

地震波信号实时处理系统

陈 龙

(中国科学院自动化研究所)

摘 要

为了快速测定监视区域内地震的三要素,需要对地震波信号进行实时处理,本文论述了该实时处理系统的结构与处理方法。

系统具有网状结构,可实现对瞬态波形的处理,具有一定的普遍性。

地震,在其震级较高时,会给人类带来巨大的灾难。一旦发生地震,必须快速而准确地测定震中位置和震级大小,测震系统的建立不仅有利于震后的抗震救灾,而且由于“以小震预报大震”在一定条件下有效,所以测震系统又是地震预报的基础手段。

受测震方法制约,该类系统应是一个台网。由于地震发生时间是随机的,故系统应长时间连续运行。此外,衡量测震系统优劣的性能指标一是准确,二是快速,故系统应具有实时处理和快速响应能力,因此这类系统必定是计算机网络或联机系统。本文重点阐述该系统的实时处理功能。

一、系统概述

为了观测地震,分布在不同位置的各个台站应实时记录下所发生地震的波形,还要实时地将各台站的记录加以汇总,为此,系统需有连接各台站的呈树状结构的高速传输通路。为了有效地对台网资源进行调度和管理,实现整个测震系统的自动化,需有网络管理软件或遥测控制系统。

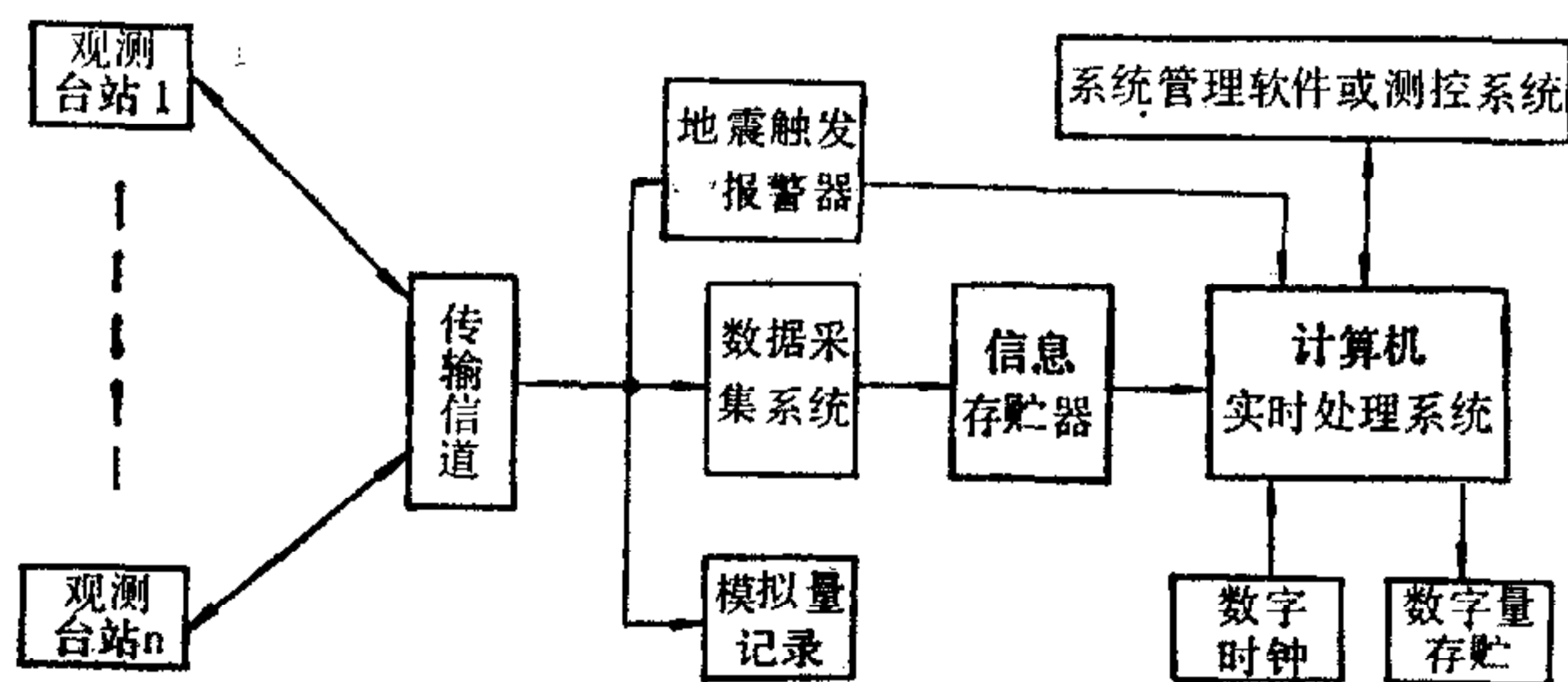


图 1

对测震系统而言,其最基本的信息来源是各台站记录的地震波波形信号,这些波形信

号及其相应的绝对时间标记是决定系统测报精度的关键。

为提高测震系统的利用效率,系统中设置有一个地震触发报警器,借以对各台站记录的波形信号进行鉴别,当该报警器有信号输出时,计算机方对此时刻前后各台站记录的信息进行处理。系统结构如图 1 所示。

系统采用集中控制与处理方式。各个观测台站记录的模拟量波形信号,通过传输线路实时地被汇总,经数据采集系统后成为数字化信息。数据采集是按顺序对各台站信号以轮转方式进行的。无疑,采样频率的选择是重要的,但同时也应顾及数据量的多少。为简化系统配置,提高系统快速响应能力,也可将计算机内存的一部分专门作为地震波信息的缓存,其内容在系统运行过程中不断地被更新。

地震触发报警器和数字式绝对时钟被作为计算机处理系统的专用外设。地震触发报警器的输出为级别最高的中断信号,地震波的采样值和绝对时钟值则以 DMA 方式写入缓存空间。系统监控程序与处理流程如图 2 所示。

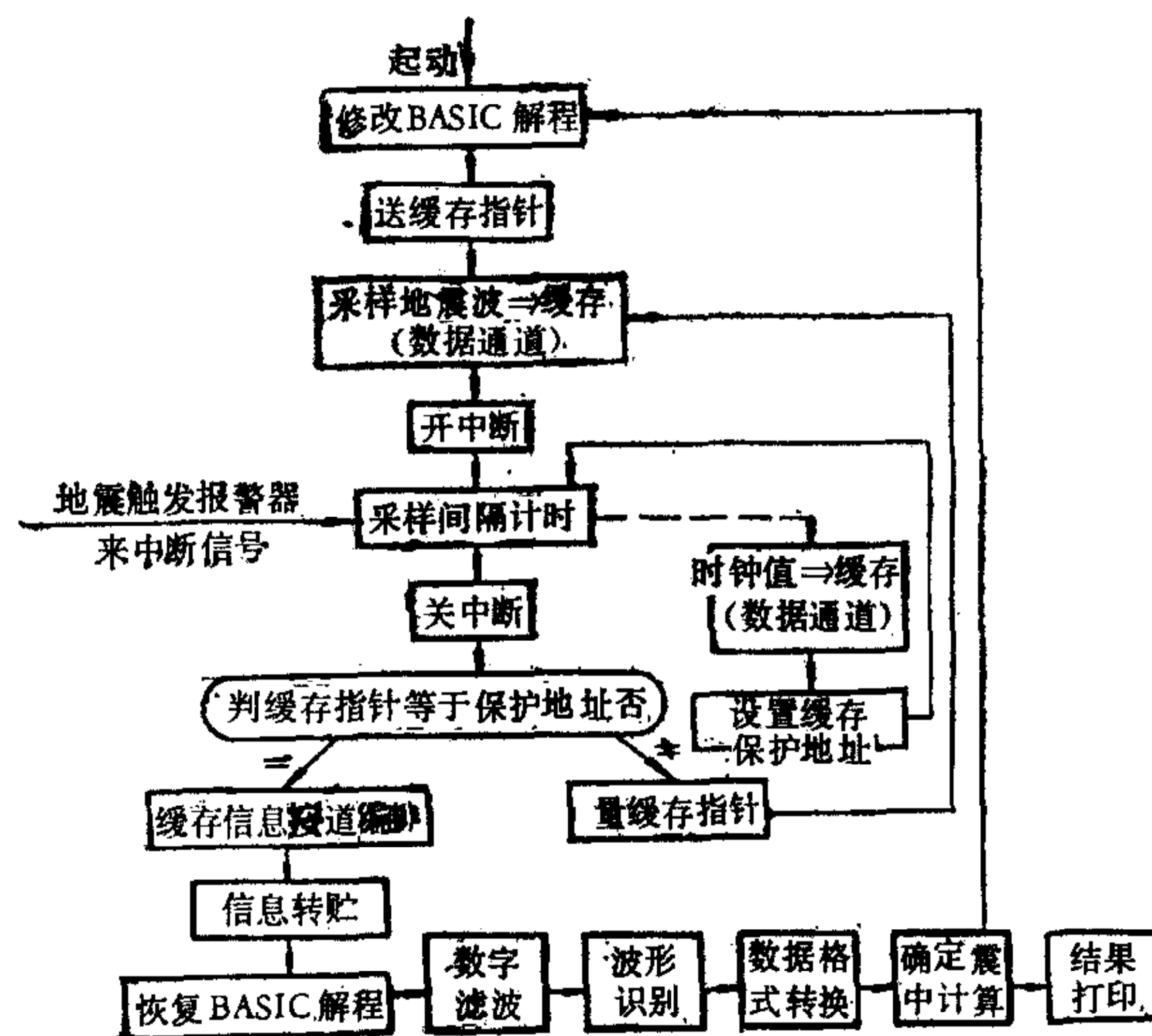


图 2

当缓存空间中的地震波信息开始被处理时,先将其变换成分道(即按台站)按时间递增顺序排列,并转贮保存以供事后分析研究。在处理期间,缓存空间被封锁,禁止写入新的内容。

二、数字滤波子系统

虽然理想的地震波系地壳深处断层发生错动造成的,但由于台站记录的地震波是地震时地表的振动,因此实际被记录的波形中还包括由其它原因引起的地表振动等各种噪声信号。为提高处理精度,必须提高信噪比,数字滤波是行之有效的一种方法。

数字滤波有时域滤波和频域滤波两类,考虑到时间因素,一般宜采用时域滤波。地震波是低频信号,故可采用低通滤波,其相应的脉冲响应函数和频率响应函数如图 3 所示。

由于信息长度的有限性,等价于时域函数被截断,故结果将产生畸变,为此需加时窗

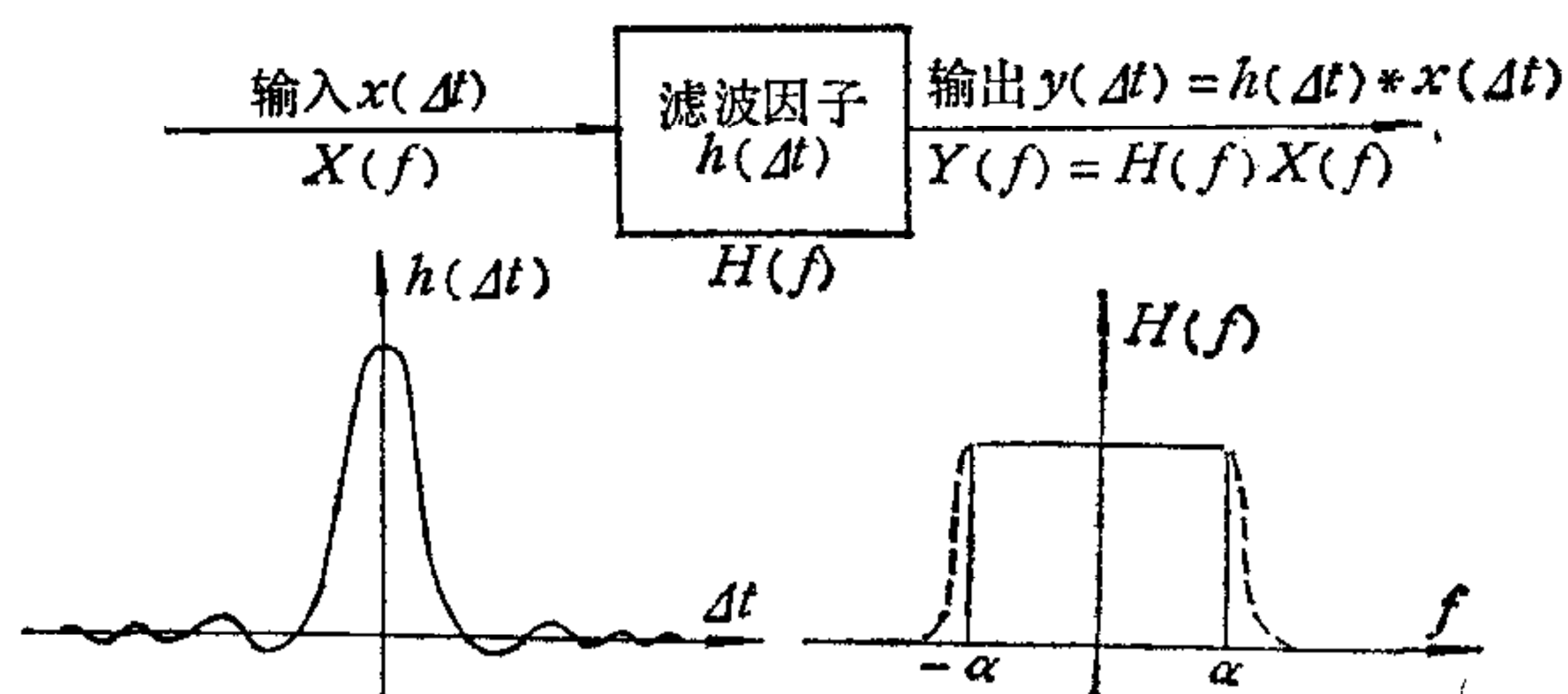


图 3

函数。为减少做褶积的计算量，可采用镶边门式频率响应函数，使时域滤波因子急剧衰减，如图 3 中虚线所示。本系统用对低通滤波因子作加权处理，以达到近似镶边门式频率响应函数的滤波效果，即取

$$h^*(\Delta t) = h(\Delta t) \times \cos \frac{\pi \Delta t}{2T} \quad (T = \alpha)$$

作为新的滤波因子。

三、波形识别子系统

系统根据地震触发报警器有无输出判别是否已发生地震，即根据各台站记录到突变性信号的幅度，及在一定时间范围内各台站突变性信号出现的“同时性”，以多数表决原理来判别。由于突变性信号既可是地震信号，也可以是诸如车辆在台站旁驰过或煤矿塌方等产生的强噪声所致，而且在某一时间范围内若干个台站同时出现强噪声的情况也有可能，故对来自各台站的信息还需进行更严格的筛选和检查，以最终确定缓存信息所表征的究竟是否是地震事件，为此系统使用了频谱分析法和基于地震波波形特征的抽特征方法。前者通过对采样值在频域上求出功率谱的最大频率点来检验是否具有低频特性，后者则根据地震波的波形特征——振荡性质、幅值分布、统计频率等进行检验。

地震波是纵波在先，横波在后。纵波是垂直方向的振动，横波是水平方向的可感振动。地震是突发性的持续时间不长的急剧衰减振荡，典型的地震波波形如图 4 所示。

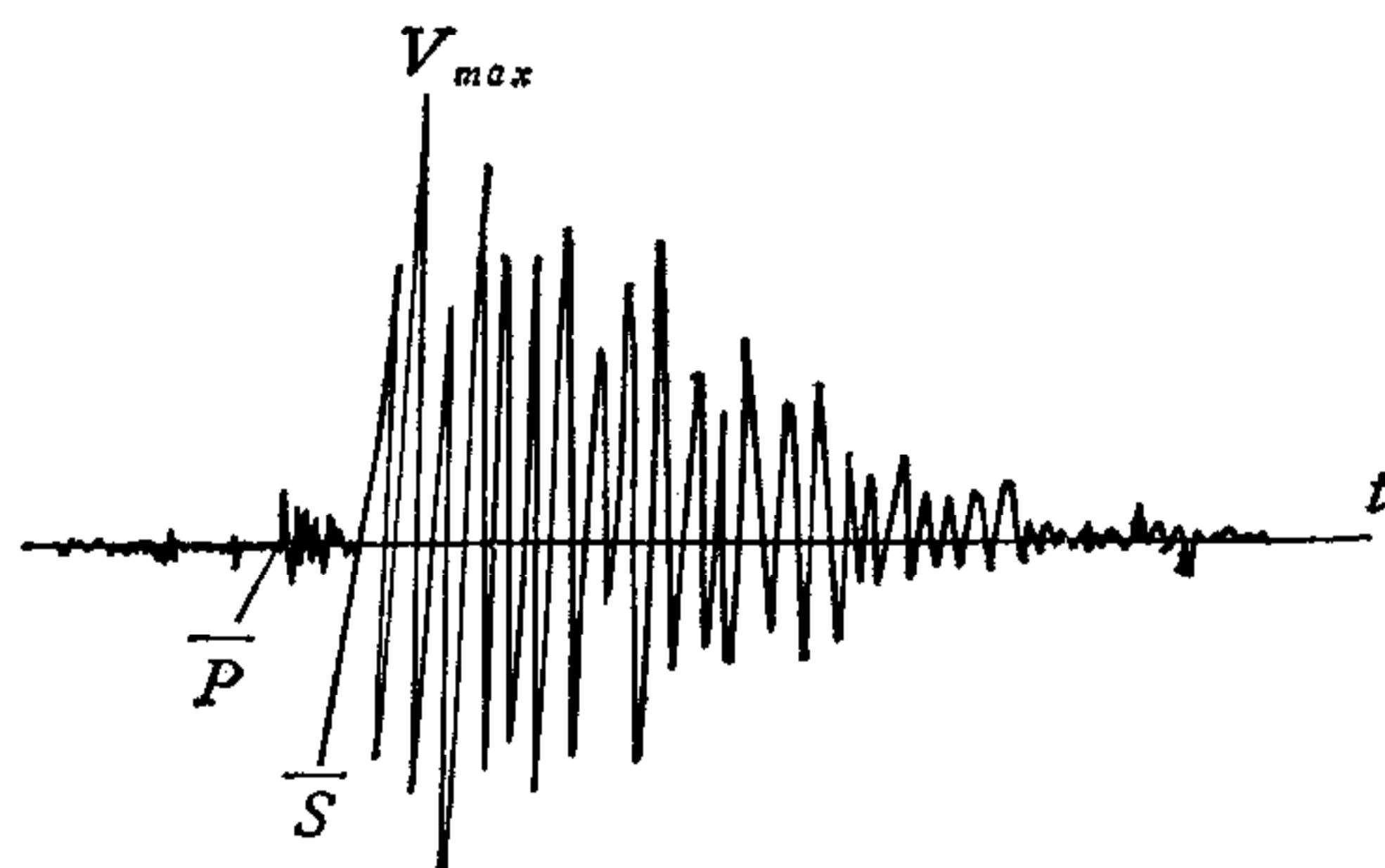


图 4

为了对时域地震波信息进行频谱分析，需使用快速富里埃变换算法 (FFT)。由于地震波信息值均为实数，故可用实数序列的 FFT 算法，以节省变换时间。考虑到采样值中

零阈值甚多,进而还可用裁减运算量的 FFT 算法来加速。

由于抽取地震波波形特征的方法是一种识别波形的检验方法,它不仅可用来判断信息是否表征为地震波,而且在确定为地震波的同时,还可以定出地震波的特征参数——纵波到时值 \bar{P} 、横波到时值 \bar{S} 、最大幅值 V_{\max} 、尾部振荡频率等,从而可一举完成地震事件的辨识和地震波震相的识别。

四、震中定位子系统

测震系统的最终目标是确定出地震的三要素——震中的经纬度、震级大小和发震时间,其中以测定震中位置最为重要。

为使测震系统有较好的适用性和较高的定位精度,除将传统的作图方法在计算机上实现外,还有基于地震波走时方程的数学方法。考虑到每次地震震中位置的唯一性,提出将测定震中位置问题转化为在某一区域内求某个指标函数的极值问题,即最优化问题,从而可用爬山法等直接方法予以求解,据此研制了一个测定震中位置的软件包。图 5 以 1972 年 3 月 25 日北京马道峪地震(震中 $116^{\circ}37.2'E$, $40^{\circ}26.5'N$, 震级 $M_s = 4.0$, 发震时间为 $22^h22^m56^s$, 震源深度 $h = 29$ 公里)为例^[1],系统在仅有部分台站的纵波到时值情况下的计算结果。

```
SOLVING EQUATIONS METHOD.
POSITION OF EARTHQUAKE CENTER:
LONGITUDE = 116 DEGREE 36 MINUTE 59 SECOND
LATITUDE = 40 DEGREE 24 MINUTE 7 SECOND
EARTHQUAKE START TIME = 22 HOUR 22 MINUTE 56.0631 SECOND
EARTHQUAKE WAVE SPEED = 6.39412 KM/S
EARTHQUAKE DEEPNESS = 25.193 KM

OPTIMIZATION METHOD.
SEARCH PROCESS BELOW:
LONGITUDE = 116.000000  LATITUDE = 40.000000  TIME ERROR = 14.576828
          116.459656          40.367096          3.266399
          116.583801          40.413879          0.547237
          116.605621          40.421371          0.089544
          116.609283          40.423203          0.015091
          116.609894          40.423203          0.002540
EARTHQUAKE START TIME = 22 HOUR 22 MINUTE 56.060016 SECOND
POSITION OF EARTHQUAKE CENTER:
LONGITUDE = 116 DEGREE 36 MINUTE 36 SECOND
LATITUDE = 40 DEGREE 25 MINUTE 24 SECOND
TIME ERROR = 0.002540  STEP NUMBER = 5
```

图 5

系统以提高处理速度为重点,在系统硬件配置固定的情况下,除改进计算方法外,着力于提高软件的质量。全部处理软件除确定震中的计算采用程序语言编写外,全以汇编语言实现。为了减少系统的开销,采用基本 BASIC 解释程序,并对其作必要的修改。

当台网内或台网附近发生地震后,系统在二到三分钟内将自动打印出该次地震的结果,确定震中位置的误差一般在几公里以内。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地球物理研究所, 近震分析, 地震出版社, 1977 年.
- [2] 北京大学数力系等编, 地震勘探数字技术, 科学出版社, 1974 年.
- [3] 程乾生, 信号数字处理的数学原理, 石油工业出版社, 1979 年.
- [4] Stewart, S. W., Real-time detection and location of local seismic events in central California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, April, 1977.
- [5] Markel, J. D., FFT pruning, *IEEE trans. Audio and Electroacoustics*, AU-19 (1971), No.4.

REAL-TIME PROCESSING SYSTEM OF SEISMIC WAVES

CHEN LONG

(Institute of Automation, Academia Sinica)

ABSTRACT

In order to locate rapidly the three main factors of an earthquake within the monitored region, it is necessary to process the recorded seismic waves in real time. In the paper, the structure of a real-time seismic wave processing system and processing method are described. The system has a network architecture and can process transient waves. Thus, it can be used in some other applications.