

几种图像平滑去噪方法的比较^①

唐娅琴^{1,2}

1. 重庆医科大学 基础医学院, 重庆 400016; 2. 东南大学 影像科学与技术实验室, 南京 210096

摘要: 图像处理过程中, 图像降噪是底层的处理, 将影响图像的后继分析处理质量. 在介绍了现有的几种图像去噪方法的原理, 算法及各自的优缺点后, 利用仿真实验, 对比几种方法在去噪中的应用, 给出实验结果, 并采用了客观评价指标比较几种方法.

关键词: 去噪; 小波; 变分

中图分类号: TP751

文献标识码: A

在图像处理过程中, 图像的平滑, 降噪是底层的处理. 噪声可能是在图像的采集、量化等过程中产生, 也可能在图像传输的过程中产生. 噪声的存在极大干扰了图像的信息. 对于图像的后继处理、分析都有影响. 所以, 降噪处理一直是图像处理和计算机视觉研究的热点. 一种好的方法是在去除噪声的同时能很好的保持图像的边界和细节.

图像的成像模型可描述为:

$$g(x, y) = f(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

其中 $f(x, y)$ 是不含噪声的理想图像, $g(x, y)$ 是实际观测到的图像, $n(x, y)$ 为噪声. 图像去噪的问题就是找寻合适的算子 $F: R \rightarrow R$, 使得

$$F(g(x, y)) = f(x, y) \quad (2)$$

1 几种去噪方法的分析对比

频域中去噪的主要原理是利用噪声和信号在频率上分布的不同. 信号分布在低、中频区域, 图像细节分布在高频区域, 而噪声主要也分布在高频区域. 传统的去噪方法如均值滤波和中值滤波主要是将图像的高频成分滤除.

1.1 均值滤波^[1]

是将某像素邻域内的各点的灰度平均值来代替该像素原来的灰度级. 通常邻域都取成 $N \times N$ 的方形窗口, 其降噪平滑后的图像为

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in s} g(i, j) \quad (3)$$

其中, s 是点 (x, y) 邻域内的点集, M 是点集 s 中的总点数.

将算术均值滤波器作一改进, 将某像素邻域内的各点的灰度加权平均值来代替该像素原来的灰度值, 得到加权均值滤波. 从权值上看, 灰度越接近中心像素其权值越大. 加权平均的算法可表示为

$$g(x, y) = \sum_{(i, j) \in s} \omega(i, j) g(i, j) \quad (4)$$

$\omega(i, j)$ 是权值, 表示其所起作用的大小.

1.2 中值滤波

此方法是用该像素的相邻像素的灰度中值来代替像素值. 是一种典型的排序滤波器.

$$V_{\text{out}} = \text{median}\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\} \quad (5)$$

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ 是邻域中各点的灰度值. 所以, 中值滤波后的图像 $g(x, y)$ 是以 (x, y) 为中心的 $N \times N$ 窗口的各像素的灰度中间值.

① 收稿日期: 2009-04-11

基金项目: 教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0611).

作者简介: 唐娅琴(1976-), 女, 四川达州人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事图像处理的研究.

1.3 基于小波变换的去噪方法^[2]

近年来,小波理论得到了非常迅速的发展,由于其良好的时频特性,实际应用非常广泛^[3],将小波用于去噪也得到很多学者的重视.小波去噪利用了不同中心频率的带通滤波器对信号滤波,把主要反映噪声频率的那些尺度的系数去掉,再把剩余各尺度的系数综合起来做反变换,从而使噪声得到较好的抑制.小波变换具有时频局域化特性,能够检测到局部突变的边缘特性,而且可将图像结构和纹理分别表现在不同分辨率层次上.1995年 Donoho^[4]提出了一种采用小波变换的图像去噪方法:小波域值算法,它利用信号和噪声小波系数幅值上的差异,通过选择合适的域值对小波系数进行处理,以达到去除噪声又保留有用信号的目的.此方法中,小波系数域的处理方法及阈值的估计是两个关键技术.在此方法基础上又开发出了,基于 Bayes 方法的小波去噪和基于假设检验的小波去噪^[5].

1.4 总体变分(TV Total Variation)去噪方法

TV 方法是由 Rudin Osher and Fatemi^[6]提出,是现在最流行、成功的图像复原方法.它通过对图像能量函数最小化达到平滑去噪的目的.图像的能量函数方程为:

$$\text{TV}[u(x, y)] = \iint_{\Omega} |\nabla u(x, y)| dx dy \quad (6)$$

在原始文献^[6]中给出的整体变分去噪能量泛函为:

$$E = \int_{\Omega} \frac{1}{2} (u - u^0)^2 + \lambda * \text{TV}(u) \quad (7)$$

为使能量函数最小,其欧拉-拉格朗日方程为

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|_{\beta}} \right) + \lambda(u - u^0) = 0 \quad (8)$$

其中, $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$ 为梯度算子. $|\nabla u|_{\beta} = \sqrt{|\nabla u|^2 + \beta^2}$ 是 $|\nabla u|$ 的正则项,用来减少在平坦区域的退化.将整体坐标转换为图像中任意像素点处的局部坐标系后,该方程可以分解为边缘方向以及与边缘正交两个方向,分解后各方向的系数控制着该方向的扩散强度^[7].扩散方程实质上是一个非线性各向异性扩散方程,其扩散算子仅沿图像梯度 ∇u 的正交方向扩散,其扩散系数为 $\frac{1}{|\nabla u|}$,而朝梯度方向无扩散,因而保留了图像的细节.

2 实验结果分析

为了比较几种去噪方法,我们用 MATLAB7.0 进行大量的仿真实验.现以标准测试图像 Lena 和 afmsurf 图像为例来进行说明和分析.分别对两幅图像加以高斯噪声和椒盐噪声,利用被噪声污染的 Lena 和 afmsurf 图像作为输入,他们的大小分别为 $256 * 256$ 和 $199 * 199$,灰度级为 256.实验中加入均值为 0.1,方差为 10 的 Gaussian 噪声.均值滤波,中值滤波均采用 $3 * 3$ 的模板,小波去噪中使用 sym5 小波,全局门限值.总体变分方法实验中参数 $\lambda = 400$,迭代次数为 25 次.实验去噪结果如图 1:

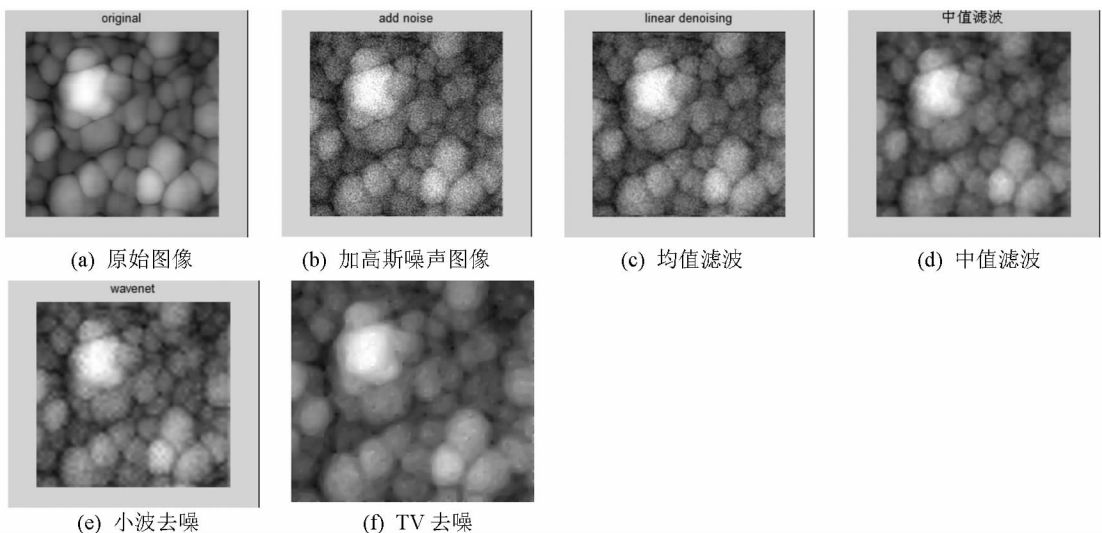


图 1 标准图像 afmsurf 及实验结果比较

从图像直观看来，对于高斯噪声，线性均值滤波去噪效果比中值滤波好。TV 去噪比小波的去噪效果好，但对于边缘的细节也模糊了。下面再采用常用的客观评价标准如：峰值信噪比(PSNR)、均方误差(MSE)^[8]，相关系数(CORR)，来定量的进行比较。各标准定义如下式(9)，(10)，(11)：

$$PSNR = 10 * \lg \frac{255^2 \times m \times n}{\sum_i \sum_j ((f(i, j) - f^*(i, j))^2)} \tag{9}$$

$$MSE = \frac{\sum_i \sum_j [f(i, j) - f^*(i, j)]^2}{m \times n} \tag{10}$$

$$CORR(I^s, I^n) = \frac{cov(I^s, I^n)}{\sqrt{var(I^s)var(I^n)}} \tag{11}$$

式(9)、(10)中， $f(x, y)$ 是加噪图像， $f^*(x, y)$ 为采用某算法去噪后的图像， m, n 为图像的尺寸。式(11)中， I^s 代表原始图像， I^n 代表噪声图像， cov 代表协方差， var 代表方差。

对于标准图像 afmsurf 加高斯白噪声后各算法输出图像，计算其客观评价指标如表 1。从表 1 中可以看出，中值滤波的峰值信噪比最低，对高斯噪声的降噪效果不及其他几种方法。TV 变分的均方误差最小，有较好的降噪效果。

表 1 Gaussian 噪声各算法输出图像指标比较

算法	Afmsurf(199 * 199)		
	PSNR	MSE	CORR
均值滤波	17.823 7	0.004 4	0.848 3
中值滤波	16.979 5	0.004 2	0.853 9
小波	18.231 1	0.004 2	0.860 8
总体变分	17.709 8	0.004 1	0.843 1

为进一步比较算法对不同噪声的适用性，还对同一原始图像分别叠加高斯噪声和椒盐噪声做对比实验。下面选取的是对 lena 图像加强度为 0.01 的椒盐噪声后，再采用几种去噪方法去噪后的结果图。

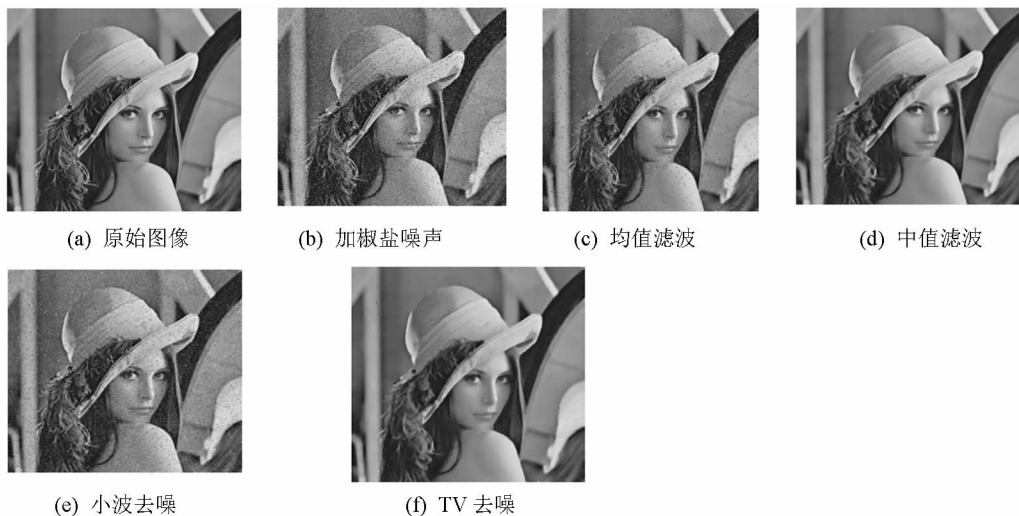


图 2 标准图像 lena 加椒盐噪声的实验结果比较

从视觉上看，对于椒盐噪声，中值滤波的效果明显好于均值滤波。而 TV 去噪和中值滤波效果差不多。小波去噪的效果不如 TV 滤波。再采用客观评价指标，分别计算对 lena 图像加高斯噪声和椒盐噪声，经过各去噪方法去噪后的输出图像的客观评价指标值，见表 2，表 3：

表 2 加高斯噪声后各算法指标比较

算法	Lena(512 * 512) 图像		
	PSNR	MSE	CORR
均值滤波	20.363 1	0.004 9	0.821 0
中值滤波	17.524 6	0.004 8	0.863 5
小波	17.585 7	0.004 7	0.861 1
总体变分	19.718 6	0.004 6	0.889 4

表 3 加椒盐噪声后各算法指标比较

算法	Lena(512 * 512)		
	PSNR	MSE	CORR
均值滤波	19.460 3	0.004 8	0.801 1
中值滤波	24.643 2	0.004 7	0.824 2
小波	25.597 4	0.004 9	0.969 9
总体变分	25.754 0	0.004 6	0.832 3

从表 2 可以看出,对于高斯噪声,仍然是中值滤波的峰值信噪比最低,总体变分的均方误差最小,这与表 1 的情况一致.所以,对于高斯噪声,中值滤波的降噪效果不太理想,而总体变分模型则取得比较好的效果.而从表 3 中,看出均值滤波的峰值信噪比最低,小波和 TV 的峰值信噪比比较接近.而总体变分的均方误差仍为最小.

3 结 语

本文在介绍几种主要的去噪方法的基础上,分析各方法的去噪原理,找出不同噪声的适用方法.实验结果表明:对于高斯噪声,线性均值滤波和 TV 去噪可以取得较好的去噪效果.但对于椒盐噪声,中值滤波、小波、总体变分(TV)的去噪平滑效果比较好.其中,总体变分模型对两种噪声都取得了比较好的去噪效果,它是现在图像平滑去噪和复原最流行的方法.但仍然会丢失部分边界纹理信息,减少边界纹理信息细节特征的丢失仍然是以后工作的重点.而且它需要求解偏微分方程,由于直接求解偏微分方程比较困难,其数值解法的稳定性,收敛性等也是研究的热点问题.

参考文献:

- [1] 刘 丹. 计算机图像处理的数学和算法基础 [M]. 北京:国防工业出版社,2005:85-91.
- [2] 孙即祥. 图像分析 [M]. 北京:科学出版社,2005:210-211.
- [3] 李晓智,王兆理,李 跃,等. 利用小波变换提取医用 X 光片图像边缘的研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2001,26(4):462-465.
- [4] Donoho D L, Johnstone I M. Adapting to Unknown Smoothness Via Wavelets Shrinkage [J]. Journal of the American Statistical Association, 1995, 90(432):1200-1224.
- [5] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Adaptive Wavelet Thresholding for Image Denoising and Compression [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9):1532-1546.
- [6] Rudin L I, Osher S, Fatemi E. Nonlinear Total Variation Based Noise Removal Algorithms [J]. physica D, 1992, 60:259-268.
- [7] 吴 斌,吴亚东,张红英. 基于变分偏微分方程的图像复原技术 [M]. 北京:北京大学出版社,2008:56-57.
- [8] 陈 力. 用于图像平滑去噪的快速各向异性反扩散算法 [J]. 汕头大学学报(自然科学版),2008,23(1):30-35.

A Review of Several Image Smoothing and Denoising Methods

TANG Ya-qin^{1,2}

1. School of Basic Medical Science, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China;

2. Laboratory of Image Science and Technology, Southeast University, Nanjin Jiangsu 210096, China

Abstract: In image process, denoising is a low-level process and will definitely affect the final analysis and processing quality. This paper introduces several popular methods in image denoising. We explain their basic theories, give out their algorithms and analyze and compare the experiment results of different methods.

Key words: denoising; wavelet; total variation (TV)