

新一代计算机遥测系统

〔美〕 O. J. Strock 著



航空工业出版社

87.7
649

新一代计算机遥测系统

[美] O.J. Strock^{斯托克} 著

齐连普 等译

张其善 审校



航空工业出版社

1991

9310071

(京)新登字161号

内 容 提 要

《新一代计算机遥测系统》共分十三章。主要内容包括传感器、信号调节器、编码器、遥测发射与接收、适于遥测用的计算机软硬件和典型的遥测应用实例。全书对现代遥测技术做了系统地介绍,它反映了美国近代遥测技术的发展水平。注重应用实例,附有大量图表,为读者解决遥测的实际问题提供了基本方法。

本书取材广泛,技术实用。适于从事遥测设计、使用的工程技术人员阅读,亦可供有关专业的高等院校师生参考。

DS86/10

新 一 代 计 算 机 遥 测 系 统

〔美〕O.J.Strock 著

齐连普 等译

张其善 审校

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里14号)

—邮政编码: 100029—

全国各地新华书店经售

陕西省富平县印刷厂印刷

1991年12月第1版

1991年12月第1次印刷

787×1092毫米 1/16

印张: 18.875

印数: 1—3000

字数: 465千字

ISBN 7-80046-414-8/TN·015

定价: 14.50元

译 者 的 话

现代工业技术划分为物质技术、能源技术和信息技术。随着科技的进步,信息技术越来越重要。信息技术中的重要一支是信息的感受、信息的采集、信息的传输和信息的处理,这正是遥测技术的核心。遥测是一门发展迅速、应用广泛的近代科学技术。

1982年,我国遥测代表团参加ITC时,带回了O.J.Strock先生编写的内部讲座材料《计算机遥测系统》。吴伟仁、丛秀荣同志将其编译成中文本,1985年以《遥测技术》增刊的形式出版。1983年,O.J.Strock先生正式编写出版了《计算机遥测系统入门》。我们翻译的《新一代计算机遥测系统》是O.J.Strock先生基于《计算机遥测系统入门》,并根据三十多年从事遥测工作的经验,1988年正式出版的这本新书。它反映了美国80年代遥测技术的发展水平。

遥测技术的范畴是由最初的传输信息扩大到从信息的感受到信息处理的整个领域,遥测和计算机技术已融为一体,形成了现代遥测的新概念。遥测机载设备充分利用计算机技术,能显著地提高自动化程度、自适应性、灵活性和总体性能;遥测地面接收站充分利用计算机技术,智能化的遥测前端和遥测数据处理计算机除了接收和反变换遥测数据之外,还可以对多路遥测数据流进行有效地数据压缩、实时处理和进一步计算。计算机技术已经成为现代遥测系统的重要组成部分。

《新一代计算机遥测系统》由浅入深,有理有实,对现代的遥测技术做了系统地叙述。本书虽然不涉及很深奥的理论,但它如实地反映了美国近十年遥测系统的发展状况。对从事遥测教学、设计和使用的工程技术人员是一部很好的参考书。

本书由齐连普同志翻译第一章、第三章、第四章和第十二章,校对第二章。孙金慧同志翻译第二章,校对第一章、第三章、第四章和第十二章。余仁扬同志翻译第五章、第七章,校对第六章、第八章、第十章、第十三章和附录A、附录B。刘步敏同志翻译第六章、第八章、第十章和第十三章,校对第五章和第七章。第九章和第十一章由霍培锋和王松岭同志译校。霍培锋同志翻译附录A和附录B,附录C由霍培锋和余仁扬同志译校。张永河、秘有伦、傅宽、邵箭同志也参加了编校工作。全书由张其善教授审校定稿。

由于我们对遥测技术和计算机技术的理解不甚深刻,因此,翻译时难免有缺点和错误,敬请读者批评指正。

译 者

1991.9.10

前 言

向中国的朋友——遥测专家们致以真诚的敬意。我非常荣幸，两次访问了你们的国家。在北京、洛阳、沈阳和西安结识了许多朋友。你们热情友好的接待和探讨遥测知识的强烈愿望，给我留下了深刻的印象。

电子学科的分支——遥测专业，在科学研究中占有重要的地位。近几年来，由于应用遥测技术能更方便、更有效地从被试飞行器上获取信息，从而取得了新的发展。如果不对遥测数据进行分析，飞行器就不可能进行结构设计上的改进。

遥测技术不仅在科研中非常重要，而且遥测工程师和软件人员对此也是很感兴趣的。遥测技术正在被人们进一步理解和重视，应用范围日益广泛。遥测系统的发展令人振奋，将会研制出符合科研人员需要的各种产品。在遥测接收站有几种遥测调制技术和多种数据处理及显示方法，使得遥测工作者对自己的职业从不感到厌倦。

正如你们已经了解到的或将要了解的，遥测的基本原理是不变的，但对于应用于特定条件下的遥测技术细节会经常变化。这本书主要是讲述遥测基本原理。随着对遥测要求的不断提高，更复杂的遥测系统工程将通过各种途径继续发展。我深知，在为发展遥测系统的过程中，你们一起工作，团结协作。我也相信，你们会不断地向我国遥测工程师和软件人员提出遥测系统发展的建议，同时，你们也会从我国发展遥测的建议中得到启示。我们相互之间将会经常提供新的遥测设备，开发并共享新的计算机软件。

我希望这本书的文字和插图对你们有所帮助。庆幸的是，齐连普先生、张其善教授等中国朋友，将此书翻译成中文，从而使读者能够更方便地使用它。向他们致以谢意。

最后，我有一个愿望，即使我们两国的遥测工程师和软件人员相隔万里，也要在遥测技术的发展中携手并进，正像遥测发射站和接收站相距遥远，但它们之间存在着同步的数据流一样。

你们最忠诚的朋友

〔美〕O.J.Strock

1990.10.4

目 录

第 1 章 引言	(1)
概述	(1)
系统配置	(1)
专用的微型计算机	(2)
术语介绍	(3)
美国靶场仪器工作组 (IRIG) 标准	(3)
脉码调制 (PCM)、脉幅调制 (PAM) 和频率调制 (FM) 的比较	(3)
第 2 章 PCM数据采集部件和子系统	(11)
传感器	(11)
信号调节概论	(21)
PCM编码器	(22)
第 3 章 无线电信道	(41)
无线电发射机	(41)
接收天线	(43)
无线电接收机	(45)
分集组合	(49)
传播损失	(50)
第 4 章 磁带记录	(54)
磁带记录器/重放装置的限制条件	(55)
模拟磁带记录	(60)
数字记录	(62)
磁记录的IRIG标准	(68)
旋转磁头记录	(70)
第 5 章 PCM遥测同步器	(72)
码同步器	(72)
子帧同步器	(75)
全帧同步器	(77)
并行数据输出格式器	(77)
PCM数据模拟器	(78)
模拟输出和离散输出	(79)
时码的使用	(80)
系统的设置与控制	(80)
第 6 章 数据预处理和存储	(89)

预处理硬件.....	(89)
阵列处理机.....	(98)
输入/输出计算机	(103)
第7章 计算机子系统	(106)
概述.....	(106)
计算机系统的组成部分.....	(106)
数据和时间的输入.....	(110)
海量存储器.....	(112)
数据显示终端.....	(121)
打印机.....	(123)
绘图机.....	(126)
局域网络.....	(126)
群集系统.....	(129)
通信标准.....	(130)
第8章 软件	(133)
固件.....	(133)
操作系统.....	(133)
系统支援软件.....	(134)
应用程序.....	(135)
遥测软件概述.....	(135)
准备任务软件.....	(136)
任务软件.....	(143)
事后任务软件.....	(152)
第9章 调频 (FM) 遥测	(156)
单通道系统的举例.....	(156)
多通道遥测系统.....	(161)
FM系统的IRIG标准.....	(162)
FM解调站.....	(167)
带速误差的影响.....	(173)
可能误差源综述.....	(175)
频率的变换与反变换.....	(176)
副载波振幅的预加重/去加重.....	(176)
鉴频器输出数据到计算机.....	(179)
可调谐鉴频器.....	(180)
可调谐数字式多路鉴频器.....	(181)
第10章 用微型计算机作遥测处理机	(182)
两种方法.....	(182)
工作站详述.....	(183)
硬件.....	(184)

系统软件·····	(185)
第11章 航空电子总线 ·····	(187)
背景·····	(187)
总线字的类型·····	(187)
总线传输类型·····	(190)
MIL STD 1553数据进入遥测系统的入口·····	(192)
第12章 遥测技术应用实例 ·····	(195)
小型飞机试验系统·····	(195)
中型飞机试验系统·····	(196)
大型飞机试验系统·····	(197)
“铁鸟”飞机模型试验系统·····	(198)
风洞数据试验系统·····	(199)
汽车或农业拖拉机试验系统·····	(200)
军用坦克试验系统·····	(200)
涡轮风机试验系统·····	(201)
气象卫星接收站·····	(201)
第13章 管理控制和数据采集系统 (SCADA) ·····	(204)
前言和概述·····	(204)
远程工作站·····	(204)
主工作站·····	(207)
通信线路·····	(215)
扩充和改进·····	(215)
附录A 美国的遥测历史 ·····	(217)
附录B 经济情况 ·····	(240)
附录C 语汇术编 ·····	(245)
作者介绍 ·····	(291)

第1章 引言

概 述

由于遥测技术发展得非常迅速，本书第一版的内容已经过时了。这一版几乎全都做了重新编写，进行了大量的修改、精炼。虽然作者并不追求技术细节，然而它仍然是从事、负责遥测工作的人们，了解和熟悉以计算机技术为基础的一本遥测教程。

最近几年，遥测设备和计算机技术发生了急剧的变化。十年前许多先进的技术，现在充其量也只是勉强可用的了。随着对数据处理需要的日益增加，系统设计也不断完善。更好的、更快的计算机和更高水平的软件也不断涌现。现在，有了这本书，繁忙的遥测工作者，用不着消费大量时间查阅和筛选内容枯燥乏味的文献，只需要用几天的时间，就可以了解不断发展的遥测技术了。

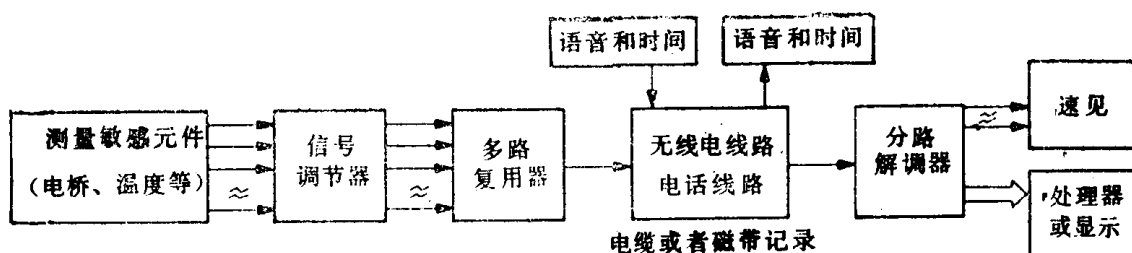


图1.1 系统配置

本书的内容一般并不局限于某个特定制造的硬件、软件产品或技术。有时为了帮助理解系统的工作，还参考了特定的设备，配以图解进行说明。此外，在一些场合引用了原版或者修改过的原版资料。

本章对以计算机为基础的遥测系统做了全面的介绍，同时也让读者熟悉计算机遥测系统的一些标准和常用术语。

系 统 配 置

虽然每一种遥测系统都是为满足专门用户的特殊需要而配置的，但是任何系统的总体框图都有一些共同之处。图1.1表示遥测系统的一般配置。

电参数来自敏感元件或者传感器。它们把某些物理量（温度、压力、加速度等）按比例转换成为电压。典型的传感器有热电偶、电阻温度计、电桥和电位计等。

一个典型的系统包括几种类型的信号调节器。每一种信号调节器都能把特定类型传感器的输出信号转换为5~10V量程的电压。电压的一个极值对应于测量点所期望的温度、压力等物理量的最低值，另一个极值对应于所期望的物理量的最高测量值。

显然,如果传感器本身有输出量程为5~10V的信号调节器,或者虽然未经调节,但信号已经在5~10V范围内,就不必再用信号调节器了。

多路转换器的任务是把若干个测量值合并成一个单一的输出数据流,以便通过单一的无线电信道、同轴电缆或者电话线把数据流传输出去,也可以把数据流记录在磁带记录器的一个磁道上。

系统中的下一个环节是传输——接收介质(无线电、同轴电缆、微波或者电话线)和磁带记录器。在这一环节还要产生注解语音和时间。重放磁带时再恢复时间和注解语言。

通常遥测数据是以原始形式,即测量传感器产生的电流或电压数据的再生形式进行模拟显示。显示器是用电流、电压或者其他物理量校准过的面板式仪器。一般情况,是在图形记录器上显示数据随时间变化的轨迹,或者在X—Y记录器上显示数据对数据的交叉曲线。

大多数遥测用户最后都要求把数据输入到数字计算机,以便做详细的数据分析。以前,这样做要付出艰巨的劳动,每一小时的试验要制作成千上万张卡片,通常需要几周的时间才能完成。后来出现了自动磁带格式系统,可以实时或者在重放试验数据时产生相容磁带,用它们来代替计算机输入介质——卡片。然而,即使这样做,对许多用户来说仍然太慢。现在,用户以合理的价格就能配置现代化的设备。把适中乃至大量的遥测数据实时地输入计算机,处理数据和观察计算结果,并可立即决定中断试验还是继续试验。按照这种方法进行飞行试验,通过遥测把试验结果传输给地面站的飞行试验工程师,试飞动作完成后的2~3分钟之内,就能分析完数据。经过分析,必要时可以再重复飞行试验动作,也可以继续进行下一个试飞科目,或者由于安全原因,命令试飞员返回基地。

专用的微型计算机

大约在1970年以前,遥测用户还不能实时获取处理过的数据。他们只能在带状图、棒状图和仪表上观察原始数据。依次在计算机中心的大型通用计算机上进行数据处理。拥有自动磁带格式器和较高优先权的用户,用一天左右的时间就会读出试验结果,否则要等一个月或更多的时间。

1968年,洛克希德(Lockheed)飞机公司为空军研制出世界上最大的C5A飞机,采用小型计算机处理试飞时的遥测数据。这样,飞行试验工程师就能在飞行试验过程中实时地对试飞质量做出判断。C5A飞机试飞使用计算机有两个原因:其一,是飞机大,比其他飞行器的试飞测量的参数多;其二,对于每秒钟计算的测量的多少而言,小型计算机和软件的价格,比以前有所降低。

使用计算机已经是大势所趋。按照试验的要求,无论数据点数还是测量数据的频率都在增加。虽然计算机的价格随着经济的总趋势增加了,但是计算机性能的提高比起价格的增长更迅速。

80年代后期,几乎所有的遥测用户都采用了遥测计算机系统。具有一定能力的微型计算机系统的价格小于50000美元,性能完善的计算机系统是上述价格的100倍。

术 语 介 绍

附录C是遥测计算机系统用户常用术语的汇总表。

美国靶场仪器工作组 (IRIG) 标准

令遥测用户幸运的是,来自美国各主要试验靶场的遥测工程师组成了一个委员会,在50年代早期就开始活动。这个委员会阐述的标准为遥测设备和系统的设计确定了基础。委员会一般两年或者三年对IRIG标准修正一次,可以说它代表了当时遥测的技术水平。

1986年修改过的遥测标准是IRIG106—86,它包括以下内容:

1. 引言
2. 发射机和接收机系统
3. 频分多路遥测标准
4. 脉冲编码调制 (PCM) 标准
5. 脉冲幅度调制 (PAM) 标准
6. 磁带记录器/重放器标准
7. 磁带标准
8. 传感器标准

另外,某些补充资料列在下面的附录中:

- A. UHF遥测频带的频率管理方案
- B. 频分多路使用准则
- C. PCM标准 (附加的资料和建议)
- D. PAM标准 (附加的资料和建议)
- E. 磁带记录器/重放器资料和使用准则
- F. 通用传感器资料

用几句话难以详细表述IRIG106—86的内容,若想了解IRIG有关部分的概貌,可参阅本书各章节的图表。

脉码调制 (PCM)、脉幅调制 (PAM) 和频率调制 (FM) 的比较

尽管本书着重叙述脉冲编码调制 (PCM) 技术,但是简要讨论遥测数据多路传输/调制的另外两种类型是有益的。虽然,到1987年为止,在遥测中使用PCM方式约占65%,使用脉幅调制 (PAM) 占15% (主要是美国海军),使用FM约占20%,但是在许多情况下,PAM、FM与PCM比较起来还是具有明显的优点。在一些遥测系统中,几种调制方式是混合使用的,既包括PCM,也包括FM和PAM。

顺便说一句,广义上讲,把FM称为频分多路传输,而PAM和PCM称为时分多路传输。

频分多路传输

图1.2表示用频分多路传输 (FDM) 技术来共用同一个信道的方法, 每一个传感器的输出信号调制各自的副载波振荡器 (SCO) 的频率, 而几个SCO的输出信号混合起来构成一个合成信号。用混频器的输出再去调制发射机 (为讨论方便, 除非另有说明, 假定发射机都是调频方式的)。

每一个副载波振荡器都有不同的中心频率。当它被调制时, 频率会按照固定的百分比偏移。详细地说, 传感器的输出加到压控振荡器 (VCO) 的输入端, 压控振荡器输出频率的频偏与加到输入端的电压有关。图1.3表示出了一个信道的FM系统。

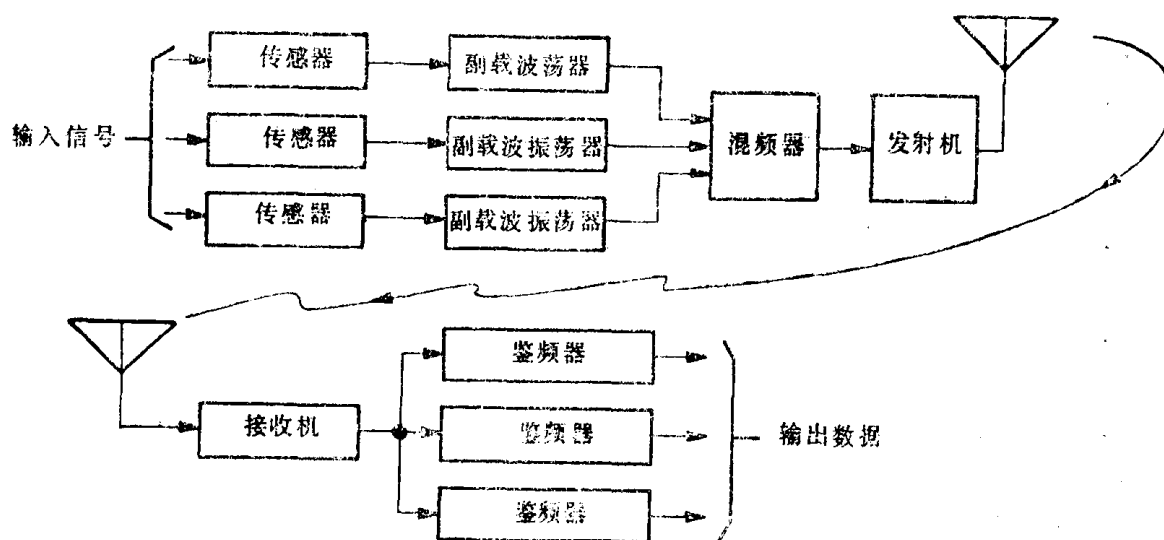


图1.2 频分多路系统

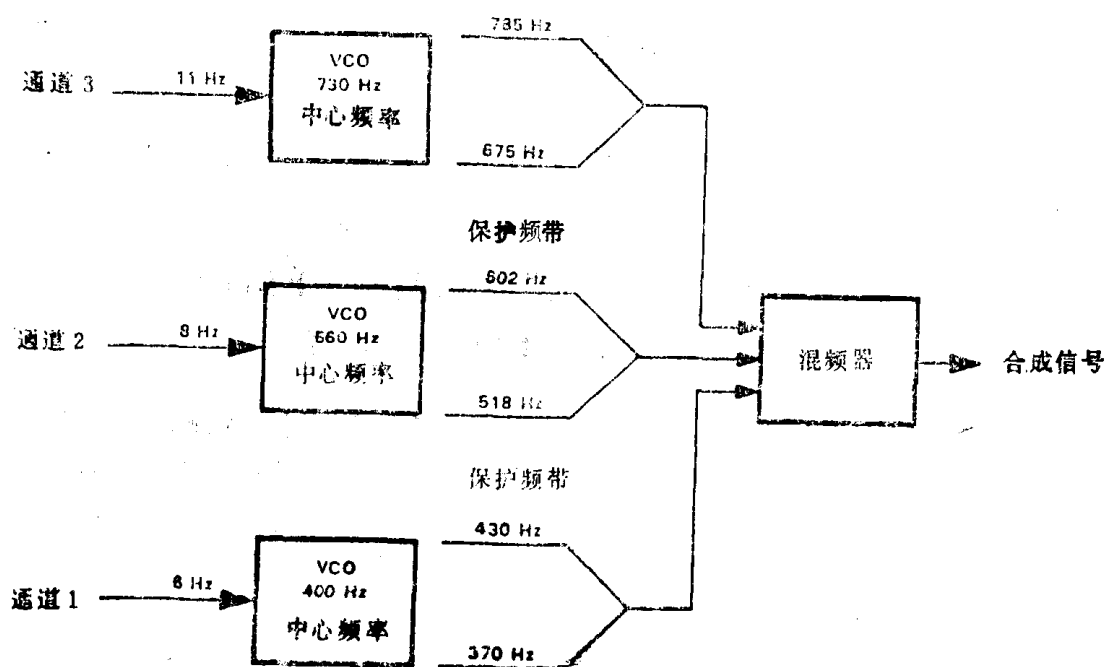


图1.3 三通道FM系统

通道1传感器输出信号的最大幅值为 $\pm 2.5\text{V}$ ，信号频率从直流到 6Hz 。VCO的中心频率为 400Hz 。当把 $\pm 2.5\text{V}$ 的信号加到它的输入端时，那么它的中心频率将偏移 $\pm 7.5\%$ 。因此VCO输出信号的频率是在 370Hz 到 430Hz 之间变化的，相应信号频率的变化率是从直流到 6Hz 。图中表示的其他两个VCO的频率也按相同的方式工作，只是中心频率不同而已。每一个VCO的频率都由保护频带分离开。

使用这种多路调制技术要考虑的两个重要问题是调制指数(MI)和通道隔离。MI表示数据的最高频率和VCO频率的最大偏移之间的关系。例如，VCO的中心频率为 $400\text{Hz} \pm 7.5\%$ ，则最大偏移应该是 30Hz ，如果要求MI为5，那么最大的数据频率就应该是 6Hz 。一个VCO的频率上限和下一路VCO频率下限之间的保护频带称为通道隔离。

遥测信道的接收端，接收机去掉载波，把合成信号(或多路信号)加到一组鉴频器上。每一个鉴频器都有一个输入带通滤波器(BPIF)，用于选择一个通道进行解调。鉴频器的输出加到相应的显示装置或者记录器上，给被测参数提供定量的读数。

虽然我们已经讨论了比例带宽系统，根据需要，等带宽FM系统使用得也很普遍。测量较高频率的参数，使用等带宽FM系统更为合适(图1.4)。也应该注意到，在同一个遥测系统中经常同时使用两种方式。

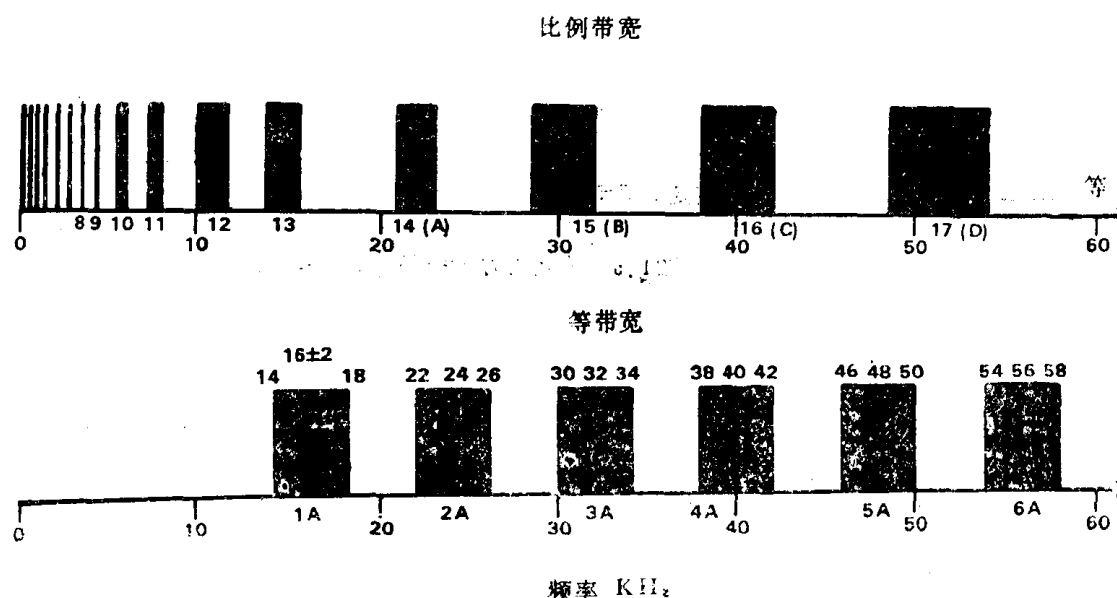


图1.4 FM基带频谱的比较

时分多路传输

遥测系统经常需要比FDM方式所能提供的更高的信道容量。所以采用一种称为时分多路传输(TDM)技术。

信息论告诉我们，要获得准确的数据，并不需要连续地监测信号。图1.5展示了TDM方式的基本原理。所有的测量通道都占用相同的频谱段，但是处于不同的时间内。用交换子顺序地对每一个通道的信号进行采样。当所有的通道都采样一次之后，第一通道再重复进行采样。因而，某一特定通道的采样和其他通道的采样在时间上是交替进行的。

在时分系统中，既然不是连续地监测每一路信号，那么必须迅速地对每个测量通道采样，以便在采样间隔内，特定信号的幅值不会发生太大的变化。根据纯理论研究表明，如采样频率至少是被采样信号最高频率的两倍，就不会出现信息丢失。然而这个采样频率是依据“理想的”滤波器特性推导出来的，实际是不可能达到的。在实际使用的遥测系统中，为了保留原始信号的全部信息，在不采用多余的复杂线路的情况下，采样频率要高得多。典型遥测系统的采样频率，大约是被测信号最高频率的5倍。例如，某一通道的最高频率为40Hz，那么每秒钟大约要采样200次。如果系统中有八个这样的测量通道，则交换子每秒钟至少必须进行1600次采样。

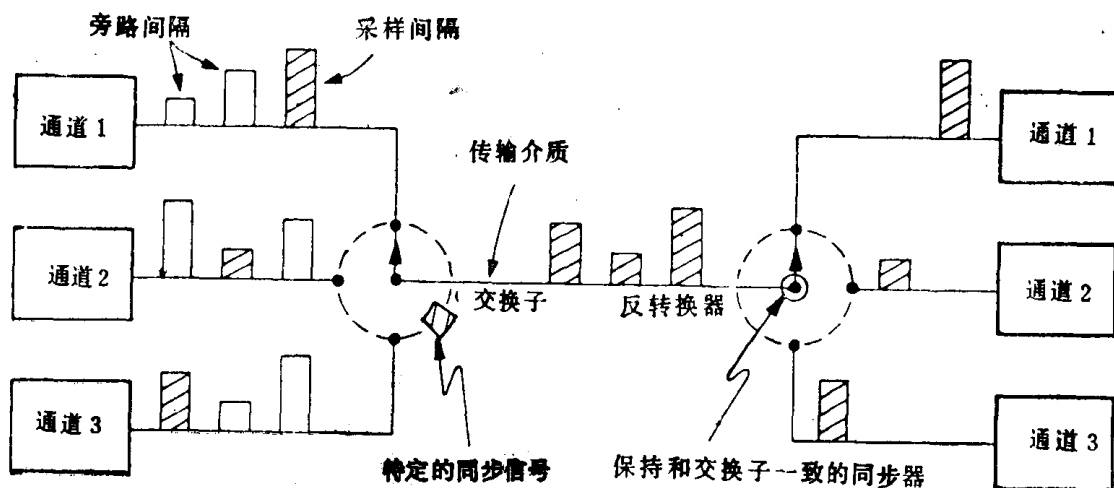


图1.5 简化的时分多路（TDM）系统

在系统的接收端，按照交换子的同一频率正确工作的反转换器，把多路信号中的每一路输送给对应的输出通道。因为时分系统的基础是准确的定时，因此，分路器正确地与交换子同步工作是至关重要的。否则，有可能把液体流量信息误认为是温度信息。

TDM遥测的两种主要类型为：

- PAM——脉幅调制
- PCM——脉码调制

脉幅调制（PAM）

PAM是TDM方式中最简单的形式。按照不同的幅值脉冲发送采样，不需要变成其他信号。如前面所提到的，时分系统中最重要的是反转换器正确地与交换子同步。因此，如图1.6所示，必须引入同步通道，并做为交换子电路的一部分。在接收端，只有这些通道都正确地识别并加上“时间标记”之后才能对数据解调，此刻解调过程真正开始。

现代遥测系统中，需要把连续的PAM串行数据转换为并行的、加权二进制码输出，以便把数据直接输入给计算机或者进行数字显示。然而，如果把数据还原到原来的形式，还需要数一模变换器。

脉冲编码调制（PCM）

在PCM系统中（图1.7），要把每一个PAM脉冲变成与其幅值成正比的二进制数。这意味着信息的内容不是用脉冲的高度表示，而是用二进制数表示。

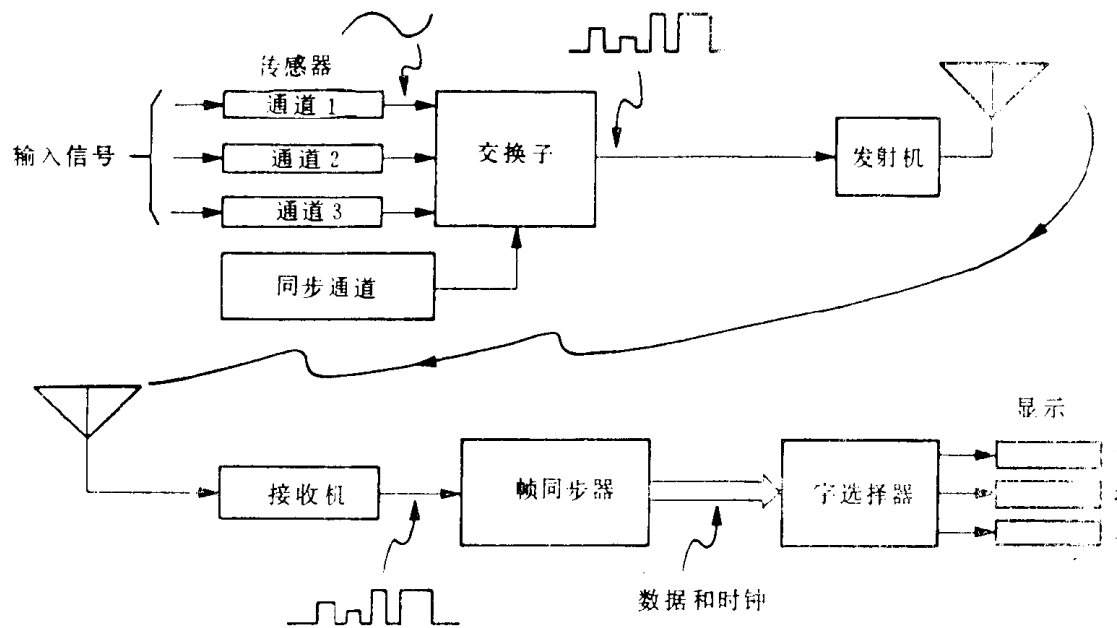


图1.6 基本的PAM系统框图

在地面站，按照1和0来识别每一个二进制数的码位。通过辨认伪随机码（预先确定的二进制0和1码组，占据一个或更多的相邻通道）来完成帧同步。然后，就可以把每一个二进制的数输送到显示器或者计算机上。

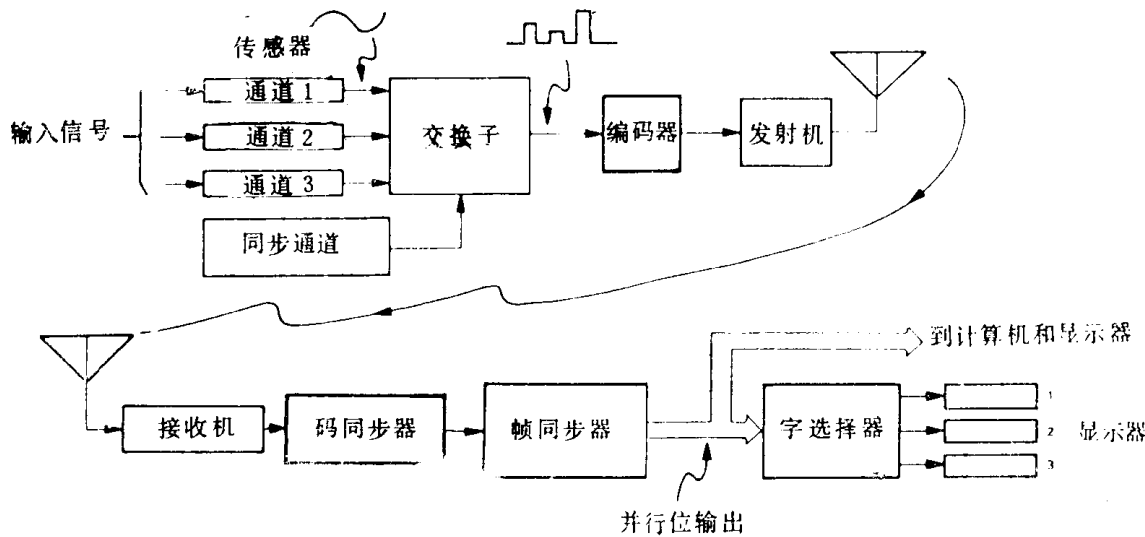


图1.7 基本的PCM并行位输出系统框图

用户对FM、PAM和PCM的选择

概括地说，一般的遥测系统只使用FM、PAM和PCM调制的其中一种方式。

在FM、PAM和PCM之间，没有明显地选择倾向（否则，人们只会把注意力集中在一种方式而忽视其余两种方式）。然而，针对每一种应用来说，有足够的理由选择其中一种，排除其他两种方式。

FM有一个显著的优点（在本节的后面将加以说明）。当把输入数据的带宽转化到多路转换器的带宽时，FM方式的效率大约是PCM的两倍。例如，FM方式能使用户把十个1000Hz的测量参数加到上限频率为125kHz的多路复用器上。而把同样的参数编码为PCM，要占据大约250kHz的频段。这就是说，在一个限定的无线信道带宽上，在相同的数据通道下，FM的容量是PCM的两倍，或者说磁带记录器的工作时间比PCM要长一倍。另外，一个遥测系统如果只有几个通道，使用FM方式比起用PCM便宜。PAM方式常用于美国海军的导弹试验。它比较简单，编码器的尺寸也小，因此特别适用于小型导弹的试验。它的带宽效率优于FM。但是PAM的数据传输精度不高，除了在一些特殊场合使用之外，它的应用并不广泛。

PCM方式有更高的精度，更大的动态范围，噪声也低。大于14个数据通道的PCM系统，每个通道的成本比FM还要低。

当数据最终要求输入数字计算机时，用PCM多路转换、传输和储存数据有许多优点。

数据带宽的使用

影响遥测系统设计方案的诸因素中，一个最大的约束条件是传输或储存介质的带宽限制。为了给遥测用户提供参考，当对遥测技术要求做详细分析时，下面的步骤和图表对初步分析是有帮助的。在分析中，我们要解释一个新的术语，即“数据带宽之和”。正确选择遥测系统首先要从“数据带宽之和”开始。这个术语指的是进行多路转换、传输或记录的所有数据通道带宽的总和。例如，假设遥测用户有：

1. 10个测量点，每个测量点预计的频率范围在直流到800Hz之间。即“数据带宽之和”为8000Hz；

2. 5个直流到1000Hz、20个直流到5Hz的测量点，则“数据带宽之和”为5100Hz；

3. 100个直流到5Hz的测量点，“数据带宽之和”为500Hz；

根据“数据带宽之和”做为出发点，图1.8给出了比较保守的估算多路转换带宽的图解法，用估计出的带宽来处理数据，可使其性能损失最小。

以FM多路转换为例：

a. 当频率为8000Hz时，大约需要的带宽为100kHz；

b. 当频率为5100Hz时，大约需要的带宽为60kHz；

c. 当频率为500Hz时，大约需要的带宽为6.5kHz。

值得注意的是，同样的数据，如果用PCM多路转换大约需FM方式两倍的带宽。

表1.1对FM、PAM和PCM进行了比较。

表1.1 FM、PAM和PCM的比较

	FM	PAM	PCM
用无线电或磁带记录器带宽的效率	中	最 好	最 差
一个小型发射系统的成本	最 低	低	最 高
尺寸	最 小	小	最 大
一个大型发射系统的成本	最 高	最 低	中 等
尺寸	最 大	最 小	大
一个小型接收系统的成本	最 低	较 高	最 高
一个大型接收系统的成本	最 高	高	高
精度	差	差	最 高
使用的百分比 (近似)	20	15	65