

文章编号:1672—7940(2008)04—0414 -05

多孔算法在地震资料噪声消除中的应用

林永桑¹, 刘江平¹, 黄怀轩²

(1. 中国地质大学 地球物理与空间信息学院, 武汉 430074;
2. 湖北随岳南高速公路有限公司, 监利 433300)

摘要:多孔算法克服了 Mallat 算法二抽样的问题, 具有平移不变性, 而且每个尺度下的数据长度都和原始数据长度一样, 便于对每个尺度下的细节和概貌进行频谱分析。本文采用多孔算法进行小波变换, 对每个尺度下的细节进行频谱分析, 继而确定小波变换中的分解层数, 并引入一种新的阈值函数 Garrote 函数做阈值, 经过理论合成信号和实际地震数据测试表明, 基于多孔算法的小波去噪是有效的。

关键词:小波变换; 小波去噪; 多孔算法; Garrote 函数

中图分类号: P631

文献标识码: A

收稿日期: 2008-01-14

Seismic Data Denoising Based on A'trous Algorithm

Lin Yongshen¹, Liu Jiangping¹, Huang Huaixuan²

(1. *The Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;*
2. *Ubei Sui-Yue Superhighway Co. Ltd., Jianli 433300, China*)

Abstract: A'trous algorithm solves the problem of the two sampling algorithm with Mallat and it has the feature that the translation is invariant and that each scale length of the data has the same as the original data's so as to make spectrum analysis on them. In this paper, a'trous wavelet transform algorithm is used, the details of each scale spectrum is analyzed, and then the wavelet transform decomposition level is determined, and besides, a new threshold function as function Garrote threshold is introduced. Finally, the practical seismic data show that wavelet denoising based on a'trous algorithm is effective.

Key words: wavelet transform; algorithm wavelet denoising; A'trous algorithm; Garrote function

1 引言

地震勘探中采集到的信息是有用信号与噪声的总和, 资料处理中首先需要去除噪声。传统的去噪方法是基于 Fourier 变换的频率域滤波^[1], 该

方法假定信号和噪声处在不同的频带, 实际上噪声的频带往往分布在整个频率轴上, 且等幅度, 因此传统的滤波方法有其局限性^[2]。

20 世纪 80 年, 法国地球物理学家 Morlet 引入小波概念, 小波变换是一种多尺度、多分辨率的时频分解方法, 能够展示不同频率范围内信号和

基金项目: 武汉市科技局项目(编号: 20061009134-07)资助。

作者简介: 林永桑(1981—), 男, 硕士研究生, 主要从事地震勘探在工程领域中的研究应用。E-mail: hanruofeng@gmail.com

刘江平(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事地震勘探的教学与研究。E-mail: liujp@cug.edu.cn

噪声的时间分布特征。利用小波变换可以消除地震资料中的各种噪声,刘法启^[3]等结合 $f-k$ 滤波和小波变换进行去噪处理,能有效地消除地震资料中的地滚波、高频干扰,以及其它类型的噪声。宗涛^[4]等将小波包变换的分时分频特性和 $f-x$ 域预测去噪技术结合起夏洪瑞^[5]详细探讨了 Mallat 塔式分解算法,及其利用零通小波变换去噪的方法,实践表明,小波去噪的方法优于非地表一致性去噪方法。后来,提出了小波包 $f-x$ 域前后向预测去噪方法,能较好地抑制叠后地震剖面中的随机噪声。王振国^[6]等提出了基于小波变换的最小二乘光滑去噪法,该方法能有效地去除地震资料中的随机噪声。刘财^[7]等利用二维小波变换技术易于分离信号和噪声的特点,将该技术应用用于东部深层地震资料的处理中,对面波的消除取得了令人满意的结果,提高了深层地震资料的信噪比。陈香朋^[8]等研究了第二代小波变换及其在地震信号去噪中的应用,第二代小波继承了第一代小波的多分辨率特性,运用提升算法而不依赖于 Fourier 变换,其算法实现简单快捷。付燕^[9]在 Donoho 的小波域阈值去噪处理方法基础上,提出了一种基于二次小波变换的地震信号去噪方法,该方法对地震信号进行多尺度小波变换,然后对主要有噪声控制的尺度 1 上的小波系数再进行第二次多尺度小波变换,并将二次小波变换后的尺度 1 上的小波系数置零,将其余尺度上的小波系数重构,最后对处理后地震剖面警醒小波域阈值去噪处理,理论和实际资料处理表明,该方法能提高地震资料的信噪比。

本文在利用多孔算法^[10-12]具有平移不变性及其每个尺度下的数据长度不变等优点,分析了每个尺度的频谱性质。采用基于多孔算法的小波变换去噪,选用 Donoho 的软阈值方法,阈值函数采用 Garrote 函数。通过理论合成记录和实际数据去噪,表明该算法的有效性。

2 多孔算法基本原理及其阈值选择

多孔算法是由 M. Shen^[13]于 1992 年提出的一种利用 Mallat 算法结构计算小波变换的快速算法,因在低通滤波器 $h_0(k)$ 和高通滤波器 $h_1(k)$ 中插入适当数目的零点而得名。它又称非抽取小

波变换,即 undecimated wavelet transform or nonsampled wavelet transform,简写(NSWT)。它适用于 $a=2^j$ 的二分树结构,与 Mallat 算法的电路实现结构相似。

设有尺度函数 $\Phi(t)$ 和小波函数 $\Psi(t)$,尺度函数 $\Phi(t)$ 满足双尺度方程:

$$\frac{1}{2}\Phi\left(\frac{t}{2}\right) = \sum_n h(n)\Phi(t-n) \quad (1)$$

式中, $h(n)$ 为低通滤波器系数。定义 $c^0(t)$ 是信号 $f(t)$ 与尺度函数 $\Phi(t)$ 内积得到 0 尺度下近似序列

$$C^0(t) = \langle f(t), \Phi(t) \rangle > 0 \quad (2)$$

那么 j 尺度下近似序列 $C^j(t)$ 就是 $j-1$ 尺度下近似序列 $C^{j-1}(t)$ 与 $\Phi(t)$ 内积的结果

$$C^j(t) = \langle C^{j-1}(t), \Phi(t) \rangle > 0 \quad (3)$$

由式(1)和式(3)可以得到

$$C^j(t) = \sum_n h(n)^{j-1} \Phi(t+2^j n) \quad (4)$$

再定义小波函数 $\Psi(t)$ 和尺度函数 $\Phi(t)$ 的关系为

$$\frac{1}{2}\Psi\left(\frac{t}{2}\right) = \Phi(t) - \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{t}{2}\right) \quad (5)$$

则 j 尺度下的细节序列 $W^j(t)$ 为 j 与 $j-1$ 尺度间的差异信息,即

$$W^j = C^{j-1}(t) - C^j(t) \quad (6)$$

称 $\{W^1(t), W^2(t), \dots, W^j(t), C^j(t)\}$ 为尺度 J 的小波变换序列, J 为最大分解尺度数。A'Trous 算法重构为

$$C^0(t) = C^j(t) + \sum_{j=1}^J W^j(t) \quad (7)$$

阈值选择:

这里引入一种阈值函数的方法, Garrote 阈值函数^[14],表达式如下:

$$\sigma_\lambda^G(w) = \left(w - \frac{\lambda^2}{w}\right), |w| > \lambda \quad (8)$$

式中 w 表示小波系数, λ 为采用的阈值,为了便于比较, Garrote 阈值函数选取上述估计的固定阈值的方法。

3 仿真算例

3.1 单道合成地震记录去噪

应用多孔算法对合成地震数据进行了去噪处理,采用 sym8 小波。图 1 为合成地震记录及其频谱分析;图 2 是合成记录加上高斯白噪后的含噪信号及其频谱分析;图 3 显示了含噪信号每个

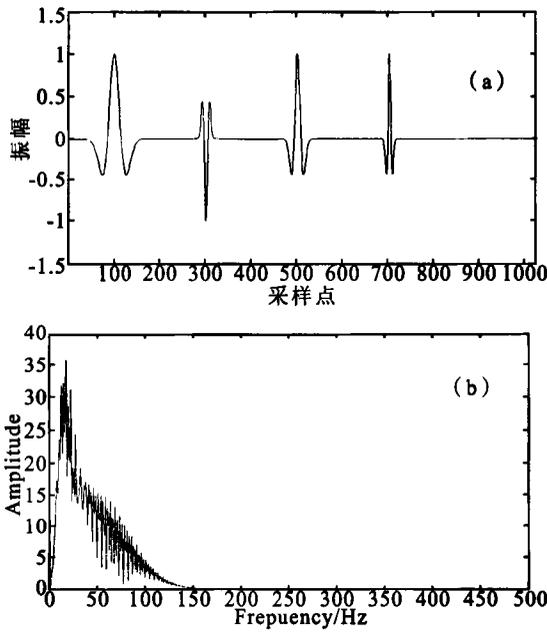


图 1 合成地震记录(a)和频谱分析(b)
Fig. 1 Synthetic seismogram(a)
and spectrum analysis(b)

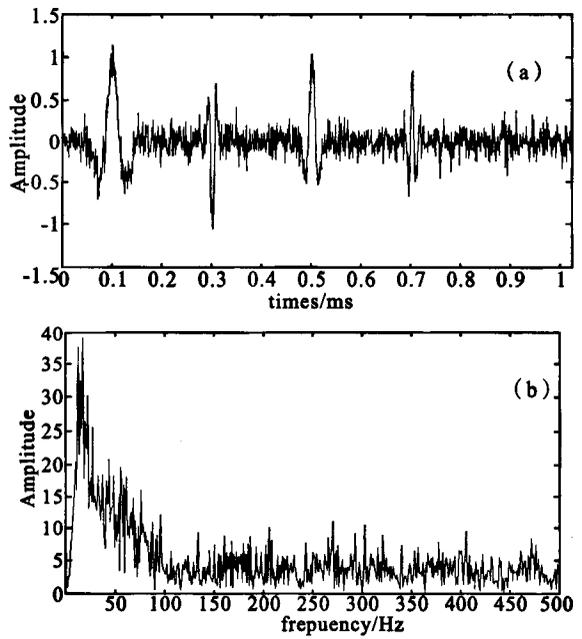


图 2 加上高斯噪声的信号(a)和频谱分析(b)
Fig. 2 Gaussian noise signal(a)
and spectrum analysis(b)

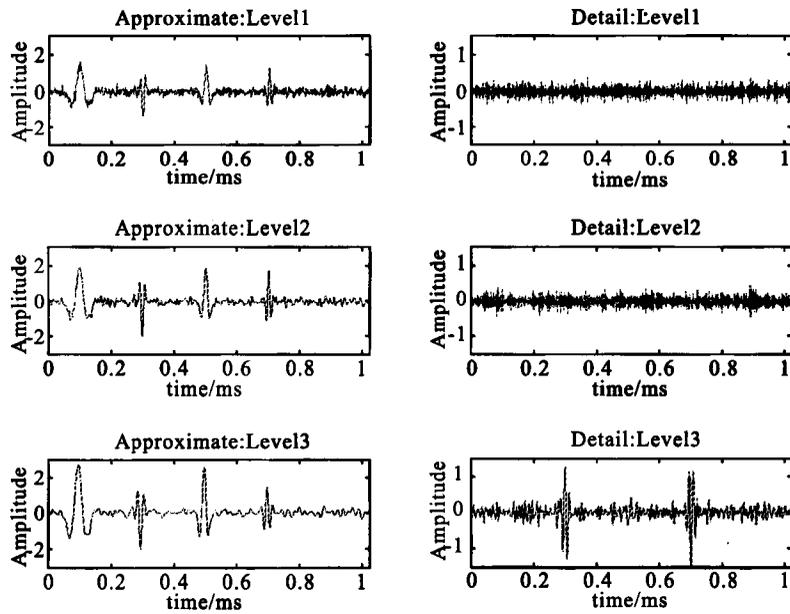


图 3 小波 3 尺度分解,采用的 sym8 小波
Fig. 3 Scale wavelet decomposition with the wavelet sym8

尺度的概貌和细节;图 4 为每个尺度下的细节的频谱分析;图 5 为去噪后的信号及其对应的频谱。以下算法用到的程序^[15~18]都是基于 MATLAB 编制的。

根据图 2 和图 5,含噪合成地震信号的去噪

结果可以看出,去噪后的波形非常接近原始合成信号,随机噪声被有效去除,从频谱分析可以看出,去噪后信号噪声部分的频谱成分被明显削弱,说明算法有很好的去噪效果。

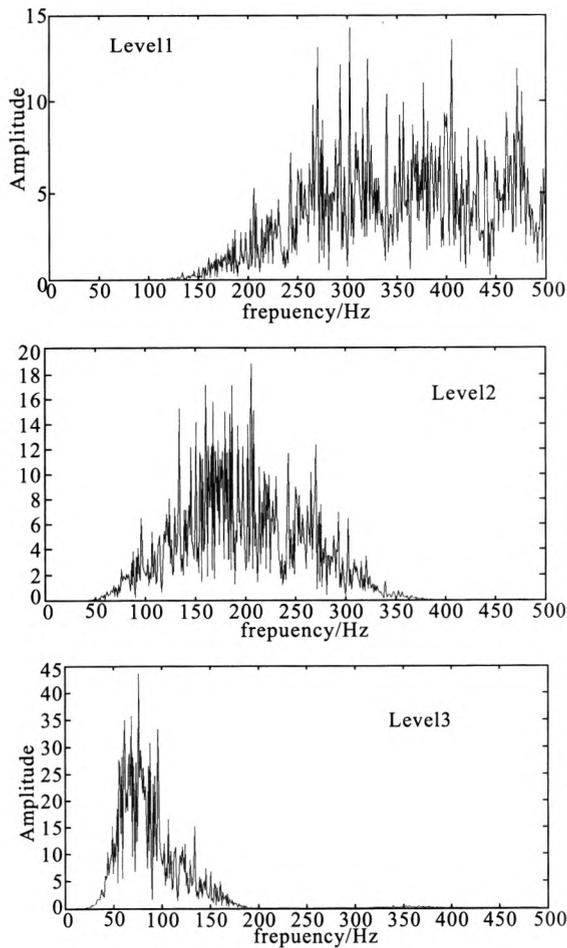


图 4 各个尺度高频系数频谱分析

Fig. 4 Various high-frequency coefficients scale spectrum analysis

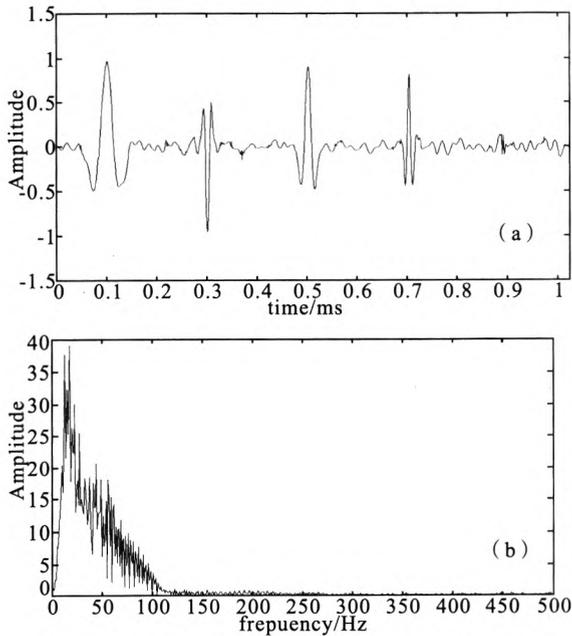


图 5 去噪后重构的信号(a)和频谱分析(b)

Fig. 5 Reconstruction after the signal denoising(a) and spectrum analysis(b)

4 实际记录的去噪效果

在实际的地震数据采集时,有时候干扰噪声是不可避免的,包括规则和规则的干扰波,比如勘查区产生的声波、工业电干扰波等。然而为产生良好的解释资料,必须对采集的数据进行消噪处理^[19~22]。

对某地的实际记录(图 6)进行多孔算法滤波,去噪后的结果见(图 7)。

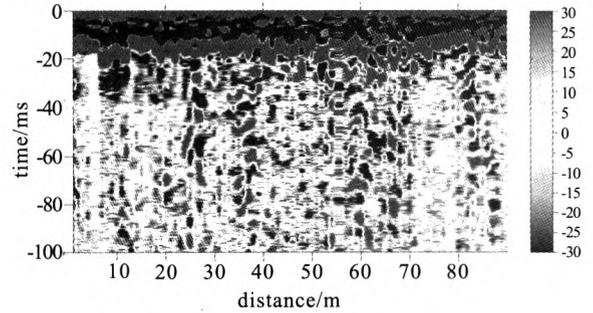


图 6 含噪地震记录

Fig. 6 Noisy seismic records

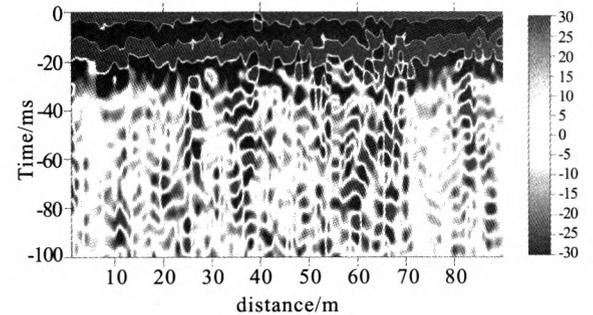


图 7 去噪后的地震记录

Fig. 7 Denoising after the seismic records

对比图 6 和图 7,可以看出,滤波后的数据,随机噪声能得到很好的压制,同相轴更加的清晰。从时间 0~20ms 之间看,毛刺干扰波基本被消除,本来断裂的同相轴在滤波之后能连续起来,波形光滑,剖面质量明显提高。

5 结论和建议

对理论信号,研究了每个尺度下细节的频谱特性,发现小波二频频带,即第一个尺度频谱范围为 250~500Hz,第二个尺度为 125~250Hz,而且噪声基本上都集中在小尺度上。

多孔算法具有平移不变性,这样保证了小波去噪不会改变原信号的相位特性。小波去噪多采用软阈值方法,因为软阈值相对于硬阈值来讲,除了能够有效的去除噪声,而且还能够保护有用信息。采用 Garrote 函数做小波去噪的阈值函数,经过理论和实际数据测试表明,该阈值函数用于地震去噪是可行的。

参考文献:

- [1] Liu Faqi, Nurul Kabir M M and Verschuur DJ. Seismic processing using the wavelet and the Radon transforms[J]. *Journal of Seismic Exploration*, 1995, 4(4): 209~215.
- [2] Nurul Kabir M M, Verschuur DJ. Caseaded application of the linear Radon and the wavelet transform in seismic processing[D]. Expanded Abstracts of 65th SEG Mtg, 1995: 45~51.
- [3] 刘法启, 张关泉. 小波变换与 F-K 算法在滤波中的应用[J]. *石油地球物理勘探*, 1996, 31(6): 782~790.
- [4] 宗涛, 孟鸿鹰, 贾玉兰, 等. 小波包 F-X 域前后向预测去噪[J]. *地球物理学报*, 1998, 41(增): 337~346.
- [5] 夏洪瑞, 朱勇, 周开明. 小波变换及其在去噪中的应用[J]. *地球物理学报*, 1994, 29(3): 274~284.
- [6] 王振国, 周熙襄, 李晶. 基于小波变换的最小光滑滤波去噪[J]. *石油地球物理勘探*, 2002, 37(6): 594~600.
- [7] 刘财, 王典, 杨宝俊, 等. 地球物理学进展[J]. 2003, 18(4): 711~714.
- [8] 陈香朋, 曹思远. 第二代小波变换及其在地震信号去噪中的应用[J]. *石油物探*, 2004, 43(6): 547~550.
- [9] 付燕. 基于二次小波变换的地震信号去噪方法[J]. *石油地球物理勘探*, 2005, 40(2): 154~157.
- [10] 文莉, 刘正士, 葛运建. 小波去噪的几种方法[J]. *合肥工业大学学报*, 2002, 25(2): 167~172.
- [11] 王建中, 赵军, 张晖. 图像边缘提取的小波多孔算法及改进[J]. *武汉理工大学学报*, 2004, 26(1): 76~79.
- [12] Mallat S. Theory for multi-resolution signal decomposition: The wavelet representation[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, 11(7): 674~693.
- [13] Mallat S, Zhong S. Characterization of Signal from Multiscale Edge[J]. *IEEE Trans PAMI*, 1992(7): 710~732.
- [14] 孙延奎. 小波分析及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [15] 胡昌华. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
- [16] 田国华. 小波变换在地震信号分辨处理中的应用[J]. *黑龙江工程学院学报(自然科学版)*, 2005, 19(3): 12~17.
- [17] 高静怀, 汪文秉, 朱光明, 等. 地震资料处理中小波函数的选取研究[J]. *地球物理学报*, 1996, 39(3): 392~341.
- [18] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 8.
- [19] 仲其涛, 王辉, 庞留彦. 利用小波变换提高煤层厚度的分辨能力[J]. *物探化探计算技术*, 2000, 22(4): 326~332.
- [20] 白志信, 金丹峰, 朱光明, 等. 小波变换在煤田高分辨率地震资料处理中的应用研究[J]. *中国煤田地质*, 1996, 8(增): 69~75.
- [21] 高静怀, 朱光明, 汪文秉, 等. 小波变换与地震资料谱白化[J]. *煤田地质与勘探*, 1997, 25(3): 44~52.
- [22] 张采令. 小波变换及其在地震勘探中的应用[M]. *石油物探译丛*, 1994. 12~18.