文章编号: 1006-544X (2006) 04-0521-04

基于平移不变的变形监测数据小波变换去噪处理

何永红,文鸿雁,刘 斌

(桂林工学院 土木工程系, 广西 桂林 541004)

摘 要:将实际观测到的一组烟囱垂直位移监测数据作为通常意义下的时序信号,并对其进行小波变换分析.利用基于平移不变的快速小波去噪算法,对变形监测数据进行去噪处理,对模拟数据和实测数据的处理结果表明,基于平移不变的去噪方法与传统的阈值去噪方法相比,能有效地去除伪吉布斯现象,提高信噪比,剔出变形监测数据中的噪声,识别被噪声湮没的有用信号.

关键词:小波变换;变形监测;平移不变

中图分类号: P207; TU196.1

文献标志码: A

噪声对信号的分析、处理影响很大,寻找好的去噪方法是信号处理中的重要内容. 在实际工程中,所得到的信号多为非平稳信号,采用传统滤波方式不能有效地将信号高频和由噪声引起的高频干扰加以区分. 由于小波变换具有低熵性、多分辨率、去相关性和选基灵活性的特点,使得小波变换能在小波域很好地实现信噪分离. 继 Mallat 提出信号的模极大值消噪后,Donoho 等人提出了小波阈值消噪法,此后对此不断改进. 其中平移不变小波去噪方法是在 Donoho 阈值法基础上的改进[1].

1 基本原理

1.1 小波变换去噪的基本理论

利用小波分析去噪,即是在不同尺度下进行小波变换,其实质就是用不同中心频率的带通滤波器对信号进行滤波,把那些主要反映噪声性质的成分去掉,即可得到质量较好的观测数据^[2].

Mallat 在构造正交小波基时提出了多分辨分析的概念,并给出了正交小波变换的快速算法,即Mallat 算法. 根据多分辨分析的理论,信号的小波变化不涉及小波函数的具体形式,只通过一对共轭镜像滤波器卷积而得到. 设信号函数为 f(x),首先将信号 f(x) 分为低频部分和高频部分,低频部

分代表了信号的主要特征,再对低频部分进行相似运算,依次进行到需要的尺度.在尺度 *j* 下信号的低频部分和高频部分分解过程如下

$$A_{j}^{d} f = \sum_{k} h(k-2n) A_{j+1}^{d} f,$$

$$D^{j} f = \sum_{k} g(k-2n) A_{j+1}^{d} f.$$
(1)

原始信号最终将被分解为

$$f(x) = A_0^d f = A_{-i}^d f + \sum_{i=-l}^{-1} D_i f.$$
 (2)

由 A_j^d 和 D_j 可重构,即

$$A_{j+1}^{d} f = \sum_{i} h(n-2k) A_{j}^{d} f + \sum_{i} g(n-2k) D_{j} f.$$
 (3)

分解之后,可根据有用信号和噪声在时频域 上的不同特征,将代表噪声的的那部分小波变换 系数去掉,再按经过处理后的小波系数使用 Mallat 重建算法得到去噪后的信号.

用这一方法去噪的基本步骤如下[3]:

- 1) 计算含噪信号的正交小波变换. 选择合适的小波和小波分解层次 j, 将含噪信号运用式(1) 将小波分解至 j 层, 得到相应的小波分解系数.
- 2)对分解所得到的小波系数进行阈值处理. 阈值处理的方法有两种:一种是硬阈值法,即把含噪信号的绝对值与所选定的阈值进行比较,小于等于阈值的点变为0,大于阈值的点保持不变;另

收稿日期: 2006-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40574002);广西自然科学基金资助项目(0339072);广西研究生教育创新计划资助项目(006502021)

作者简介:何永红(1978-),女,硕士研究生,研究方向:变形监测数据处理.

通讯作者: 文鸿雁, 博士, 教授, E-mail: why@ glite. edu. cn

一种方法是软阈值法,也即将含噪信号的绝对值与所选定的阈值进行比较,小于等于阈值的点变为0,大于阈值的点变为该点值与阈值的差值,符号取原来信号的符号.

3)进行小波逆变换.利用公式(3)对经阈值处理过的小波系数进行重构,得到原始信号的估计值.

1.2 平移不变量去噪的基本理论

虽然阈值法是一种简单有效的方法,但在小波去噪过程中,会产生伪吉布斯现象。由于信号中存在突变点,人为振荡现象主要表现在信号突变点的附近。在奇异点的邻域内,重构信号在该处会出现较大的上、下峰值。这些峰值并不是原信号固有的,且由于正交小波基是由基本小波函数经伸缩与平移得到的函数集,其中的平移是非一致取样,而且随着尺度的增大,位移取样间隔以2的指数倍变大,因此正交小波函数集不能从多尺度的角度很好地匹配信号的局部结构特征,所以会造成伪吉布斯现象^[4]。例如,用 Haar 小波对带噪信号做小波变换,当奇异点位于 n/3 位置时,其变换结果将表现出显著的伪吉布斯现象,而在其他位置如 n/2 时,其变换结果却没有出现异常现象^[5]。

为了有效地消除这种人为的振荡现象,在一定的平移量范围内,对所获得的原始信号进行循环平移,从而获得一个在时域上与原始信号具有一定相差的新信号,对这个新信号作小波变换,再用软或硬门限对小波系数进行处理,用小波逆变换重构,得到去噪后的新信号,对这信号作相反的循环平移,从而得到去噪后的与原始信号同相位的信号.改变平移量,重复这一过程,对所获结果求平均值.这一平均过程具有很好的去噪性和光滑性,能很好地逼近真实信号^[6].

基于平移不变的快速小波去噪算法如下[7].

1) 对带噪信号做平移,本文选取平移量为 1.2) 对平移后的信号做小波阀值去噪. 选取的阈值必须刚好大于噪声的最大水平,噪声的最大幅度有一个刚好低于 $\lambda = \sigma \sqrt{2\log(N)}$ 的非常高的概率,所以通常选取阈值 $\lambda = \sigma \sqrt{2\log(N)}$.3) 对去噪后的信号进行逆平移,并求平均,得到原信号的估计值.

经多个实例计算表明,经过平移不变小波去 噪方法得到的原信号估计值与经过阈值法处理得 到的结果相比,平移不变小波去噪方法能有效地 去除伪吉布斯现象,表现出更好的视觉效果,同时 还能减少原信号与去噪后信号的均方根误差,提高 信噪比.

2 计算实例

本文分别采用计算机模拟数据和实测数据, 对所提出的去噪方法进行检验.

2.1 模拟数据的计算结果

通过与传统的阈值法去噪的效果进行比较, 说明本文利用平移不变小波去噪算法在去除伪吉 布斯现象、减少原信号与去噪后信号的均方根误 差,提高信噪比方面效果较好.

本文采用 db3 小波进行消噪,采用了 3 次分解.模拟数据为随机方波,然后施加高斯白噪声后形成.图1为原始信号和加噪信号;图2为传统的

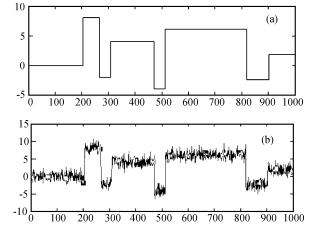


图 1 原始信号 (a) 与加噪模拟信号 (b)

Fig. 1 Primary signal(a) and simulated signal after adding noise(b)

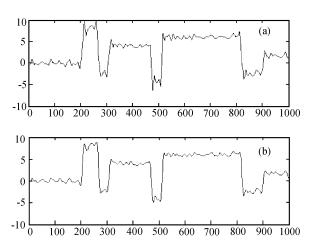


图2 采用传统阈值法的消噪信号(a)和采用平移不变量法获得的去噪信号(b)

Fig. 2 De-noising signal after traditional threshold value method (a) and the translation invariance method (b)

阈值法和平移不变量法去噪的结果,采用平移不变量法消噪后的信号比较平滑,接近于原始信号,在信号的奇异点有效的消除了伪吉布斯现象.从2种方法的定量比较结果(表1)知,本文方法具有较小的均方根误差,提高了信噪比,比传统的阈值法优越.

表 1 两种方法对去噪效果的比较

Table 1 De-noising result contrast between 2 methods

采用的去噪方法	信噪比	均方根误差	相对误差
传统的阈值法	11. 388	0.06	0. 166 532
本文采用的方法	11. 819	0. 0303	0. 145 757

2.2 应用实例

本文取某工厂烟囱变形监测点的垂直位移监 测数据进行分析. 某工厂烟囱地处丘陵区,

为及时掌握烟囱施工和营运过程沉降变形信息,并对出现的沉降变形异常情况作出及时处理,在烟囱周围埋设了4个变形监测点进行了变形监测[8].

本文以1#点为例,对观测数据进行处理. 首 先对原始数据进行差值处理, 形成等时间间隔观 测数列(图3),并分别采用传统的阈值法与平移 不变量法进行了处理,由图4知,利用平移不变 小波去噪算法得到的结果更为平滑, 更接近变形 的实际过程. 为了说明本文采用平移不变小波去 噪算法在消噪方面的实用性, 现叠加了标准差为 5.6的白噪声(图5),然后分别用平移不变量法 与传统的阈值消噪法进行消噪,并得到相应的消 噪曲线. 两种方法都用 db3 小波, 进行 3 次分解, 都采用硬阈值法消噪. 消澡后的变形观测曲线分 别如图 6 所示,由对比可知,采用平移不变量法 消澡后的变形观测曲线变形较为平滑,具有更好 的视觉效果,并且消除了由于测量仪器和测量条 件引起的误差, 更能很好的对烟囱的变形过程给 与解释^[9].

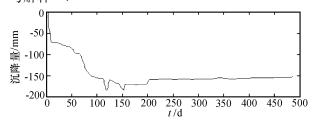


图 3 原始变形观测数据

Fig. 3 Primitive deformation observation data

平移不变小波去噪方法是在 Donoho 阈值法基础上的改进. 实验与分析表明: 该方法与阈值法相比,具有更好的视觉效果,能有效地去除伪吉布斯现象,提高信噪比,对变形监测数据具有一定的实用价值.

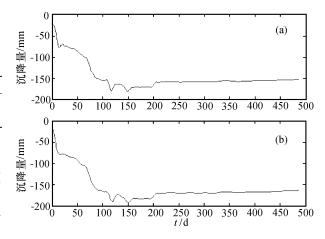


图 4 原始数据采用传统的硬阈值(a)和采用平移不变量法(b)处理后的信号

Fig. 4 Processing signal after the traditional hard threshold value (a) and translation invariable (b)

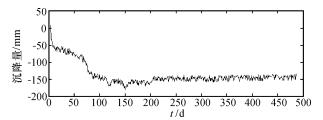


图 5 加噪后的变形观测数据

Fig. 5 Deformation observation data after adding noise

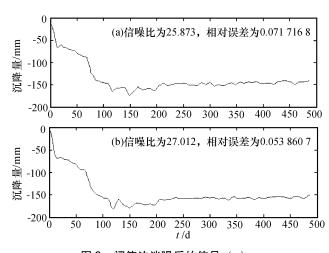


图 6 阈值法消噪后的信号(a) 和采用平移不变量消噪后的信号(b)

Fig. 6 De-noising signal after the threshold value (a, Snr = 25.873, Relative error = 0.0717168) and translation invariable (b, Snr = 27.012, Relative error = 0.0538607)

参考文献:

- [1] 朱云芳, 戴朝华, 陈维荣. 小波消噪阈值选取的一种方法 [J]. 电测与仪表, 2005, 42 (7): 4-6.
- [2] 田胜利,徐东强. 大坝水平位移监测数据的小波变换去噪原理 [J]. 水电自动化与大坝监测,2004,28 (1):49-53.
- [3] 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 辅助小波分析与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [4] Hong Tao Shim. On the Gibbs phenomeon for wavelet expansions [J]. Journal of Approximat on Theory, 1996, 84: 74-95.

- [5] 汤宝平,杨昌棋,谭善文,等.基于平移不变的小波去噪方法及应用[J].重庆大学学报:自然科学版,2002,25(3):1-5.
- [6] 谷小红, 侯迪波, 周泽魁. 基于部分平移不变的小波去噪方法研究 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26 (8): 164-165.
- [7] 康金钟,康志伟. 基于平移不变的小波变换去噪快速算法[J]. 微电子学与计算机,2005,22(9):2-26.
- [8] 文鸿雁,刘斌,唐诗华.某工厂烟囱沉降变形分析 [J]. 桂林工学院学报,2003,23 (3):300-303.
- [9] 文鸿雁,张正禄. 小波分析与傅里叶变换相结合在探测周期性变形中应用[J]. 测绘通报,2004(4):14-16.

Wavelet denoising in deformation data based on translation invariance

HE Yong-hong, WEN Hong-yan, LIU bin

(Department of Civil Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: As time series signal, the observed vertical displacement deformation data of chimneys will be carried on the wavelet transformation analysis. Based on the translation invariance fast de-noising algorithm of wavelet, the deformation monitoring data is de-noising. Indicated as the processing result of the simulated data and the measured data and based on translation invariance, the traditional threshold value is compared. The translation invariance can effectively remove the Pseudo-Gibbs phenomenon, enhance the signal to noise ratio, eliminate noise in the deformation monitoring data, distinguish useful signal which is neglected by the noise.

Key words: wavelet transform; deformation monitoring; translation invariance