

赵瑞,李俊超,贺北芳,等. DFA 方法在近震中的应用[J]. 华北地震科学,2017,35(4):51-54.

DFA 方法在近震中的应用

赵 瑞^{1,2},李俊超^{1,2},贺北芳^{1,2},胡发瑞^{1,2},栗 宁^{1,2},丁 锐^{1,2}

(1. 中国地震局地震研究所 地震大地测量重点实验室,武汉 430071;2. 湖北省地震局,武汉 430071)

摘要:利用去趋势涨落分析(DFA)方法分析辖区内各个子台记录到的同一个近震事件,研究分为地震前、中、后以及地震波形 3 个分量的标度指数,其标度指数的大小可以反映地震波信号与背景噪声信号的差异性。

关键词:近震信号;背景噪声;去趋势涨落分析;差异特征

中图分类号:P315.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-1375(2017)04-0051-04

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2017.04.009

0 引言

Peng 等人^[1]1994 年首次提出利用去趋势涨落分析方法(DFA)分析一组非稳定的时间序列,该方法在数据处理中可以有效的保留带噪声的信号并且滤掉涨落中的趋势。主要研究序列中的长程相关性,即通过对观测资料的预处理得到曲线的标度指数来判断数据点的自相似性,对以后的观测资料的发展有一定的预测。目前 DFA 方法已经应用到很多领域,像车辆交通^[2]、地震学^[3]、非线性动力学^[4]等。本文主要利用 DFA 方法分析各个子台记录到的同一个近震,从中找出各个序列的相干性特征。

1 方法介绍

在 Peng 的基础上许多研究者已经不断地完善了 DFA 计算方法^[2,5],假设时间序列为 $\{x(t)\}$, $t=1,2,3,\dots,T$,其计算的步骤如下:

1) 构造新的时间序列 $y(t) = \sum_{i=1}^t x(i) - \bar{x}$,其中 \bar{x} 为序列的平均值。

2) 将新序列 $y(t)$ 分割成 n 个长度为 l 的不重叠的子序列。

3) 在每个子序列中,对 $y(t)$ 做最小二乘拟合,得到拟合曲线 $\tilde{y}_m(t)$,此函数相当于高通滤波器。

4) 计算每个子序列 DFA 后得到的剩余序列 $y_l(t) = y(t) - \tilde{y}_m(t)$ 。

5) 计算原始的序列在整个时间序列上 DFA 上

$$\text{的均方根 } F(l) = \sqrt{T^{-1} \sum_{i=1}^T y_i^2(t)}$$

6) 用上面的方法重复计算不同长度 l 的时间序列,计算出不同长度 l 时对应的均方根 $F(l)$ 。在坐标上取 $(\lg F(1), \lg(1))$ 画在双对数坐标图中,用最小二乘法对 $(\lg F(1), \lg(1))$ 对应点进行线性拟合,得到直线的斜率即为标度指数 α 。均方根 $F(l)$ 与时间间隔存在幂律关系: $F(l) \sim l^\alpha$,因此可以利用标度指数 α 作为时间序列的长程相关性的定义。当 $0 < \alpha < 0.5$ 时,原始序列具有长程反相关性;当 $\alpha = 0.5$ 时,原始序列具有标度不变形,即为短程相关或者时间序列不相关;当 $0.5 < \alpha < 1$ 时,原始序列具有长程相关, α 越大相关性越强。

7) 根据上面的步骤,利用 MATLAB 编程,实现对一组序列的 DFA 计算。

2 应用分析

测震台一般由地震计、地震数据采集器、数据记录处理设备、台站监控以及网络通信设备。其中地震计是直接感知地面运动的设备,将复杂的波动转换为电压信号,地震数据采集器用于将地震计输出的模拟电压转换为数字信号。

文中以北京时间 2017 年 02 月 23 日 02 时 41 分 23 秒湖北宜昌市秭归县发生的 M3.8 地震,震源深度 7 km 为例,使用的是襄阳中心地震台(负责十堰市、襄阳市、荆门市测震仪器的运维工作)记录到的辖区内 10 个测震台站的数据,震中及选用的 10 个测震台分布如图 1 所示:

收稿日期:2017-02-15

基金项目:中国地震局地震研究所所长基金(IS201656255)

作者简介:赵 瑞(1985—),男,湖北襄阳人,工程师,主要从事地震监测预报分析方面的研究。E-mail:zhaorui0612@163.com

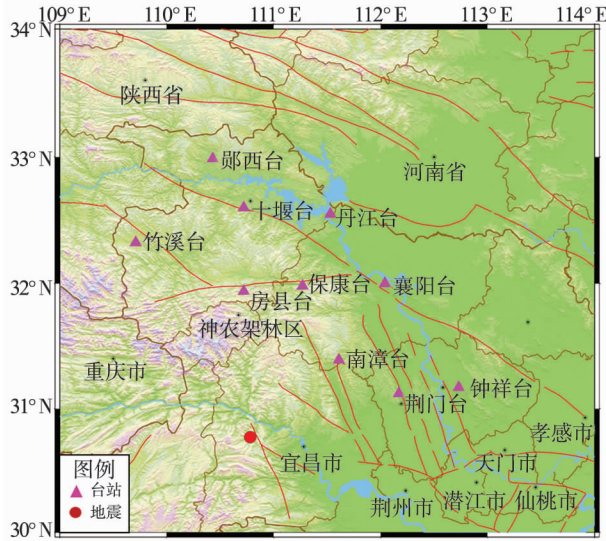


图 1 震中及选用的 10 个台站分布

具体思路如下：

1)首先利用区域台网中心的 MSDP 软件导出 10 个测震台的数据,其数据长度为 1 800 s,其中包括地震前、地震中及地震后的波形,导出数据格式为 EVT 格式;然后利用 EDAS-IAS 软件的截取功能,根据计算需要分别导出不同类型的数据;最后去掉数据的表头文件,保存为较易读取的文本格式数据。

2)MATLAB 编写的主程序中调用了子程序,即 DFA 的函数文件。根据上面提到的 DFA 方法的具体步骤,设置 $l=10$,其序列的总长度根据截取类型的长短需要而定,图 2 显示的是 10 个测震台中的 3 个,每个测震台都有 3 个通道,数据显示的长度选择 100 s。

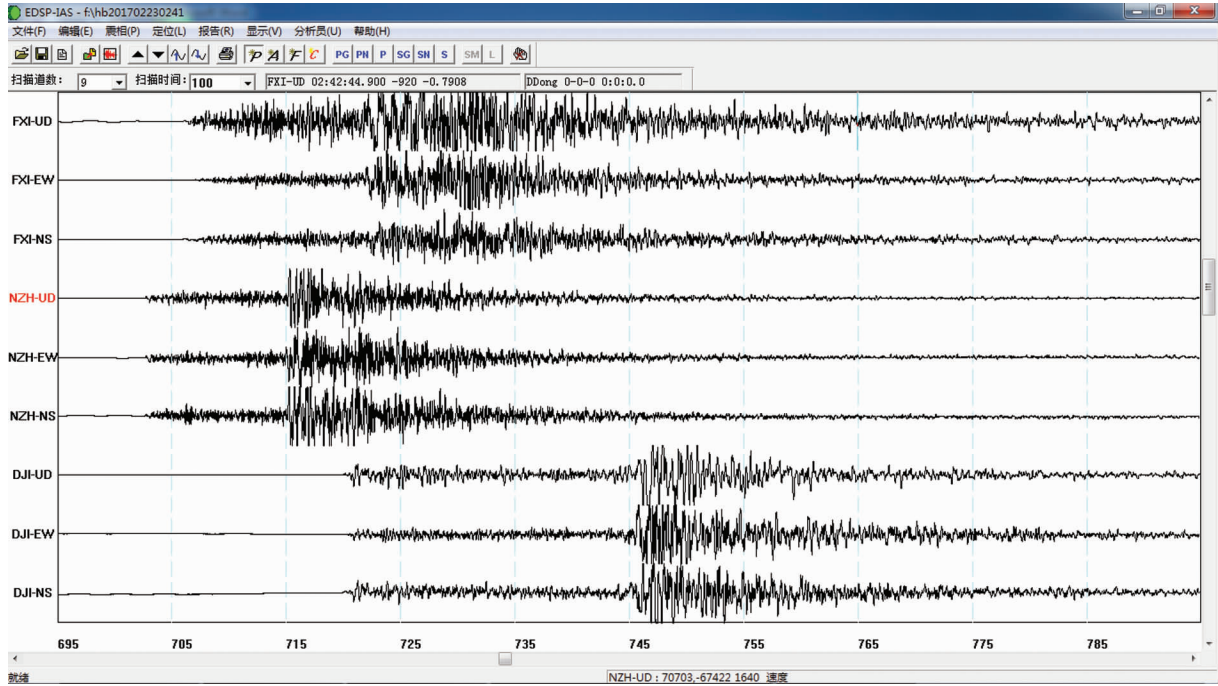


图 2 地震事件波形

利用 MATLAB 语言编写程序,计算上述地震事件的前、中、后 3 个时间序列的均方根,其中地震前是指 P 波到时前的时间段;地震后是指面波走完,直至恢复到地动噪声的状态。

计算中选择地震发生前 120 s,地震波持续时间 150 s,地震结束之后 120 s 作为研究的对象。软件设置数据采集器的采样率为 100,地震计有 3 种类型(CTS-1, BBVS-60, BBVS-120),EDAS-24IP 和 EDAS-24GN 两种数据采集器,各个子台标度指数计算的结果见表 1:

表 1 各个地震台含有地震波序列的标度指数

台站名称	地震前	地震中	地震后
SYA	1.163 1	0.348 5	0.975 9
YXI	1.232 0	0.413 5	0.965 0
FXI	1.171 2	0.510 6	1.048 7
NZH	1.157 8	0.430 5	1.021 3
DJI	1.174 2	0.500 4	1.059 5
XFA	1.050 0	0.554 9	0.992 2
ZHX	1.153 5	0.419 5	1.061 6
ZUX	1.189 7	0.384 2	1.119 8
JME	1.124 7	0.332 4	1.131 3
BKA	1.186 2	0.481 2	1.136 9

从表 1 可以看出:选取的 10 个测震台,其计算出来的地震前和地震后的标度指数均趋于 1,而地震中的标度指数小于等于 0.5,结果说明了在没有地震发生的情况下,地震计记录的波形相干性较强,而地震的发生与地动噪声的叠加,削弱了内在的相干性,使之噪声处于混乱状态,其相干性较小。

为了更好的说明 DFA 方法的特点,下面以钟祥台记录到的湖北宜昌市秭归县发生的 M3.8 地震序列为例。文中只计算垂直向的标度指数,截取序列的时间长度为 1 800 s,分成 10 段,每段长度为 180 s,正好能够显示完一个地震事件,其标度指数随时间的变化关系如图 3 所示:

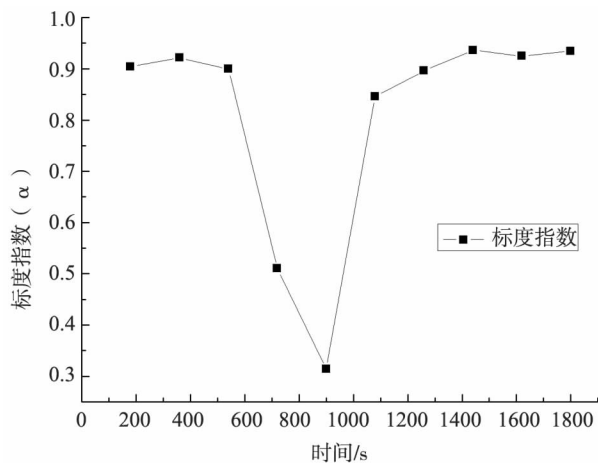


图 3 标度指数随时间的变化关系

从图 3 可以看出在一个含有地震事件的噪声序列中,标度指数从开始到最后先变小后变大,意味着相干性由长程相关到反向关,地震过后又恢复到正相干。

利用 DFA 方法分别对钟祥台记录到的秭归地震做标度计算,数据选取分为地震前、中、后以及地震中的 3 个分量,计算结果分别如图 4 和图 5 所示,图中拟合直线的斜率代表标度指数的大小。

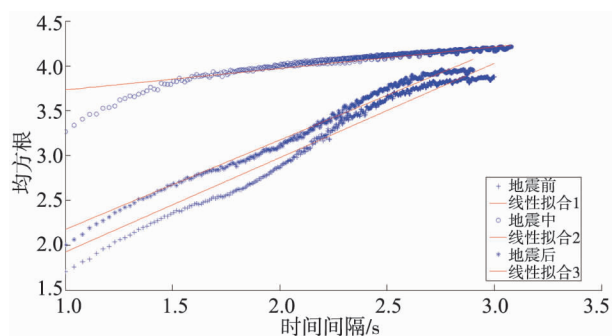


图 4 地震前、中、后均方根函

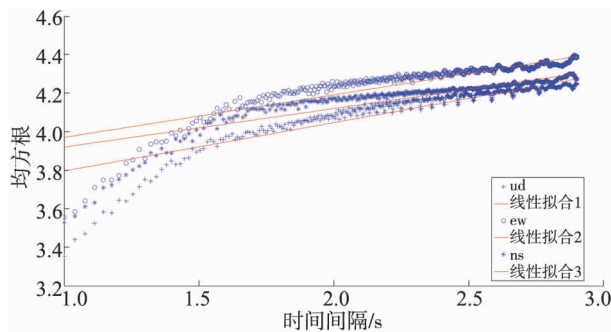


图 5 地震事件 3 个分量均方根函

为了验证台站地震计 3 个分量计算的标度指数是否与震源方位有一定的关系,下面同样以 2017 年 02 月 23 日湖北秭归 M3.8 地震为例,计算辖区内各个台站地震波的 3 个分量数据,得出的标度指数如表 2:

表 2 各个地震台记录到的同一个地震事件 3 个分量的标度指数

台站名称	UD	EW	NS
SYA	0.313 6	0.331 5	0.329 1
YXI	0.415 6	0.503 6	0.334 0
FXI	0.470 3	0.404 4	0.470 3
NZH	0.383 4	0.358 9	0.287 2
DJI	0.451 4	0.320 4	0.383 3
XFA	0.531 9	0.520 0	0.408 9
ZHX	0.425 7	0.376 5	0.352 4
ZUX	0.386 9	0.413 4	0.432 5
JME	0.353 7	0.273 6	0.280 4
BKA	0.460 3	0.242 9	0.282 5

从表 2 可以看出,3 个分量的标度指数均小于等于 0.5,结合台站处于震源的方位以及周边的介质情况,基本上可以得出:如果台站处于震源的某个方向,该方向与地震计的 2 个水平向的任意一个方向靠近,则地震计的那个水平向记录到的数据其相干性较弱,但不排除地震波在经过不同介质后衰减引起到达台站后能量的减弱情况。

3 结论

通过对上述地震事件波形做分段 DFA 计算,研究结果发现有以下几个特征:

1)地震事件前和地震事件后,其标度指数 α 接近于 1,说明序列具有长程相关性;

2) 在含有地震事件的一个完整序列中, 标度指数总是从大到小, 再从小往大变化, 意味着序列自身关联发生了变化, 其中受到地震事件的影响较严重。

3) 针对各个地震台记录到的同一个地震事件, 通过计算 3 个分量的标度指数, 可以发现标度指数的大小与台站处于震源的方位有一定的关系, 可能由地下介质的差异引起。

以上只是将 DFA 方法应用到近震分析。目前台站周围的环境不断地受到外界的影响, 干扰因素

逐年增多, 平时工作中用来做震相分析的软件过少, 如果将该方法部分的优点添加到新软件中, 在提取数据的同时保留有效的噪声而滤掉涨落中的趋势, 然后再通过软件的仿真、滤波来分析震相是一种值得研究和探索的方法。

致谢: 衷心的感谢各位老师对文本提出了宝贵的修改意见及建议。

参考文献:

- [1] Peng C K, Buldyrev S V, Havlin S, et al. Mosaic organization of DNA nucleotides[J]. *Physical Review E*, 1994, 49(2): 1685-1689.
- [2] Jia L S, Teng W Z, Pan W, et al. Correlation analysis of synchronization flow at a traffic bottleneck[J]. *Nonlinear Dynamics*, 2014, 78(3): 1801-1809.
- [3] 刘立伟, 李宁, 史旗. DFA 方法在跨断层水准资料中的应用研究[J]. *价值工程*, 2015(2): 304-306.
- [4] Kantelhardt J W, Koscielny-Bunde E, Rego H H A, et al. Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2001, 295(3/4): 441-454.
- [5] Little M, McSharry P, Moroz I, et al. Nonlinear, biophysically-informed speech pathology detection[C]//*Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Toulouse, France: IEEE.

The Application of DFA Method on Near Earthquakes

ZHAO Rui^{1,2}, LI Jun-chao^{1,2}, HE Bei-fang^{1,2}, HU Fa-rui^{1,2}, LI Ning^{1,2}, DING Rui^{1,2}

(1. Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China;

2. Hubei Earthquake Agency, Wuhan 430071, China)

Abstract: The waveform data of the same near earthquake recorded by all the seismic station within jurisdiction are studied using the Detrended Fluctuation Analysis method (DFA). This paper explored the scaling exponents of the sequence before, during, and after an earthquake as well as three components of seismic waves. The value of scaling exponents can reflect the difference of signal between the seismic waves and the background noise.

Key words: signal of near earthquakes; background noise; Distrended Fluctuation Analysis; difference characteristic