

小波(包)滤波方法的 GUI 及其在深地震测深数据处理中的应用

樊计昌, 刘明军, 海燕

中国地震局地球物理勘探中心, 郑州 450002

摘要 在深地震测深数据处理中, 仍多用基于傅里叶变换的滤波方法和小波二阶相关去噪方法。鉴于傅里叶变换方法对非稳态的地震信号不能提供在时频上的任何局部信息, 而小波和小波包方法弥补了傅里叶变换的不足, 能够提供时频上的任何局部信息, 且高阶相关比二阶相关对随机噪声有更好的抑制和去除作用, 本文结合小波和小波包去噪方法以及高阶相关去噪方法, 编写了深地震测深数据处理的小波和小波包滤波方法的人机交互软件, 用于抑制和去除地震信号中的加性高斯随机噪声。该软件可以方便快捷地显示深地震测深的地震记录截面, 进行小波域的自适应阈值去噪、小波域和小波包域的二阶和高阶相关去噪以及基于傅氏变换的常规滤波。实例计算结果表明, 方法和程序是有效且可行的。

关键词 小波(包)滤波; 图形用户界面; 阈值收缩; 高阶相关

中图分类号 TP319, TN911.72

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)02-0078-05

GUI for De-Noising in Wavelet (Packet) Method and Its Application to DSS Data Processing

FAN Jichang, LIU Mingjun, HAI Yan

Geophysical Exploration Center, China Seismological Administration, Zhengzhou 450002, China

Abstract In a deep seismic sounding data processing, filtering methods based on the Fourier transform and second-order correlation denoising in the wavelet domain are still used. In view of the fact that the local time-frequency information can not be obtained with the Fourier transform in processing non-steady state seismic signals, which can be obtained with the wavelet (packet) transform, and also of the fact that the higher-order correlation denoising is better than a second-order correlation denoising, graphical user interface software is developed based on the wavelet and wavelet packet denoising as well as higher-order correlation denoising method, which can be used to eliminate the additive Gaussian white noise. The software can quickly and easily display seismic record sections, can do adaptive threshold denoising in the wavelet domain, can do the second-order and higher-order

correlation denoising in the wavelet and wavelet packet domains, and can do also the filtering based on the Fourier transform. Examples of the deep seismic sounding data show that the methods and software are effective.

Keywords wavelet (package) filtering; graphical user interface; adaptive threshold shrinkage; higher-order correlation

0 引言

地震资料的处理具有高信噪比、高分辨率和高保真度的要求, 即三高要求。其中, 信噪比是基础, 提高信噪比是地震数据处理的首要任务。人们根据信号与噪声的各种特征差异, 设计了许多抑制和去除噪声、提高信噪比的方法^[1]。

地震信号中的噪声主要有随机噪声和相干噪声。随机噪声包括环境噪声、测量误差、地面微震等, 是由各种随机因素综合作用而成, 没有统一的规律, 在整张记录上随机出现, 频带很宽, 视速度不确定, 无一定的传播方向, 比较难以去除^[2]。

对地震信号(非平稳信号), 傅氏变换不再是有效的分析工具, 因为它在时间域无法描述信号的局部频率特征。而小波(包)变换正是分析非平稳信号的有力工具, 是傅氏变换的新发展, 它既保留了傅氏变换的优点, 又弥补了傅氏变换在时间域无任何频率分辨的缺陷, 也克服了窗口傅氏变换的固定分辨率、做信号分析时无快速算法的缺点。

小波变换是一种变分辨率的时频联合分析方法。当分析低频(对应大尺度)信号时, 其时间窗很大, 可得到频域的高

收稿日期: 2008-12-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40774071)

作者简介: 樊计昌, 高级工程师, 研究方向为信号处理、小波应用研究及地震层析成像, 电子信箱: fanjichang8@sohu.com

分辨,而当分析高频(对应小尺度)信号时,其时间窗减小,可获得时域的高分辨。这符合实际问题中高频信号的持续时间短、低频信号持续时间较长的自然规律。

小波去噪方法主要分3类:①小波域阈值去噪。Donoho^[3]提出的小波域阈值去噪算法,主要依据大幅值系数由信号产生,而小幅值系数由噪声产生这一假设来去噪;②小波域相关去噪。Xu等^[4]提出的空域相关去噪算法,主要利用信号的小波系数在各尺度间有相关性,而随机噪声没有相关性,以及信号在空间具有相关性这些基本假设来去噪;③小波域模极大值去噪。Mallat等^[5]提出的模极大值去噪算法,主要根据信号和噪声的小波系数随尺度有不同变化规律来去噪。

基于傅氏变换的信号处理方法,要求信号和噪声的频带重叠部分尽可能地小,而基于小波变换的非线性滤波方法中,谱可以重叠,但谱的幅度(而不是谱的位置)要尽可能不同。在小波变换域,可通过对小波系数进行切削、缩小幅度等非线性处理,以达到滤除噪声的目的^[6]。

当信号和噪声的频带重叠且频谱的幅度差别不大时,高阶相关可抑制信号频带内噪声^[7],其消噪依据是:随机噪声的二阶相关量不为零,但高阶相关量为零^[8]。数值实验和计算表明^[9],高阶相关比二阶相关对随机噪声有更好的抑制作用。

本文结合作者近几年在小波域和小波包域使用的方法并结合高阶相关方法,编写了人机交互界面(GUI),用于抑制和去除地震信号中的加性高斯随机噪声。

1 小波域阈值滤波

D. L. Dohono 于 1995 年提出的小波阈值去噪方法非常简洁,在最小均方误差意义上能得到原始信号的近似最优估计,且适应性广、计算速度快,是众多小波去噪方法中应用最广泛的一种。其主要的理论依据为:在 Besov 空间,选择或构造合适的母小波,则小波变换具有一种“集中”的能力,它将信号的能量集中在有限的几个系数中,而噪声的能量以相同的幅度分布于整个小波域内。因此经小波分解后,信号的系数通常大于噪声的系数,于是可以找到一个合适的数 λ 作为阈值(门限)。选择合适的阈值函数,对小波系数进行非线性处理,然后进行小波重构得到去噪后的信号。

1.1 阈值函数的选取

阈值函数的选取体现了对小波系数的不同处理策略,主要有软阈值函数法、硬阈值函数法、半软阈值函数法和硬软阈值折衷法。其基本思想都是去除小幅值的系数,对幅值较大的系数进行收缩或保留。

硬阈值法的去噪结果有较大的方差(由于阈值函数不连续),出现伪 Gibbs 现象,但能很好地保留信号或图像的边缘等局部特征。软阈值法的去噪结果有较大的偏差(由于对所有大于阈值的系数共同做了收缩)^[10],会造成边缘模糊,但去噪结果相对平滑。半软阈值法是软阈值法和硬阈值法的一种折衷^[11],需确定两个阈值。硬软阈值折衷法也是软阈值法和硬阈值法的一种折衷^[12],但只需一个阈值,另加一个折中因子

α 。从实用考虑,本文选取硬软阈值折衷法。

$$\hat{w}_{k,n} = \begin{cases} \text{sign}(w_{k,n}) \cdot (|\hat{w}_{k,n}| - \alpha\lambda) & |\hat{w}_{k,n}| \geq \lambda \\ 0 & |\hat{w}_{k,n}| < \lambda \end{cases} \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (1)$$

式中, k 为尺度; $n=1, 2, \dots, N$,为每道样点数。

该方法思路简单,去噪效果好。数值试验表明,与硬阈值法、软阈值法、多项式插值法和模平方处理方法相比,硬软阈值折衷法的去噪效果最好^[12]。

1.2 阈值的确定

在小波域阈值去噪中,阈值的选取直接影响滤波效果。目前确定阈值的方法主要有:通用阈值法、极小化风险阈值法、假设检验法和 BayesShrink 阈值法等。基于实用的考虑,选择尺度自适应通用阈值^[12]。

$$t_k = \sigma \sqrt{2 \log n} / \log(k+1) \quad (2)$$

式中, σ 为噪声标准差, k 为尺度, n 为每道样点数或数据长度。

2 小波尺度域和空间域高阶相关滤波

尺度域相关去噪是依据信号和噪声在不同尺度上有不同的特点:信号在各层相应位置上的小波系数相关性强,噪声的小波系数则是弱相关或不相关。在尺度域,白噪声约一半系数不能传到下一尺度,而信号的系数随尺度增大基本不变^[5]。小波相关去噪就是根据该特征,在尺度域对含噪信号进行处理,最后重构原信号。

尺度域相关要采用静态小波变换(或二进小波变换或平移不变小波变换),并选用对称或奇对称的小波,或采用区域相关系数法^[13],这可减弱由于小波系数的移位效应导致相关系数不准确的现象。本文设计的软件(深地震测深资料人机交互处理系统)使用了双正交样条小波和区域相关系数法。

尺度域相关采用的归一化区域相关系数为

$$\overline{R}_l^k(n) = C_{R_l^k}(n) \left\{ \left[\sum_j R_l^k(j)^2 \right] / \left[\sum_j C_{R_l^k}(j)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中, $C_{R_l^k}(n) = R_l^k(n) R_l^{k+1}(n)$ 为第 k 和 $k+1$ 分量剖面第 l 道的区域相关系数。

$$R_l^k(n) = \sum X_l^k(j) \quad (n=1, 2, \dots, N; l=1, 2, \dots, L; k=1, 2, \dots, K)$$

为第 k 分量剖面第 l 道的区域相关系数。其中, X_l^k 为第 l 道小波系数, N 为每道样点数, L 为某分量剖面中地震道的总道数, K 为分量剖面数(K 也是小波最大分解层)。

空间域相关利用相邻道有效信号相关性强、随机噪声相关性弱的特点来消除或抑制噪声。在时距曲线(或同相轴)倾斜角度较大或弯曲时,应结合倾角扫描法进行相关。

空间域相关采用的归一化高阶相关系数为

$$\rho_{l,l+1}^k(n, d_j) = \sum_{m=-T/2}^{T/2} \overline{R}_l^k(n+m) \overline{R}_{l+1}^k(n+m+d_j) \overline{R}_l^k(n+m) \left[\sum_{m=-T/2}^{T/2} \overline{R}_l^k(n+m)^2 \right]$$

$$\left[\sum_{m=-T/2}^{T/2} \overline{R_{l+1}^k(n+m+d_j)^2} \right] \left[\sum_{m=-T/2}^{T/2} \overline{R_l^k(n+m)^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中, $j=1, 2, \dots, J$ 。 T_k 为时窗宽度, d_j 为一组倾角, d_J 为最大倾角。

以式(3), 式(4)为主和其他辅助公式即可完成小波尺度域和空间域倾角扫描高阶相关的计算^[14]。

3 小波包节点域和空间域高阶相关滤波

节点域相关去噪是据信号和噪声在同一尺度不同节点上有不同的特点: 信号的小波包系数随节点序号的减小而增大或保持不变, 随着尺度的增加其幅值增大或保持不变; 噪声的系数幅值则是逐渐减小。小波包相关去噪就是根据信号和噪声在不同节点和不同尺度上的差异, 对含噪信号的系数进行处理, 最后重构原信号。

对小波包分解来说, 每层中各节点的顺序与其对应的频段的顺序从第二层开始就不一致了, 即小节点序号不一定对应于低频段, 大节点序号不一定对应于高频段, 故相关时要调整节点的顺序以保证频段相邻^[15]。

小波包节点域相关也涉及移位问题^[16]。为减弱移位效应, 应选用对称或奇对称的小波包或采用区域相关系数法。本文设计软件采用对称性样条小波包和区域相关系数法。

节点域相关采用的归一化区域高阶相关系数为

$$\overline{R_{K-p}^l(n)} = \sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p_1}^l(n+m)} \overline{R_{K,p_2}^l(n+m)} \overline{R_{K,p_3}^l(n+m)} \left\{ \left[\sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p_1}^l(n+m)^2} \right] \right.$$

$$\left. \left[\sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p_2}^l(n+m)^2} \right] \left[\sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p_3}^l(n+m)^2} \right] \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

式中, $R_{K,p}^l(n)$ 为区域小波包系数, p_{j1} 和 p_{j2} 节点可能不相邻, 但其对应的频段必须是相邻的。 j_1 和 j_2 在 $[1, 2^K]$ 范围内取值, K 为小波包最大分解层。

空间域相关采用的归一化高阶相关系数为

$$\rho_{K,p}^{l,l+1}(n, d_j) = \sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p}^l(n+m)} \overline{R_{K,p}^{l+1}(n+m+d_j)} \overline{R_{K,p}^l(n+m)} \cdot \left\{ \left[\sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p}^l(n+m)^2} \right] \left[\sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p}^{l+1}(n+m+d_j)^2} \right] \left[\sum_{m=-a}^a \overline{R_{K,p}^l(n+m)^2} \right] \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

式中, $a=T_n/2$, $l=1, 2, \dots, L$; $p=1, 2, \dots, P$; $n=1, 2, \dots, N$; $j=1, 2, \dots, J$ 。 T_n 为时窗宽度, L 为某分量剖面中地震的总道数, P 为每层节点数, N 为每道样点数, d_j 为最大倾角。

以式(5), 式(6)为主和其他辅助公式可完成小波包节点域和空间域倾角扫描高阶相关的计算。

4 小波(包)滤波方法的人机交互界面

图1给出了主要基于小波和小波包滤波方法为主的人机交互界面。主要由显示地震记录模块、基于FFT滤波模块、小波滤波模块和小波包滤波模块等组成。

1) 显示记录功能: 方式1, 指定每屏显示 N 道记录, 用左右移动箭头显示前一个 N 道或后一个 N 道。方式2, 指定炮

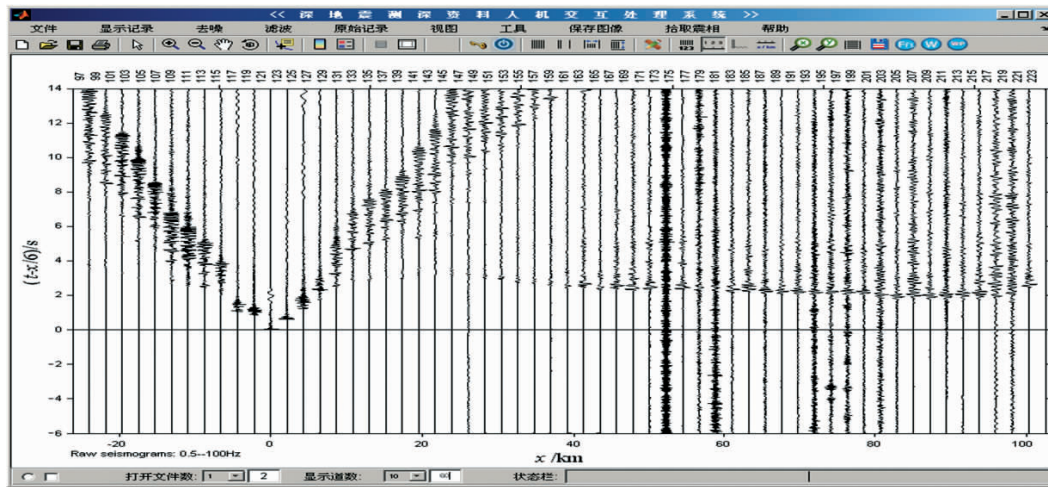


图1 深地震测深资料处理人机交互界面

Fig. 1 GUI of deep seismic sounding data processing

间距范围, 进行显示。两种方式互相独立, 互不影响, 这对于既想看局部记录截面, 又想了解整体记录截面的情况是方便的。方式3, 等距显示, 对接收点距太近有拉开的效果, 方便观察各道的地震记录。方式4, 非等距显示, 即按实际接收点的位置显示。

在记录截面的上方可显示接收点的仪器号、炮间距、桩号以及高程。

工具条: 为了使用方便, 在主菜单下方提供了方便快捷的工具条以及常用功能的图标。从菜单“工具”下方的钥匙图标开始向右各图标的功能依次是: 重新开始, 退出, 向左翻

屏,向右翻页,等距显示,非等距显示,指定炮间距范围显示,改变时间轴数值范围,初始参数设置,显示仪器号,显示桩号,显示高程,显示炮间距,缩放 x 轴,缩放 y 轴,网格显示,保存图像,FFT 滤波,小波滤波,小波包滤波。

- 2) 基于 FFT 方法的传统频率域滤波。
- 3) 小波自适应阈值去噪。
- 4) 小波尺度域和空间域高阶相关去噪。
- 5) 小波包节点域和空间域高阶相关去噪。

5 应用于深地震测深观测数据

以人工地震测深剖面观测数据为例说明文中给出的 3 种方法的应用效果。图 2 为某宽角反射/折射记录剖面,纵坐标为地震波的折合走时,横坐标为炮检距。从图 2 可看出,炮检距约为 100~270 km,有很强的随机干扰,使得来自 Moho 面的反射波 P_m 难以辨认。

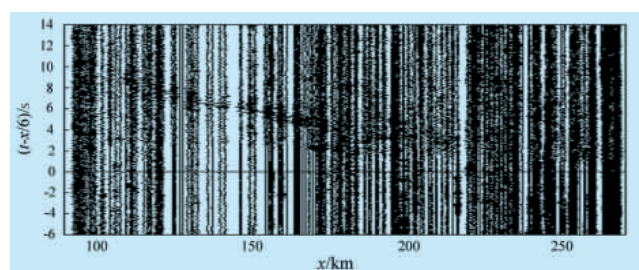


图 2 某深地震测深剖面的记录截面

Fig. 2 Record section of a deep seismic sounding profile

5.1 小波自适应阈值去噪

图 3 是小波自适应阈值去噪结果。关于阈值函数,软件中采用了实际应用中效果好的硬软阈值折衷的阈值函数。关于阈值,选择了尺度自适应通用阈值,这样可避免通用阈值对大尺度过度扼杀小幅值有效信号的弊病。去噪过程为:首先对地震记录剖面进行 5 层小波分解,得到 5 个分量剖面;对分量剖面的每道利用公式^[17] $\sigma = \text{median}(|w_{i,j}|)/0.6745$ 计算噪声的标准差(式中,Median($|w_{i,j}|$)表示求小波系数的中位数),利用式(2)计算各层的阈值;再根据式(1)对各层的小波系数进行处理,其中 α 取 0.677 4,主要是针对高斯白噪声^[18];最后对这些分量剖面重构,得到自适应阈值去噪后的地震记录剖面。从图 3 可看出,大部分随机噪声被有效抑制和

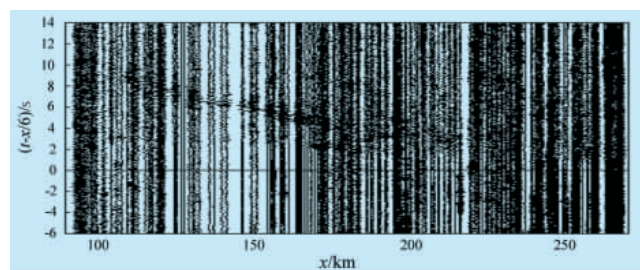


图 3 小波自适应阈值去噪结果

Fig. 3 Denoised results by adaptive wavelet shrinkage

消除, P_m 波在 100~270 km 可以辨认。

5.2 小波高阶相关去噪

图 4 是用小波相关去噪方法对图 2 所示数据的去噪结果,使用了具有线性或广义线性相位性质的双正交样条小波,可保证重建后波形不失真,由于其具有对称性,故可避免极大值移位问题。去噪过程为:首先对地震记录剖面做 5 个尺度的静态小波分解^[19],得到 5 个分量剖面,对这些剖面的每道在尺度域用公式(3)求归一化区域小波系数,高阶相关并归一;然后,对尺度域相关后的分量剖面在空间域用公式(4)对同一分量剖面相邻道的小波系数高阶相关(结合倾角扫描),并求最大相关系数,用此系数对相应道修正,在完成所有分量剖面的空间域相关后,对其进行重构,最终得到去噪后的记录剖面^[14]。经小波相关方法去噪后,绝大部分随机噪声被消除或抑制, P_m 波可以比较清晰地被辨认出来。

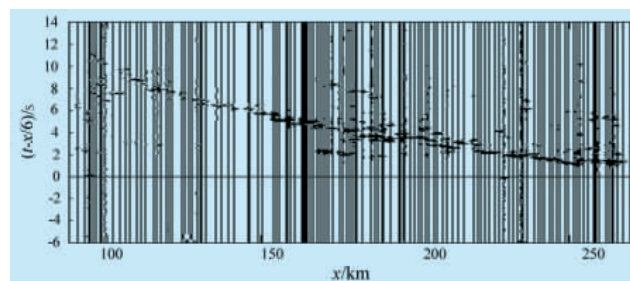


图 4 小波尺度域和空间域高阶相关去噪结果

Fig. 4 Denoised results by higher-order correlation in wavelet scale and space domains

5.3 小波包高阶相关去噪

图 5 是用小波包相关去噪方法对图 2 所示数据的去噪结果,使用了具有线性相位以及对称性的双正交样条小波包,可保证重建后的波形不失真,并可减弱移位问题。去噪过程为:首先,对地震记录剖面进行 4 层小波包分解,第 4 层有 16 个节点,对应 16 个分量剖面,对这些剖面的每道在节点域用式(5)和对相邻频段的系数求归一化区域小波包系数,并进行高阶相关;然后,对节点域高阶相关后的 16 个剖面在空间域用式(6)对各剖面相邻道的小波包系数进行倾角扫描高阶相关,并求最大相关系数,用此系数修正相应道;完成空间域相关后,重构剖面,最终得到去噪后的剖面。从图 5 可看出,

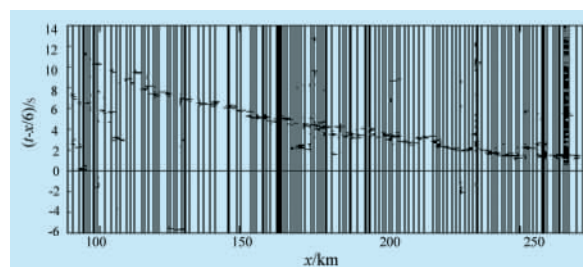


图 5 小波包节点域和空间域高阶相关去噪结果

Fig. 5 Denoised results by higher-order correlation in wavelet packet node and space domains

随机噪声被有效抑制和消除, P_m 波在 100 ~270 km 很容易辨认。对比图 4 可以看出, 小波包高阶相关的去噪效果优于小波高阶相关去噪效果。

6 结论

小波自适应阈值去噪方法简洁, 计算速度快, 是最常用的小波去噪方法之一。

小波尺度域相关和小波包节点域相关去噪均存在极大值点在各尺度和各节点上的移位问题。为减弱移位问题, 得到更好的相关去噪效果, 应选用对称性或奇对称性的小波和小波包或采用区域相关系数法。

实例表明小波包节点域和空间域高阶相关去噪方法比小波尺度域和空间域高阶相关去噪方法以及常规小波包节点域二阶相关去噪方法能更有效抑制和消除随机噪声。

数值试验和实际观测资料处理结果表明, 文中给出的 3 种方法和软件是有效、可行的。人机交互界面功能丰富, 使用方便。

参考文献 (References)

- [1] 张军华, 吕宁, 田连玉, 等. 地震资料去噪方法综合评述 [J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(增刊): 121-127.
Zhang Junhua, Lu Ning, Tian Lianyu, et al. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(Suppl): 121-127.
- [2] 付燕. 人工地震信号去噪方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2002.
Fu Yan. Study on denoise for seismic signal [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnic University, 2002.
- [3] Donoho D L. De-noising by soft thresholding [J]. IEEE Trans IT, 1995, 41(3): 613-627.
- [4] Xu Y, Weaver J B, Healy D M, et al. Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique [J]. IEEE Trans Image Processing, 1994, 3(6): 747-758.
- [5] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets [J]. IEEE Trans Inform Theory, 1992, 38(2): 617-643.
- [6] 潘泉, 张磊, 孟晋丽, 等. 小波滤波方法及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 63-72.
Pan Quan, Zhang Lei, Meng Jinli, et al. Wavelet filtering methods and its application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 63-72.
- [7] 曹汉强, 陈汝钧, 李旭涛, 等. 杂乱背景中隐藏信号的三阶相关检测技术[J]. 光电工程, 2005, 32(9): 5-11.
Cao Hanqiang, Chen Rujun, Li Xutao, et al. Opto-Electronic Engineering, 2005, 32(9): 5-11.
- [8] 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 267.
Zhang Xianda. Modern signal processing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002: 267.
- [9] 张三宗, 徐义贤. 地震记录小波域高阶相关叠加技术 [J]. 地球物理学报, 2006, 49(2): 554-560.
Zhang Sanzong, Xu Yixian. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(2): 554-560.
- [10] Bruce A G, Gao H Y. Understanding WaveShrink: Variance and Bias Estimation[J]. Biometrika, 1996, 83(4): 727-745.
- [11] Gao H, Bruce A. WaveShrink with firm shrinkage [J]. Statistica Sinica, 1997, 7: 855-874.
- [12] 赵瑞珍. 小波理论及其在图像、信号处理中的算法研究[D]. 西安: 西

安电子科技大学, 2001.

Zhao Ruizhen. Wavelet theory and algorithm for image and signal processing[D]. Xi'an: Xidian University, 2001.

- [13] 赵瑞珍, 屈汉章, 宋国乡. 基于小波系数区域相关性的阈值滤波算法 [J]. 西安电子科技大学学报, 2001, 28(3): 324-327.
Zhao Ruizhen, Qu Hanzhang, Song Guoxiang. Journal of Xidian University, 2001, 28(3): 324-327.
- [14] 樊计昌, 王夫运, 刘明军, 等. 小波尺度域和空间域倾角扫描高阶相关去噪技术[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(5): 514-517.
Fan Jichang, Wang Fuyun, Liu Mingjun, et al. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(5): 514-517.
- [15] 樊计昌, 李松林, 刘明军. 利用小波包变换提取地震波高频信息[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(2): 144-149.
Fan Jichang, Li Sonlin, Liu Mingjun. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(2): 144-149.
- [16] 徐长发, 李国宽. 实用小波方法 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001: 99-100.
Xu Changfa, Li Guokuan. Practical wavelet method [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2001: 99-100.
- [17] Donoho D L, Jonstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage [J]. Biometrika, 1994(81): 425-455.
- [18] 刘英霞, 王欣. 最佳软门限去噪[J]. 电子学报, 2006, 34(1): 167-169.
Liu Yingxia, Wang Xin. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(1): 167-169.
- [19] 樊计昌, 刘明军, 王夫运, 等. 浅析小波最大分解层 [J]. 科技导报, 2008, 26(10): 40-42.
Fan Jichang, Liu Mingjun, Wang Fuyun, et al. Science and Technology Review, 2008, 26(10): 40-42.

(责任编辑 岳臣)

·学术动态·



2009 年全国不定形 耐火材料学术 会议征文

中国金属学会拟于 2009 年 9 月召开 “2009 年全国不定形耐火材料学术会议”, 会议地点待定。欢迎从事不定形耐火材料研究开发、生产应用等方面的生产、研发、管理及销售人员踊跃投稿。会议征文内容: 各种耐火材料原料在不定形耐火材料中的应用; 新材料在不定形耐火材料中的应用; 钢铁冶金、有色冶金、水泥、玻璃、陶瓷、石油化工、机械等行业高温工程领域所涉及到的不定形耐火材料料研究开发、生产应用; 不定形耐火材料的施工方法和施工装备研究与应用; 不定形耐火材料性能检测方法和检测设备研究与应用; 不定形耐火材料的基础理论研究; 不定形耐火材料的标准研究与制修订; 不定形耐火材料的再生利用与环境保护。

论文截止时间: 2009 年 7 月 30 日。

联系方式: 河南省洛阳市西苑路 43 号 (471039)

联系人: 隋莉, 电话: 0379-64205969; 柴俊兰, 电话: 0379-64205958, 0379-64205968 (传真); 电子信箱: xh@nhcl.com.cn