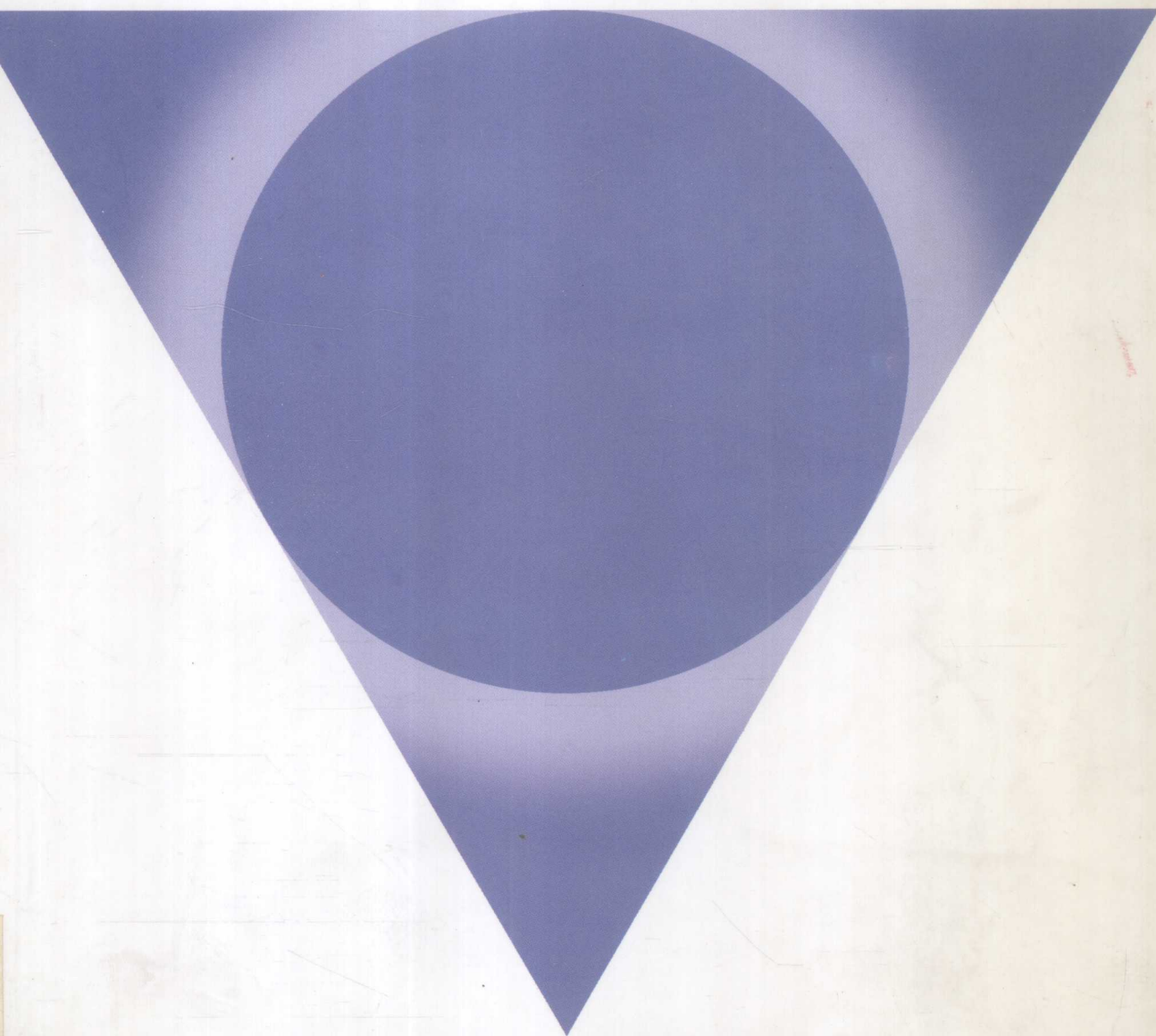


卫星移动通信 原理与应用

5

郑林华 韩方景 聂焱 编著



国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

卫星移动通信原理与应用/郑林华等编著. —北京:
国防工业出版社, 2000.5

ISBN 7-118-02212-8

I. 卫... II. 郑... III. ①卫星通信:移动通信-通信系统-理论②卫星通信:移动通信-通信系统-应用

IV. TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 55587 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20¼ 471 千字

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序

卫星通信具有覆盖面积大、受地理条件限制少、通信频带宽、机动灵活等特点,因而成为现代通信不可缺少的通信手段。

进入 90 年代以来,卫星通信又跨上了一个新的台阶,卫星向具有传输、交换和信号处理等多种功能的“空中节点”发展;地球站向小型化终端乃至手持式终端发展;使用频段向更高发展;应用向提供综合业务和移动业务发展。

个人通信概念的提出,把卫星通信带入了移动通信时代。海事卫星通信率先发展起来,利用同步轨道的卫星移动通信系统进入了研究开发和应用阶段。卫星移动通信为人类实现全球个人通信展示了美好的前景。

为了发展我国的卫星移动通信事业,我们利用几年来从事这方面科研工作的成果并参阅了大量国内外的技术资料,编著了这本《卫星移动通信原理与应用》。在此我们对有关文献的作者表示深深的谢意。

本书共分五章。第一章概述,介绍卫星通信系统和卫星移动通信系统的组成、分类、主要的技术特点。第二章介绍卫星移动通信系统的电波传播、宇宙环境、多址分配技术、同步轨道(GEO)、中、低轨道(MEO、LEO)卫星移动通信系统的原理及关键技术。第三章介绍轨道和星座设计、通信系统结构、链路设计、信号方式和编号方案。第四章介绍卫星移动通信系统与地面网的互联。如与窄带 ISDN(N-ISDN)、专用通信网、宽带 ISDN(B-ISDN)、局域/城域网(LAN/MAN)、公众数据通信网、公众交换电话网(PSTN)移动通信网的互联。第五章介绍同步轨道(GEO)、中轨道(MEO)、低轨道(LEO)卫星移动通信系统。主要以北美卫星移动通信系统(MSAT)、海事卫星移动系统(INMARSAT)、亚太卫星移动通信系统(APMT)、亚洲蜂窝卫星系统(ACeS)、奥德赛(Odyssey)系统,铱(Iridium)系统、全球星(Globalstar)系统、卫星通信网络(Teledesic)系统为例介绍高、中、低轨道卫星移动通信系统的原理、特点、组成方案等。并对上述系统的技术性能进行比较,以期在考虑我国卫星移动系统的方案时有所参考。

本书第一章、第五章由郑林华编著,第二章、第四章由韩方景编著,第三章由聂焱编著,全书由郑林华负责主编。

由于卫星移动通信系统处于正在发展的阶段,许多技术还在研究之中。因此,编著者只能就目前所掌握的情况进行介绍。由于技术新、作者水平有限,书中难免还存在一些缺点和不足,殷切希望广大读者批评指正。

本书可供广大科研、技术人员及高等院校相关专业的教师、研究生、本科生参考或作教学参考书使用。

卫星移动通信原理与应用

郑林华 韩方景 聂皞 编著

国防工业出版社

·北京·

目 录

第一章 卫星移动通信概述	1
§ 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 卫星移动通信基本概念	4
§ 1.2.1 卫星移动通信系统的一般构造	4
§ 1.2.2 卫星移动通信系统的运行	5
§ 1.3 卫星移动通信系统的分类	6
§ 1.4 卫星移动通信的特点	7
第二章 卫星移动通信原理	9
§ 2.1 通信卫星	9
§ 2.1.1 宇宙环境	9
§ 2.1.2 卫星的摄动	10
§ 2.1.3 卫星蚀、太阳黑子干扰和日凌中断	11
§ 2.1.4 卫星分类	12
§ 2.1.5 卫星的结构	13
§ 2.1.6 通信卫星的姿态控制	18
§ 2.1.7 卫星的发射	20
§ 2.1.8 卫星移动通信的工作频段	20
§ 2.2 卫星移动通信的电波传播	25
§ 2.2.1 无线电波传输的链路种类	25
§ 2.2.2 传输损耗	25
§ 2.2.3 地球周围空间对电波传播的其他影响	30
§ 2.2.4 多径衰落	35
§ 2.2.5 多普勒效应	47
§ 2.2.6 传播噪声	49
§ 2.3 卫星移动通信的技术基础	53
§ 2.3.1 语音编码	53
§ 2.3.2 信道编码	55
§ 2.3.3 分集和均衡	56
§ 2.3.4 调制和解调	60
§ 2.3.5 数字话音内插(DSI)和话音激活	64
§ 2.3.6 回波控制	69
§ 2.3.7 多址技术	71
§ 2.3.8 多址分配技术	75

§ 2.3.9	功率控制	78
§ 2.3.10	相控阵天线和多波束天线	80
§ 2.3.11	星上处理和交换	84
§ 2.3.12	抗干扰技术	88
§ 2.4	同步轨道(GEO)卫星移动通信系统的原理	89
§ 2.4.1	同步轨道卫星移动通信系统的一般结构	89
§ 2.4.2	同步轨道卫星移动通信系统的信道结构和呼叫建立	91
§ 2.5	中、低轨(MEO、LEO)卫星移动通信系统的原理	98
§ 2.5.1	中、低轨卫星移动通信系统的卫星星座	98
§ 2.5.2	中、低轨卫星移动通信系统的一般结构	104
§ 2.5.3	中、低轨卫星移动通信系统的切换	108
§ 2.5.4	中、低轨卫星移动通信系统卫星星座中的信号路由选择	113
§ 2.5.5	中、低轨卫星移动通信系统的呼叫处理	114
第三章	卫星移动通信系统设计	119
§ 3.1	轨道和星座	119
§ 3.1.1	地球的观察几何	119
§ 3.1.2	开普勒轨道	126
§ 3.1.3	卫星的视运动	131
§ 3.1.4	轨道和星座设计	143
§ 3.2	通信系统设计	155
§ 3.2.1	通信系统结构	155
§ 3.2.2	系统业务	159
§ 3.2.3	链路设计	167
§ 3.2.4	星上设备参数确定	183
§ 3.3	信号方式和编号方案	188
§ 3.3.1	信令协议	189
§ 3.3.2	信令链路连接	194
§ 3.3.3	信令网络连接	199
§ 3.3.4	编号计划	201
第四章	卫星移动通信系统与地面网的互联	211
§ 4.1	概述	211
§ 4.1.1	互联的必要性	211
§ 4.1.2	互联的主要障碍	211
§ 4.1.3	互联的前提条件	211
§ 4.1.4	互联的一般方法	212
§ 4.1.5	本章所述互联方法的适用范围	212
§ 4.2	卫星移动通信系统和窄带 ISDN(N-ISDN)的互联	212
§ 4.2.1	N-ISDN 的技术特点	212
§ 4.2.2	互联的方法	212
§ 4.3	卫星移动通信系统和专用通信网的互联	214
§ 4.3.1	网络配置	215
§ 4.3.2	信令的互通	216

§ 4.3.3 数据的互通	217
§ 4.4 卫星移动通信系统和宽带综合业务网(B-ISDN)的互联	217
§ 4.4.1 互联的主要技术障碍	217
§ 4.4.2 互联的技术途径	218
§ 4.5 卫星移动通信系统和局域/城域网(LAN/MAN)的互联	218
§ 4.5.1 互联的必要性	218
§ 4.5.2 互联的方法	219
§ 4.6 卫星移动通信系统和公用数据通信网的互联	221
§ 4.6.1 互联的技术障碍	221
§ 4.6.2 互联的技术途径	222
§ 4.7 卫星移动通信系统和公众交换电话网的互联	223
§ 4.7.1 互联接口的基本功能	223
§ 4.7.2 互联的同步技术	223
§ 4.7.3 互联的技术方法	225
§ 4.8 卫星移动通信系统和公共陆地移动通信网(PLMN)的互联	226
第五章 典型卫星移动通信系统	228
§ 5.1 高轨道卫星(GEO)移动通信系统	228
§ 5.1.1 北美卫星移动通信系统——MSAT	228
§ 5.1.2 海事卫星移动系统——INMARSAT	233
§ 5.1.3 INMARSAT 航空卫星移动通信系统	241
§ 5.1.4 亚太卫星移动通信系统(APMT)	247
§ 5.1.5 亚洲蜂窝卫星系统(ACeS)	257
§ 5.2 中轨道卫星(MEO)移动通信系统	265
§ 5.3 低轨道(LEO)卫星移动通信系统	272
§ 5.4 陆地、海事和航空业务卫星移动通信系统之间的联系	308
§ 5.4.1 陆地、海事和航空业务卫星移动通信系统之间的相同点	308
§ 5.4.2 陆地、海事和航空业务卫星移动通信系统之间的区别	308
§ 5.5 系统比较	309
§ 5.5.1 GEO 与 LEO 卫星移动通信系统的比较	310
§ 5.5.2 MEO 与 LEO 卫星移动通信系统的比较	312
§ 5.6 卫星移动通信系统市场分析	315
参考文献	316

第一章 卫星移动通信概述

§ 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。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 800km 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,和地球的自转周期相等,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。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。

图 1.2 是静止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来实现通信。若以 120° 的等间隔在静止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),可以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卫星就可以实现全球通信,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,就是利用静止卫星来实现全球通信的。静止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担着 80% 的国际通信业务和全部国际电视转播。我国的“东方红”通信卫星也是静止通信卫星。

与其他通信手段相比,卫星通信的主要优点是:

- (1)通信距离远,且费用和通信距离无关;
- (2)工作频段宽,通信容量大,适用于多种业务传输;

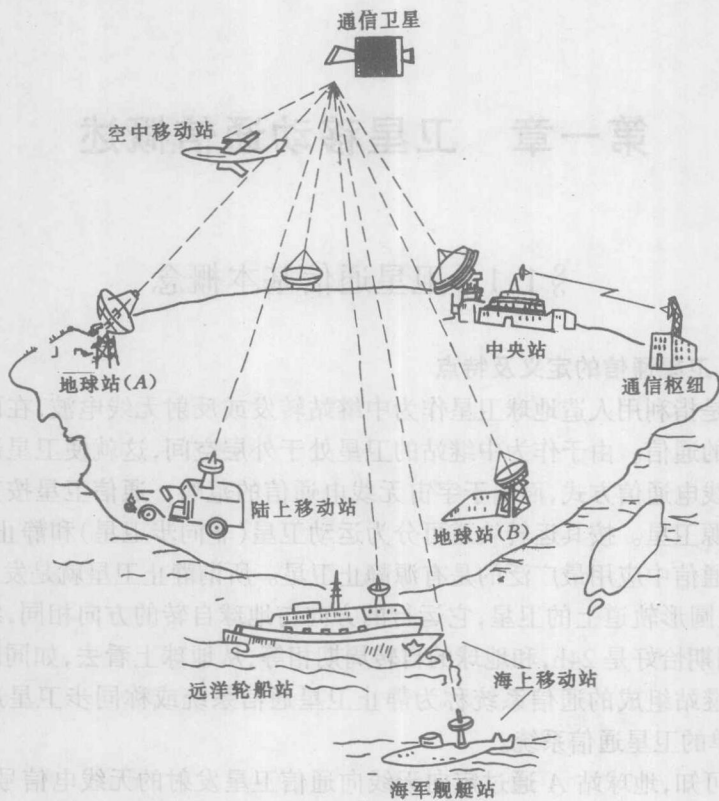


图 1.1 简单的卫星通信示意图

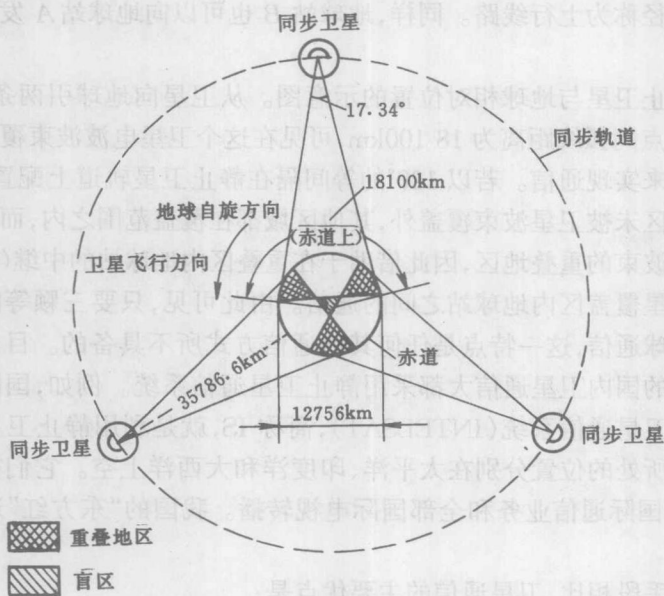


图 1.2 静止卫星配置几何关系

- (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:

- (1)两极地区为通信盲区,高纬度地区通信效果不佳;
- (2)卫星发射和控制技术比较复杂;
- (3)存在日凌中断现象;
- (4)有较大的信号延迟和回波干扰;
- (5)卫星通信需要高可靠、长寿命的通信卫星;
- (6)卫星通信要求地球站有大功率发射机、高灵敏度接收机和高增益天线。

总而言之,卫星通信有优点,也存在一些缺点。这些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,已经得到或正在得到解决。

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由空间分系统、地球站、跟踪遥测及指令系统和监控管理分系统四大部分构成。

§ 1.1.2 卫星通信系统的组成

一个卫星通信系统是由空间分系统、通信地球站群、跟踪遥测及指令系统和监控管理分系统四大部分组成,如图 1.3 所示。其中有的直接用来进行通信,有的用来保障通信的进行。

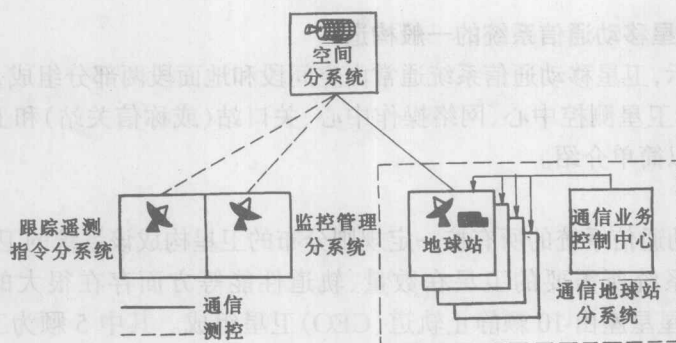


图 1.3 卫星通信系统的基本组成

1. 空间分系统

空间分系统即通信卫星,通信卫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。

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。一个卫星的通信装置可以包括一个或多个转发器。每个转发器能接收和转发多个地球站的信号。显然,当每个转发器所能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。

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,发射和接收能力越强,功能也越强。

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发射的功率、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 卫星移动通信基本概念

卫星移动通信是指利用卫星转接实现移动用户间、或移动用户与固定用户间的相互通信。为了确保处于地面、空中、海上不同区域的移动用户进行不间断的通信和较高的系统容量,卫星移动通信系统不仅具有复杂的网络结构,而且所使用的技术也很复杂。

§ 1.2.1 卫星移动通信系统的一般构造

如图 1.4 所示,卫星移动通信系统通常由空间段和地面段两部分组成,空间段指卫星星座,地面段包括卫星测控中心、网络操作中心、关口站(或称信关站)和卫星移动终端。下面对各部分作以简单介绍。

1. 卫星星座

一个卫星移动通信系统的所有按一定规则分布的卫星构成该系统的卫星星座。不同的卫星移动通信系统所需要的卫星在数量、轨道性能等方面存在很大的差异,如 IN-MARSAT 系统卫星星座由 10 颗静止轨道(GEO)卫星组成。其中 5 颗为工作卫星,5 颗为备用卫星;Odyssey 系统所设计的卫星星座由 12 颗中轨道(MEO)卫星组成;而 Teledesic 系统卫星星座则由均匀分布在 21 条轨道面上的 840 颗低轨道(LEO)卫星组成。

尽管卫星移动通信系统的卫星星座结构各异,但它们的作用基本相同,即提供地面段各设备收发信号之间的转接或交换处理。

2. 网络操作中心

网络操作中心和卫星测控中心在有些卫星移动通信系统中是合二为一的。网络操作

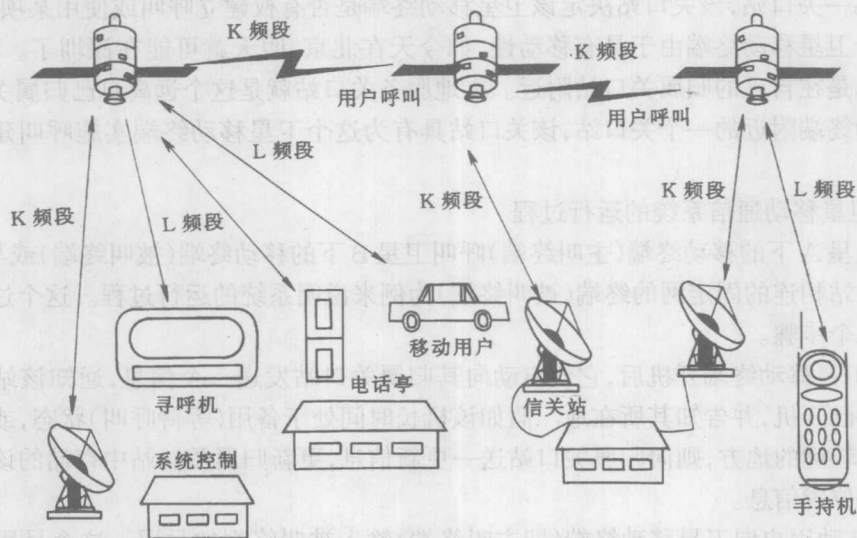


图 1.4 卫星移动通信示意图

中心的作用是管理卫星移动通信系统的通信业务。如路由选择表的更新、计费,各链路和节点工作状态的监视等。

3. 卫星测控中心

卫星测控中心完成卫星星座的管理,如卫星轨道修正、卫星工作状态的故障诊断等。因此,卫星测控中心就是保障卫星在预定的轨道上无故障地运行,为可靠通信提供前提。

4. 关口站

关口站的主要作用如下。

(1)提供卫星移动通信系统和地面固定专用/公用网、地面移动通信网的接口,实现互连。

(2)控制卫星移动终端接入卫星移动通信系统,并保障移动终端在通信的过程中通信信号不中断。

5. 卫星移动终端

卫星移动终端是移动用户通过卫星移动通信系统进行移动通信的直接使用终端。通过这个终端,移动用户可以在移动环境中,如空中、海上、陆上获得语音或数据等各种服务业务。

以上所介绍的只是卫星移动通信系统的一般性结构和功能。具体的卫星移动通信系统,其结构、功能及各部分名称同以上描述的可能略有差异。

§ 1.2.2 卫星移动通信系统的运行

1. 归属关口站和本地服务关口站

卫星移动通信系统的任何一个卫星移动终端必须在系统内登记注册,以便进行如计费、呼叫处理等的管理。

归属关口站是卫星移动终端在那里进行注册的关口站。任何一个卫星移动终端一定

归属于某一关口站,该关口站决定该卫星移动终端是否有权建立呼叫或使用某项业务。

一个卫星移动终端由于具有移动性,如今天在北京,明天就可能在深圳了。因此,它不可能总是在自己的归属关口站附近。本地服务关口站就是这个远离自己归属关口站的卫星移动终端附近的一个关口站,该关口站具有为这个卫星移动终端实施呼叫建立等功能。

2. 卫星移动通信系统的运行过程

以卫星 A 下的移动终端(主叫终端)呼叫卫星 B 下的移动终端(被叫终端)或与卫星 B 下的关口站相连的固定网的终端(被叫终端)为例来说明系统的运行过程。这个过程大致分以下几个步骤。

(1)卫星移动终端开机后,它便自动向其归属关口站发送一个信息,通知该站此卫星移动终端已开机,并告知其所在地。假如该机长时间处于备用(等待呼叫)状态,或是移动到了一个较远的地方,则向归属关口站送一更新信息,更新归属关口站中存储的该卫星移动终端的位置信息。

(2)移动用户向卫星移动终端(即主叫终端)输入被叫终端的号码。这个号码既可以是另一个卫星移动终端的号码,也可以是与卫星移动通信系统相连的其他通信网的终端号码。

(3)卫星移动终端发送一个包含该终端注册号码和被叫终端号码的请求服务信息,这个信息被送入该终端视线内的卫星,又通过卫星被传送到本地服务关口站,以建立呼叫。

(4)本地服务关口站又通过卫星线路分别向主叫终端和被叫终端的归属关口站询问主叫终端和被叫终端的情况。如主叫终端和被叫是否有权使用本系统及它们的业务类型等。

(5)如果双方都是有权使用,则系统将给主叫终端和被叫终端分配信道以链接卫星,并同时向被叫终端发出呼叫(振铃)。

(6)如被叫是一个卫星移动通信系统内的卫星移动终端,则由相应的卫星在卫星移动终端所处的区域内进行呼叫。

(7)通信结束后,主叫终端和被叫终端释放通信链路而复原。本地服务关口站通过卫星链路向双方的归属关口站发送相应的通信记录,以便归属关口站对主叫终端和被叫终端实施管理。至此,整个通信过程结束。

§ 1.3 卫星移动通信系统的分类

卫星移动通信系统按其不同的属性具有不同的分类方法。

1. 按卫星移动通信系统的业务可分为以下几类。

(1)海事卫星移动通信系统(MMSS)。它为海上的船舶提供通信业务和无线电定位服务。

(2)航空卫星通信系统(AMSS)。它为在飞机中的机组人员和乘客提供各种通信业务。

(3)陆地卫星移动通信系统(LMSS)。它为陆地上使用卫星移动终端的移动用户提供各种通信业务。

2. 按卫星移动通信系统卫星的轨道可分为以下几类。

(1) 静止轨道卫星移动通信系统, 系统的卫星位于地球赤道上方 35000km 附近的地球同步赤道上, 卫星绕地球公转与地球自转的方向和周期都相同。因此, 卫星相对于地球是静止的。

(2) 中轨道卫星移动通信系统, 该系统的卫星距地面 10000~15000km。

(3) 低轨道卫星移动通信系统, 该系统的卫星距地面在 1000km 左右。

中轨道系统和低轨道系统的卫星绕地球一周的时间在数小时以内, 若干颗卫星联接成网, 绕地球快速运转, 使得地面上的移动用户在视线内至少有一颗卫星, 从而确保通信不中断。

此外, 按通信覆盖区的范围又可分为: 国际卫星移动通信系统、区域卫星移动通信系统和国内卫星移动通信系统。

卫星移动通信系统按其特点、性质、用途和技术手段还有其他的分类方法, 它们反映了卫星移动通信系统的不同侧面。

§ 1.4 卫星移动通信的特点

从 1976 年投入太平洋区域同步轨道提供船、岸间通信的第一颗 Marisat 卫星开创了卫星移动通信, 至今, 世界电信环境发生了巨大变化, 尤其是移动通信的迅猛发展, 卫星移动通信融合了传统卫星通信和移动通信的优点, 成为实现全球个人通信的首选方案。它具有如下特点。

1. 功能上

(1) 具有全球/区域无缝隙覆盖能力, 电波覆盖区域不受地貌的影响, 使通信真正实现全球化和个人化。这是卫星移动通信的最大优势。

(2) 提供除语音外的其他多种通信业务。通信业务向多样化和综合化方向发展, 以期与未来的多媒体高速信息传输沟通。

(3) 能满足建立陆上、海上、空中立体化全方位通信网。

(4) 通信距离与通信费用关系不大, 以至无关。

2. 技术上

(1) 在使用静止轨道的同时, 重点考虑使用中、低轨道, 这样不但可弥补同步轨道资源的不足, 而且中、低轨道的业务性能更优良, 因此, 在星座设计上出现了新的技术要求。

(2) 卫星移动终端在体积、重量、功率、天线尺寸等方面要求小型化, 尤其手持机要求更为苛刻。因此, 在实现技术上提出了更高的要求。

(3) 在网络设计、系统构成、星间协调、星上处理、系统运营管理等方而利用现代智能化、数字化及多媒体化的最新技术成果, 以技术优势换取性能价格比和市场竞争能力。

(4) 系统内的用户(站址)数量很大。

(5) 卫星天线波束应能适应地面覆盖区域的变化并保持指向, 用户移动终端的天线波束应能随用户的移动而保持对卫星的指向, 或者是全方向性天线波束。

(6) 卫星移动通信系统中的用户链路, 其工作频段受到一定的限制, 一般在 200MHz~10GHz。

(7)因为移动终端的 EIRP(等效全向辐射功率)有限,对空间段的卫星转发器及星上天线需专门设计,并采用多点波束技术和大功率技术以满足系统的要求。

(8)由于移动体的运动,当移动终端与卫星转发器间的链路受到阻挡时,会产生“阴影”效应,造成通信的阻断。对此,卫星移动通信系统应使用户移动终端能够多星共视。

(9)多颗卫星构成的卫星星座系统,需要建立星际链路和星上处理、星上交换;或者,需建立具有交换和处理能力的信关地球站。

(10)对频率资源不断扩充,适时地积极利用或混合利用高微波频段及光频段。

点群的计算与卫星

卫星星座的几何分布,是星座设计的重要问题。星座的几何分布,是指星座中各卫星在空间中的位置分布。星座的几何分布,可以分为地球静止轨道星座、中轨道星座、低轨道星座等。

星座的几何分布,可以分为地球静止轨道星座、中轨道星座、低轨道星座等。地球静止轨道星座,是指星座中各卫星均在地球静止轨道上运行。中轨道星座,是指星座中各卫星均在地球中轨道上运行。低轨道星座,是指星座中各卫星均在地球低轨道上运行。

星座的几何分布,可以分为地球静止轨道星座、中轨道星座、低轨道星座等。地球静止轨道星座,是指星座中各卫星均在地球静止轨道上运行。中轨道星座,是指星座中各卫星均在地球中轨道上运行。低轨道星座,是指星座中各卫星均在地球低轨道上运行。

星座的几何分布,可以分为地球静止轨道星座、中轨道星座、低轨道星座等。地球静止轨道星座,是指星座中各卫星均在地球静止轨道上运行。中轨道星座,是指星座中各卫星均在地球中轨道上运行。低轨道星座,是指星座中各卫星均在地球低轨道上运行。

星座的几何分布,可以分为地球静止轨道星座、中轨道星座、低轨道星座等。地球静止轨道星座,是指星座中各卫星均在地球静止轨道上运行。中轨道星座,是指星座中各卫星均在地球中轨道上运行。低轨道星座,是指星座中各卫星均在地球低轨道上运行。

第二章 卫星移动通信原理

卫星移动通信是指利用卫星转接实现移动用户间、或移动用户与固定用户间的相互通信。为了确保处于地面、空中、海上不同区域的移动用户能够进行不间断的通信和系统具有较高的容量,卫星移动通信系统不仅具有复杂的网络结构,而且所使用的技术也很复杂。本章将对此做一介绍。

§2.1 通信卫星

§2.1.1 宇宙环境

卫星发射及工作时所处的环境叫宇宙环境,它对卫星的结构、元件、材料等方面都有影响。它主要包括以下几个方面。

1. 真空

大气密度随离地球表面高度的增加而减小,最后接近于真空。大气的压力、浓度、成分随高度而变化,如表2.1所列。

表2.1 宇宙中大气压力和大气成分的变化

高度/km	压力/Pa	浓度(分子、离子、原子数)	成分
海平面	101325~133322	2.5×10^{19}	N ₂ (78%), O ₂ (21%), Ar(1%)
30	800~1333	4×10^{17}	N ₂ , O ₂ , Ar
200	1.3×10^{-4}	10^{10}	N ₂ , O, O ₂ , O ⁺
800	1.3×10^{-7}	10^6	O, He, O ⁺ , H
22000以上	1.3×10^{-11}	10~100	H ⁺ (85%), He ⁺⁺ (15%)

在表2.1所示的环境中,静止卫星会产生金属的溅射和高分子材料元件释放气体现象,因此,对卫星上的金属要进行涂敷处理,对高分子材料元件要在真空槽中进行抽气。而卫星在200km左右时,不能使用高压,以免产生气体放电而引起事故。

2. 热环境

对卫星影响较大的热源有三种:太阳直接辐射、地面反射太阳的辐射、地球的红外辐射。它们的热能密度分别为:1400、0.012、0.005(单位W/m²)。因此,卫星外壳面朝太阳的部分和背向太阳的部分之间会产生200℃以上的温差,为了补偿此温度差,卫星星体必须有热源控制。

3. 辐射线

宇宙环境中的辐射线包括:凡阿连(Van Allen)辐射带、太阳辐射线和宇宙射线等。这些射线对卫星的太阳电池、晶体管和二极管等半导体元件的性能有很大的影响。因此在设计卫星时,要考虑用适当的耐辐射线的设备及屏蔽方法。

4. 地球磁场

地球在周围空间产生了磁场,其磁场强度为

$$B = B_0 \sqrt{1 + 3\sin^2\phi} \left(\frac{a_e}{r}\right)^3 \quad (2.1)$$

式中, B_0 为赤道表面磁感应强度($31 \times 10^{-6} \text{T}$); ϕ 为地球磁场纬度; a_e 为地球赤道半径; r 为观察点离地心的距离。

在此磁场作用下,自旋卫星中由于产生涡流而消耗能量,从而出现自旋减慢。对于三轴稳定的卫星来说,可利用地球磁场与卫星磁扭(由星载磁扭矩装置产生)的相互作用来控制卫星姿态。

5. 宇宙尘埃

宇宙尘埃是指尺寸在 $100 \mu\text{m}$ 以下的颗粒,越靠近地球越多。它能量虽小,但有时会使得物体表面的光学特性改变,使太阳能电池性能变差,也能使很薄的表面材料遭到破坏。

6. 其他因素

在静止轨道上,没有风和重力,卫星可以采用大而薄的结构。另外,在地球上使用的润滑剂在空间都失效,为此消旋天线的轴承要用陶瓷滚珠或由特殊的金属陶瓷化合物制成。

§ 2.1.2 卫星的摄动

由于宇宙空间其他星体的作用和地球并非理想质点等因素的影响,卫星的轨道将偏离理论上计算出的理想轨道,这一现象称为摄动。引起卫星摄动的原因有以下几个方面。

1. 地球重力场不均匀的影响

由于地球并非一个理想球体,而是略呈椭球状,且表面起伏不平,因此地球四周等高度处的引力不保持为常数。经过计算,地球重力场的位函数可近似为

$$v = -\frac{\mu}{r} - \frac{J_2 \mu a_e^2}{2r^3} (1 - \sin^2\phi) \quad (2.2)$$

式中, a_e 为地球的赤道半径; ϕ 为地球的纬度; J_2 为常数,其值为 1.0823×10^{-3} ; r 是观察点离地心的距离;右边第一项 $-\frac{\mu}{r}$ 是地球为理想球体时的重力场位函数,它决定了卫星的理想轨道;第二项 $-\frac{J_2 \mu a_e^2}{2r^3} (1 - \sin^2\phi)$ 使卫星的速度偏离理论值,引起卫星在轨道平面内产生摄动。例如,对静止卫星来说,这种摄动表现为卫星在东西方向上漂移。

2. 地球以外引力的影响

地球卫星除了主要受地球引力之外,还受到宇宙其他星体的作用,其中主要是太阳和月亮的影响。以静止卫星为例,太阳和月亮对卫星的引力分别为地球引力的 $1/37$ 和 $1/6800$,这两个力作用的结果,使卫星的摄动表现为轨道倾角发生积累性的变化,卫星在南北方向上缓慢地漂移。

3. 地球大气的影响

高轨道卫星处于大气层以外的宇宙空间,大气阻力可以不计,但是对于低轨道的卫星,大气阻力将使卫星的机械能受到损耗,从而使轨道日渐缩小。

4. 太阳辐射压力的影响