

基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法

王小兵¹, 孙久运¹, 汤海燕²

(1 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 提出了一种基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法。该算法首先采用中值滤波进行预处理以去除脉冲噪声, 然后对图像进行二维小波分解得到高频和低频子图像。根据各高频子图像噪声分布特征, 分别设计出新的结构元素进行形态学滤波, 随后定义一种新型阈值判别函数对高频和低频子图像分别设定不同调节参数, 以进一步滤除残余噪声。最后进行小波系数重构。仿真结果表明, 该算法去噪效果明显优于其他几种算法, 从而表明该算法是一种较为有效的图像混合噪声滤除方法。

关键词: 图像处理; 图像去噪; 中值滤波; 形态学滤波; 小波阈值去噪

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)06-0091-05

Adaptive Filtering Algorithm for Mixed Noise Image Based on Wavelet Transform

WANG Xiao-bing¹, SUN Jiu-yun¹, TANG Hai-yan²

(1 School of Environment Science & Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
2 School of Information & Technical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: A wavelet-based adaptive filtering algorithm for mixed noise is proposed. Firstly, median filter is used in image preprocessing to remove impulse noise. Secondly, the image is conducted two-dimensional wavelet decomposition, obtaining high-frequency and low-frequency sub image. Thirdly, according to the noise distribution of high-frequency sub image, designing new morphological filtering structure elements respectively, then a new threshold discriminant function is defined, adjust parameters is set up separately for high-frequency and low-frequency sub image, so as to filter out residual noise. Finally, wavelet coefficients were reconstructed. The simulation results show that the algorithm is obviously superior to other filtering methods.

Key words: image processing; image denoising; median filtering; morphological filtering; wavelet threshold denoising

1 引言

图像在获取、存储、记录、传输过程中不可避免受到噪声的影响, 这使得图像对比度降低, 严重影响了图像的应用。对于大多数图像而言, 噪声主要来源于高斯噪声和脉冲噪声, 在很多情况下, 这两种噪声是同时出现的。高斯噪声来源于电子电路噪声和低照明或高温带来的传感器噪声, 具有密度大、噪声强度的波动范围宽等特点^[1]。脉冲噪声是由图像的传

感器、传输信道、解码器等产生, 表现在图像上是黑点和白点。

中值滤波和均值滤波是两种经典的滤波算法, 中值滤波对脉冲噪声具有较好的滤除效果, 但是对高斯噪声则不太理想; 均值滤除能较好地滤除高斯噪声而对脉冲噪声则无能为力。当图像同时受到高斯和脉冲噪声污染时, 单一的滤波方法滤波效果是不理想的。近年来针对这高斯噪声和椒盐噪声的滤除, 研究者们提出了一系列滤波算法, 文献[2]提出

收稿日期: 2011-10-15; 修回日期: 2011-11-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171343)

一种模糊加权的混合噪声滤波算法,文献[3]将几种滤波技术相结合,对混合噪声有较好的滤波效果,朱锡芳^[4],张化民^[5]等将小波变换思想运用于图像高斯噪声的滤除,取得较好的滤波效果.综合各种滤波算法,大都是基于单一噪声进行滤波如高斯噪声和椒盐噪声,而图像在实际应用中高斯噪声和椒盐噪声往往是同时存在的,因此采用上述滤波算法进行噪声滤除,其效果势必大打折扣.针对图像同时受到高斯噪声和脉冲噪声污染的情形,本文提出一种基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法.

2 小波阈值去噪

2.1 小波阈值去噪基本思想

小波去噪主要有小波模极大值法、小波域去相关性等方法以及小波阈值法.其中小波阈值法由于具有原理简单,计算速度快等优点,成为使用较为普遍的非线性处理方法.该方法的理论依据是:小波变换具有很强的去相关性,使得图像信号集中在幅值较大的小波系数中,而噪声信号则对应幅值小数量较大的小波系数.由于信号小波系数幅值要大于噪声,可以通过设定阈值的方法将噪声滤除.

2.2 小波阈值法去噪流程

假设图像受到加性噪声污染的函数模型为

$$Y_{i,j} = X_{i,j} + N_{i,j} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (1)$$

式中, $X_{i,j}$ 为图像细节信号, $N_{i,j}$ 为噪声信号. 去除噪声实质上就是要使得 $X_{i,j}$ 与其估计信号 $\hat{X}_{i,j}$ 在均方根意义下达到最小. 受到噪声污染的图像信号 $Y_{i,j}$ 进行二维小波变换, 分别得到信号小波变换系数 w_x 和噪声小波变换系数 w_n . 图像信号经过小波变换后, 实际信号对应着幅值较大的分解系数, 噪声则对应着幅值较小的分解系数. 通过设定阈值 t , 保留大于阈值的小波系数, 小于阈值的小波系数弱化处理. 对经过阈值化处理的分解系数进行重构则达到滤除噪声的目的. 因此, 能够成功滤除噪声关键在于阈值函数的设定是否合理, 经典的阈值函数模型主要有两种^[6-7]:

(1) 硬阈值函数模型

该模型是通过设定阈值 t , 如果图像经过小波分解后的小波系数绝对值 ($|w(x)|$) 大于或等于该阈值, 则保留该小波系数不变; 反之则将该小波系数设为 0, 如图 1 所示.

(2) 软阈值函数模型

该模型是通过设定阈值 t , 将小波分解系数与该阈值进行比较, 如果小波系数的绝对值 ($|w(x)|$)

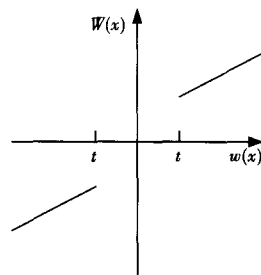


图 1 硬阈值函数

大于或等于该阈值, 则取该系数与阈值 t 之差作为输出结果; 反之则将小波系数幅值置为 0, 如图 2 所示).

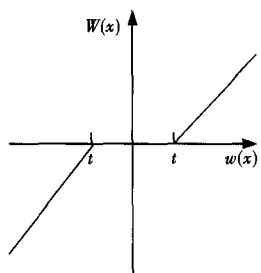


图 2 软阈值函数

硬阈值函数对大于阈值的小波分解系数直接保留, 而对小于阈值的小波分解系数直接置 0, 并且该函数存在间断点在小波域内是不连续的, 这使得重构信号存在较大的均方差, 图像出现振铃, 伪布吉斯等失真现象; 软阈值函数在小波域内是连续的, 但是其小波分解系数与估计系数之间存在一个恒定的偏差 t , 使得重构图像出现边缘模糊^[8-9].

2.3 一种新阈值函数

本文提出一种新阈值函数模型如图 3 所示, 函数表示如下:

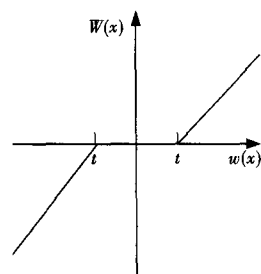


图 3 本文函数

$$W(x) = \begin{cases} w(x) \cdot a & |w(x)| \geq t \\ w(x) \cdot b & |w(x)| < t \end{cases} \quad (2)$$

式中, $w(x)$ 为原始小波分解系数, $W(x)$ 为阈值化小波分解系数, 阈值为 $t = \sigma \sqrt{2 \log n}$ (σ 是噪声标准

方差, n 为信号长度), 调节参数 a, b 满足: $a > b, a, b \in (0, 1)$. 该函数模型虽然思路简单, 但相对于硬阈值和软阈值函数而言具有如下优势: (1) 该函数在小波域内是连续的, 避免了硬阈值函数由于存在间断点而导致的图像严重失真; (2) 通过对大于或等于设定阈值的小波分解系数分别进行不同程度的收缩处理, 克服了硬阈值函数要么直接保留, 要么置 0 的绝对化而带来的图像失真缺陷, 也避免了软阈值函数由于估计小波系数与原始小波系数存在的恒定偏差而导致的图像边缘模糊. (3) 对小波分解系数是按照不同比例进行收缩 ($a > b$) 处理, 而且阈值的设定是按照图像噪声方差自适应确定, 这样能够较大程度保留图像细节信息, 抑制噪声信号.

3 形态学滤波

3.1 形态学基本运算

数学形态学是以形态为基础对图像进行分析的数学工具, 其基本思想是使用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中对应的形状从而达到图像分析和识别的目的^[10]. 设灰度图像 $F(x, y)$ 为待处理图像, $B(x, y)$ 为结构元素, 灰度形态学有四种基本运算:

(1) 膨胀: 使用结构元素 $B(x, y)$ 对灰度图像 $F(x, y)$ 进行膨胀运算, 可表示为:

$$(F \oplus B)(m, n) = \max\{F(m-x, n-y) + B(x, y)\} \quad (3)$$

式中, $(m-x), (n-y) \in D_F, (x, y) \in D_B, D_F$ 和 D_B 分别是 F 和 B 的定义域.

(2) 腐蚀: 灰度图像 $F(x, y)$ 被结构元素 $B(x, y)$ 腐蚀运算, 可表示为

$$(F \ominus B)(m, n) = \min\{F(m+x, n+y) + B(x, y)\} \quad (4)$$

式中, $(m+x), (n+y) \in D_F, (x, y) \in D_B, D_F$ 和 D_B 分别是 F 和 B 的定义域.

(3) 开运算: 对灰度图像 $F(x, y)$ 使用结构元素 $B(x, y)$ 先腐蚀运算后膨胀运算称为开启运算:

$$F \circ B = (F \ominus B) \oplus B \quad (5)$$

(4) 闭运算: 使用结构元素 $B(x, y)$ 对灰度图像 $F(x, y)$ 先膨胀运算后腐蚀运算称之为闭运算:

$$F \cdot B = (F \oplus B) \ominus B \quad (6)$$

3.2 形态学滤波器的设计

开运算对图像具有平滑作用, 可以用来削弱狭窄的部分, 去除图像孤立斑点和毛刺, 利用它可以消除小于结构元素的成分; 闭运算一般用来填充目标

内细小空洞和裂缝, 连接邻近物体和平滑物体边界^[11]. 由于开闭运算的各自特性, 对于不同类型的图像进行一定方式的组合, 可以有效地达到去噪声的目的. 为了有效地滤除高斯噪声和椒盐噪声, 本文形态学滤波器设计如图 4 所示.

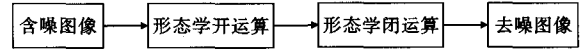


图4 形态学滤波器

4 本文算法

4.1 本文算法具体实现步骤

(1) 使用 3×3 滤波模板的中值滤波对含有高斯噪声和椒盐噪声的图像进行滤波, 以滤除大部分椒盐噪声, 排除椒盐噪声的干扰;

(2) 将经过中值滤波预处理得到的图像进行二维单尺度小波分解, 得到高频分解系数(水平细节分量 cH , 垂直细节分量 cV , 对角细节分量 cD)和低频分解系数(水平近似分量 cA);

(3) 对高频分解系数首先经过形态学滤波器进行滤波:

① 滤波器的构建采用图 4 所定义的计算结构;

② 根据高频子图像噪声分布特点, 分别设计结构元素: 对于水平细节分量和垂直细节分量, 由于噪声分布近似呈水平和垂直分布, 故定义长度为 3 的平面线型结构元素, 如图 5(a), (b) 所示; 由于对角子图像噪声分布并非严格呈 45° 或 135° 分布, 经过反复试验比较, 设计出一种新型结构元素, 图 5(c), (d) 所示;

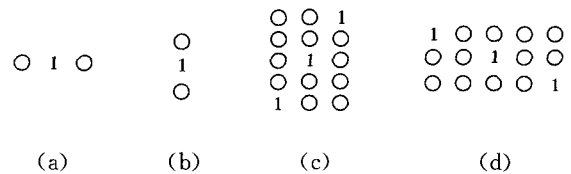


图5 形态学滤波器结构元素

(4) 将步骤(2)和(3)得到的低频子图像和各高频子图像通过前文定义的小波阈值函数分别进行阈值处理, 根据各子图像噪声分布特征, 经过反复试验, 分别设定各自阈值函数调节参数: 水平近似分量 ($t=10, a=0.77, b=0.70$) 水平细节分量 ($t=13, a=0.70, b=0.42$), 垂直细节分量 ($t=15, a=0.85, b=0.7$), 对角细节分量 ($t=10, a=0.80, b=0.65$);

(5) 对经过步骤(4)处理后得到的小波分解系数进行系数重构, 得到去噪图像.

4.2 仿真与分析

为了验证本文算法的去噪效果,选取一幅灰度级为 256,大小为 512×512“cameraman”图像,在 MATLAB7.0 环境下进行仿真试验.为了定量分析图像去噪效果,引进峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio,PSNR)作为评价图像去噪质量的标准,PSNR 值越高则说明去噪效果越好.对一副像素为 M×N 的图像,PSNR 定义如下:

$$PSNR = 10\lg \left\{ M \times N \cdot \max \left[\frac{f^2(m,n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (f(m,n) - S(m,n))^2} \right] \right\} \tag{7}$$

式中, $f(m,n)$ 和 $S(m,n)$ 分布为原始图像在 (m,n) 位置上的灰度值和去噪后灰度值.几种去噪算法的 PSNR 值如表 1 所示.

对图 6 和表 1 数据分析可知:

(1)当噪声方差和密度处于低水平时(0.01, 3%),中值滤波与形态学滤波去噪效果优于均值滤波和小波阈值去噪,本文算法去噪效果又优于中值

滤波与形态学滤波.

(2)随着噪声方差和密度的增大,无论是中值滤波、均值滤波、形态学滤波、小波阈值去噪还是本文算法,去噪效果均不同程度地有所下降,但从整体上分析,本文算法的 PSNR 值仍处于较高水平,这表明该算法去噪效果优于其他几种方法;

(3)当噪声方差和密度处于高水平时(0.05, 15%),均值滤波和小波阈值去噪基本丧失去噪功能,具体表现为,均值滤波与小波阈值去噪与噪声的 PSNR 值大体相近,而本文算法仍高于噪声 PSNR 值 8db 左右.

表 1 几种去噪算法 PSNR 值					db
混合噪声 (方差 σ^2 密度 P%)	(0.01,3)	(0.02,6)	(0.03,9)	(0.04,12)	(0.05,15)
混合噪声	14.451	13.435	12.522	11.718	11.140
中值滤波	19.340	18.587	17.766	17.011	15.910
均值滤波	17.282	15.753	14.156	13.111	12.333
形态学滤波	19.467	19.386	19.360	19.122	18.682
小波阈值去噪	16.918	15.300	14.206	13.310	12.622
本文算法	21.073	20.771	20.425	19.911	19.119

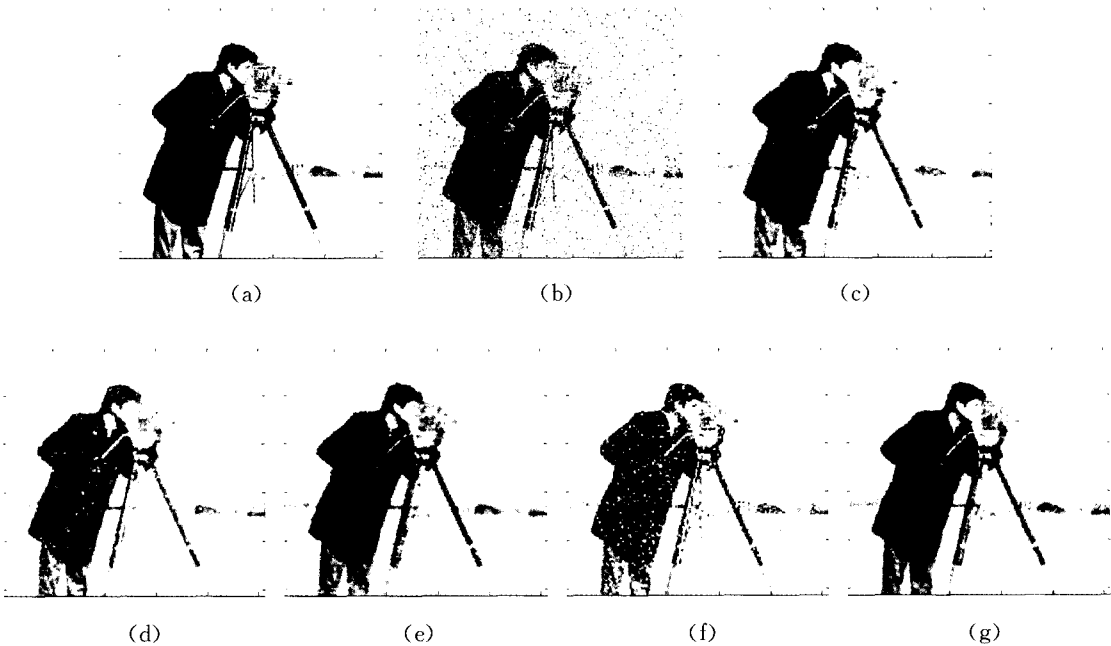


图 6 几种去噪算法比较

5 结束语

本文提出了一种基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法,能有效地滤除高斯噪声和椒盐

噪声.该算法首先通过中值滤波进行预处理以滤除椒盐噪声,然后将图像进行二维小波变换,对高频子图像分别设计新的形态学结构元素进行滤波,通过设计一种新的小波阈值判别函数以滤除高频子图像

以及低频子图像残余噪声,最后对小波系数进行重构.试验结果表明了这一算法的实用性.

参考文献:

- [1] 武英,吴海勇.一种自适应图像去噪混合滤波方法[J].计算机工程与应用,2010,46(7):168-170.
- [2] 陈大力,薛定宇,高道祥.图像混合噪声的模糊加权均值滤波算法仿真[J].系统仿真学报,2007,19(3):527-530.
- [3] 张立保,熬鹏亮.基于小波变换的图像混合噪声自适应滤除算法[J].强激光与粒子束,2010,22(11):2540-2544.
- [4] 朱锡芳.一种基于连续小波阈值的图像去噪新算法[J].微电子学与计算机,2007,24(11):181-182.
- [5] 张化民,周义明,张莉,等.基于双变量收缩函数的对偶树复小波图像去噪[J].微电子学与计算机,2008,25(12):141-143.
- [6] Donoho D L, Jonstone I M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81(3): 425-455.
- [7] Donoho D L. Denoising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(3): 613-627.
- [8] 许丽群.小波阈值去噪改进算法研究[J].电子测量技术,2010,33(8):43-45.
- [9] 吴芳平,狄红卫.基于 Curvelet 变换的软硬阈值折衷图像去噪[J].光学技术,2007,33(5):667-669.
- [10] 刘刚. MATLAB 数字图像处理[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [11] 刘金梅,杨力,罗迟星.基于数学形态学和小波融合的红外图像去噪[J].弹箭与制导学报,2010,30(5):73-75.

作者简介:

王小兵 男,(1988—),硕士研究生.研究方向为数字图像处理.

孙久运 男,(1974—),博士,副教授.研究方向为近景摄影测量、GIS 开发与应用、图像处理.

汤海燕 女,(1988—),硕士研究生.研究方向为数字图像处理.

(上接第 90 页)

- [6] 陈岩,吴静珠,杜晓明,等.基于 S3C2410 的无线抄表手持终端设计[J].微电子学与计算机,2008(11):229-232.
- [7] 仲元昌,李飞,李彩玲.全数字可视对讲终端的设计与实现[J].微电子学与计算机,2010,27(10):132-135.

作者简介:

刘秋菊 女,(1970—),硕士,副教授.研究方向为计算机网络及应用.

王树森 男,(1973—),硕士,讲师.

段其昌 男,(1953—),教授.研究方向为可再生能源应用与控制技术.