

小波变换多尺度分析在地震资料 处理中的应用^{*1)}

崔兴福

(中国石油勘探开发研究院地球物理勘探所 北京 100083)

张文生

(中国科学院计算数学与科学工程计算研究所数学与系统科学研究院 北京 100080)

MULTI-RESOLUTION ANALYSIS OF WAVELET TRANSFORM & ITS APPLICATION IN SEISMIC DATA PROCESSING

Cui Xingfu

(*Geophysical Exploration Center, Exploration & Development Research Institute, CNPC,
Beijing 100083*)

Zhang Wensheng

(*Institute of Computational Mathematics and Scientific/Engineering Computing, Academy of
Mathematics and System Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract

For the problems existing in real seismic data processing, such as S/N ratio and resolution, this paper utilizes 2D wavelet transform and multi-resolution analysis to attenuate noise and enhance resolution. Many calculations presented in this paper have shown that the data quality after multi-resolution analysis is improved.

Key words: Wavelet transform, *Mallat* algorithm, Multi-resolution Analysis, Wavelet packet

§1. 引言

小波分析是一种时间-频率域分析方法, 介于纯时间域的方波分析和纯频率域的傅里叶分析之间, 同时具有时间域和频率域的良好局部化性质. 不同频率成份在时域上的取样步长具有调节性, 高频者小, 低频者大. 对于不同尺度成份采用相应粗细的时(空)域取样步长, 能够不断地聚焦到对象的任意微小细节. 本文, 利用小波变换的性质, 在提高地震资料的信噪比和分辨率方面进行数值实验, 取得了良好效果. 有关小波变换的定义、多尺度分析、Mallat

* 2003 年 1 月 18 日收到.

1) 得到国家自然科学基金项目(40004003)和所长基金项目资助.

算法、小波包和二维小波变换等理论为大家所熟知,在此仅说明在石油勘探地震资料处理中的具体应用情况.

在地震资料处理中,一维小波变换是将时序信号分解成不同尺度下的小波系数,根据时间-频率域分析的结果,进行相应的信号加强和噪音压制处理,经过小波变换重构,初步显示了小波变换在地震资料处理中应用的有效性.由于一维小波变换(包括小波包)只是对地震数据做单道处理,没有考虑到地震道之间有效信号的相关性,即横向的规律性,因此对一维小波系数处理比较困难.难以充分发挥小波变换在时间-空间-频率-波数域中局部性的特点,特别是空间-波数域的局部性没有得到充分发挥.二维小波变换是将二维地震数据作为输入,在时间方向和空间方向同时进行分解,将时间-空间域的二维地震数据变换到时间-空间-频率-波数域的四维空间中,相当于对地震数据在二维小波变换后的频率-波数域中进行分解扫描.这样以来,可以根据地震数据在四维空间中有效波和噪音的分布规律,进行时间-空间-频率-波数的多维小波分析,并有针对性地加以处理,之后,进行二维小波变换重构,从而达到提高地震资料处理质量.

§2. 最优小波基选取

针对地震资料的特点,经多次试验,我们采用 Morlet 小波作为实际应用的小波基母函数.小波函数和尺度函数都具有对称性,由于是零相位的,因此在对地震资料进行小波变换后,不会发生改变相位现象.图 1 为单道地震记录的小波分解及小波包时频分析图,从图中可以看到小波变换时频分析的特性.从图中不难看出,小波重构的误差达到可以忽略程度,而且随着尺度号的增大,由各级小波分解系数重构信号的频带逐次向低频方向减半.随着尺度的增大,时间-空间域的分辨率降低,而频率域的分辨率升高,这正是 Mallat 快速算法的特点.

§3. 时间-空间域分频分波数处理以提高地震数据信噪比

图 2 为原始的炮集记录,图 3 为在图 2 上利用小波变换消除面波及声波干扰后的剖面.图 4 为原炮集记录,图 5 为在图 4 上综合压制干扰波后的记录.通过比较可以看到,在小波系数剖面上采用时-空变切除与压制干扰波后,经小波反变换后的地震剖面,其信噪比得到了较大地改善.

§4. 小波变换提高地震资料分辨率

图 6 为 25 米薄层介质的合成记录,图 7 为在图 6 上经小波变换分辨薄层的结果.图 8 为倾斜介质的合成记录,图 9 是在图 8 上经小波变换分辨薄层的结果.从图的对比中可以看出薄层的上下界面及尖灭点的反射位置更加清晰,提高了地震剖面分辨薄层的能力.图 10 为实际处理的叠后偏移剖面,图 11 是在图 10 上进行小波变换综合提高分辨率后的剖面.从图的比较中可以看到,经过小波变换处理后的剖面,其分辨率有了较大提高,拓宽了有效波的频带,达到了提高分辨率的目的.

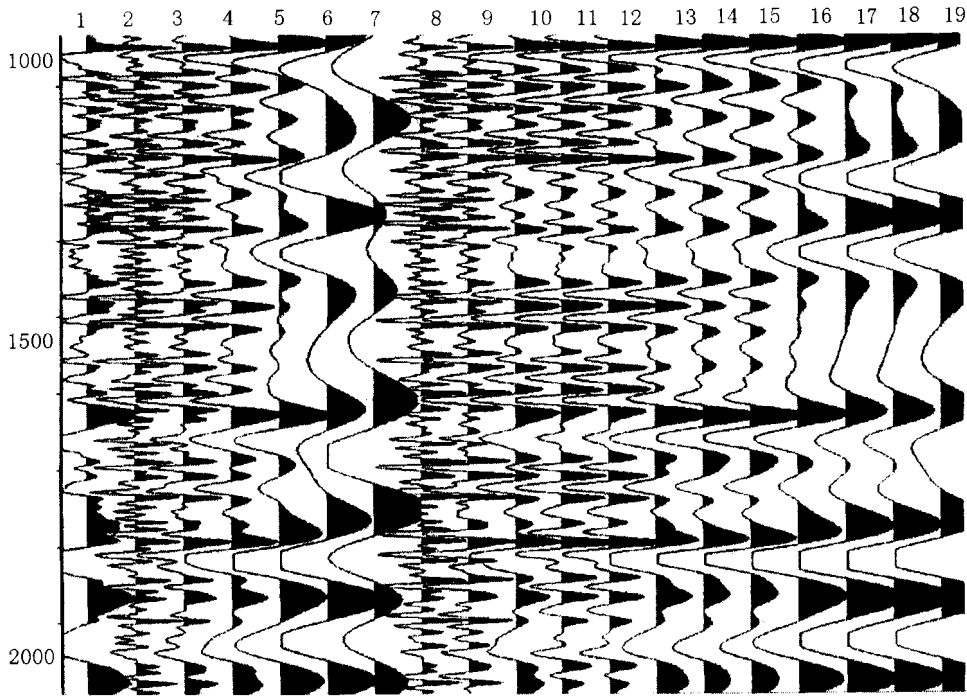


图 1 单道地震记录的小波分解及小波包时频分析图

1. 原道, 2.D₁, 3.D₂, 4.D₃, 5.D₄, 6.D₅, 7.S₅, 8.DD₁(2), 9.DD₂(2), 10.SD₂(2), 11.DD₁(3),
 12.DD₂(3), 13.SD₂(3), 14.DD₁(4), 15.DD₂(4), 16.SD₂(4), 17.DD₁(5), 18.DD₂(2), 19.SD₂(5)

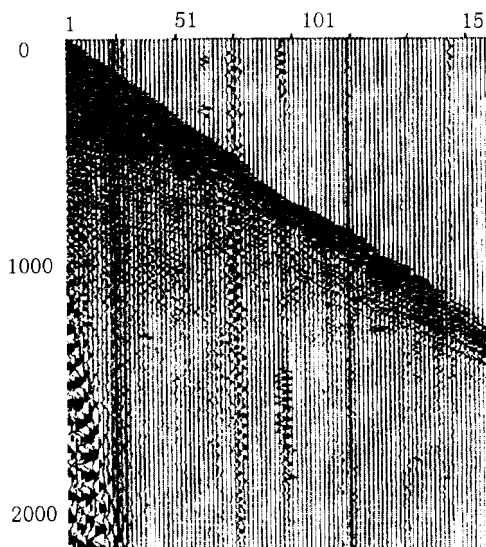


图 2 原炮集记录

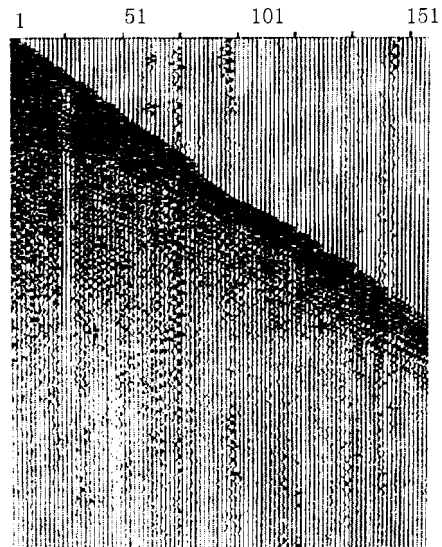


图 3 消除面波及声波干扰

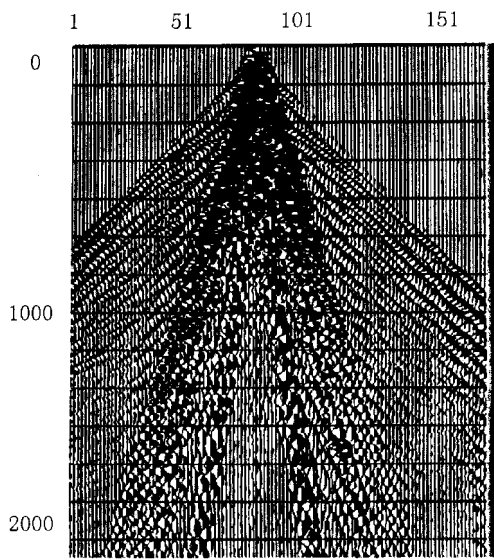


图 4 原炮集记录

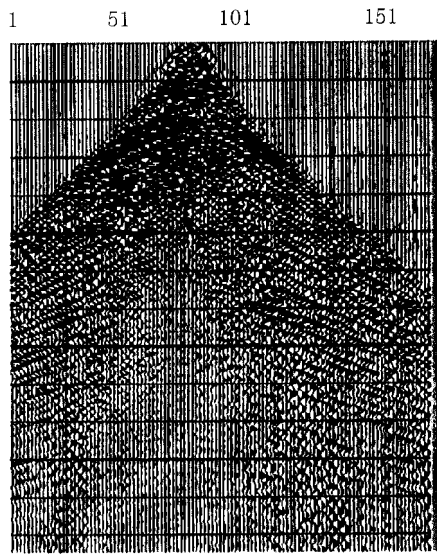


图 5 综合压制干扰波

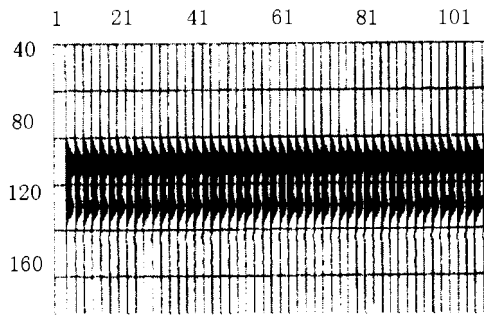


图 6 25 米薄层介质的合成记录

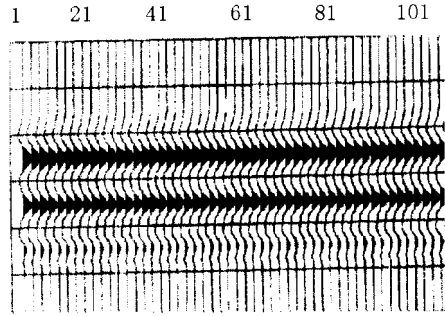


图 7 经小波变换分辨薄层的结果

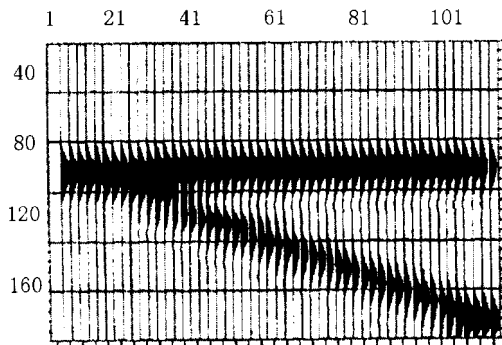


图 8 倾斜介质的合成记录

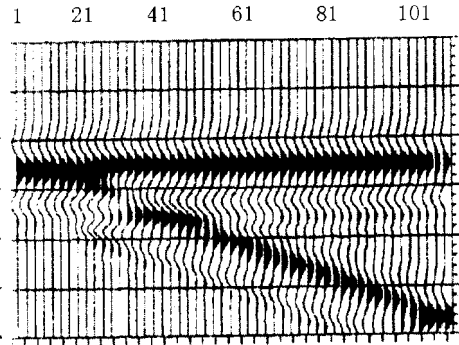


图 9 经小波变换分辨薄层的结果

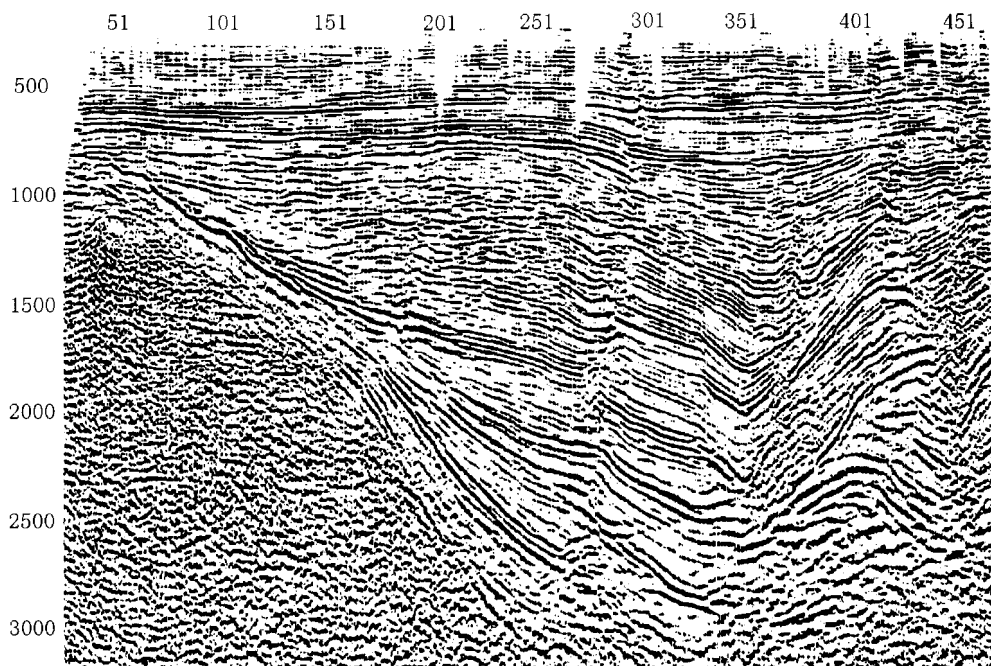


图 10 一叠后偏移剖面

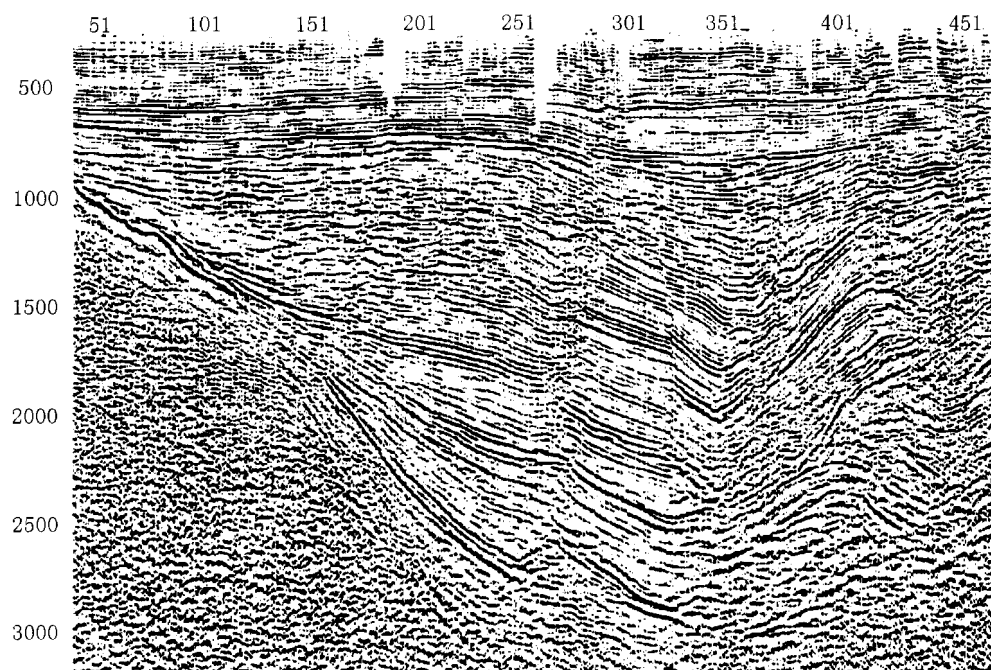


图 11 小波变换提高分辨率后的剖面

§5. 结 论

将小波变换这一数学工具应用于地震资料处理中, 针对目前石油勘探地震资料处理中存在的信噪比和分辨率等方面问题, 通过二维小波变换方法, 做了提高信噪比和分辨率方面尝试, 并取得了明显效果.

参 考 文 献

- [1] 刘贵忠, 邸双亮, 小波分析及其应用, 西安电子科技大学出版社, 1992.
- [2] 秦前清, 杨宗凯, 实用小波分析, 西安电子科技大学出版社, 1994.
- [3] 曹思远, 小波理论在地震资料处理和分形研究中的应用, 博士论文, 1994.
- [4] 李士雄, 小波理论及其应用, 讲义, 1992.
- [5] 夏洪瑞, 朱永, 周开明, 小波变换及其在去噪中的应用, 石油地球物理勘探, Vol.29 (1994), 3.
- [6] Daubechies, I., Orthogonal bases of compactly supported wavelets, Comm. on Pure and Appl. Math. Vol. XLI 909-996, 1988.
- [7] Daubechies, I., The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis, The Trans. on Inform. Th., Vol.36, No.5, Sep. 1990.
- [8] Beylkin, G., Coifman, R., Rokhlin, V., Fast wavelet transform and numerical algorithms. I, Comm. on Pure and Appl.Math., Vol.XLIV, No.2, March 1991.
- [9] Oliver Rioul, Martin Vetterli, Wavelets and signal processing, IEEE, P. 14-35, 1991. 10.
- [10] Jean-Luc Stack, Filtering and deconvolution by the wavelet transform, Elsevier, Signal Processing 35 P.195-211, 1994.