

TP7

0168

中国科学院空间中心

研究生毕业论文

导师 王传善、高宜桂

研究生 冯宏娟

论文题目 计标机遥测系统的探讨



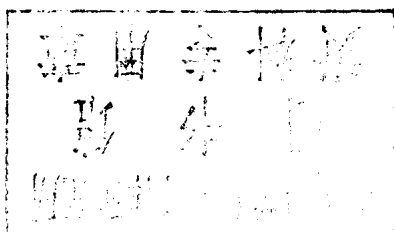
一九八五年五月一日完稿

实 验 记 录 报 告

目 录

摘 要	(1)
一、引言	(2)
// 计算机遥测系统的必然性	(2)
/// 空间科学探测的原始数据	(2)
// 2 传统遥测系统的特点	(3)
// 3 遥测中应用计算机技术的发展过程	(5)
/ 2 国外遥测系统的开发动向	(6)
/ 2 / G P S 体系	(6)
/ 2 2 分包遥测	(8)
二、计算机遥测系统	(9)
2 / 计算机网络与计算机遥测遥控的类比	(9)
2 / / 计算机网络的发展过程	(9)
2 / 2 通信技术与遥测技术的关系	(13)
2 / 3 计算机网络——计算机遥测遥控的相似性	(14)
2 / 4 计算机遥测网络的组成部分	(15)
2.2 计算机遥测系统	(16)
2.2 / 计算机遥测系统的结构	(16)
2.2 2 各部分部件所要完成的功能	(17)
2.2 3 传输控制规程	(17)
2.2 4 采用本系统的优点	(20)
三、二种计算机遥测系统的几个性能分析	(21)
3 / 两种可能方案	(21)

(1)



0168

实 验 记 录 报 告

3.2 排队系统的性能分析	.....	(23)
3.2.1 随机服务系统的几个基本概念	.....	(23)
3.2.2 方案(I)的性能分析	.....	(25)
3.2.3 方案(II)的性能分析	.....	(38)
3.2.4 比较两种方案	.....	(42)
3.3 两种方案的可靠性分析	.....	(43)
3.3.1 方案(I)的可靠性分析	.....	(43)
3.3.2 方案(II)的可靠性分析	.....	(44)
3.3.3 两种方案的可靠性比较	.....	(44)
四 计算机遥测系统与传统 T D M 遥测系统		
的数据接收正确性分析	.....	(44)
4.1 计算机遥测系统的数据接收正确性	.....	(46)
4.2 传统 T D M 遥测系统的数据接收正确性	.....	(46)
4.3 计算机遥测系统与传统 T D M 遥测系统的比较	.....	(48)
五 结束语	.....	(48)
致谢	.....	(50)
参考文献	.....	(50)
附录——有关排队系统的性能分析 程序 程序及其结果	.....	另册

实 验 记 录 报 告

摘

要

本文对遥测系统的发展方向问题进行了探讨，主要由四部分组成：第一部通过分析传统遥测系统的特点以及国外遥测系统的发展动向阐明了计算机遥测系统的必然性；第二部份通过类比计算机网络的发展论述了计算机遥测系统的可能性；并且提出了应用传输控制规程来实现遥测系统的标准化；第三部份分析了两种可能的计算机遥测系统方案的几个性能，诸如数据损失率，系统存贮空间，可靠性；第四部份分析了计算机遥测系统与传统TDM系统的数据接收正确性，并进行了比较。

实 验 记 录 报 告

一 引 言

随着电子计算机及其应用技术与遥测技术的不断发展和日益结合,对遥测系统产生了很深刻的变革,过去普遍认为遥测与计算机技术是简单的专门设备与技术基础的关系。然而现在,人们越来越认识到,标志着遥测技术领域一个崭新的时代已经到来,有必要将遥测技术与计算机技术两者紧密结合起来,两者结合的必然趋势便是计算机遥测系统的产生。

1.1 计算机遥测系统的必然性

为了说明从传统遥测系统向计算机遥测系统发展的必然趋势,本文以空间科学探测为例,分析一下空间科学探测的原始数据及传统遥测系统的特点,进而说明为了克服传统遥测系统难以满足的不断增长的探测要求而在遥测中应用计算机技术的发展过程。

1.1.1 空间科学探测的原始数据〔2〕

空间科学探测的原始数据就是安装在飞行器上的各种科学实验仪器所探测到的信息。就其来源而言,可分为四类:

1. 近地探测的空间环境参数,大部分的空间物理参数属于此类。

2. 遥感探测数据,空间天文探测一般属于这一类。

3. 在空间平台上进行的生物、医学、化学以及材料科学等的实验数据。

4. 上述实验所必须的辅助数据,卫星工程数据等。

对于设计信息传送系统的设计者来说,我们并不关心信息的来源,而只关心基本本身的性质和形式。因此若按性质划分可分如下几类:

实 验 记 录 报 告

1. 变化速率慢的参数。这类参数基本上不变化或仅随时间而缓慢变化。例如，地球及行星外层的大气密度和成份，随高度和太阳的辐射而变，但变化速率很慢。空间环境的辐射强度和微流星体的数密度，本身都是随机变量，其统计平均值是相当缓慢变化的参数。卫星工程参数如供电电压、仪器给强度，气瓶压力等，在正常工作情况下也都是极为缓慢变化的参数。这些参数有许多是随着卫星在空间所处的位置而变化的，因此往往有一个和轨道周期相关的变化周期。

2. 中等变化速率的参数。许多慢变化的数据在异常情况时变化速率将会提高1~2个数量级。例如：太阳的X射线强度在平时变化很慢，但在爆发时变化过程就快得多。许多工程参数在卫星故障时会有较快的变化。星上的某些实验有时也要求获得较快速度的变化数据。例如材料熔化或结晶时的温度变化，对宇宙空间扫描的辐射变化以及研究一些过渡过程等。

3. 快速变化的数据。这一类实验的目的是要取得快速变化的波形，以便进行分析。例如对宇宙γ暴的研究，不仅需要测得其幅值，还希望获得前后沿变化过程的整个波形。空间生物医学实验时测得的脑电和心电图都是波形，为了较好地恢复这些波形，采样速率需要较高。

4. 照片图象。这是信息量很大的一类空间探测数据，主要是对星体的摄象。例如，对月球，火星，木星等的近距摄象，对太阳的X线成像望远镜的数据就是这一类。

1.1.2 传统遥测系统的特点

空间科学探测的一个重要问题是如何高速、有效地处理和利用所探测的数据。遥测作为测量并传输飞行器在飞行试验中各种参数的手段，成为火箭，飞船，航天飞机等重要的必不可少的分系统之一。然而，现在大多数卫星遥测系统无论是从传送数据的格式，系统的结构

实 验 记 录 报 告

还是对数据处理的能力方面都难以满足空间科学探测的要求。

1. 传送数据的格式

目前, 大多数卫星遥测系统传送数据的格式还是固定的, 是将遥测设备来的数据经多路复用后组合成帧即时分多路复用TDM系统。这就带来几个缺点:

- 一帧数据在传输过程中丢失时, 所有通道的数据都会出现空白。
- 信息速率难以统筹匹配。前已述过, 遥测数据的来源很多, 不同探测器的输出信号变化速率相差很大, 并且有很大的随机爆发性, 因此, 要以固定的格式而达到高的传输效率, 是难以做到的。
- 与地面用户(科学研究机构) 直接以通道实时联系并进行信息分配颇为不便。

2. 遥测系统的结构

传统的遥测系统在结构上非常不灵活, 一旦遥测系统设计研制完毕后, 仪器就难以变动, 否则不是降低数据传送效率, 就是容量不足。一个卫星的遥测系统虽然可以挪用到另外一颗卫星, 但考虑到容量及效率, 往往需另行设计。

3. 数据的储存

科学卫星的探测数据一般并不能保证实时传送到地面, 这是因为每个地面站的接收范围有限。除非有分布全球的足够数量的地面站网, 或者采用数据中继卫星从同步轨道高度来连续跟踪并接收数据, 否则卫星飞出地面站接收范围时, 数据必将中断。为了保证接收中断期间不致丢失科学探测数据, 星上应有足够的数据储存能力, 储存容量能满足间隔圈数的信息量。

随着空间科学探测数据量的越来越大, 冗余数据量也不断增大, 这就带来一个数据传输效率问题。

实 验 记 录 报 告

如果定义数据传输效率, $\eta = \frac{\text{有效数据量}}{\text{实际传输的总数据量}}$

则为了提高数据传输效率, 就要在星上对将要传输的数据进行预处理。

众所周知, 信源序列往往具有较强的相关性, 通过线性预测原理, 可以去除这些相关性, 从而达到数据压缩的目的。而传统的遥测系统一般不能满足这种星上处理数据的要求, 从而也使地面站接收及数据处理设备复杂, 成本昂贵。

计算机技术的发展给遥测系统带来了希望, 同时線上所述的传统遥测系统的缺点也推动了计算机技术与遥测技术的结合。

1.1.2 遥测中应用计算机技术的发展过程

无线电遥测技术的发展历史可以追溯到卅年代, 当时在德国进行了气象信标机的成功飞行, 由于军事的需要, 在第二次世界大战中产生具有较大数据容量的多信道无线电遥测。后来的发展主要是围绕遥测传输体制问题。五十年代以后由于计算机技术的发展使得遥测发生了深刻的变革。

1.接收部分 [15]

遥测中采用计算机技术最早是用于接收处理, 早在五十年代就已开始, 但摆脱那种传统的脱机处理和事后处理方式而步入实时处理, 使遥测和计算机紧密结合的系统, 则是在六十年代后期。到七十年代初期, 开发出并逐渐完善了一种以遥测专用语言为核心的遥测软件系统, 标志着可编程序遥测在应用计算机技术这一方面进入了一个新的阶段。美国EMR公司(现改名为Sangama Western)的TELEVENT就是这种软件系统的代表。在美国使用小型计算机进行数据处理的可编程序遥测系统, 已成为主要的遥测设备, 这种设备灵活性大, 适应性强。

实 验 记 录 报 告

2. 星上遥测发送部分

尽管在地面接收部分计算机与遥测的结合非常密切，但是在星上遥测系统中采用计算技术已是六十年代，当时由于计算技术以及大规模集成电路的迅速发展，同时由于空间探测技术不断提出新的要求，传统的遥测系统已难以满足这种不断增长的要求，于是出现了星载**PROM**控制的可编程序遥测。尽管**PROM**控制的可编程序遥测具有速度快，程序设计简单明了，设备简单的特点，但它的灵活性较差，不能兼顾机载数据压缩，而且也不易于其他系统（如自动化检测系统）配合，因此就产生了“用微处理机控制的机载可编程序遥测”的要求。采用微处理机控制就可以克服**PROM**控制的缺点，它虽然速度受限制，程序和设备都较复杂，而且需要软件知识，但是随着对遥测系统灵活性要求的不断提高以及计算技术和**LSI**的进一步发展，采用微型计算机系统控制的机载可编程序遥测就成了必然的趋势。

接着我们通过国外遥测系统的开发动向来看一下计算机遥测系统的可能性。

1.2 国外遥测系统的开发动向

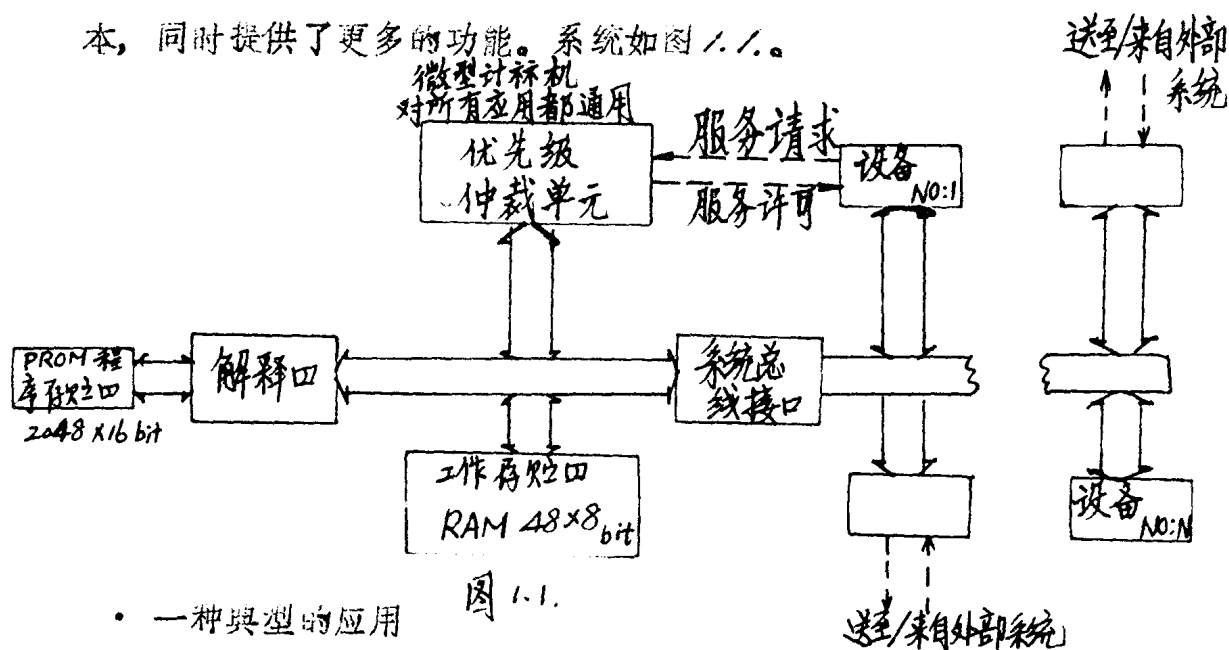
由于计算机技术的迅速发展，使得遥测系统发生了根本性的改变，今天的遥测系统正走向模块化，智能化发展，以适应灵活多变的遥测要求。国外遥测系统发展的趋势正朝着通用化方向发展，分包遥测已经越来越引起人们的关注。下面介绍一下**GPS**体系和**PT**结构。

1.2.1 **GPS** 体系

在美国海军研究局和海军研究实验室的倡议下，*Peter H. Campoli* 和 *S. K. Brede* 研制了一种用于卫星遥测的通用微型计算机结构**GPS (General Purpose System)**，该结构能很灵活地满足多数

实验记录报告

遥测要求。比传统的遥测系统提高了可靠性和模块化程度，降低了成本，同时提供了更多的功能。系统如图 1.1。



• 一种典型的应用

a) 从一参考处对 CTC (Central Telemetry Controller)

对系统的要求:

- i) 实时输出 PCM 位序列;
- ii) 通过一适当的存储器媒介延迟传输;
- iii) 固定的和任选其一的遥测格式;
- iv) 远置数据多路复用和转换 (无集中多路复用);
- v) 对其他系统的遥测控制输出;
- vi) 装入存储器命令的串行输入, 以及改变操作参数如位速率和操作方式;
- vii) 通过中继控制来重新构造。

b) 实现

CTC 的性能要求确实很复杂, 但利用通用微处理机就相当简单了, 而且只要使用其中一小部分处理能力。

与 CTC 相关的挂在系统总线上的设备有:

实 验 记 录 报 告

- i) 定时和输出模块;
- ii) 大容量存储器接口;
- iii) 固定格式存储器, 包括 2048×12 位字;
- iv) 远置遥测总线传输器;
- v) 命令存储器存储控制器;
- vi) 指令命令接口;
- vii) 状态控制器。

/ 2.2 分包遥测即 PT 结构 (Packet Telemetry) [12] (ITP 概念)

美国 NASA JPL 实验室研制的 PT 数据处理系统为将来的 NASA 任务中星——地接口的大部分提供了标准化的机会, 他们提出了一种端——端协议 (PT), 能够进行从遥远的太空探测器到地面用户间的遥测数据的传送, 这是一种既能对深空计划又能对近地任务适用的遥测格式的标准化方案。

他们通过考察深空计划和近地任务的不同特点, 得出如下结论:

a, 如果星上不同信源的数据集合自动地进行传输而不是先经过多路复用后一起传输, 则下行数据的损失可达最小。结果, 一个数据的输出只限于一个传感器, 如果产生错误, 也不致破坏所有信源。

b, 如果把飞行器格式设计成与包括传输系统在内的某些设备性能相兼容的话, 则可以改善端一端性能。

他们注意到可以把飞行器格式与 NASCOM 电路的模块协议同步。这是一种很吸引人的思想, 因为 NASCOM 提供了一种纯传输服务, 系统是在定长模块下运行的, 而此模块具有标准的头、尾信息。飞行器遥测的帧可以简单地分成一组一组的插入到 NASCOM 模块的数据域中, 然后传输到目的地, 并且将它们重新进行组合以便对下一次下行站作出解释。



实 验 记 录 报 告

P.T. 结构对遥测系统设计和标准化带来许多方便之处。

- 对空间任务的地面数据处理可以大大简化。
- 多任务数据处理设备可以成为现实。
- 可以规定标准化的传感器接口。
- 自适应传感器操作也成为可能。
- 可以实现统筹经济。

下面我们从计算机技术与遥测技术的结合来看一下计算机遥测系统的特点。

三、计算机遥测系统

我们知道计算机科学技术与通信技术的结合导致了计算机网络系统的产生。纵观计算机网络从低级到高级，从简单到复杂的发展历史，以及通信技术与遥测技术的理论基础相同而技术上又各别的特点，很自然地会联想到计算机技术与遥测技术结合是否导致另一门新兴学科——计算机遥测系统的产生呢？为了回答这个问题，我们先来回顾一下计算机网络的发展进程，分析一下通信技术与遥测技术各自的特点。

2.1 计算机网络与计算机遥测遥控的类比

2.1.1 计算机网络的发展过程

计算机网络是电子计算机及其应用技术与通信技术逐步发展，日益密切结合的产物。计算机网络的形成过程是从简单的为解决远程计算，信息收集和处理而形成的专用联机系统开始的。随着计算机技术和通信技术的发展，又在联机系统广泛使用的基础上发展到了把多台中心计算机连接起来，组成以共享资源为目的的计算机网络。这样就进一步扩大了计算机的应用范围，促进了包括计算机技术与通信技术在内的各个领域的飞跃发展。

实 验 记 录 报 告

计算机网络经历了一个从简单到复杂,从低级到高级的发展过程。概括地说,其发展过程可划分为:具有通信功能的单机系统,具有通信功能的多机系统和计算机网络三个阶段。

1. 具有通信功能的单机系统

早期计算机系统,由于没有提供管理程序和操作系统,用户只能亲自携带程序和数据,并采用手工方式上机。他们或是不辞辛苦亲自上机,或是邮寄委托代办,但无论那种办法,远地用户都要在时间、精力和经济上付出较大的代价。

六十年代初期,计算机进入了第二代,同时在软件方面也诞生了批量处理系统。这时只要用户使用作业控制语言编写上机操作说明书,并将它用程序和数据一起送交操作员,输入到计算机内,即可完成所需的计算。另外,在这一时期由于工业、商业、军事等部门已广泛地使用计算机,它们迫切需要对分散在各地的数据进行集中处理,从而促使批量处理系统采用通信技术,产生了具有脱机通信功能的批量处理系统。基本思想,就是在机房设置一些脱机输出装置。当从远地通信线来数据和程序时,先把它们通过机房的输入装置记录到纸带或磁带某存贮介质上,然后再由操作员将它们输入到计算机内进行处理,处理结果也要由操作员用输出装置发送到远地站点。在通信线路的误码率较高以及计算机与通信装置的接口没有妥善解决的情况下,采用这种脱机通信系统是较为经济、较为适宜的。但十分明显,由于这种“脱机”方式需要操作员直接插手干预远程输入输出,所以工作效率是很低的。

鉴于脱机通信系统的缺点,人们自然会想到,如果在计算机上设法增加通信控制的功能,使远地站点的输入输出装置通过通信线路直接和计算机相连,那么就可以摆脱操作员对远程输入输出的干预,使计算机系统直接经过通信线路,从远地站点一边输入信息,

实 验 记 录 报 告

一边处理信息，最后的处理结果也可以经过通信线路直接送回到远地站点。这种系统就是所谓的联机系统。这种联机工作方式，不仅提高了计算机系统的工作效率和服务能力，而且大大促进了计算机系统和通信技术的发展。为了适应不同应用领域实现自动监测和自动控制的需要，计算机除了能用通信线路和普通的输入输出设备相连外，又研制了大量的能和计算机相连的监测设备和控制设备。这些能用通信线路和计算机相连的设备统称为终端设备。最初的终端设备都是利用专用线路，并按照点——点方式和计算机固定相连的。这种连接方式的最大缺点是每个终端独身占用一条线路。尤其是在终端数目多，距离远的情况下，投资费用较大，其线路利用效率很低。随着通信技术的发展，又出现了多点连接方式，也就是多个用户终端设备共用一条线路和计算机相连。特别是六十年代末期，在实时控制和分时系统大力发展的基础上，迫切需要一台计算机接续大量的终端设备。于是出现了利用现有的电报、电话通信网实现终端与计算机之间的信息传输的办法。随着通信技术的发展，计算机系统也从简单的联机系统，相继地发展成远程批量处理系统、远程分时处理系统以及远程实时处理系统等更为复杂的联机系统，以适应这个应用领域的需要。

2. 具有通信功能的多机系统

连接大量终端的联机系统，存在两个显著的缺点。其一，是主机系统负荷较重，它既要承担数据处理工作，又要承担通信工作；其二，通信线路的利用率很低，尤其是终端距离主机较远时更是如此。

为了克服第一个缺点，可以在主机之前设置一个前置处理机，专门负责与终端的通信工作，这样就使主机系统能集中较多的时间进行数据处理工作。

为了克服第二个缺点，通常采用的办法是终端较为集中的地区设

实 验 记 录 报 告

置线路集中器，并用低速通信线路把附近的终端先汇集到线路集中器上，然后再用高速通信线路把集中器和主机相连。这样就可以把汇总的信息送入主机去处理。

目前，计算机网络中通常采用小型计算机作为集中器，它不仅具有汇集终端信息的功能，而且还具有通信处理和压缩信息的功能，这种联机系统已不再是“终端——通信线路——计算机系统”

这样简单的结构，而是“终端群——低速通信线路——小型计算机（集中器）——高速通信线路——主机系统”

这样较为复杂的结构。这种利用通信线路把终端、小型计算机以及主机连接在一起的结构，已具备了计算机网络的雏形。

3 计算机网络

联机系统的发展，为计算机应用开拓了新的领域；反之，新的领域又为计算机应用提出了新的课题和要求。首先提出的是计算机系统之间的通信要求。这是因为大型企、事业单位或军事部门通常有多④个计算中心分布在广泛的地区中。这些计算中心除了处理自身的日常业务之外，还要与其它计算中心彼此传递情报，进行各种各样的业务联系，但一般不把本中心的业务委托其它计算中心去处理。人们把这种以传输信息为目的，并用通信线路将各计算中心中的计算机连续连接起来的计算机群称为计算机通信网络。

随着计算机通信网络的发展和广泛使用，不久又提出了更高的要求。这就是某计算机系统的用户希望使用其它计算机系统资源为他服务，或者希望与其它计算机系统联合起来共同完成某项业务，这就形成了以共享资源为主要目的的计算机网络。为了实现这一目的，除了需要有可靠、有效的计算机和通信系统之外，还要求制定全网一致遵守的“协议”（Protocol），并为每个端点的计算机编制和配置

实验记录报告

各级协议的支持软件。

计算机网络的不断完善和发展，又出现了从逻辑功能上把数据处理和数据通信分开的趋向。这种计算机网络是由数据处理网（亦称资源网）和数据通信网（亦称通信子网）组成的两级网络结构。例如，美国国防部高级研究计划局建立的ARPA网就是一个建立较早的，规模较大的两级计算机网络。

为了适应原有计算机网络的发展和扩大，以及适应各企、事业部门筹建新的计算机网络，从事通信事业的部门和公司纷纷建立公用数据通信网络，增加各类数据通信服务项目，使用公用数据通信网时，不需铺设或租用专用线路，所以投资少，通信费用低，便于中小型企业事业单位的计算机和终端入网。另外，由于采用标准通信接口设备，还易于把新型计算机和终端连入网内。再有，由于有了公用数据通信网作为基础后，如果想要筹建新的计算机网络时，只要根据参加者的要求和资源设置情况，制定较高级别的网络协议，并在相应主机系统上配置相应协议的支持软件即可。一般地说，在公用数据通信网的基础上可以建立多个类型、功能、协议均不相同的计算机网络。因此，同一主机系统可以从属于不同的计算机网络，只要在同一主机中配置不同网络所需的基本软件即可。更进一步，如果在不同计算机网络之间，再制定网络互连协议，配置相应软件，就能构成更复杂的，规模更大的计算机网络。

2.1.2 通信技术与遥测技术的关系

1 理论基础

在理论上，通信技术与遥测技术有着共同的理论基础，例如深空探测器遥测技术使用了通信上弱信号检测和抗干扰编码等最新理论，在调制技术上也有着共同的调制理论，在对数据进行压缩处理上也有着共同的~~数据~~数据压缩原理等。

实 验 记 录 报 告

2. 技术上的关系

从概念上来说，遥测技术比通信技术更广，但它又不能把通信技术全部包含进去。遥测技术综合了传感器技术、数据处理技术，传输技术和检测技术，或者说遥测技术是传感器技术，计算机技术和通信技术的综合技术，它的主要目的是为了测量，并在接收端将所测量得到的信息恢复出来。所以遥测系统的方式是被动式监视和记录，因此基本上是单向信通。但如果将遥控结合起来形成闭环，则可以认为是一种双向通信。

在遥测系统中，其信源是来自传感器的探测信息，可以是模拟^①也可以是数字的，模拟信息可以通过采样转化为数字信号，而以后的信息预处理和调制、发送以及接收端的解调，检测与通信系统基本上是一致的。



图 2 / 遥测系统的示意图

2.1.3 计算机网络——计算机遥测遥控的相似性。

比较计算机网络的发展过程，可以看到，计算机与通信技术的结合是由于计算机间要求通信，共享资源产生的，而遥测遥控与计算机的结合则是测控系统提出了应用计算技术的要求而产生的。如果不是殊途同归也可以认为是殊途“近”归了。从另一个角度，我们必须承认这样一个客观事实：已出现用微型计算机控制的可编程序遥测系统。我们完全有理由把地面计算机系统与卫星遥测遥控系统的联系认为是地面计算机系统与星上计算机遥测系统之间的一种通信。首先，尽管星上遥测计算机系统是一种单向信道，但是如果把地面计算机对星上所发的遥控命令认为是上行的话，那么星上遥测计算机系统与地面计算机系统之间构成一个闭环系统既有下行数