

经典去噪算法在两种含噪头部图像中的对比研究

耿梓苒

天津职业技术师范大学理学院, 天津

收稿日期: 2023年6月11日; 录用日期: 2023年7月5日; 发布日期: 2023年7月12日

摘要

本文围绕四种经典的去噪算法: 引导滤波去噪算法、小波变换去噪算法、双边滤波去噪算法和联合双边滤波去噪算法, 利用Shepp-Logan头模型和头部CT影像进行仿真去噪实验, 结果表明针对头模型的联合双边滤波去噪算法的保边滤噪效果相对于其他3种算法较好; 针对头部CT的双边滤波去噪结果更优。

关键词

图像去噪, 引导滤波, 小波变换, 双边滤波, 联合双边滤波

A Comparative Study of Classical Denoising Algorithms in Two Noised Head Images

Ziyi Geng

School of Science, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin

Received: Jun. 11th, 2023; accepted: Jul. 5th, 2023; published: Jul. 12th, 2023

Abstract

This article revolves around four classic denoising algorithms: guided image filtering, wavelet transform, bilateral filter and joint bilateral filter. The Shepp-Logan head model and head CT image are used to simulate denoising experiments, the results show that the joint bilateral filter for the head model has a better edge filtering effect than the other three algorithms; bilateral filtering denoising results for head CT are better.

Keywords

Image Denoising, Guided Image Filter, Wavelet Transform, Bilateral Filter, Joint Bilateral Filter

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. 引言及预备知识

近年来, 图像去噪技术发展十分迅猛, 高效、准确的图像信息为人们的生活提供了极大便利。由于图像会因掺杂噪声受损, 所以对图像进行去噪以使得图像更加接近原图像成为了当前必要且热门的研究方向。

目前的去噪方法主要有以下两类: 第一类是基于空间域的去噪方法[1]; 第二类是基于频率域的去噪方法。高斯滤波、均值滤波、中值滤波是空间域常见的去噪算法[2]; 基于频率域的去噪方法一般有基于离散余弦变换[3]的图像去噪方法、基于小波变换的图像去噪方法等[4]。日常应用最多的滤波是由 Tomasi 等人于 1998 年提出的双边滤波[5], 目前最新的滤波有引导滤波[6]、联合双边滤波[7]。现已有对常见的高斯滤波、中值滤波和引导滤波进行比较, 表明引导滤波去除高斯噪声的效果最好[8]; 也有针对圆形线材表面缺陷图像进行的去噪实验, 表明不同类型的噪声需要选用不同的滤波算法进行去噪处理[9]。本文利用引导滤波、小波变换、双边滤波和联合双边滤波的去噪方法对两类头骨图像进行实验, 为不同的头部图像找到最适合其的去噪方法。图像的清晰度影响着人们的日常生活, 在医学领域中直接关乎病人的健康情况, 因此本文主要研究可以使得 CT 成像效果更佳, 以及对 CT 结果更适用的算法, 也为之后研究 CT 去噪算法的融合打下了基础。

2. 经典去噪算法原理及评价指标

2.1. 引导滤波

引导滤波(guided image filtering, GIF)是由何凯明等人提出的一种十分知名的可以去噪保边的技术。该技术是以引导图指导滤波过程, 使得输出结果图尽可能地相似于原图像。单独的一幅图像或者是输入图像都可以作为该滤波的引导图, 当引导图为输入图像时, 引导滤波就变为一个保持边缘的滤波操作了, 此时该滤波可以用于图像重建。目前这项技术拥有应用面广、细节更优以及运行速度快的优势, 近些年来被广泛用于图像去噪、融合、分割等多个领域。

引导滤波公式如下:

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in w_k \quad (1)$$

式(1)中: 输出图像为 q ; 引导图像为 I ; i 为像素点的索引; q 与 I 在以像素 k 为中心、 r 为半径的窗口 w_k 中。输入图像为 p , 最小化 p 与 q 之间的误差可以得到

$$\begin{cases} a_k = \frac{\frac{1}{|w|} \sum_{i \in w_k} I_i p_i - \mu_k \overline{p_k}}{\sigma_k^2 + \varepsilon} \\ b_k = \mu_k \overline{p_k} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: μ_k 和 σ_k 为 i 在窗口 w_k 中的均值和方差; ε 为控制平滑度的正参数。计算滤波输出的公式为

$$q_i = \overline{a}_i * I_i + \overline{b}_i \quad (3)$$

式(3)中: \overline{a}_i 和 \overline{b}_i 分别是以 i 为中心的窗口 w_i 上的 a 和 b 的平均值。

2.2. 小波变换

小波变换(wavelet transform, WT)是在傅里叶变换的基础上发展而来的。若 $x(t)$ 为一组信号, 则其连续的小波变换公式如下:

$$c_x = \int_R x(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (4)$$

式(4)中: a 为尺度因子; b 为平移参数; 对 a 和 b 进行离散采样如下:

$$a = a_0^m, a_0 > 0, m \in z, b = nb_0 a_0^m, b_0 \in R, n \in z, \quad (5)$$

则小波 $\psi_{a,b}(t)$ 变为 $\psi_{m,n}(t) = a_0^{-m/2} (a_0^{-m} t - nb_0)$ 。

定义离散小波变换为:

$$d_x \langle x(t), \psi_{m,n}(t) \rangle = \int_R x(t) \psi_{m,n}(t) dt, m, n \in z, \quad (6)$$

若 $a_0^m = 2^{-k}, nb_0 a_0^m = la$, 则 $\psi(t) \in L^2(R)$ 构造的序列为:

$$\psi_{k,l}(t) = 2^{k/2} \psi(2^k t - l), k, l \in z \quad (7)$$

式(7)中: z 为整数集。对应的离散小波变换为:

$$d_{k,l} = \langle x(t), \psi_{k,l}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \{2^{k/2} \psi(2^k t - l)\} dt \quad (8)$$

由此可以进一步推广到二维小波变换。

2.3. 双边滤波

双边滤波(bilateral filter, BF)属于非线性滤波方法, 它具有简单、非迭代、局部的特点。这种方法不仅对像素空间域与像素值域进行了结合, 也对权值公式进行了修改, 在图像像素点数值比较均衡的区域以空间域信息为主, 像素值域的权值接近于零, 这样可以使得图像有较好的平滑度; 在图像的边界区域主要以像素值域的权值为主, 保留了边缘细节。双边滤波通过空域矩阵和值域矩阵形成一个新的权重矩阵, 其中空域矩阵用来模糊去噪; 值域矩阵用来保护边缘。

双边滤波公式如下:

$$S_p = \frac{1}{W_p^{bf}} \sum_{q \in \Omega} I_q G_s(\|p - q\|) G_r(\|I(p) - I(q)\|) \quad (9)$$

其中:

$$W_p^{bf} = \sum_{q \in \Omega} G_s(\|p - q\|) G_r(\|I(p) - I(q)\|) \quad (10)$$

式中, p 为像素; I 为输入图像; S 为双边滤波后的图像; Ω 是以 p 为中心的窗口; q 为 Ω 里的像素; 空间域里的核函数为 G_s ; W_p^{bf} 代表归一化后的项; G_r 表示像素范围域的核函数; G_s 与 G_r 通常用高斯核函数实现, 为 σ_s 与 σ_r 。

2.4. 联合双边滤波去噪模型

联合双边滤波模型(joint bilateral filter, JBF)与之前的双边滤波模型不同,它是基于导向图像进行计算得到引导图像,改善了双边滤波模型易在边缘部分翻转的缺点。公式如下:

$$S_p = \frac{1}{W_p^{jbf}} \sum_{q \in \Omega} I_q G_s(\|p-q\|) G_r(\|\tilde{I}(p) - \tilde{I}(q)\|) \quad (11)$$

其中,

$$W_p^{jbf} = \sum_{q \in \Omega} G_s(\|p-q\|) G_r(\|\tilde{I}(p) - \tilde{I}(q)\|) \quad (12)$$

联合滤波模型的公式大致与双边滤波模型的公式相同, W_p^{jbf} 表示联合双边滤波归一化后的项; \tilde{I} 为引入的引导图像。

2.5. 图像数值评价指标

评价图像的质量大致有两种方法,一种为主观观察法;另一种为用指标衡量。常见的指标有:均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)。公式如下:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M (t_{x,y} - r_{x,y})^2 \quad (13)$$

$$PSNR = 10 \times \lg(MAX_1^2 / MSE) \quad (14)$$

式中, $t_{x,y}$ 、 $r_{x,y}$ 分别代表原始图像和去噪图像在像素 (x,y) 处的像素值; $M \times N$ 代表图像的大小; MAX_1 为原图的最大像素值,一般取 255。

3. 去噪效果及分析

本文选取 Shepp-Logan 头模型和头部医学图像为实验对象进行仿真实验,对其进行去噪处理,用 Matlab R2014a 软件在 PC 机(4.0 GB 内存, 2.30 GHz CPU)上实现。采用 GIF、小波变换、BF、和 JBF 四种经典的去噪算法对含噪的 S-L 图像及头部 CT 图像进行降噪处理。在 BF 滤波算法中, σ_d 选取为 2, σ_r 选取为 0.1; 在 GIF 与 JBF 去噪过程中,都选用原始图像作为引导图对含高斯噪声的头骨图进行去噪;在小波变换去噪过程中,各尺度阈值分别设定为 10.28 和 24.08。

3.1. 头模型图像去噪结果

本文首先生成了 180×180 大小的 S-L 头骨图像作为原始图像,如图 1(a),由于实际生活中得到的图像都是含噪图像,所以对其进行加均值为零,方差为 0.03 的高斯噪声模拟被噪声污染后的头骨图像,如图 1(b)。图 1(c)~(f)是四种算法降噪后的结果图。指标数值如表 1 所示。

Table 1. Two objective evaluation indexes of 4 algorithms

表 1. 4 种算法的两种客观评价指标

四种算法	MSE	PSNR
GIF	1.4501	46.5168
小波变换	1.0644	47.8598
BF	1.3588	46.7993
JBF	0.6860	49.7676

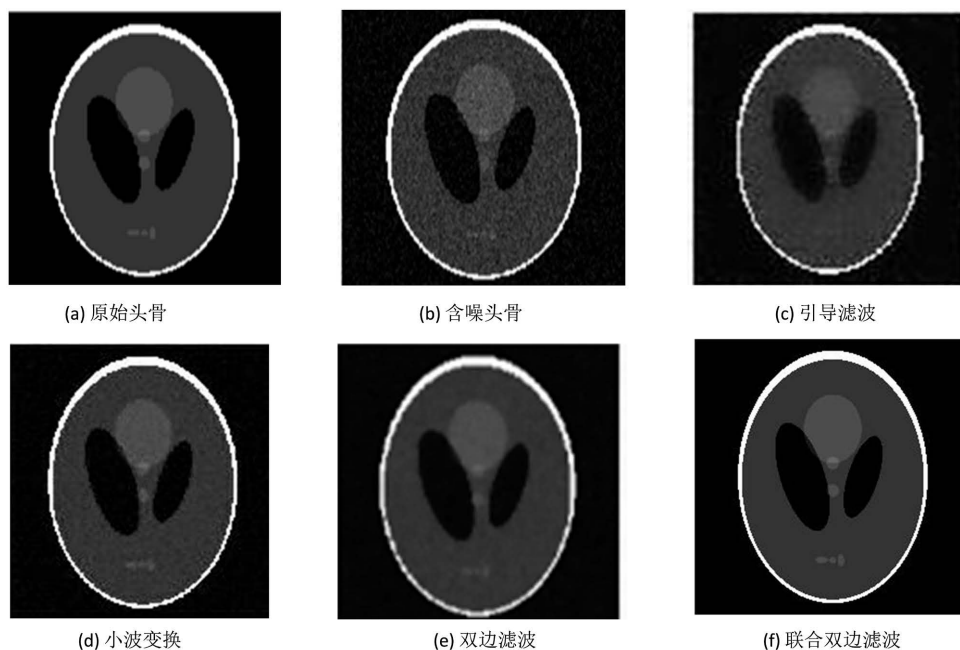


Figure 1. The original image and the image after noise removal
图 1. 原始图像及去噪后的图像

3.2. 头部 CT 图像去噪结果

首先选取头部 CT 图像作为原始图像，如图 2(a)，并对其进行加均值为零，方差为 0.03 的高斯噪声模拟被噪声污染后的头骨图像，如图 2(b)。图 2(c)~(f)是四种算法降噪后的结果图。指标数值如表 2 所示。

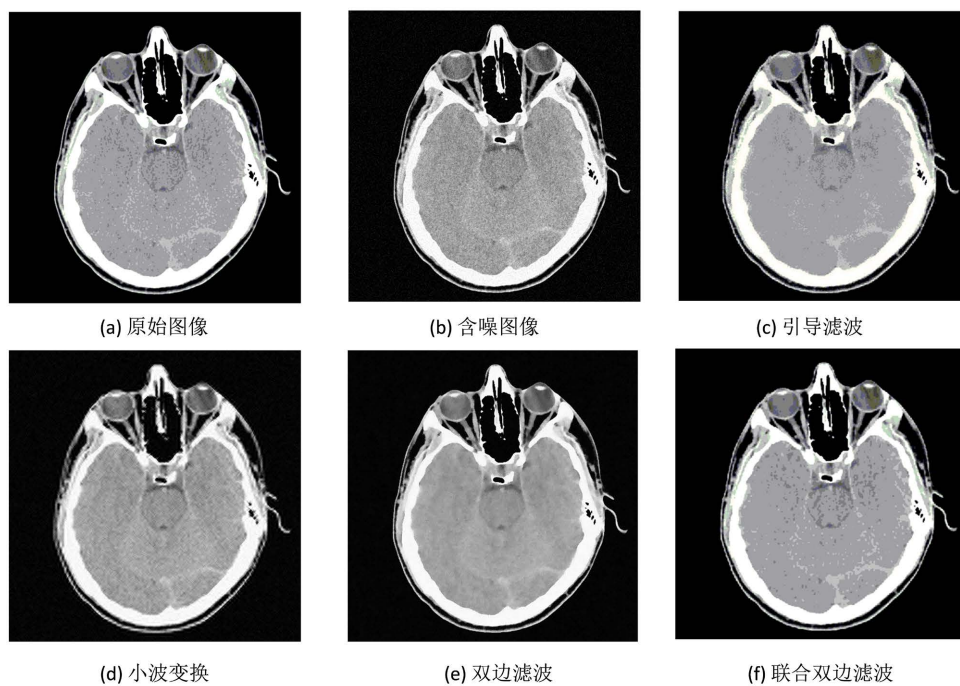


Figure 2. The original CT image and the image after noise removal
图 2. 原始 CT 图像及去噪后的图像

Table 2. Two objective evaluation indexes
表 2. 两种客观评价指标

四种算法	MSE	PSNR
GIF	0.0011	74.7046
小波变换	0.0040	69.0179
BF	0.0008	76.0637
JBF	0.0055	67.6414

3.3. 图像去噪分析

从主观角度来看, 两幅图像的去噪结果图像都相较于含噪图像变得更加清晰, 头像特征也较为明显。

从客观指标数据来看, 针对头骨去噪效果最好的是 JBF 算法, GIF 的 PSNR 数值明显低于另外三种去噪算法, 需对权值公式进行优化; 对于头部 CT 去噪效果最好的是 BF 算法; 目前小波变换还需继续优化其运算过程。每种算法都有其匹配的对象条件: JBF 或许更适用于结构简单、边缘明显的图像; BF 或许更适于处理结构、层次复杂但内部清晰的图像; 小波与 GIF 或许对于大部分图像而言是一个保守的选择, 效果一般。

4. 结语

本文利用 4 种经典的去噪算法针对 CT 图像重建的 S-L 头骨与头部 CT 图像进行去噪实验, 从不同角度、不同本质对四种算法去噪后的图像进行了分析和建议。通过对降噪的 S-L 头模型效果分析可知, 小波去噪算法和 SART-TV 去噪算法在 CT 图像上的效果优于 BF; GIF 去噪算法效果较差。对于头部 CT 图像而言, BF 的效果优于另外三种。但每种算法都有其自身局限性, 如何将其优势互补, 如何融合出一套更适用于 CT 图像重建的去噪流程是未来研究的重点及方向, 今后会针对不同的算法进行改进并相互结合。

参考文献

- [1] 邢笑笑, 李杰. 空域滤波图像去噪算法研究[J]. 电子技术与软件程, 2022(16): 144-147.
- [2] 肖孟强. 混合噪声图像滤波算法在医学图像中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2012.
- [3] Ahmed, N., Natarajan, T. and Rao, K.R. (1974) Discrete Cosine Transform Filtering. *IEEE Transactions on Computers*, **C-23**, 90-93. <https://doi.org/10.1109/T-C.1974.223784>
- [4] Uesugi, F. (2023) Novel Image Processing Method Inspired by Wavelet Transform. *Micron*, **168**, Article ID: 103442. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2023.103442>
- [5] Tomasi, C. and Manduchi, R. (1998) Bilateral Filtering for Gray and Color Images. *Sixth International Conference on Computer Vision*, Bombay, 839-846.
- [6] He, K.M., Sun, J. and Tang, X.O. (2010) Guided Image Filtering. In: *Computer Vision—ECCV 2010*, Springer, Berlin, 1-14. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15549-9_1
- [7] Nirmal, J.O.U. and Babu, R.V. (2014) Joint Bilateral Filtering Based Non-Local Means Image Denoising. *SPCOM*, Bangalore, 22-25 July 2014, 1-5.
- [8] 惠婉玉, 吴玉秀. 图像去噪滤波方法的对比研究[J]. 洛阳理工学院学报(自然科学版), 2021, 31(1): 71-76.
- [9] 杨培义, 张天彤, 等. 典型去噪算法在圆形线材表面缺陷图像中的对比研究[J]. 现代计算机, 2019(3): 50-54.