

小波降噪方法在地震信号处理中的应用

李英¹, 张淑贞¹, 许康生²

(1. 甘肃省地震局兰州观象台, 甘肃 兰州 730046; 2. 甘肃省地震局监测中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要:采用小波多分辨率分解降噪方法对理论信号和兰州台地震观测信号进行了处理, 结果表明小波多分辨率分解降噪方法较好地保持了原信号的特性。信噪比提高了 11.6 ~ 55.6 dB, 平均 29 dB, 降噪效果良好, 可应用于台站日常的震相分析识别及其它研究目的降噪处理。

关键词:小波; 多分辨率分析; 降噪; 兰州台

中图分类号: P315.61 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)02-0159-04

Application of Wavelet Transfer in Seismic Signal Denoise

LI Ying¹, ZHANG Shu-zhen¹, XU Kang-sheng²

(1. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou Station, Lanzhou 730046, China;

2. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In this paper, the method of wavelet multiresolution analysis denoise is applicated in seismic signals recorded in Lanzhou Station. The results show that signal noise ratio of seismic data increase 11.6 ~ 55.6 dB, average 29 dB, and the original signal property is kept well. It is effective and reliable that applicats it in seismic signal denoise.

Key words: Wavelet; Multiresolution analysis; Denoise; Lanzhou station

0 引言

宽频带、高灵敏度、大动态范围的数字地震仪应用于地震观测具有里程碑式的意义。数字观测系统在高性能拾取和记录地震信号的同时也“高性能”地拾取和记录了背景噪声, 因此在资料使用时如何进行降噪处理已成为急需解决的问题。对于资料处理中的不同目的和侧重点, 降噪处理方法也应该不同。本项研究的目的是寻求一种降噪方法, 使得信号在处理之后能够很好地保留原信号的时间信息、频率信息, 同时具有极小或较小的振幅误差、相位偏移。

在数字信号处理方面傅氏变换一直是常用的方法。由于傅氏变换是把信号从时域完全变换到频域进行分析, 计算过程丢失了时域的全部信息。这在处理平稳信号时没有问题, 但在处理非平稳信号时, 因丢失了时间这一重要信息, 应用受到很大的限制。短时傅氏变换引入了“窗”的概念, 在窗内体现频率

信息, 在窗之间体现频率随时间变化的信息, 相对于傅氏变换这是一个重要的进步和发展。但是, 由于这个窗口一旦确定后在整个处理过程中是不变的, 由测不准原理可知, 无论采用任何函数作为窗函数, 都不可能在时间和频率两个空间同时以任意精度逼近原信号, 也就是说, 这个处理结果是在时间分辨率和频率分辨率都作出一定的牺牲后得出的结果。1980年, 理论物理学家 A. Grossman 和地质物理学家 J. Morlet 在前人工作的基础上第一次给出了小波的定义。和傅氏变换将信号分解为一系列相互正交的正弦波相比, 小波变换是将信号看作一系列小波函数的叠加; 傅氏变换的基函数是规则不变的, 而小波变换的基函数是随信号变化的, 犹如一架显微镜通过调节焦距来观察不同尺度的目标物结构, 无疑小波变换更利于对非平稳信号的分析。1986年法国数学家 Y. Meyer 提出了二进制标准正交小波

收稿日期: 2005-07-12

基金项目: “十五”国家科技攻关项目(2004BA601B); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20050039

作者简介: 李英(1972-), 女(汉族), 辽宁沈阳人, 工程师, 从事地震监测工作。

基,使小波的应用得到了较大的发展;1988年法国数字图像处理专家 S. Mallat 在此基础上,提出了多分辨率分析(Multiresolution Analysis)的概念,并给出了小波变换的快速算法—Mallat 算法,对小波变换由理论向应用作出了重要推进,其作用和影响力不亚于傅氏变换中的 FFT。本文就是采用 symlets 小波族对信号进行多分辨率分析,以达到对地震记录信号降噪的目的。

1 数学试验

本研究考虑到所处理的信号主要针对近震记录和远震的体波这一频段,所以只在 8 个尺度上进行多分辨率分解,重构信号的频率范围是 0.1 ~ 20 Hz,满足宽频带仪器记录的近震和远震体波的频带范围要求。从地震记录背景噪声中提取阈值,采用软阈值降噪方法处理,最后进行信号重构。由于 symlets 小波族是在 Daubechies 小波族的基础上改进而成的,既保持了 Daubechies 小波族的简单性,同时又提高了小波的对称性,可以减小信号重构时的

相移,所以选用 symlets 小波进行计算处理。

首先,我们通过数学实验考察这种处理方法的降噪效果和处理误差。构造一个含随机噪声的单频正弦波信号(频率为 1 Hz),进行多分辨率分解降噪,信号重构结果对比如图 1 所示。

计算表明,处理后信号比含噪信号信噪比(SNR)提高了 31.8 dB,并较好地保留了原信号的幅频特性。

2 实际处理

我们选取了兰州台 2004 年 161 例地震的记录进行处理。兰州台使用的是甚宽带地震计,在 120 s 至 20 Hz 频率范围内速度平坦,24 位数据采集器,动态范围 134 dB。处理结果如表 1 所示,表中最后一列为降噪处理前后信噪比值(SNR)的提高量。

图 2(a)给出了一个震例(事件 06024004.7 序号 108)分别采用小波降噪和 Butterworths 滤波处理。Butterworths 滤波器设为 3 阶滤波,通带范围

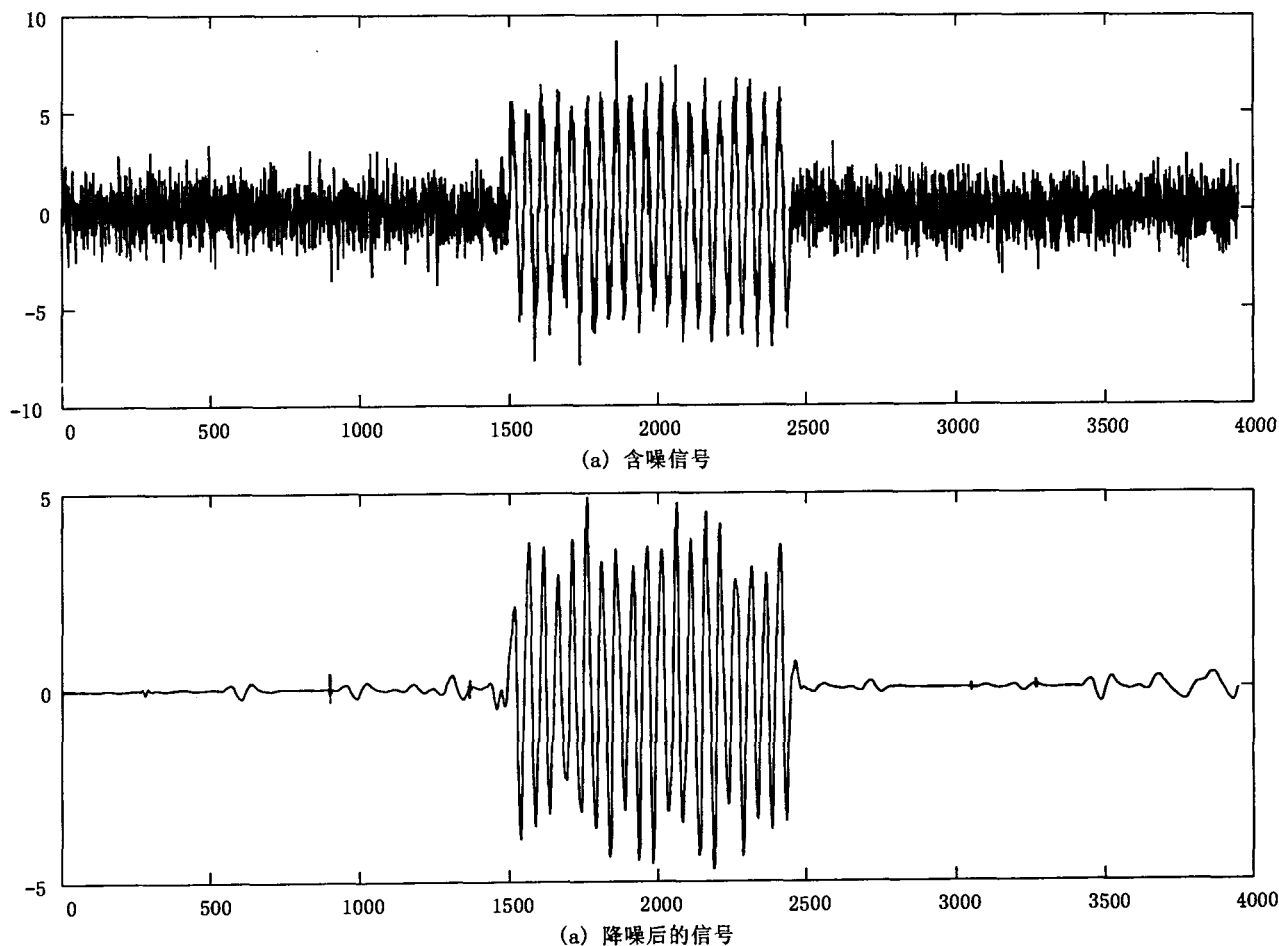


图 1 含噪正弦信号与降噪后波形对比

Fig. 1 Comparison between waveforms of the SIN signal with noise and that after denoise.

表1 兰州台地震记录降噪处理结果

序号	日期	事件	SNR/dB	序号	日期	事件	SNR/dB	序号	日期	事件	SNR/dB
1	2004-01	2122750.4	45.854	7	2004-05	29162942.5	27.211	2	2004-10	6035653.1	24.737
2	2004-01	2160216.3	16.636	9	2004-05	31090528.5	16.834	6	2004-10	7084322.0	24.333
3	2004-01	3135138.0	33.246	5	2004-06	3131139.1	35.588	7	2004-10	9171035.4	24.020
4	2004-01	7043952.5	27.390	6	2004-06	5015247.6	28.138	6	2004-10	12114509.0	29.863
5	2004-01	9022022.3	24.310	8	2004-06	5042413.0	28.890	6	2004-10	14090331.5	33.741
6	2004-01	11032632.5	16.620	6	2004-06	5061550.4	34.945	2	2004-10	15011916.2	22.066
7	2004-01	16181005.5	30.203	7	2004-06	6211016.3	32.131	2	2004-10	16084230.4	22.099
8	2004-01	22031322.3	19.822	6	2004-06	8112434.2	35.110	3	2004-10	21170342.6	22.933
9	2004-01	23133552.9	23.317	6	2004-06	10031224.2	25.726	3	2004-10	25095033.8	32.958
10	2004-01	25183341.4	32.643	1	2004-06	10110815.6	14.351	5	2004-10	25200928.4	38.605
11	2004-01	31222506.0	19.916	1	2004-06	15123127.0	27.887	3	2004-10	26082419.7	26.873
12	2004-02	1093614.9	22.352	4	2004-06	16092356.4	28.424	7	2004-10	26131426.8	28.643
13	2004-02	1095154.1	45.542	6	2004-06	16212155.5	29.173	6	2004-11	2020436.9	32.754
14	2004-02	7033956.5	19.500	1	2004-06	17141248.9	21.829	9	2004-11	7192441.9	38.424
15	2004-02	8040840.7	25.567	5	2004-06	22203524.1	38.806	5	2004-11	8113321.4	23.763
16	2004-02	8171051.5	21.591	8	2004-06	24021017.0	36.057	8	2004-11	8161429.6	26.756
17	2004-02	9120333.8	18.595	6	2004-06	24034319.0	27.576	2	2004-11	8193306.2	34.28
18	2004-02	13033406.5	33.885	7	2004-06	24154802.1	32.879	1	2004-11	12122431.1	25.147
19	2004-02	13223830.1	22.246	6	2004-06	2802017.7	31.578	8	2004-11	12125347.5	29.688
20	2004-02	14021302.3	22.815	5	2004-07	4090425.7	33.992	1	2004-11	12213452.7	20.163
21	2004-02	16151618.8	23.399	3	2004-07	6172313.1	22.720	5	2004-11	13112033.0	18.934
22	2004-02	19003151.5	35.226	6	2004-07	9101241.1	29.304	2	2004-11	13122454.2	55.625
23	2004-02	21003002.8	16.016	7	2004-07	10210017.1	26.536	2	2004-11	18033459.1	25.692
24	2004-02	23073641.5	21.304	7	2004-07	11204401.5	40.922	1	2004-11	21151101.6	15.964
25	2004-02	23182848.0	20.443	4	2004-07	14093642.0	37.074	5	2004-11	21175534.8	37.369
26	2004-02	26114158.0	19.129	8	2004-07	16211546.5	48.590	4	2004-11	22054401.4	23.439
27	2004-03	1181813.9	27.401	6	2004-07	18012334.0	44.092	4	2004-11	24154555.6	45.506
28	2004-03	2124116.1	29.157	4	2004-07	19120117.6	21.187	3	2004-11	29144349.0	21.757
29	2004-03	3195330.4	26.688	1	2004-07	21232246.4	32.252	1	2004-11	29151517.4	30.943
30	2004-03	7000040.8	26.527	16	2004-07	22043548.2	31.337	8	2004-12	1103217.5	28.611
31	2004-03	7230652.6	30.912	2	2004-07	22054405.7	24.705	4	2004-12	4204313.5	26.296
32	2004-03	17112242.7	33.427	9	2004-08	6055446.1	35.746	3	2004-12	5155037.8	33.500
33	2004-03	17130135.8	34.783	5	2004-08	8200731.0	35.027	7	2004-12	6164728.1	27.378
34	2004-03	18084921.1	38.341	7	2004-08	9112823.6	30.231	2	2004-12	7054900.8	19.595
35	2004-03	25173444.9	30.435	7	2004-08	11165717.1	28.354	3	2004-12	7183815.3	36.620
36	2004-03	27125516.5	21.344	9	2004-08	30203352.2	34.381	5	2004-12	7190746.0	36.408
37	2004-05	2100315.0	37.320	4	2004-09	7152357.2	24.322	2	2004-12	7193815.3	35.958
38	2004-05	2200410.2	29.425	7	2004-09	7201142.0	11.619	146	2004-12	9115135.4	32.636
39	2004-05	4180135.1	19.225	7	2004-09	7201613.8	20.417	4	2004-12	10043357.6	20.423
40	2004-05	5120609.9	33.273	5	2004-09	12142818.9	20.530	2	2004-12	10124321.2	24.545
41	2004-05	5174619.7	20.586	2	2004-09	12164217.2	31.235	7	2004-12	11172703.6	38.391
42	2004-05	6002431.9	34.709	8	2004-09	19204804.5	22.878	9	2004-12	11233835.0	43.777
43	2004-05	6022947.1	20.488	3	2004-09	20232341.2	32.826	4	2004-12	12133230.8	23.990
44	2004-05	6130631.9	34.362	8	2004-09	21195327.3	45.721	2	2004-12	15053904.6	29.996
45	2004-05	8072435.8	27.492	4	2004-09	23090119.2	31.365	7	2004-12	15223239.0	37.907
46	2004-05	13030210.0	33.750	7	2004-09	24002743.3	26.028	7	2004-12	16040615.5	39.878
47	2004-05	13195650.0	38.056	7	2004-09	29014714	23.804	155	2004-12	16102237.5	29.609
48	2004-05	14203946.5	32.577	102	2004-10	2101144.8	29.924	156	2004-12	20202111.0	43.296
49	2004-05	18230418.0	19.015	2	2004-10	4074253.0	36.559	4	2004-12	25121617.5	23.136
50	2004-05	22051253.1	26.991	6	2004-10	4111243.8	33.725	3	2004-12	25184218.6	35.504
51	2004-05	25083221.2	28.596	2	2004-10	4111454.0	11.656	159	2004-12	27022106.9	47.149
52	2004-05	27021214.0	23.220	3	2004-10	4185803.8	27.79	160	2004-12	28114825.2	25.063
53	2004-05	28065331.8	26.396	3	2004-10	4210845.4	46.036	8	2004-12	28163417.3	31.121
54	2004-05	28195248.5	14.870	8	2004-10	6024004.7	22.378	9			

0.1~20 Hz。图形所示原始波形受噪声干扰较大,波形几乎被噪声淹没,分析困难。处理后信噪比提高22.4 dB,这是一个近震记录,波形初动清晰;Butterworth滤波效果不明显。

图2(b)(事件04074253.0序号103)显示:小波降噪处理后信噪比提高36.5 dB,判定为一个工业爆破,富含高频成分的体波清晰可见,爆破所激发

的面波也清楚凸现;Butterworths滤波效果不明显且对爆破信号的振幅有明显抑制。

由图2(c)(事件09222022序号5)可见,这是一个远震P波段和一个近震的叠加,远震初动清楚,近震各震相清晰可辨,小波处理后信噪比提高24.3 dB。

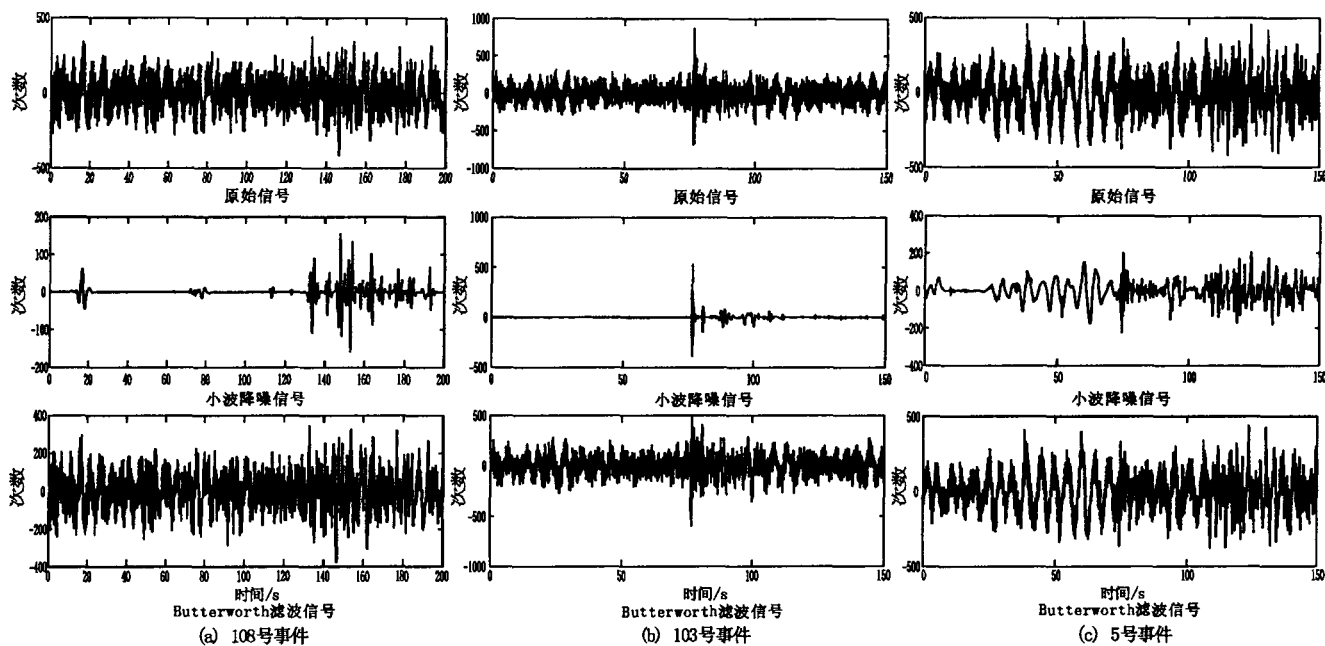


图2 兰州台事件记录处理前后的波形对比

Fig. 2 The comparison waveforms before and after denoise for events recorded by at Lanzhou station.

3 结果与讨论

(1) 对正弦信号降噪处理结果表明,小波多分辨率分解降噪较好地保持了原信号的幅频特性。

(2) 对兰州台161例地震记录的降噪处理结果的统计表明,信噪比提高的范围在11.6~55.6 dB之间,与Butterworth滤波相比较信噪比明显提高,具有较好的降噪效果。

(3) 由于小波多分辨率分解降噪,对噪声段数据的截取有一定的依赖性,如果噪声段截取太短,可能影响到对低频段噪声的去除。

(4) 在具体应用时可根据所关注的频段范围,选择在不同的尺度上对信号进行分解和重构。

(5) 此种方法操作简单,对于台站日常的震相分析识别及其它研究目的的降噪都有实际意义。特别

是从背景噪声中提取台站周围地区的微破裂或微地震,具有实际的应用效果。

[参考文献]

- [1] 董长虹. Matlab小波分析工具箱原理与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.1-8.
- [2] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2000.1-16.
- [3] 杨福生. 小波变换的工程分析和应用[M]. 北京:科学出版社,2000.1,42-68.
- [4] 许康生. 地震信号的时-频分析[J]. 西北地震学报,2000,22(4):479-482.
- [5] 刘希强,沈萍,山长仑,等. 数字化波形资料的时频分析方法及应用[J]. 西北地震学报,2004,26(2):118-125.
- [6] 刘希强,周蕙兰,李红. 基于小波变换的地震数据时频分析[J]. 西北地震学报,2000,22(2):143-146.