

一种自动扫描地震漏检事件方法的研究与实现^①

张波¹, 王娟^{1,2}, 邱宏茂¹, 石建芳¹

(1. 禁核试北京国家数据中心和北京放射性核素实验室, 北京 100085;

2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要:地震事件的自动处理过程中会发生遗漏。台站数量越多,地震分析员在手动扫描遗漏事件时所花费的时间就越长。本文讨论了一种自动扫描漏检事件的方法,该方法利用分析员的分析经验,结合台站分布状况和地球物理学规则,重新关联那些具有很可能来自特定震源区域而未被分析员关联的信号,以形成一个待验证的事件,供分析员审定。该方法大大减少了分析员的工作量,提高了地震公报的质量。

关键词:全面禁止核试验条约(CTBT);地震信号;自动扫描;漏检事件

中图分类号: P315.61

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)02-0321-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0321

The Research and Realization for Scanning Missed Seismic Events Automatically

ZHONG Bo¹, WANG Juan^{1,2}, QIU Hong-mao¹, SHI Jian-fang¹

(1. CTBT Beijing National Data Centre & Radio-Nuclide Laboratory, Beijing 100085, China;

2. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

Abstract: There are more than eight thousands times more than magnitude four in the world ever years. The seismic waves excited by two or more different earthquakes sometimes at the same time reach the observation seismic stations; it is difficult for seismic analysts to manually look for missed seismic events by the automated process software without any tools. The analysts have to spend more time to scan missed event in manual when there are more and more the number of stations in the network. The experience of the analysts determines whether to effectively detect the missed events and experienced analysts can successfully detect missed seismic events by the automated process system in a relatively short period of time. How to reduce the workload of analysts, as well as how to improve the efficiency and accuracy of their work is the issue which we discuss in the paper.

The method of scanning the missed seismic events automatically and the software developed base on the method are introduced in the paper. Automatic scanning missed event method can scan the unassociated signal in the automatic process phase and re-associate them to form a new event. It captures the knowledge of experienced analysts and makes that knowledge available to all analyst and uses empirically derived information to identify candidate association sets for a given source region. We divide the world into several geographic focal regions according to the geographical distribution of seismic stations in NDC monitoring system and the earth physics rules. There is a corresponding set of sensitive stations in each certain region. The criteria for the source regions and candidate arrivals are defined in the NDC database tables and user definable

^① 收稿日期: 2012-03-20

基金项目: 国防科技预先研究军控核查技术(513310104)

作者简介: 张波(1972-), 男(汉族), 山东聊城人, 高工, 现从事禁核试核查地震数据处理。zhang.bo@ndc.org.cn

options to control processing are stored in a parameter file. Each region is given a name, region identifier (number), and upper and lower bounds for latitude and longitude. The scanning software computes an initial P travel-time window for each station to the closest and furthest point in the region.

To sum up, the scanning software can scan automatically unassociated seismic signals to form region specific events, according to the slowness and azimuth of signals, and then reduce the number of missed events. The signal to noise ratio, period and amplitude are also considered in the design of software, but tuning these three parameters need long-term statistical analysis, these parameters are not configured in our trial operation stage. In the future, these parameters can be added to the scanning software, no need to modify the program.

The scanning software is developed on the platform of Solaris system and Oracle database, the core codes are programmed using standard C language. The software has been integrated into the national data center interaction analysis software and has obtained the good effect in the stage of trial operation. It greatly reduces the workload of analyst and improves the seismic bulletin. The change of seismic stations can influence the efficiency of the scanning software, so, the operations parameters need timely be adjusted according to the change of the monitoring station and monitoring network in order to improve the accuracy of the scanning software.

Key words: Comprehensive nuclear-test-ban treat(CTBT); Seismic signals; Scanning; Missed events

0 引言

地震核查是全面禁止核试验条约(CTBT)核查中最重要的一种核查手段,是监测地下核试验有效方法^[1]。它利用国际监测系统(IMS)地震台网记录到的地震波来识别震相类型、测定地震参数和定位事件,进而分析事件的性质,为全面禁核试条约的实施提供技术保障。与其他三种手段相比,地震监测可以给出更好的定位结果和更好的地震参数测定结果^[2]。

禁核试核查北京国家数据中心从 2006 年 3 月开始接收实时地震数据,到目前为止,数据处理系统接收和处理 64 个国内外地震台站的实时数据,以后台站数量还会增加。进入国家数据中心的实时数据首先经过台站数据处理,其结果(信号的时域、频域特征以及震相标识)存储在关系数据库管理系统中。台网数据处理从数据库中查询所需的数据,实现震相全球关联和定位功能,形成自动处理公报。分析员利用各种分析工具审定自动处理公报中事件的可靠性,按特定的要求修正自动处理结果,同时分析员还将搜索自动处理过程中的遗漏事件,最终形成分析员审定公报^①。台站数量越多,分析员在手动扫描遗漏事件时花费的时间就越长,同时成功检测到漏检事件与分析员的经验有很大关系。

本文所讨论的自动扫描漏检事件方法(scan tool,以下简称 ST)是基于有经验分析员的分析经

验,根据台站分布状况和地球物理学规则,利用敏感台站,对每一个震源区域搜索那些具有很可能来自特定震源区域而交互分析完成后未被关联的信号,然后用一组确定的参数(方位角和慢度)对未关联的信号进行关联以形成一个待验证的事件,供分析员审定。该软件工具在自动处理台网处理之后运行,节省了分析员手动扫描事件的时间,提高了分析员审定事件公报的质量,同时通过对漏检事件趋势的分析可帮助校正台网处理。该软件具有很好的扩展性。

1 基本原理

地震事件的形成主要通过关联系统所获得的地震数据来进行地震事件的震中位置以及震级的计算^[3]。每年全球 4 级以上的地震发生次数在 8 000 次以上,并且两个或多个地震所激发的地震波有时会在同一时间到达观测台站,在保证定位精度的同时不漏报地震事件一直是测震学研究的重点^[4]。国家数据中心自动处理软件基于选取距离震源地点近和信号比较好的台站检测到的信号进行关联形成事件,事件关联通过格点搜索算法实现^[5]。由于地球的地质构造不是一个均匀的球体,地震波在传播过程中受到地质结构因素的影响,改变了传播方式。

① 刘俊民,等. 核查体系建设(内部). 2000;3-4.

对某个震源区域事件,监测信号比较好的并不一定是距离事件地点最近的台站。而且在实际分析过程中那些距离比较远的台站的信号往往容易被忽略,在分析结束后会遗留很多未关联的信号。

自动扫描漏检事件方法对未关联的信号进行扫描,重新关联形成新的事件。其基本原理是一种分析经验的集合,在某个震源区域的事件会在监测网络中形成一个台站子集,该子集中的台站对该震源区域具有非常显著的监测能力,我们称之为敏感台站。敏感台站并不总是最靠近地震事件的台站,也不总遵循常规的地震波衰减模型。在实际应用中,我们根据数据中心目前地震台站分布状况和地球物理学规则将全球划分为多个地理震源区域,每个地区都有一组对应的敏感台站,每个台站到该地区的初至 P 波方位角范围、慢度范围、以及信噪比、周期、幅值范围等定义在数据库表。计算对应的台站到该地区的 P 波最大走时和最小走时,按照数据库表定义的台站和震相方位角、慢度范围,选择并排列符合条件的未关联的震相,使得每个区域都有对应的一组震相集合,对其进行关联以形成一个待验证的事件,供分析员审定。方法原理如图 1 所示。

图 1 中的矩形代表一个震源区域,三角符号代表一个监测台站; tt_1 和 tt_2 分别是震源区域内相对于台站最远和最近两个位置发生地震事件的走时。如果待分析信号的到时是 ∂ ,这个区域如果发生地震,则发震时间 t_0 的范围为 $T_2 \leq t_0 \leq T_1$,其中 $T_1 = \partial - tt_1$, $T_2 = \partial - tt_2$ 。 T_1 到 T_2 之间的时间就是该震源区域的信号到达这个台站的时间窗,所有属于这个震源区域内的事件信号到达这个台站的时间必须处于这个时间窗内。

如图 1 所示, A、B、C、M、W、X、Y、Z 分别代表该震源区域内的信号到达不同台站时间范围,如果这些时间之间互相有重叠,达到或超过预定义的最小数目时,就把相应的信号关联成一个事件。需要注意的是,同一个信号可以关联到多个事件中。所以图中的例子最后会形成 ABC、WXY、YZ 三个事件。

2 系统设计与流程

本文提出的自动扫描漏检事件系统是基于 Solaris 系统,数据库采用 Oracle^[6],核心程序用标准 C 语言编制^[7],添加新的地区时只需要修改数据库表和参数文件,无需修改程序。

我们将软件设计为交互分析软件(ARS)图形界

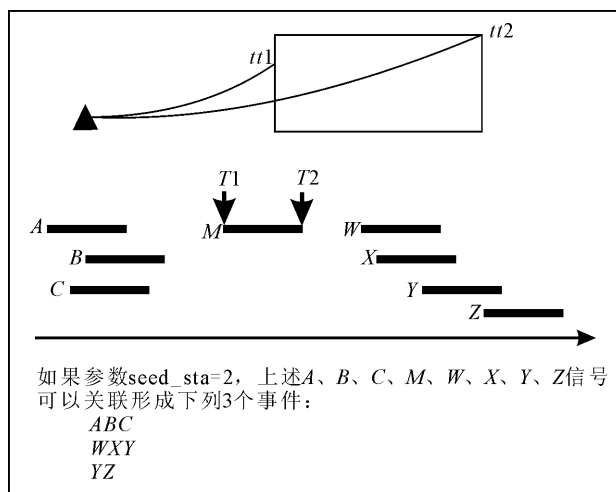


图 1 事件扫描基本原理

Fig. 1 Scanner tool seed event formation.

面上的一个按钮,如图 2,图 3 所示。当 ST 被 ARS 调用,ST 通过 ARS 获得开始时间,持续时间,数据库,用户名和被排除台站等信息。在这些信息的引导下,ST 从其特定的数据库表中与 scanner. par 文件定义的静态数据表中读取震源区域参数和台站参数,计算震源区域最近和最远位置 P 波到达每个台站的走时。接着从自动处理生成的动态数据表中读取时间在“开始时间”和“开始时间+持续时间”之间的 scanner. par 定义的所有信号,在完成上述过程后,ST 再次减去在该时间段内的未关联的信号。至此,形成了一个在时间约束范围内的未关联信号列表。ST 的流程图见图 4 所示。



图 2 交互分析中的 ST 按钮

Fig. 2 Scanner button in ARS.



图 3 台站选择窗口

Fig. 3 Station selection window.

ST 针对每一个震源区域和敏感台站的关系,对未关联台站的信号进行筛选和分组,形成了每个震源区域敏感台的未关联信号组,检查属于同一震源区域内的未关联信号的到达时间是否都在这个震源区域地震波的传播时间窗范围内。如果在同一个震

源区域,发现同一时间窗内有多个信号重叠,就将这些未关联的信号关联成为一个事件,输出到 trail.scm 文件中。

按照上述方法,对每一个震源区域进行处理后,新形成的事件会增加到输出文件中,然后加载到 ARS 中,对每个事件进行重新定位。最后由分析员对 ST 新产生的事件进行审核,完成全部处理过程。

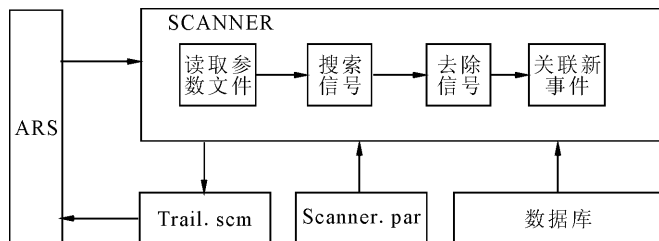


图 4 ST 流程图

Fig. 4 Scanner flow chart.

ST 包含了很多参数,这些参数是根据分析员常年的分析经验积累确定的,参数被调整成像一个有丰富经验的分析员在观察波形一样对波形进行模拟扫描处理。ST 软件采用很多经过验证并得到公认的分析员经验。当监测网络发生改变时,针对特定震源区域的敏感台子集就应该相应的改变。随着更多的数据被收集分析,ST 使用的很多参数也应该根据分析经验进行相应的调整,提高 ST 的处理性能。

3 运行结果与分析

ST 已经集成到国家数据中心交互分析软件中,分析员可通过 ARS 软件的相应按钮调用 ST。如前所述,ST 软件是基于分析员日常分析统计基础之上的,配置参数的选定对于 ST 软件来说也是相当重要的,我们以 2010 年 1 月 1 日—2011 年 1 月 1 日一年间国家数据中心分析员审定库(REB)的事件为基础,对日本地区(纬度: $22^{\circ} \sim 42^{\circ}$, 经度: $136^{\circ} \sim 148^{\circ}$)进行了统计分析,选择出符合条件的针对该地区的敏感台站,并对该地区配置了敏感台站参数,如表 1 所示。

表 1 中慢度(L)为慢度下限,慢度(H)为慢度上限,方位角(L)为方位角下限,方位角(H)为方位角上限。将上述台站参数加入国家数据中心数据处理系统中。试运行阶段在日本地区扫描到的漏检事件大约 20% 为真实事件。综上所述,ST 能够对自动处理产生而未进行关联的信号进行扫描,根据信号的慢度和方位角参数控制,可以重新形成针对特定区域的事件,能够有效地减少该地区的漏检事件,降低分析员的工作强度。在 ST 的设计中也考虑了

信号的信噪比、周期和振幅的影响,但由于这三个参数需要长期的统计结果分析,在我们试运行阶段未配置这些参数。将来还可以将这些参数加入 ST 中,能够有效的降低 ST 的误检率。

表 1 日本地区敏感台站及参数

Table 1 Hot stations and parameters in Japan

台站	纬度/ $^{\circ}$	经度/ $^{\circ}$	慢度 L	慢度 H	方位角 L	方位角 H
MKAR	46.8	82.3	3.0	12.0	65.0	110.0
ILAR	64.8	-146.9	4.0	10.0	24.0	295
ASAR	-23.7	133.9	4.0	14.0	0.0	25.0
ASAR			4.0	14.0	335.0	360.0
MJAR	36.52	138.24	4.0	18.0	0.0	360.0
SONM	47.83	106.39	4.5	12.0	70.0	135.0
WRA			6.0	10.0	0.0	20.0
WRA	-19.94	134.34	6.0	10.0	335.0	360.0

由于 ST 的运行基础是从大量的分析事件中统计分析得到的分析经验,因此良好的审核事件公报是 ST 是否能有效发挥作用的基础。台站数据传输处理的连续稳定运行,能够真实反映台站对监测区域的监测能力,也影响着事件统计分析的结果,进而影响着 ST 的应用效果。

4 结束语

ST 系统已经集成到国家数据中心交互分析软件中,在试运行阶段取得了不错的效果,大大减少了分析员的工作量,提高了地震事件公报的质量。但是需要注意的是,监测系统的变化直接影响着 ST 的运行效果,因此在使用过程中还需要根据监测台站和监测网络的变化,及时的调整运行参数,才能提高 ST 扫描漏检事件的准确性。

[参考文献]

- [1] Sereno Jr, Thomas J. Nuclear Monitoring Research and Development Project Final Report[R]. SAIC-96/1065;11-12.
- [2] CTBTO 全面禁止核试验条约组织筹备委员会. 全面禁止核试验条约[Z]. 1996: 6-7.
Preparatory Commission for the Nuclear - Test - Ban Comprehensive Treaty Organization. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treat[Z]. 1996;6-7.
- [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, 2008,30(2):102-106.
ZHOU Yan-wen, LIU Xi-qiang. A New Method of Automatic Seism in Event Detection [J]. Northwestern Seismological Journal, 2008,30(2):102-106.
- [4] 傅淑芳,刘宝诚. 地震学教程[M]. 北京:地震出版社,1991: 410-411.
FU Shu-fang, LIU Bao-cheng. Seismology Yutorial[M]. Beijing: Earthquake Press, 1991;410-411.

- [5] 王娟,张波,邱宏茂. 兰州和海拉尔核査地震台阵慢度和方位角校正方法研究[J]. 西北地震学报,2010,32(3):330-334.
WANGg Juan, ZHAO Bo, QIU Hong-mao. Research on Method of Slowness—Azimuth Station Corrections for LZDM and HILR Verification Seismic Arrays[J]. Northwestern Seismological Journal,2010,35(4):330-334.
- [6] Urman S. Oracle8 PL/SQL Programming [M]. [S. l.]: McGraw—Hill Companies,1997:26-28.
- [7] Rich Teer. Solaris 系统编程[M]. 北京:机械工业出版社,2004:35-37.
Rich Teer. Solaris System Programming [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2004:35-37.