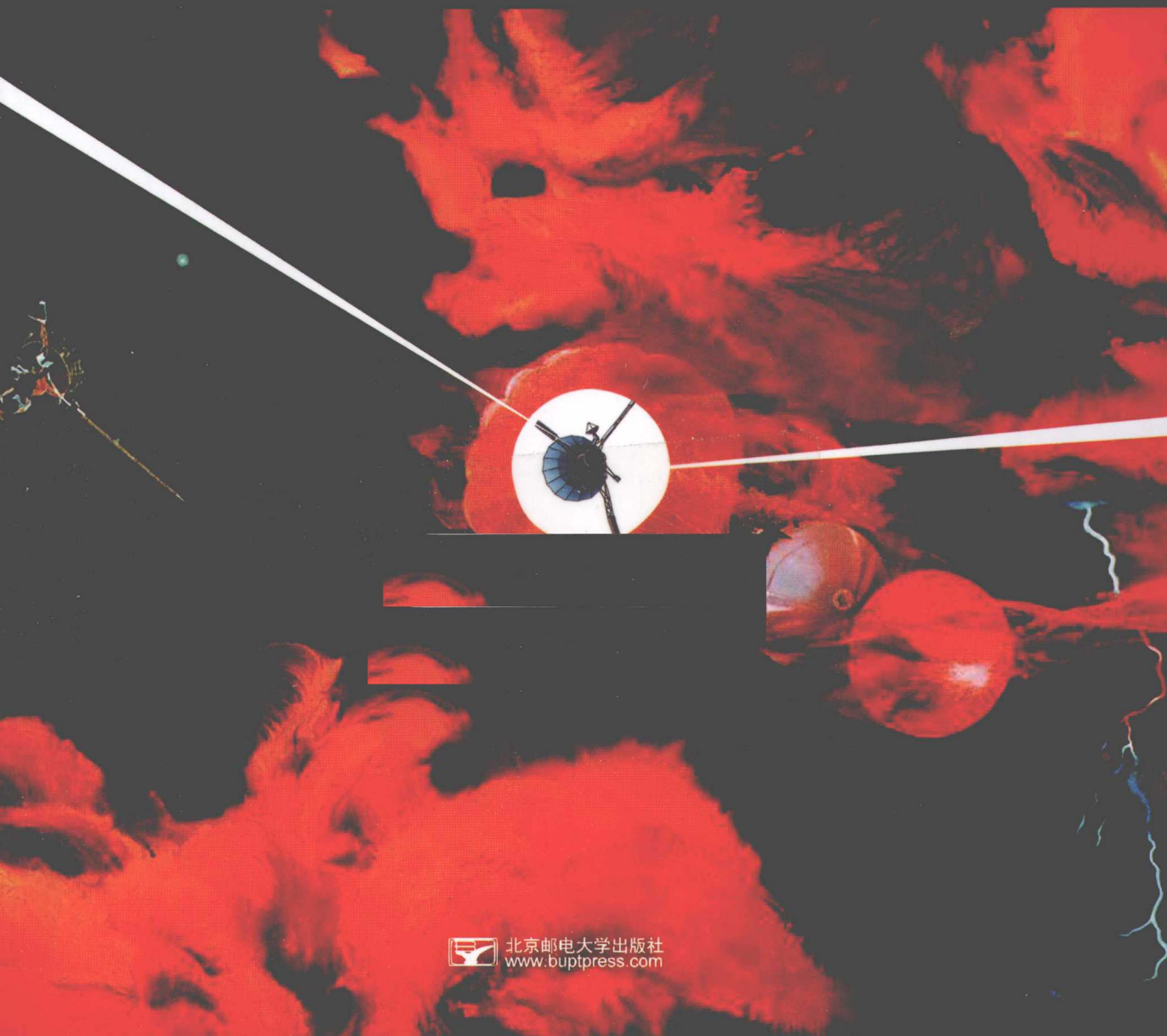


数字微波与卫星通信

SHUZIWEIBOYUWEIXINGTONGXIN

主 编 姚 军 李白萍
副主编 李 荣 刘 健 毛昕蓉



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

数字微波与卫星通信

主 编 姚 军 李 白 萍
副主编 李 荣 刘 健 毛昕蓉

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

内 容 简 介

本书对数字微波与卫星通信技术的基本原理、系统组成、工作特点以及相关应用和今后的发展进行了论述。

全书共分7章,内容包括概述、微波传播与卫星通信信道、微波与卫星通信的通信体制、多址技术、通信系统设计、终端站设计与建设以及卫星通信系统的应用。特别是结合目前卫星通信的发展重点介绍了移动卫星通信技术及相关应用,并结合航天技术介绍了卫星通信技术在航天技术中的应用。

本书可作为通信、测控、导航专业本科学生的专业课教材或参考书,也可作为相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字微波与卫星通信/姚军,李白萍主编.--北京:北京邮电大学出版社,2011.4

ISBN 978-7-5635-2572-0

I. ①数… II. ①姚…②李… III. ①数字通信;微波通信—高等学校—教材②卫星通信—高等学校—教材 IV. ①TN925②TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 023526 号

书 名: 数字微波与卫星通信

作 者: 姚 军 李白萍 李 荣 刘 健 毛昕蓉

责任编辑: 刘 颖

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish @ bupt. edu. cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 15

字 数: 325 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2572-0

定 价: 27.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

进入 21 世纪后,我国的卫星航天事业发展非常迅猛,卫星通信成为人们实现个人通信的一个必备的基础平台,数字微波通信与卫星通信在技术上存在着相似性,使用的频段也相同,本书从这个角度对微波与卫星通信技术、系统进行了全面阐述,力求将目前较新的技术及应用介绍给读者。

全书共分 7 章。第 1 章概述:简单介绍微波与卫星通信的基本概念、特点以及相关的系统组成,并在本章的最后对微波与卫星通信今后的发展方向进行了介绍。第 2 章微波传播与卫星通信信道:介绍无线电波的传输特性,微波传播的特性、外界环境对微波传播的影响及采取的措施;并对卫星通信的信道特点以及移动卫星通信信道进行了阐述。第 3 章微波与卫星通信的通信体制:介绍微波与卫星通信中应用到的信号传输方式、复用方式、调制方式、编码技术以及信号处理技术等。第 4 章卫星通信中的多址技术:介绍卫星通信中的多址技术以及各种多址技术的特点及应用。第 5 章通信系统设计:介绍微波通信系统的设计和卫星通信系统的设计,重点是系统的组成和两个系统在设计时涉及的内容及指标。第 6 章终端站设计:介绍数字微波与卫星通信中终端站的设计,包括终端站的组成、站址的选择、防雷击及防干扰等内容。第 7 章卫星通信系统的应用:介绍了卫星通信系统的几种主要的应用,包括卫星通信系统在 Internet 中的应用、在 GPS 系统中的应用、在航天系统中的应用以及卫星电视系统,并在最后对卫星通信的发展进行了展望。

本书第 1 章由李白萍教授编写,第 2 章由刘健编写,第 3 章由毛昕蓉编写,第 4 章、第 6 章由姚军编写,第 5 章、第 7 章由李荣编写,全书由李白萍教授统稿和审稿。在本书的编写过程中,朱晓蒙做了大量辅助性工作,在此表示感谢。

在本书编写和修订过程中,参阅了大量文献、技术标准和图书资料,在此谨向这些文献资料的原作者表示衷心的感谢。

由于数字微波与卫星通信技术发展速度快,加之编者的水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评、指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 微波与卫星通信的基本概念	1
1.2 微波与卫星通信的特点	4
1.3 微波与卫星通信系统简介	6
1.3.1 微波通信系统	6
1.3.2 卫星通信系统	7
1.4 微波与卫星通信的频率配置	10
1.5 微波与卫星通信技术的发展与展望	13
1.5.1 微波通信的发展	13
1.5.2 卫星通信的发展	15
本章小结	17
思考题	17
第 2 章 微波传播与卫星通信信道	18
2.1 自由空间的电波传播	18
2.1.1 无线电波的传播特性	18
2.1.2 自由空间的微波传播	19
2.2 地面反射对微波传播的影响	20
2.2.1 菲涅耳区的概念	20
2.2.2 地面反射对微波传播的影响	23
2.3 大气对微波传播的影响	26
2.3.1 大气折射	26
2.3.2 大气折射引起的余隙变化	29
2.3.3 复杂地形地面引起的余隙变化	31
2.4 微波传输中的衰落特性	32

2.4.1 常见的大气与地面效应造成的衰落特性·····	32
2.4.2 频率选择性衰落·····	34
2.4.3 衰落的统计特性·····	37
2.5 抗衰落技术·····	40
2.5.1 空间分集接收·····	40
2.5.2 频率分集接收·····	42
2.5.3 自适应均衡技术·····	43
2.6 卫星通信的电波传播特性·····	46
2.6.1 卫星通信中存在的电波传播问题·····	46
2.6.2 卫星通信中通信电波的传播噪声·····	47
2.6.3 卫星通信中的多普勒效应·····	48
2.7 移动卫星信道·····	48
2.7.1 移动信道传播·····	49
2.7.2 窄带信道·····	50
2.7.3 宽带信道·····	61
本章小结·····	62
思考题·····	63
第3章 微波与卫星通信的通信体制 ·····	64
3.1 信号传输方式与复用方式·····	64
3.2 调制方式·····	65
3.2.1 微波与卫星通信常用调制技术·····	65
3.2.2 模拟调制(宽带 FM)·····	66
3.2.3 数字调制·····	68
3.3 编码技术·····	86
3.3.1 信源编码技术·····	86
3.3.2 信道编码技术·····	87
3.4 信号处理技术·····	100
本章小结·····	105
思考题·····	106
第4章 卫星通信中的多址技术 ·····	107
4.1 多址方式的基本概念·····	107
4.2 频分多址技术·····	109

4.2.1	FDMA 的原理及分类	109
4.2.2	FDM/ FM/ FDMA 方式	111
4.2.3	SCPC 方式	111
4.3	时分多址技术	119
4.3.1	TDMA 的基本原理及工作过程	119
4.3.2	TDMA 系统的帧结构及帧效率	120
4.3.3	TDMA 地面终端设备的功能及组成	123
4.3.4	TDMA 系统的定时与同步	126
4.4	码分多址技术	130
4.5	空分多址技术	132
4.6	多址方式的比较	133
4.6.1	多址方式特点比较	133
4.6.2	多址方式的射频利用比较	134
4.7	卫星分组通信中的多址技术	135
4.7.1	基本概念	135
4.7.2	纯 ALOHA 方式	136
4.7.3	S-ALOHA 方式	137
4.7.4	R-ALOHA 方式	138
本章小结		139
思考题		139
第 5 章 通信系统设计		140
5.1	系统设计概述	140
5.2	数字微波通信系统设计	140
5.2.1	数字微波信道的假设参考数字链路	140
5.2.2	系统的主要性能指标及其分配	141
5.2.3	数字微波的信道噪声与噪声指标分配	144
5.2.4	路由选择的基本要求	145
5.2.5	数字微波信道线路参数计算	147
5.3	大容量微波通信系统	149
5.3.1	SDH 技术的应用特点	149
5.3.2	主要应用技术	150
5.4	卫星通信系统设计	155
5.4.1	卫星通信系统	156

5.4.2 卫星通信系统设计	161
5.5 卫星通信网	167
5.6 VSAT 卫星通信系统	169
5.6.1 VSAT 卫星通信网的基本概念	169
5.6.2 VSAT 卫星通信网的组成及其工作原理	170
5.7 卫星移动通信系统	174
5.7.1 卫星移动通信系统的基本结构与分类	174
5.7.2 卫星移动通信系统的传输技术	176
本章小结	177
思考题	177
第 6 章 终端站设计	178
6.1 数字微波通信站的设计	178
6.1.1 数字微波通信站设计的基本要求	178
6.1.2 数字微波通信站组成	179
6.2 卫星地球站的设计	188
6.2.1 卫星地球站设计的基本要求	188
6.2.2 卫星通信地球站的组成	195
6.3 终端站安全体系设计	199
6.3.1 终端站的防雷	199
6.3.2 地面站防干扰	200
本章小结	205
思考题	206
第 7 章 卫星通信系统的应用	207
7.1 卫星通信技术在因特网中的应用	207
7.1.1 宽带 IP 卫星通信及其特点	207
7.1.2 现有宽带 IP 卫星通信系统	208
7.2 卫星通信技术在 GPS 系统中的应用	215
7.2.1 GPS 基本概念	215
7.2.2 GPS 系统组成	215
7.3 卫星电视系统	218
7.3.1 电视系统概述	218
7.3.2 数字电视传输系统	218

7.3.3 数字电视卫星传输系统	220
7.4 卫星通信在航天系统中的应用	222
7.4.1 航天系统概述	222
7.4.2 卫星航天系统	222
7.5 卫星通信技术的发展展望	226
7.5.1 激光技术的应用	226
7.5.2 先进通信技术卫星(ACTS)	227
7.5.3 宽带多媒体卫星移动通信系统	227
本章小结	229
思考题	229

第 1 章 概 述

1.1 微波与卫星通信的基本概念

微波与卫星通信的工作频率都在微波频段,它们有共同的特点,但各自又具有自身的特点,可以单独组成通信系统。

1. 微波通信

微波是指频率在 300 MHz~300 GHz 范围内的电磁波,微波通信是指利用微波携带信息,通过电波空间进行传输的一种通信方式。当两点之间的通信距离超过 50 km 时,只要在传输路径上建立中继线路,就构成了微波中继通信。

微波的传播与光波类似,具有似光性、频率高、极化性等传输特性,因此微波在自由空间中只能沿直线传播,其绕射能力很弱,且在传播中遇到不均匀的介质时,将产生折射和反射现象。正因为如此,在一定天线高度的情况下,为了克服地球的凸起而实现远距离微波通信时就必须采用中继接力的方式,如图 1-1 所示,否则 A 站发射出的微波射线将远离地面而根本不能被 C 站接收。微波通信采用中继方式的另一个原因是,电磁波在空间传播过程中因受到散射、反射、大气吸收等诸多因素的影响,其能量受到损耗,且频率越高,站距越长,微波能量损耗就越大。因此,微波通信信号每经过一定距离的传播后就要进行能量补充,这样才能将信号传向远方。由此可见,一条上万米的微波通信线路是由许多微波站连接而成的,信息是通过这些微波站逐站由一端传向另一端的。

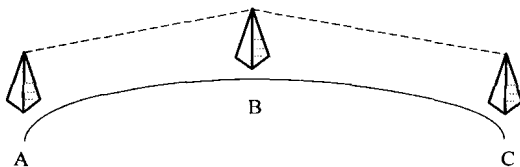


图 1-1 微波中继示意图

2. 卫星通信

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信号,在两个或多个地球站之间进行的通信。这里,地球站是指设在地球表面(包括地面、海洋和大气层)上的无线电通信站。而用于实现通信用途的人造地球卫星就叫做通信卫星,如图 1-2 所示。

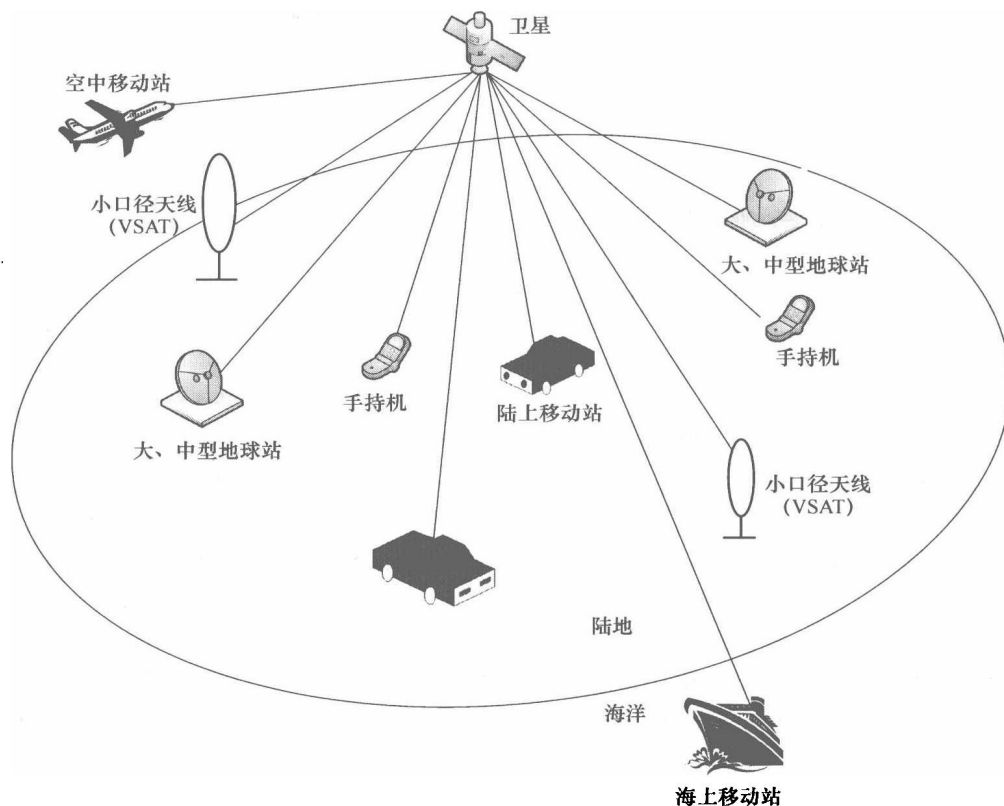


图 1-2 卫星通信示意图

可以看出,在通信卫星天线波束覆盖的地球表面区域内,各种地球站通过卫星中继站转发信号来进行通信。因此,卫星通信实际上就是利用通信卫星作为中继站而进行的一种特殊的微波中继通信。

国际电信联盟(ITU)把以宇宙飞行体为对象的无线电通信统称为宇宙通信。宇宙通信有三种基本形式(如图 1-3 所示):(a)宇宙站与地球站之间的通信;(b)宇宙站之间的通信;(c)通过宇宙站转发或反射而进行的地球站间的通信。卫星通信是宇宙无线电通信的形式之一,三种基本形式中的宇宙站是指设在地球大气层以外的宇宙飞行体(如人造卫星、宇宙飞船等)或其他天体(如月球或别的行星)上的通信站。

图 1-3(c)所示的通信方式通常称为卫星通信。当卫星是静止卫星时,称为静止通信卫星。利用卫星来传输电视信号时,常称为宇宙转播或卫星转播。

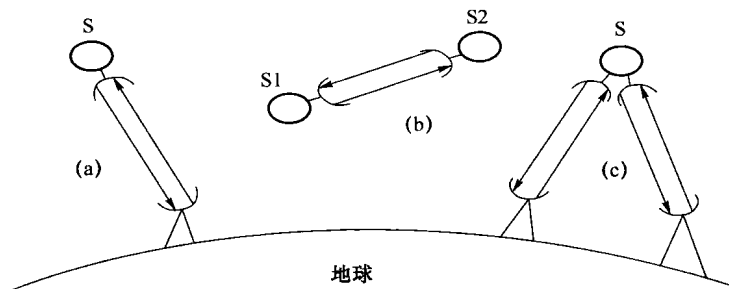


图 1-3 宇宙无线电通信的三种基本形式

目前,绝大多数通信卫星是地球同步卫星(静止卫星),图 1-4 是静止卫星与地球相对位置的示意图。若以 120° 的等间隔在静止轨道上配置三颗卫星,则地球表面除了两极区没有被卫星波束覆盖外,其他区域均在覆盖范围之内,而且其中部分区域为两个静止卫星波束的重叠区域,因此借助于重叠区内地球站的中继(称为双跳),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,只要用三颗等间隔配置的静止卫星就可以实现全球通信,这一特点是其他任何通信方式所不具备的。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绝大部分的国际通信业务和全部国际电视信号的转播,如图 1-5 所示。

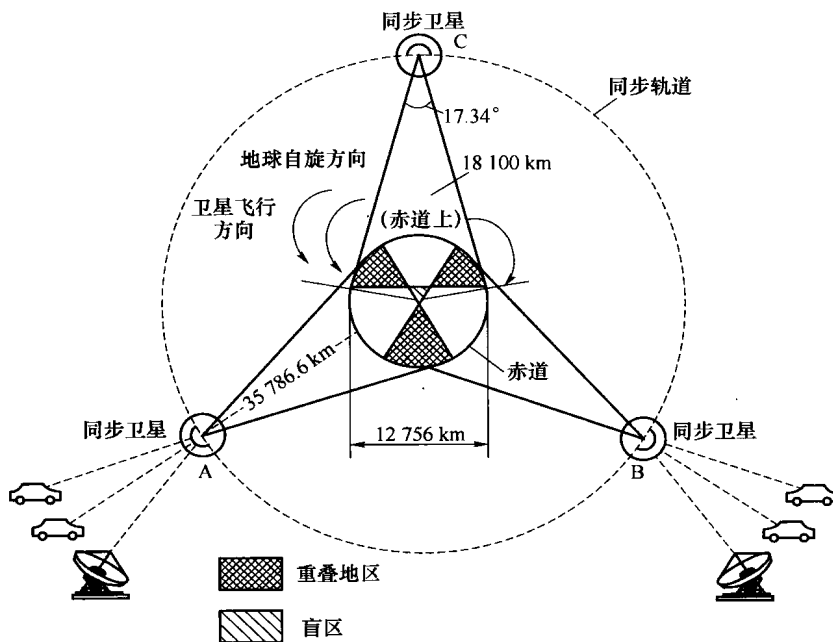


图 1-4 静止卫星配置的几何关系

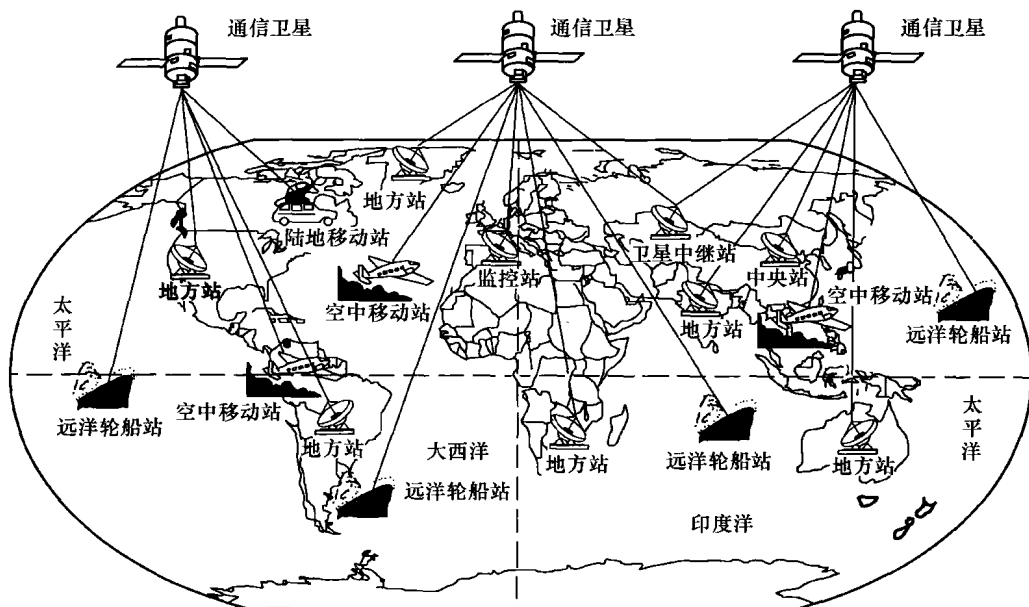


图 1-5 全球通信网

1.2 微波与卫星通信的特点

根据所传基带信号的不同,微波通信分为两种制式。用于传输频分多路-调频制(FDM-FM)基带信号的系统称为模拟微波通信系统;用于传输数字基带信号的系统称为数字微波通信系统,再细分为 PDH 微波通信系统和 SDH 微波通信系统。

1. 微波通信的特点

(1) “微波、多路、接力”是微波通信最基本的特点:

- “微波”是指微波工作频段宽,它包括了分米波、厘米波和毫米波三个频段,可容纳较其他频段多得多的话路。微波频率高,波长短,易制成高增益天线。此外,微波通信的可靠性和稳定性可以做得很高,因为其基本不受天电干扰、工业干扰和太阳黑子变化的影响。
- “多路”是指微波通信的通信容量大,即微波通信设备的通频带可以做得很宽。
- “接力”是目前广泛使用于视距微波的通信方式。

(2) 近年来,由于通信技术的发展以及通信设备的数字化,数字微波占据了绝对的比重。数字微波除了具有上面所说的微波通信的普遍特点外,还具有数字通信的特点:

- 抗干扰性强,整个线路噪声不累积;
- 保密性强,便于加密;

- 器件便于固态化和集成化,设备体积小、耗电少;
- 便于组成综合业务数字网(ISDN)。

当然,和模拟微波通信相比,数字微波的主要缺点是传输信道带宽较宽,因而会产生频率选择性衰落,而抗衰落技术复杂。

2. 卫星通信的特点

目前用于通信的人造卫星主要是静止卫星,因此在此处介绍的卫星通信的特点主要是指利用静止卫星进行中继的卫星通信的特点。

(1) 静止卫星通信的优点:

① 通信距离远,且费用与通信距离无关。国际国内通信中,只要最大通信距离不超过 18 100 km,均可以利用静止卫星进行通信。因此,建站费用和运行费用不因通信站之间的距离远近及两站之间地面上的自然条件恶劣程度而变化,在远距离通信上占有明显的优势。特别对边远地区,卫星通信是有效的现代通信手段。

② 覆盖面积大,可以进行多址通信。在卫星天线波束覆盖的整个区域内的任何一点均可设置地球站,覆盖区域内的这些地球站基本上不受地理条件或通信对象的限制,可以共用一颗通信卫星来实现多址通信。

③ 通信频带宽,传输容量大,适于多种业务传输。卫星通信使用微波频段,信号所用带宽在 500 MHz 以上,可传输几千至上万路电话,并可以传输高分辨率的照片和其他信息。

④ 通信质量高,通信线路稳定可靠。卫星通信的电波主要是在大气层以外的宇宙空间传输的,接近真空状态,电波传播稳定;同时,不受人为干扰以及通信距离变化的影响,不受地形及自然条件的影响。所以,通信质量高,通信线路稳定可靠。

⑤ 通信电路灵活、机动性好。卫星通信不用考虑地势情况,在高空中、海洋上都可以实现通信。不仅能作为大型地球站之间的远距离通信干线,而且可以为车载、船载、地面小型机动终端以及个人终端提供通信,能够根据需要迅速建立同各个方向的通信联络,在短时间内将通信网延伸至新的区域,或者使设施损坏的地区迅速恢复通信。

⑥ 可以自发自收进行监测。当收发端地球站处于同一覆盖区内时,本站也可以收到自己发出的信号,因此可以了解传输质量的优劣,监测本站发出信息的可靠性。

卫星通信的应用范围极其广泛,不仅用于传输话音、电报、数据,还特别适用于广播电视节目的传送。

(2) 静止卫星通信的缺点:

- ① 静止卫星的发射与控制技术比较复杂;
- ② 地球的两极地区为通信盲区,而且地球的高纬度地区通信效果不好;
- ③ 存在星蚀和日凌中断现象;
- ④ 有较大的信号传输时延和回波干扰;
- ⑤ 具有广播特性,保密措施要加强。

1.3 微波与卫星通信系统简介

1.3.1 微波通信系统

1. 数字微波中继通信系统的组成

一条数字微波中继通信线路由终端站、中继站和再生中继站、终点站及电波的传播空间构成,如图 1-6 所示。

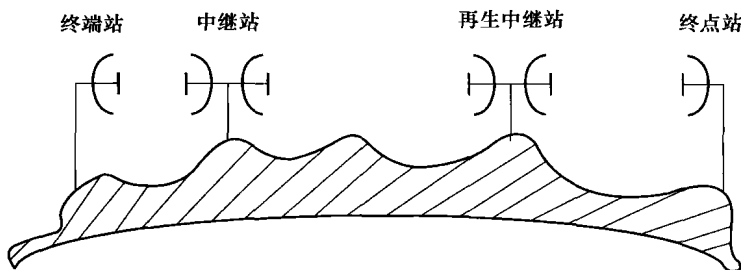


图 1-6 数字微波中继通信线路的组成

终端站的任务是将复用设备送来的基带信号或由电视台送来的视频及伴音信号,调制到微波频率上并发射出去;反之,将收到的微波信号解调出基带信号送往复用设备,或将解调出的视频信号及伴音信号送往电视台。线路中间的中继站的任务是完成微波信号的转发和分路,所以中继站又分为中间站(不能上、下话路)、分路站和枢纽站(能上、下话路),如图 1-7 所示。

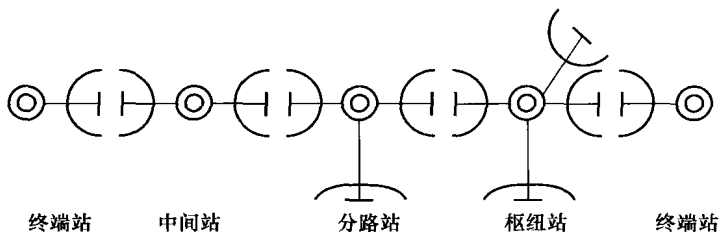


图 1-7 微波中继站的类型

2. 微波中继站的中继方式

微波中继站的中继方式可以分成直接中继(射频转接)、外差中继(中频转接)、基带中继(再生中继)三种中继方式。不同的中继方式的微波系统构成是不一样的。中间站的中继方式可以是直接中继和中频转接,枢纽站为再生中继方式且可以有上下话路。

直接中继最简单,只是将收到的射频信号直接移到其他射频上,无须经过微波一中

频—微波的上下变频过程,因而信号传输失真小。这种方式的设备量少,电源功耗低,适用于无须上下话路的无人值守中继站,其基本设备如图 1-8 所示。

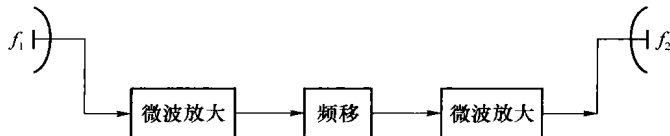


图 1-8 直接中继方式

外差中继是将射频信号进行中频解调,在中频进行放大,然后经过上变频调制到微波频率,发送到下一站,其基本设备如图 1-9 所示。

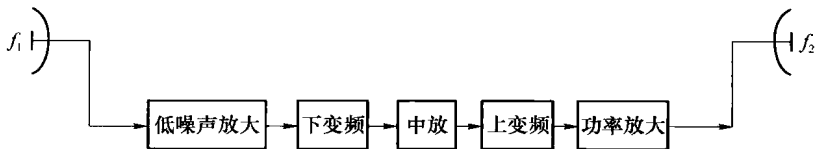


图 1-9 外差中继方式

基带中继是三种中继方式中最复杂的,如图 1-10 所示。它不仅需要上下变频,还需要调制解调电路,因此基带中继可以用于上下话路,同时由于数字信号的再生消除了积累的噪声,传输质量得到保证。因此基带中继是数字微波中继通信的主要中继方式。一般在一条微波中继线上,可以结合使用三种中继方式。

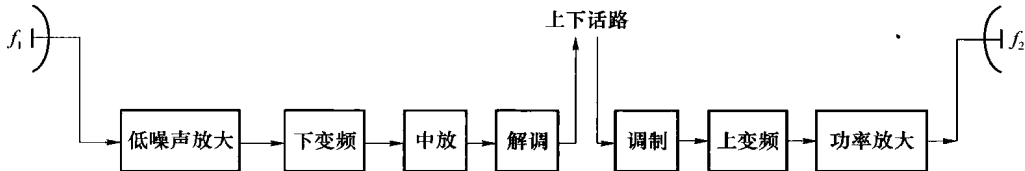


图 1-10 基带中继方式

1.3.2 卫星通信系统

1. 卫星通信系统的组成

卫星通信系统由空间分系统、通信地球站分系统、跟踪遥测及指令分系统和监控管理分系统等四大功能部分组成,如图 1-11 所示。其中,跟踪遥测及指令分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。监控管理分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与控制,以便保证通信卫星的正常运行和工作。空间分系统是指通信卫星,主要由天线分系统、通信分系统(转发器)、遥测与指令分系统、控制分系统和电源分系统组成。

各部分的功能后面再作介绍。地面跟踪遥测及指令分系统、监控管理分系统与空间相应的遥测及指令分系统、控制分系统并不直接用于通信,而是用来保障通信的正常进行。

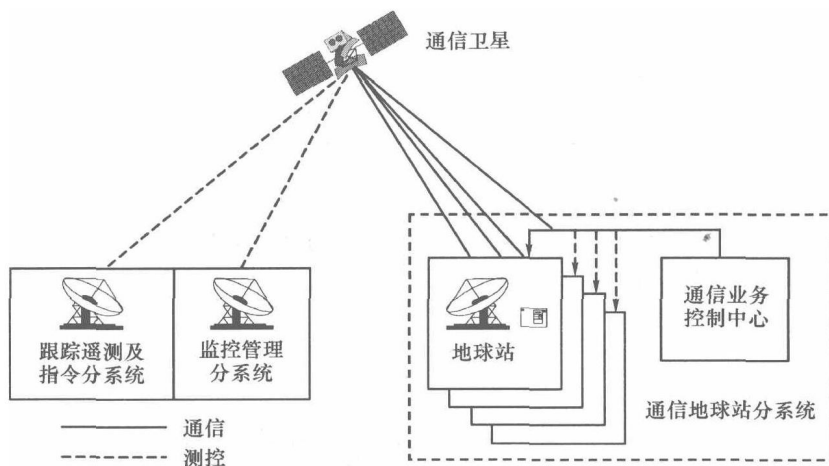


图 1-11 卫星通信系统的组成

2. 卫星通信线路的组成

一个卫星通信系统包括许多通信地球站。卫星通信线路由发端地球站、上行线传输路径、卫星转发器、下行线传输路径和收端地球站组成,可直接用于通信。其构成框图如图 1-12 所示。

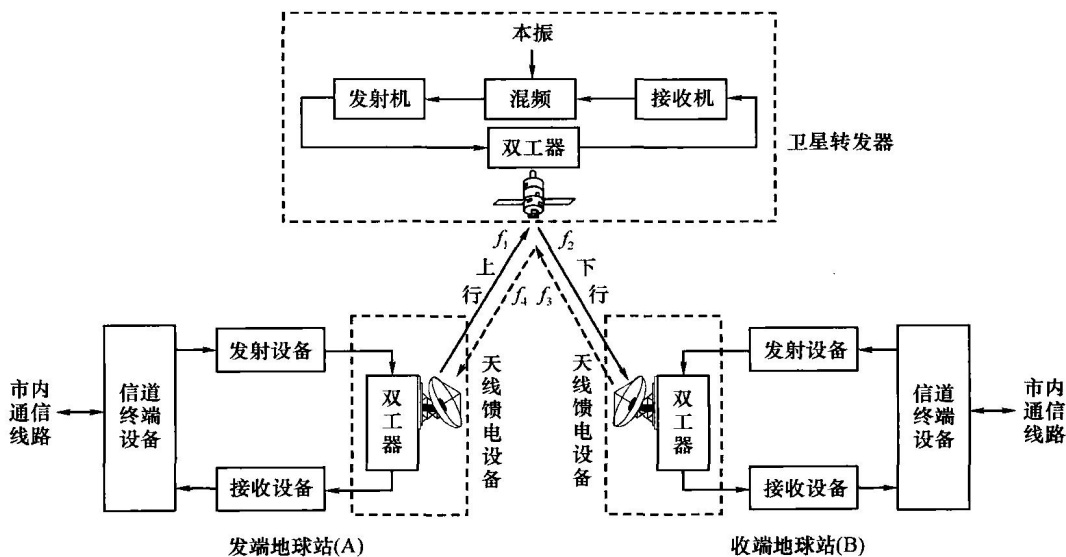


图 1-12 卫星通信线路的基本组成