

基于电力电缆X射线图像的降噪研究

李 慧, 李建华, 秦旭磊

长春理工大学, 吉林 长春
Email: 2835572694@qq.com

收稿日期: 2021年5月10日; 录用日期: 2021年6月9日; 发布日期: 2021年6月16日

摘 要

X射线成像过程中会因为图像采集、信号转换、信号传输等原因引入噪声, 影响图像质量。为了比较几种常见降噪方法消除噪声的效果, 使用平均值降噪、均值滤波、中值滤波和频域滤波几种方法分别对添加高斯噪声、椒盐噪声的电力电缆图像进行降噪, 计算各种降噪方法的峰值信噪比并对结果做出比较及简要分析。仅对比信噪比, 平均值降噪法对高斯和椒盐噪声均有非常好的降噪效果, 有着极高的信噪比, 均值滤波和频域高斯低通滤波使图像边缘信息损失, 中值滤波对椒盐噪声的降噪效果显著。

关键词

X射线成像, 滤波降噪, 峰值信噪比

Noise Reduction Studies Based on X-Ray Images of Power Cables

Hui Li, Jianhua Li, Xulei Qin

Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin
Email: 2835572694@qq.com

Received: May 10th, 2021; accepted: Jun. 9th, 2021; published: Jun. 16th, 2021

Abstract

During X-ray imaging, noise is introduced because of image acquisition, signal conversion, signal transmission, etc., which affects image quality. In order to compare the effect of several common noise reduction methods to eliminate noise, the power cable images that add Gaussian noise and pepper-salt noise are reduced by means of mean noise reduction, mean filtering, me-

dian filtering and frequency domain filtering, respectively, and the peak signal-to-noise ratio of various noise reduction methods is calculated, and the results are compared and briefly analyzed. Comparing only the signal-to-noise ratio, the mean noise reduction method has very good noise reduction effect on Gaussian and pepper-salt noise, has a very high signal-to-noise ratio; mean filtering and frequency domain Gaussian low-pass filtering make the image edge information loss, and the median filter has a significant noise reduction effect on pepper and salt noise.

Keywords

X-Ray Imaging, Filter Noise Reduction, Peak Signal-to-Noise Ratio

Copyright © 2021 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, 都不可避免地会存在成像系统内部和系统外部干扰引入一定程度噪声, 噪声的存在导致图像模糊降质, 影响视觉效果, 不利于图像分析。为了消除噪声, 改善图像质量, 必须对图像进行降噪处理。图像降噪预处理也是图像增强、分割等后续处理的前提。输出图像的噪声往往是多种不同的噪声叠加构成, 而且这些噪声也会和图像原有信号交织在一起, 如果降噪时对噪声平滑不当, 就会破坏图像本身的细节, 所以采用的降噪方法要尽可能地抑制噪声的同时极大程度保护图像的细节信息是降噪研究的主要问题。

2. X 射线图像降噪研究

X 射线成像过程中成像检测系统获取 X 射线原始图像会受到各种随机噪声的影响, 这些噪声的存在会严重破坏图像质量, 影响对被检测物体的检测, 甚至严重的会使得人们对被检测物体的检测结构造成错误的判断, 因此对系统获取的原始 X 射线图像进行降噪处理是必要的也是必须的。本文对 X 射线图像分别添加高斯噪声和椒盐噪声, 分别运用平均值降噪法、均值滤波降噪法、中值滤波降噪法和频域高斯低通滤波法对两种含有噪声图像进行降噪, 并计算峰值信噪比, 对各种滤波方法进行了简要说明并对比。

2.1. 平均值降噪

利用随机噪声互不相关的特点, 将含有噪声的图像多次相加, 再取平均, 突出有用信息, 压缩噪声 [1]。平均值降噪实际上就是利用图像的矩阵运算, 对图像进行多次加法运算 [2]。如公式 (1) 所示:

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [f(x, y) + N(x, y)] \quad (1)$$

式中 $f(x, y)$ 为原始图像, $N(x, y)$ 为噪声图像, 两图像相加为噪声污染的图像, M 代表需要相加平均图像的个数, 对添加噪声图像相加平均 M 次得到输出图像 $g(x, y)$ 。

该方法降噪效果明显, 而且平均值降噪不使用滤波器, 可以极大程度保护图像的边缘信息。使用平均值降噪法对高斯噪声图像进行降噪, 结果如图 1 所示。

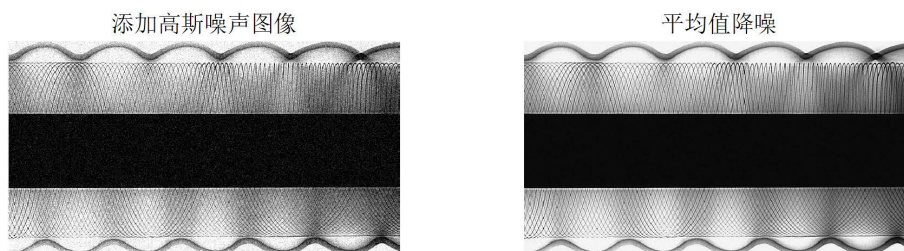


Figure 1. Gaussian noise image and mean noise reduction image
图 1. 高斯噪声图像和平均值降噪图像

此结果对噪声图像累加平均 50 次，直观上就已经有非常好的降噪效果，如果累加次数更大，其降噪效果会更好。使用平均值降噪法对椒盐噪声降噪，噪声图像与输出图像如图 2 所示。

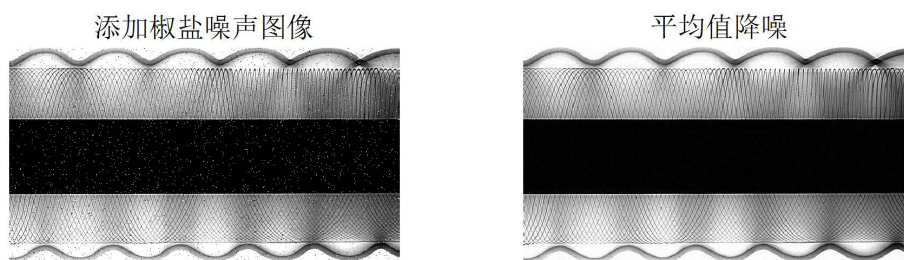


Figure 2. Pepper and salt noise image and average noise reduction image
图 2. 椒盐噪声图像和平均值降噪图像

平均值降噪法可以人为控制循环次数，循环次数越多，降噪效果越好。但是相比其他的降噪方法，平均值降噪计算量大，计算时间长，图像越大，循环次数越多，计算时间越长。

2.2. 均值滤波降噪

均值法降噪也称为平滑线性滤波器，属于空间域滤波。均值法降噪就是使用一个尺寸大小为 $r \times c$ 的矩形滤波窗口与获取的 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[3]。本文使用算术均值对高斯噪声图像降噪，算术均值滤波器是最简单的均值滤波器：

$$g(x,y) = \frac{1}{mn} \sum_{(x,y) \in S_{xy}} [f(x,y) + N(x,y)] \quad (2)$$

式中 S_{xy} 表示中心在 (x,y) 点、尺寸为 $m \times n$ 的矩形子图像窗口的坐标组。输出图像各点的像素值就是用 S_{xy} 定义的区域像素计算得到的算术均值，降噪后输出图像如图 3 所示。

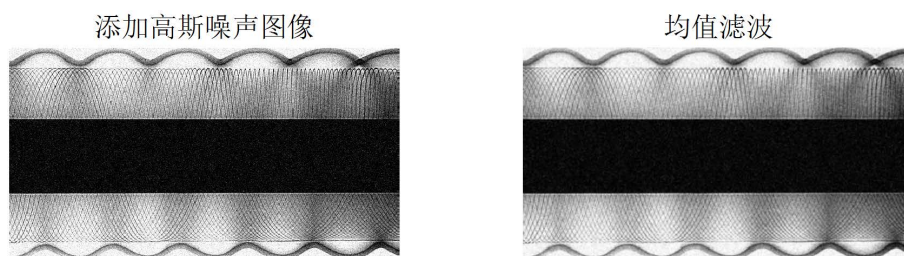


Figure 3. Gaussian noise image and mean filter noise reduction image
图 3. 高斯噪声图像和均值滤波降噪图像

用均值滤波对椒盐噪声图像降噪，输出图像如图 4 所示。

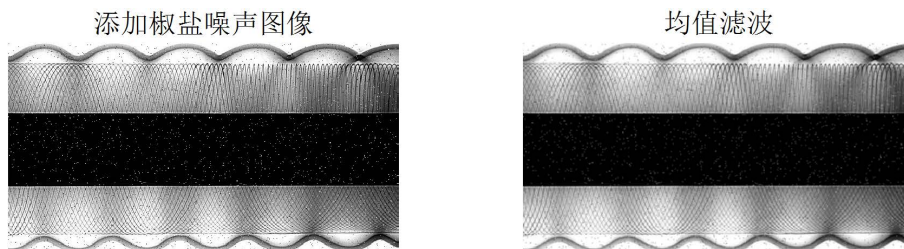


Figure 4. Pepper and salt noise image and mean filter noise reduction image
图 4. 椒盐噪声图像和均值滤波降噪图像

对两种不同噪声都使用了默认值为 3×3 的矩形滤波器, 如果仅考虑降噪效果, 将滤波器尺寸大小参数变大, 得到的结果会更好, 但是图像会越来越模糊, 边缘细节信息会被严重影响甚至丢失。均值滤波本身存在着固有的缺陷, 即它不能很好地保护图像细节, 在图像去噪的同时也破坏了图像的细节部分, 从而使图像变得模糊, 不能很好地去除噪声点。因此均值法降噪在 X 射线成像检测降噪过程中的应用受到了限制。

2.3. 中值滤波降噪

中值降噪是一种基于统计的非线性滤波器, 属于空间滤波器。中值法降噪的基本原理是对滤波窗口覆盖的图像区域中的像素值进行排序, 将图像中某一点的数值用其周围个点的中值进行替代, 以达到消除孤立噪声点的目的[4]。中值滤波公式如下:

$$g(x, y) = \text{median}[f(x, y) + N(x, y)] \quad (3)$$

本文中值滤波所选取的矩阵为 3×3 邻域。对 X 射线原始图像添加高斯噪声, 再使用中值滤波函数对噪声图像进行降噪得到结果如图 5 所示。

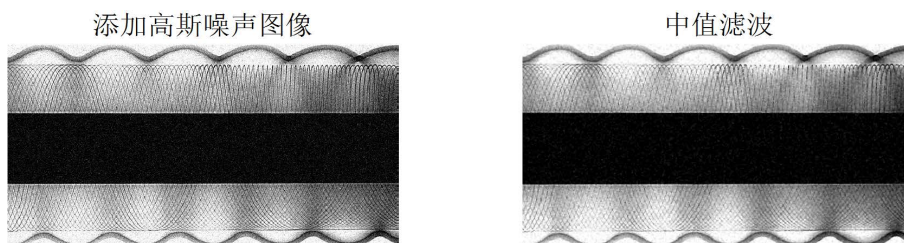


Figure 5. Gaussian noise image and median filter noise reduction image
图 5. 高斯噪声图像和中值滤波降噪图像

可以看到使用中值滤波对高斯噪声降噪, 能够在减小噪声影响的同时, 也较好的保留了图像边缘位置的信息。相比与高斯噪声, 中值滤波对椒盐噪声的降噪效果会更加明显。对原始图像添加椒盐噪声, 设置噪声概率为 0.02。噪声图像与中值滤波图像如图 6 所示。

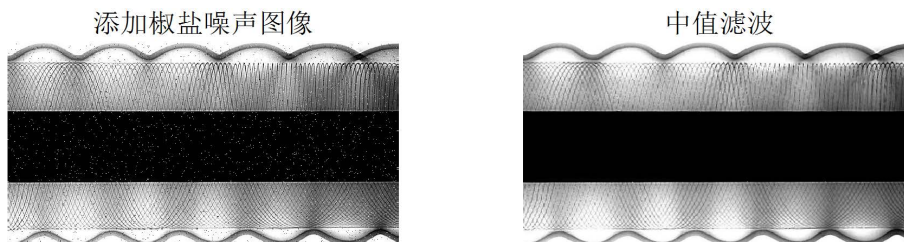


Figure 6. Pepper and salt noise image and median filter noise reduction image
图 6. 椒盐噪声图像和中值滤波降噪图像

中值滤波降噪对具有椒盐噪声的降噪效果非常明显,如果设置噪声概率为 0.1,输出图像中仍存在少量噪声,增大椒盐噪声概率,所得图像的未被处理的噪声也会更多。针对这种情况,可以对降噪后的图像进行二次中值滤波降噪,二次中值滤波后,噪声已经基本被消除,中值滤波降噪较好地保留图像中的边缘信息同时也具有很好的降噪能力。

2.4. 频域高斯低通滤波降噪

图像的频域降噪是通过对待降噪的图像进行傅里叶变换,然后根据噪声的特性选择合适的频域滤波器对傅里叶变换后的图像信号进行频域的处理。一般情况下,采集来的图像经过二维的傅里叶变换后图像的信息处于频率低的部分,而噪声处于频率较高的部分,因此可以使用低通滤波器来对经过二维傅里叶变换后的图像进行处理,这样就保留了图像中的有用信息而滤除处于高频部分的噪声信息,最终达到去除噪声的目的。频域滤波的步骤是先对输入图像进行傅里叶变换,将空间域转换为频域,使用合适的滤波函数与频域图像运算,滤波后在进行傅里叶逆变换,输出为滤波后的空间域图像[5]。

以高斯低通滤波为例,使用高斯低通滤波器对高斯噪声图像进行滤波降噪,高斯低通滤波器公式如下:

$$H(u,v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2} \quad (4)$$

$D(u,v)$ 为频域内点 (u,v) 到滤波器中心的距离, D_0 为截止频率,此处设置截止频率为填充后图像宽度的 20%,结果如图 7 所示。

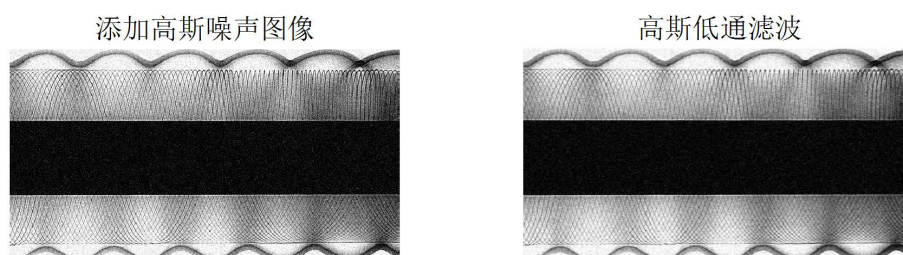


Figure 7. Gaussian noise image and Gaussian low pass filter noise reduction image
图 7. 高斯噪声图像和高斯低通滤波降噪图像

使用高斯低通滤波器对椒盐噪声图像进行降噪,结果如图 8 所示。

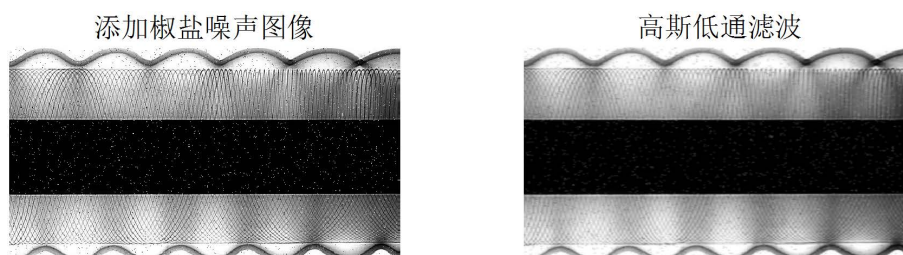


Figure 8. Pepper and salt noise image and Gaussian low pass filter noise reduction image
图 8. 椒盐噪声图像和高斯低通滤波降噪图像

低通滤波对消除噪声有着不错效果,这是因为噪声实质上也是一种高频信号,利用低通滤波器,有选择地设置截止频率,可以消除高于截止频率的噪声,截止频率越低,降噪效果越明显,但同时图像也变得越模糊,对边缘细节信息的影响也越大。相比椒盐噪声,高斯低通滤波对高斯噪声的降噪效果更好。

X 射线成像检测系统获取的原始图像中存在着大量的噪声,噪声的存在影响了人眼的观察和检测,

对成像结果有一定的影响,因此对获取的 X 射线图像进行降噪处理是很有必要的。图像的降噪处理过程就是将获取的 X 射线图像中的图像信号与噪声信号相分离、去除噪声信号保留图像信号的过程。

3. 结果

峰值信噪比表示图像中信号最大可能强度和噪声强度的比值,数值越大表示图像失真越小,降噪效果越好,此处引入这项参数是为了从数据上表现各种方法的降噪效果,均方误差与峰值信噪比公式如下:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} [f(x,y) - g(x,y)]^2 \quad (5)$$

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

式(6)中 n 为每像素的比特数,本文取 8。将降噪后的输出图像与原始图像代入,计算结果越大说明降噪后的图像与原始图像越相近,像素误差越小。峰值信噪比是客观评价参数,与人眼的主观感觉不完全一致。

Table 1. Peak signal-to-noise ratio for different noise reduction methods (PSNR/dB)

表 1. 不同降噪法的峰值信噪比(PSNR/dB)

降噪方法	高斯噪声	椒盐噪声
平均值降噪	35.8353	31.8207
均值滤波	30.0413	30.8372
中值滤波	30.0200	33.2213
频域高斯低通滤波	30.3290	30.1909

如表 1 所示,从各方法对两种噪声降噪的信噪比分析,平均值降噪法对高斯噪声和椒盐噪声都有很好的消除效果,但平均值降噪法的计算时间长,如果要处理数量多的图像,就会收到限制,利用计算机技术处理图像的一个原因是处理速度快,可以在短时间内对大量图像进行降噪处理,很显然这种方法不适合处理大量图像,如果不考虑时间影响,平均值降噪的效果在本文的几种降噪方法中是最好的;均值滤波相比其他滤波方法,而且因为均值滤波在降噪的同时,会使图像变得模糊,破坏图像边缘信息,这使得均值滤波降噪在图像处理中受到了极大限制;中值滤波对椒盐噪声的降噪效果要好于高斯噪声,相比其他方法中值滤波的峰值信噪比达到了 33.2213 dB,是对椒盐噪声降噪最有效但在实际应用中,更多是使用改进后的中值滤波方法,例如极值中值滤波,对椒盐噪声降噪后的信噪比计算结果更高,比普通的中值滤波法的效果更好;频域高斯低通滤波在降噪的同时会导致边缘信息损失,使图像边缘模糊,对图像细节信息也有很大的破坏性,本文中高斯滤波法信噪比不高不仅是因为模糊边缘,在降噪过程中对噪声图像进行了填充,图像部分边缘会有黑色边线,这也会降低峰值信噪比。

4. 总结

本文使用平均值降噪、均值滤波、中值滤波和频域滤波几种方法分别对添加高斯噪声、椒盐噪声进行降噪。简单概括了各种方法的降噪相关原理,计算出各种降噪法的峰值信噪比并进行比较,分析各中方法的优劣势。而且通过变化实验参数找到图像降噪效果和峰值信噪比之间的平衡,可以达到更好的降噪效果。本文的研究和分析只是单一的对 X 射线图像进行降噪处理,其实在 X 射线成像检测系统中,各种 X 射线图像降噪技术需要按照图像的实际特点选择合适的方法处理,对不同类型的噪声可以应用不同的降噪方法,也可以将其中的两种或几种方法结合起来,降噪效果会更好。

基金项目

吉林省教育厅“十三五”科技规划项目(JJKH20200773KJ)。

参考文献

- [1] 但唐仁, 田景全, 高延军, 李野, 姜德龙, 端木庆铎, 富丽晨. 低强度 X 射线影像系统的噪声分析及图像去噪处理[J]. 发光学报, 2002(6): 615-618.
- [2] 杨杰, 黄朝兵. 数字图像处理及 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- [3] 刘有银. X 射线成像影响因素及图像处理技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春理工大学, 2014.
- [4] 徐浩钧. 基于卷积神经网络的 X 射线违禁品识别技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春理工大学, 2020.
- [5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. 数字图像处理(MATLAB 版) [M]. 第二版. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2014.