

采用双边滤波的冷轧铝板表面缺陷图像 去噪方法的研究

石坤泉¹, 魏文国²

(1. 广州番禺职业技术学院 信息工程学院, 广州 511483,
2. 广东技术师范学院 电子与信息工程学院, 广州 510665)

摘 要: **目的** 去除冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声, 并保持图像的清晰度以及图像的细节信息, 避免冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声引起错误的缺陷检测。**方法** 首先, 引入双边滤波方法, 并联合概率分布函数以及最大似然函数求取图像的噪声方差, 自适应地对双边滤波函数中灰度方差值进行调整, 实现对冷轧铝板表面缺陷图像中噪声进行滤除。然后, 为了对双边滤波去噪后遗留下的强噪声进行去除, 利用像素点之间的差值, 构造区域相似度模型, 对双边滤波去噪后图像中的强噪声进行判定。最后, 借助中值滤波方法在对强噪声进行滤除的同时, 兼顾保持图像的清晰度, 进而达到去除冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声, 并保持图像细节以及清晰度的目的。**结果** 所设计方法在噪声强度分别为 0.09、0.12 以及 0.15 时, 所得去噪图像的 MSE 值分别为 15.3743、19.7713 以及 23.7613, 所得去噪图像的 PSNR 值分别为 38.4971、35.4792 以及 31.1768。**结论** 所设计方法不仅能有效去除冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声, 而且还能较好地保持图像的清晰度以及边缘特征, 使得去噪后图像具有较好的视觉效果。

关键词: 图像去噪; 冷轧铝板表面缺陷图像; 双边滤波; 概率分布函数; 最大似然函数; 区域相似度模型

中图分类号: TG146.1; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2018)09-0317-07

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2018.09.042

Image Denoising Method of Surface Defect on Cold Rolled Aluminum Sheet by Bilateral Filtering

SHI Kun-quan¹, WEI Wen-guo²

(1. School of Information Engineering, Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou 511483, China;

2. School of Electronics and information, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510665, China)

ABSTRACT: The work aims to remove noise in surface defect image of cold rolled aluminum sheet, keep resolution and details of the image, and avoid incorrect defect detection due to noise in the surface defect image of cold rolled aluminum sheet. Firstly, noise variance of the image was obtained by introducing a bilateral filtering method, and combining probability distribution function and the maximum likelihood function, and gray variance value in the bilateral filter function was adjusted to filter the noise in the surface defect image of cold rolled aluminum sheet. Then, in order to remove strong noise left after the bilateral fil-

收稿日期: 2018-04-24; 修订日期: 2018-06-20

Received: 2018-04-24; Revised: 2018-06-20

基金项目: 广州市科技计划项目 (201806040010, 201802020019)

Fund: Supported by Science and Technology Planning Project of Guangzhou (201806040010, 201802020019)

作者简介: 石坤泉 (1967—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为信息安全与图形图像处理。

Biography: SHI Kun-quan (1967—), Male, Master, Associate professor, Research focus: information security and graphic image processing.

通讯作者: 魏文国 (1968—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为计算机网络及其应用。

Corresponding author: WEI Wen-guo (1968—), Male, Doctor, Professor, Research focus: computer networks and their applications.

tering denoising, regional similarity model was constructed based upon the difference between pixels, and the strong noise in the image after denoising was determined by the bilateral filtering. Finally, the median filtering method was used to filter the strong noise while maintaining solution of the image, so as to further remove noise in the surface defect image of cold rolled aluminum sheet and keep the details and resolution of the images. In the method proposed herein, MSE value of the denoised images was 15.3743, 19.7713 and 23.7613, respectively, and PSNR value was 38.4971, 35.4792 and 31.1768, respectively when noise intensity was 0.09, 0.12 and 0.15, respectively. The proposed method can not only effectively remove the noise in the surface defect image of the cold rolled aluminum sheet, but also maintain image resolution and edge features satisfactorily, so that the denoised image has good visual effect.

KEY WORDS: image denoising; surface defect image of cold rolled aluminum sheet; bilateral filtering; probability distribution function; maximum likelihood function; regional similarity model

铝具有质量轻、抗腐蚀能力强以及易于加工等特点,因此铝制品被广泛应用于航空航天、汽车制造、电子产品制造等技术领域。伴随着国民生活水平的不断提高,人们对铝板表面质量的要求也越来越高,但由于制造技术、原材料质量以及设备老化等原因,冷轧铝板表面出现各种各样的缺陷。通过人工的方式来检测这些缺陷,劳动强度大,而且效率低下,不利于高效率生产^[1]。近些年来,机器视觉技术得到了快速的发展。与人工检测方法相比,利用机器视觉技术对冷轧铝板表面缺陷进行检测,具有成本低、效率高等优势。但是,在获取冷轧铝板表面缺陷图像时,由于受图像采集环境等因数的影响,容易使采集到的铝板表面缺陷图像中存在噪声。冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声将对铝板表面缺陷的检测造成一定的干扰,严重的将会引起铝板表面缺陷的错误检测。因此,在对冷轧铝板表面缺陷图像进行检测时,必须要对缺陷图像进行去噪处理。

基于小波变换为当前使用较多的去噪方法。Asem 等^[2]通过对图像块进行聚类后,再利用遗传规划方法确定聚类后各个簇的小波域滤波器,对图像中的噪声进行滤除,实验结果表明,这种方法能够滤除图像中的噪声。SADEGHI 等^[3]在带钢表面缺陷图像的检测时,利用 Gaboy 小波变换滤除噪声,获得了较好的带钢表面缺陷图像检测结果。虽然基于小波变换的方法能够对图像表面噪声进行去除,但由于小波变换过程中阈值的确定是关键,而固定的阈值难以适应不同强度的噪声,使得基于小波变换的去噪方法存在去噪不完全的现象。BM3D 去噪方法为三维变换域上的一种去噪方法,也被广泛用于图像的去噪。石健等^[4]将 BM3D 去噪方法用于海洋 SAR 图像的去噪,通过将相似图像块匹配分组生成三维矩阵,进而完成图像的去噪。虽然 BM3D 去噪方法能够获得较好的去噪效果,但是 BM3D 去噪方法难以适应强噪声,而且去噪时不能较好地保护图像的细节信息,使得去噪后图像存在伪吉布斯效应。

双边滤波去噪方法是一种非线性滤波方法,具有

良好的去噪效果,而且双边滤波去噪方法在去噪时,能够较好地对图像边缘特征进行保护。但双边滤波去噪方法面对强噪声时,会错误地将强噪声做为边缘特征进行保留。本文所设计方法在双边滤波的基础上,通过概率分布函数以及最大似然函数求取图像的噪声方差,对双边滤波函数中灰度方差值进行调整,实现冷轧铝板表面缺陷图像中噪声的滤除。为了克服强噪声对双边滤波产生的副作用,本文构造了区域相似度模型,筛选出图像中的强噪声,接着通过中值滤波去除筛选出的强噪声,完成图像的去噪。

1 双边滤波去噪

双边滤波方法是1998年由 Tomasi 与 Manduchi 在高斯滤波的基础上设计的。双边滤波方法克服了高斯滤波去噪时忽略了图像灰度信息的弊端,将图像的灰度信息与空间信息进行非线性组合,用于图像去噪,使得其在去噪过程中考虑到了像素点的相似性关系以及空间几何关系,从而实现了同时对图像去噪的同时还能够较好地保留边缘等细节信息^[5-6]。为了实现冷轧铝板表面缺陷图像进行去噪的同时,保护图像中的细节信息,在此将引入双边滤波对冷轧铝板表面缺陷图像的噪声进行滤除。

设 I 为去噪后的输出图像, q 为 I 中的一个像素点, p 为 q 邻域范围 Ω 内的一个相邻像素点,其像素值为 V_p 。则双边滤波器模型如下^[7]:

$$I(q) = \frac{\sum_{p \in \Omega} K_p H_p V_p}{\beta} \quad (1)$$

式中, K_p 与 H_p 分别表示 p 的空间域权系数与灰度域权系数, β 为归一化常量。 β 为空间域权系数与灰度域权系数的乘积,其表达式为:

$$\beta = \sum_{p \in \Omega} K_p H_p \quad (2)$$

K_p 与 H_p 的定义分别如下所示^[8]:

$$K_p = \exp \left[-\frac{\|p - q\|^2}{2\sigma_k^2} \right] \quad (3)$$

$$H_p = \exp \left[-\frac{\|f_p - f_q\|^2}{2\omega_h^2} \right] \quad (4)$$

式中, ω_k 表示空间方差, ω_h 表示灰度方差, f 表示含噪冷轧铝板表面缺陷图像, 其表达式为:

$$f = I + n \quad (5)$$

式中, n 为加性噪声。

从式(3)可见, 空间域权系数 K_p 为一个与空间方差 ω_k 相关的高斯函数。当 ω_k 越大时, K_p 也随之越大, 使得高斯曲线的变化程度变缓, 平滑效果就更明显, 从而导致图像将变得更模糊。反之, K_p 将变小, 使得图像更为清晰, 但会残留较多噪声。由于高斯函数的大部分分量集中于 $[-2\omega_k, 2\omega_k]$ 内, 故 ω_k 取值可通过下式求得^[9-10]:

$$\omega_k = \frac{v}{2} \quad (6)$$

式中, v 为双边滤波模板的半径。

灰度方差 ω_h 对双边滤波去噪较 ω_k 具有更大的影响, 当 ω_h 较大时将有利于对图像噪声的滤除, 但会引起图像模糊。 ω_h 与噪声方差 ω_z 成线性关系, 并且 ω_h 与 ω_z 的比例处于 $[2, 3]$ 之间, 为了保留去噪后图像更多的细节信息, 在此取 $\omega_h = 2\omega_z$ ^[11-12]。因此, 要获取 ω_h , 必须先获取 ω_z 。在此, 将联合概率分布函数以及最大似然函数求取图像的噪声方差, 自适应地对灰度方差值进行调整, 实现对冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声进行滤除。

设 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$ 为在恒定的信号强度 A 下获得的 m 个观测数据, 通过概率分布函数可将观测数据通过噪声方差 ω_z 表示为^[13]:

$$p(a_i) = \prod_{i=1}^m \frac{a_i}{\omega_z} e^{-\frac{a_i^2 + A^2}{2\omega_z^2}} I_0 \left(\frac{Aa_i}{\omega_z^2} \right) \quad (7)$$

式中, $I_0(\cdot)$ 为修正的贝塞尔函。

通过最大似然函数可求取式(7)中的信号强度 A ^[14]:

$$\ln L(A) = \sum_{i=1}^m \ln \left(\frac{a_i}{\omega_z^2} \right) - \sum_{i=1}^m \frac{a_i^2 + A^2}{2\omega_z^2} + \sum_{i=1}^m \ln I_0 \left(\frac{Aa_i}{\omega_z^2} \right) \quad (8)$$

接着通过求取 $\ln L(A)$ 的全局极大值来获取 ω_z :

$$\omega_z^2 = \arg \max \{ \ln L(A) \} \quad (9)$$

通过式(9)获取 ω_z 后, 便可利用双边滤波对冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声进行滤除。

2 滤除强噪声

2.1 判定强噪声

在双边滤波中 H_p 可对 K_p 进行制约, 使得图像边

缘等细节信息与中心像素构成较大的差异, 导致空间域权系数 K_p 较小, 从而使去噪后图像能够保留更多的细节信息。但是强噪声也满足与中心像素差值较大, 从而在双边滤波后被保留下来。因此, 本文将利用像素点之间的差值, 构造区域相似度模型, 对双边滤波去噪后图像中的强噪声进行判定。

强噪声与其所在区域的其他像素点的差异一般较大。在此, 利用像素点之间的差值, 构造区域相似度模型。令 $p_1(x, y)$ 为图像中任一像素点 (x, y) 的像素值, $p_2(i, j)$ 为其邻域 S 中任一像素点 (i, j) 的像素值, 则通过 $p_1(x, y)$ 与 $p_2(i, j)$ 的差值构造的区域相似度模型如下:

$$D(x, y) = \frac{\sum_{(i,j) \in S} \exp \left\{ -\frac{\|p_1(x, y) - p_2(i, j)\|^2}{2\omega_d^2} \right\}}{|S|} \quad (10)$$

式中, $|S|$ 表示 S 内像素点的个数, 作为归一化参数。 ω_d 为区域 S 的灰度差值统计参数。通过式(4)可知, 当 $\omega_d = \omega_h$ 时, 图像边缘等细节将得以保留, 因此可将 $\|p_1(x, y) - p_2(i, j)\| \geq \omega_h$ 做为强噪声的判断依据。由此可知, 可通过下式来判定强噪声:

$$D(x, y) = \frac{\sum_{(i,j) \in S} \exp \left\{ -\frac{\|p_1(x, y) - p_2(i, j)\|^2}{2\omega_d^2} \right\}}{|S|} < \frac{\sum_{(i,j) \in S} \exp \left(-\frac{1}{2} \right)}{|S|} \quad (11)$$

当像素点 (x, y) 的像素值满足式(11)时, 即判定 (x, y) 为强噪声点。

2.2 滤除强噪声

对于判定出的强噪声点, 本文选取中值滤波将其进行滤除。由于本文利用中值滤波只对判定出的强噪声进行滤除, 避免了使用中值滤波全局式的去噪, 使得图像强噪声被滤除的同时, 不至于造成图像模糊。

中值滤波为一种非线性滤波方法, 其以某个像素点为中心构建一个窗口, 计算窗口内所有像素点的灰度值, 以求取中间灰度值, 然后将这个中间灰度值赋值给中心像素点。中值滤波的表达式为^[15]:

$$Q(x, y) = \text{Median}(G(x, y)), (x, y) \in T \quad (12)$$

式中, $G(x, y)$ 表示强噪声点 (x, y) 所在窗口的灰度值, $\text{Median}(\cdot)$ 表示取中值, T 表示所判定强噪声点的集合。

3 实验结果

实验在 Matlab R2015b 平台上, 采用对比实验的方法进行。选取小波变换以及三维块匹配 (BM3D)

去噪方法与本文所设计方法进行去噪对比,更直观地观测本文方法的有效性^[16-17]。实验从主观与客观分析两个维度出发,对不同方法的去噪效果进行测试。选取冷轧铝板表面不同缺陷的含噪图进行实验。

3.1 主观分析

图 1—图 4 分别为本文方法与小波变换、BM3D 方法对冷轧铝板表面刮痕、油斑、皱褶和裂纹缺陷加噪图的去噪效果图。图 1 中刮痕加噪图添加的是强度为 0.05 的高斯噪声,图 2 中油斑加噪图添加的是强度为 0.1 的高斯噪声以及噪声密度为 0.2 的椒盐噪声,图 3 中皱褶加噪图添加的是强度为 0.2 的高斯噪声以及噪声密度为 0.3 的椒盐噪声,图 4 中裂纹加噪图添加的是强度为 0.3 的高斯噪声以及噪声密度为 0.4 的椒盐噪声。

通过观察图 1 可见,三种方法的去噪图都具有较好的视觉效果,但本文方法的去噪图中所剩下的噪声明显少于小波变换以及 BM3D 方法的去噪图。通过观察图 2 可见,三种方法的去噪图中,小波变换方法的去噪图中不仅剩下的噪声最多,而且去噪后图像的清晰度也最低,而 BM3D 方法的去噪图与本文方法的去噪图相比,所剩下的噪声也较多,图像模糊度也较高。通过观察图 3 以及图 4 可见,三种方法的去噪图中,本文方法的去噪图中始终噪声含量最少,去噪后图像最为清晰,这说明本文方法具有最好的去噪

效果。

3.2 客观分析

均方误差 (MSE, mean square error) 以及峰值信噪比 (PSNR, peak signal to noise ratio) 为常用的图像去噪客观分析指标。MSE 值越大,表示去噪后图像的失真度越高;PSNR 值越大,表示去噪后图像的质量越好。本文通过对图 2 中油斑原图添加强度分别为 0.09、0.12、0.15 的高斯噪声,以验证三种方法对添加不同噪声强度油斑图像的去噪效果。去噪效果通过均方误差与峰值信噪比两项指标体现。

三种方法对高斯噪声强度分别为 0.09、0.12、0.15 的油斑缺陷图像的去噪效果分别如表 1—表 3 所示。从表 1 可见,当噪声强度为 0.09 时,本文方法去噪图像的 MSE 值为 15.3743,较其他两种方法去噪图像的 MSE 值为最小。从表 2 可见,当噪声强度为 0.12 时,本文方法去噪图像的 PSNR 值为 35.4792,较其他两种方法去噪图像的 PSNR 值为最大。从表 3 可见,当噪声强度为 0.15 时,本文方法去噪图像的 MSE 值与 PSNR 值分别为 23.7613 与 31.1768,较其他两种方法去噪图像的 MSE 值为最小,PSNR 值为最大。由此可见,本文方法能够将冷轧铝板表面缺陷图像中的噪声进行有效的滤除,并且还能较好地保持去噪后图像的清晰度以及边缘等细节信息,使得去噪图像具有良好的视觉效果。

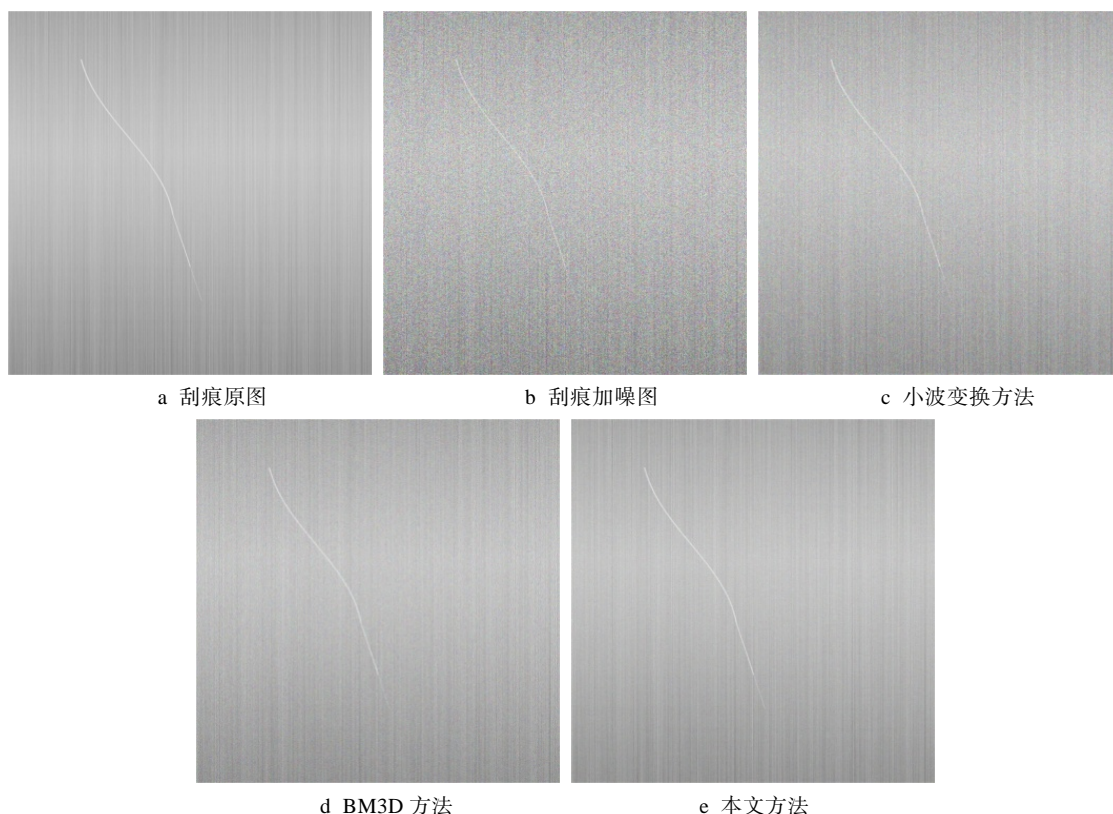


图 1 刮痕缺陷图像去噪效果图

Fig.1 Denoising effect diagram of scratch defect image: a) original image of scratch, b) noise image of scratch, c) wavelet transform method, d) BM3D method, e) method in this paper

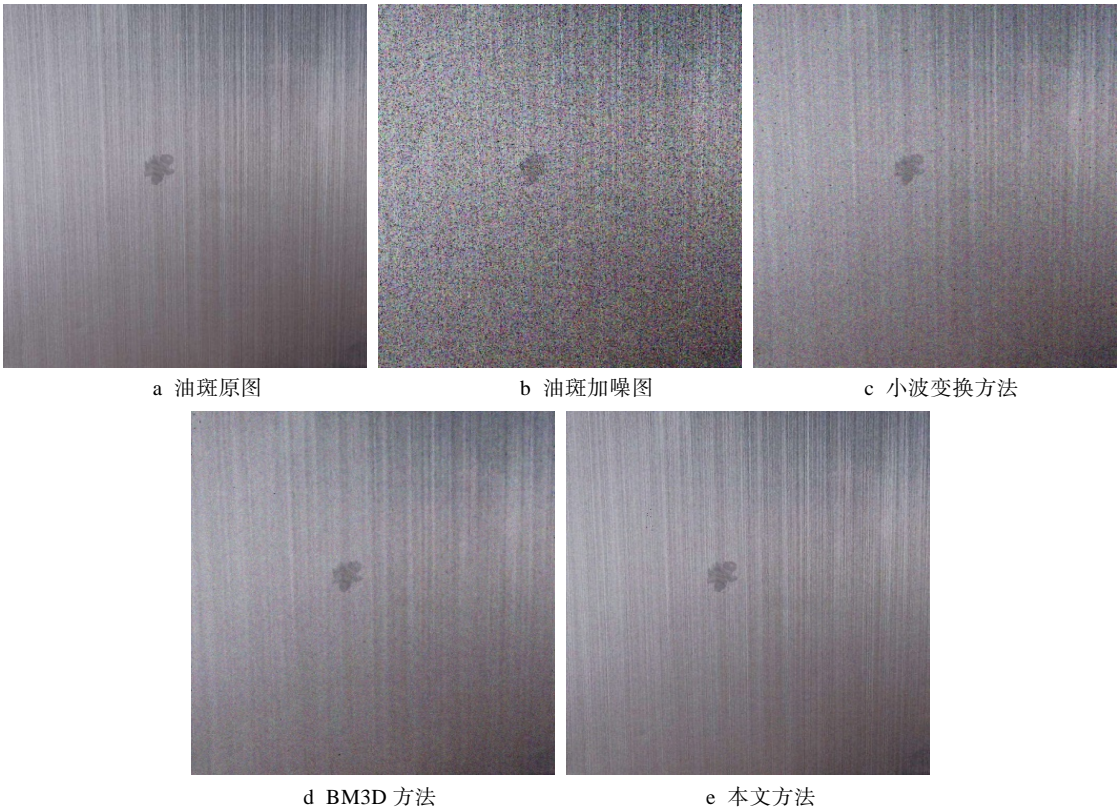


图 2 油斑缺陷图像去噪效果图

Fig.2 Denoising effect diagram of oil stain defect image: a) original image of oil stain, b) noise image of oil stain, c) wavelet transform method, d) BM3D method, e) method in this paper

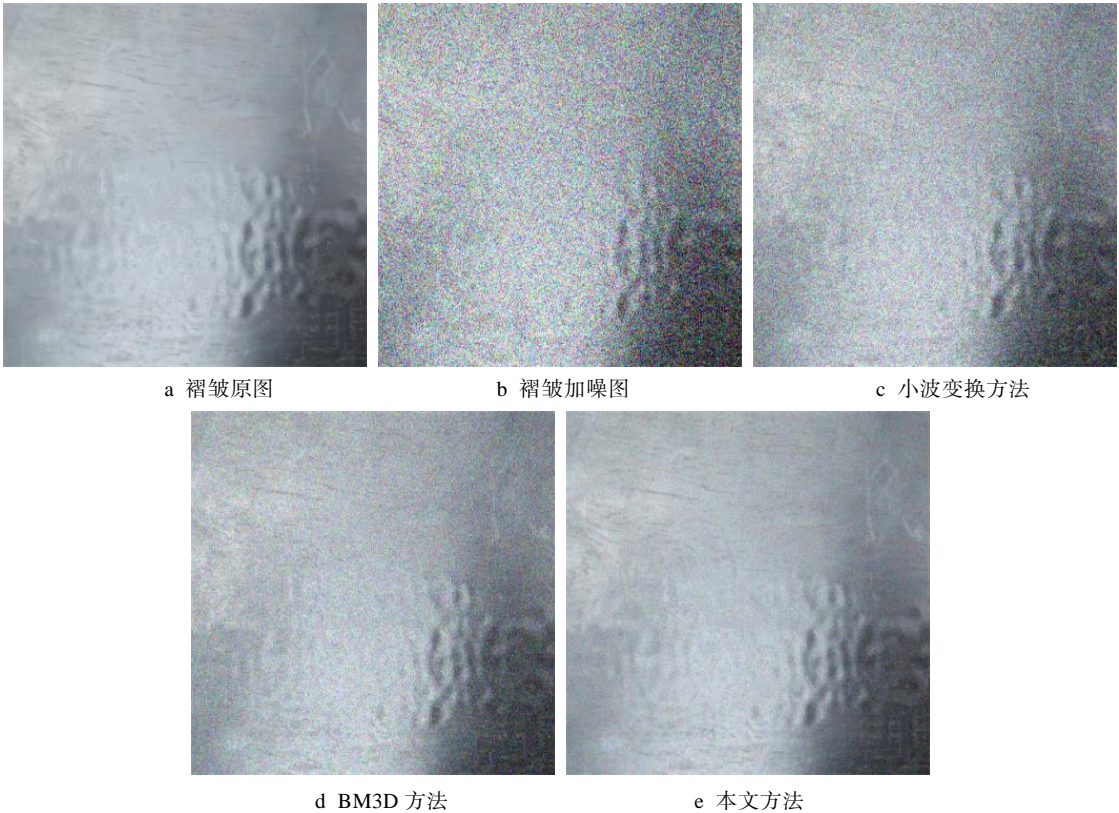


图 3 褶皱缺陷图像去噪效果图

Fig.3 Denoising effect diagram of folds defect image: a) original image of folds, b) noise image of folds, c) wavelet transform method, d) BM3D method, e) method in this paper

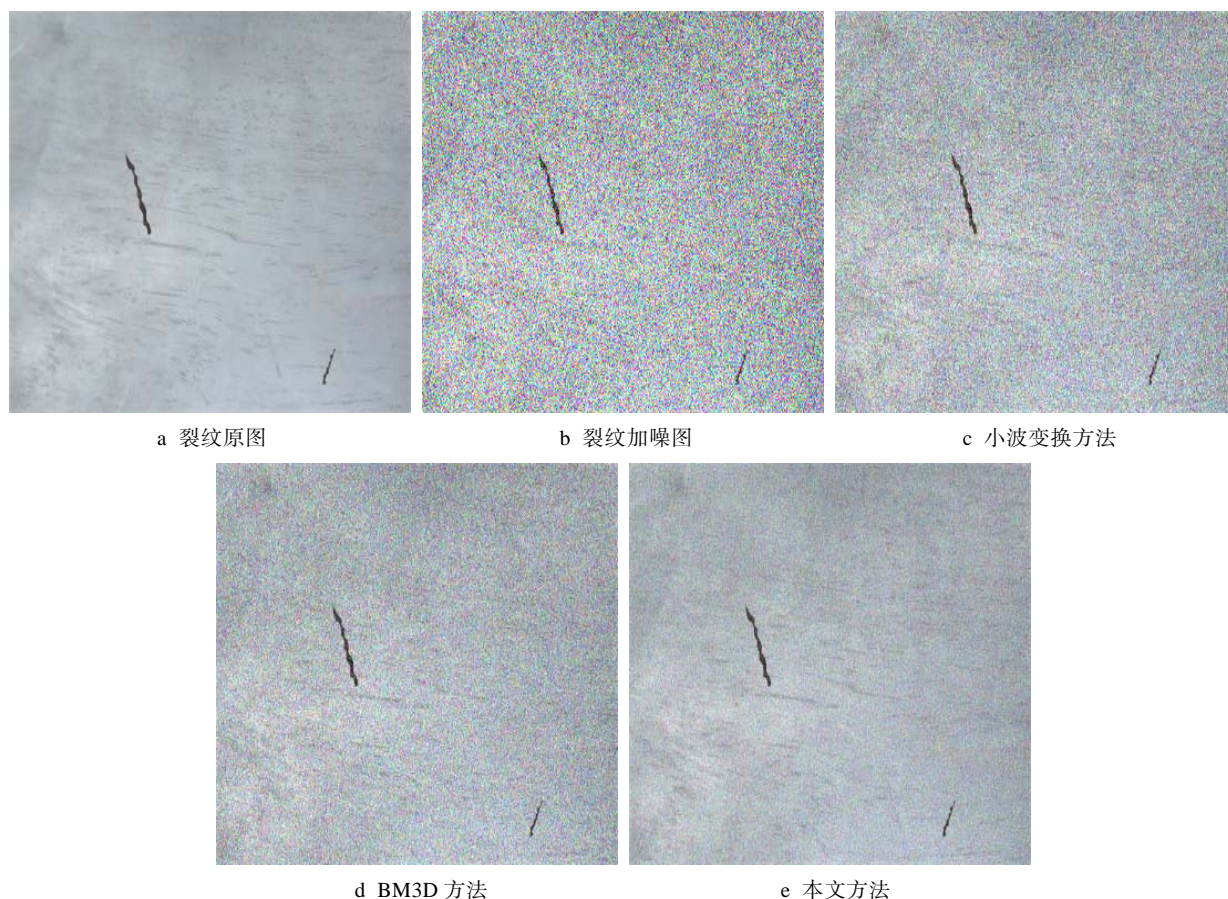


图 4 裂纹缺陷图像去噪效果图

Fig.4 Denoising effect diagram of crack defect image: a) original image of crack, b) noise image of crack, c) wavelet transform method, d) BM3D method, e) method in this paper

表 1 噪声强度为 0.09 时三种方法的去噪效果

Tab.1 Denoising effects of three methods at noise intensity of 0.09

Methods used	MSE value	PSNR value
Wavelet transform method	25.8754	30.4721
BM3D method	20.7431	34.5712
This paper method	15.3743	38.4971

表 2 噪声强度为 0.12 时三种方法的去噪效果

Tab.2 Denoising effects of three methods at noise intensity of 0.12

Methods used	MSE value	PSNR value
Wavelet transform method	30.1476	27.1342
BM3D method	28.4712	31.4137
This paper method	19.7713	35.4792

表 3 噪声强度为 0.15 时三种方法的去噪效果

Tab.3 Denoising effects of three methods at noise intensity of 0.15

Methods used	MSE value	PSNR value
Wavelet transform method	38.7941	23.1472
BM3D method	32.7492	26.4139
This paper method	23.7613	31.1768

4 结论

1) 联合概率分布函数以及最大似然函数求取图像的噪声方差,对双边滤波函数中灰度方差值进行自适应的调整,使得去除噪声的同时能够保留更多的细节信息,提高了去噪后图像的清晰度。

2) 利用像素点之间的差值,构造区域相似度模型,对双边滤波去噪后图像中的强噪声进行检测,为强噪声的去除提供依据。

3) 采用中值滤波方法对强噪声进行滤除,使得图像的清晰度得到了进一步的提高。

参考文献:

- [1] ZHANG Hai-lun, QI Xing-guang, LI Xiao-ting. Research on key technology of cold-rolled aluminum plate surface defect detection system[J]. Applied mechanics and materials, 2013, 433(1): 915-918.
- [2] KHMAG A, RAMLI A R, AL-HADDAD S A R. Denoising of natural images through robust wavelet thresholding and genetic programming[J]. The visual computer, 2017, 33(9): 1141-1154.

- [3] SADEGHI M, MEMARZADEHZAVAREH F. Applying wavelet in image processing for visible defect detection on steel surfaces[J]. Life science journal, 2013, 10(2s): 356-359.
- [4] 石健, 汪洋, 黄海风. BM3D 算法在海洋 SAR 图像去噪中的应用[J]. 雷达科学与技术, 2016, 14(1): 24-32.
SHI Jian, WANG Yang, HUANG Hai-feng. Application of BM3D algorithm in ocean SAR image denoising[J]. Radar science and technology, 2016, 14(1): 24-32.
- [5] 周航, 韩权. 具有去除椒盐噪声能力的改进双边滤波算法[J]. 北京交通大学学报, 2017, 41(5): 43-51.
ZHOU Hang, HAN Quan. An improved bilateral filtering algorithm having the ability to remove salt-and pepper noise[J]. Journal of Beijing Jiao Tong University, 2017, 41(5): 43-51.
- [6] KARTHIKEYAN P, VASUKI S. Multiresolution joint bilateral filtering with modified adaptive shrinkage for image denoising[J]. Multimedia tools and applications, 2016, 75(23): 16135-16152.
- [7] 王晓红, 王禹琛. 基于双边滤波的自适应彩色图像去噪研究[J]. 包装工程, 2017, 38(15): 168-172.
WANG Xiao-hong, WANG Yu-chen. Adaptive color image denoising based on bilateral filtering[J]. Packaging engineering, 2017, 38(15): 168-172.
- [8] SHANTHI S A, SULOCHANAN C H, JEROME S A. Image denoising using bilateral filter in subsampled pyramid and nonsubsampling directional filter bank domain[J]. Journal of intelligent & fuzzy systems, 2016, 31(1): 237-247.
- [9] LIU Feng-lian, SUN Meng-yao, CAI Wen-na. A novel denoising method for infrared image based on bilateral filtering and non-local means[J]. Optoelectronics letters, 2017, 13(3): 237-240.
- [10] PAPARI G, IDOWU N, VARSLOT T. Fast bilateral filtering for denoising large 3D images[J]. IEEE trans image process, 2017, 26(1): 251-261.
- [11] MOHAN L, MARAPPAN K. Real oriented dual tree wavelet transform with an optimal threshold using neighbor coefficients and gaussian bilateral filter for image denoising[J]. Asian journal of research in social sciences and humanities, 2017, 7(3): 1070-1079.
- [12] BIRADAR N, DEWAL M L, ROHIT M K. Echocardiographic image denoising using extreme total variation bilateral filter[J]. Optik-international journal for light and electron optics, 2016, 127(1): 30-38.
- [13] XIONG Qing, XU Yan-hai, PENG Yi-qiang. Low-speed rolling bearing fault diagnosis based on EMD denoising and parameter estimate with alpha stable distribution[J]. Journal of mechanical science and technology, 2017, 31(4): 1587-1601.
- [14] XU Zhi-huo, SHI Quan. Denoising model for parallel magnetic resonance imaging images using higher-order Markov random fields[J]. IET image processing, 2016, 12(10): 962-970.
- [15] 钟涛, 张建国, 左俊彦. 一种改进的中值滤波算法及其应用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2015, 37(4): 505-510.
ZHONG Tao, ZHANG Jian-guo, ZUO Jun-yan. An improvement median filter algorithm and its application[J]. Journal of Yunnan University (Natural sciences edition), 2015, 37(4): 505-510.
- [16] BHANDARI A K, KUMAR A, SINGH G K. Performance study of evolutionary algorithm for different wavelet filters for satellite image denoising using sub-band adaptive threshold[J]. Journal of experimental & theoretical artificial intelligence, 2016, 28(1-2): 71-95.
- [17] HARRISON A P, XU Z, POURMORTEZA A. A multichannel block-matching denoising algorithm for spectral photon-counting CT images[J]. Medical physics, 2017, 44(6): 2447-2452.