

基于自适应阈值的图像去噪新算法

李 莲, 熊倩飞

(天津市复杂系统控制理论及应用重点实验室, 天津理工大学, 天津 300384)

摘 要: 提出了一种具有自适应阈值的图像去噪算法. 首先, 阈值函数具有连续性, 高阶可导性, 充分体现了小波分解后系数的能量分布, 且函数表达式简单易于计算, 适合各种数学处理. 其次, 阈值的选取考虑了解析过程中小波系数的相关性和过程性等因素, 减小了对噪声的误判率, 具有更强的实用性. 仿真实验结果表明, 新算法不仅比传统算法运算量小, 而且取得了更高的峰值信噪比 (PSNR) 和更小的均方误差 (MSE), 更加有效地去除了图像的噪声.

关键词: 小波变换; 图像去噪; 阈值函数; 自适应阈值; 峰值信噪比; 均方误差

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)04-0083-04

New Image Denoising Method Based on Adaptive Threshold

LI Lian, XIONG Qian-fei

(Tianjin Key Laboratory for Control Theory and Applications in Complicated System,
Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: A new denoising algorithm based on adaptive threshold is proposed. First, the threshold function is continuous and has infinite rank continuous derivative, fully reflects the energy distribution of wavelet coefficients. What's more, the function expression is simple and easy to calculate, so it is suitable for various mathematical processing. Secondly, the correlation and procedural of wavelet coefficients in decomposition process is considered to the threshold's selection, which will reduce the false positive probability of noises and will be more practical. Simulation results show that the new algorithm not only has smaller computational cost than traditional algorithms, and achieves a higher PSNR and smaller MSE. It can remove the noise more effectively.

Key words: wavelet transform; image denoising; threshold function; adaptive threshold; PSNR; MSE

1 引言

图像在形成、传输和处理的过程中不可避免地会产生各种各样的噪声, 这将导致图像呈现出随机分布的黑白相间的噪声点, 极大地降低了图像质量, 因此减少或消除图像中的噪声是一项重要的研究内容^[1].

小波变换是现在使用较广的去噪方法, 小波变换的多分辨率性、低熵性、去相关性以及选基灵活性等特点, 使其在应用于图像去噪时, 取得了传统方法无法达到的去噪效果^[2-3]. 无失真地还原出真实信号. 但当图像中含有较多的细节丰富的区域以及平坦区域时, 若直接应用此方法进行处理, 会使最终效果不理想. 本文针对经典的硬、软阈值去噪算法和阈

值选取方式的缺陷, 提出了一种新的阈值函数和新的自适应阈值, 新的函数在小波域内具有连续性, 高阶可导性, 减小了偏差. 另外, 新的阈值选取方式考虑了小波系数的分解过程性和系数的相关性, 使其可以更合理地根据尺度的变换自适应调整阈值的大小, 使小波阈值图像去噪更加完善.

2 小波阈值去噪原理

受到高斯白噪声“污染”的图像信号可以表示为

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

其中 $f^*(x, y)$ 为含噪图像, $f(x, y)$ 为理想的无噪声图像, $n(x, y)$ 为独立同分布的高斯白噪声, $n(x, y) \sim N(0, 1)$.

小波阈值去噪算法的基本思想是根据信号和噪声的小波系数在不同尺度上具有不同性质的原理,去除由噪声引起的小波系数,保留由信号产生的小波系数,然后对处理后的系数进行小波反变换重构出去噪后的结果图像.在实际工程应用中,有用信号通常分布在低频子带,噪声信号通常分布在高频子带.

基本步骤如下:

(1)对原含噪图像 $f^*(x, y)$ 进行小波变换 $W_{f^*} = Wf^*$, 得到一组小波分解系数 $\omega(x, y)$.

(2)针对每一层的小波系数选用合适的阈值及阈值处理方法进行处理得到处理后的小波系数 $\omega^*(x, y)$.

(3)将阈值化处理后的小波系数进行小波反变换,重构出去噪后的图像^[4].

3 阈值函数及阈值选取方法

3.1 阈值函数的选取

传统的阈值函数处理方法有硬阈值和软阈值,其表达式如式(2)、(3)所示.

硬阈值:

$$\omega^*(x, y) = \begin{cases} \omega(x, y), & |\omega(x, y)| \geq \lambda \\ 0, & |\omega(x, y)| < \lambda \end{cases} \quad (2)$$

软阈值:

$$\omega^*(x, y) = \begin{cases} \text{sgn}(\omega(x, y))(|\omega(x, y)| - \lambda), & |\omega(x, y)| \geq \lambda \\ 0, & |\omega(x, y)| < \lambda \end{cases} \quad (3)$$

其中: $\omega(x, y)$ 是小波系数; λ 为小波阈值; $\text{sgn}()$ 是符号函数.

硬、软阈值函数自身存在缺点,如硬阈值函数在阈值处存在断点,会导致噪声去除不彻底,所以会产生振铃效应等类似的视觉失真.软阈值函数虽然连续性好,但其与真实值之间存在恒定偏差,这给重构图像带来了不可避免的误差^[5].本文对阈值函数进行改进,提出一种新的阈值函数,它的特点是在阈值点处连续,且通过控制系数的调整可逐渐逼近硬阈值函数,这既克服了硬阈值不连续的缺点,也解决了软阈值在处理过程中小波系数与原系数之间存在偏差的问题.新的阈值函数如下:

$$\omega^*(x, y) = \begin{cases} \text{sgn}(\omega(x, y)) [a \log_{10}(|\omega(x, y)| - \lambda + 1)], & |\omega(x, y)| \geq \lambda \\ 0, & |\omega(x, y)| < \lambda \end{cases} \quad (4)$$

式中, λ 为阈值. 参数 a 为控制系数,决定着阈

值处理过程与结果, $a > 0$. 此函数中引进 $\log_{10}()$ 函数,使阈值函数更加平滑,更大程度地减小了偏差.且在阈值范围内高阶可导,完好地体现了小波分解后系数的能量分布.

通过调节参数 a 可以调节阈值函数对小波系数的压缩程度,使函数处于硬阈值与软阈值之间, a 的大小决定了函数逼近硬阈值的程度,影响着阈值函数的形状,其最佳取值与阈值 λ 的大小有关,会随着 λ 的增大而增大.为了更直观地显示控制系数的变化对阈值函数的影响,下面给出当阈值 $\lambda = 5$ 时, $a = 7.5, a = 8, a = 8.5$ 几组取值的阈值函数的曲线,如图1所示.从图中可看出,当 $\lambda = 5, a = 8$ 时阈值函数最接近真实值,此时可得到最佳的去噪效果.

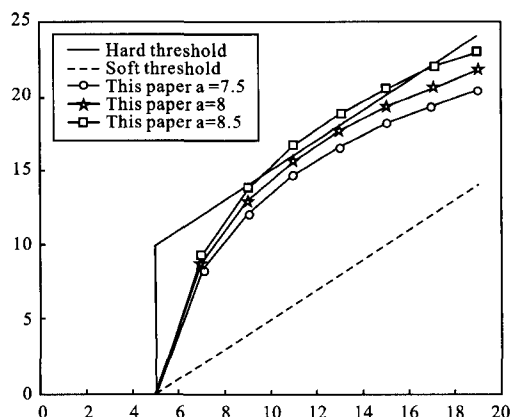


图1 不同 a 值的阈值函数的对比

3.2 阈值的选取

一般的图像去噪法都是基于小波系数简单的统计特性来估计小波收缩阈值的,其经典阈值为 Donoho 和 Johnstone 提出的统一阈值:

$$\lambda = \alpha \sqrt{2 \ln N} \quad (5)$$

其中 α 为噪声标准方差, $\alpha = \frac{\text{Median}(|Y_{ij}|)}{0.6745}$, $Y_{ij} \in \text{subband} HH_1$ (第一层的细节信号). N 为信号长度.

式(5)所示的统一阈值是经过普遍的小波分解的统计特征而得到的,是小波最佳收缩阈值的上限,但并不是所有图像去噪的最佳阈值.不同的图像在经过小波变换后,信号和噪声会表现出不同的性质,即随着图像分解尺度的增大,噪声的幅值越来越小,而信号幅值越来越大,那么在确定阈值时就需要考虑噪声幅值随分解尺度 j 增大而减小的特性,不能为所有分解层选取同一阈值,而应该随着分解层的不同而不同,这样才能适应信号与噪声的变化^[6-7].于是本文选择如式(6)所示的自适应阈值:

$$\lambda_j = \alpha * \sqrt{2 \ln N} / 2^{j+1} \quad (6)$$

上述自适应阈值符合不同分解层中信号和噪声的比例分布上有所不同的事实,但考虑到实际的含噪图像中信号和噪声的不同的系数相关性,即有用信号表现出强相关性,而噪声因为其随机分布,其表现出弱相关性或者不相关,于是可能出现某些成分单一的小波系数,它们只含有噪声,而不含信号成分,此时若采用自适应阈值进行处理,就会导致去噪不彻底或图像失真.因此本文在上述自适应阈值的基础上又做了改进,即对信号的高频和低频做不同的处理,低频部分直接采用上述自适应阈值,高频部分考虑系数之间的相关性以及近指数的衰减特性,对层内各分解变量分别设置阈值 λ_{ji} , j 为分解尺度, $i=1,2,3$,分别表示水平、竖直、对角分量.其表达式如式(7)所示.

$$\lambda_{ji} = \begin{cases} \lambda_j, & c < \frac{\mu}{2}; \frac{\lambda_j}{2}, \frac{\mu}{2} \leq c < \mu \\ \frac{\lambda_j}{2^2}, & \mu \leq c < 2\mu; \frac{\lambda_j}{2}, c \geq 2\mu \end{cases} \quad (7)$$

式中, c 为相关系数, $\mu = \frac{\sum c}{N}$,为所有相关系数的算术平均值.

4 仿真实验

为了说明本算法的有效性,对大小为 $256 * 256$ 的Woman图像用matlab进行仿真实验,实验环境为PC DELL Inspiron 640, Core2 Duo CPU, T2450 2.00GHz, 0.99GB的计算机.对图像加入方差为0.01的高斯白噪声,分解阶数为3.用自适应阈值和本文阈值分别与硬阈值函数、软阈值函数和本文的阈值函数组合对其进行去噪处理,以峰值信噪比,均方误差和运行时间作为评估标准,式(8)、(9)给出了PSNR、MSE的计算公式.

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\text{MSE}} \quad (8)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{m * n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [f^*(x, y) - f'(x, y)]^2 \quad (9)$$

$f^*(x, y)$ 、 $f'(x, y)$ 为原图像和去噪后的图像, m, n 为图像的行、列数.

对Woman图像处理结果如图2所示.实验数据如表1所示.从实验结果可看出,本文的阈值及阈值函数去噪算法的去噪效果要比前面几种算法好,无论从视觉效果上还是数值比较上都有明显优势.



图2 Woman图像及实验结果

表1 三种去噪算法的峰值信噪比、均方误差及运行时间比较

	PSNR	MSE	TIME
自适应阈值+硬阈值函数	24.8983	200.0224	0.4375
本文阈值+硬阈值函数	25.1906	188.9014	0.4844
自适应阈值+软阈值函数	25.7556	175.1504	0.4531
本文阈值+软阈值函数	26.2588	147.4793	0.4375
自适应阈值+本文阈值函数	28.2903	98.6742	0.4688
本文阈值+本文阈值函数	28.8918	86.8940	0.4844

给图像分别加入方差 $\alpha=0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.025$ 的高斯白噪声, 在不同噪声强度下, 各算法的 PSNR、MSE 分别以曲线图的形式给出, 如图 3 所示. 图中曲线 1 为自适应阈值和硬阈值函数处理结果, 曲线 2 为本文阈值和硬阈值函数处理结果, 曲线 3 为自适应阈值和软阈值函数处理结果, 曲线 4 为本文阈值和软阈值函数处理结果, 曲线 5 为自适应阈值和本文阈值函数处理结果, 曲线 6 为本文阈值和本文阈值函数处理结果.

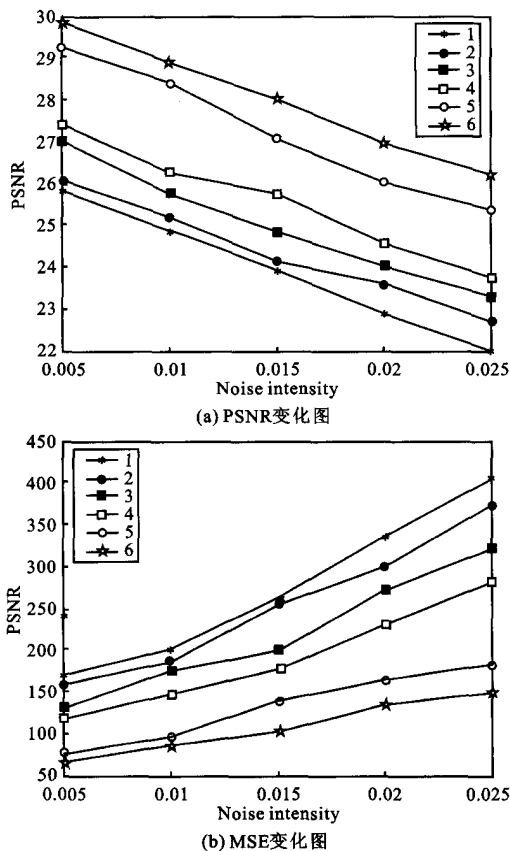


图 3 不同噪声强度下各算法降噪后图像的 PSNR、MSE 变化图

从上述比较可更加直观地看出本文算法具有更好的去噪效果, 峰值信噪比有明显提高, 均方误差有较大降低. 说明本文提出的阈值函数和阈值选取方式可有效地去除图像噪声, 提高图像质量.

5 结束语

本文通过分析传统小波阈值去噪算法的特点, 并做了改进, 得到了平滑阈值函数和新的自适应阈值. 实验证明该改进方法能有效地去除噪声, 提高了图像峰值信噪比, 降低了均方误差, 比传统图像去噪算法有明显优势.

参考文献:

- [1] 谢杰成, 张大力, 徐文立. 小波图象去噪综述[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(3): 209-217.
- [2] Donoho D L. Denoising by soft-thresholding[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1995, 41(3): 613-627.
- [3] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994(81): 425-455.
- [4] 张德干, 康学净, 王冬. 一种球坐标系下小波收缩去噪新算法[J]. 光电子·激光, 2012, 23(1): 180-187.
- [5] 陈晓曦, 王延杰, 刘恋. 小波阈值去噪法的深入研究[J]. 激光与红外, 2012, 42(1): 105-110.
- [6] 李财莲, 孙即祥, 康耀红. 自适应去噪函数性能研究[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(11): 1983-1988.
- [7] 章琳, 方志军, 汪胜前, 等. 基于遗传算法的多小波自适应去噪方法研究[J]. 红外与毫米波学报, 2009, 28(1): 77-80.

作者简介:

李 莲 女, (1960-), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为图像处理和智能控制.

熊倩飞 女, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为图像处理.