

# 基于改进的邻域平均滤波方法的X射线图像去噪

李建华, 秦旭磊, 徐文平, 杨力璇

长春理工大学, 吉林 长春

收稿日期: 2022年12月6日; 录用日期: 2022年12月26日; 发布日期: 2023年1月10日

## 摘要

为了获得更清晰的X射线图像, 在去噪的同时尽可能保护边界完整, 针对传统的均值滤波去噪时造成边缘模糊的问题, 提出了一种改进的邻域平均滤波去噪方法。对图像中的未知噪声进行检测分析, 确定噪声类型和参数; 使用改进的邻域平均滤波方法对图像去噪, 对滤波模板邻域内像素与中心像素做差值, 针对不同类型噪声, 选择不同数量的邻域内对应差值较小的几个像素取平均值替代中心像素, 避免不同区域像素被混叠处理造成边界模糊; 计算去噪后X射线图像的均方误差和峰值信噪比, 对去噪效果进行客观评价, 并将提出的去噪方法与常见的滤波方法进行比较。实验结果表明, 改进的邻域平均滤波去噪方法相比常见的滤波方法在去噪的同时能够更好地保护边界。

## 关键词

X射线图像, 改进的邻域平均滤波, 噪声检测, 图像去噪, 峰值信噪比

# X-Ray Image Denoising Based on Improved Neighborhood Average Filtering Method

Jianhua Li, Xulei Qin, Wenping Xu, Lixuan Yang

Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin

Received: Dec. 6<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 26<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 10<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In order to obtain a clearer X-ray image and protect the boundary integrity as much as possible while denoising, an improved denoising method by neighborhood mean filtering is proposed to solve the problem of blurred edges caused by traditional mean filtering. We detect and analyze the

unknown noise in the image, determine the noise type and parameters; use the improved neighborhood average filtering method to denoise the image, and make the difference between the pixels in the neighborhood of the filter template and the center pixel, and choose different values for different types of noise. The average value of several pixels with small corresponding differences in a number of neighborhoods is used to replace the center pixel, so as to avoid the blurring of boundaries caused by the aliasing of pixels in different regions; the mean square error and peak signal-to-noise ratio of the denoised X-ray images are calculated, the denoising effect is objectively evaluated, and the proposed denoising method is compared with the common filtering methods. The experimental results show that the improved neighborhood average filtering denoising method can better protect the boundary while denoising than the common filtering method.

## Keywords

X-Ray Image, Improved Neighborhood Averaging Filtering, Noise Detection, Image Denoising, Peak Signal-to-Noise Ratio

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在 X 射线成像过程中, 从图像获取到图像信号传输再到接收, 都不可避免地引入一定程度噪声。X 射线成像系统的噪声来源广泛: 电流变化产生的电子噪声, 探测器接收 X 射线光子引起的量子起伏噪声, 粒子做随机运动产生的散粒噪声, 导体和半导体器件固有的热噪声, 这些噪声均服从高斯分布[1]; 图像采集设备故障以及模拟信号转化为数字信号过程中出现错误形成的椒盐噪声等[2]。X 射线输出图像的噪声多为高斯噪声和椒盐噪声混合而成, 单一传统的去噪方法往往是采用平均或线性方法, 而且容易造成图像信息缺失, 去噪效果不明显[3]。

王小兵等先用中值滤波去除脉冲噪声, 再对小波分解后的高频图像进行形态学滤波, 重新设定阈值判别函数进行重构[4]; 杨希等提出一种改进的自适应中值与非局部均值结合的滤波方法分别去除脉冲噪声和高斯噪声[5]; 张旭涛等利用小波变换将图像分解为高频和低频分量, 对图像中的高频分量进行维纳滤波处理, 对低频分量进行非局部均值滤波处理, 并进行重构[6]; 袁健等利用图像自相似性对椒盐噪声进行滤除, 再结合非局部均值滤波算法处理图像的高斯噪声[7]; 高东生等首先通过噪声辨识与滤波窗口自适应扩展, 计算窗口归一化系数和一次加权联合滤波中间输出, 然后利用多层级窗口中间输出值进行二次加权优化滤波[8]; 为了在消除噪声的同时保护图像中的目标边界, 本文对获取的 X 射线图像中的噪声进行检测, 明确噪声类型并估计噪声相关参数; 依据噪声检测结果, 基于边界保护的思想, 对传统空间滤波方法进行改进, 提出一种改进的邻域平均滤波。实验结果证明所提方法相比传统滤波方法, 在去噪同时保护边界更有优势。

## 2. 噪声检测

高斯噪声是概率密度函数满足正态分布的随机噪声。其概率密度函数表示为:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

其中,  $z$  表示像素灰度值,  $\mu$  表示灰度期望值,  $\sigma$  表示灰度标准差[9]。高斯噪声存在于整个图像, 在所有的像素位置均有分布, 但幅值大小是随机的, 均值为 0。

椒盐噪声在图像中的体现分为盐噪声和椒噪声两种类别, 盐噪声在噪声图像中体现为白色的亮点, 椒噪声在噪声图像中体现为黑色的点[10]。在一幅图像中, 两种噪声一般都是同时出现。其密度分布函数如下式所示:

$$p(z) = \begin{cases} p_a & a = z \\ p_b & b = z \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

在上式中, 若  $b$  的值大于  $a$  的值,  $b$  在图像中会体现为一个白色亮点, 那么  $a$  在图像中体现为一个黑色的点。相反,  $a$  在图像中会体现为一个白色亮点, 那么  $b$  在图像中体现为一个黑色的点。与高斯噪声不同, 椒盐噪声在图像上出现的位置是随机的, 但幅值是固定的, 对于一幅 8bit 的 X 射线灰度图像, 椒噪声为 0, 盐噪声为 255。

由于噪声是随机信号, 本文使用概率统计的方法来检测噪声, 即概率密度分布直方图。采集图像, 选取图像中无特征区域, 统计区域内所有像素灰度值, 获得各像素灰度值个数, 绘制直方图, 观察直方图分布, 确定图像中噪声类型; 统计区域内 0 和 255 灰度值总数, 与区域内像素总数相除, 得到椒盐噪声密度; 去除 0 和 255 灰度值, 统计剩余像素, 求得高斯噪声方差; 选取多个无特征区域, 重复统计, 获得各个区域的高斯噪声方差及椒盐噪声密度, 求平均值。

如图 1 所示, 在对 X 射线成像系统进行测试过程中采集的一幅图像, 由于受到系统内外影响因素的干扰, 得到的输出图像会含有一些噪声。

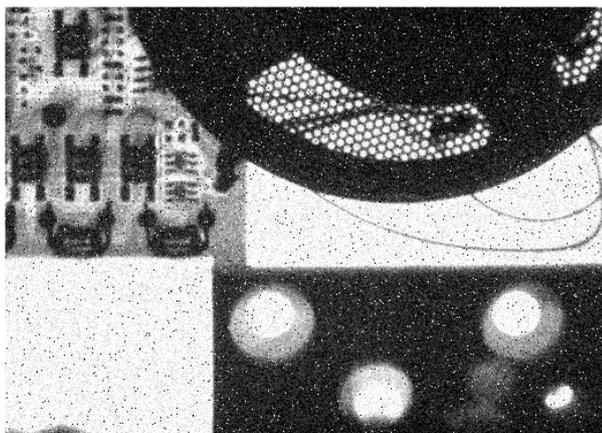


Figure 1. X-ray test image with noise

图 1. 含有噪声的 X 射线测试图像

图像中存在着大量噪声: 在灰度值较高的区域存在少量的黑点, 灰度值较低的区域也存在少量的白点, 这些明显的明暗点构成了椒盐噪声; 在整个图像上同样分布着杂乱的密度较高的高斯噪声。为了更好地了解图像中的噪声特性, 需要对图像中的噪声进行检测, 获得噪声相关参数为去噪提供参考。

为确认图像中噪声的类型和估计具体参数, 此处选取噪声图像中尽量与背景处相似的无特征区域, 以保证该区域像素灰度值的变化只与噪声有关。由于噪声参数不可预测, 所以只能通过概率统计方法来识别的随机误差[11]。提取这个区域中的灰度值, 进行数据统计后获取该区域的灰度直方图来确定噪声类型, 计算选取区域的相关参数。图像灰度直方图定义如下:

$$p(r_k) = \frac{n_k}{N} \quad (3)$$

其中， $N$  为 X 射线图像的总像素数， $n_k$  代表第  $k$  级灰度的像素频数， $r_k$  表示第  $k$  个灰度级， $p(r_k)$  为相应灰度级出现的相对频数。对于一幅 8 bit 的 X 射线数字图像，在  $[0, 255]$  灰度范围内存在 256 个灰度级。如图 2 所示为图像中的选取区域，图 3 为选取区域内像素灰度直方图分布：

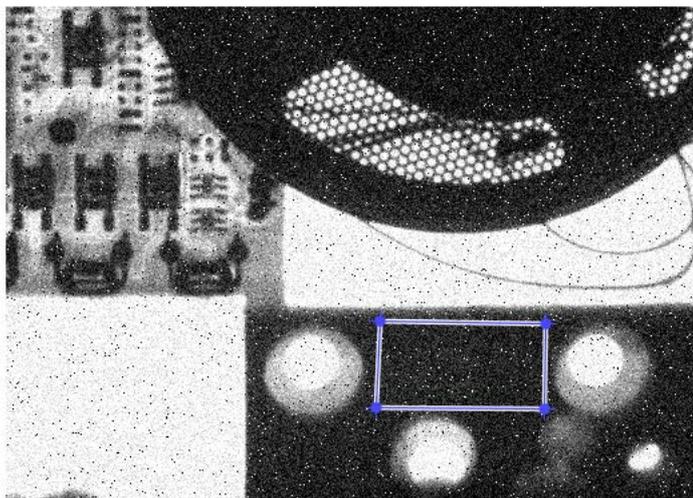


Figure 2. Image noise detection selection area

图 2. 图像噪声检测选取区域

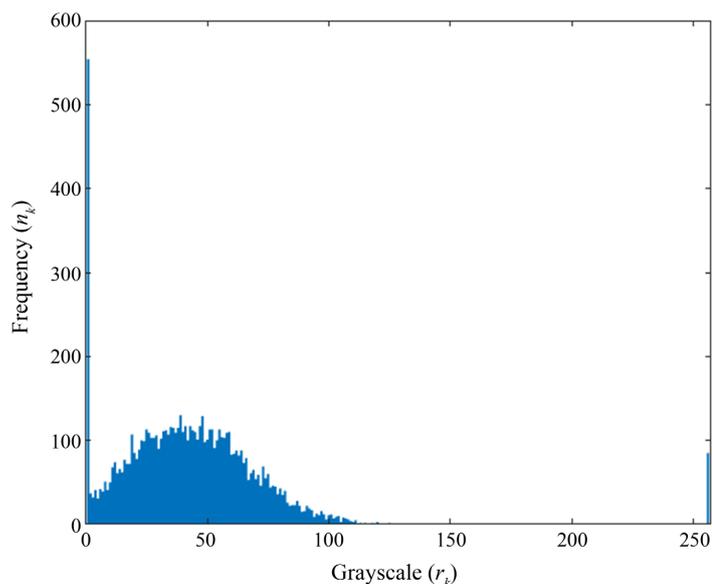


Figure 3. Select area grayscale histogram

图 3. 选取区域灰度直方图

其中横坐标为灰度级，纵坐标为该灰度级出现的频数。灰度直方图中存在 3 个峰，在 0 和 255 两个独立的灰度级处均存在非常明显的峰，表示在该区域存在相当频数的 0 和 255 两种灰度值，满足椒盐噪声的分布规律；在 0 到 255 灰度级之间存在一种近似高斯分布的噪声。为了获得更准确的结果，又选择其他不同区域，对高斯噪声的方差及椒盐噪声的密度进行测量。获得结果如表 1 所列。

**Table 1.** Noise detection results  
**表 1.** 噪声检测结果

Noise parameters	Parameter value
Gaussian noise variance	0.0118
Salt and pepper noise density	0.0195

由表 1 可知, X 图像中的噪声是方差约为 0.0118 的高斯噪声, 和噪声密度约为 0.0195 的椒盐噪声的混合噪声。

### 3. 图像去噪

#### 3.1. 均值滤波

均值滤波器是典型的线性滤波器, 实际上是滤波窗口与获取的 X 射线图像进行运算, 并使用滤波窗口确定的图像邻域内像素的平均值来代替源图像中的像素值[12]。当前像素与周边像素的邻接性质称为像素的邻域, 与邻域对应大小的运算矩阵被称为模板。这些以当前处理的像素为中心, 对当前像素提供一个滤波模板, 该模板包含了待处理像素点四周的 8 邻域像素, 首先对该掩膜内所有的像素灰度值求平均, 用得到的平均灰度值取代该中心点的像素灰度值, 可以理解为在图像中设每一个将要处理的像素点为  $(x, y)$ , 给定它们一个以待处理像素为中心的滤波窗口, 通过该窗口, 计算模板内里全部像素点的灰度平均值, 将该值认定为中心点像素  $(x, y)$  的灰度值。设一个噪声图像为函数  $f(x, y)$ , 则均值滤波后的图像为  $g(x, y)$ , 其公式如下所示:

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(x,y) \in S} f(x, y) \quad (4)$$

式中  $S$  是以  $(x, y)$  为中心的滤波模板,  $M$  代表滤波模板内像素的数量。

均值滤波对于均值为 0 的高斯噪声有着显著的抑制效果, 而且对椒盐噪声也有一定的抑制效果, 但是均值滤波器本身存在着固有的缺陷, 即它不能很好地保护图像细节, 运行时整个邻域内的像素值都参与计算, 没有考虑到像素位置间的关系, 在图像去噪的同时也破坏了图像的细节, 从而使图像变得模糊, 滤波模板尺寸越大, 对噪声的抑制效果越好, 对边缘和细节处的破坏也会更加严重。

#### 3.2. 改进的邻域平均法去噪

为了避免均值滤波的固有缺陷, 在消除高斯 - 椒盐噪声的同时保护边界, 解决图像模糊问题。本文针对高斯噪声和椒盐噪声的不同特性, 综合均值滤波和中值滤波优点, 提出一种改进的邻域平均法。该方法核心思想是对处于边界两侧的像素做区分处理, 明确像素间的位置关系, 避免在去噪时将边界两侧像素混叠处理, 以达到保护图像边界的目的。

该方法具体执行步骤: 输入 X 射线图像, 获取图像尺寸; 创建尺寸为  $3 \times 3$  的滤波模板, 计算模板邻域内所有像素与在中心像素的差值; 判断模板中心像素值是否为 0 或 255; 如果是取除中心像素以外, 对应差值最小的 5 个像素值, 不是则取包括中心像素在内, 对应差值最小的 6 个像素值; 求选取像素的灰度平均值替代当前滤波模板的中心像素; 遍历图像上每一个像素点, 输出图像。

### 4. 仿真与分析

为了测试该方法对高斯 - 椒盐噪声的去噪效果和保护边界的能力, 本文在获取图 1 的 X 射线成像系统参数条件下, 采集了多帧图像叠加取平均获得了近似的原始 X 射线图像, 并使用该图像作为测试图像, 对测试图像添加不同比例的高斯 - 椒盐混合噪声, 在去噪与保边能力上与均值滤波、维纳滤波以及小波

变换去噪方法进行对比。为得到更客观的测试结果，本文使用均方误差(MSE)与峰值信噪比(PSNR) [13] 作为评价标准，MSE 越低、PSNR 越高说明图像质量越好，引入这两个评价标准为了比较各方法对混合噪声的去噪能力，以及对不同水平噪声的抑制效果，此处也使用多帧图像叠加取平均的图像作为参考图像，引入参考图像是为了计算去噪后的峰值信噪比参考图像质量较高而且更接近原始图像，可以获得更准确的结果，检验去噪方法的有效性。均方误差与峰值信噪比的定义式如下：

$$MSE = \frac{1}{r \times c} \sum_{x=1}^r \sum_{y=1}^c [g(x, y) - f(x, y)]^2 \quad (5)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{2^n - 1}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (6)$$

式 5 中  $r \times c$  为图像尺寸， $r$  为像素列数， $c$  为像素行数， $(x, y)$  为像素坐标。6 中  $n$  为像素 bit，本文  $n$  取 8。

不同滤波方法对图 1 去噪结果如图 4 所示，图 4(a)为均值滤波，图 4(b)为维纳滤波，图 4(c)为小波变换，图 4(d)为改进的邻域平均。该图像含有方差约为 0.0118 的高斯噪声和噪声密度约为 0.0195 的椒盐噪声的混合噪声。表 2 为几种去噪方法对图 1 去噪后的 MSE 与 PSNR 结果。

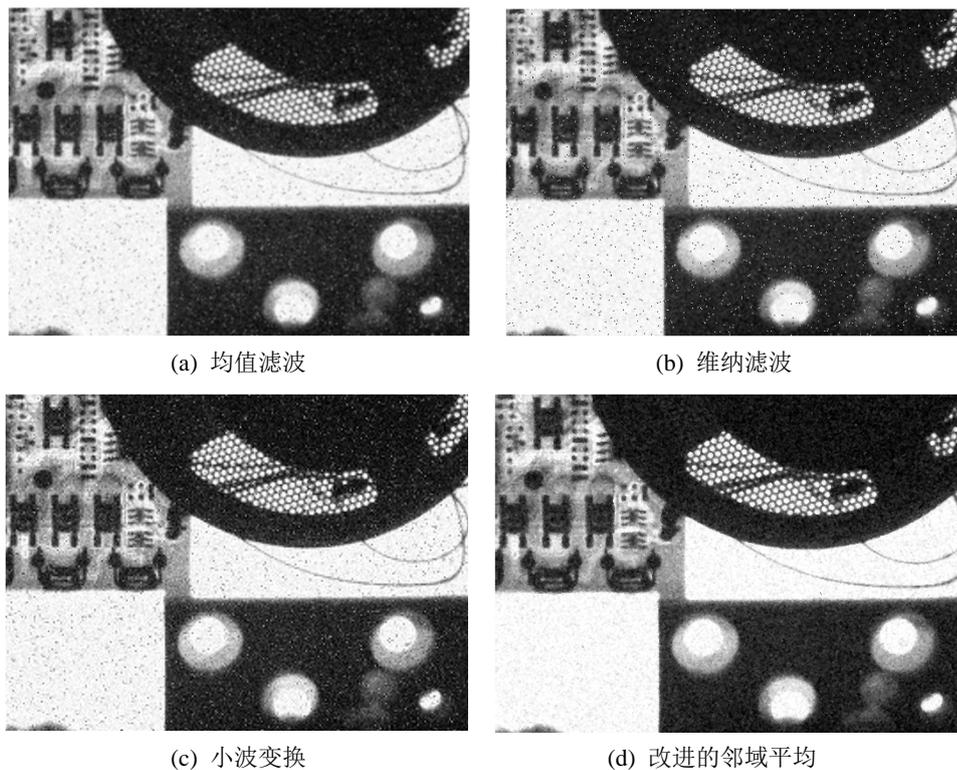


Figure 4. Denoising results for Figure 1

图 4. 对图 1 的去噪结果

Table 2. Comparison of mean square error and peak signal-to-noise ratio of each denoising method

表 2. 各去噪方法的均方误差与峰值信噪比比较

	Mean filter	Wiener filter	Wavelet transform	Improved Method
PSNR/dB	23.9144	21.2801	23.1479	25.5954
MSE	264.8371	489.8480	307.9333	181.9016

对参考图像添加不同方差的高斯噪声与不同密度的椒盐噪声，使用 4 种去噪方法后获得的 MSE 与 PSNR 分别如表 3、表 4 所示。

**Table 3.** Mean square error results of different denoising methods under different noise parameters  
**表 3.** 不同噪声参数下不同去噪方法的均方误差结果

Noise parameters (Variance and Density)	Mean filter	Wiener filter	Wavelet transform	Improved Method	Before denoising
(0.02%, 2%)	327.0046	578.4908	457.4564	310.4015	1416.1191
(0.015%, 1.5%)	284.8747	448.6212	347.3855	241.4228	1071.9720
(0.01%, 1%)	240.5693	327.1221	242.7492	176.2127	760.1754
(0.005%, 0.5%)	202.2810	177.9278	135.9694	102.1227	383.7669

**Table 4.** Peak signal-to-noise ratio results of different denoising methods under different noise parameters  
**表 4.** 不同噪声参数下不同去噪方法的峰值信噪比结果

Noise parameters (Variance and Density)	Mean filter	Wiener filter	Wavelet transform	Improved Method	Before denoising
(0.02%, 2%)	22.9239	20.6765	21.5680	23.2703	16.5769
(0.015%, 1.5%)	23.5659	21.6196	22.6526	24.2344	17.7414
(0.01%, 1%)	24.3129	23.1452	24.2732	25.6937	19.3965
(0.005%, 0.5%)	27.1046	25.4496	26.7637	28.0244	22.2524

通过对比图 4 中 4 种不同去噪方法对相同噪声水平的去噪效果，可以看出本文改进的去噪方法在噪声抑制上优于其他方法，同时在视觉效果上也更好地保护了图像中的边界，没有使边缘模糊；通过表 2、表 3 和表 4 看出，随着高斯噪声方差和椒盐噪声密度增大，几种去噪方法的 MSE 增大，PSNR 都有所下降，但在同等噪声水平下，本文去噪方法的 MSE 较小，PSNR 均高于其他方法，对图像中的高斯 - 椒盐噪声有着更好的抑制作用，与去噪前图像的 MSE 与 PSNR 相比，本文去噪效果有着显著提升。通过对几种去噪方法的输出图像主观比较和对 MSE 与 PSNR 的客观比较，提出的改进的邻域平均去噪方法对高斯 - 椒盐混合噪声的去噪效果和边界保护能力优于其他几种常见的去噪方法。

## 5. 结论

针对传统均值滤波对 X 射线图像去噪时造成边界模糊的问题，提出一种改进的邻域平均方法。由于 X 射线图像中噪声的随机性，本文首先对图像噪声进行检测，估计噪声参数，得知噪声类型为高斯 - 椒盐混合噪声，估算出高斯噪声方差及椒盐噪声密度；依据检测结果，设计出基于保护边界思想的改进邻域平均滤波器，区别高斯噪声和椒盐噪声，选择不同数量的像素值取平均替代模板中心像素。通过比较不同去噪方法的图像视觉效果和 MSE 与 PSNR 标准可以看出，本文提出的去噪方法在对混合噪声去噪结果及边界保护能力优于其他传统滤波方法。本文的去噪方法是针对高斯 - 椒盐混合噪声，在去噪的同时保护边界，由于混合噪声的复杂，当噪声水平更高时，可选择与其他去噪方法联合去噪，以保证在有效去噪的情况下，边界得到保护。

## 基金项目

吉林省教育厅“十三五”科技规划项目(JJKH20200773KJ)；2020 年度吉林省本科高等教育教学改革项目(吉教高[2020] 17 号)；2021 年度电子信息类专业教学指导委员会教改项目(2211)。

## 参考文献

- [1] 徐道磊. 基于 X 射线成像的铸件缺陷检测系统及噪声干扰去除[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [2] Khan, S. and Lee, D.-H. (2017) An Adaptive Dynamically Weighted Median Filter for Impulse Noise Removal. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, **1**, 67. <https://doi.org/10.1186/s13634-017-0502-z>
- [3] 李坤. 基于稀疏表示的图像去噪和超分辨率重建研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 中国科学院研究生院(西安光学精密机械研究所), 2014.
- [4] 王小兵, 孙久运, 汤海燕. 基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(6): 91-95.
- [5] 杨希, 杨立瑞. 基于混合滤波器的 X 射线液体图像滤波算法[J]. 核电子学与探测技术, 2013, 33(1): 85-90+98.
- [6] 张旭涛. 基于高斯-椒盐噪声的滤波算法[J]. 计算机科学, 2019, 46(S1): 263-265.
- [7] 袁健, 姜振宇, 石凌峰. 基于非局部自相似性的混合噪声滤波算法[J]. 光学技术, 2020, 46(3): 361-367.
- [8] 高东生, 廖泓舟, 王侃, 代翔. 一种适用于椒盐-高斯干扰信号的自适应滤波改进算法[J]. 电讯技术, 2021, 61(12): 1554-1561.
- [9] 吴翰. 数字图像的高斯噪声去噪算法研究[D]: [硕士学位论文]. 安庆: 安庆师范大学, 2018.
- [10] 张英. 一种基于高斯与椒盐混合噪声去噪算法研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2014.
- [11] 刘笃晋. 基于小波变换的图像去噪方法研究[J]. 现代电子技术, 2013, 7(3): 94-95.
- [12] 赵存. X 射线数字成像系统设计及成像技术研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2017.
- [13] 佟雨兵, 张其善, 祁云平. 基于 PSNR 与 SSIM 联合的图像质量评价模型[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(12): 1758-1763.