

地震事件自动判断方法研究

曲均浩, 刘希强, 石玉燕, 吴丹彤, 苗庆杰

(山东省地震局, 山东 济南 250014)

摘要:地震事件的自动判断是自动定位系统中至关重要的部分。本文结合数字波形特征的实际模型,提出了一套符合计算机化运行模式的新方法。对波形进行预处理后采用传统 STA/LTA 方法、波形延续性、台站集中性三者相结合的判断方法,有效的排除了干扰台站,保证了地震事件自动判断的准确性,并在实际运行过程中得到很好的验证。

关键词:自动定位; 事件判断; STA/LTA; 延续性; 集中性

中图分类号: P315.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2010)04-0325-05

Automatic Judgment Method for Seismic Event

QU Jun-hao, LIU Xi-qiang, SHI Yu-yan, WU Dan-tong, MIAO Qing-jie

(Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China)

Abstract: Automatic judgment for seismic event is a vital part of the automatic location system. In this paper, combined with the actual model of digital waveform characteristics, a new method in line with the computerized operating mode is proposed. Waveform is preprocessed using the traditional STA/LTA method combined with waveform continuity and concentration of stations. It effectively ruled out the interference stations and ensure the accuracy of automatic judgment of seismic events. It is well validated in the actual operation process.

Key words: Automatic location; Event judgment; STA/LTA; Continuity; Concentration

0 引言

地震监测台站密度的不断增加,监测能力的不断提高,为开展区域台网实时地震速报创造了良好的条件。山东省地震局结合山东台网的实际情况,自主创新,进行了实用化地震速报软件开发,能够在地震发生后快速准确、稳定可靠地测定地震三要素,实现在地震速报速度方面一个质的飞跃。由于台站建设地质条件、地理位置、周边环境、人为干扰等环境因素的影响,导致波形数据存在着诸多的差异,因此必须对波形数据进行必要的处理。自动定位作为一种计算机化的运行模式,必须遵守非常准确的运算模型,才能保证计算的准确性,参与定位的台站必须要经过严格的筛选,设定符合波形特征的合理模型,才能保证定位台站为同一事件的触发台站。本文结合数字波型特征的实际模型,在波形预处理后

采取传统的 STA/LTA 方法、波形延续性和台站集中性三者相结合的判断方法,可以有效地排除干扰台站,保证地震事件自动判断的准确性。

1 地震事件判别传统方法

最常用的地震事件自动判别方法^[1-3]是时间域中的长短时平均能量比(STA/LTA)及其改进型方法,其基本思路是跟踪最新的时间,确定一个不断滑动的窗口,在此窗口内再划分一个短的时间窗。短时窗内的平均能量表示为

$$STA_i = \frac{x_i^2 - x_{i-Nsta}^2}{Nsta} + STA_{i-1}$$

长时窗内的平均能量为

$$LTA_i = \frac{x_{i-Nsta-1}^2 - x_{i-Nsta-Nlta-1}^2}{Nlta} + LTA_{i-1}$$

收稿日期:2009-09-10

基金项目:山东省自然科学基金(Y2007E09);山东省科学技术发展计划项目(2009GG10008002)

作者简介:曲均浩(1981-),男(汉族),山东平度人,博士研究生,主要从事数字地震波应用与地学信息方向研究。

式中 x_i 表示 i 点的值; $Nlta$ 和 $Nsta$ 表示长、短数据

窗长, 分别为 $STA_{i-1} = \frac{\sum_{j=1}^{Nsta} x_j^2}{Nsta}$ 和 $LTA_{i-1} = \frac{\sum_{j=1}^{Nlta} x_j^2}{Nlta}$ 。

当能量比

$$R = STA_i / LTA_i$$

超过设定阈值时, 则判定有事件发生。

该方法适合于震相清晰、规则型的地震事件波形。当脉冲型背景噪声连续出现时, 应用该方法有一定误触发。

2 改进的新方法

2.1 波形预处理

测震台网实际获取的数据并不是理想化的波形数据, 而是存在着许多机械干扰、脉冲等复杂情况。各个台站波形形态各异, 背景噪声成分复杂, 蕴含着

丰富的信息。这种周期不定、存在干扰的波形数据, 计算机化操作比较困难, 有必要对数据进行预处理。窗函数法和频率取样法设计滤波器都是很有效很常用的方法, 但也存在各自的缺陷: 窗函数法不容易设计出截止频率的滤波器, 也不容易得到已知滤波器阶数前提下的最优解^[4-5]; 频率取样法采用的是插值法, 也不是一种优化设计^[6]。本文主要是采用了等波纹切比雪夫逼近方法来实现最大误差最小化的滤波器设计^[7-8], 获得唯一的最佳解。下面以山东郯城台的波形数据为例, 进行波形预处理及 STA/LTA 方法和波形的延续性分析。图 1(a) 为郯城台垂直向原始波形, 图 1(b) 为经波形预处理后获得的图像。从中可以看出经过波形预处理后的事件波形震相非常清晰, 低频背景噪声有效的剔除。

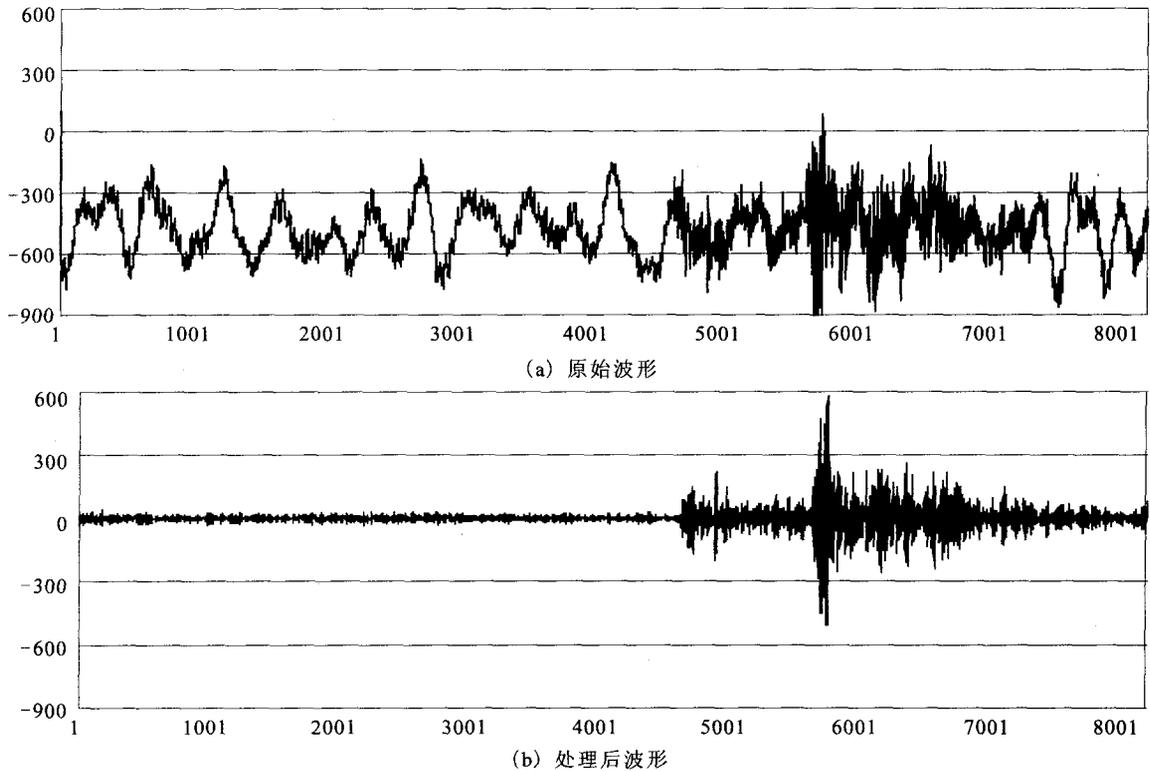


图 1 郯城台垂直向原始和预处理后的波形比较

Fig. 1 Comparison of the original and processed vertical waveform from the record of Tancheng seismic station.

2.2 STA/LTA 方法

通过 STA/LTA 方法对郯城台垂直向波形进行阈值判断(本程序根据对山东地区地震事件触发经验设定阈值为 3.5)。如图 2(a) 所示为郯城台垂直向原始波形经 STA/LTA 方法得到的曲线图。可以看出其阈值范围在 0~2 之间, 没有形成事件波形理论模型预期的曲线图, 而是出现正常地脉动情

况下波形的长短时触发曲线图。

经波形预处理后长短时触发曲线如图 2(b) 所示, 非常清晰地看到对应 P 波和 S 波位置处有两个凸起的峰值, 和事件波形理论模型预期的曲线图是非常吻合的, 分别对应 P 波和 S 波的起始位置。

通过上述方法看到郯城台垂直向波形符合长短时触发方法的触发特征, 同时也表明波形预处理方

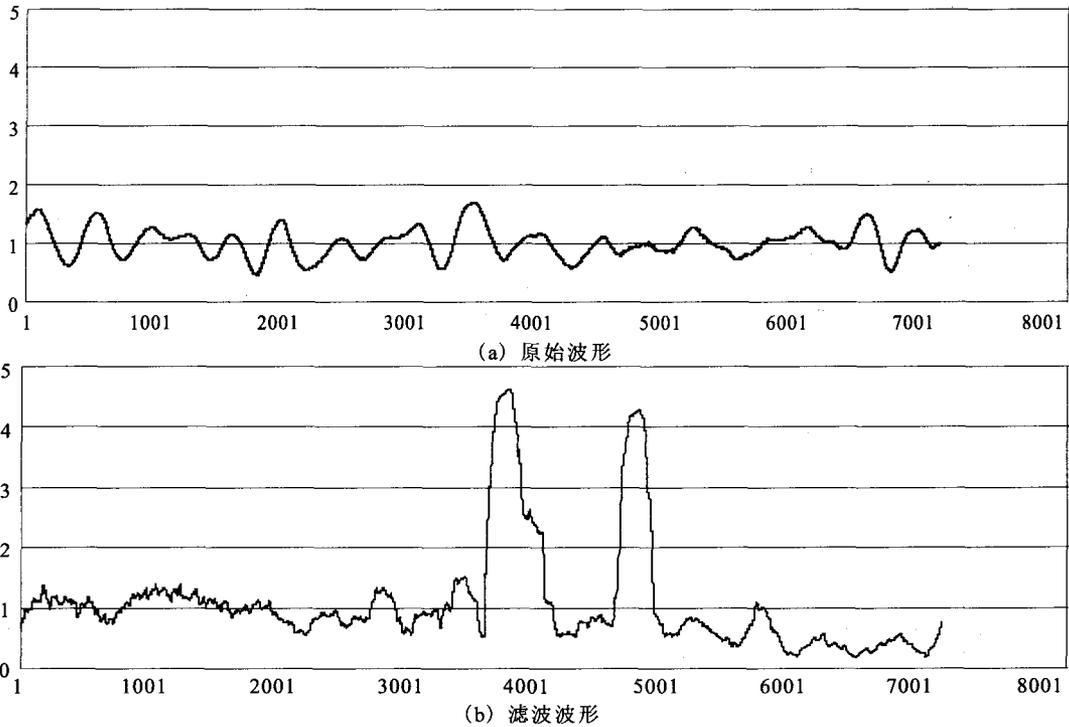


图 2 郯城台垂直向原始波形和滤波波形的 STA/LTA 方法能量比值

Fig. 2 The energy ratio curves of STA/LTA method for the original and filter vertical waveform from the record of Tancheng seismic station.

法能够有效的提取地震波信号。

2.3 波形的延续性

以 STA/LTA 方法识别得到的第一个超过阈值的极大值对应的时间为标志点,计算之前一段时间噪声长度的平均均方根值,计算其后一段时间信号长度内每秒的均方根值。如果每秒信号的均方根值中有 80% 以上的值大于每秒噪声均方根值的 2 倍(本程序根据对山东地区地震事件触发经验设定阈值为 2)的话,则判断有事件发生。

(1) 事件信号:以郯城台垂直向记录的波形为例判断其延续性。通过计算得到郯城台垂直向的能量比值如下,90% 区域能量超过了设定的阈值,体现了信号的持续性特征,符合延续性条件,因此判断其为事件信号(表 1 和图 3)。

表 1 郯城台垂直向能量比值表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.62	2.54	3.38	2.82	2.16	1.95	2.09	2.56	2.35	2.27

(2) 干扰信号:以陶庄台垂直向记录的信号为例判断其延续性。通过对原始波形进行波形预处理(如图 4(a))可以看出该信号为机械干扰信号。对该信号进行 STA/LTA 方法计算,如图 4(b),最大

触发值达到了 4.8,超过设定的触发阈值,符合波形 STA/LTA 方法的触发特征,并且能够与图 4(a)中波形信号很好的吻合,说明 STA/LTA 方法是准确的。对该信号进行延续性能量比值判断,表 2 为 P 波后 10 s 内每秒能量与背景噪声能量比值,只有前三秒钟能量比值较大,尤其第一秒钟能量比达到了 18,这与图 4(a)中的波形信号很好的吻合,体现了脉冲信号的强度大、时间短的特征。该信号不符合延续性条件,因此判断其为非事件信号。

表 2 陶庄台垂直向能量比值表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18.97	6.60	2.37	1.09	1.11	0.82	0.59	1.72	1.18	1.92

2.4 台站的集中性

台站的空间集中性是指为确保所选择的信号为同一事件信号,要求台站必须具有空间集中性。本程序选择最优定位台站是 4~5 个。首先将符合长短时触发特征和信号延续性的波形信号按照 P 波到时进行排序(假设符合条件的台站数为 n 个),从第一个台站开始依次从周围搜索 m 个台站,把这 m 个台站和 n 个符合条件的台站进行比较,如果重复的台站数目大于 p (一般选择 4~5 个),计算最近 p

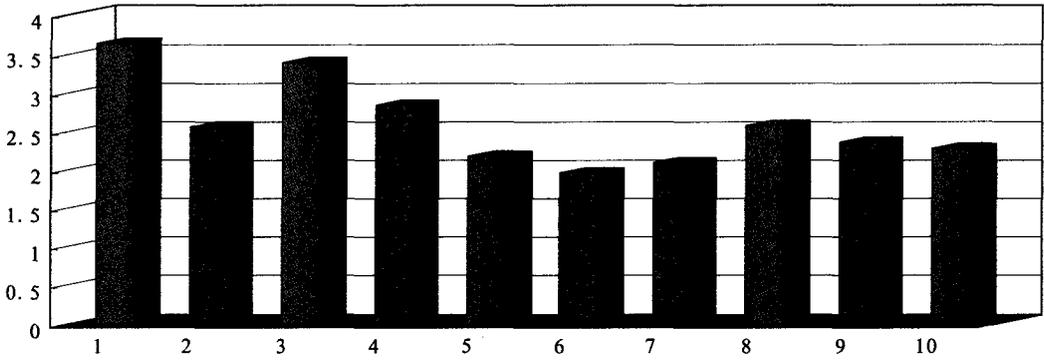
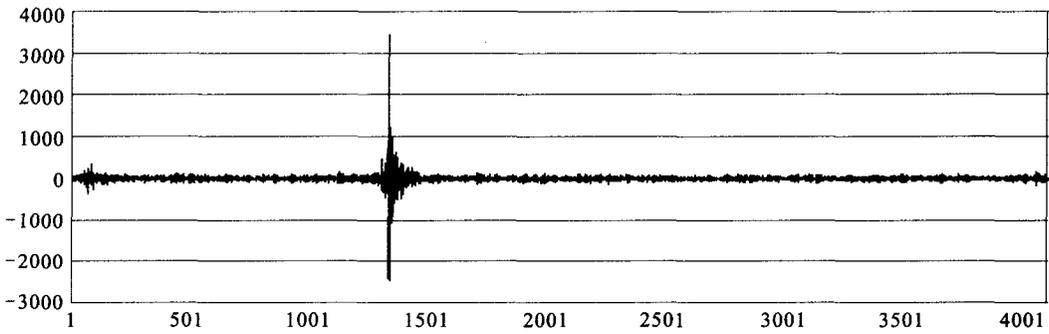
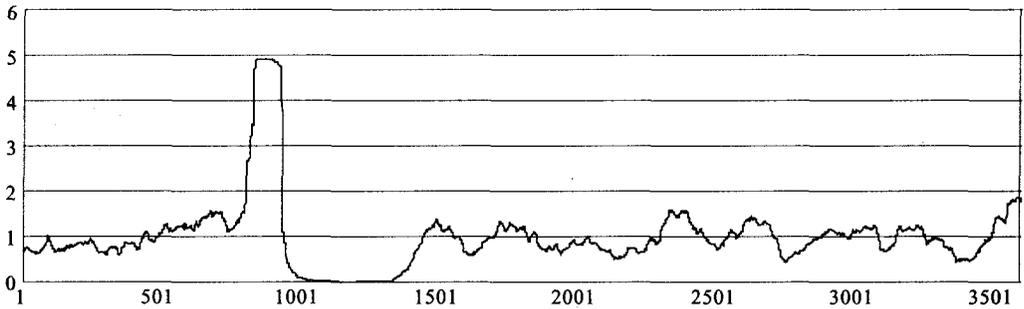


图 3 郑城台垂直向能量比值图

Fig. 3 Energy ratios of the vertical direction in Tancheng record.



(a) 处理后波形



(b) STA/LTA方法能量比值图

图 4 陶庄台垂直向处理后波形及 STA/LTA 方法能量比值

Fig. 4 The processed vertical waveform and its energy ratio of STA/LTA method from the record of Taozhuang seismic station.

个台站距离之和并记录下来;以此方法向下寻找 p 个距离和最小的台站,这 p 个台站是高度集中的台站,即是参与定位的台站。如图 5 中邹城台作为中心台站,与周围泗水、平邑、独山岛、曲阜的距离和最小,为高度集中台站。而东部的威海台满足了 STA/LTA 计算阈值、触发信号的持续性判断,但是从周围搜索的 m 个台站中没有符合条件的台站,不能满足台站集中性原则,属于另外的事件信号。

3 结果分析

对自动定位系统 2009 年 2—3 月份 30 次事件进行了分析。30 次事件包括 7 次黄海地震、8 次冀

鲁豫交界地震、4 次渤海地震、5 次矿震、6 次网内地震。图 6 为自动定位系统与人机交互震级结果比较图,通过图像发现误差范围超过 0.3 的只有一次地震。图 7 为震中位置偏差比较图,偏差都在 10 km 以内,其中 10 次地震偏差在 5 km 以内,达到区域数字遥测地震台网地震速报要求。

4 结论与讨论

(1) 改进后的方法能够处理目前宽频带记录的复杂波形,符合实际波形的特征模型,有效的解决了干扰波形、干扰脉冲等实际问题,提高了波形的信噪比,剔除了非同一事件台站。

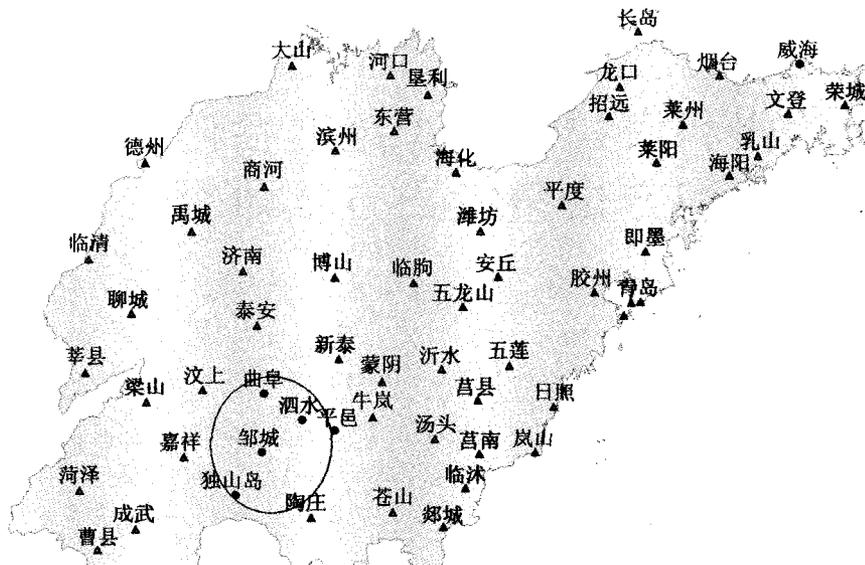


图5 台站空间集中性示意

Fig. 5 Sketch of station Concentration.

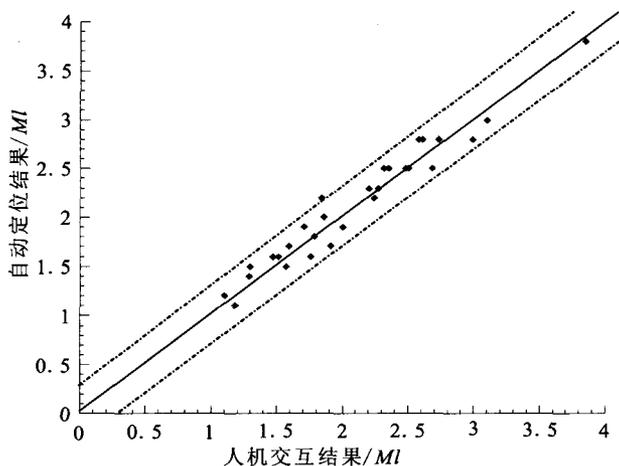


图6 自动定位与人机交互震级比较

Fig. 6 Comparison between the magnitudes from automatic location and from human-computer interaction.

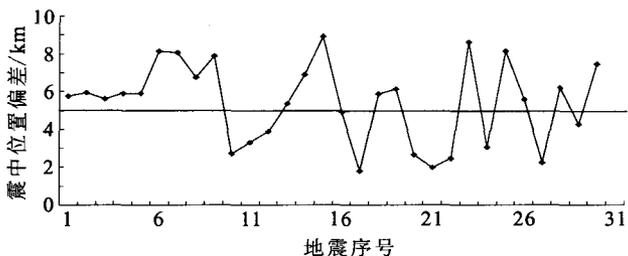


图7 自动定位与人机交互震中比较

Fig. 7 Comparison between the epicenters from automatic location and from human-computer interaction.

(2) STA/LTA 方法、波形延续性、台站集中性三者相结合的判断方法建立了计算机化的运算模

型,能够通过计算机自动、快速、准确的筛选台站,在地震速报速度方面实现了质的飞跃。

(3) 目前宽频带记录的数字信号比较敏感,蕴含着丰富的信息,给地震事件自动判断带来了更多的困难。连续事件的触发也是自动判断软件比较棘手的问题,需要建立更加完善的模型,以求达到更加准确的自动检测。

[参考文献]

[1] Allen. Automatic phase pickers: Their present use and future prospects[J]. B. S. S. A. ,1982,72:S225-242.

[2] 刘希强,周惠兰.智能化地震事件识别与定位系统研究现状与展望[J]. 国际地震动态,2001,(1),6-11.

[3] 周彦文,刘希强.地震事件自动检测新方法[J]. 西北地震学报,2001,22(1):102-123.

[4] M Baer,U Kradolfer. An automatic phase picker for local and seismic events[J]. B. S. S. A. ,1987,77:1437-1445.

[5] Matti Tarvainen. Automatic seismogram analysis: Statistical phase picking and locating methods using one-station three-component data[J]. 1992,82:860-869.

[6] Ruud, et al. . An exercise in automating seismic record analysis and network bulletin production[J]. B. S. S. A. ,1993,83:660-679.

[7] Cichowicz. An automatic S-phase picker[J]. B. S. S. A. ,1993,83:180-189.

[8] Allen. Automatic earthquake recognition and timing from single traces[J]. B. S. S. A. ,1978,68:1521-1532.