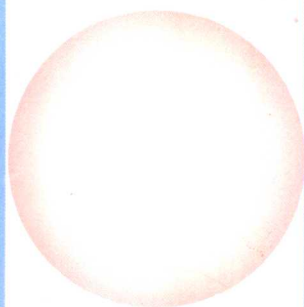


普通高等教育航天类规划教材

航天遥测系统

Space Telemetry System

李秉常 主编



宇航出版社

普通高等教育航天类规划教材

航天遥测系统

主 编 李秉常
副主编 李尚仁 赵立强
郝建民 张力余

宇航出版社

内 容 简 介

本书是密切结合遥测工程的研究、设计、航天应用的研究生教材,对遥测的理论、技术和组成系统作了全面的论述。

本教材共分8章。第1章,概论;第2章,航天遥测系统的传输理论;第3章,导弹、火箭遥测系统总体设计;第4章,导弹航天测控网;第5章,数字遥测数据传输与处理技术;第6章,遥测信道;第7章,航天传感器;第8章,磁记录与重放技术。

本书可作为航天遥测专业研究生教材,也可用作高等院校、科研单位有关专业的研究生教材或参考书,也适合于从事与遥测专业有关的研究、设计、生产、使用、管理的高中级科技人员和大学师生参考用。

图书在版编目(CIP)数据

航天遥测系统/李秉常主编. —北京:宇航出版社,2001.7

ISBN 7-80144-382-9

I. 航… II. 李… III. 航天器—遥测系统—研究生教育—教材
IV. V556.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 034594 号

宇航出版社出版发行

北京市和平里滨河路1号(100013)

发行部地址:北京阜成路8号(100830)

北京市社科印刷厂印刷

新华书店经销

2001年7月第1版

2001年7月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16

字数:400千字

印数:1—500册

定价:28.00元

前 言

《航天遥测系统》是为攻读航天遥测专业的研究生编写的教材。本书密切结合工程实际,向学生全面讲授航天遥测的理论、技术和系统,同时介绍遥测的有关新技术和发展动向。为了使学能较深刻地了解遥测在导弹、火箭研制中的具体应用以及遥测在导弹、航天测控系统中的地位与作用,从而能打下宽厚的遥测专业的知识基础,本书在系统讲授航天遥测全面知识的6章之外,增设了两章,介绍导弹、火箭遥测的应用总体设计和导弹、航天测控系统的总体设计概要。

全书分8章,第1章航天遥测概论,由史长捷撰写;第2章航天遥测信息传输理论,由郝建民撰写;第3章导弹火箭遥测系统总体设计,由罗达、陈力农撰写;第4章导弹航天测控网,由刘蕴才、黄学德、夏南银撰写;第5章数字遥测的数据传输与处理,由魏津、谢海祥、房鸿瑞撰写;第6章遥测信道,由李秉常撰写;第7章航天遥测传感器,由魏世钧撰写;第8章磁记录与重放技术,由詹辛农撰写。

本教材也可用作高等学校、科研单位与遥测有关的专业的研究生教材或参考书。本教材的所有撰写者都是从事本专业学术研究、工程设计工作数十年的专家、学者,所撰写的章节注重理论与工程设计实践相结合,强调工程实用性。本书也可供与遥测专业有关的研究、设计、生产、使用、管理的高、中级科技人员以及大学师生参考之用;与遥测专业相关的专家、学者也可以从中俯览遥测全貌,以开拓技术视野。

由于参与本教材编写的人员较多,写作风格和文字表述方式难以完全一致;同时,书中也难免有错误和遗漏之处,敬请读者、专家批评指正。

编者

2001年3月

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 遥测在航天事业中的地位和作用	(1)
1.2 航天遥测系统构成	(2)
1.2.1 数据采集	(2)
1.2.2 数据传输	(3)
1.3 当代航天遥测系统的发展	(6)
1.3.1 遥测系统的发展	(6)
1.3.2 航天遥测系统标准	(6)
1.3.3 遥测地面站现状和发展趋势	(7)
1.3.4 星弹载遥测设备的发展趋势	(12)
1.3.5 星、弹(箭)数据存储器	(14)
1.3.6 正确选用遥测系统	(15)
1.4 我国航天遥测技术发展概况	(16)
第2章 航天遥测信息传输理论	(18)
2.1 噪声分析简论	(18)
2.1.1 高斯白噪声	(18)
2.1.2 窄带噪声	(19)
2.1.3 噪声通过线性系统	(21)
2.1.4 随机信号通过非线性系统	(21)
2.2 信号调制基础理论及多路复用体制介绍	(23)
2.2.1 采样定理及其讨论	(23)
2.2.2 量化技术	(25)
2.2.3 频率调制与相位调制	(26)
2.2.4 脉冲幅度调制-调频体制	(30)
2.2.5 频移键控体制	(31)
2.2.6 二相相移键控体制	(32)
2.2.7 四相相移键控体制	(34)
2.2.8 四种体制的性能综述	(35)
2.2.9 遥测多路复用体制概述	(35)
2.3 数字调制体制的发展	(37)
2.3.1 OQPSK、MSK、GMSK、UQPSK 体制的主要性能	(38)
2.3.2 其他新调制体制简介	(41)
2.3.3 航天遥测调制新体制的选择	(42)
2.4 最佳检测原理	(45)
2.4.1 最大后验概率接收机	(45)
2.4.2 匹配滤波器基本原理	(49)

2.4.3	相干检测中的匹配滤波器	(52)
2.4.4	准匹配滤波器	(52)
2.5	航天遥测信道编码	(53)
2.5.1	卷积码与维特比译码概述	(54)
2.5.2	PCM-FM 非相干检测方式时卷积码-维特比译码的性能	(58)
2.5.3	RS 码概述	(58)
2.5.4	遥测信道编码设计的几个基本问题	(61)
2.6	扩频调制体制基本原理	(63)
2.6.1	扩频体制原理与伪码序列	(63)
2.6.2	扩频体制的抗干扰性能	(65)
第3章	导弹与火箭遥测系统总体设计	(66)
3.1	导弹与火箭遥测系统总体设计概论	(66)
3.1.1	总体设计的任务	(66)
3.1.2	总体设计的依据	(66)
3.1.3	遥测系统的组成	(67)
3.1.4	总体技术性能	(69)
3.1.5	总体设计技术文件	(69)
3.2	弹(箭)载遥测系统总体设计	(70)
3.2.1	遥测参数的分类与属性	(70)
3.2.2	遥测参数测量	(72)
3.2.3	遥测发送系统设计	(73)
3.2.4	供电设计	(75)
3.2.5	系统总体设计	(75)
3.3	地面遥测系统总体设计	(77)
3.3.1	地面供配电遥测检测系统总体设计	(77)
3.3.2	弹(箭)遥测测控要求	(78)
3.4	遥测系统试验与测试	(79)
3.4.1	综合试验与匹配试验	(79)
3.4.2	工厂测试与发射场测试	(80)
3.5	弹头遥测	(82)
3.5.1	弹头遥测的特点	(82)
3.5.2	弹头再入遥测中的电波传播	(84)
3.5.3	弹头遥测系统设计	(90)
3.5.4	多目标遥测的要求与实现技术途径	(93)
第4章	导弹航天测控网	(96)
4.1	概述	(96)
4.1.1	导弹航天测控网的定义	(96)
4.1.2	测控系统的特点	(96)
4.1.3	我国航天测控网的特点	(96)

4.1.4	测控网的主要任务	(97)
4.1.5	导弹航天测控网的组成	(97)
4.1.6	遥测在测控网中的地位和作用	(97)
4.2	导弹测控系统总体设计概要	(98)
4.2.1	测控频段选择	(98)
4.2.2	弹道测量体制	(99)
4.2.3	布站设计	(104)
4.2.4	精度分析概述	(106)
4.3	卫星测控系统总体设计概要	(108)
4.3.1	概述	(108)
4.3.2	卫星运行轨道	(108)
4.3.3	卫星测控系统总体设计的任务和内容	(111)
4.3.4	太阳同步卫星测控系统总体设计	(111)
4.3.5	地球同步卫星测控系统总体设计	(116)
第5章	数字遥测的数据传输与处理技术	(122)
5.1	数字遥测系统的工作原理	(122)
5.1.1	数字传输的意义	(122)
5.1.2	数字传输系统的构成	(122)
5.1.3	数字遥测的传输信号形式	(124)
5.1.4	数字遥测的发展	(129)
5.2	同步技术	(132)
5.2.1	同步的重要性	(132)
5.2.2	载波同步	(132)
5.2.3	比特同步	(136)
5.2.4	群同步	(141)
5.3	计算机遥测终端	(144)
5.3.1	遥测终端技术的发展	(144)
5.3.2	遥测终端系统的体系结构	(145)
5.3.3	数据采集	(146)
5.3.4	数据处理	(147)
5.3.5	数据通信	(150)
5.3.6	应用实例	(154)
5.4	遥测数据处理	(157)
5.4.1	遥测数据处理的分类及特点	(157)
5.4.2	遥测数据处理的方法	(158)
第6章	遥测信道	(169)
6.1	遥测信道的构成	(169)
6.1.1	遥测频段	(169)
6.1.2	射频调制体制	(169)

6.1.3	遥测信道与导航卫星转发信道兼容	(170)
6.1.4	空载发送设备的组成及主要技术要求	(170)
6.1.5	遥测地面接收设备的构成及主要技术要求	(171)
6.2	作用距离计算	(178)
6.2.1	空间损耗计算	(178)
6.2.2	接收功率计算	(179)
6.2.3	接收系统噪声功率计算	(179)
6.2.4	接收系统输入载噪比要求	(181)
6.2.5	作用距离计算	(182)
6.3	跟踪体制简介	(182)
6.3.1	单通道单脉冲跟踪体制	(183)
6.3.2	圆锥扫描跟踪体制	(190)
6.3.3	单通道单脉冲体制与圆锥扫描体制的性能比较	(194)
第7章	航天遥测传感器	(195)
7.1	传感器技术的一般问题	(195)
7.1.1	定义、特点和主要研究内容	(195)
7.1.2	传感器的结构构成	(196)
7.1.3	传感器的标准化	(198)
7.2	传感器的基本特性	(199)
7.2.1	传感器的静特性	(200)
7.2.2	传感器的动特性	(201)
7.3	传感器的误差	(203)
7.4	传感器的信号调节器	(204)
7.5	传感器的制造工艺特点	(206)
7.5.1	机械加工和稳定性工艺	(206)
7.5.2	微机械加工工艺	(207)
7.6	研制航天传感器的技术保障	(209)
7.6.1	一般基础保障条件	(209)
7.6.2	专业技术基础	(210)
7.6.3	实验技术	(212)
7.7	航天传感器的可靠性	(213)
7.7.1	结构可靠性	(213)
7.7.2	检测可靠性	(214)
7.7.3	贮存可靠性	(214)
7.8	典型传感器介绍	(215)
7.8.1	概述	(215)
7.8.2	流量和液位传感器	(216)
7.8.3	压力传感器	(217)
7.8.4	温度与热流传感器	(218)

7.8.5	振动和冲击传感器	(220)
7.8.6	噪声和过载传感器	(221)
7.8.7	测控及其他传感器	(222)
7.9	航天传感器的发展	(223)
7.9.1	微机械技术与传感器	(223)
7.9.2	光纤传感器	(224)
7.9.3	气体传感器	(224)
7.9.4	灵巧传感器	(224)
第8章	磁记录与重放技术	(226)
8.1	计测磁记录	(226)
8.1.1	计测磁记录的基本工作原理	(226)
8.1.2	记录方式	(228)
8.2	旋转头磁记录	(233)
8.2.1	4mm DAT(数字音频盒带记录器)	(234)
8.2.2	8mm 盒带	(235)
8.2.3	1/2 英寸 VLDS(极大数字存储)记录器	(235)
8.2.4	19mm ID-1	(236)
8.3	硬磁盘记录器	(237)
8.3.1	硬盘驱动器简介	(237)
8.3.2	性能参数	(238)
8.3.3	应用参数	(238)
8.3.4	驱动器接口	(239)
8.3.5	盘阵列	(239)
8.3.6	数据压缩	(239)
8.4	磁光记录	(239)
8.4.1	磁光记录原理	(240)
8.4.2	磁光记录介质	(241)
8.4.3	磁光记录系统的特性	(242)
8.4.4	磁光盘机	(243)
参考文献		(244)

第1章 概 论

1.1 遥测在航天事业中的地位和作用

遥测是对相距一定距离的被测对象进行测量,并通过传输媒介将被测数据传输到接收地点的测量技术,传输介质可以是有线或无线信道。本章研究的航天遥测包括了对导弹、运载火箭以及各种航天飞行器的遥测。

航天遥测的作用可归纳为如下几个方面。

(1)验证飞行器设计参数

在飞行器设计过程中,需进行分系统试验、整体联试、飞行试验等。在这些试验中均需要使用遥测获取试验数据,根据这些数据验证飞行器的设计参数并进行必要的修改。

(2)飞行器射前检查

飞行器每次飞行试验之前,无论在技术阵地或发射阵地,都需要利用遥测进行检查,及时发现可能发生故障的苗头,提供给各级设计师进行分析处理,以确保飞行试验取得圆满成功。

(3)故障诊断

飞行器在研制过程中,需要进行多批次的飞行试验。这种试验往往具有很大风险,有时还会发生爆炸事故,引起伤亡。由于飞行器大多是无人飞行器,究竟发生事故的原因是什么,需从外弹道测量系统与遥测系统两方面的测量结果进行分析。实践经验表明,大部分事故原因需由遥测系统提供的数据进行分析。特别是对外发射服务,具有国际合作性质,需要靠遥测数据进行国际技术纠纷的裁决。所以,如何正确有效地使用遥测系统,是个重要问题,也是一种艺术。往往在出了大故障之后,遥测的重要性才会被各方面深刻地认识。

(4)获取科学试验数据

在宇航方面,不仅使用遥测系统监测卫星、飞船等被测对象,还要对其有效载荷运行进行监测并获取数据。如进行空间育种、空间生成单晶等科学试验的监测数据,均需经遥测系统传至地面。

从广义而言,有时还需从空间探测器上获取地球和其他星球的图像数据,由空间传至地面。这种数据获取系统,名为遥感系统,其数据速率及容量都很大。在我国遥感是另一门学科,但在国外,有时广义而言,遥感遥测统一称为遥测。

(5)辅助其他测量系统

飞行器在飞行试验过程中为了调整设置新的飞行状态需要通过上行遥控系统发送遥控指令。由于遥控指令影响特别大,当飞行中收到上行遥控指令后,需将收到的信息,通过遥测系统转发到地面,进行验证,无误后才能执行。

(6)弹道导弹战斗弹遥测

战斗弹遥测系统的用途是利用遥测系统进行实战打击效果评估。由于使用环境特殊,战斗弹遥测系统必须按实战环境要求进行设计。

遥测在航天事业中起着十分重要的作用。遥测系统是航天飞行器的重要组成部分,是飞行器不可缺少的一个重要分系统。特别是在飞行器飞行试验发生故障时,遥测的作用尤为重要。

在飞行试验的故障分析中,都是从遥测数据中找出故障原因,确诊故障的部位。对于卫星等航天飞行器,在空中出故障后,也都是靠遥测系统的实时数据,进行卫星的抢救。

必须注意的是,随着通信技术、集成电路及计算机技术的发展,各种电子系统、数据传输系统已逐渐从技术上、体制上融合在一起。在卫星飞船等航天飞行器方面,遥测系统已与星上数据管理系统融合在一起失去其独立性。地面站则已与外测、遥控系统组成统一测控地面站,也失去其独立性。但遥测的重要性已融合在更大概念中,并没有因此而丧失其重要性。

1.2 航天遥测系统构成

遥测系统的原理框图如图 1.2-1 所示。从总体上讲,一个遥测系统可以分解为数据采集单元、数据传递单元、数据处理、显示与记录单元三大部分。

数据采集单元可分解为传感器、信号调节器、多路复用装置等三部分。

数据传递单元可分解为信号调制器(或编码器)、射频调制器、传输信道、接收机、信号解调器(或解码器)等五部分。

数据记录处理、显示与记录单元可细分为分路装置、串行数据记录器、并行数据记录器、数据处理与数据显示等。

1.2.1 数据采集

数据采集是将分散的各种被测参数通过传感器检测并变换成电量,然后通过信号调节器变换放大到适合于多路复用装置要求的电信号,再经多路复用装置将多路电信号复合成一个适于传输的数据流。

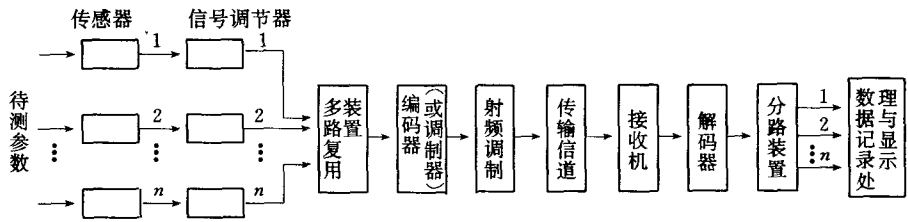


图1.2-1 遥测系统框图

(1) 传感器

传感器的种类很多,在航天遥测中用量也很大,少则几十个多则 1000 个以上。从需求上来看,对传感器有三点要求:精度高、体积小、工作可靠。

按数字遥测传输系统的要求,传感器的精度一般要求达到 1%。为了减小体积有些传感器往往与信号调节器做在一起。现在被测对象往往很复杂,需测的参数很多,传感器本身更需要小型化,甚而是微型化。为了解决小型化问题,固态传感器已经大量发展。这类传感器习惯上称为物性传感器,用以区别老式的体积较大的结构传感器。

航天传感器的可靠性十分重要,除完成信号检测工作之外,一些传感器的可靠性还将影响航天器的可靠性。例如,用于测量燃料的传感器,若密封不好,引起燃料泄漏,可能发生爆炸。有的传感器用于测控的闭环之中,测量若不可靠,可引起闭环控制失灵,造成严重后果。总之现在越来越要求传感器有比较高的可靠性。

(2) 信号调节器

传感器的输出信号大小不一,有的还可能不是模拟信号。而对多路复用装置输入而言,各种输入信号的形式及大小应该一致,因此需在传感器及多路复用装置之间接有信号调节器。信号调节器将不同传感器的输出全变成一定电平的模拟量,通常为 $0\sim 5\text{V}$ 直流。有时还需将不是模拟量的参数转换成模拟量,因此信号调节器有时又叫做变换放大器。根据多路复用装置输入的要求,通常对大于 5V 或小于 0V 的信号需要采取保护措施,否则将会损坏多路复用装置。

对信号调节器同样要求精度高、体积小、可靠性高。调节器有一个重要的发展趋势,俗称两个面向,一类信号调节器是面向传感器,一类信号调节器是面向传输系统。所谓面向传感器,就是因小型化要求,把信号调节器做到传感器里边去,与传感器成为一体。所谓面向系统,就是将同一类传感器的多个信号调节器做到一起,达到计算机控制的目的。计算机一般控制信号调节器的放大倍数、控制滤波器的截止频率、控制调制电平。由于传输通带的限制,一些信号调节器的输出需接有低通滤波器,以免经多路复用装置采样时,由于采样率不够高,而产生折叠误差。

(3)多路复用装置

多路复用的方法可分为时分制、频分制、码分制三种。

a. 时分制

时分制的原理,是将每路参数进行采样,变成幅度调制的脉冲序列,然后将多路参数的调幅脉冲序列按时间先后排列。多路参数完成排列之后再周而复始进行。全部参数每排列一轮叫做1帧。在排列的开始用一个特殊脉冲表示。这种方式叫做时分制。每一路信号的采样率必须满足采样定理。对采样定理的叙述,见第2章。

这种多路复用的方法,是按时间先后将多路参数错开或者叫做按时间进行分割。按时间分割进行多路复接的装置俗称“交换子”。

b. 频分制

每一个被测参数调制一个副载波,多个副载波的频率是错开的。因此可以用频率错开的方法来进行多路复用,这种体制叫做频分制。

c. 码分制

用一组正交函数作为副载波实现的多路复用叫做码分制,或称码分多路复用。在接收端利用正交函数系列的正交性,实现多路信号的分路。

在遥测系统中,较早时期,采用频分制比较多,主要用于频率较高的参数测量。后来由于时分制也可以做到较高的采样率,精度比较高,因而很快取代了频分制。码分制在遥测系统中较少应用。

1.2.2 数据传输

数据传输可以分为信号调制、传输调制、信号传输、射频接收解调、信号解调五个部分。

(1)信号调制

信号调制是在多路复用后,对多路复用信号进行调制,使其有利于传输。这一部分在遥测系统中属于基带信号部分。

信号调制在遥测系统中最常用的为脉码调制,一般使用普通脉码调制(PCM)。也就是将多路复用装置输出的时分制脉冲幅度调制信号,量化成为二进制码组,并插入特定码组做为帧的开始,形成一个脉码数据流。

PCM体制的遥测,已发展成为主导的调制方式。这是因为它有以下优点:易于达到较高的

精度;易于进行信源编码、信道编码和保密编码;易于提高集成度;易于和数字设备接口;便于计算机进行数据处理。现在脉码调制一般为8位编码,有时可达10位、12位、16位。目前最高的遥测数据流码速率可达15Mb/s。

在PCM体制之外,副载波有时也用频率调制。此外,还有脉位调制、脉宽调制,但一般很少应用。

在PCM调制之后,信道为了纠正错误,提高传输距离,有时还要加上编码。例如RS编码、卷积码以及它们的级联码等,这些都具有很好的实用价值。

(2) 传输调制

数据流在经无线电信道传输时必须进行高频调制,即传输调制。

在高频传输部分,一般有发射机及功率放大器。传输调制有时在发射机中完成,或在发射机前较低频率的调制器中完成。对于后者,调制后还需有倍频器,将频率提高到发射的频率。由于有时发射机输出的功率不够大,还需增加功率放大器。

射频调制可以分为调频(FM)、调相(PM)、调幅(AM)三种。一般导弹、运载火箭多使用FM调制体制,主要是在起飞段抗多径衰落效果较好。对于卫星等航天飞行器一般使用PM调制体制,主要是为了增大作用距离。较早的遥测系统曾使用AM调制体制,现已基本不使用。

有时在射频调制或调制之前还加上键控调制。以时分制脉码调制为例,脉码流有0、1两种状态,若使用频率键控(FSK)则根据0、1不断在两个频率上转换。若使用相位键控(PSK),则根据0、1不断转换同一载频的两种相位,一般为 0° 、 180° 。若使用幅度键控(ASK),则根据0、1不断转换载频幅度为两种幅度。有的数据流还不只0、1两种状态,则需键控多种状态。例如键控于4种相位状态,形成QPSK调制,现用较多的为PSK,其次为FSK,ASK则不太应用。

功率放大输出一般为20W以下,对于距离较近的被测目标有时只几百毫瓦。射频频率现在较多应用S频段,但以前曾应用P频段。

(3) 信道传输

a. 无线传输

发射和接收天线分别装在被测物体和地面遥测站。发射天线是与被测物体一体化设计的。对于导弹、运载火箭而言,因需在大气层内高速飞行,发射天线不能太大,对外形有较大限制,以免影响被测体的空气动力性能。对于航天飞行器,虽然在起飞段天线装在整流罩内,对气动性能考虑较少,但由于整流罩内电子设备和天线太多,为防止彼此互相影响,天线安装位置有较大限制。被测体是金属材料,对电磁波有反射作用,方向图一般是由天线与被测物体一体化考虑。通常增益不会太高,且方向图也不会全向,为了考虑对地面的覆盖区,一般装几副天线拼凑方向图。为了只用一个发射机,需使用功率分配器将功率分配到几副天线上,因此每一副天线上的辐射功率会减少。导弹及运载火箭使用的天线种类一般有刀状天线、鞭状天线、裂缝天线、闭槽天线、平面微带天线等。但航天飞行器上经常使用定向天线。

设在地面站的接收天线,一般使用跟踪天线接收空中飞行体发送的信号。若使用P频段,由于频率低,波束比较宽,复盖区比较大,可以使用手控跟踪或程序跟踪。如使用S频段,由于频率比较高,波束比较窄,复盖区比较小,必须使用自动跟踪。由于遥测信道是连续波体制,自动跟踪虽使用单脉冲原理,但与雷达不同。一般S频段采用抛物面天线。P频段采用八木振子天线。

跟踪系统必须满足一定的角速度和角加速度要求,具有捕获目标以及丢失目标之后重新

捕获目标的能力。

b. 有线传输

有线信道传输是一种辅助形式,在航天遥测中一般有两种情况需使用此种传输形式。其一是在被测物体上,使用磁记录器进行实时记录时,在数据采集器(发送端)到磁记录器(接收端)之间采用有线传输信道。其二是被测物体起飞之前,在发射阵地进行测试时,将遥测发射端的视频群信号直接引至地面进行实时监测。由于监测码速率越来越高,有线传输信道已开始使用光纤。

(4) 射频接收解调

射频接收解调是传输调制的反变换。在射频传输调制时,其频谱形式因调制不同而异。有的有载频线谱,有的只有连续波功率谱没有载频的线谱。与此相应,在接收端的跟踪体制也有两种方式:一种使用载频线谱产生跟踪误差控制信号,一种使用连续功率谱产生跟踪误差控制信号。

(5) 信号解调

脉码调制是最通用的一种信号调制方式。脉码调制遥测系统在接收端首先从有杂音干扰的码流中提取信号,在提取时为了对准码位,必须利用码同步器提取码同步。码同步器是影响接收质量很重要的一个部件,有数字式、模拟式、数字模拟混合式等几种环路。在提取码同步之后,利用它对准信号码位,进行码字的检测,恢复出数据码字。

(6) 分路装置

信号解调之后形成一个串行的码流,在使用时还需将各被测参数的码字由码流中分路出来,成为一个个独立参数的码字。从码流中分离参数,主要是利用被提取的帧同步信号。帧同步是一个特殊的码组,例如选用 16、32、64 位等。

最新的分离参数方法,是根据被提取的参数码组距离帧同步码组的位置不同,加上不同的标识符码组,以标识被分离各参数的走向,从而达到分离参数的目的。

(7) 数据处理与记录

a. 数据处理

根据使用要求对接收到的被测参数进行各种处理。例如,一个慢变化的参数并不需要全部保留瞬时测量值,而是根据需要进行选取,而对于振动参数需要进行谱分解。

数据处理的要求,每一次飞行试验可能都不相同,需由飞行器的总体设计部门提出数据处理要求,由各有关靶场执行。数据处理按集中处理与分散处理两种方式进行。分散处理就是在各地面站分别处理,集中处理就是各地面站将数据流传至靶场或处理中心,由处理中心集中处理。现代遥测数据处理技术已发展到在各地面站依靠自己的预处理设备,对全部参数进行实时处理的水平。

b. 数据显示

数据显示一般分为实时速见显示和事后终端显示。

速见显示是在地面站上实时显示所选择的若干重要参数,从而以最快的速度监视被测物体是否工作正常,以便即时采取对策。

终端显示是对全部事后处理过的参数进行显示,一般是在数据处理中心或指挥中心进行。

显示的设备可以使用示波器、热敏记录仪。老式设备为笔绘记录仪和静电绘图仪。

c. 数据记录

数据记录分为中间记录与终端记录两种。

中间记录是对被测数据流进行实时记录,以便向其他地方如处理中心传送。一般使用串行数字磁记录或并行数字磁记录方式。

终端记录是对处理后的数据进行记录,作为永久性存档。一般用打印机打下数字文字,用笔绘记录仪记录下曲线。最新的技术是使用热敏记录仪,其功能多,性能好,可打印数字文字也可绘出曲线。

1.3 当代航天遥测系统的发展

1.3.1 遥测系统的发展

(1) 计算机遥测系统

自 80 年代开始,世界上经历了信息技术的革命,这是以集成电路与计算机技术为基础而形成的。现在计算机技术已成为遥测的主要技术基础。遥测系统的各个组成部分都已经直接采用计算机,或是采用计算机技术。由此产生一个新的名词,叫做“计算机遥测系统”,其目的在于强调遥测技术的计算机化。

(2) 宇航测控的数据集中管理

自 80 年代以来,卫星、载人航天器上的数据系统越来越趋于集中管理。对于遥测、遥控、轨道测量、姿态控制的数据进行统一数据采集、统一存储、集中控制。向下行传输的一部分是遥测数据,一部分是通信数据,此外还有轨道数据、遥控数据,形成一个统一的数据传输系统,遥测系统已不再独立。同样,地面接收也是遥测、遥控、外弹道测量、通信,甚至遥感系统统一在一起形成地面站,遥测系统失去其独立性,只剩下视频部分,射频通道共用。

1.3.2 航天遥测系统标准

在国际上通用的航天遥测系统的标准主要有两个,一个是 IRIG 标准,一个是 CCSDS 标准。

IRIG 标准是比较早制定的、逐步进行修改的一个老标准,是一个以一般时分制脉码系统为主导的遥测标准,现在主要用于导弹、运载火箭。

自 80 年代以来,在空间测控方面逐步推行 CCSDS 标准,现在已经被世界采用,我国也已开始采用。这种标准,目前主要用于空间测控,含卫星及其他各种航天器,内容包括遥测、遥控、遥感等。参照国际上 CCSDS 标准的研究与推广的理由,结合我国具体情况,现在推广 CCSDS 标准,主要有以下原因。

(1) 解决空间测控技术难题

现在空间任务越来越复杂,往往在一次任务中存在数字化的、动态变化的、异步的多信息流,需在一个公共通道上传输。若按老办法解决,将各信息流的数据按信息源的时钟存储,然后再按公共通道的时钟取出传输,解决不同步的问题。为防止丢掉信息,则必须有较大的存储量,较高的取出速率。这种方法太浪费存储容量并降低传输信道效率。于是采用 CCSDS 标准的包装技术,将各信息源的信息分包分段,重新组成传输帧,从而大大增加了灵活性。

(2) 国际合作的需要

现在进行的空间任务,因耗费过大,需要进行国际合作。例如,一个国家不可能全球布站,但又获取全球轨道上的数据。为此,若采用在地球背面慢记在本国领土快发的方法,则因快

发的码速率太高而不易实现。最好的办法是租用他国地面站,进行国际合作,实行全球联网,因此需要有一个统一的标准,CCSDS 正是这样的标准。

(3) 公用信息的需要

地面信息网的建设,耗资十分庞大,世界各国都在寻求不同任务共用一个公用信息网的办法,CCSDS 标准的推出解决了这一个问题。

在此,还需要说明几个问题。

1) 目前国际上运载火箭尚未普遍采用 CCSDS 标准。

2) 采用 CCSDS 标准对用户是透明的,加密解密等工作由用户自己解决,该标准只给用户提供一种传输手段。

3) 国际上卫星遥测遥感已公用一个信道,全面实现 CCSDS 标准,在国际上已可以实现遥测遥感同处于一个信息网之中。

4) 现今,由于同样的技术需要,通信、电视、数据传输、远距离教育、远距离医疗等所使用的网,也都采用类似 CCSDS 标准的不同包装标准。

5) 国际上在 80 年代初期推出了早期的 CCSDS 标准:常规在轨系统(COS)。80 后期又推出 CCSDS 的新系统:高级在轨系统(AOS)。现在主要是执行高级在轨标准。

1.3.3 遥测地面站现状和发展趋势

遥测地面站现状和发展趋势可分以下六个方面。

(1) 并行数据流参数可编程遥测地面站

a. 增加系统灵活性扩大覆盖面

最大限度增加地面站的灵活性及扩大覆盖面是地面站发展的核心问题。

从总体上说,增加系统的灵活性有两个方面:一是采用模块化总线连接,模块可多可少。二是分系统并行。地面站视频部分分成数据采集、预处理、显示等三个方面,全部采用并行体制。并行是指多数据流并行输入,数据驱动多预处理模块并行处理,多用户显示器以太网联网。

b. 实时准实时数据处理

在很多场合,需要闭环使用遥测遥控,其功能是数据采集→计算机实时决策→遥控改变状态。这种使用方法,遥测参数必须实时处理。卫星测控系统就是闭环使用的实际例子。

在运载火箭、导弹飞行试验过程中,虽不是闭环实时工作,但一旦出故障,需要迅速找出故障原因,以便决策下一发试验如何进行。这种使用场合,需要在几天几小时内确定下一步的工作方式,这是准实时使用遥测系统。

从可能性方面看,现在计算机功能很强,计算速度很快,以及可以用许多单片机组合起来工作,加上集成电路集成度的提高,在不需付出很大体积、重量、资金代价的情况下,就可以实现实时准实时数据处理。

因此,由需要和可能两个方面结合起来看,实时、准实时数据处理是当代遥测技术发展的重要趋势。

c. 多数据流能力

多数据流遥测站是指多个数据源送来的数据流,在遥测地面站视频前端同时并行输入,经过预处理部分处理,然后通过网络分散至各用户。

数据流是从被测目标不同部位采集的参数形成的不同数据流。例如多级火箭发射卫星时,可以由测得的卫星和各级火箭的各种参数形成多数据流。每个数据流调制在不同的载波点频

上,在同一无线传输系统上传输。地面用同一副天线接收后,经多接收机、多码同步器并行传输,送入预处理设备。在进入预处理设备时,需在每个数据上加标签,注明由那个预处理器按什么公式进行预处理,预处理后送到什么地方去。

d. 计算机化

计算机技术已成为遥测地面站的基础技术。在地面站内部,已经网络化,各个模块挂在总线上,模块数目可多可少,非常灵活。地面站各种参数,如帧长、字长、码速率等的改变均由计算机控制,形成可变参数的可编程遥测地面站。计算机是控制中心,兼有显示和部分处理功能。

e. 数据流预处理

在这种结构中,数据处理主要不是靠中心计算机,而由分别挂在总线上的各预处理模块完成。它与通用计算机中采用多 CPU 的效果不同。两者虽都是并行处理,但后者处理能力不与 CPU 数目成线性增加,仅在 CPU 较少时才有正比关系。这种多 CPU 结构共用一个存储器,存在多 CPU 争用存储器资源问题,增加开销,形成 Van Neumann 瓶颈。在数据流结构中,每个预处理器都有自己的存储器,从而避免了争用存储器的瓶颈效应。一般一个数据为 32 位,其中 16 位为数据,另 16 位为标识符,表明处理器的地址及算法。数据处理依靠每个数据的标识符驱动处理,因此又叫做数据驱动。通常的时分制体制中,驱动处理是按帧结构中参数的顺序来驱动的,叫做事件驱动,它不如数据驱动灵活。数据驱动非常适合于实时处理,它是逐字处理,不像事件处理那样往往需要等待。

计算机遥测系统所用的总线形式有单总线、双总线及多总线三种。由于多总线太复杂已不再使用,现在较多的情况是使用双总线。即,一条是数据总线,一条是控制总线,在数据总线上传输的是数据及标识符。控制总线主要是在设置初始状态及参数时使用。

f. 并行遥测软件

该软件可以分为以下四类:

1) 数据处理软件 指预处理器中数据处理所需的软件。例如:工程单位转换的多项式算法,查表转换等。比较多的是各种数据压缩算法。如:过线压缩、不过线压缩、 N 次采样挑点、码变化、 δ 算法、 δ 斜率算法、 N 项均值算法、耦合码、非耦合码、快速傅立叶变换、功率谱密度算法等。其他,如诱导参数算法等。

2) 内部服务性软件 为了实时控制或处理数据,在运算中途需要使用内部服务性软件。如码型变换、校验、拒收、再设标识符、设置符号、有限脉冲响应、滤波、超限告警等。

3) 实时控制软件 用于实时控制地面站各个组成部分,如控制走向及分配、取出嵌入的非同步参数、管理存储器的存取、管理外围输出设备等,其相应软件叫做实时控制软件。

4) 设置状态软件 实现任务前设置参数,如帧长、字长、视频带宽、中频带宽等,具有可编程功能,其相应软件叫做设置状态软件。

80 年代中期国外已有并行处理数据流结构参数可编程的遥测地面站产品。其处理能力为一块板已可达 500 千字/秒,还可以多块并联,基本上可以做到实时处理。只有少量的极复杂的诱导参数计算,还需要计算机来处理。

并行数据流的数目,一般取决于任务需求。大型任务,10 个数据流已够用,每个数据流的数据率约需 100Mb/s,现在实际可以做到 20Mb/s 以上。

从参数可编程的水平来看,已实现逐字变换码的位数。码同步器可以从 1 周开始到最大码速率连续可变。