

VP 型倾斜仪自动信号判别与调零实现^{* 1}

车荣飞¹⁾ 贾剑钢¹⁾ 马武刚²⁾

(¹⁾ 武汉大学测绘学院, 武汉 430079
(²⁾ 中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室), 武汉 430071)

摘 要 基于 VP 型垂直摆倾斜仪的观测原理及数据存储模式, 应用经验模态分解(EMD)、STA/LTA 能量比及最小二乘拟合联合算法, 通过 C++ 与 MATLAB 编程, 优化了倾斜仪的自动化观测, 实现了异常信号自动判别与自动调零, 提高了数据获取与应用质量, 并通过实例验证了该方法的有效性。

关键词 倾斜仪; EMD; STA/LTA; 最小二乘拟合; 自动调零

中图分类号: TH762. 2

文献标识码: A

REALIZATION OF AUTOMATIC SIGNAL DISCRIMINATION AND ZERO OF VP-TYPE INCLINOMETER

Che Rongfei¹⁾, Jia Jiangang¹⁾ and Ma Wugang²⁾

(¹⁾ School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079
(²⁾ Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071)

Abstract Based on the observation principle and data storage model of VP-based broadband vertical pendulum tiltmeter, using the combination algorithm of empirical mode decomposition(EMD), STA / LTA energy ratio and least-squares fitting, via C++ and MATLAB programming realization, the tiltmeter automation observation is optimized while achieving automatic identification of abnormal signal and automatic zero, and improved the quality of data acquisition and application. The effectiveness of the method has been vericated through examples.

Key words: tiltmeter; EMD; STA/LTA; least square fitting; auto-zero

1 引言

地倾斜观测是研究固体潮和地震前兆信息的一种重要手段^[1,2]。但作为地倾斜观测的倾斜仪, 不可避免的存在零漂, 且观测受环境变化的影响。当摆偏离零位并随着时间的增长, 其输出幅度将超过允许范围, 此时仪器就无法进行正常工作, 需进行调零。目前, 倾斜仪已实现远程控制调零, 但未实现异

常信号的自动识别与自动调零。为得到连续、稳定的观测数据, 需要对倾斜仪零漂超限、仪器故障等异常进行准确的判别。本文通过研究倾斜仪自动观测与调零的机理, 应用经验模态分解 EMD-能量比判断 STA/LTA-最小二乘拟合 LSF 的联合算法(简称 DAF 方法), 解决异常信号判断及数据拟合问题, 并通过 C++ 等编程及软硬件调试, 实现了自动调零。

* 收稿日期: 2013-07-01

基金项目: 武汉大学测绘学院 2012 年本科专业综合改革教学研究项目(201223)

作者简介: 车荣飞, 男, 1992 年生, 主要从事测绘仪器研究工作. E-mail: 664812827@qq.com

2 理论与方法

如图 1 所示,如果仪器本体随地面倾斜,则通过监测始终处于铅垂状态的摆体相对于本体的位移 d ,即能得到地壳相对于垂线的偏斜 $\varphi = d/L$, L 为摆长^[3]。

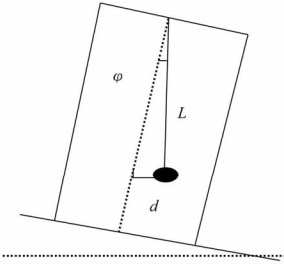


图 1 垂直摆倾斜仪原理

Fig. 1 Principle of the vertical pendulum tiltmeter

2.1 经验模态分解(EMD)信号分解算法

本征模函数(IMF, Intrinsic Mode Function)^[4]认为任一信号均可包含若干个 IMF,若 IMF 间相互重叠,便形成复合信号。为获得 IMF,需对数据信号进行 EMD 分解,再通过希尔伯特变换得到希尔伯特谱。

IMF 提取步骤为:

1) 找出原始序列 $g(t)$ 极大值和极小值包络序列 $g_{\max}(t)$ 、 $g_{\min}(t)$,得到瞬时平均值序列:

$$m(t) = \frac{(g_{\max}(t) + g_{\min}(t))}{2} \quad (1)$$

2) 用原始序列 $g(t)$ 减瞬时平均值序列 $m(t)$,得到去掉低频的新序列为

$$h(t) = g(t) - m(t) \quad (2)$$

对于 $h(t)$,若满足关于 IMF 的两个条件^[4],则 $h(t)$ 就是一个 IMF。若不满足,将 $h(t)$ 作为原始数列重复上述步骤,直到满足 IMF 的两个条件为止。

2.2 能量比(STA/LTA)算法

最常用的地震判别方法是时间域中的长短时间窗法。即求出每一时刻的长短时间能量比(STA/LTA),确立一个一定长度的滑动时间窗,能够不断地跟踪新的时间,在长时间窗中选取一定长度的短时间窗^[5],分别计算 STA 值和 LTA 值。

长、短时间窗内的平均能量分别为:

$$LTA_i = \frac{x_{i-N_{sta}-1}^2 - x_{i-N_{sta}-N_{lta}-1}^2}{N_{lta}} + LTA_{i-1} \quad (3)$$

$$STA_i = \frac{x_i^2 - x_{i-N_{sta}}^2}{N_{sta}} + STA_{i-1} \quad (4)$$

其中 $x_j (j=1, 2, \dots, N_{sta})$ 、 $x_i (i=1, 2, \dots, N_{sta})$ 分别为

长、短时间窗内数据, N_{lta} 为窗口内的点数, $LTA_{i-1} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{lta}} x_j^2}{N_{lta}}$ 。时间窗口逐点滑动,若能量比 $R = \frac{STA_i}{LTA_i}$ 超过预先设定的阈值时,则判定有异常发生。

2.3 最小二乘数据拟合算法

对存在的异常数据,采用最小二乘原理对数据进行 n 次函数拟合。

设已知函数为:

$$A^T A \alpha = A^T Y \quad (5)$$

则参数

$$\alpha = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (6)$$

拟合值为:

$$P_n(x) = \alpha X \quad (7)$$

3 地震信号分析处理方法

仪器同时获取东西、南北向两个分量,每个分量均包含潮汐信号、地震信号及噪声等。首先通过 EMD 算法生成不同的 IMF,分离不同类型的信号。利用 STA/LTA 算法判断出地震亦或仪器故障信号,若为仪器故障,则触发倾斜仪调零命令,执行自动调零;调零完成后对该段数据进行最小二乘拟合,保障数据的连续稳定性。信号分析处理流程见图 2。

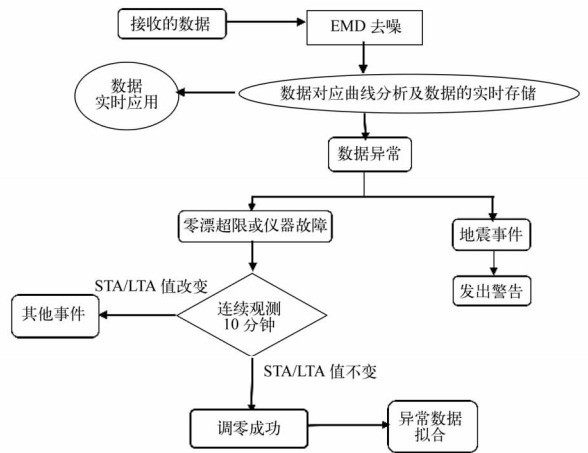


图 2 信号分析处理流程

Fig. 2 Flow chart of signal analysis and processing

1) 数据来源

实时运行时以 15 分钟的数据进行事件判断。限于篇幅,本文以 VP 型宽频带垂直摆倾斜仪记录的 2011 年 2 月 1 日数据为例(同时发生了若干地震事件及仪器故障),数据采样间隔为 1 秒。

2) 信号分析处理方法

① EMD 分解将复合信号从时间域变换到频率域,得到不同频率的 IMF(图 3),提取地震信号,用

原始信号减去地震信号和噪声,即为此方向的地球固体潮信号(图4)。

②选取长时间窗口为 30 秒,短时间窗口为 5 秒,阈值 3.0。运用 STA/LTA 处理固体潮信号和地震信号,判断结束后,继续观测 10 分钟,并连续计算每个时间点的 STA/LTA 值。若 STA/LTA 值在此时间段不变,则为仪器故障或零漂超限,实现自动调零。否则为地震,并发出地震信号(图5)。

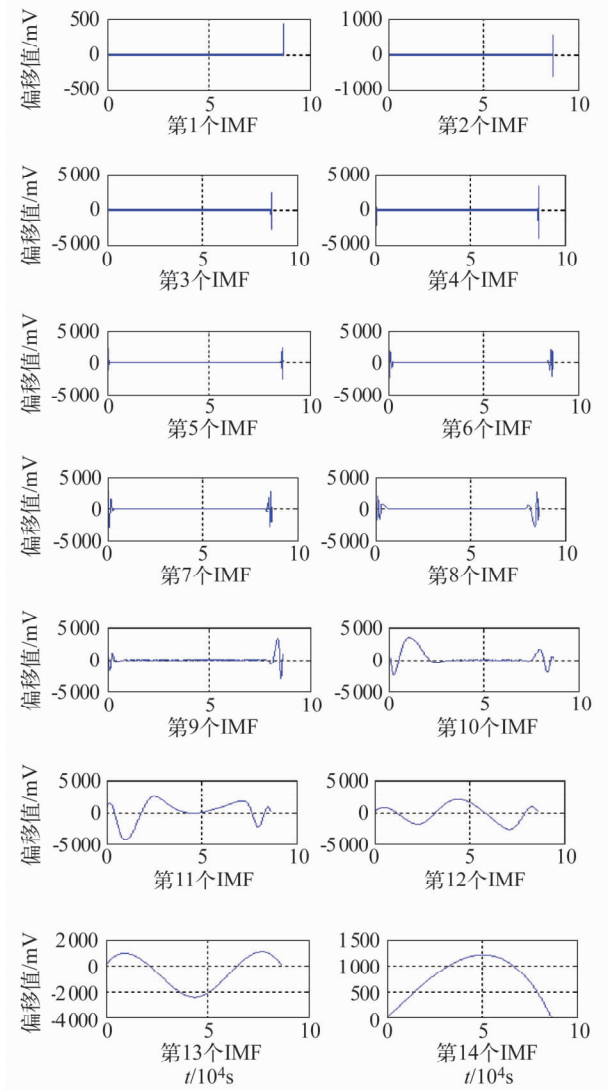


图3 EMD 分解得到不同频率的 IMF

Fig.3 Different frequency of the IMF obtained by EMD decomposition

③由于对仪器故障和地震的判别,不可避免的存在延迟性,因此从信号接收、异常判别到调零完成的过程中,存在一段异常数据。为了数据的连续性和准确性,在自动调零结束后,对仪器故障或者零漂超限等异常,利用最小二乘拟合算法对异常数据进行数据拟合,得到连续、准确的数据(图6)。

④根据中国地震台网监测与发布的数据,比较程序判断结果与实际事件(表1)。

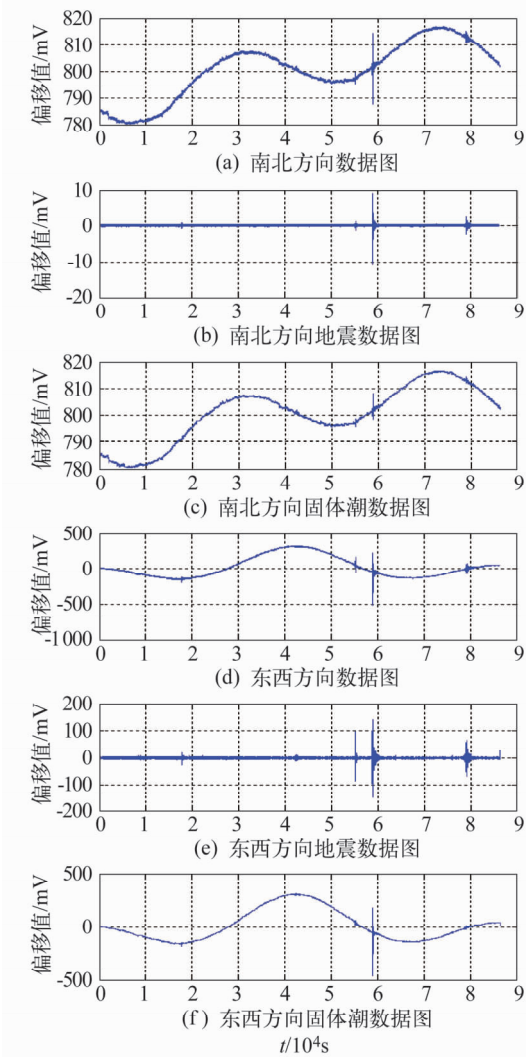


图4 应用 EMD 方法得到的信号分离的结果

Fig.4 Signal separation results applied the EMD method

表 1 2011 年 2 月 1 日实际事件发生时刻与事件检测时刻对照表

Tab.1 Reference directory of actual event time and incident detection time on February 1 in 2011

事件	实际发生时刻 (时:分:秒)	程序判定时刻 (时:分:秒)	经度	纬度	震级 (μs)	事件地点
地震 1	16:16:28	16:23:13	121.80 °E	24.20 °N	5.4	中国台湾
地震 2	15:11:20	15:21:51	97.90 °E	24.70 °N	4.8	缅甸-中国边境地区
仪器故障	22:03:50	22:04:29	114.36 °E	30.54 °N		
地震 3	23:49:37	23:56:50	175.87 °W	19.64 °S	5.3	汤加群岛

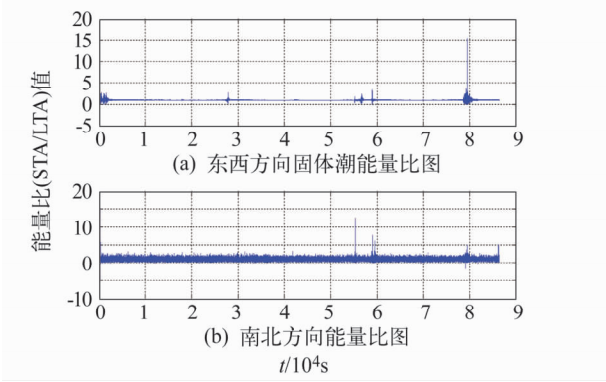


图5 能量比(STA/LTA)值
Fig.5 Spectral energy(STA/LTA) ratio

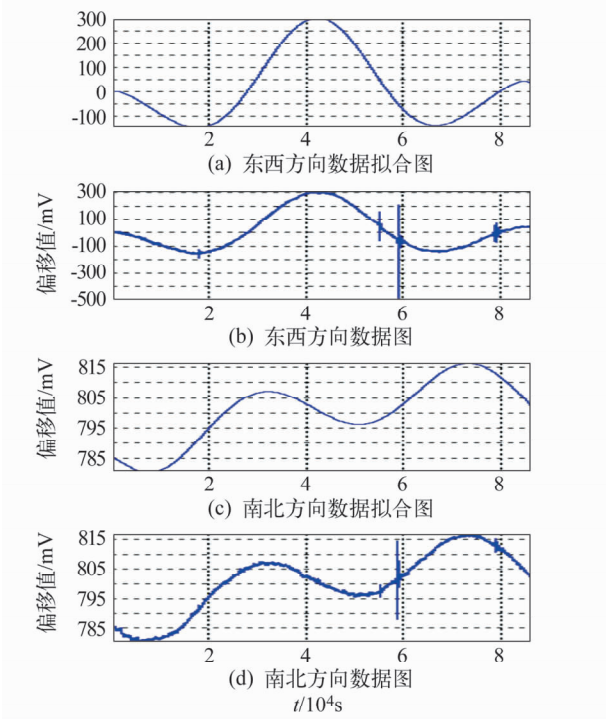


图6 数据拟合图
Fig.6 Figure of data fitting

4 结论与讨论

1) VP 型宽频带垂直摆倾斜仪能精确记录一定范围内的地震事件。DAF 算法的编程实现进一步提高了仪器运行性能,保障了倾斜观测的连续性与准确性。

2) DAF 算法能对复合信号进行分解,利用其不同的频率特性,获得信号各组成部分。确定合适的长短时间窗口及阈值,动态计算待处理信号各时间点的能量比值,判断并对事件及时作出响应。及时对异常段数据进行拟合,降低观测数据的异常率。判断仪器故障或零漂超限,并自动对其做出调整。

3) EMD 分解算法虽具有滤波功能,但在分解后的地震信号和固体潮信号中仍旧存在一定的噪声,对于轻微的仪器故障等异常仍无法准确判别。此外,在程序调试中发现地震与仪器故障响应时间不可避免地存在一定的滞后,这是相应理论算法研究此类问题的一个局限。

4) 为提高判断的准确性,后期研究可采取等波纹切比雪夫逼近方法、地震信号非高斯、非线性检验方法,设计滤波器等方法得到干扰更少和更“干净”的地震信号和固体潮信号。

参 考 文 献

1 王强,等. VP 型宽频带倾斜仪映震能力分析[J]. 地震地磁观测与研究,2011,32(4):94-96.

2 Hiromitsu, Nakamura Shigeki and Horiuchi. Evaluation of the real-time earthquake information system in Japan[J]. Geophysical Research Letters,2009,36(5):59-63.

3 马武刚,等. VP 型垂直摆倾斜仪校准装置的设计[J]. 大地测量与地球动力学,2012,(4):152-155.

4 Huang N E. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. J Proc R Soc Lond A. ,1998,(454):904-913.

5 周彦文,刘希强. 地震事件自动检测新方法[J]. 西北地震学报,2008,30(2):102-106.