

电子与通信工程



系列教材

卫星数字通信网络技术

上册

陈功富 王永建 编著

哈尔滨工业大学出版社

卫星数字通信网络技术

(上 册)

陈功富 王永建 编著

哈尔滨工业大学出版社

·哈尔滨·

内 容 简 介

《卫星数字通信网络技术》一书分上册(基础篇)和下册(应用篇)出版。本书以数字化、智能化、宽带化、网络化和个体化及综合多媒体信号等特点来组织内容,全面而新颖。上册为基础篇(1~9章),主要介绍通信卫星的各种主要组成部件功能、频道特点、各类编码方案 FEC、ARQ、TCM、TOPCM、DPCM、ADPCM、DM、PC 等,各类复接技术;多址技术(TMDA、CDMA、FDMA、SDMA/SS/TDMA 等);SCPC 和 MCPC 分配方式,各类调制技术(BPSK、QPSK、MPSK、MSK 等);移动地面网与数字卫星网的互联(LAN/MAN 互联,与 B-ISDN 互联,与 PDN 互联,与 PSTN 互联,与 PLMAN 互联)及接口等;VSAT 技术;线路计算方法与设计等;下册为应用篇(10~15章),重点介绍新技术应用,ISR 系统和 IBS 系统等卫星新业务;卫星直播业务 DBS 和 DVB 系统;移动卫星通信系统和个人移动卫星通信系统;Internet 网、CATV 网与卫星通信网的互联;TCP/IP 在卫星网中的新技术;天地一体化综合业务服务的三维立体卫星网各类方案等。并给出国际国内著名系统的结构特点与指标参数,新开发的新技术等。并对未来发展前景给以综述。

本书既有基础理论,又有新技术应用,适合电子与通信工程类、雷达、遥测遥控等专业的广大师生及科技人员学习与使用,也可作相关专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

卫星数字通信网络技术.上/陈功富,王永建编著.
哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2001.9
高等院校电子与通信系列教材
ISBN 7-5603-1625-5

I.卫... II.①陈...②王... III.卫星通信系统:
数字通信系统-高等学校-教材 IV.TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 062063 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451—6414749
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 35 字数 830 千字
版 次 2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-1625-5/TN·60
印 数 1~3 000
定 价 (上下册)50.00 元

前 言

21 世纪是计算机网络通信的时代,也是高速信息公路数字化的时代。人们对多媒体信息数字化的需求越来越广泛,如今 Internet 国际互联网的迅猛发展,有线电视 CATV 的普及,各式各样的卫星通信新技术——卫星数字广播电视(DBS 和 DVS)、VSAT、卫星天地一体化综合业务通信网等均为这种需求提供了一定的技术保障。现代的卫星通信网络技术不仅为生活在大都市的人们带来新的信息享受,同时也为生活在边远山区、海岛及广大农村的人们送去了现代科技成果,他们也可以同城市中的居民一样通过卫星广播和综合联网卫星通信收看几十乃至上百个频道的多媒体信息和节目,这一景象在过去是想都想不出来的,而如今都将变为现实。

近年来,世界各国发射了几百颗各种轨道的通信卫星,如 GEO、HEO、MEO 和 LEO 卫星的在轨运行,新频道窗口的开设,加上各种现代卫星通信技术的逐步开发应用及多种通信方式的实现,TDMA、CDMA、IDR、IBS、VSAT 及移动卫星通信和个人卫星通信等业务的开通,为全世界各行各业共享全球多媒体信息开拓了广阔的天地。在给社会、经济、科技、军事和个人带来具大影响的同时,也大大压缩了人们的生活与工作的时空,信息的实时性已为人们带来了显著的社会效益和经济效益。有了现代卫星通信网络,对人们获取信息手段来说如虎添翼。展望不远的将来,卫星网与地面 Internet 网,CATV 网、移动通信网联合对接,实现宽带综合业务服务——W- ISDN。那时,信息源的多样性(上百个电视频道)、实时性(可见到各种实况转播)、多媒体性(即图、文、像综合效果)和随意可选性(电视节目点播 VOD)等特点会展现无遗,人们可以尽情享受信息化社会提供的各种卫星通信方式所带来的愉悦。

本书为读者提供上述现代卫星通信网中所涉及到的各种新理论、新技术(包括 Internet 联入卫星网的新理论、CATV 与卫星数字广播联网技术理论、VAST 新技术理论、卫星移动通信和个人通信技术);同时也给广大专业读者提供了许多新理论和新技术的应用实例。还给出世界先进国家的新技术和新系统的开发、应用运行情况。因此,本书的特点既有基础理论知识,又有新技术应用实例,这对掌握专业理论知识,了解世界新技术发展动向不无益处。

本书按照高等院校教学大纲要求编撰基础篇;同时又以更高的技术视角介绍了世界各国新技术工程应用实例和发展趋势而编撰应用篇。相信对读者定会视野大开,使基础理论更为系统和扎实。

作者 于哈工大

2001 年 9 月

目 录

第一篇 基础篇

第1章 卫星数字通信概论

§ 1.1 卫星通信基本概念	(1)
1.1.1 卫星通信的定义及特点	(1)
1.1.2 卫星通信系统的组成	(3)
§ 1.2 卫星通信地球站	(4)
1.2.1 卫星通信地球站的组成	(4)
1.2.2 地球站与卫星通信的基本工作原理	(5)
1.2.3 地球站分类与设置	(5)
§ 1.3 通信卫星及其转发器	(6)
1.3.1 通信卫星	(6)
1.3.2 卫星转发器及类型	(9)
§ 1.4 卫星通信的工作频段与选择	(11)
§ 1.5 卫星数字通信的技术特点	(13)
1.5.1 卫星数字通信的技术优势	(13)
1.5.2 卫星数字通信主要技术简介	(14)

第2章 卫星数字通信编码与传输技术

§ 2.1 信源编码技术	(18)
2.1.1 语音信号压缩编码概述	(19)
2.1.2 量化与 PCM 编码	(20)
2.1.3 差分脉码调制(DPCM)	(22)
2.1.4 自适应差分脉码调制(ADPCM)	(23)
2.1.5 增量调制(ΔM 或 DM)	(23)
2.1.6 线性预测编码(LPC)	(25)
2.1.7 矢量量化技术	(29)
2.1.8 混合编码技术	(29)
§ 2.2 差错控制与信道编码	(31)
2.2.1 概述	(32)
2.2.2 前向纠错编码(FEC)	(32)
2.2.3 自动反馈重发(ARQ)	(33)
2.2.4 线性分组码	(33)
2.2.5 卷积码	(42)

2.2.6 前向纠错编码的性能比较	(55)
2.2.7 网格编码调制(TCM)	(56)
2.2.8 扰码与解码	(59)
2.2.9 信道编码	(60)
§ 2.3 数字复接技术	(60)
2.3.1 概述	(60)
2.3.2 同步复接	(61)
2.3.3 准同步复接	(63)
2.3.4 CCITT 基群复接系统	(64)
2.3.5 CCITT(ITU)高次群复接技术	(66)

第3章 数字信号调制技术

§ 3.1 对数字调制技术的要求	(67)
§ 3.2 常用的恒包络数字调制方法	(67)
3.2.1 经常恒包络调制	(67)
3.2.2 多进制相移键控(MPSK)	(68)
3.2.3 最小频移键控(MSK)	(69)
3.2.4 几种调制系统性能的比较	(70)
3.2.5 $\pi/4$ PSK	(71)
3.2.6 连续相位调制(CPM)	(73)
3.2.7 多H相位编码调制	(76)
§ 3.3 非恒包络调制	(76)
§ 3.4 编码调制技术	(77)
3.4.1 纠错编码与调制结合技术	(77)
3.4.2 格状编码调制技术	(78)
§ 3.5 编码在卫星数字通信中的应用	(80)
3.5.1 选择差错控制码的方法	(80)
3.5.2 用于卫星数字通信中的编码举例	(80)

第4章 卫星数字移动通信中的多址技术

§ 4.1 多址方式与信道分配技术	(83)
4.1.1 多址方式	(83)
4.1.2 信道分配技术	(84)
§ 4.2 频分多址(FDMA)	(85)
4.2.1 FDMA 的基本概念与系统组成	(85)
4.2.2 非线性放大器的影响	(87)
4.2.3 减少交调产物的方法	(91)
4.2.4 能量扩散与籍位	(92)
§ 4.3 时分多址(TDMA)	(92)
4.3.1 基本概念	(92)
4.3.2 TDMA 地球站设备	(93)

4.3.3	TDMA 系统的定时与同步	(96)
4.3.4	帧的结构与效率	(100)
§ 4.4	SDMA/SS/TDMA 多址方式	(102)
4.4.1	工作原理	(102)
4.4.2	分帧编排	(104)
4.4.3	SS/TDMA 的帧同步	(106)
§ 4.5	SCPC 方式	(107)
4.5.1	预分配的 SCPC 方式	(108)
4.5.2	SPADE 方式	(110)
§ 4.6	码分多址(CDMA)	(113)
4.6.1	CDMA 及相关技术	(113)
4.6.2	基本原理	(114)
4.6.3	伪随机序列	(115)
4.6.4	CDMA 的信号同步	(116)
4.6.5	系统性能	(117)
§ 4.7	数据卫星分组通信	(119)
4.7.1	基本概念	(119)
4.7.2	卫星分组通信网的联接方式	(120)
第 5 章 卫星数字移动通信系统与地面网的互联		
§ 5.1	概述	(125)
5.1.1	互联的必要性	(125)
5.1.2	互联的主要障碍和困难	(125)
5.1.3	互联的前提条件	(125)
5.1.4	互联的方法	(126)
5.1.5	各互联法的使用范围	(126)
§ 5.2	卫星数字移动通信系统与 N- ISDN 的互联	(126)
5.2.1	N- ISDN 的技术特点	(126)
5.2.2	二者互联的方法	(126)
§ 5.3	卫星数字移动通信系统与专用通信网的互联	(128)
5.3.1	网络的配置	(129)
5.3.2	信令的互通	(129)
5.3.3	数据的互通	(130)
§ 5.4	卫星数字移动通信系统与 B- ISDN 的互联	(130)
5.4.1	互联的主要技术障碍	(130)
5.4.2	互联的主要技术途径	(131)
§ 5.5	卫星数字移动通信系统与 LAN/MAN 的互联	(131)
5.5.1	互联的必要性	(131)
5.5.2	互联的主要方法	(132)
§ 5.6	卫星数字移动通信系统与 PDN 的互联	(134)

5.6.1 互联的主要障碍	(134)
5.6.2 互联的主要技术途径	(135)
§ 5.7 卫星数字移动通信系统与 PSTN 的互联	(135)
5.7.1 互联接口的基本功能	(135)
5.7.2 互联的主要技术	(136)
5.7.3 互联的各种方法	(137)
§ 5.8 卫星数字移动通信系统与 PLMN 的互联	(138)
第 6 章 卫星数字通信系统线路的计算与设计	
§ 6.1 概述	(140)
6.1.1 卫星数字通信线路的质量指标	(140)
6.1.2 模拟制电话线路标准	(141)
6.1.3 数字制线路标准	(142)
6.1.4 可用度指标	(142)
§ 6.2 卫星数字通信线路载波功率的计算	(143)
6.2.1 天线增益 G 的计算	(143)
6.2.2 有效全向辐射功率[EIRP]的计算	(143)
6.2.3 载波接收功率 C 的计算	(143)
§ 6.3 卫星数字通信线路噪声功率的计算	(144)
6.3.1 噪声功率和等效噪声温度	(144)
6.3.2 卫星数字通信线路的噪声及指标分配	(146)
§ 6.4 卫星数字通信线路的载波与噪声功率比	(147)
6.4.1 上行线路的载噪比与卫星接收机性能指标	(147)
6.4.2 下行线路的载噪比与地球站性能指标	(148)
6.4.3 卫星转发器载波功率与互调噪声功率比	(149)
6.4.4 卫星数字通信线路的总载噪比	(149)
6.4.5 载噪比计算举例	(150)
6.4.6 门限余量和降雨余量	(152)
§ 6.5 卫星数字通信线路的设计	(153)
6.5.1 SCPC 系统线路的计算	(153)
6.5.2 PCM/PCK/SCPC 线路的计算	(154)
6.5.3 DM/PSK/SCPC 线路的计算	(157)
6.5.4 PSK 卫星数字通信线路的设计	(157)
6.5.5 TDMA 系统容量的估算	(161)
§ 6.6 卫星数字通信系统设计的一般程序	(165)
第 7 章 卫星数字通信组网技术	
§ 7.1 通信卫星发射与测控	(167)
7.1.1 概述	(167)
7.1.2 运载火箭发射通信卫星的过程	(167)
7.1.3 航天飞机发射通信卫星的过程	(169)

7.1.4 发射窗口	(170)
§ 7.2 网络的建立和人网验证	(170)
7.2.1 新地球站入网运行程序	(171)
7.2.2 地球站的必备性能特性	(171)
7.2.3 验证测试项目与测试方法	(173)
§ 7.3 网络监控与管理	(177)
7.3.1 跟踪遥测指令分系统	(177)
7.3.2 监控分系统	(178)
7.3.3 卫星通信系统的管理	(180)
§ 7.4 地面接口技术	(182)
7.4.1 同步数据公共接口	(182)
7.4.2 64kbps 接口标准	(183)
7.4.3 2048kbps 基群数字系列接口	(183)
7.4.4 卫星链路与地面网的接口	(185)

第8章 数字通信网的性能及其标准

§ 8.1 概述	(188)
§ 8.2 误码	(189)
8.2.1 误码的性质	(189)
8.2.2 误码源	(189)
8.2.3 误码性能指标	(190)
8.2.4 误码率的测试	(193)
8.2.5 通信网可用性	(193)
§ 8.3 定时抖动	(194)
8.3.1 引言	(194)
8.3.2 抖动源	(195)
8.3.3 抖动的积累	(196)
8.3.4 CCITT 有关建议	(199)
8.3.5 抖动的测试	(199)
§ 8.4 时钟滑动	(199)
§ 8.5 传输延迟	(203)

第9章 通信卫星新业务——IDR 和 IBS 系统

§ 9.1 IDR 系统概述	(205)
§ 9.2 IDR 方式的优缺点	(206)
§ 9.3 IDR 的主要技术特征	(207)
9.3.1 技术特性	(207)
9.3.2 工作方式	(211)
9.3.3 波束覆盖范围	(216)
§ 9.4 IDR 系统转发器的容量	(216)
§ 9.5 IDR 载波的实现	(217)

9.5.1 复用标准及转换	(217)
9.5.2 各项指标参数及控制	(218)
9.5.3 调制解调器	(221)
9.5.4 FEC 编码的选择	(222)
9.5.5 定时和缓冲	(222)
9.5.6 扩展问题	(222)
§ 9.6 具有低速率编码的 512Kbps IDR 系统	(223)
9.6.1 概述	(223)
9.6.2 技术考虑	(224)
9.6.3 技术措施与特点	(227)
§ 9.7 数字电路倍增设备	(227)
9.7.1 概述	(227)
9.7.2 各类工作方式	(229)
9.7.3 DCME 终端简介	(230)
9.7.4 电路倍增增益	(232)
9.7.5 网络总体考虑	(234)
§ 9.8 IBS 系统简介	(235)
§ 9.9 IBS 网络的组成	(235)
9.9.1 网络互联性	(236)
9.9.2 地球站和组网选择	(237)
9.9.3 网络电路类型	(240)
§ 9.10 IBS 的业务类型与应用	(241)
9.10.1 IBS 的业务类型	(241)
9.10.2 业务质量(QoS)	(241)
9.10.3 应用类型	(242)
9.10.4 IBS 载波特性和链路预算	(244)
§ 9.11 数据网的网络拓扑结构	(245)
§ 9.12 数据网的分层结构	(246)
9.12.1 分层体系结构及协议	(246)
9.12.2 OSI 的参考模型	(247)
9.12.3 OSI 的环境	(250)
9.12.4 IBS 的作用	(252)
9.12.5 第二层功能的实现	(252)

第一篇 基 础 篇

第 1 章 卫星数字通信概论

§ 1.1 卫星通信基本概念

1.1.1 卫星通信的定义及特点

卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发或反射无线电波,在两个或多个地球站之间进行的通信。由于作为中继站的卫星处于外层空间,这就使卫星通信方式不同于其他地面无线电通信方式,而是属于宇宙无线电通信的范畴。通信卫星按其结构可分为无源卫星和有源卫星两类;按其运转轨道可分为运动卫星(非同步卫星)和静止卫星(同步卫星)。目前,在通信中应用最广泛的是有源静止卫星。所谓静止卫星就是发射到赤道上空 35 800 km 附近圆形轨道上的卫星,它运行的方向与地球自转的方向相同,绕地球一周的时间(即公转周期)恰好是 24h(小时),和地球的自转周期相等。所以,从地球上看去,如同静止一般。由静止卫星作中继站组成的通信系统称为静止卫星通信系统或称同步卫星通信系统。与此相反,卫星公转周期与地球自转周期不等的叫运动卫星。图 1.1 为一个简单的卫星通信系统。

由图 1.1 可知,地球站 A 通过定向天线向通信卫星发射的无线电信号,首先被卫星的转发器接收,经过卫星转发放大和变换后,再由卫星天线转发到地球站 B,当地球站 B 接收到信号后,就完成了从 A 站到 B 站的信息传递过程。从地球站发射信号到通信卫星所经过的通信路径称为上行线路(同样,地球站 B 也可以向地球站 A 发射信号来传递信息,即双向通信);而卫星向地球站发射信号所经路径称下行线路,两者使用频率不等。

图 1.2 是静止通信卫星与地球相对位置的示意图。从卫星向地球引两条切线,切线夹角为 17.34° 。两切点间弧线距离为 18 100km,可见在这个卫星电波波束覆盖区内的地球站都能通过该卫星实现通信。若以 120° 的等间隔在静止通信卫星轨道上配置三颗卫星,则地球表面除了两极区未被卫星波束覆盖外,其他区域都在覆盖范围之内(而且其中部分区域为两个静止卫星波束的重叠地区)。因此,借助于在重叠区内地球站的中继(称之为跳跃),就可实现在不同卫星覆盖区内地球站之间的通信。由此可见,只要三颗等间隔配置静止通信卫星就可实现全球通信,这一特点是任何其他通信方式所不具备的。目前,国际卫星通信和绝大多数国家的国内卫星通信大都采用静止卫星通信系统。例如,国际卫星通信组织负责建立的世界卫星通信系统(INTELSAT,简称 IS),就是利用静止通信卫星来实现全球通信的。静止通信卫星所处的位置分别在太平洋、印度洋和大西洋上空。它们构成的全球通信网承

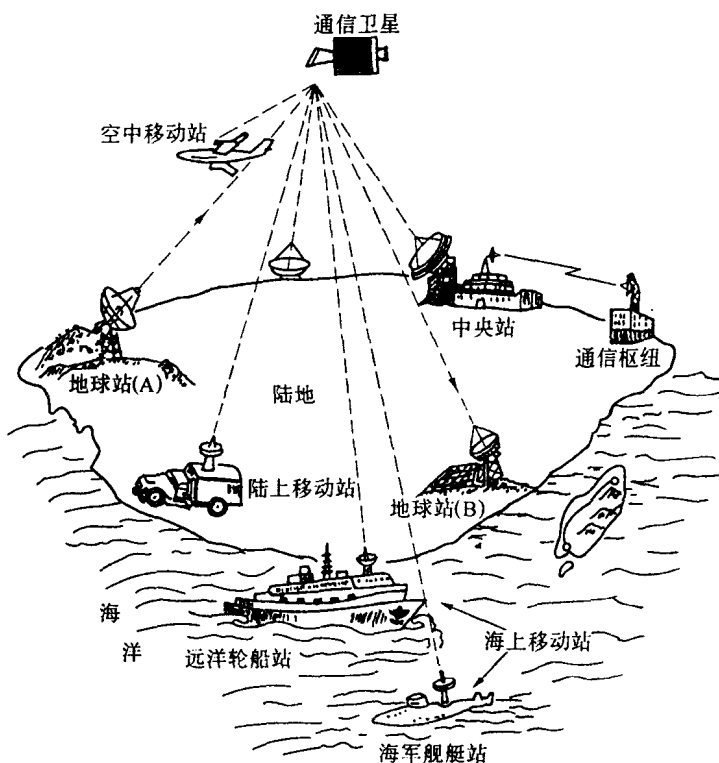


图 1.1 运动卫星通信系统示意图

担着 80% 的国际通信业务和全部国际电视转播。以后还可以发展用来传递多媒体信号和全球联网。我国的“东方红”通信卫星就是静止通信卫星。

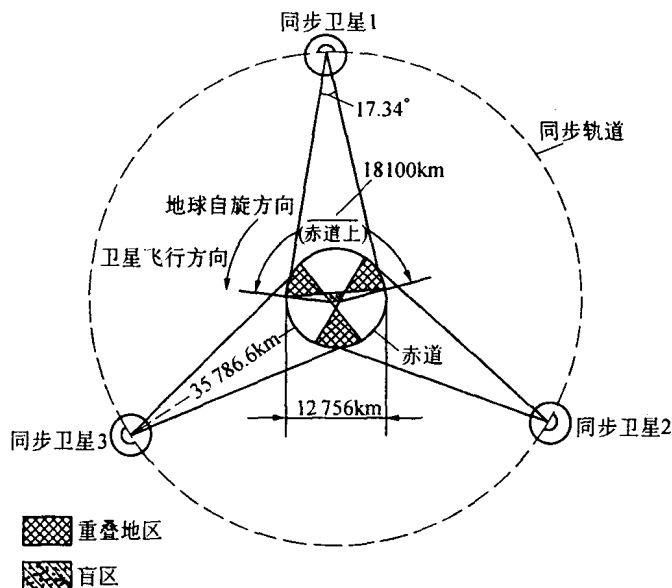


图 1.2 静止通信卫星几何关系示意图

与其他通信手段相比,卫星通信所具有的独特优点有如下五点:

(1)通信距离远,且费用和通信距离无关;
 (2)工作频带宽,通信容量大,适用于多种业务传输;
 (3)通信线路稳定可靠,通信质量高;
 (4)以广播方式工作,具有大面积覆盖能力,可以实现多址通信和信道的按需分配,因而通信灵活机动;

(5)可以自发自收进行监测。

静止卫星通信也存在某些不足,其缺点主要表现在如下几点:

(1)两极地区为通信盲区,高纬度地区通信效果不佳;
 (2)卫星发射与控制技术比较复杂;
 (3)存在日凌中断现象(受太阳风暴和黑子活动影响敏感甚至通信中断);
 (4)有较大的信号延迟和回波干扰;
 (5)有的频段有雨衰现象(受雪、雨、雾、雹影响);
 (6)卫星通信需要有可靠性高、寿命长的通信卫星;
 (7)卫星通信要求地球站具有大功率发射机、高灵敏度接收机和高增益天线,因此,造价较高。

总之,卫星通信有优点,也有缺点。但缺点与优点相比是次要的,而且有的缺点随着卫星通信技术的发展,已经得到克服或逐步得以克服。

还需指出,在整个卫星通信系统中,需要设立跟踪遥测及指令系统对卫星进行跟踪测量,控制其准确进入静止轨道上的指定位置,并对在轨卫星的轨道、位置及姿态进行监视和校正。同时,为了保证通信卫星的正常运行和工作,还要有监控管理系统对在轨卫星的通信性能及参数进行业务开通前的监测和业务开通后的例行监测和控制。因此,一个完整的卫星通信系统是由空间分系统、地球站、跟踪遥测指令分系统和监控管理分系统这四大部分构成。

1.1.2 卫星通信系统的组成

如前所述,一个卫星通信系统是由空间分系统、通信地球站群分系统、跟踪遥测和指令分系统及监控管理分系统四大部分组成,如图 1.3 所示。其中有的是直接用来进行通信,有的是用来保障通信的。

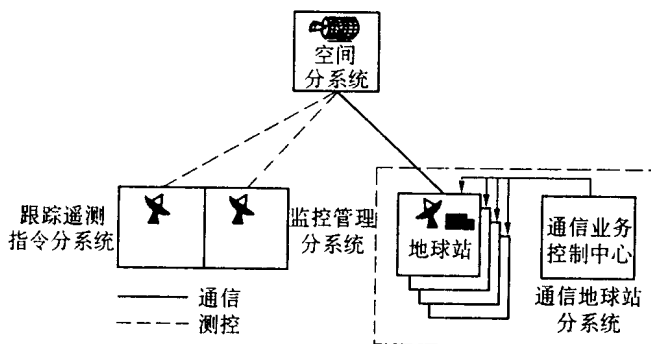


图 1.3 卫星通信系统的基本框图

1. 空间分系统

空间分系统即通信卫星,星内的主体是通信装置。另外,还有星体的遥测指令、控制系

统和能源装置等;星体外往往还有太阳能电池板及星上转发器和天线等。

通信卫星主要是起无线电中继站的作用。它是靠星上通信装置中的转发器和天线来完成的。一个通信卫星可有一个或多个转发器。每个转发器能接收和转发多个地球站的信号。显然,当每个转发器所提供的功率和带宽一定时,转发器越多,卫星的通信容量就越大。当然,通信指标参数与通信卫星种类、轨道高度有关。

2. 地球站群

地球站群一般包括中央站(或中心站)和若干个普通地球站。中央站除具有普通地球站的通信功能外,还负责通信系统中的业务调度与管理,对普通地球站进行监测控制以及业务转接等。

地球站具有收、发信号功能,用户通过它们接入卫星线路,进行通信。地球站有大有小,业务形式也多种多样。一般来说,地球站的天线口径越大,发射和接收能力就越强,功能也就越多。地球站上行频率大于下行频率(考虑星载天线尺寸),且有不同频段之分。

3. 跟踪遥测及指令分系统

跟踪遥测及指令分系统也称为测控站,它的任务是对卫星跟踪测量,控制其准确进入静止轨道上的指定位置;待卫星正常运行后,定期对卫星进行轨道修正和位置保持。

4. 监控管理分系统

监控管理分系统也称为监控中心。它的任务是对定点的卫星在业务开通前、后进行通信性能的监测和控制(例如对卫星转发器功率、卫星天线增益以及各地球站的发射功率、射频频率和带宽、地球站天线方向图等基本通信参数进行监控),以保证正常通信。

§ 1.2 卫星通信地球站

1.2.1 卫星通信地球站的组成

地球站是卫星通信系统的主要组成部分,是地面分系统,所有的用户终端将通过它们接入卫星通信线路。根据地球站的大小和用途的不同,它的组成也有所不同。典型的地球站一般包括天馈设备、收、发系统、终端设备、天线跟踪设备以及电源设备(如图 1.4 所示)。

考虑到地球站设备的技术特点,有时把收、发系统分为三部分:①大功率发射机部分;②低噪声接收机部分;③信道终端设备(主要包括中频放大器、调制器和解调器以及基带处理设备)。

(1)天馈设备:其主要作用是将发射机的射频信号经天线向卫星方向辐射,同时把接收卫星转发的信号送往接收机。通常由于收、发系统共用一副天线,为了使收、发信号隔离开必需接入一只双工器。

(2)发射机:其主要作用是将已调制的中频信号,经上变频器变换为射频信号,并放大到一定电平,经馈线送至天线向卫星发射。

(3)接收机:主要任务是接收来自卫星的有用信号,经下变频器变换为中频信号,送至解调器。由于接收的信号极其微弱,为了减少噪声和其他干扰的影响,接收机输入端必须使用低噪声放大器(说明一点,为了减小由于馈线损耗带来的噪声的影响,一般都将低噪声放大器配置在天线上)。

(4)信道终端设备:它的主要作用是将用户终端送来的信息加以处理,成为基带信号,对

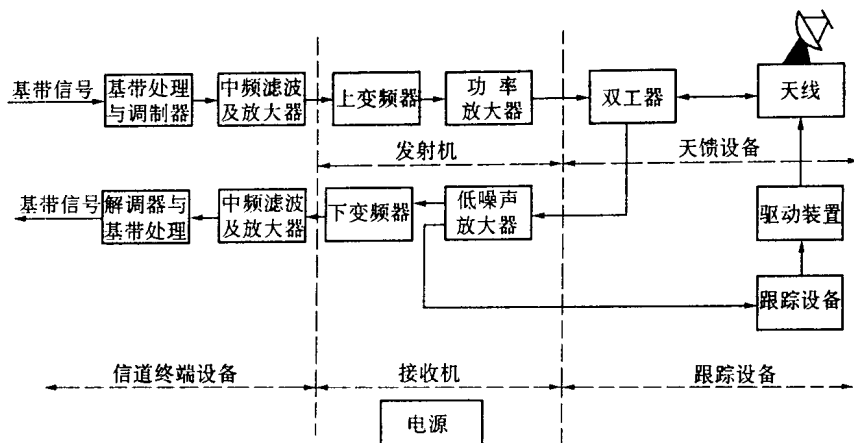


图 1.4 地球站工作原理简化示意图

中频进行调制；同时对接收的中频已调信号进行解调以及进行与发端相反的处理，输出基带信号，然后送往用户终端。

(5)跟踪设备：主要是用来校正地球站天线的方位和仰角，以保证天线随时都对准卫星。跟踪设备通常有手动跟踪和自动跟踪两种方式，根据使用场合和要求确定。

(6)电源设备：是所有设备工作的能源。电源有交流和直流之分（直流电源大部分由交流电源产生）。

1.2.2 地球站与卫星通信的基本工作原理

为了了解卫星通信的基本工作原理，现以多路电话信号的传输为例加以说明，如图 1.5 所示。市内通信线路送来的电话信号，在地球站 A 的终端设备内进行多路复用（FDM 或 TDM），成为多路电话的基带信号，在调制器（数字的或模拟的）中对中频载波进行调制，然后经上变频器变换为微波频率 f_1 的射频信号，再经功率放大器、双工器和天线发向卫星。这一信号经过大气层和宇宙空间，信号强度将受到很大的衰减，并引入一定的噪声，最后到达卫星。在卫星转发器中，首先将载波频率 f_1 的上行信号经低噪声接收机进行放大，并变换为载波频率较低的下行频率 f_2 的信号，再经功率放大，由天线发向收端地球站。

由卫星转发器发向地球站的载波频率 f_2 信号，同样要经过太空和大气层，也要受到很大的衰减，最后到达接收端地球站 B。由于卫星发射功率较小，天线增益又较低，所以收端地球站必须用增益很高的天线和噪声非常低的接收机才能进行正常接收。收端地球站 B 收到的信号经双工器和接收机首先将载波频率 f_2 的信号变换为中频信号并进行放大，然后经解调器解调，恢复为基带信号。最后利用多路复用逆设备进行分路，并经市内通信线路送到用户终端，完成单向通信过程。

由 B 站向 A 站传送多路电话信号时，与以上过程差不多，所不同的是 B 站的上行频率要用另一频率 f_3 ，而 $f_3 \neq f_1$ ，下行频率用 f_4 （ $f_4 \neq f_2$ ），以免上、下行信号相互干扰。

1.2.3 地球站分类与设置

地球站分大、中、小三类。较大型的地球站，一般设在城市郊区，各用户终端先经市内通信线路，再经微波中继线路或同轴电缆与地球站相连接；中型地球站则可不需要微波中继线

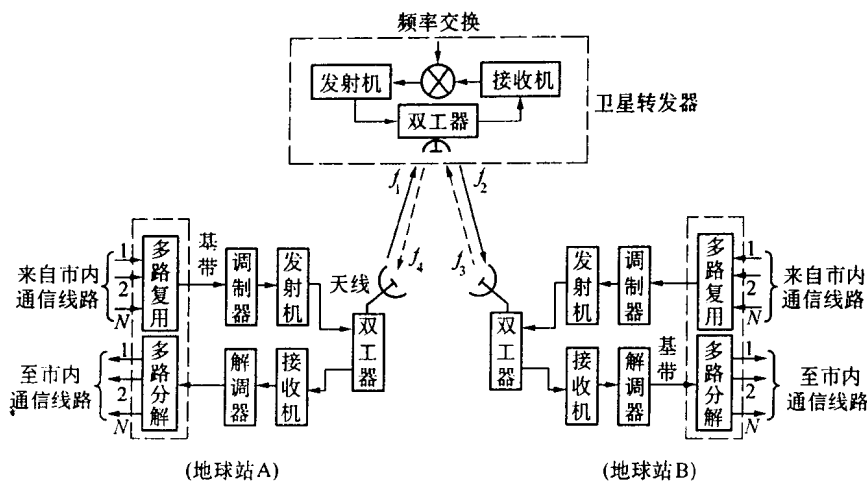


图 1.5 卫星通信的基本工作原理框图

路而直接与市内通信线路连接;小用户站(例如 VSAT)则可直接设在用户终端处或楼顶。至于地球站规模的大小,则取决于通信系统的用途和要求。

§ 1.3 通信卫星及其转发器

通信卫星是卫星通信系统中最重要的一部分。因此,本节先简介它的一些基本知识(特别是运行轨道),再重点介绍其中转发器的组成。

1.3.1 通信卫星

一、卫星的运行轨道

卫星的运行轨迹叫做运行轨道,它所在的平面叫做轨道平面。如果卫星的轨道平面在赤道平面内,则此卫星运动行轨叫做赤道轨道;如果轨道平面与赤道平面有一定的夹角,则叫倾斜轨道;如果轨道平面通过地球的两极或附近,则叫做极地轨道。卫星轨道平面与赤道平面的夹角,叫做轨道倾角。

卫星的运行轨道可以是圆形,也可以是椭圆形。但是,无论轨道形状如何,卫星的运动总是服从万有引力定律的。如果把它看成是受中心力作用的质点运动,根据万有引力定律,卫星所受到的中心质点地球的引力为

$$F = G \frac{Mm}{R^2} = \mu \frac{m}{R^2} \quad (1.1)$$

式中, G 为万有引力常数 [$6.67 \times 10^{-20} \text{km}^3/(\text{kg}/\text{s}^2)$]; M 为中心质点(地球)的质量 ($5.977 \times 10^{24} \text{kg}$); m 为运动质点(卫星)的质量; R 为地球与卫星间的距离; $\mu = GM$ 为开卜勒常数 ($3.986 \times 10^5 \text{km}^3/\text{s}^2$)。

当卫星围绕地球作匀速圆周运动时,令它在轨道上的切线速度为 v ,则它所受到的对地球的向心力为

$$\frac{m v^2}{R} = G \frac{Mm}{R^2} = \mu \frac{m}{R^2} \quad (1.2)$$

如果卫星围绕地球在赤道平面内作匀速圆周运动,且其运行方向与地球自转方向相同,其运行周期又恰好为 23 小时 56 分 4.09 秒,则在地球上某点观察卫星,它是静止不动的,呈相对静止状态。通常把这种轨道称为静止轨道(GEO)。

作为通信用的卫星,不一定都使用静止卫星。根据使用目的和发射条件的不同,可以有不同的高度和不同形状的运行轨道。按照轨道高度的不同,又可以把卫星通信分为低轨、中轨、高轨三类:

(1)低轨道卫星(LEO):卫星高度 $h < 5\,000\text{km}$,周期约为 2~4 小时;

(2)中高度卫星(MEO): $5\,000 < h < 20\,000\text{km}$,周期约为 4~12 小时;

(3)高轨道卫星(HEO): $h > 20\,000\text{km}$,周期 > 12 小时。

二、卫星的摄动

上述是把卫星和地球都当作质点运动,而不考虑地球以外其他星体引力的情况下进行讨论的。然而,地球并不是一个理想的球体。对静止卫星来说,由于地球结构的不均匀和太阳、月亮引力的影响等,将使卫星的轨道参数随时变化,不断偏离由开卜勒法则所确定的理想轨道,产生一定的漂移,这种现象称为摄动。

引起卫星摄动的原因有以下四个方面:

1. 太阳和月亮的影响

对于低轨道卫星,地球的引力起主要作用,太阳和月亮引力的影响可以忽略;对于高轨道卫星,地球的引力虽仍是主要的,但太阳和月亮的引力已有一定影响(对于静止卫星,太阳和月亮对卫星的引力分别是地球引力的 $1/37$ 和 $1/6\,800$),这不仅将使卫星轨道位置矢径每天都发生微小的摆动,而且还将使轨道倾角发生积累性的变化,从而会使静止卫星的位置产生南北方向上的漂移。

2. 地球引力场不均匀的影响

由于地球并非理想球体,而是一个略呈扁平的椭球体,且表面起伏不平。这样便改变了地球周围引力场的理想分布。即使卫星在静止轨道上,地心引力仍有微小的变化。正是由于地心引力的这种不均匀性,便使卫星的瞬时速度偏离理论值,从而使卫星在轨道平面内产生摄动。对于静止卫星,瞬时速度的变化将使它的位置在东西方向上产生漂移。

3. 地球大气阻力的影响

高轨道卫星处于大气层以外的宇宙空间(太空)大气阻力的影响可以忽略。但对于低轨道卫星,大气阻力则已有一定影响,它会使卫星的高度日趋降低。

4. 太阳辐射压力的影响

对于一般的卫星来说,太阳辐射压力的影响都可忽略不计。但是对于表面积较大,且要求定点精度较高的静止卫星,则必须加以考虑。

为了克服摄动的影响,在静止卫星上都装有位置保持喷射推进装置,以便通过调整,保持卫星位置的稳定。目前,静止卫星的定点精度约为 $\pm 0.1^\circ$,换算成位置精度约为 $\pm 40\text{km}$ 。

三、通信卫星的组成

通信卫星实际上是一个高空中继器,它的基本作用是为各地球站转发无线电信号,以实现它们之间的多址通信。为了保证可靠地完成通信功能,在卫星上还装置了一些辅助设备。通常,通信卫星主要由天线分系统、通信分系统(转发器)、遥测指令分系统、控制分系统和电源分系统这五部分组成,其简化方框图如图 1.6 所示。