

改进中值滤波算法在晶棒图像预处理中的应用

邓志诚^{1,2}, 黄卫东^{1,2}, 吴仙星³

- 福建省智能加工技术及装备重点实验室, 福建 福州, 350118;
- 福建理工大学机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;
- 福建省南平智创技术服务有限公司, 福建 南平 353000

摘要: 传统的中值滤波算法在晶棒图像处理中无法准确区分噪声和划线特征, 导致划线特征过度平滑。为解决该问题, 提出了一种基于图像梯度的中值滤波算法。通过引入像素相似度以及图像梯度信息来提高噪声去除的准确性和划线特征保护能力。比较处理后图像的峰值信噪比和划线特征边缘梯度强度, 结果显示, 经改进算法处理后, 图像的划线特征边缘强度和峰值信噪比均高于标准中值滤波和快速加权中值滤波算法, 在晶棒图像预处理中性能更优。

关键词: 晶棒; 中值滤波; 图像梯度; 峰值信噪比

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

文章编号: 2097-3853(2024)03-0275-05

Application of improved median filtering algorithm in pre-processing of crystal rod images

DENG Zhicheng^{1,2}, HUANG Weidong^{1,2}, WU Xianxing³

- Key Laboratory of Intelligent Processing Technology and Equipment in Fujian Province, Fuzhou 350118, China;
- School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
- Fujian Nanping Zhichuang Technology Service Co., Ltd., Nanping 353000, China)

Abstract: Traditional median filtering algorithms cannot accurately distinguish between noise and line features in crystal rod image processing, resulting in excessive smoothing of line features. To address this issue, a median filtering algorithm based on image gradients was proposed. By introducing pixel similarity and image gradient information, the accuracy of noise removal and the ability to protect line features were improved. A comparison was conducted of the peak signal-to-noise ratio and edge gradient intensity of the processed images, and results show that after the improved algorithm processing, the edge intensity and peak signal-to-noise ratio of the line features in the images were higher than those of the standard median filtering and fast weighted median filtering algorithms, and had better performance in the preprocessing of crystal rod images.

Keywords: crystal rod; median filtering; image gradient; PSNR

数字图像经常会受到各种噪声的影响, 如电子噪声、模拟噪声、压缩噪声等^[1], 这些噪声会降低图像的清晰度、对比度和细节, 影响图像的可视化效果和后续图像处理的结果。近年来, 许多研究提出了各种改进的滤波算法, 以满足不同噪声和图像特性的需求^[2]。为了提高高浓度噪声下中值滤波算法性能, 文献[3][4]提出了适用于

高强度椒盐噪声环境下的自适应中值滤波算法。为了改善传统滤波算法在滤除噪声时细节缺失的问题, 文献[5][6]提出了自适应加权滤波算法。为了协调中值滤波算法减少噪声和保持边缘细节的能力, 文献[7]提出一种基于阈值的极值中值滤波算法, 将图像像素点划分为噪声点、边缘点以及平坦区域点, 分别处理。

收稿日期: 2023-10-27

基金项目: 福建省创新资金项目(2022C0051)

第一作者简介: 邓志诚(1998—), 男, 江西鹰潭人, 硕士研究生, 研究方向: 智能制造。

通信作者: 黄卫东(1971—), 男, 福建福州人, 教授, 硕士, 研究方向: 先进制造工艺与装备、增材制造技术等。

晶棒图像采集现场环境复杂,图像质量常常受到噪声干扰。在使用标准中值滤波进行滤除噪声时会导致划线特征过于平滑。晶棒上的划线是设备切割的下刀点,为提取到完整的划线特征,在图像处理时应对其进行保护。为了解决传统滤波算法在晶棒图像预处理中噪声滤除和划线特征保护之间的矛盾,本研究提出一种改进的中值滤波算法,结合传统中值滤波技术和梯度信息,在去除噪声的同时保持图像的划线特征。

1 标准中值滤波算法

在晶棒图像处理中,图像滤波处理十分重要。常见的滤波算法有均值滤波算法、高斯滤波算法

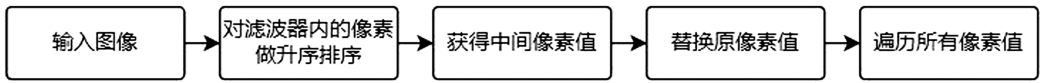


图 1 标准中值滤波算法流程图

Fig.1 Standard median filtering algorithm flowchart

然而,标准中值滤波算法忽视了图像的梯度信息,在某些情况下难以准确区分噪声和边缘。例如,当区域存在较强纹理或边缘信息时,特别是在成像质量不理想和成像复杂的情况下,标准中值滤波算法将边缘信息误判为噪声并进行模糊化处理。在晶棒图像中,白色竖线本应是需要被保护的边缘特征,但经过标准中值滤波后,该特征却被平滑处理,如图 2(b) 所示。

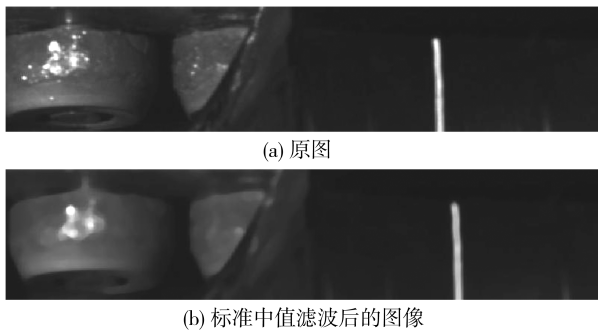


图 2 标准中值滤波处理效果

Fig.2 Standard median filtering processing effect

2 改进中值滤波算法

2.1 边缘检测算法

图像的梯度值计算是一种用于检测图像中像素值梯度变化的技术^[8]。在图像处理中,常见的计算图像梯度的方法通常为使用不同的卷积核(滤波器)进行卷积操作^[9]。

和中值滤波算法。相较于前两种滤波算法,中值滤波算法在噪声去除效果相当的同时,还具有消除图像中微小“亮点”的特点,能够提高后续图像处理的效率,因此选择中值滤波作为晶棒定位图像处理的滤波算法。

标准中值滤波算法的基本原理是通过将像素点周围的邻域像素值进行排序,并取其中位数作为该像素点的滤波结果。算法流程如图 1 所示,其数学表达式为:

$$Y_i = M_{ed} \{ x_{i-k}, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k} \} \quad (1)$$

其中, x_i 表示矩阵里面的数值, M_{ed} 表示取数列的中间值。

计算图像梯度的核心在于选择合适的滤波器,常见的滤波器有 Sobel、Prewitt、Schar 等。Sobel 算子在一定程度上能够抵抗图像中的噪声,尤其在对较小的噪声的实际应用中表现良好,不容易受到噪声的干扰;此外,Sobel 算子对边缘的检测更为灵敏,更容易捕捉到细微的边缘特征,使其在某些情况下能够提供更精确的边缘检测结果。

Sobel 算子是一个离散微分算子,它结合了高斯平滑和微分求导,用来计算图像灰度图像的近似梯度^[10]。它的卷积核分为 X 方向与 Y 方向,其矩阵分别表示为:

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

在使用 Sobel 算子获得 X 方向与 Y 方向的梯度值后可以根据式(2)得到该像素点的梯度幅度与梯度方向:

$$A = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

有时为了提高计算效率会使用近似值代替,如式(3):

$$A = |G_x| + |G_y| \quad (3)$$

其中, A 为该点的梯度幅度, G_x 、 G_y 分别为 X、Y 方向的梯度。

晶棒上的划线通常具有长而细的形状,因此其主要特征通常在 X 方向上展现。通过将卷积

核的主要关注点放在 X 方向上,可以更精确地捕捉晶棒的边缘和特征,将 Y 方向的权重配置为 0,可以减少 Y 方向上的噪声对卷积结果的影响。这对于处理晶棒图像中可能存在的 Y 方向噪声是有益的,因为它们对 X 方向特征的检测没有太大帮助。因此本研究只对 X 方向的卷积核改进。 X 方向的卷积核大小不变设置为 x ,由于卷积核要求 X 与 Y 方向上的大小都为奇数,所以 Y 方向的卷积核大小设置为 $2x+1$ 。若卷积核 X 方向的大小为 3,则 Y 方向的大小为 7,考虑到计算效率,填充的数值均为 1 和 -1。 X 方向改进卷积核用矩阵表示为:

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

2.2 改进中值滤波算法流程

为了改进标准中值滤波算法的局限性,本研究在改进的中值滤波算法引入了梯度信息。首先计算图像的梯度,通过 Sobel 算子等方法获取图像在水平和垂直方向的梯度;再根据梯度值判断每个像素点是否处于边缘区域。通常情况下,边缘区域的梯度较大,噪声区域的梯度较小。基于该判断可以对边缘区域进行保护,不进行中值滤波操作,而对噪声区域进行中值滤波以去除噪声。

通过引入图像梯度信息,基于图像梯度的中值滤波算法能够更准确地辨别噪声和边缘,并在滤波过程中保护边缘的清晰度。这使得该算法在图像处理领域具有广泛的应用前景,特别是对于噪声较多或边缘信息重要的图像处理任务。

基于图像梯度的中值滤波算法的具体实现步骤如下:

(1) 输入一幅灰度图像作为原始图像。

(2) 判断中心像素是否为噪声。如果滤波器内最大值与中心像素的差、中心像素与最小值的差均小于 0,判断该像素点为噪声,则进行中值滤波,输出结果;如果不是噪声则标记为有效像素,继续执行下一流程。

(3) 根据原始图像计算每个像素点的梯度

值。使用 Sobel 梯度算子计算得到图像的梯度。

(4) 取滤波窗口内的像素值,计算滤波窗口内像素的差异值,即每个像素值与中心像素值的差的和。判断中心像素是否为边缘。如果中心像素的梯度值大于预设阈值且差异值未超过预设阈值,则判定为边缘;如果中心像素为边缘,则将中心像素值保留,不进行中值滤波;如果中心像素不是边缘,则进行中值滤波。

(5) 遍历图像所有像素,得到滤波后的图像,其中边缘处的像素值保持不变,非边缘处的像素值经过中值滤波处理。

(6) 输出滤波后的图像作为结果。

像素值只考虑像素的绝对数值,而差异值考虑的是像素之间的差异。差异值可以更好地捕捉到窗口内像素之间的变化程度,从而区分出边缘和纹理等细节。当窗口内存在边缘或纹理时,像素差异值通常较小,在有噪声区域,像素差异值通常比较大,依据该判断能更准确地滤除噪声或保留边缘。

根据图像处理的需要即对划线部分进行保护。结合实际图像处理需要,设置图像 X 方向梯度小于 40 的像素点进行滤波操作,对与 X 方向梯度大于 40 的像素点进行保护,保持原像素值不变。同时对差异值设置阈值,若滤波器中的差异值总和超过阈值,则判断该点为噪声点并对该像素点执行中值滤波操作;若差异值和未超过阈值,则判断该像素点为边缘点保持原像素值不变。

改进中值滤波算法数学表达式可以写为:

$$Y_i = \begin{cases} x_i, & G_x > 40 \cap \Delta < 20 \times \text{kernel} \times \text{kernel} \\ M_{\text{ed}} \{x_{i-k}, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k}\}, & (4) \\ G_x < 40 \parallel \Delta > 20 \times \text{kernel} \times \text{kernel} \end{cases}$$

其中, Y_i 为滤波器内的新像素值, Δ 为差异值和, kernel 为滤波器邻域大小。

3 仿真实验及结果分析

实验在 Windows-64 位操作系统, AMD4800H 处理器, NVIDIA1650 显卡下进行, 实验环境为 Qt5.9.0 C++ 环境, 使用 QImage 类实现获取图像灰度值以及生成图像等功能, 使用 Halcon 相关算子对处理后图像进行边缘强度分析。实验原图如图 3 所示, 首先将原图大小改为 512×512 像素尺

寸,为有效分析去噪能力,图像分别加入浓度为 10%、20%和 30%的椒盐噪声,如图 4(a)、图 5(a)、图 6(a)所示。

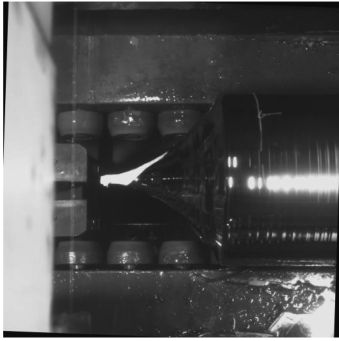


图 3 原始图像

Fig.3 Original image

对比标准中值滤波,参考文献[6]的加权快速中值滤波及改进中值滤波算法的去噪能力和细节保护能力,改进中值滤波算法采用 3×7 大小卷积核,其他方法采用 5×5 大小卷积核。实验采用划线特征的最大灰度值以及峰值信噪比作为评价的标准,最大灰度值与原图越相近代表特征保持效果越好,峰值信噪比越大代表图像质量越好。取处理后图像边缘附近的 150 个像素点,观察划线特征的最大灰度值。根据式(5)计算峰值信噪比(PSNR)。

$$PSNR = 20 \times \lg(\text{MAX}) - 10 \times \lg\left(\frac{1}{M * N} \times \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N [I(i,j) - R(i,j)]^2\right) \quad (5)$$

其中,MAX 表示像素值的最大可能值, M 和 N 分别表示图像的宽度和高度, $I(i,j)$ 和 $R(i,j)$ 分别表示原始图像和重建图像在位置 (i,j) 处的像素值。

在不同浓度噪声下,标准中值滤波、加权快速

中值滤波和改进滤波这 3 种算法对应的划线特征的最大灰度值和峰值信噪比如表 1 所示。可见,改进滤波后图像的划线特征最大灰度值与原图最相近,传统中值滤波与加权快速中值滤波的划线特征最大灰度值都有不同程度的降低;改进中值滤波图像的峰值信噪比最大,说明改进中值滤波算法下图像质量优于其他两种算法。在滤波后图像中,可以明显看出加权快速中值滤波后图像去除噪声效果不明显,划线特征被噪声污染;传统中值滤波后图像去除了噪声和大部分的微小亮点特征,但是也模糊了划线特征;与上述两种算法相比,改进中值滤波后图形划线特征保持完整且清晰,这也是其峰值信噪比高于标准中值滤波图像的原因之一。

表 1 不同噪声浓度下 3 种算法的划线特征的最大灰度值和峰值信噪比比较

Tab.1 Comparison of maximum grayscale values and peak signal-to-noise ratio of line marking features of three algorithms under different noise concentrations

噪声浓度/%	算法	划线特征最大灰度值	峰值信噪比
10	标准中值滤波	82	29.670
	加权快速中值滤波	86	25.600
	改进中值滤波	96	30.987
20	标准中值滤波	82	28.871
	加权快速中值滤波	93	23.031
	改进中值滤波	115	29.940
30	标准中值滤波	82	27.800
	加权快速中值滤波	93	21.092
	改进中值滤波	115	28.327

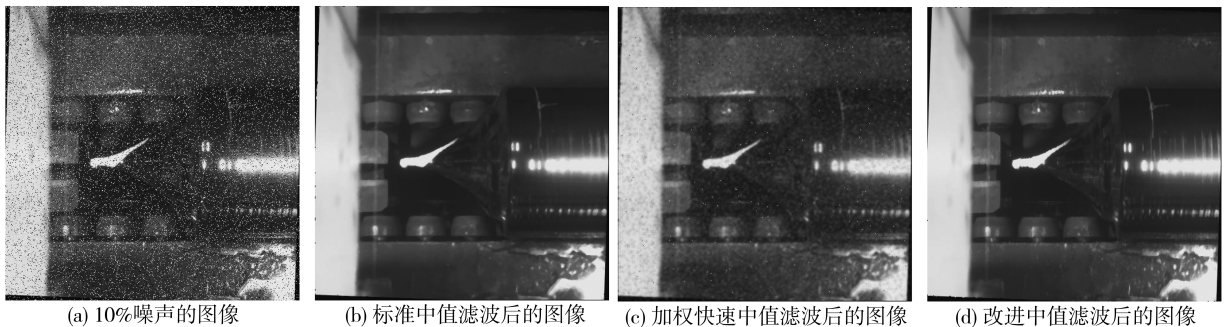


图 4 10%噪声图像及处理后结果

Fig.4 10% noise image and processed results

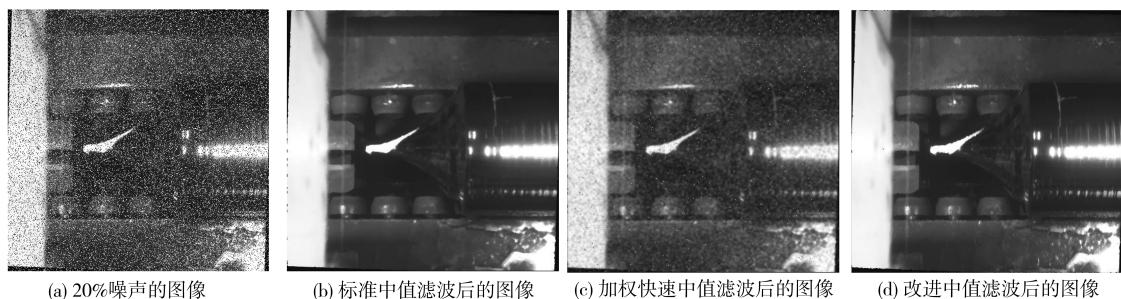


图5 20%噪声图像及处理后结果

Fig.5 20% noise image and processed results

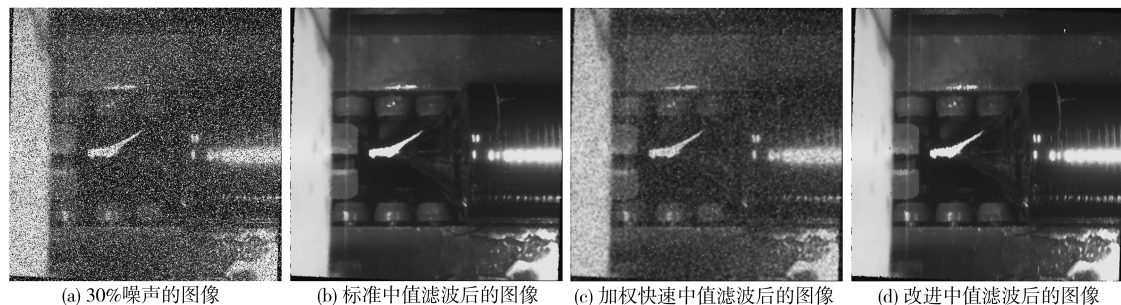


图6 30%噪声图像及处理后结果

Fig.6 30% noise image and processed results

噪声浓度为30%时,改进中值滤波后图像中仍然存在极少量噪声,说明随着噪声浓度的提高,改进算法的去噪能力有所降低。当噪声浓度下降时,3种算法处理后的图像质量都有所上升。在不同浓度噪声中改进算法的划线特征最大灰度值仍然是3种算法中最高的,说明在不同浓度噪声下,改进算法的特征保护能力优于其他两种算法。

4 结束语

本研究提出了一种基于图像梯度和差异值的改进中值滤波算法,首先将噪声和有效像素区分

开来,在有效像素中,根据像素的梯度和卷积核内的像素差异值大小,算法能够更精确地判断像素是否为划线特征,从而有效地保持划线特征的边缘细节。实验结果也展示了本研究所提算法相对于传统中值滤波算法和加权快速中值滤波算法在特征保护方面的优越性,在晶棒图像预处理中具有更优异的性能。

在高浓度噪声情况下,改进算法的去噪能力有所降低,后续研究可以在高浓度噪声条件下,提高算法的噪声去除能力,进一步提高算法的整体性能。

参考文献:

- [1] 胡小亮. 数字图像相关方法的图像影响因素与应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2021.
- [2] 付斌斌. 工业机器视觉的应用与发展趋势[J]. 中国工业和信息化,2021(11):18-24.
- [3] 包子洪,何爱娇. 自适应中值滤波在噪声图像匹配中的应用[J]. 现代信息科技,2023,7(8):114-116.
- [4] 王帅,刘光宇,曹禹,等. 改进自适应中值滤波算法的图像去噪研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2022,50(6):43-48.
- [5] 胡珊. 改进自适应加权均值滤波的图像去噪技术探讨[J]. 普洱学院学报,2022,38(6):41-43.
- [6] 赵高长,张磊,武风波. 改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用[J]. 应用光学,2011,32(4):678-682.
- [7] 周杰. 应用于图像处理的中值滤波改进算法[D]. 北京:北京邮电大学,2007.
- [8] 李敏花,柏猛,吕英俊. 自适应阈值图像边缘检测方法[J]. 模式识别与人工智能,2016,29(2):177-184.
- [9] 杨朝霞,逯峰,李岳生. 图像梯度与散度计算及在边缘提取中的应用[J]. 中山大学学报(自然科学版),2002,41(6):6-9.
- [10] 杜斌. 机器视觉使用HALCON描述与实现[M]. 北京:清华大学出版社,2021:101-102.