

两种压制随机噪声的滤波方法对比研究

冯兴强¹, 郭建平²

(1. 北京城市学院 人工智能研究所, 北京 100083; 2. 中国地质大学能源学院, 北京 100083)

摘要:介绍了 $f-x-y$ 域预测滤波方法, 提出了基于奇异值分解的三维 $f-x-y$ 域预测滤波方法。该去噪方法是在奇异值分解滤波的基础上进行 $f-x-y$ 域预测滤波, 从而实现频率空间的预测滤波。2 种滤波方法详细的对比研究及理论模型试算的结果表明, 该方法较 $f-x-y$ 域预测滤波能更好地提高地震资料的信噪比, 并有更高的保真度。

关键词: 地震勘探 数据处理 随机噪声 $f-x-y$ 域 奇异值分解滤波

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2006)06-0545-03

当前, 进行勘探的地下地质体的结构和地下岩性信息日益复杂, 因此要想精确地描述勘察目标就必须保证地震剖面有较高的分辨率。而高分辨率处理是以高信噪比为前提的, 因此提高地震资料的信噪比引起了人们的普遍关注。当前国内陆上地震资料所占比例很大, 而且勘探的重点已转向地表条件异常复杂的西部地区。该地区地震资料的信噪比普遍太低, 剖面上的反射波同相轴无法分辨, 因此提高地震资料的信噪比是亟待解决的问题。而要提高信噪比就必然要有效地消除噪声, 为此人们提出了多种去噪方法, 由 Canales 提出的 $f-x$ 域预测滤波(以及其后发展的常规 $f-x-y$ 域预测滤波)技术能较好地消除地震资料中的随机噪声, 提高地震资料的信噪比, 是一种有效的去噪方法。笔者提出了在奇异值分解滤波的基础上进行 $f-x-y$ 域预测滤波压制随机噪声的方法, 并用模型试算的方法对比了 2 种方法的处理效果。结果表明, 奇异值分解 $f-x-y$ 域预测滤波压制在压制噪声能力和有效波的保真度高于常规 $f-x-y$ 域预测滤波。

1 常规 $f-x-y$ 域预测滤波方法

设在 1 个时窗内 $S(t, x)$ 为具有 L 组不同倾角的 N 个地震道组成, 其中每个线性同相轴的波形保持不变, 即频谱保持不变, 这里 $L < N$, 根据这些假设, 可以得到常规 $f-x-y$ 域预测滤波法的目标函数

$$O[(P_{k,l}(f_0))] = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{S_{i,j}(f_0) - \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L [S_{i-k,j-l}(f_0) \times P_{k,l}(f_0)]\}^2 \quad (1)$$

式中, $i=1, N$ 为窗口内 x 方向地震道的道数; $j=1, M$ 为窗口内 y 方向地震道的道数; $j=1, L$ 为 y 方向的预测算子长度; $k=1, H$ 为 x 方向的预测算子长度; $S_{i,j}(f_0)$ 为原始地震数据经傅里叶变换后的频谱; $P_{k,l}(f_0)$ 为 f_0 频率点的预测算子。

通过上式中目标函数优化可以求出每个频率成分预测因子 $P_{k,l}(f_0)$, 进而可进行信号的预测。常规的 $f-x-y$ 域三维预测滤波的步骤如下: 将原始地震数据进行傅里叶变换; 利用共轭梯度算法优化目标函数求出频率点 f_0 处的预测算子 $P_{k,l}(f_0)$; 利用求出的预测算子分频率进行预测滤波; 将预测滤波结果进行反傅里叶变换即可。

2 基本思路和流程

众所周知, 奇异值分解滤波是通过信号和噪声奇异值分布的差异来进行的。正是基于此点, 笔者首先利用奇异值分解滤波来处理原始地震资料, 在处理结果的基础上, 再使用三维 $f-x-y$ 域预测滤波方法来进行处理。这样就可以保证在一定的信噪比下应用 $f-x-y$ 域预测滤波方法, 使得在去噪过程中尽可能利用来自地层的地震信号, 从而消除随机噪声对预测结果的影响。

奇异值分解滤波的关键是选择多少个本征图像来进行重构, 如果选择的本征图像数目过少, 那么就会使信号受到损失, 如选择的本征图像过多, 那么噪声就不能被很好地消除。怎样才能选择合适数目的本征图像来进行地震记录的重构呢? 笔者利用模型的奇异值与能量、信噪比的关系来选择参与重构的本征图像数目。

该方法的基本流程如下。

- (1) 选取需要处理的 $N \times M$ 道三维地震数据, 同时对该数据体进行傅氏变换;
- (2) 针对每一频率, 将每道在该频率点上的数值组成 $N \times M$ 阶矩阵 X ;
- (3) 对矩阵进行奇异值分解, 同时利用上述方法选取前 k 个本征图像利用式(2)来重构矩阵;
- (4) 用重构矩阵 X 的每个元素来代替每道的数值;
- (5) 进行 2~4 步循环直到所有频率执行完毕;
- (6) 利用三维 f - x - y 域预测滤波方法来进行处理, 然后进行反傅氏变换即可。

3 2 种方法的滤波效果对比研究

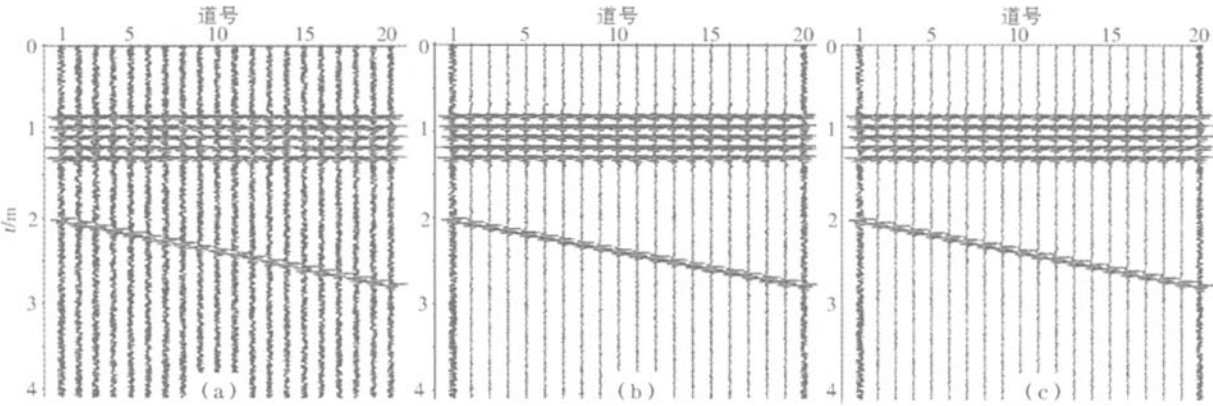
根据此方法原理和实现步骤, 编制了相应的滤波处理模块 SVD-FXYRNA。为了验证方法的有效性, 选定了 2 套模型, 分别用常规 f - x - y 域预测滤波方法和此方法进行处理, 结果表明, 此方法的去噪效果明显优于常规预测方法, 同时有效地保持了信号

的振幅和连续性, 假同相轴也被很好地压制。

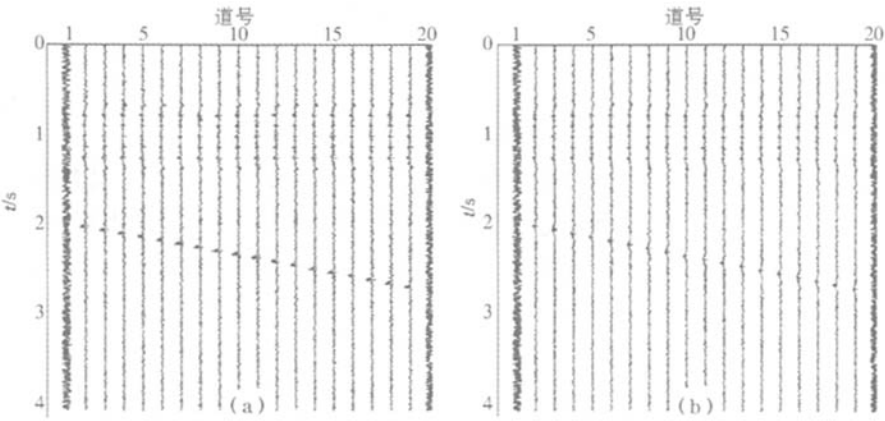
3.1 模型 1

本模型为三维地震数据模型。该数据体包括 20×20 道地震记录(图 1a)。为了便于显示, 以纵向第 7 线来进行说明。此地震剖面具有 5 个水平同相轴, 一个倾斜同相轴, 原始信噪比为 1.27。图 1b 是利用常规 f - x - y 域预测滤波方法处理后的结果, 图 1c 是利用本方法处理后的地震剖面。从整条地震剖面上来看, 它比常规方法去除噪声的能力强, 实际计算表明, 2 种方法的计算效率基本相当, 但用常规方法处理后的地震剖面的信噪比为 8.24, 用本方法处理后的地震剖面的信噪比为 12.22, 此方法能更好地提高地震资料的信噪比。

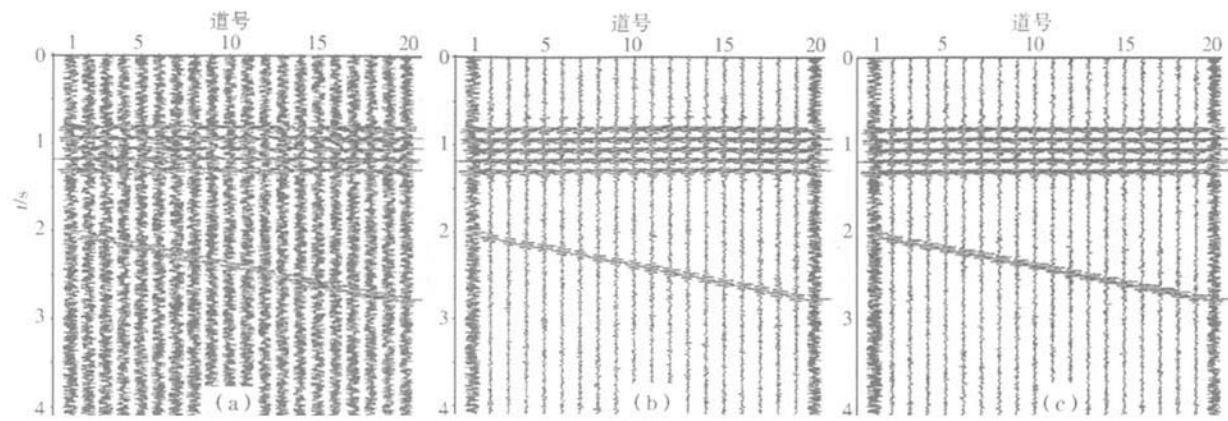
为了更直观地对比 2 种方法压制噪声、保持信号振幅的效果, 我们制作了 2 种方法消除噪声后的数据与有效信号数据之间的差异剖面(图 2), 从 2 个剖面中可以看出本方法处理后的剩余噪声比常规方法少, 同时用常规方法去除的有效信号强度明显比本方法强, 也就是说本方法的信号保真度高。



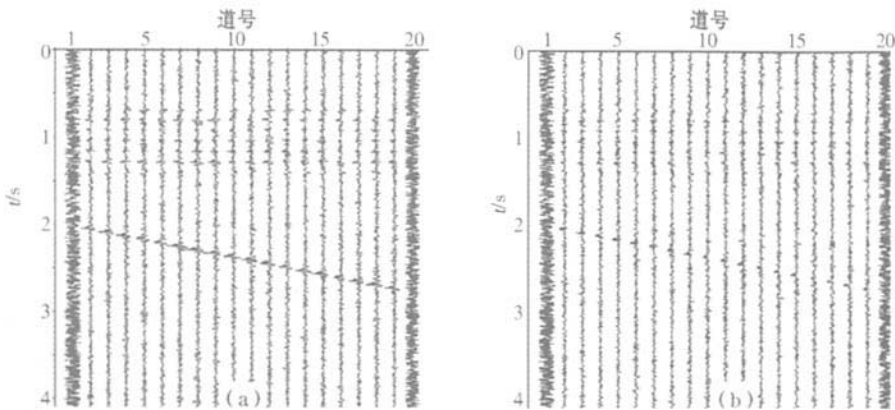
a—模型 1 b—常规 f - x - y 域预测滤波法 c—奇异值分解三维 f - x - y 域预测滤波法
图 1 模型 1 及不同处理方法处理后的结果



a—常规 f - x - y 域预测滤波法 b—奇异值分解三维 f - x - y 域预测滤波法
图 2 模型 1 不同处理方法得到的差异剖面



a—模型 2 b—常规 $f-x-y$ 域预测滤波法 c—奇异值分解三维 $f-x-y$ 域预测滤波法
图 3 信噪比为 0.22 的原始模型 2 及不同处理方法处理后的结果



a—常规 $f-x-y$ 域预测滤波法 b—奇异值分解三维 $f-x-y$ 域预测滤波法
图 4 模型 2 不同处理方法得到的差异剖面

3.2 模型 2

为了验证对低信噪比资料处理的有效性,选用了信噪比为 0.22 的数据模型来进行实验。该模型与模型 1 基本相同,只是信噪比更低。图 3a 为此模型示意。经过常规预测滤波方法处理后,地震记录的信噪比有所提高,为 1.67(图 3b)。图 3c 是利用本方法来处理该模型的结果,结果表明该方法能有效地消除噪声,经计算得到处理后地震记录的信噪比达到 2.28,同时假象也得到很好地压制。图 4 是利用 2 种方法处理的差异剖面,从 2 个剖面上可以清楚地看出用常规方法去除的地震信号强度大,也就是说本方法的保真度要明显优于常规方法。

4 结论

基于奇异值分解的三维 $f-x-y$ 域预测滤波方法是一种有效去除随机噪声的方法。通过理论模型试算表明它的应用效果明显优于常规的预测滤波方

法,该方法可以有效地去除随机噪声、提高地震资料的信噪比,并能保证有效波由更高的保真度,这尤其体现在低信噪比数据上。

参考文献:

[1] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京:石油工业出版社, 1993.
[2] Canales L L. Random noise reduction[A]. Presented at the 54th SEG Mtg[C]. Tulsa SEG. 1984 525.
[3] 国九英,周兴元,杨慧珠. 三维 $f-x-y$ 域随机噪声衰减[J]. 石油地球物理勘探,1995,30(2) 207.
[4] 钟本善,何昌礼,杨忠民. 复杂构造地区的 SVD 去噪技术[J]. 成都理工学院学报,2000,27(1) 93.
[5] 陈遵德,段关友,朱广生 SVD 滤波方法的改进及应用[J]. 石油地球物理勘探,1994,29(6) 783.
[6] 冯兴强,杨长春,龙志伟. 基于奇异值分解的 $f-x-y$ 域滤波方法[J]. 物探与化探,2005,29(2) 171.

THE GROUND PENETRATING RADAR DIGITAL
CAD VECTORGRAPH BY MEANS OF VC

ZHANG Bao-song,LIU Qing-cheng,WU Xin-min,QIU Guo-qing,HAO Hong-lei,
(East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

Abstract :This paper describes the processing result by GPR software. Through reading and displaying data, setting the output parameters and exporting to DXF files, the CAD vectorgraph can be realized. The paper puts up a method for replacing the bitmap by vectorgraph, thus overcoming the troubles such as the GPR bitmap distortion and the difficulty in quoting.

Key words :ground penetrating radar ;bitmap ;vectorgraph ;CAD

作者简介 :张宝松(1981 –),男,江苏泗阳人,东华理工学院探测系硕士研究生,主要从事于物探数据处理研究。



上接 547 页

THE RESEARCH ABOUT TWO FILTERING METHODS OF
ELIMINATING RANDOM NOISE

FENG Xing-qiang¹,GUO Jian-ping²

(1. Artificial Intelligence Institute,Beijing City University,Beijing 100083,China ;2. China Univesity of Geosciences,Beijing 100083,China)

Abstract :We introduce the prediction filtering method in f - x - y domain. The prediction filtering method using singular value decomposition in f - x - y domain has been put forward in this paper. The f - x - y prediction filtering can be applied after the SVD filtering. Thus the prediction filtering is carried out in f - x - y domain. Finally we compare the routine prediction filtering method with the prediction filtering method using singular value decomposition. The theoretical modeling results show that the method can more effectively increase the signal/noise ratio than the routine method. And it can maintain the continuity of effective events.

Key words :seismic exploration ;data processing ;random noise ; f - x - y domain ;prediction filtering

作者简介 :冯兴强(1975 –),男,河南省南阳人,博士,现在从事资料处理和方法研究工作,公开发表学术论文数篇。