frac{N+1}{2}, \frac{N+1}{2}\right)$ 为窗口的中心像素值, k 为常系数, 取 0.4。种子点的选取图像如图 6(a) 所示。

图像预处理中的中值滤波可去除噪声点, 加快种子点的选取。从种子点开始进行区域生长, 确定生长条件, 像素值是区别缺陷与背景的主要特征之一。因此, 计算种子点与八邻域的像素值差, 其绝对值为 E , 设定终止生长的阈值为 T , 如果 $E < T$, 则标记该点为新的种子点, 否则停止生长, 继续下一个种子点, 直到种子点生长结束。具体算法步骤为:

1) 用 21×21 的窗口扫描纹理区域, 若中心点的像素值小于窗口均值的 k 倍, 则中心点可作为种子点;

2) 计算种子点与八邻域像素值差的绝对值 E , E 小于 T 的像素坐标可被标记为种子点, 否则不可标记为种子点, 对被标记的新种子点依次进行步骤 2) 的操作;

3) 当不会出现新的标记点时, 则对下一个种子点进行步骤 2) 操作, 直至种子点全部完成生长;

4) 提取出所有标记点, 即完成自动区域生长。

自动区域生长完成, 提取出标记点, 结果如图 6(b) 所示。

3.3 裂纹判定

3.3.1 形态学处理

形态学处理可以细化、连接断裂的裂纹, 形态学的基本运算有腐蚀、膨胀、开运算、闭运算。对处理

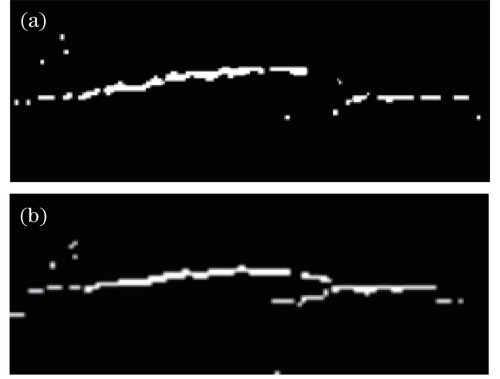


图6 纹理区域缺陷检测。(a)种子点选取;(b)自动区域生长

Fig. 6 Defect detection for texture area. (a) Seed point selection; (b) automatic region growth

的图像先膨胀后腐蚀的过程称作闭运算, 闭运算的公式为

$$C = (A \oplus B) \ominus B, \quad (9)$$

式中, A 为要处理的图像, \oplus 为膨胀运算符号, B 为结构元素, \ominus 为腐蚀运算符号, C 为处理后的图像。结构元素选取半径为 2 的圆。

通过结构元素去提取目标, 采用闭运算对图像进行填充, 去除干扰点。图 5(c) 经过形态学处理的结果, 如图 7(a) 所示。图 6(b) 经过形态学处理的结

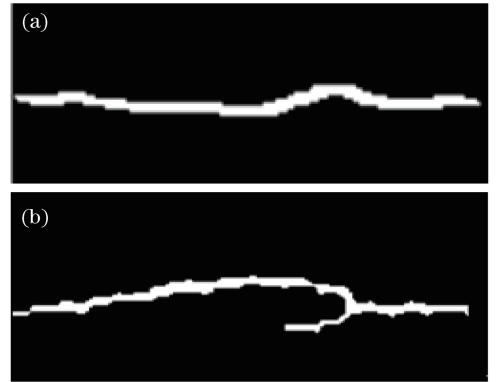


图7 检测结果图。(a)瓦头区域形态学处理图;(b)纹理区域形态学处理图

Fig. 7 Detection results. (a) Morphological processing image of the tile head; (b) morphological processing image of the texture region

果,如图 7(b)所示。

3.3.2 缺陷特征提取

对提取到的缺陷的面积、长宽比进行统计,判断其是否存在缺陷。面积的统计公式为

$$D = \sum_{(x_1, y_1) \in I} P(x_1, y_1), \quad (10)$$

式中, $P(x_1, y_1)$ 为缺陷的像素值, I 为缺陷区域, D 为缺陷的总像素点。

长宽比的计算公式为

$$H = \frac{N_{x_1}}{N_{y_1}}, \quad (11)$$

式中, N_{x_1} 为缺陷中 x_1 方向上的最大长度, x_1 为横坐标方向, N_{y_1} 为缺陷区域 y_1 方向的最大宽度, y_1 为纵坐标方向。当 $D > 50$ pixel 或 $H > 5$ 时,可判断此处缺陷为裂纹缺陷。

4 实验分析

陶瓷瓦检测系统采用 CMOS 线阵相机 (BASLER 公司的 ACA2440-20gc 型相机) 对陶瓷瓦样品进行采集,分辨率为 2048 pixel × 2448 pixel,

焦距为 12 mm,采用工控机(Intel(R) Core(TM) i7 6700K CPU, 4.00 GHz、32 GB 内存、64 位 Windows7 操作系统)对图像进行处理,通过工控机输出信号,可以判断陶瓷瓦是否存在裂纹缺陷。在 MATLAB 环境下开发软件。

为验证本文算法的效果,采用最大熵法(maximum entropy)^[16]、sobel 算法^[10]、离散小波变换(discrete wavelet transform)^[17]和本文算法进行比较,分别对瓦头区域和纹理区域的缺陷进行检测,检测效果如图 8 和图 9 所示。最大熵法先采用灰度变换和中值滤波,再用最大熵法对图像进行分割,最后通过形态学提取缺陷。sobel 算法是对原图像的红色通道进行中值滤波预处理,再用边缘检测 sobel 对图像进行处理。离散小波变换采用原图像的红色通道,结合形态学滤波和离散小波变换的方法对图像进行处理。其中,离散小波变换对预处理的图像进行二层小波分解,提取小波变换后的低频图像,利用形态学处理低频图像,然后通过差影法提取目标,接着对小波变换其他分量图像进行滤波,最后对小波进行重构,提取缺陷。由实验效果来看,本文算法可以很好地从复杂背景中提取出裂纹。

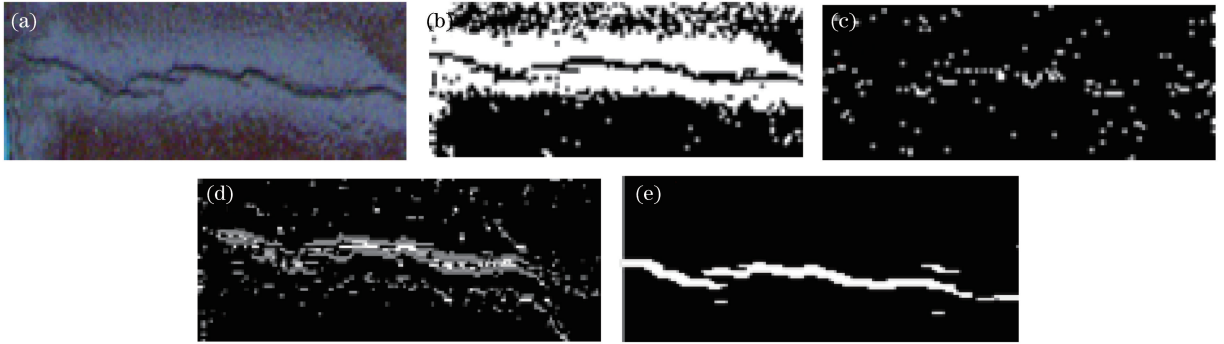


图 8 不同算法对瓦头区域的检测效果。(a)瓦头区域原图像;(b)最大熵法;(c) sobel;(d)离散小波变换;(e)本文算法
Fig. 8 Detection effects of different algorithms for tile head area. (a) Original image of tile head area; (b) maximum entropy; (c) sobel; (d) discrete wavelet transform; (e) proposed method

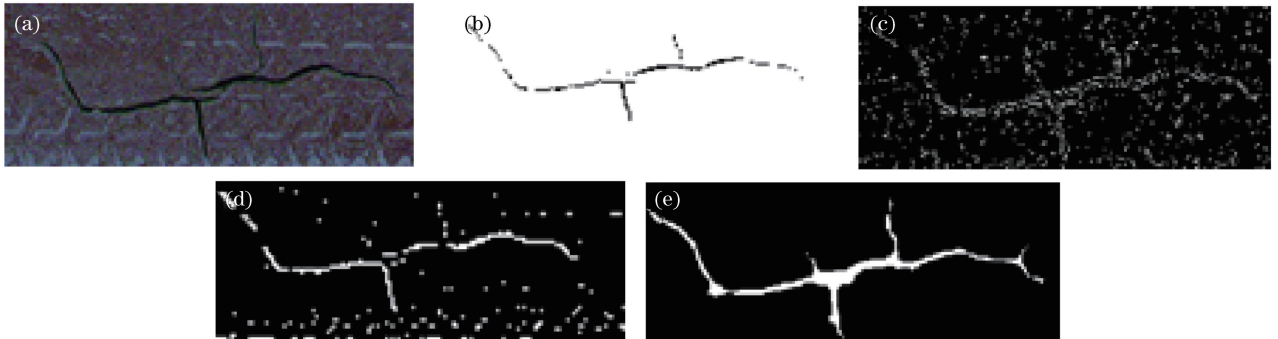


图 9 不同算法对纹理区域的检测效果。(a)纹理区域原图像;(b)最大熵法;(c) sobel;(d)离散小波变换;(e)本文算法
Fig. 9 Detection effects of different algorithms for texture regions. (a) Original image of texture region; (b) maximum entropy; (c) sobel; (d) discrete wavelet transform; (e) proposed method

裂纹的长度可定义为其各连通域的长度之和,图 8(a)中裂纹长度为 282 pixel,本文算法检测出裂纹长度为 277 pixel. 图 9(a)中裂纹长度为 489 pixel,本文算法检测出裂纹长度为 482 pixel. 由此可见,本文算法检测裂纹参数与实际裂纹参数匹配程度较高.

为验证本文算法的准确性,采集 100 张陶瓷瓦的样品,采用本文算法和其他 3 种算法对样品进行检测. 经过统计,本文算法检测准确率高达 94%,相比其他 3 种算法的准确率较高,检测效果较好. 4 种不同算法检测的准确率如表 1 所示.

表 1 4 种算法检测的准确率

Table 1 Detection accuracy of four algorithms

| Algorithm | Number of errors | Accuracy /% |
|----------------------------|------------------|-------------|
| Maximum entropy | 12 | 88 |
| Sobel | 23 | 77 |
| Discrete wavelet transform | 11 | 89 |
| Proposed method | 6 | 94 |

5 结 论

针对具有纹理、立体结构的陶瓷瓦裂纹缺陷提取,提出用自定义滑动滤波和自动区域生长相结合的方法检测陶瓷瓦表面裂纹. 首先对原图像进行预处理,接着采用自定义滑动滤波对瓦头区域裂纹进行检测,纹理区域采用自动区域生长法提取裂纹,然后通过形态学运算填充缺陷,去除干扰点,最后提取出裂纹. 实验结果表明,本文方法可以去除光照不均影响和纹理的干扰,很好地提取出裂纹,准确率高达 94%,对陶瓷瓦表面裂纹缺陷检测具有一定的指导意义.

参 考 文 献

- [1] Xiang S B, Su G D, Chen J S, *et al.* Brick stack anomaly detection and recognition based on machine vision [J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, 31(7): 0715002.
向守兵, 苏光大, 陈健生, 等. 基于机器视觉的码坯异常检测与识别 [J]. *光学学报*, 2011, 31(7): 0715002.
- [2] Hao Y, Zhao X, Wen Q H, *et al.* Roller missing detection in deep groove ball bearings based on machine vision [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(2): 021502.
郝勇, 赵翔, 温钦华, 等. 基于机器视觉的深沟球轴承滚珠遗漏检测 [J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(2): 021502.
- [3] Li L F, Sun R Y. Bridge crack detection algorithm based on image processing under complex background [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(6): 061002.
李良福, 孙瑞贻. 复杂背景下基于图像处理的桥梁裂缝检测算法 [J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(6): 061002.
- [4] Qu Z, Lin L D, Guo Y, *et al.* An improved algorithm for image crack detection based on percolation model [J]. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 2015, 10(2): 214-221.
- [5] Yang X F, Wu Y Y, Zhao L. Pipeline crack detection algorithm based on Canny detector [J]. *Computer Engineering and Design*, 2018, 39(3): 798-803.
杨先凤, 吴媛媛, 赵玲. 基于 Canny 改进算子的油管裂纹检测算法 [J]. *计算机工程与设计*, 2018, 39(3): 798-803.
- [6] Wang X Y, Gao X H. Image segmentation method of self-adopting threshold [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(S4): 167-171.
王歆玥, 高旭辉. 一种自适应阈值分割方法 [J]. *红外与激光工程*, 2006, 35(S4): 167-171.
- [7] Xie B, Zhu B, Zhang H W, *et al.* Gradient clustering algorithm based on deep learning aerial image detection [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(6): 061007.
解博, 朱斌, 张宏伟, 等. 基于深度学习航拍图像检测的梯度聚类算法 [J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(6): 061007.
- [8] Yang C L, Yin G F, Jiang H H, *et al.* On magnetic tile surfaces defect detection based on wavelet transform [J]. *Computer Applications and Software*, 2014, 31(11): 210-213, 274.
杨成立, 殷国富, 蒋红海, 等. 基于小波变换的磁瓦表面缺陷检测方法研究 [J]. *计算机应用与软件*, 2014, 31(11): 210-213, 274.
- [9] Yuan X C, Wu L S, Chen H W. Improved image preprocessing algorithm for rail surface defects detection [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2014, 26(5): 800-805.
袁小翠, 吴禄慎, 陈华伟. 钢轨表面缺陷检测的图像预处理改进算法 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2014, 26(5): 800-805.
- [10] Hua C J, Xiong X M, Chen Y. Feature extraction of workpiece circular arc contour based on Sobel operator [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(2): 021011.

- 化春键, 熊雪梅, 陈莹. 基于 Sobel 算子的工件圆弧轮廓特征提取[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(2): 021011.
- [11] Mei F, Zhao C H. Spatial filter based anomaly detection algorithm for hyperspectral imagery kernel RX detectors [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2009, 30(6): 697-702.
梅锋, 赵春晖. 基于空域滤波的核 RX 高光谱图像异常检测算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 30(6): 697-702.
- [12] Yang J H, Liu J, Zhong J C, *et al.* A color image segmentation algorithm by integrating watershed with automatic seeded region growing [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(1): 63-68.
杨家红, 刘杰, 钟坚成, 等. 结合分水岭与自动种子区域生长的彩色图像分割算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(1): 63-68.
- [13] Hazlyna H N, Aini H H, Fadzilah S, *et al.* Fusion 7×7 median filter and seeded region growing area extraction algorithms for effective detection of acute leukemia based on blood images [J]. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2018, 10(3S): 726-737.
- [14] Zhang Q F, Gao J. Research progress of lighting technology in machine vision [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2011, 22(2): 31-37.
张巧芬, 高健. 机器视觉中照明技术的研究进展[J]. 照明工程学报, 2011, 22(2): 31-37.
- [15] Li J S, Ma Y, Zhao F Z, *et al.* A novel arithmetic of image edge detection of Canny operator [J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(S1): 50-54.
李俊山, 马颖, 赵方舟, 等. 改进的 Canny 图像边缘检测算法[J]. 光子学报, 2011, 40(S1): 50-54.
- [16] Du F, Shi W K, Deng Y, *et al.* Fast infrared image segmentation method [J]. Journal Infrared Millimeter and Waves, 2005, 24(5): 370-373.
杜峰, 施文康, 邓勇, 等. 一种快速红外图像分割方法[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(5): 370-373.
- [17] Singh R, Khare A. Fusion of multimodal medical images using Daubechies complex wavelet transform - a multiresolution approach [J]. Information Fusion, 2014, 19: 49-60.