

基于小波自适应阈值图像去噪方法的研究

于笃发,邵建华,张晶如

(南京师范大学 物理科学与技术学院,江苏 南京 210023)

摘要:利用小波变换对图像去噪是一种非常有效的方法。传统的小波去噪算法对图像去噪后的平滑效果不是很好,图像细节清晰度不够高,甚至会产生伪吉布斯现象。针对这些现象,文中提出了一种改进的基于小波变换的多尺度自适应阈值图像去噪方法。该方法根据图像小波分解的特性,确定适合小波分解后不同层系数去噪的较优阈值,然后结合恰当的阈值函数对各层高频系数进行处理来达到去噪效果。实验结果表明,与传统方法相比,该方法运算量较小,能有效去除高斯白噪声,进一步提高峰值信噪比,同时能够很好地保留图像细节信息。

关键词:图像去噪;小波变换;多尺度;自适应阈值;峰值信噪比

中图分类号:TP751.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)08-0250-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.064

Research on Image Denoising Based on Wavelet Adaptive Threshold

YU Du-fa, SHAO Jian-hua, ZHANG Jing-ru

(College of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Using wavelet transform to filter noises on image is a very effective method. The smoothing effect is not very good of traditional wavelet image denoising algorithm, and the image detail precision isn't high enough, even false Gibbs phenomenon can be produced. Aiming at the phenomenon, an improved multi-scale adaptive threshold method of image denoising based on wavelet transformation has been proposed. According to the characteristics of the image wavelet decomposition, this method can determine the better threshold of different layers' coefficient for denoising after wavelet decomposition, then process the high frequency coefficient of each layer with appropriate threshold function to achieve denoising effect. The experimental results show that, compared with traditional methods, this method can effectively remove Gaussian white noise and further improve the peak signal-to-noise ratio, while well preserving image details.

Key words: image denoising; wavelet transform; multi-scale; adaptive threshold value; peak signal to noise ratio

0 引言

图像在形成、传输和处理过程中,都会因为受到噪声的干扰,使图像的质量下降,为去除或抑制图像中的噪声而提高图像的质量的处理方式称为图像去噪。小波分析由于在时域和频域同时具有良好的局部化性质及多分辨率分析的特点^[1],能有效地区分有用信号和噪声,因此小波去噪已经成为图像去噪非常有效的方法。目前,利用小波去噪的方式主要有三种^[2]:一是利用小波的奇异检测特性将信号与噪声分开;二是利用小波系数阈值收缩法对图像进行降噪;三是利用小波域贝叶斯准则系数收缩法降噪^[3]。其中,小波系数阈值收缩法是目前应用于图像去噪中最广泛最简单有效的方法。对小波系数进行阈值处理的基本思想来源于

Donoho 理论^[2],Donoho 首次给出了基于正交小波变换的通用阈值降噪公式,使得复杂的降噪问题可以通过简单的系数处理得以解决。但是由于 Donoho 阈值的确定不具有尺度空间的自适应性且过扼杀小波系数,使图像细节丢失,降噪效果不理想。因此许多学者先后提出了不同尺度的小波系数运用与之相适应的阈值来进行降噪,典型的有 VisuShrink 阈值^[4],Donoho 改进的子带自适应 SureShrink 阈值^[5]和 Lakhwinder Kaur^[6]等人提出的 NormalShrink 阈值。这些去噪算法虽然能够获得不同程度较好的去噪效果,但细节过多的被消除,使得图像质量严重下降,甚至产生伪吉布斯现象。

另外,也有研究者常采用先将待去噪图像进行分

收稿日期:2012-10-29

修回日期:2013-01-30

网络出版时间:2013-04-22

基金项目:江苏省科技计划资助项目(BK2010546)

作者简介:于笃发(1987-),男,湖南祁东人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理、认知无线电通信;邵建华,高级工程师,副教授,研究方向为认知无线电技术、数字图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1726.044.html>

割处理^[7]或者先构造提升小波^[8],然后再对图像进行去噪,这些方法虽然具有较好的去噪效果,但是计算较为复杂。

文中针对上述问题,首先阐述了小波变换去除信号噪声的基本原理,以及几种常用的阈值函数和获取阈值的方法,然后对文献[1]中提出的确定阈值的算法做了进一步改进,并结合文献[9]中提出的一种软阈值函数,采用了一种基于小波变换的多尺度自适应阈值对图像进行去噪。最后,给出了实验结果和观点。

1 小波去噪原理

1.1 小波去噪的基本原理

根据含噪图像经小波分解以后的特点可知,图像中的有用成分大部分包含在低频系数中,而噪声和图像细节部分基本上集中在高频系数中。那么通过一种运算消除或收缩高频系数中的部分系数值,再利用处理过的高频系数和图像分解后的低频系数进行图像重构,即可达到去噪的目的。

1.2 小波阈值去噪方法

假设一幅 $M \times N$ 含噪图像 $z(i, j)$ 记为:

$$z(i, j) = y(i, j) + n(i, j) \quad (1)$$

其中, $0 \leq i \leq M-1, 0 \leq j \leq N-1, i, j \in Z$ 表示图像像素的位置; $y(i, j)$ 是无噪声图像; $n(i, j)$ 为服从 $N(0, \sigma^2)$ 的高斯白噪声。对(1)式两边同时进行离散小波变换(DWT)得:

$$W_z = W_y + W_n \quad (2)$$

式中, W_z 为含噪图像经小波变换后的小波系数; W_y 是原图像经变换后的小波系数; W_n 为高斯白噪声经小波变换后的小波系数。由于小波变换是一种线性变换,那么有:

$$W_y = W_z - W_n \quad (3)$$

据(3)式可知,只要得到原始图像的小波系数 W_y ,再经过小波逆变换就可以得到原始图像。基于小波阈值去噪(获得 W_y)的主要步骤^[2]有:

1) 对含噪图像进行小波分解。选择合适的小波和分解级数 N ,计算含噪图像小波分解后在各级上的小波系数。

2) 设定各层细节的阈值。对第1层到第 N 层的每一层选择阈值,对各细节的小波系数用阈值进行处理。

3) 图像重构。根据小波分解的第 N 层的低频带系数和经过修改的从第1层到第 N 层的各层高频系数,来计算重构图像。

基于小波阈值去噪方法的两个关键问题在于:一是如何选择较为合适的阈值;二是选用什么样的阈值函数来处理小波系数。

2 阈值的选择

阈值的选择是小波去噪和收缩最关键的一步,在去噪过程中阈值起着决定性的作用。如果选取的阈值太大,伪吉布斯现象明显,降噪后的图像变得模糊不清;阈值太小,噪声除去的力度不够,达不到去噪目的。下面介绍几种常用的阈值选择方案。

1) 固定阈值:Donoho^[2]在1994年提出的 VisuShrink 小波阈值去噪方法中证明过的通用阈值

$$T = \sigma \sqrt{2 \ln N} \quad (4)$$

式中: N 为小波系数的长度, σ 为噪声的标准差, T 为估计的阈值。在现实情况中,噪声方差是未知的,必须从含噪信号中估计出噪声的标准差,Donoho 建议

$$\sigma = \text{Media}(|Y_{ij}|) / 0.6745 \quad Y_{ij} \in \text{subbandHH}_1 \quad (5)$$

2) Stein 无偏似然估计阈值:对于给定一个阈值 t ,得到它的似然估计,再将非似然的 t 最小化,就得到了所选的阈值。

3) 启发式阈值:它是前两种阈值的综合,是最优预测变量阈值选择。如果信噪比很小时,无偏似然估计的误差较大,此时,采用固定阈值,反之,选择无偏似然估计。

4) 极大极小阈值:它的原理是令估计的最大风险最小化,其阈值选取的算法是:

$$T = \begin{cases} 0, N \leq 32 \\ 0.3936 + 0.1829 \left(\frac{\ln N}{\ln 2} \right), N > 32 \end{cases} \quad (6)$$

5) NormalShrink 自适应阈值^[6]:NormalShrink 在 Chang 于 2000 年提出的 BayesShrink 阈值估计方法的基础上,添加一个尺度参数 β ,使得去噪效果较之有更大的提升。其阈值计算式如下:

$$T_N = \frac{\beta \sigma^2}{\sigma_y} \quad (7)$$

式中 T_N 为各层所要确定的阈值, σ^2 是从子带 HH_1 估计出的噪声方差(具体算法见式(5)), σ_y 为子带标准偏差。每一层的尺度参数:

$$\beta = \sqrt{\log\left(\frac{L_k}{J}\right)} \quad (8)$$

式中 L_k 是 k 级子带长度, J 为分解总层数。

3 阈值函数的选择

在阈值去噪中,阈值函数体现了对超过和低于阈值的小波系数模的不同处理策略以及不同的估计方法。设 w 是原始小波系数, $\eta(w)$ 表示阈值化处理后的的小波系数, T 为阈值。常用的阈值函数有:

1) 硬阈值函数。

当小波系数的绝对值大于等于给定阈值时,保持不变,而小于时,令其为 0。即:

$$\eta(w) = \begin{cases} w, & |w| \geq T \\ 0, & |w| < T \end{cases} \quad (9)$$

硬阈值在阈值点不连续,重构可能产生一些震荡。

2) 软阈值函数。

当小波系数的绝对值大于等于给定的阈值时,令其值为减去阈值;而小于时,令其为 0。即:

$$\eta(w) = \begin{cases} \text{sgn}(w)(|w| - T), & |w| \geq T \\ 0, & |w| < T \end{cases} \quad (10)$$

软阈值连续,但估计的小波系数和分解的小波系数有恒定的偏差,直接影响重构信号对真实信号的逼近程度。

3) 一种改进的软阈值函数。

缙新科等人在文献[9]中提出了一种改进的软阈值函数,其表达式为:

$$\eta(w) = \begin{cases} \text{sgn}(w)p\sqrt{|w|^p - (\frac{T}{|w|})^p}T^p, & |w| > T \\ 0, & |w| \leq T \end{cases} \quad (11)$$

其中,参数 p 可以根据小波系数自适应调节, $p = 2^c$,通常取 $c = 10r$,这里 r 是比阈值 T 大两倍以上的小波系数百分比。该种改进的软阈值函数,可以通过小波系数自动调节阈值处理参数,能同时有效克服硬阈值函数和软阈值函数的缺陷。

4 去噪算法与去噪效果评价标准

4.1 文中图像去噪算法实现步骤

- 1) 选择合适的小波对含噪图像进行 J 层分解。
- 2) 从分解后的高频子带中估计出噪声方差 $\hat{\sigma}^2$ 。
- 3) 计算每一级计算尺度参数 β ,为进一步提高阈值选择的自适应性,将文献[1]中的尺度参数加以改进:

$$\beta = \sqrt{\frac{L_k}{L} \log(\frac{L_k}{J})} \quad (12)$$

式中 $k = 1, 2, \dots, J$, L_k 为 k 级子带长度, L 为原含噪图像长度, J 是分解的总层数。随着 k 的改变,每一级的尺度参数都会自适应改变。

- 4) 计算第 1 到第 J 层的高频系数的标准方差 $\hat{\sigma}_y$ 。
- 5) 计算阈值 T_k :

$$T_k = \frac{\hat{\beta}\hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}_y} \quad (13)$$

- 6) 利用阈值 T_k 和式(11)对第 1 层到第 J 层高频

系数处理。

7) 用阈值化后的小波系数对图像进行重构,得到去噪后的图像信号。

4.2 去噪效果评价标准

1) 主观评价。

用肉眼直接对去噪图像进行观察,观察其去噪平滑效果和细节可分辨程度,并与原图和其他方法去噪后的图像进行比较。

2) 客观评价。

对于去噪处理后的图像,一般采用峰值信噪比 (PSNR) 来评价去噪效果

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left(\frac{(\max |f(i,j)|)^2}{\text{MSE}} \right) = 20 \lg \left(\frac{\max |f(i,j)|}{\sqrt{\text{MSE}}} \right) \quad (14)$$

其中 $f(i,j)$ 表示原始图像系数, $\max |f(i,j)|$ 表示原图像的最大像素值, MSE 为均方误差:

$$\text{MSE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f(i,j) - \hat{f}(i,j))^2 \quad (15)$$

式中, M 、 N 为图像的行列数, $\hat{f}(i,j)$ 表示去噪后图像系数。去噪后均方误差 (MSE) 越小,峰值信噪比 (PSNR) 越大,说明降噪效果和质量较好。

5 实验结果与分析

为了验证文中去噪算法的有效性,参照文献[10, 11]在 MATLAB 环境下进行了实验验证。选取大小为 256×256 的灰色图像 lena (如图 1 所示) 作为实验对象,加入标准差 $\sigma = 20$ 的高斯白噪声,选用 bior3.7 小波对含噪图像进行 3 层小波分解,在一般的软阈值函数和文献[9]中改进的软阈值函数两种不同阈值化处理条件下,分别利用 Donoho 硬阈值, NormalShrink 自适应阈值以及文中改进的自适应阈值进行去噪。其结果如图 2 和图 3 所示。



图 1 lena 原图

主观上从图 2 和图 3 可以看出,文中自适应阈值消噪效果比传统的 Donoho 硬阈值和 NormalShrink 自适应阈值的去噪效果更好,这主要体现在消除噪声的程度上和细节保留情况上。而且在结合文献[7]阈值算法下,文中自适应阈值去噪效果有进一步改善。



图 2 用一般的软阈值函数去噪效果图($\sigma = 20$)



图 3 结合文献[9]改进的阈值函数
去噪效果图($\sigma = 20$)

客观上可以从表 1 中看到,文中方法去噪能获得更高的峰值信噪比。

表 1 不同去噪方法结果的峰值信噪比

PSNR (dB)	一般的软阈值函数 ($\sigma = 20$)	文献[9]改进的软 阈值函数($\sigma = 20$)
含噪图像	20. 2722	20. 2722
Donoho 硬阈值	24. 5267	25. 1028
NormalShrink 自 适应阈值	29. 1310	30. 2315
文中自适应阈值	29. 8628	31. 0154

6 结束语

实验结果表明,与传统的一些常见方法相比,文中算法更能有效去除高斯白噪声,保留图像细节,具有较强的自适应性。但是值得提的是,该方法对只含高斯白噪声等同类型的图像有较好的去噪效果,而对同时还含有脉冲噪声等其他类型的强噪声的图像效果不是很好,这种情况下还需要结合其他方法进行去噪^[12]。

参考文献:

[1] 马 莉,郑世宝,刘成国. 一种基于小波变换的图像去噪算法[J]. 现代电子技术,2008,31(18):160-162.

[2] 李旭超. 小波域马尔可夫随机场在图像处理中的应用[M]. 北京:电子工业出版社,2011.

[3] Malfait M, Roose D. Wavelet-based image denosing using a Markov random filed a priori model[J]. IEEE Transaction on Image Processing,1997,6(4):549-565.

[4] Donoho D L,Johnstone I M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage[J]. Biometrika,1994,81(3):425-455.

[5] Donoho D L,Johnstone I M. Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage[J]. Journal of America Statistical Association,1995,90(432):1200-1224.

[6] Lakhwinder K,Saveta G,Chauhan R C. Image denoising using wavelet thresholding [J]. IEEE Image Processing, 2000, 9: 1522-1530.

[7] 王树梅,张 晨. 一种基于多阈值的灰度图像去噪算法[J]. 计算机技术与发展,2011,21(11):73-76.

[8] 李 晨,王军锋. 一种新的提升小波自适应阈值图像去噪算法[J]. 计算机技术与发展,2012,22(7):78-80.

[9] 侯新科,郭天圣,王明杰,等. 基于小波综合阈值函数的图像去噪[J]. 甘肃科学学报,2010,22(1):114-117.

[10] 倪 林. 小波变换与图像处理[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2010.

[11] 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用[M]. 北京:科学出版社,2002:152-165.

[12] 万小红. 一种基于中值滤波和小波变换的图像去噪算法研究[J]. 北华大学学报,2012,13(3):352-355.

(上接第 249 页)

San Francisco, California, United States; JasPerSoft Corporation,2006.

[6] Doron J C,Gotlieb C C. A List Structure Form of Grammars for Syntactic Analysis[J]. Computing Surveys,2005,2(1):65-82.

[7] Fischer C N. Crafting A Compiler[M]. [s. l.]; Addison Wesley,2007.

[8] Jacob L E,Dekhtyar A. A framework of processing complex document-centric XML withoverlapping structures[M]. [s. l.]; ACM Press,2005.

[9] Nwana H S. Software Agents; An Overview[J]. Knowledge Engineering Review,2006,11(3):205-244.

基于小波自适应阈值图像去噪方法的研究

作者：[于笃发](#)，[邵建华](#)，[张晶如](#)，[YU Du-fa](#)，[SHAO Jian-hua](#)，[ZHANG Jing-ru](#)

作者单位：[南京师范大学 物理科学与技术学院](#)，[江苏 南京](#)，[210023](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

Computer Technology and Development

ISTIC

年，卷(期)：

2013(8)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201308064.aspx