

基于改进的同态滤波与 Canny 算法的磁瓦表面缺陷检测算法研究

朱志勋, 赵磊*, 李恒, 王海瑞

昆明理工大学信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500

摘要 针对磁瓦图像光照不均匀、对比度较低、表面干扰磨削纹理较多的问题,提出了一种基于改进的同态滤波与 Canny 算法的磁瓦表面缺陷检测算法。首先,采用改进的同态滤波传递函数将磁瓦图像分解成高频图像和低频图像,用连续均值量化变换增强高频图像,再将增强的高频图像与低频图像融合便能够得到光照较均匀和对比度较高的磁瓦图像。然后,将传统 Canny 算法中的高斯滤波器替换为相对总变差模型,从而提取出磁瓦缺陷结构;为了提高边缘检测的精度,增加了梯度方向模板求取图像像素点的梯度幅值和方向,并采用基于图像灰度信息的单阈值提取出图像缺陷边缘,提高了算法的鲁棒性。最后,通过形态学处理对检测出的缺陷边缘图像进行填充,并把干扰边缘去除,便可得到磁瓦的缺陷区域。实验结果表明,所提算法对磁瓦表面缺陷检测的效果较好,检测精度较高,且适用于多种类型的磁瓦表面缺陷。

关键词 图像处理; 改进的同态滤波; 连续均值量化变换; Canny 算法; 相对总变差; 磁瓦表面缺陷检测

中图分类号 TP391.9

文献标志码 A

DOI: 10.3788/LOP202259.1810009

Magnetic Tile Surface Defect Detection Algorithm Based on Improved Homomorphic Filtering and Canny Algorithm

Zhu Zhixun, Zhao Lei*, Li Heng, Wang Hairui

Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, Yunnan, China

Abstract To address the problems of uneven illumination, low contrast, and excessive surface interference grinding texture in the image of a magnetic tile, this paper proposes a magnetic tile surface defect detection algorithm based on improved homomorphic filtering and Canny algorithm. First, the magnetic tile images were decomposed into high- and low-frequency images using the improved homomorphic filter transfer function. Moreover, the high-frequency images were enhanced through successive mean quantization transform. Second, the enhanced high- and low-frequency images were fused to obtain a magnetic tile image with uniform illumination and high contrast. Furthermore, the Gaussian filter in the traditional Canny algorithm was replaced by relative total variation to extract the magnetic tile defect structure. To improve edge detection accuracy, the gradient direction template was also employed to obtain the gradient amplitude and direction of image pixels, with the single threshold based on image gray information being used to extract the image edge defect, improving the robustness of the algorithm. Finally, the detected image edge defect was filled by morphological processing, and the interference edge was removed to obtain the defect area of the magnetic tile. Experimental results show that the proposed algorithm is effective in detecting the surface defects of magnetic tiles, the detection accuracy is high, and it is suitable for many types of surface defects of magnetic tiles.

Key words image processing; improved homomorphic filtering; successive mean quantization transform; Canny algorithm; relative total variation; surface defect detection of magnetic tile

收稿日期: 2021-06-07; 修回日期: 2021-07-11; 录用日期: 2021-07-28

基金项目: 国家自然科学基金(61863016)

通信作者: *58042016@qq.com

1 引言

磁瓦作为永磁电机的重要组成部分,在生产的时候由于原材料、制作工艺、工人操作和搬运碰撞等因素的影响,磁瓦表面难免会产生一些生产缺陷,例如孔洞、裂纹、崩块、磨损等,这些表面缺陷将直接影响电机的稳定性、可靠性及安全性。因此,在磁瓦投入市场前需要对磁瓦的质量进行严格的检验,把带有表面缺陷的磁瓦去除,但传统的人工检测方法检测效率较低、成本较高,且检测结果易受员工主观因素的影响^[1]。

最近几年,采用机器视觉检测技术对各类产品的表面进行缺陷检测已经成为国内外的研究热点和未来产品质量检测领域的发展趋势,但由于拍摄设备和环境等因素的影响,所采集到的大部分磁瓦图像存在光照不均匀、对比度低、纹理细节信息不清晰等问题,这些干扰因素使得准确检测磁瓦表面缺陷具有巨大挑战。Li等^[2]提出了一种利用快速离散曲线波变化和纹理分析的方法,该方法可以自动对磁瓦图像中深色低对比度的裂纹缺陷进行检测,对磁瓦中存在的表面磨削纹理进行了有效消除,对磁瓦中深色低对比度的裂纹缺陷检测效果较好,但该方法仅仅适用于磁瓦裂纹缺陷,且必须严格控制光照条件才能具有较好的检测效果。刘国平等^[3]提出了一种基于纹理特征的磁瓦表面缺陷提取方法,该方法对磁瓦缺陷目标进行了有效增强且抑制了背景纹理,能够有效检测出多种类型的磁瓦缺陷,但该方法仅可以抑制一个方向的背景纹理,当磁瓦缺陷和背景干扰纹理具有相同方向时便不能较准确地检测出磁瓦缺陷。Xie等^[4]提出了一种基于Shearlet变换和自适应阈值的磁瓦表面缺陷检测方法,该方法能较好地消除磁瓦图像中存在的背景不均匀问题,提高缺陷区域与正常区域之间的对比度,但该方法未能对图像中存在的噪声进行针对性处理,使得检测结果的准确性降低。张露滨等^[5]提出了一种利用非线性各向异性扩散方程抑制磁瓦表面纹理后再构造动态掩膜自下而上扫描磁瓦图像的方法,该方法能较好地提取出磁瓦表面的线性缺陷,包括微弱的划痕缺陷,但该方法仅仅针对磁瓦的线性缺陷,其他种类的磁瓦缺陷并没有涉及。马旭东等^[6]提出了一种基于K-means聚类的磁瓦缺陷图像分割方法,该方法可以准确地检测出磁瓦端面崩块缺陷,但其他类型的磁瓦表面缺陷的检测也没有涉及。

综上所述,上述算法都能较好地检测出磁瓦缺陷区域,但都存在一定的局限性。本文针对磁瓦表面缺陷图像光照不均匀、缺陷区域与非缺陷区域对比度较低、磁瓦表面存在大量干扰磨削纹理的问题,提出了一种基于改进的同态滤波与Canny算法的磁瓦表面缺陷检测算法。实验结果表明,所提算法可以有效地改善磁瓦图像中存在的光照不均匀问题,提高磁瓦图像中缺陷区域与正常区域之间的对比度,从而更加精确地检测出磁瓦表面缺陷。

2 改进的同态滤波

针对磁瓦图像普遍存在的光照不均匀、缺陷区域与非缺陷区域对比度较低的问题,本实验组采用一种改进的同态滤波算法对其进行预处理。同态滤波是一种可以将图像动态范围在频域中压缩并提高图像对比度的增强方法^[7]。它可以根据照射-反射模型将输入图像 $f(x, y)$ 表示为照射分量 $i(x, y)$ 与反射分量 $r(x, y)$ 的乘积,即

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y). \quad (1)$$

照射分量 $i(x, y)$ 对应于图像频域中的低频部分,反应了图像的光照强度;反射分量 $r(x, y)$ 对应于图像频域中的高频部分,反应了图像的细节特征^[8]。因此,可以根据图像照射与反射分量的不同特征,采用最为符合要求的同态滤波传递函数将二者分开后再进行处理,从而改善图像的光照不均匀、增强图像的对比度^[9]。本实验组将传统的巴特沃斯传递函数进行了改进,改进后的巴特沃斯传递函数能将图像的低频和高频信息分开,其表达式为

$$H_h = (r_h - r_l) / \left(1 + \frac{cD_0}{D(u, v)} \right)^{2n} + r_l, \quad (2)$$

$$H_l = 1 - \left[(r_h - r_l) / \left(1 + \frac{cD_0}{D(u, v)} \right)^{2n} + r_l \right], \quad (3)$$

式中: $D(u, v)$ 表示频率 (u, v) 到滤波中心 (u_0, v_0) 的距离, $D(u, v) = \sqrt{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2}$; D_0 为截止频率; n 为滤波器阶数; c 为锐化系数; r_h 为高频增益系数; r_l 为低频增益系数。将传统同态滤波中的传递函数 H 替换为改进后的巴特沃斯传递函数 H_h 和 H_l ,图像运算完成后将获得高频信息函数和低频信息函数,对其采用傅里叶逆变换和指数变换后,将得到高频图像 $f_1(x, y)$ 和低频图像 $f_2(x, y)$ 。随后采用连续均值量化变换(SMQT)非线性拉伸高频图像 $f_1(x, y)$ 的灰度范围,进而增强磁瓦图像的对比度。SMQT是一种非线性拉伸的图像增强算法,利用二叉树的形式将图像像素点进行分层,并采用线性叠加的方式处理每层的输出结果,达到增强像素点的目的。该方法能够把图像的灰度范围延展至整个灰度级区域,在提高图像对比度的同时保持图像的自然度^[10]。二叉树之间的节点是mean quantization units(MQU),MQU构成了SMQT的主要计算单元,其每一层的输出 $u_{(l,n)}$ 可以看作是输入图像 $D(x)$ 的结构,其中二叉树的层数 $l = 1, 2, \dots, L$,层数为 l 的MQU输出编号 $n = 1, 2, \dots, 2^{l-1}$ ^[11]。SMQT算法的结构如图1所示。

设 x 是图像 $D(x)$ 中的一个像素,像素的灰度值可以用 $V(x)$ 表示,SMQT的输出为 $M(x)$,则SMQT函

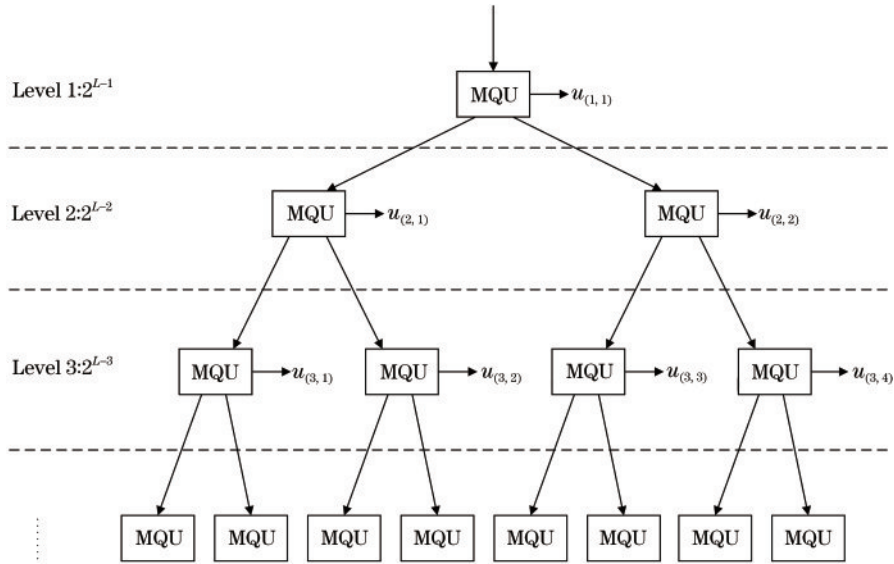


图 1 连续均值量化的结构图

Fig. 1 Structure chart of successive mean quantization transform

数的计算公式为

$$M(x) = \left\{ x | V(x) = \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^{2^{l-1}} V[u_{(l,n)}] 2^{L-l}, \forall x \in M, \forall u_{(l,n)} \in u_{(l,n)} \right\} \circ \quad (4)$$

最后将增强的高频图像 $f_1(x, y)$ 和低频图像 $f_2(x, y)$ 相加得到最终的增强图像 $g_1(x, y)$, 其表达式为

$$g_1(x, y) = w_1 f_1(x, y) + w_2 f_2(x, y), \quad (5)$$

式中: w_1, w_2 为相应系数, 大量实验表明, 当 $w_1 = 0.7, w_2 = 1$ 时, 图像增强效果较好。所提算法能够明显改善磁瓦图像光照不均匀的情况, 提高磁瓦图像的对比如图 2 所示。

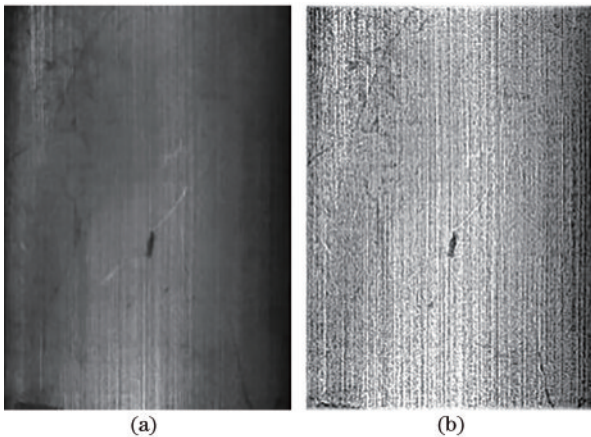


图 2 图像对比。(a)原始图像;(b)增强图像
Fig. 2 Image comparison. (a) Original image;
(b) enhanced image

3 传统 Canny 算法及其改进算法

3.1 传统 Canny 算法

Canny 边缘检测算法的检测过程主要分为高斯滤波去噪、梯度幅值和方向的计算、梯度非极大值抑制、双阈值处理和虚假弱边缘去除^[12]。

传统 Canny 算法采用高斯滤波器对图像进行平滑去噪, 高斯滤波器的表达式为

$$G_1(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\pi\sigma^2}\right), \quad (6)$$

式中: σ 为高斯标准差, 控制图像的平滑效果, 其值越大则平滑效果越明显, 对噪声的抑制能力就越强^[13]。

采用 2×2 的一阶有限差分计算图像像素点的梯度幅值 G_2 与梯度方向 θ ^[14], 表达式为

$$G_2(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)}, \quad (7)$$

$$\theta(x, y) = \arctan[G_y(x, y)/G_x(x, y)], \quad (8)$$

式中: $G_x(x, y)$ 为水平方向 x 的偏导数; $G_y(x, y)$ 为垂直方向 y 的偏导数; $G_2(x, y)$ 为梯度幅值, 表示边缘强度信息; $\theta(x, y)$ 为梯度方向, 预言边缘的方向走势。

传统 Canny 算法的非极大值抑制将像素点与其边缘方向的 2 个邻近像素值进行比较, 若中间值最大, 则保留为边缘像素, 否则对该像素进行抑制, 即保留屋脊状边缘^[15]。一般情况下, 灰度变化的区域都较为集中, 除图像像素点局部最大值之外的所有梯度值都抑制为 0, 从而达到瘦边的目的^[16]。

传统 Canny 算法利用双阈值法检测并连接边缘点, 首先设置一个高阈值 T_H 和一个低阈值 T_L , 然后将边缘像素点的梯度幅值 G_2 与高、低阈值相比较。当 $G_2 > T_H$ 时, 则将该点设为强边缘点; 当 $T_L < G_2 < T_H$

时,则将该点设为弱边缘点;当 $G_2 < T_L$ 时,则将该点设为非边缘点。

3.2 改进的 Canny 算法

然而传统的 Canny 算法不能较好地检测出磁瓦缺陷边缘,为了提高算法的准确性,本实验组对其进行了以下改进:

1) 使用相对总变差模型(RTV)提取磁瓦缺陷结构。

传统 Canny 算法中的高斯滤波器虽然能较好地消除图像中的噪声干扰,但是却无法消除磁瓦图像中存在的大量磨削纹理造成的干扰,导致检测出的边缘图像存在大量的干扰边缘信息,造成最终的检测结果不准确,针对此问题,本实验组使用 RTV 替换了高斯滤波器。输入图像 I 可以表示为结构图像 S 和纹理图像 T 的线性组合,其表达式为

$$I = S + T. \quad (9)$$

Xu 等^[17]提出了一种利用 RTV 获取纹理图像主要结构信息的算法,RTV 可以在没有指定特定类型纹理和规则的情况下,将图像的主要结构和纹理信息分开,并把主要结构提取出来,其表达式为

$$\arg \min_s \sum_p (S_p - I_p)^2 + \lambda \cdot \left(\frac{D_x(p)}{L_x(p) + \epsilon} + \frac{D_y(p)}{L_y(p) + \epsilon} \right), \quad (10)$$

$$\begin{cases} D_x(p) = \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot \left| (\partial_x S)_q \right| \\ D_y(p) = \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot \left| (\partial_y S)_q \right| \end{cases}, \quad (11)$$

$$\begin{cases} L_x(p) = \left| \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot (\partial_x S)_q \right| \\ L_y(p) = \left| \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot (\partial_y S)_q \right| \end{cases}, \quad (12)$$

3) 基于图像灰度信息的单阈值设定。

传统 Canny 算法中的高低阈值需要通过大量实验才能获取,且每幅图片适合的阈值并不相同,使得算法的自适应性较差。本实验组提出一种基于图像灰度信息的单阈值方法,由于磁瓦图像中部分磨削纹理的灰度信息接近缺陷区域边缘的灰度信息,单阈值方法可以有效减少该部分磨削纹理的干扰,并且增强算法的鲁棒性。根据图像的最大灰度值 G_{\max} 、最小灰度值 G_{\min} 和平均灰度值 G_{avg} 计算阈值 V ,然后将边缘像素点的梯度幅值 G_3 与阈值 V 进行比较。当 $G_3 > V$ 时,则将该点设为边缘点;当 $G_3 < V$,则将该点设为非边缘点,便

$$g_{p,q} \propto \exp \left[-\frac{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (13)$$

式中: S 是生成的结构图像; $(S_p - I_p)^2$ 使得提取结构类似于输入图像的结构; p 和 q 是图像像素的索引; x 和 y 是像素坐标; λ 是控制平滑程度的权重; ϵ 是一个较小的正数,避免分母为0; ∂_x 和 ∂_y 分别是水平方向 x 和垂直方向 y 的偏导数; $g_{p,q}$ 是根据空间相似性定义的加权函数; σ 控制窗口的空间尺度。

2) 增加梯度方向计算。

图像的边缘具有不同的方向性,传统 Canny 算法采用 2×2 的 roberts 算子求取图像像素点的梯度幅值。为了增强检测的精准性,本实验组采用 3×3 的 Sobel 算子,由于传统的 Sobel 算子只考虑了两个方向的梯度信息,对于其他方向的梯度信息考虑有所欠缺,致使一些边缘细节信息经常遗失^[18],本实验组在原有方向模板的基础上,增加了 45° , 135° , 225° , 315° 方向模板对图像像素点梯度进行计算。改进模板如下:

$$\begin{aligned} S_{0^\circ} &= \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, S_{45^\circ} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}, \\ S_{90^\circ} &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ S_{135^\circ} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}, S_{225^\circ} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}, \\ S_{315^\circ} &= \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

改进后图像像素点梯度幅值的计算公式为

$$G_3(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y) + G_{45^\circ}^2(x, y) + G_{135^\circ}^2(x, y) + G_{225^\circ}^2(x, y) + G_{315^\circ}^2(x, y)}. \quad (14)$$

可检测出缺陷边缘。阈值的表达式为

$$V = w_3 \cdot G_{\max} + w_4 \cdot G_{\min} + w_5 \cdot G_{\text{avg}}, \quad (15)$$

式中: w_3 、 w_4 、 w_5 为参数,当 $w_3 = 1.44$, $w_4 = 0.3$, $w_5 = 0.3$ 时,磁瓦缺陷边缘检测效果最佳。最后采用形态学处理方法填充缺陷区域,并把干扰边缘去除便可得到检测图像 $g_2(x, y)$ 。所提算法流程如图 3 所示, $f(x, y)$ 表示输入图像, Ln 表示对数变换, DFT 表示傅里叶变换, $H(u, v)$ 表示滤波处理, DFT^{-1} 表示傅里叶逆变换, \exp 表示指数变换, $g_1(x, y)$ 表示输出的磁瓦增强图像, $g_2(x, y)$ 表示输出的缺陷检测图像。

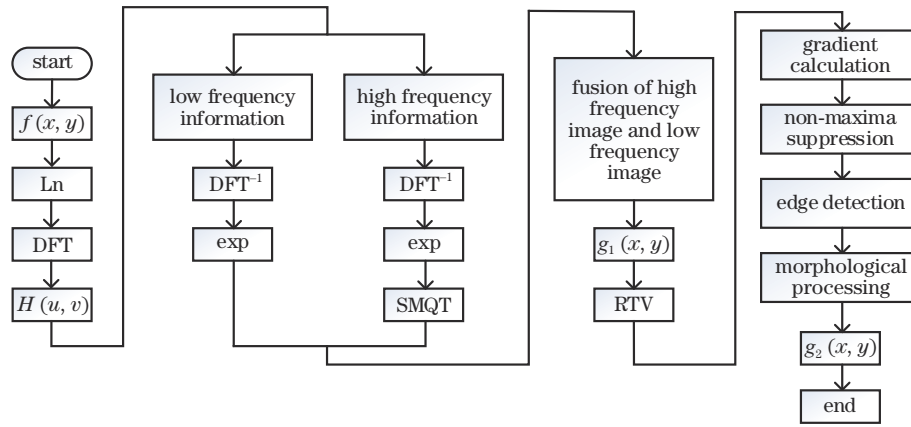


图 3 所提算法流程图

Fig. 3 Flow chart of proposed algorithm

4 实验结果分析与讨论

所用实验数据集来自中科院自动化所Huang等^[19]收集的磁瓦表面缺陷数据集,磁瓦图像存在的光照不均匀、对比度低、表面具有较多干扰磨削纹理是该数据集中存在的主要问题,可以较好验证所提算法性能,仿真软件为 Matlab2016a。对具有垂直和水平方向磨削纹理的磁瓦图像进行了检测,并采用 Sobel 算子、传统 Canny 算法、OTSU 算法、文献 6 算法与所提算法进行了对比实验。

4.1 不同纹理方向的磁瓦缺陷检测结果

由于数据集中磁瓦图像的磨削纹理都是垂直方向的,为了验证所提算法检测结果不受磨削纹理方向的影响,对原有数据集进行了扩展,将磁瓦孔洞缺陷图像顺时针旋转 90°、180°和 270°,此时磁瓦图像中的磨削纹理方向也随着旋转,然后采用所提算法分别对原始图像和旋转图像进行检测,并采用 Sobel 算子检测图像与其进行对比。检测结果如图 4 所示,其中[图 4(a)]为原始磁瓦孔洞缺陷图像及分别进行顺时针旋转 90°、180°、270°得到的磁瓦缺陷图像,[图 4(b)]和[图 4(c)]

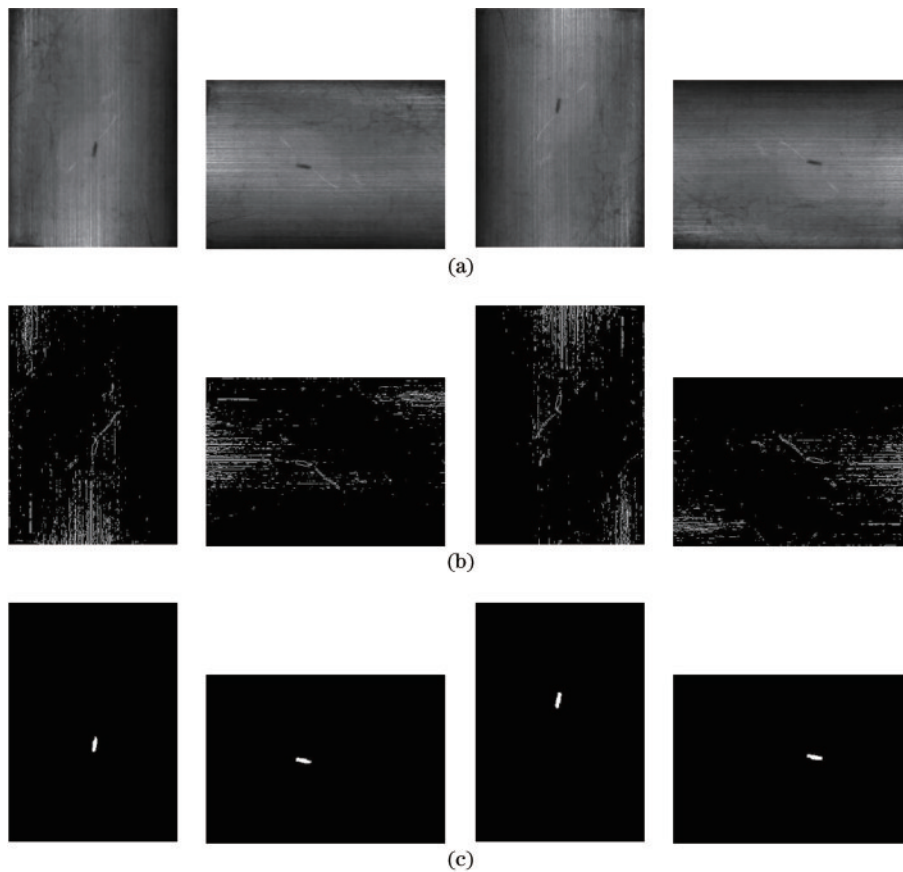


图 4 磁瓦孔洞缺陷检测图像。(a)原始图像;(b) Sobel;(c)所提算法

Fig. 4 Detection images of magnetic tile blowhole defect. (a) Original image; (b) Sobel; (c) proposed algorithm

是采用 Sobel 算子和所提算法分别对各方向的磁瓦孔洞缺陷图像进行检测得到的结果。从图 4 可以看出, 所提算法可以较好地消除不同方向磨削纹理的干扰, 且较精确地检测出磁瓦缺陷区域。

4.2 检测结果对比分析

图 5 分别是磁瓦孔洞、裂纹、磨损、崩块缺陷图像运用不同算法进行检测得到的检测结果。[图 5(a)] 为原始磁瓦图像, 通过观察各类磁瓦缺陷图像可知, 其存在的主要问题是光照不均匀、对比度低、干扰磨削纹理较多且复杂, 这些干扰因素使得准确地检测出磁瓦缺陷具有一定的难度。[图 5(b)] 是采用 Sobel 算子对磁瓦表面缺陷图像进行检测得到的结果, Sobel 算子虽然可以检测出磁瓦缺陷边缘, 但是检测出的缺陷边缘不连续, 并且检测结果存在大量的干扰边缘, 使得难以从检测结果中区分出缺陷区域与非缺陷区域。[图 5(c)] 是采用传统 Canny 算法对

磁瓦缺陷图像进行检测得到的结果, 由于原始图像具有大量的干扰磨削纹理, 检测结果中存在较多的干扰边缘信息, 检测效果较差。[图 5(d)] 是采用 OTSU 算法对磁瓦缺陷图像进行检测得到的结果, 因为原始磁瓦图像受灰度不均匀、对比度较低、光照不均匀等因素的影响, 所以采用该算法进行检测时, 灰度值与缺陷相接近的非缺陷区域也被误判为磁瓦缺陷区域, 造成检测结果不准确。[图 5(e)] 是采用文献[6]算法对磁瓦缺陷进行检测得到的结果, 该算法的检测结果与 OTSU 算法的检测结果类似, 检测效果都不理想。[图 5(f)] 是数据集中标记好的磁瓦缺陷区域。[图 5(g)] 是采用所提算法对磁瓦缺陷进行检测得到的结果, 相比其他算法, 所提算法可以有效地消除磁瓦图像光照不均匀、对比度低、干扰磨削纹理较多且复杂等问题, 较准确地检测出磁瓦缺陷区域, 缺陷检测精度也明显高于其他算法。

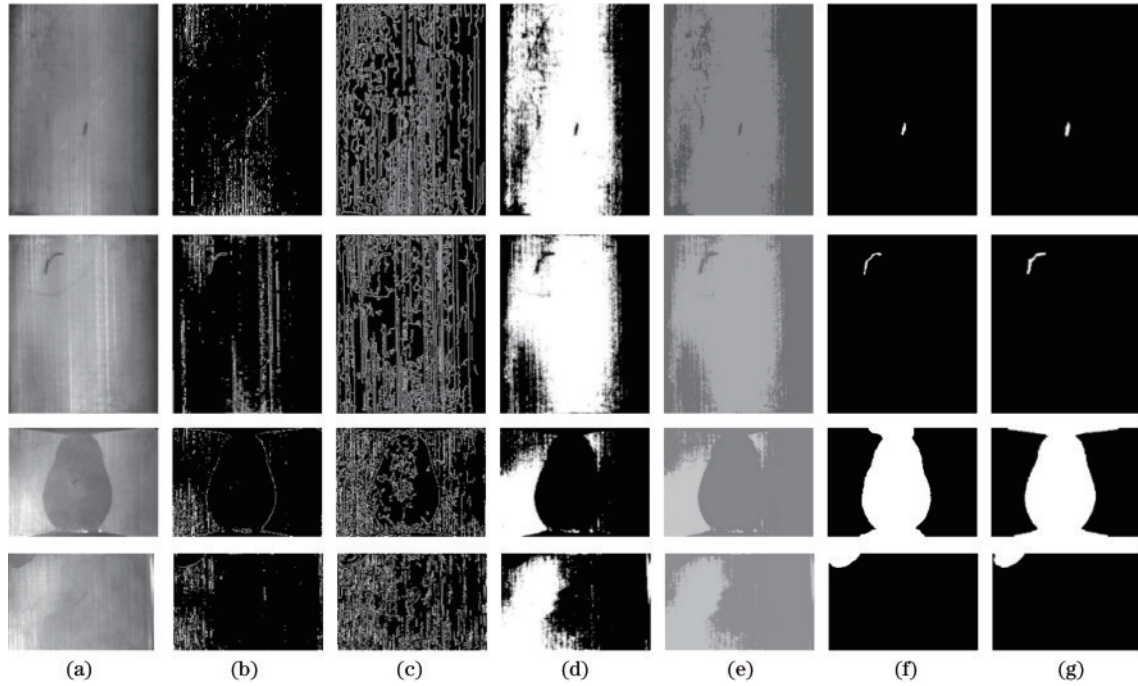


图 5 磁瓦表面缺陷检测图像。(a) 原始图像; (b) Sobel; (c) Canny; (d) OTSU; (e) 文献[6]; (f) 标记缺陷; (g) 所提算法
Fig. 5 Detection images of magnetic tile surface defects. (a) Original images; (b) Sobel; (c) Canny; (d) OTSU; (e) literature [6]; (f) labeled defect; (g) proposed algorithm

4.3 实验数据对比分析

由于视觉评价具有一定的主观性, 采用重叠率 Dice 系数、重叠误差 (VOE) 和检测精度 (SA) 作为客观评价标准对各算法的检测结果进行客观评价。以数据集中的标记缺陷作为参考, 将检测结果与标记缺陷对比, Dice 系数表示检测结果与标记缺陷的重叠度, 重叠度越高其值越接近于 1, 检测结果越准确; VOE 表示检测结果与标记缺陷的重叠误差, 误差越小其值越接近于 0; SA 表示检测精度, 检测精度越高其值越接近于 1, 其表达式分别为

$$R_{\text{Dice}} = \frac{2 \times (R_{\text{seg}} \cap R_{\text{gt}})}{R_{\text{seg}} + R_{\text{gt}}}, \quad (16)$$

$$E_{\text{VOE}} = \left| \frac{2 \times (R_{\text{seg}} - R_{\text{gt}})}{R_{\text{seg}} + R_{\text{gt}}} \right|, \quad (17)$$

$$A_{\text{SA}} = 1 - \frac{|R_{\text{gt}} - R_{\text{seg}}|}{R_{\text{gt}}}, \quad (18)$$

式中: R_{gt} 表示数据集中的标记缺陷; R_{seg} 表示采用算法检测出的缺陷。

表 1 是运用不同算法对磁瓦孔洞、裂纹、磨损、崩块缺陷图像进行检测后, 将检测结果与数据集中的标记缺陷进行对比得到的参数对比表, 表 2 是各参数平均值对比表。从表 1 和表 2 可以看出, 所提算法在 Dice、VOE、SA 这 3 项参数上, 都明显优于对比算法,

表1 检测结果参数对比

Table 1 Comparison of test result parameters

Defect types of magnetic tile	Detection method	Dice	VOE	SA
Blowhole defect of magnetic tile	Sobel	0.0128	1.8803	-30.4196
	Canny	0.0019	1.9748	-155.5714
	OTSU	0.0050	1.9883	-337.5893
	Literature [6]	0.0055	1.9871	-306.4554
	Proposed algorithm	0.8807	0.1564	0.8304
Crack defect of magnetic tile	Sobel	0.0364	1.7756	-14.8284
	Canny	0.0089	1.9355	-58.9851
	OTSU	0.0118	1.9744	-153.3321
	Literature [6]	0.0120	1.9741	-151.1530
	Proposed algorithm	0.8440	0.0993	0.8955
Fray defect of magnetic tile	Sobel	0.0183	1.6533	0.0949
	Canny	0.1331	0.9009	0.3789
	OTSU	0.6184	0.7502	-0.2005
	Literature [6]	0.6208	0.7448	-0.1866
	Proposed algorithm	0.9586	0.0759	0.9212
Break defect of magnetic tile	Sobel	0.0271	0.4248	0.4606
	Canny	0.0457	1.4359	-4.0906
	OTSU	0.0683	1.8632	-26.2324
	Literature [6]	0.0688	1.8622	-26.0182
	Proposed algorithm	0.9411	0.0966	0.9079

表2 参数平均值对比

Table 2 Comparison of parameters mean value

Detection method	Dice	VOE	SA
Sobel	0.0237	1.4335	-11.1731
Canny	0.0474	1.5618	-54.5671
OTSU	0.1759	1.6440	-129.3386
Literature [6]	0.1768	1.6421	-120.9533
Proposed algorithm	0.9061	0.1071	0.8888

即所提算法可以更加精确地检测出磁瓦缺陷区域,并且适用于多种类型的磁瓦表面缺陷。

5 结 论

针对磁瓦表面缺陷图像中存在的光照不均匀、对比度较低及表面干扰磨削纹理较多等问题,提出了一种基于改进同态滤波与改进Canny算法相结合的磁瓦表面缺陷检测算法。首先利用改进的同态滤波对磁瓦图像进行预处理,从而达到改善磁瓦图像光照不均匀和提高磁瓦图像对比度的目的。然后对传统的Canny算法进行了改进,改进后的算法能够提取出磁瓦图像的缺陷结构,并且可以更加精确地检测出磁瓦缺陷边

缘。最后采用形态学处理所检测出的缺陷边缘信息便可得到检测结果图像。实验结果表明,所提算法能够在没有指定特定类型磨削纹理和规则的情况下对磁瓦缺陷进行检测,并且适用于多种类型的磁瓦缺陷。该算法的不足之处在于不能较好地检测出缺陷边缘信息较弱的磁瓦缺陷,并且算法的运行效率不够理想,不足之处需要在未来的研究中不断改进。

参 考 文 献

- [1] 任梦凡,朱磊,马晓敏,等.基于粗糙度测量和颜色距离的织物缺陷检测方法[J].激光与光电子学进展,2021,58(4):0410008.
Ren M F, Zhu L, Ma X M, et al. Fabric defect detection method based on coarseness measurement and color distance[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(4): 0410008.
- [2] Li X Q, Jiang H H, Yin G F. Detection of surface crack defects on ferrite magnetic tile[J]. NDT & E International, 2014, 62: 6-13.
- [3] 刘国平,胡环星,胡榕华.基于纹理特征的磁瓦表面缺陷提取[J].现代制造工程,2015(7):119-123.
Liu G P, Hu H X, Hu R H. Defect extraction on magnetic tile surfaces based on texture feature[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2015(7): 119-123.
- [4] Xie L F, Lin L J, Yin M, et al. A novel surface defect inspection algorithm for magnetic tile[J]. Applied Surface Science, 2016, 375: 118-126.
- [5] 张露滨,李俊峰,沈军民.微型磁瓦表面线缺陷视觉检测方法研究[J].光电子·激光,2019,30(9):951-959.
Zhang L B, Li J F, Shen J M. Study on visual detection method of surface linear defects on micro-magnetic tile[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2019, 30(9): 951-959.
- [6] 马旭东,袁锐波,李洪锋.基于K-means聚类的磁瓦缺陷图像分割方法[J].软件导刊,2019,18(12):180-182,186.
Ma X D, Yuan R B, Li H F. A segmentation method of magnetic tile defect image based on K-means clustering [J]. Software Guide, 2019, 18(12): 180-182, 186.
- [7] 范有臣,李迎春,韩意,等.提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用[J].中国图象图形学报,2012,17(5):635-640.
Fan Y C, Li Y C, Han Y, et al. Weakening of smoke for homomorphic filtering[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(5): 635-640.
- [8] 冯相辉.一种改进的同态滤波图像增强算法[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2020,32(1):138-145.
Feng X H. An improved homomorphic filtering image enhancement algorithm[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2020, 32(1): 138-145.
- [9] 赵春丽,董静薇,徐博,等.融合直方图均衡化与同态滤波的雾天图像增强算法研究[J].哈尔滨理工大学学报,2019,24(6):93-97.
Zhao C L, Dong J W, Xu B, et al. Research on finger-image enhancement algorithm based on fusion histogram equalization and homomorphic filtering[J]. Journal of

- Harbin University of Science and Technology, 2019, 24 (6): 93-97.
- [10] Adhikari S, Panday S P. Image enhancement using successive mean quantization transform and homomorphic filtering[C]//2019 Artificial Intelligence for Transforming Business and Society (AITB), November 5-5, 2019, Kathmandu, Nepal. New York: IEEE Press, 2019.
- [11] Qu S, Liu N. Face detection and tracking method based on SMQT and CAMSHIFT[J]. Journal of Computational Information Systems, 2015, 11(14): 5153-5162.
- [12] 张加朋, 于凤芹. 基于 Canny 算子改进型的影像测量边缘检测[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(24): 241024. Zhang J P, Yu F Q. Improved image measurement edge detection based on Canny operator[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(24): 241024.
- [13] 张震, 马骊良, 张忠波, 等. 一种改进的基于 Canny 算子的图像边缘提取算法[J]. 吉林大学学报(理学版), 2007, 45(2): 244-248. Zhang Z, Ma S L, Zhang Z B, et al. Improved image edge extraction algorithm based on canny operator[J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2007, 45(2): 244-248.
- [14] Song R J, Zhang Z Q, Liu H Y. Edge connection based Canny edge detection algorithm[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2017, 27(4): 740-747.
- [15] 闫河, 赵其峰, 谢敏, 等. 自适应 Canny 算子 PCBA 元器件边缘检测及修复[J]. 光学学报, 2021, 41(5): 0515003. Yan H, Zhao Q F, Xie M, et al. Edge detection and repair of PCBA components based on adaptive Canny operator[J]. Acta Optica Sinica, 2021, 41(5): 0515003.
- [16] 李健, 刘孔宇, 任宪盛, 等. 基于自适应阈值的 Canny 算法在 MRI 边缘检测中的应用[J]. 吉林大学学报(工学版), 2021, 51(2): 712-719. Li J, Liu K Y, Ren X S, et al. Application of canny algorithm based on adaptive threshold in MR Image edge detection[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2021, 51(2): 712-719.
- [17] Xu L, Yan Q, Xia Y, et al. Structure extraction from texture via relative total variation[J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(6): 139.
- [18] 朱寒, 林丽, 王健华, 等. 基于改进模板匹配及图像差分法的 PCB 板缺陷多级检测方法[J]. 应用光学, 2020, 41(4): 837-843. Zhu H, Lin L, Wang J H, et al. Multi-level detection method for PCB board defects based on improved template matching and image difference[J]. Journal of Applied Optics, 2020, 41(4): 837-843.
- [19] Huang Y B, Qiu C Y, Guo Y, et al. Surface defect saliency of magnetic tile[C]//2018 IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering, August 20-24, 2018, Munich, Germany. New York: IEEE Press, 2018: 612-617.