

基于空间屏蔽的M通道小波星图去噪法*

马林立^{1,2}, 孙尧¹

(1.哈尔滨工程大学自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2.海军潜艇学院, 山东 青岛, 266071)

摘要: 小波图像去噪已经成为目前图像去噪的主要方法之一, 在分析了小波变换的基本理论和小波变换的多尺度分析基础上, 根据多尺度小波变换的多分辨特性, 提出了M通道小波变换去噪方法; 在该方法中, 根据噪声信号小波变换的极大值随尺度的加大而显著减少的特点, 将一种基于多尺度分析的空间屏蔽滤波法用于对小波系数进行处理。并将此方法用于星图降噪处理中, 收到良好的效果。

关键词: 多尺度分析; 图像降噪; M通道

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2004)04-0045-03

引言

用星图识别来确定导航星是目前天文导航的发展方向之一。星图由CCD摄取得到, 由于大气散射、图像输入等过程, 星空星图不可避免地会产生噪声, 这种噪声一般会反映为灰度突变, 与星图特性相似, 容易在特征提取时产生误提取, 影响了特征提取的准确性, 因此必须进行去噪工作。传统的去噪方法往往采用低通滤波, 而星图是一种点状的小目标, 有的目标只占一个像素或不足一个像素, 故采用低通滤波时, 虽然能够去除噪声但同时也使星图变得模糊。因此, 我们选用既能去除噪声, 又不损失星图特征的小波去噪方法。

小波分析由于可在时-频域局部化^[2], 而且时窗和频窗的宽度可调节, 故可检测到突变噪声信号。当取小波母函数为平滑函数的一阶导数时, 信号的小波变换模在信号的突变点取得局部极大值, 如果再考虑多尺度(多分辨)小波分析, 则随着尺度的增大, 噪声引起的小波变换模极大值点迅速减少, 而边缘引起的极大值得以显露出来, 即通过分析不同尺度下小波变换函数的极大值, 消除部分噪声, 从噪声信号中分辨出有用信号^[7]。因此, 通过对小波进行多尺度变换, 可将信号分解到不同的频段, 从而可在不同的尺度下对信号进行分析和处理。

1 小波变换的多尺度分析

设 $|V_j|$ 是一给定多尺度分析, $\varphi(t)$ 和 $\psi(t)$ 分别是相应的尺度函数和小波函数, 记:

$$\begin{aligned} S_{2j} f(t) &= f(t) * \varphi_{2j}(t) & W_{2j} f(t) &= f(t) * \psi_{2j}(t) \\ \text{有: } S_{2j} f(t) &= S_{2j-1} f(t) * H_{j-1} & W_{2j} f(t) &= W_{2j-1} f(t) * G_{j-1} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)即为小波变换的快速算法(H, G 分别为 $\varphi(t)$ 和 $\psi(t)$ 对应的滤波器)。

把离散的信号序列 $f(n)$ 分别通过低通滤波器 $h(n)$ 和高通滤波器 $g(n)$, 把 $f(n)$ 分解成四个序列 $S_{11}f(n)$ 、 $S_{12}f(n)$ 和 $W_{11}f(n)$ 、 $W_{12}f(n)$ 。再把 $S_{11}f(n)$ 、 $S_{12}f(n)$ 和 $W_{11}f(n)$ 、 $W_{12}f(n)$, 然后通过低通滤波器 $h(-n)$ 和高通滤波器 $k(n)$ 而实现信号重构 $f(n)$ 。这些滤波器组应满足的条件:

$$|H(\omega)|^2 + G(\omega)K(\omega) = 1; \quad \varphi(2\omega) = e^{-j\omega/2} H(\omega)\varphi(\omega); \quad \psi(2\omega) = e^{-j\omega/2} G(\omega)\varphi(\omega); \quad \Gamma(2\omega) = e^{-j\omega/2} k(\omega)\varphi(\omega)$$

用数学表达式表示的信号处理过程如下^[1]:

$$f(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \langle f, \varphi_{m_0, n} \rangle \varphi_{m_0, n}(t) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \langle f, \psi_{m, n} \rangle \psi_{m, n}(t)$$

尺度函数 $\varphi(t)$ 应满足: $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1$ 。上式右边的第一部分用于提取轮廓和边缘一类的特征; 第二部分由小波变换用于在所有尺度上做细化处理。尺度因子 m_0 是根据信号性质和所要求的内容而事先选定的。

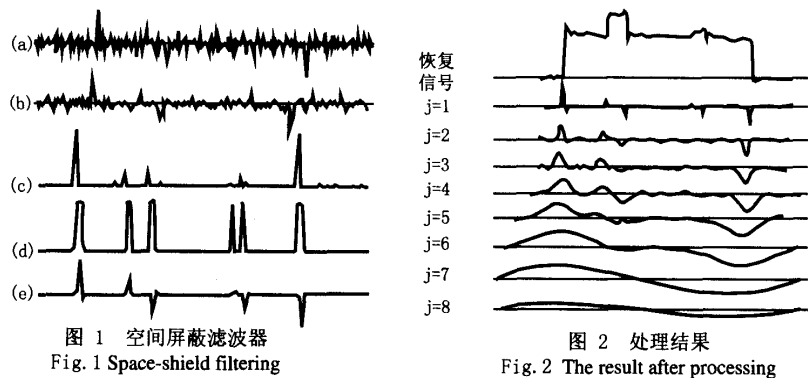
Mallat 在多尺度分析的基础上, 给出了计算 $\langle f, \varphi_{m_0, n} \rangle$ 和 $\langle f, \psi_{m, n} \rangle$ 的快速方法—Mallat 算法, 其算法的优点是不需要知道 $\varphi(x)$ 和 $\psi(x)$ 的解析式, 且易于实现。

* 收稿日期: 2004-02-17

2 空间屏蔽滤波器法^[1, 4]

空间屏蔽滤波器法的主要思想就是：把大尺度（低分辨率）下的小波变换全部保留，小尺度（高分辨率）下的小波变换则只有被确认为边缘附近的各点才予以保留，其余的都去除。由于噪声的小波变换主要集中在小尺度各层次中，因此经上述处理后，噪声基本去除而有用信息得以较好保留。

方法的关键是如何辨识边缘。下面用一维为例加以说明。边缘在数据中的表现是阶跃性的跳变，如图 1 第一行所示。当采用波形反对称的小波函数对其进行尺度 $a=2^j$ 的小波变换时，在多个尺度下小波变换的值在跳变处均表现出较明显的峰值，其符号的正负则决定于此阶跃是正跳变还是负跳变，而噪声的小波变换则随尺度加大而迅速减小，如图 1 第一行以下各行所示。因此把一部分尺度上对应于同一空间位置 k 处的小波变换相乘，如 $Cor(j,k)=WT(j=1,k) \cdot WT(j=2,k)$ ，就能把边沿表现得更突出，并把噪声的表现削弱。例如图 1(a)和(b)分别表示 $WT(j=1,k)$ ，和 $WT(j=2,k)$ ，它们相乘后得 $Cor(j,k)$ ，如图 1(c)所示，它明显地把原始数据中主要边沿的位置表明。由此我们可以得到如图 1(d)所示的“空间屏蔽滤波器”，把这个屏蔽滤波器与各尺度的 $WT(j,k)$ 相乘，得到如图 1(e)所示的新的 $WT(j,k)$ 。最后再把各尺度所得新的 $WT(j,k)$ 合起来作反演 WT ，便得到滤波后的结果如图 2 所示，由图可见所得结果中边缘未被削弱而噪声被有效去除。



3 M 通道小波变换去噪方法

3.1 M 通道小波变换

小波变换过程可以设计成多通道滤波器结构，即子带滤波器。M 通道小波变换就是对每个子带再重新进行 M 尺度的细分，它与传统的二进小波变换区别在于：前者对频带划分更细，更有利于捕获信号的细节；而后者只是对信号在不同尺度下的变换，实际上是把信号分解到不同的频带上。它们之间的对应关系如图 3 所示，图中为三层小波分解，图中的左边是低频，右边是高频。



图3 信号在二进小波和M道小波的分解
Fig.3 Analysis of signal in the binary and M- channels

3.2 实现方法

图 3 是用四通道小波构成的两层信号分解/合成的滤波器结构，其中， $H(\cdot)$ ， $G(\cdot)$ ， $H(\cdot)$ ， $K(\cdot)$ 分别为低通滤波器、高通滤波器、共轭滤波器和对偶滤波器。为了简化计算并提高运算速度，在高频带进行 4 通道划分时，仍然重复上一层的分解过程(按高低频同时分解)。例如，在第一层的高频带上，信号先分解成高低频带的信号，再通过两次相同的分解过程，高频带上的信号在 4 个不同通道上被分解，即每个子带被分割成 4 个不同的子频带，其他类推。图的左边为分解过程；右边为合成过程。

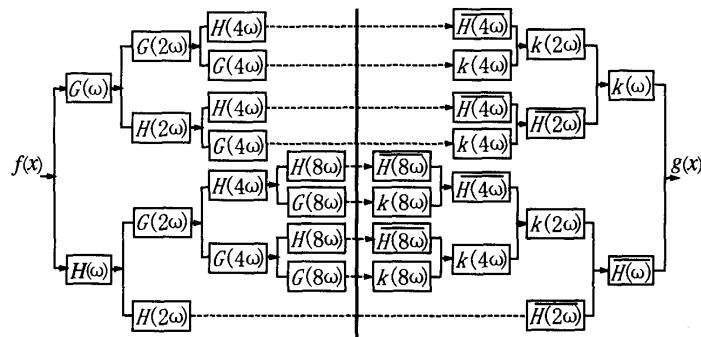


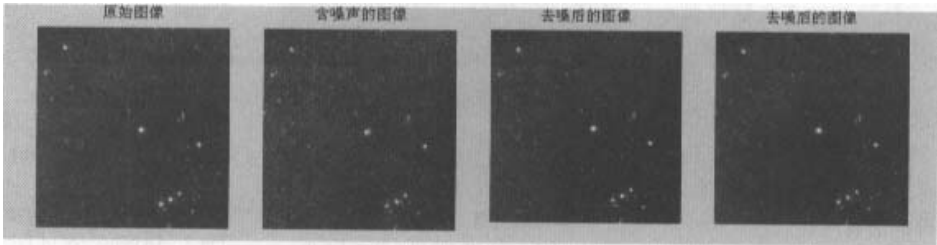
图4 4通道2层小波分解/合成滤波器结构
Fig.4 The structure of analysis/synthesis filter with four channels and two layers

M 通道小波变换去噪算法的步骤为

- 1) 对信号 $f(x)$ 作 M 道小波变换, 信号被分解到每个子带的 M 个通道 $W_1^1, \dots, W_1^M, W_2^1, \dots, W_2^M, \dots, W_j^1, \dots, W_j^M$ 上。
- 2) 把一部分尺度上对应于同一空间位置 k 处的小波变换相乘, 如
$$Cor(j,k) = WT(j=1,k) \cdot WT(j=2,k)$$
- 3) 根据 $Cor(j,k)$ 选择合适的阈值, 从而可以得到空间屏蔽滤波器。
- 4) 用空间屏蔽滤波器与各尺度的 $WT(j,k)$ 相乘, 得到新的 $WT(j,k)$ 。
- 5) 最后再把各尺度所得新的 $WT(j,k)$ 合起来作反演 WT , 实现信号 $g(x)$ 的重建。

4 实验与结论分析

我们对一幅实际拍摄的星图利用本文提出的方法进行降噪处理, 图5(a)是原星图, 图5(b)为加噪后的图像, 图5(c)是小波降噪后的结果; 图5(d)是采用本文提出的M通道小波去噪方法处理后的图像。去噪效果用均方误差 (MSE) 及信噪比 (SNR) 来衡量, 实验结果见表1。



(a) Original image (b) Image with noise (c) Image after de-noised (d) Image after de-noised

图5 星图处理结果
Fig.5 The result after processing of Image

表 1 星图去噪性能指标 Table 1 The denoising performance index of star image

	MSE	SNR
图像 (c)	31.62	6.12
图像 (d)	20.41	11.94

由处理结果可以看出, 本文所提出的方法对于星图来说, 可以得到良好的降噪效果, 去噪后的均方误差 (MSE=23.41) 小于一般小波降噪法 (MSE=31.62), 降噪后的信噪比 (SNR=11.94) 大于一般小波降噪法 (SNR=8.12)。图像质量明显好于一般的小波降噪法。

(下转第 52 页)

参 考 文 献

- [1] 彭德权, 周成平等. 海空背景长波红外大气透过率的仿真计算方法[J]. 红外与激光工程, 2001, (2)
- [2] 李田泽. 大气湍流对激光束传输的影响讨论[J]. 应用光学, 1997, 18(3): 30~32
- [3] 张逸新, 迟泽英. 光波在大气中的传输与成像[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997: 83~98, 110~112, 146~148.
- [4] James H.Churnside, Richard J.Lataitis. Wander of an optical beam in the turbulent atmosphere[J]. *Appl.Opt.*, 1990, 29: 926~930
- [5] Borodin V G, Vakhmyanin K P, V.V.II'in et al.. Temporal variations of the structure of a laser beam in the surface layer of the atmosphere[J]. *Opt.Technol.*, 1999, 66(11): 968~969

A Method Based on the Image to Simulate the Spot of the Laser Beam During Long-distance Propagation

XU Ping¹, ZHANG Ying-yuan², LIU Jin-song¹

(1. State Key Lab. of Laser Technology, Huazhong University of Sci & Tech., Wuhan 430074, China)

2. Xidian University, Xian 710071, China)

Abstract: This paper put forward and realized a method based on the image to simulate the spot, which simulates a lot of spots under various conditions by processing the spot image and some certain conditions. Something that make this method do not seem to perfect were analyzed and point out, and some solutions were provided.

Key Words: laser propagation, turbulences, simulate spots

(上接第 47 页)

参 考 文 献

- [1] Chen C F, Hsiao C H. Wavelet approach optimizing dynamic system [J]. *IEEE Proc Control Theory Appl*, 1999, 146(2): 213~219.
- [2] B.Jawerth and W.Sweldens. An overview of wavelet based multiresolution analyses [J]. *SIAM Rev.* 1994, 36(3): 377~412.
- [3] MALLAT S. A theory for multiresolution signal decomposition, the wavelet representation [J]. *IEEE Trans On PAMI-11* 1989, (7): 674~693
- [4] MALLAT S. Multiresolution approximation and wavelet orthonormal bases of L2[J]. *Trans Amer Math Soc.* 1989, 315: 69~87.
- [5] 刘昌云. 多尺度小波变换在自适应滤波中的应用[J]. 空军工程大学学报, 2002(3): 50~53.
- [6] 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: 153~163.
- [7] 赵育良. 基于小波变换的复杂航空图像的边缘提取[J]. 光电工程, 2002, 29(4): 57~60.
- [8] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 42~62.

作者简介: 马林立 (1962—), 海军潜艇学院副教授, 硕士生导师, 现为哈尔滨工程大学自动化学院博士生, 研究方向: 导航、制导与控制。

The Method of Star-image Denoising Based M-channel Wavelet transforms And Space-shield filtering

MA Lin-li^{1,2}, SUN Yao¹

(1. Automation College, Harbin Engineering University, Harbin, 150001, China; 2. Naval Submarine Academy, Qingdao 266071, China)

Abstract: Wavelet image denoising has been well acknowledged as an important method of image denoising. The basic theory and the multi-scaling of the wavelet transform are analysed. According to the characteristics of the multi-scaling analysis, the method of M-channels based on the multi-scaling of the wavelet transforms is presented. In this method, based on the fact that the modulus maximums of the noise wavelet transform reduce dramatically with the increase of the scale, the coefficients of wavelet transform are processing using the method of space-shield filtering. The method is used in the star-image denoising. We obtain result that this more advanced to the noise elimination.

Key words: multi-scaling analysis; image denoising; M-channels