声传播数字分析系统

A. Barbagelata

(SACLANT反潜研究中心)

一、引　言

几年前，Saclant 中心声传播研究组提出了一个数字分析的研究发展计划。经过若干阶段后，我们已建立了一个数字分析系统，它主要包括两部分：

(a) 一个高密度的多通道数字记录系统，用数字方式直接记录声传播实验的宽带信号。

(b) 系统的另一部分是将数据送至数字计算机，并对数据进行处理、编排、显示与分析。

为了更好地了解系统的第二部分（我想，这次讨论会对这部分有更大的兴趣），有必要对数据记录系统作简要的说明。

通常在分析之前将海上实验得到的声传播数据存贮在磁带上。可采用调频方式的模拟磁带记录器作记录，但这种方法有许多缺点：

(a) 在研究工作中，一般需要用到几赫至15千赫或20千赫的频率范围。在此频带内最大动态范围可达45分贝，这就需要精确地调节接收系统的增益。此外，我们在海上实验中主要使用爆炸声源，用来研究介质的脉冲响应。因此，所要处理的信号要求系统有尽可能高的动态范围。

(b) 由于带速不恒定，磁带记录器的时间基线不准确。当需要很高的频率分辨力时，这就给功率谱的测量带来误差。磁带的扭斜还引起通道之间的相对时间起伏，这限制了互相关的精确测量。

在本系统中(它在实验时将资料数字化，并以数字方式记录在磁带上)，上述困难得到克服。这是由于动态范围与时间基线的精度不再决定于磁带记录器，而决定于电子设备，信号之间的时间延迟起伏可得到完全补偿。

三年多来，这套设备（除模数转换器与磁带记录器外）被设计与安装在实验室里，已成为研究工作的有力工具。

二、数字记录系统

来自水听器的信号经过前置放大而后通过电缆传输至记录系统[1]。五个通道的数字记录系统[4]示于图1，该系统由五个相同的数据道，加上一个奇偶踪迹（parity-track）产生器和一个计数踪迹（counter-track）产生器组成。

每一道的模拟信号送至放大器，此放大器的增益可从0变至72分贝，6分贝一档[2]。放大后的信号经过一组线性相位滤波器[3]。滤波之后，带有多路调制器的15比特模数转换器将模拟信号转换为数字形式。每一个15比特的数码以及放大器（VGA）的4比特的增益数码被转换成12比特的浮点格式加上奇偶与同步数码，而后将数据转换成一个特殊的格式（修改的NRZ），并以直接的方式记录在Ampex AR1600型宽带模拟磁带记录仪的10个磁道上（每通道用两个磁道）。磁带的第12条磁道记录奇偶踪迹，它与每一磁道的奇偶数码形成一个奇偶正交系统，可用来纠正和检查复现波形时出现的大部分错误。第13条磁道每毫秒第次记录一个7位数字，用来标明所记录的信号。

图2所示的系统用来重现记录数据，并将数据输送给Elliott 502计算机。由于磁带有扭动，在每一磁道上有不同的定时，因此用十个相同的电路来进行比特复原、同步以及对信息数码、奇偶或同步数码的鉴别，同时也用来读出奇偶与计数踪迹。

数据经过一个高容量的磁芯存贮器传输至Elliott 计算机，该存贮器能存贮5个16千赫的宽带信号315毫秒。数据的传输以及磁带记录仪的遥控由计算机自动完成，计算机通过读出计数踪迹来识别所要传输的那部分信号。当所标明的计数踪迹的数字被读出时，数据传输就开始，数据就从磁带通过读出系统送至高容量的磁芯存贮器，直到存满为止。与此同时，数据由计算机一组一组地读出，并检出错误，然后再存到计算机的磁带上为进一步分析用。

系统性能如下：

表 I

输入信号	5	10	20	混合
每秒采样	48000	24000	12000	混合
等效带宽	16千赫	8千赫	4千赫	混合
输入动态	2微伏—7伏	（均方根）		
采样精度	1%			
每一位增益的动态范围	90分贝			
带速	30吋/秒			
每一道、每吋的比特数	12133			
每一道、每秒的比特数	364000			
磁带上每秒的信息比特数	2880000			
连续记录	1小时			
比特错误率	$\sim 1\times10^{-7}$			

本系统特别显著的特点是放大器每位增益的动态范围以及错误率为10^{-7}的高记录密度。图3、4、5及6是一次海上实验中记录的信号图形的例子，它们是由接到Elliott计算机的Calcomp图示仪绘出的。为了看出本系统有很宽的动态范围，从图3到图6第次增加了图形的比例尺。为了使系统便于使用和检验，还配备了一些辅助仪器。数字记录试验部件可用来作错误率检验，并实现任一通道的模拟显示。

MTR(磁带记录器)控制与编排辅助设备（Control and Edition Aid）同与磁带记录仪有关的控制器相配合能够记录并读出计算踪迹。本系统有特殊的设备用来避免磁带上两个相

邻的数组重叠；如果在下一个数据记录之前，回放一个已记录的结果，这个设备是很有用的。寄存器用来存贮并相继打印出任何所需要的计数踪迹数字，以及给出所分析或显示的那部分信号的严格时间位置。

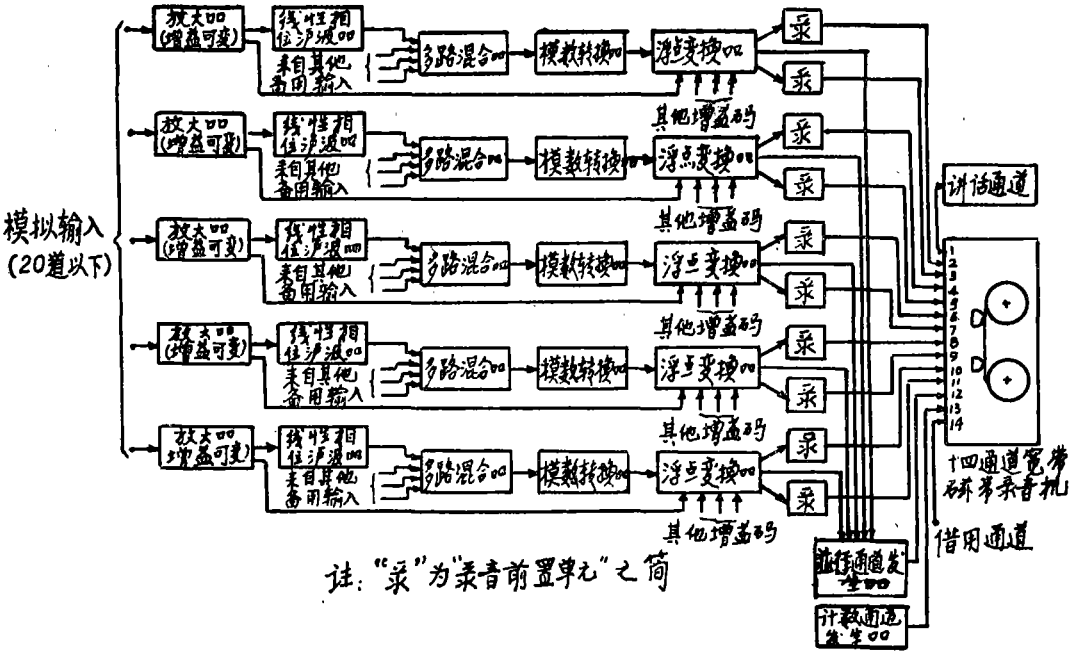

图1 数字记录系统：记录部分

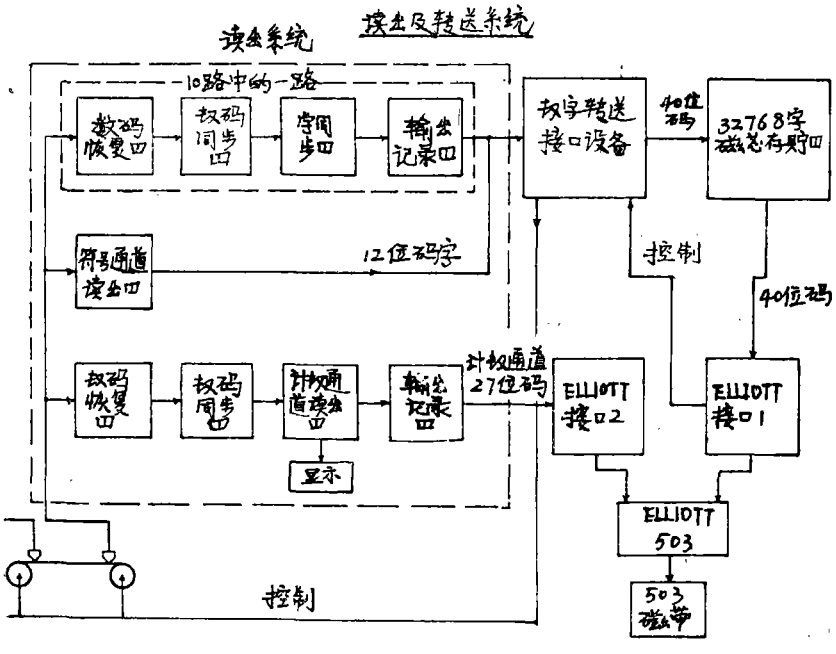

图 2

三、分 析 系 统

数字记录系统完成后，除了某些局部改进外几乎保持不变，而分析系统则已作了重大修改。

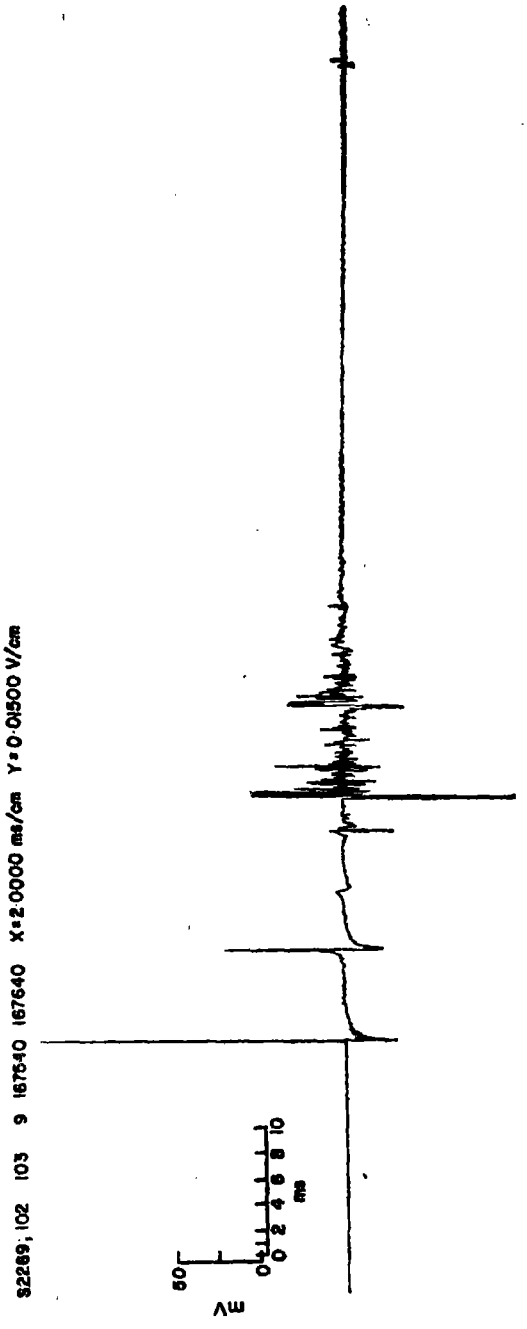

图 3

首先，海上记录的数据借助于上述辅助设备在实验室作了编排。研究人员可选择所需要的那部分信号，将其送至Elliott 503计算机并存于磁带上，而后执行分析程序。这可以作为我们的第一代分析系统。它已大大提高了我们研究小组的工作效能，并使实验研究工作能得到发展。在沒有这些系统的情况下，这是无法实现的。

另一方面，随着我们对数字分析需要的增加，逐渐发现了这个系统的某些缺点。除了与使用Elliott 503计算机有关的缺点外，我们发现大量的时间被消耗在冗长的编排运算上，同时当数据传输到计算机时，故障不断增加，由于比较陈旧，计算机不再处于完善状态。因此我们决定过渡到第二代系统。第二代分析系统必须以现代计算机为基础，体积和重量都小，以便于岸上与船上之间的搬运，并有多种输入与输出转接至外围设备，这实际上是一部“微型计算机”。

关于运算方式，我们要求分析系统使研究人员能够监视数据的运算，知道已经算出的部分结果，并对进一步的分析或实验的条件作出判断。这就意味着分析系统必须是可以“对话的”，即操作者与计算机之间的联系是很容易的，并不需要许多程序设计的知识。所以，我们采用一个由存贮管组成的图示终端，用操纵杆与键盘作为控制运算的主要手段。分析系统还必须适合于海上实验期间船上使用的需要，这就是要求以低的速度记录环境条件、记录宽带信号和画射线轨迹等。所以我们采用一个实时执行系统，它容许同时执行几个程序，每个程序事先按时间与事件作了安排。

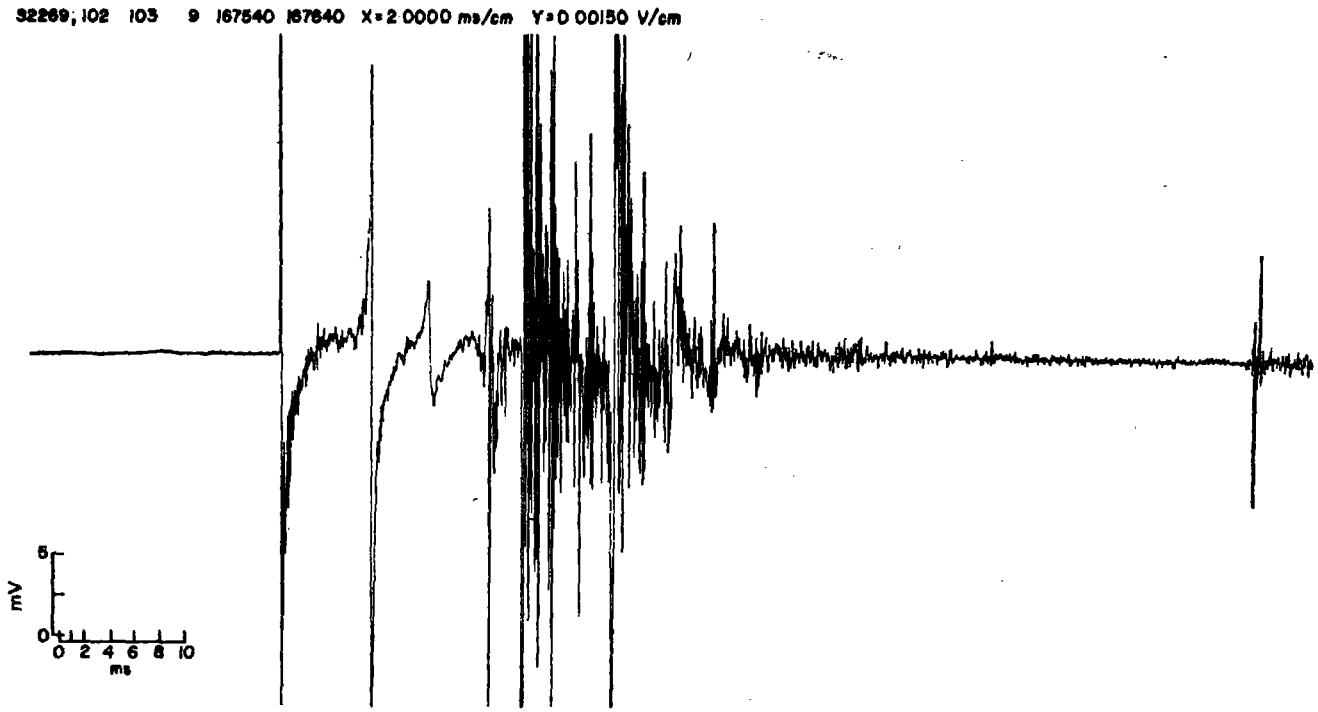
32269; 102 103 9 167540 167640 X=2.0000 ms/cm Y=0.00150 V/cm
5
mV
0
0 2 4 6 8 10
ms

图 4

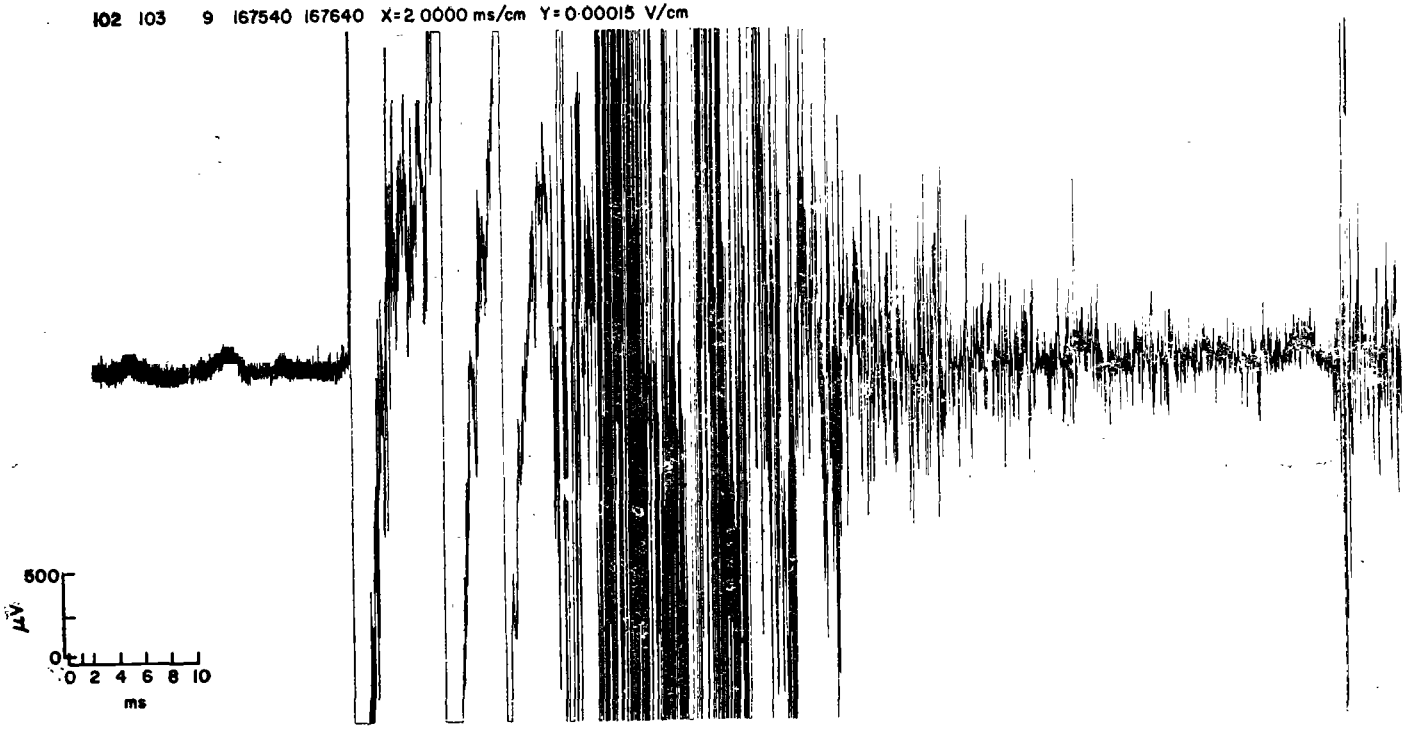
102 103 9 167540 167640 X=2.0000 ms/cm Y=0.00015 V/cm
500
μV
0
0 2 4 6 8 10
ms

图 5

S2269; 102 103 9 167540 167640 X=2·0000 ms/cm Y=0·00003 V/cm
150
μV
60
30
0
0 2 4 6 8 10
ms

图 6

此外，由于在一个研究中心里不断产生各种设想，我们不要求系统是封闭的。对原来的系统改进已有的程序、给系统赋于新的职能以及执行新的运算等，都应尽可能地简易，这就导致了一个组件系统（modular system）。

根据这些想法，我们建造了声传播自动数据分析仪SPADA，它与ITSA联用，构成一个完整的数据记录、显示、编排和分析系统。它是一个以Hewlett-Packard 2116B计算机及其实时执行系统为基础的“可对话的”组件系统。

四、SPADA 的 硬 件

一个实际的SPADA系统的方框图示于图7中（记录海洋水文数据、行式打印机等外部设备没有绘于图中）。

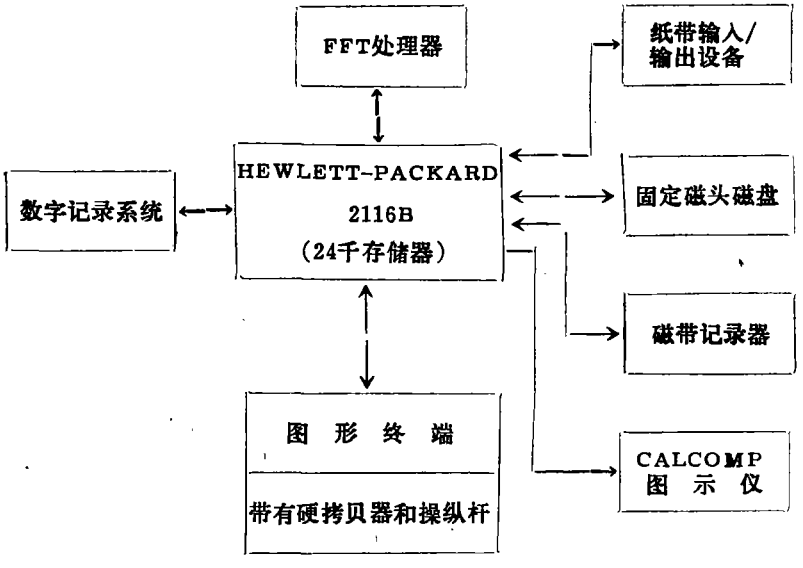

图7. SPADA 框图

表Ⅱ给出图7中各部件的技术指标。

表 Ⅱ

部件	HP号码	技术指标
HP2116B计算机		存储：24K（可扩展到32K）
		字长：16比特
		周期：1.6微秒
		附件：两个直接存取通道，总传输率每秒625千字
		扩展的运算能力
		故障后恢复附件
		存储保护附件
纸带输入输出单元		
打孔机	HP8100A	速度：75字/秒
读出设备	HP2758	速度：500字/秒
固定头磁盘	HP2771A	最大容量：737千字
		传输速度：176千字/秒
		平均存取时间：17.4毫秒
磁带单元	HP7940	类型：NRZI
		密度：800比特/吋
		速度：37.5吋/秒
		架可装拆
565型Calcomp图示仪		速度：300步/秒
		分辨率：0.01吋
		图宽：11吋
		通过HP TTY接口
图形终端		
Tektronix T4002		双稳存储管
带有终端控制和字符		屏幕大小：15.2厘米×21厘米
发生器的显示单元		反差率：6:1
		显示能力：
		图形：1024×1024地址点
		1024×760可见点
		型式：递增式
		点
		线性内插
		字符：
		85字，39行
		两种字符大小
		速度：5000字/秒
交互式图象单元		十字光标
（操纵杆）T4901		
硬拷贝单元T4601		纸：乾银纸
		每拷贝时间：11到18秒
		拷贝尺寸：8.5×6吋至8.5×14吋

五、SPADA软件的一般概念

SPADA的软件由下列计算机程序组成：

(i) 控制专用外部设备；

(ii) 执行并监视数据的收集、显示与编排；

(iii) 在ITSA中进行数据分析。

这些程序可以自动执行或由操纵者用实时执行系统来控制，实时执行系统（RTE）是SACLANT中心的标准运算系统。

图8说明使用者所用的各部件(输入/输出驱动器以及所用的程序)同RTE的基本组件之间的关系。将外部设备连接至RTE系统的例行程序称为驱动器。驱动器的类型和数目根据使用者的需要决定。信息从外部设备传输到RTE的输入/输出控制组件。外部设备引起的中断由中断控制组件处理。

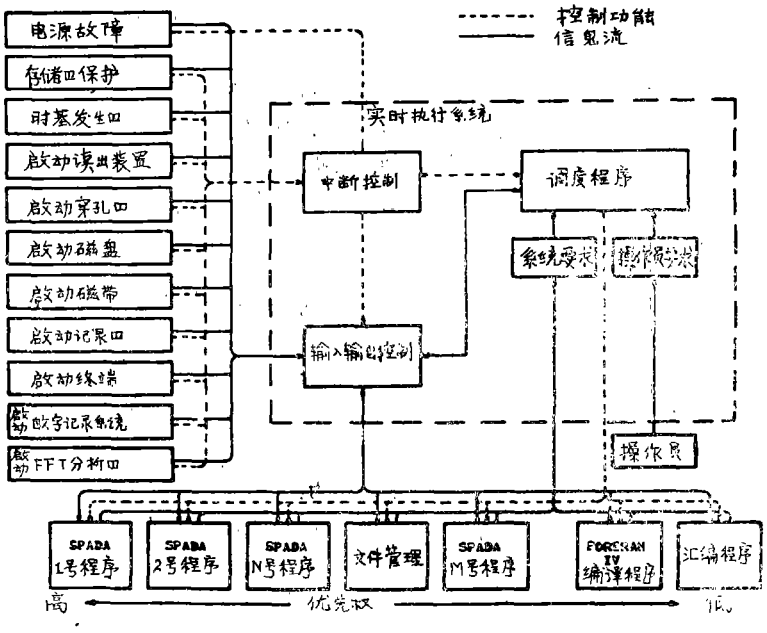

图8．SPADA实时执行系统方框图

被编入RTE中的程序的数目仅由磁盘的容量所限制。在本系统中，中心程序被称为SPADA程序，它显示那些有用的主要功能，并根据操作者的需要来使用。无错误地完成任一功能后，SPADA程序重新编排，并等候操纵者作出下一步执行什么的判断。

SPADA系统的第二个基本程序是FILE[5]，此程序相当于使RTE系统具有资料存贮系统（Filing System）的特点。这样就可存取有名字的数据资料。对于Fortran，ALGOL以及Assembler算法语言，编译程序总是同程序调整与编排过程一起编入RTE中。这些程序是最基本的程序。

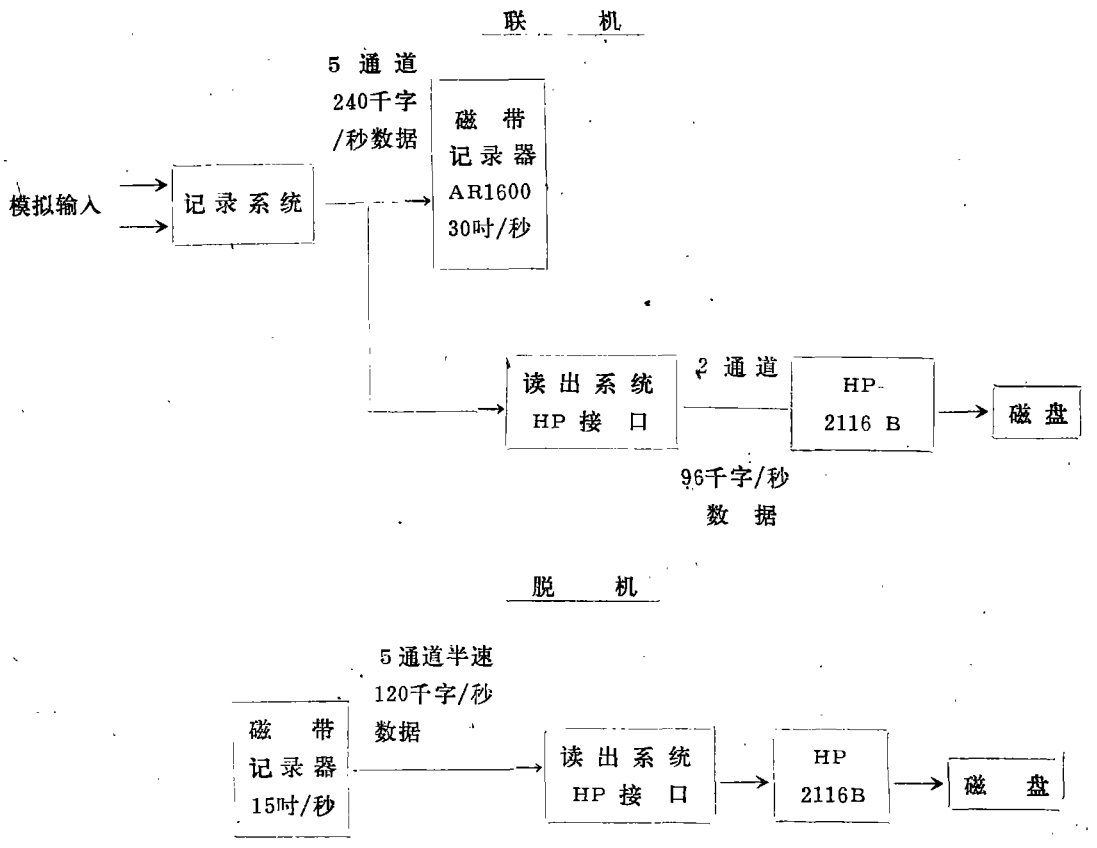

图　9

使用者的程序借助于“系统請求”以读/写说明的方式直接编入外部设备。这些“請求”在目录与输入/输出控制组件中加以处理。

通常，各种设备与计算机的连接通过HP驱动器软件与标准“接口（电路）板”来实现，而与数字记录系统的连接是我们研制的。

驱动器主管以下操作：

（a）从DRS（数字记录系统）向磁盘作高速数据传输；

（b）输入计数踪迹数目；

（c）遥控磁带记录器。

用一个DMA通道作计数踪迹输入，磁带的运动由中断系统控制。

数据转移的两个重要指标是：数字传送速度应达到286千字/秒，存贮介质具有600千字的容量。我们来考虑一下现有的计算机存贮器在一次实验中转移数据的可能性。可以用磁芯存储元件、磁盘和计算机的磁带。考虑到上述要求，从表Ⅲ看出，对于16比特的字码只有最后那种系统才可以完全满足我们的需要。

必须安装一个固定磁盘才能使计算机处理数据。然而磁盘有缺点，由于磁盘速度太慢，使输入传送速度降低一半。这就是说，使用一个磁盘记录器只能完成五个通道中的两个通道的联机数据记录。然而，全部五个通道都记录在磁带记录器上，如果要在磁盘上得到完全的信号组，就必须将磁带以$\frac{1}{2}$的速度回放，这就使字码率降低一半。

表 Ⅲ

	字码传送速度(字/秒)	字码容量（千字）
磁芯	600000	32
磁盘	150000	700
磁带	30000	12000
五通道记录系统	286000	1000000

图 9 表示两种运算系统：联机与脱机运算。数据转移开始的时刻由它在磁带上的位置（计数踪迹）或者由电平检测器来确定。在后一种情况下，数据转移在磁盘上不断循环：每达到一定电平，最后那个循环就开始。

六、“SPADA”的操作使用

当操作人员使开关处于“接通”位置时，系统就开始工作。图10列出了系统的实际功能。由于SPADA是组件结构，容易扩展其实际功能。这时操作人员通过运算符“DA”使系统处于“数据记录”（Data Acquisition）。

以后，如果要执行某些新的或重复前面的指令，需要操作人员进行控制。下一个问题是选取数据源的问题。数据源可以是高密度数字记录系统或工作船用数字记录系统。后者是一个合适的IBM 9通道步进磁带记录仪，用标准中心格式（Centre Format）能够记录

SPADA
声传播数据收集和分析系统
打印2个字的选择

AN＝分析
DA＝数据收集
DS＝显示文件
LA＝标号磁带
MT＝转送至计算机磁带
PL＝绘制文件
RE＝释放磁盘文件
ST＝SPADA停止

DA

图 10

采样频率48千赫、长4096个16比特字的声信号。它特别适用于辅助船。

选用运算符“DF”，操作人员必须给定磁带的配置情况。这就是说，在DRS的各个通道上对不同的水听器给予命名（直到20）。

下一步运算是选取所要传输的水听器以及传输开始方式。

操作人员总是每次指定一个事件代码，以便对所得到的数据完成各种运算。

确定了记录之后，数据向计算机转移就开始。

如果转移受计数踪迹控制，则磁带被安置在给定的计数踪迹数目之前，而且只有一个磁盘执行转移。

如果完成了转移以及必需的非量化过程，则数字磁带停止，并重新安排SPADA程序。

操作人员现在可以着手处理另一个记录或执行任何其他功能，例如文件显示。

操作人员必须给所要显示的结果命名，操作人员被告知所用的水听器，并选用其中某些水听器。

所选用的水听器显示在存贮管上(图11)，在每条线的旁边给出了水听器的名字，在顶部用毫秒给出了时间标尺。这个例子是用一个有20个阵元的水听器阵接收的一个爆炸声信号，水听器的阵元两两平行地放置。可以将所感兴趣的那部分信号存在确定的磁带上，借助于操纵杆的垂直十字光标将时间间隔也录在磁带上。为了将数据转移至磁带，不必给出其它参数。

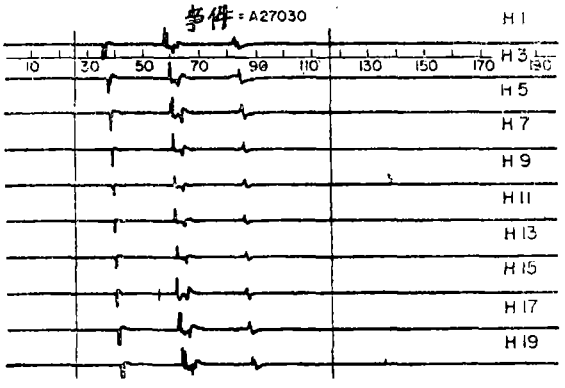

图 11

事件＝A27030 水听器＝9 CT1＝1809237 CT2＝1809340
增益（分贝）＝8.0

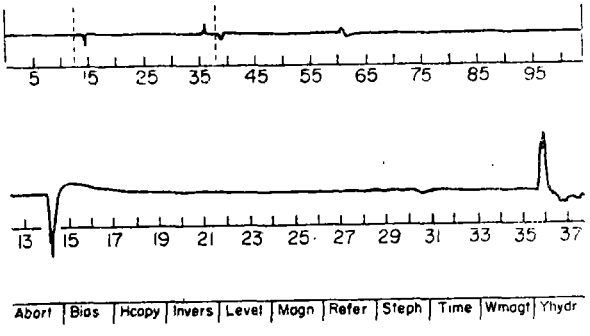

图 12

如果想要比较仔细地显示一个信号，可以对单个水听器的数据进行各种运算（图12）。借助于操纵杆可以随意改变时间标尺。图12中最下一行符号的意义如下：

A＝ABORT　中止显示操作

B＝BIAS　改变零线

H＝HCOPY　将屏上内容复制到硬拷贝上

I＝INVERS　极性反转

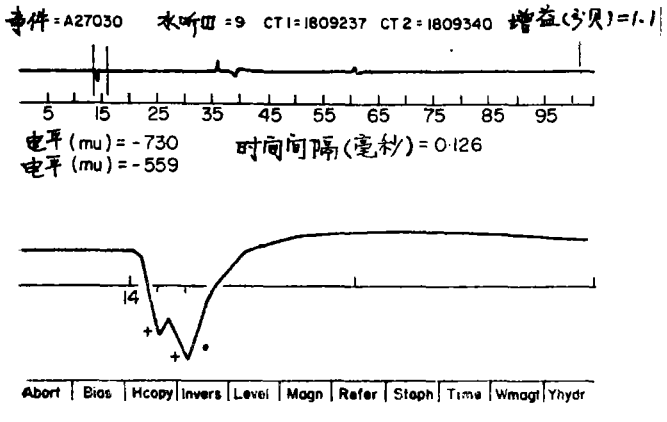

图 13

L＝LEVEL　测量用操纵杆选好的点的电平(图13)

M＝MAGN　将y-尺度增大到十字光标指出的电平

S＝STEPM　同上，但按分贝阶梯

R＝REFER　显示参考曲线

T＝TIME　测量时间间隔

W＝WMAGT　将指定的水听器信号传送到磁带

Y＝YHYDR　将全部现有水听器信号传送到磁带

在SPADA功能中都具有同样的交互过程。特别是调入AF，可以安排ITSA的程序，对所需的数据进行快速付氏变换（FFT）。由于格式是互相相容的，SPADA与ITSA之间数据文件可以互换。

七、结　　论

SPADA系统现在在声传播组中使用很多，受到搞信号处理的科学家的欢迎。在开始时在实验中“脱机”实验之后，现在在我们各次出海中都“联机”使用。

为了满足各种使用者的要求，要不断改进，但由于是组件结构，这些变化并不困难。

近期特别注意“联机”使用。

最近建立了软件控制的多重显示单元，可以在四个存储单元上显示数据，分析结果和环境条件。变化字长、增加数据通道、加快非量化操作等正处在设计阶段。

以后还要增加新的功能，以扩展SPADA的运用范围。

参 考 文 献

1. A. Figoli and M. Pazzini. “A low-noise hydrophone preamplifier for experiments with explosive sound sources.” SACLANTCEN Technical Memorandum №158, 1970.
2. M. Pazzini. “A multichannel receiving system for experiments in sound propagation.” SACLANTCEN Technical report №106. 1967.
3. M. Pazzini. “Linear-phase filters for a digital data-acquisition system used in underwater sound propagation experiments.” SACLANTCEN Technical memorandum №148. 1969.
4. A. Barbagelata et al. “A high-density digital recording system for underwater sound studies.” SACLANTCEN technical report №170. 1970.
5. B. Diess. “Reference manual for a FILE MANAGEMENT SYSTEM in connection with HP disc and magnetic tape units.” SACLANTCEN special report M-78.
6. A. Barbagelata. “SPADA-a conversational computer system for acoustical data processing.” SACLANTCEN technical report in preparation.

討　　論

E. R. Thomas 问到关于数字记录系统中磁带的颤动和歪斜失真的补偿问题。

答复是，用数字锁相回路（磁带的每个磁道都有）来补偿颤动和电动的歪斜失真。由于在安排形式上采用同步编码和在读出电路中采用缓冲寄存器，因此就能按正确的次序将字码传送给计算机。

M. H. Ackroyd问到，在海上由于磁盘的使用可能发生的故障问题。

作者答复为，磁盘在海上这一长时间的使用过程中，沒有发现机器的故障。另一方面，要注意在横摇和纵摇最小的地方设置磁盘。

R. S. Thomas 问到作者关于市場上能买到的其它的高密度数字记录系统问题。

回答是；AMPEX公司正在销售的一种系统是以缪勒法则为基础的，但限于数据录放部分。作者不了解别的现行系统的确切情况。

M. H. Ackroyd问，现有的记录系统中用的磁带可回放多少次。

作者的看法是，磁带在磁头上大约通过一百次之后，错误的次数开始增加。这沒有关係，因为为了核对和编排数码，以及将这些数码传送给计算机，磁带回放只有几次。因此，磁带通常是储存起来，不用来记录的。一次15天的航行至多用4或5条磁带（每条磁带约150个随机信号），这也不算太浪费了。

（张仁和　单荣华译　关定华校）