

成都遥测地震台网地震波实时处理 系统功能及特点*

范 军¹⁾ 陈天长¹⁾ 韩渭宾¹⁾ 曾 健¹⁾
郑斯华²⁾ 长谷川 昭³⁾ 堀内 茂木³⁾

- 1) 中国成都 610041 四川省地震局
2) 中国北京 100036 国家地震局分析预报中心
3) 日本仙台 980 东北大学理学部地震预知喷火预知观测中心

主题词 地震波 实时处理 波形实时显示 AR 模型 AIC 准则

近十几年,随着计算机技术的普及和发展,在地震学中,计算机实时处理技术也得到了发展并日趋完善.在这方面,国外许多学者(Hasegawa *et al.*, 1986; Horiuchi, 1992; Matsumura, 1987; Morita, Hamaguchi, 1984; Shirai, Tokuhiko, 1979; Horiuchi *et al.*, 1985; Yokota *et al.*, 1981; Stewart, 1977)都研制出了地震波实时处理系统,尽管其设计构思及软硬件实现方法不尽相同,但都各有所长.其中, Horiuchi 等(1992)研制的一套适用于 NEC PC-98 微机上的实时处理是较为完善、可靠的系统.本文所介绍的成都遥测地震台网实时处理系统,是在借鉴其系统软件的设计思想和方法上吸收、完善而发展起来的.其中, A/D 转换和波形显示部分全部重新编写,以适合 IBM 微机的要求.

1 系统软硬件配置及功能

该计算机实时采集和处理系统的硬件配置从可靠性方面考虑,可采用双机系统,图 1 为系统配置及功能示意图.其中一台机器完成数据的采集、波形实时显示、事件检测及事件存盘,该微机处于连续的采集及事件检测状态,以保持事件检测的连续性而保证尽可能不漏记地震.实际运行中,在检测到事件后,小于 10 s 的存盘、自动判定 P 波、S 波及定位时间内,为漏采样时间;另一台机器完成数据采集、事件检测、数据的存盘、P 波及 S 波震相的自动判读及实时定位,并显示和打印地震事件的波形和结果.该机还具备脱机处理功能,必要时,可进行人机交互处理,以便随时对处理结果进行修正.系统软硬件配置示意图如图 1a 所示.表 1 为实时处理系统基本参数表.该实时处理系统软件分为联机 and 脱机两大部分.

1.1 联机系统

该系统中,联机系统部分在没有人干预的情况下,自动完成数据收集和处理的各功能.该部分包括数据采集、事件检测、波形数据存盘、P 波及 S 波震相自动判别、近震自动定位、波形显示、处理结果打印输出.为了监视各信道的运行情况,本系统还增加了波形实时显示的功能,如图 1b 部分所示.

* 四川省科学技术委员会四川省重点科学技术研究项目资助课题.
1997-06-16 收到初稿, 1997-11-06 收到修改稿并决定采用.

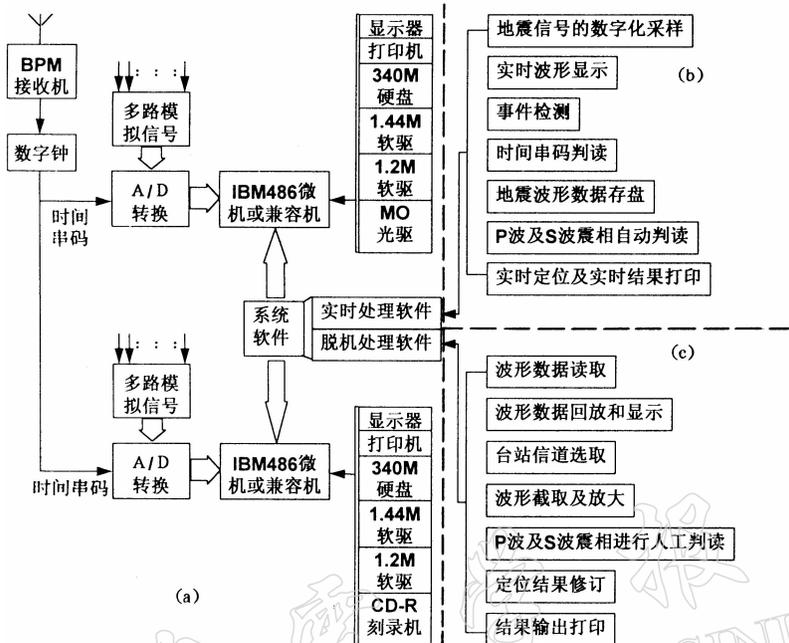


图 1 系统配置及系统功能示意图.

(a) 硬件配置; (b) 联机系统功能; (c) 脱机系统功能

1.2 脱机系统

人机结合的脱机处理工作是在屏幕的图形界面下, 用鼠标器来完成的. 用菜单显示的方法, 选中所需处理的地震, 将其波形显示在屏幕上. 先进行分道选择和波形的截取放大, 对各道进行 P 波、S 波震相的人工判读, 对远震从屏幕上读取 P 到时后, 由人工的方法输入 S 波震相, 自动完成近震、远震的定位, 如图 1c 所示. 以上工作操作简单, 速度快稳定性好, 为地震速报缩短时间、提高效率提供强有力的技术支持.

表 1 实时处理系统基本参数

模拟输入通道	16(可扩展到 32)
A/D 分辨率	12 位
记录时间长度	3 min
采样率	100 点/秒
最大输入电压范围	±5V
各道采集时间差(最大)	2ms(32 道为 4ms)
硬盘容量	340M
MO 光驱容量	230M(可选项)
CD-R 光盘刻录及容量	650M(可选项)

2 数据的收集

该系统通过 A/D 转换, 将 16 道(可扩展到 32 道)模拟地震信号经过多路开关以后进入 A/D 转换器采样并量化成数字信号送入计算机, 由计算机进行单道及多道触发的综合判断, 对符合触发条件的判定为事件并进行记盘及数据处理. 本系统的程序主要由 FORTRAN 语言编写, 其中 A/D 转换和波形数据存入硬盘的程序由汇编语言完成, 以提高系统的效率.

2.1 A/D 转换

模拟-数字(A/D)变换是将模拟地震信号转换成数字地震信号, 以便于计算机的处理. 该系统采用 HY-8021 型多功能数据采集板, 可提供 16 道的 A/D 转换通道数; 若用两块 HY-8021 采集板, 可增加为 32 道信号的采集系统. 采用板上的 4 MHz 石英振荡器作为基准时间, 用板上 8253-5 定时/计数器芯片作为 A/D 转换的定时信号, 以提供精确的采样频率. A/D 转换部分的流程图如图 2 所示, 由 8253 定时/计数器按预先设定好的采样起动 A/D 转换, 由软件查询 A/D 转换完成标志, 然后读取 A/D 结果.

2.2 地震事件的检测

地震事件的检测是实时处理系统中一项非常重要的工作,其检测的效果对系统的整体性能影响很大.实践证明,直接用短时平均(STA)值与长时平均(LTA)值比值的方法,在信噪比大或地震波初动清楚、振幅较大的情况是可靠的;然而在地震波信噪比很小,甚至信号淹没在噪声中的情况下,其效能就很低,往往会造成误判或漏判.本系统中,首先采用数字递归滤波器对信号进行预处理(Horiuchi, Matsumura, 1987),然后再结合 STA/LTA 值作为单道判定触发条件的判据,采用多道综合判定的方法判定事件触发,从而大大提高了信噪比,使其检测的可靠性有了很大的提高.图 3 为该系所记录的一个近震事件实例.

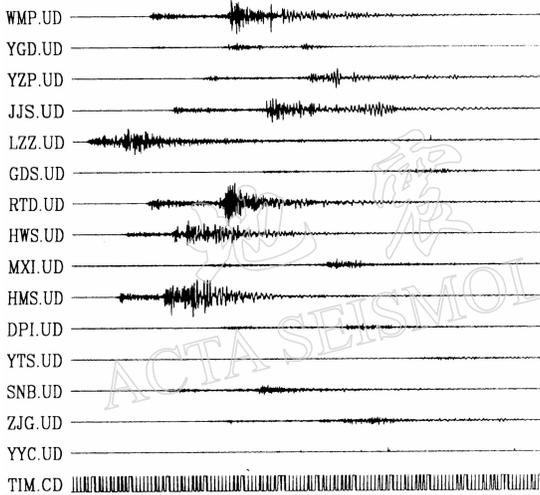


图 3 1997 年 5 月 27 日 03 时 14 分触发的四川荣昌 $M_L=2.8$ 地震事件记录实例(实时定位结果:1997 年 5 月 27 日 03 时 14 分 57.1 秒,残差:0.39; $29^{\circ}21'N$, $105^{\circ}30'E$, 残差:0.02)

2.4 地震波形数据的存盘

一旦满足了所设定的触发条件,该系统就将各道的波形数据存入硬盘,每道 18 000 个数,每个数 2 Bytes,共 16 道.若采样率为了 100 点/秒,3 分钟时间长度的事件数据量为

$$16 \cdot 18\,000 \cdot 2 \text{ Bytes} = 576 \text{ kBytes}$$

由此可见,其数据量相当大.由于计算机硬盘容量有限,其资源的节省是一项非常有意义的工作.为此,本系统采用了一种压缩数据量的方法,可以将波形数据的 4 个字压缩成为 3 个字.这样,数据所占的磁盘空间缩小为原来的 $3/4$,一个事件数据压缩成 432 kBytes.图 4 为波形数据压缩示意图.使用波形数据时,可以将数据按逆向的方法把波形数据重新解压缩还原出来.为了极大的缩短存盘时间,打开文件、

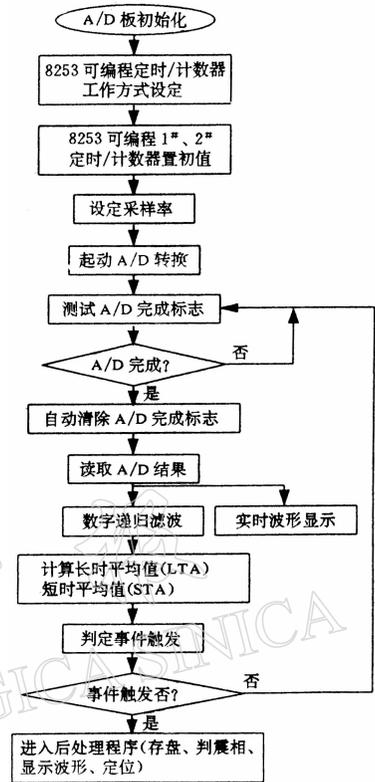


图 2 A/D 转换部分流程图

2.3 时间服务

该系统在采样时将实时钟站串行时间码(BCD 码)作为一路信号变换成数字量,将该道串行时间码提出来作计算处理,可以得到实时时间.对于时间服务精度高的台网,可将其视为零钟差.例如, A/D 转换的采样率为每道 100 点/

秒,其实时处理的时间服务精度可达 ± 7 ms.用时间串码读取实时时间的方法为:首先将串码的量化波形数据进行脉冲宽度计数,可以得到分隔符及宽、窄脉冲;然后按时间串码的编排格式以 BCD 码的方式进行合成,即可以得到年、月、日、时、分;最后计算出整分钟与触发开始时间之间的采样点数,即可以得到触发时间秒.

写入数据及关闭文件的子程序都是由汇编语言写成, 由 FORTRAN 语言调用的, 这样可使存入一个地震波形数据在几秒的时间内完成.

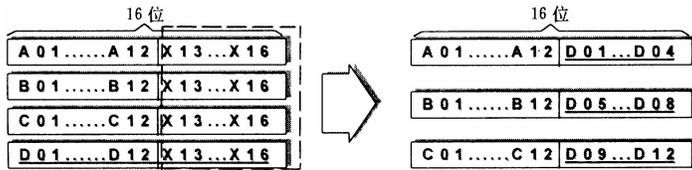


图 4 波形数据压缩示意图

3 P 波、S 波到时的自动判别

Horiuchi 等(1992)提出了用 AR 模型数字滤波器预处理的赤池(AKAIKE)的情报量准则(AIC), 进行 P 波、S 波到时自动检测方法. 其优点是计算量小, 在微机上也能够快速进行自动检测. 为了减小噪音的幅度, 引入自回归函数

$$F_n = U_n - \sum_{k=1}^4 C_k U_{n-4k} \quad (1)$$

式中, U_n 是第 n 点的观测数据; C_k 为常数, 由下式采用最小二乘法求得:

$$\phi = \sum_{n=1}^M F_n^2 \quad (2)$$

其中, M 是 P 波或 S 波到达前时间窗中的数据量. 在 P 波拾取时, 我们用 0.5 s 时间窗的噪声数据; 在 S 波拾取时, 用 0.5 s 时间窗的 P 波数据进行计算. Horiuchi 等(1985)提出了用很短的计算时间确定 P 波或 S 波近似到时的方法. 本方法的特点在于采用了赤池(AKAIKE)的情报量准则(AIC)来判定 P 波或 S 波的近似到时的精确到时的方法如下: 将波形数据分成几十个小段, 引入函数 $A(n)$

$$A(n) = \sum_{i=1}^L |F_{L(n-1)+i}| \quad (3)$$

这里, L 是每一小段数据量的个数, P 波的近似到时的由下式中 AIC 的最小值得得:

$$\text{AIC}(k) = (k-1) \lg \left\{ \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k-1} A^2(i) \right\} + (N-k) \lg \left\{ \frac{1}{N-k} \sum_{i=k}^N A^2(i) \right\} \quad (4)$$

N 是将波形数据分成的小段数, 所求得的 $\text{AIC}(k)$ 最小值所对应的小段, 即为 P 波的近似到时的. 在该小段继续进行上述分段, 直到公式(3)中 L 等于 1, 这时所求得的 k 所对应的时间即为 P 波的精确到时的. 同样, 选取在 P 波到达之后的时间窗, 进行上述计算, 可得到 S 波精确到时的.

4 实时近震定位

由于自动判定 P 波、S 波可能出现错误到时数据, 在近震实时计算机定位中, 加入自动除去错误数据的功能是非常重要的(Hasegawa *et al.*, 1986). 首先计算 P 波到时的平均值, 除掉个别比根据台网孔径计算出的 P 波到时范围要大的台的 P 波到时, 进行定位计算; 去掉 P 波或 S 波中残差最大的数据后, 重新作定位计算; 重复以上步骤直到其均方根误差满足所给定的要求. 得到收敛解后, 在更小的时间窗范围内, 再次自动判读那些在第 1 次判定中没有自动读取出到时数据和在上述处理过程中被除去到时数据的台站 P 波或 S 波到时, 加入再读取的到时数据后再次进行定位计算, 去掉 P 波或 S 波中残差最大的数据后, 重新作定位计算, 重复以上步骤直到其均方根误差满足所给定的要求, 得到最终的定位结果.

5 结语

成都遥测地震台网实时处理系统完成 A/D 转换、事件检测、事件存盘, P 波、S 波自动判别及定位结

果的打印, 并可用脱机系统功能随时进行结果的修订. 该系统从 1993 年 12 月投入运行以来, 运转正常, 系统稳定性好. 已记录到了 4 000 余次地震事件, 其自动震相拾取准确, 对台网内地震的定位结果可靠, 与人工结果一致, 可在 3 分多钟内完成对近震参数的测定; 对远震用脱机系统功能也能及时定出地震位置, 符合地震速报的要求. 该系统投入运行使成都遥测地震台网的技术优势得到了更大的发挥. 它不但大大地减轻了劳动强度, 简化了工作程序, 而且使我们在这方面的工作跨入了全国的先进行列.

总之, 成都遥测地震台网计算机实时处理系统为地震速报工作提供了技术支撑, 同时也为四川地区地震学的研究提供了大量地震的可供使用的数字化地震波形数据.

参 考 文 献

- Hasegawa A, Umino N, Yamamoto A, *et al*, 1986. Automatic event detection and location system of microearthquake observation network. *J Seism Soc Jpn*, Ser II, **39**: 381~395 (in Japanese with English abstract)
- Horiuchi S, Yamamoto A, Matsuzawa T, 1985. A real-time detection and location of aftershocks of the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake by using personal computer. *J Seism Soc Jpn*, Ser II, **33**: 529~539 (in Japanese with English abstract)
- Horiuchi S, Matsumura S, 1987. Automatic hypocenter determination by analyzing system for precursors of earthquakes. *Rep Natl Res Disas Prev*, **41**: 89~100
- Horiuchi S, Matsuzawa T, Hasegawa A, 1987. Multichannel digital event recording system using personal computer. *Seism Soc Jpn*, Ser II, **40**: 119~122 (in Japanese)
- Horiuchi S, 1992. Hypocenter locations by a dense network. *J Phys Earth*, **40**: 313~326
- Horiuchi S, Matsuzawa T, Hasegawa A, 1992. A real-time processing system of seismic wave using personal computers. *J Phys Earth*, **40**: 395~406
- Matsumura S, 1987. Automatic hypocenter determination by analyzing system for precursors of earthquakes. *Rep Natl Res Disas Prev*, **41**: 89~100
- Morita Y, Hamaguchi H, 1984. Automatic detection of onset time of seismic waves and its confidence interval using the autoregressive model fitting. *J Seism Soc Jpn*, Ser II, **37**: 281~293 (in Japanese with English abstract)
- Shirai K, Tokuhito I, 1979. Detection of seismic wave onsets. *J Seism Soc Jpn*, Ser II, **32**: 141~147 (in Japanese with English abstract)
- Stewart S, 1977. Real-time detection and location of local seismic events in central California. *Bull Seism Soc Amer*, **67**: 433~452
- Yokota T, Zhou S, Mizoue M, *et al*, 1981. An automatic measurement of arrival time of seismic waves and its application to an on-line processing system. *Bull Earthq Res Inst, Univ Tokyo*, **55**: 449~484