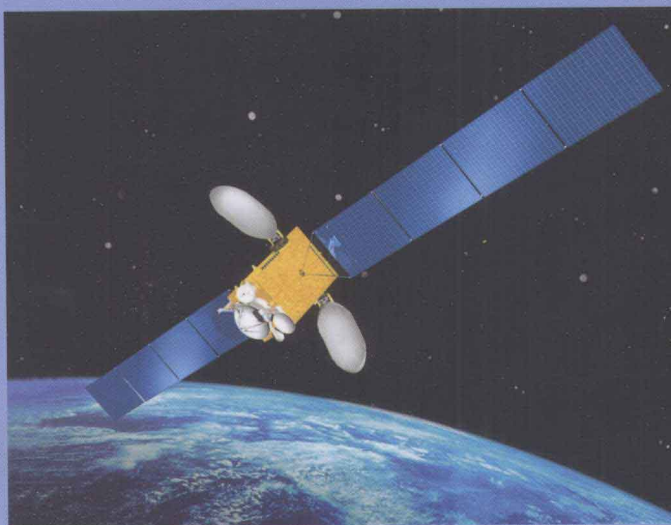


空间电子信息科学与技术系列



# 卫星通信与 数字信号处理

陈豪 胡光锐 等编著  
邱乐德 单红梅



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

# 卫星通信与数字信号处理

陈 豪 胡光锐 邱乐德 单红梅 等 编著

上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书是空间电子信息科学与技术系列之一,全书从通信卫星和信号处理两个方面,阐述卫星通信中的基本原理、设计要点和技术应用,并结合卫星工程的具体实践,对一些关键的问题给出了设计实例。全书共由11章组成,分为三个部分。第一部分主要涉及通信卫星设计和制造中需要应用的关键技术,包括卫星的轨道、卫星的构成以及卫星的主要技术参数等;第二部分详细介绍卫星通信中所涉及的数字信号处理的技术,包括信号传输、抗干扰、变换域处理、滤波、调制解调、星上交换等;第三部分展望今后卫星通信的信号处理技术的发展趋势。

本书内容丰富,系统性和可读性较强,并具有实际应用价值。本书可以作为高等院校信息工程、通信工程等专业的本科生研究生的教材和教学参考书,也可以供从事卫星通信工程的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

卫星通信与数字信号处理/陈豪等编著. —上海:  
上海交通大学出版社,2011

ISBN 978-7-313-06651-0

I. 卫… II. 陈… III. ①卫星通信②数字信号—  
信号处理 IV. ①TN927②TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 133399 号

### 卫星通信与数字信号处理

陈豪 等 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市梅李印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21.5 字数:532千字

2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

印数:1~2 030

ISBN 978-7-313-06651-0/TN 定价:98.00元

---

版权所有 侵权必究

## 空间电子信息科学与技术系列编辑委员会

---

主 任 史平彦

---

副 主 任 李 军 陈 豪

---

委 员

---

崔万照 黄普明 何兵哲 李正军 李 立 马伊民  
宋燕平 王五兔 韦娟芳 张立新 周 诠 于洪喜  
殷新社

---

# 前 言

数年前,我们在讨论数字信号处理技术在卫星通信中的应用时,感觉时下还找不到一本有关信号处理与卫星通信互相结合的书,于是萌生了编写本书的念头。我们几个既从事卫星通信技术研究,又参与数字信号处理技术应用实践的科研和教学人员,经过了长时间的通力合作,终于完成了目前这本兼具学术著作和教材性质的书。本书既可作为高等院校信息工程、通信工程等专业的本科生和研究生的教材,也可供从事空间飞行器有效载荷研究的科研人员参考。

卫星通信是通信学科的一个重要分支。近年来由于人们对信息交流的重视,卫星通信能以特有的方式提供无时间限制和无空间约束的信息传递,得到通信业界的青睐,也为实现无论何时、无论何地以及无论与谁的通信前景创造了条件。数字信号处理是在信息论的基础上,受计算机技术突飞猛进的激励而发展起来的一项重要的技术,它的应用给信号的传递、处理、再生、控制和利用开辟了崭新的途径。“数字化”的概念已经渗透到人们的生活以及各行各业,受到广泛的认同和理解。在这样的背景下,卫星通信与数字信号处理相结合就成为一种自然的选择,而这种结合突出地体现了现代卫星通信的发展趋势。自从卫星上引入了数字信号处理技术,卫星的中继站的作用不只是简单的“弯管式”中继,而是构成了功能强大的信号交换和处理的系统。目前卫星上的通信有效载荷技术不断向前发展,新型的宽带通信卫星、多媒体通信卫星、移动通信卫星以及具有一定抗干扰能力的通信卫星,都与星上转发器的处理功能相关联。可以设想,在今后的天基信息网络的构建中,卫星上采用数字信号处理技术同样会发挥重要的作用。

本书是空间电子信息科学与技术系列之一。全书共由 11 章组成,可以分为三个部分。第一部分包括 1~4 章,主要涉及通信卫星设计和制造中需要应用的关键技术,包括卫星的轨道、卫星的构成以及卫星的主要技术参数等。这些内容作为卫星通信信号处理必要的背景知识,有助于理解为什么不同种类的通信卫星所遇到的信号处理的内容是不相同的。

第二部分包括 5~10 章,主要详细介绍卫星通信中所涉及到的数字信号处理技术,包括信号传输、抗干扰、变换域处理、滤波、调制解调、星上交换等。这部分内容的突出特点是注意理论与工程实践相结合,以期能达到指导卫星通信工程实践的目的。

第三部分 11 章也是本书的最后一章,主要介绍卫星通信的相关技术如数字波束形成技术和盲信号分离技术等,并根据目前国内外卫星通信技术的发展情况,展望未来的卫星通信的信号处理技术的发展趋势,对目前迫切需要开展的研究工作提出一些设想。

下面分别介绍各章的内容:

第 1 章绪论简要讨论卫星通信业务的分类和今后的发展趋势,对卫星通信和数字信号处理的一些相关的概念作必要的阐述,简要介绍信号处理技术中比较基础和常用的内容,并对数字信号处理技术与通信之间的关系进行分析和讨论。

第 2 章主要讨论通信卫星的分类和选用的轨道,通信卫星轨道的设计是卫星设计的重要

内容,介绍相关的轨道知识,目的在于研究信号处理,如考虑多波束数字成形时,要用到卫星轨道方面的内容。

第3章主要介绍通信卫星系统和它的基本组成,通过这一章的讨论可以清晰地了解通信卫星的组成情况的全貌。通信卫星是一个比较复杂的系统,各组成部分集成在一起,互相作用并遵循一定的规律。通过本章的介绍可以明确卫星上的设备在研制过程中需要注意的问题。

第4章主要阐述设计卫星通信链路所涉及链路中的信号电平的估算和多址方式的选择。具体从传输方程出发,介绍了各个参数的物理意义以及参数估计的范围,特别提到了功率放大器的非线性参数 NPR 对信道计算的影响,对于多载波工作的信道计算有很好的参考价值。在多址方式介绍时除了传统的三种方式之外,还讨论了混合的和衍生的多址方式。

第5章介绍数字通信和信号传输的基本概念和利用卫星信道传输时的特点,特别在信号传输中对有关同步技术和差错控制技术作了重点的阐述。

第6章针对卫星扩频通信中的抗干扰技术进行分析和讨论,重点介绍利用预测技术、编码辅助技术和判决反馈技术抗窄带干扰的原理和所取得的效果。此外,还阐述了一些抗干扰处理算法的原理和有关的特性。

第7章主要阐述抗干扰处理技术中重要的变换域处理技术,重点对目前具有较好应用价值的重叠变换技术进行详细的分析,其中包含了我们研究团队的研究成果。这些成果已经在实际的通信卫星抗干扰处理中得到应用。

第8章主要介绍在带有处理功能的星上转发器中,常用的数字分路和数字合成技术。频分多址信号,对其分路与带通信号抽取的理论相关;分路后的信号在完成数字处理任务之后,还需要进行数字合成,这就与带通信号的内插的理论相关。因此,本章的内容还包含了抽样率变换的相关理论。

第9章主要包含数字传输链路的基本设计要求、通信链路对误码率的影响以及调制解调中的载波提取与同步等内容。这一章的最后给出一个全数字调制的实例,说明卫星链路实际的数字调制与解调器设计时需要注意的问题。

第10章主要介绍适合卫星上使用的交换技术,其中包括最常见的电路交换、分组交换,以及目前在卫星上逐步推行的 ATM 和 IP 交换技术。

第11章主要介绍卫星通信的相关技术如数字波束形成技术和盲信号分离技术等,并展望未来卫星通信中的数字信号处理技术的发展趋势。

直接参加本书编写的有:第1章(陈豪),第2章(陈豪、邓少平),第3章(陈豪),第4章(马文强、陈豪),第5章(许光辉、单红梅、胡光锐),第6章(孙丽萍、单红梅、胡光锐),第7章(李太杰、单红梅、胡光锐),第8章(周治宇),第9章(陈豪、邱乐德、刘宁宁),第10章(黎军),第11章(单红梅、胡光锐、周治宇、陈豪)。编写中吕晶晶、贺彬、钟兴旺、陈惜泉、王子玉等都做了大量的资料收集、整理和文字录入工作,在此深表谢意。

本书在编写过程中参阅了大量中外资料和经典著作,均已列入书后的参考文献,在此谨向这些文献的作者表示深切的感谢。

本书的出版还要感谢中国空间技术研究院神舟学院和神舟学院西安分院的大力支持。

书中有不妥之处,敬请广大读者予以批评指正。

编者

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 卫星通信 .....	1
1.1.1 卫星通信业务的种类.....	2
1.1.2 卫星通信的发展趋势.....	3
1.2 数字卫星通信 .....	5
1.2.1 数字通信.....	5
1.2.2 数字卫星通信.....	6
1.3 卫星通信中的数字信号处理 .....	8
1.3.1 数字信号处理的概念和应用.....	8
1.3.2 数字信号处理的实现.....	9
1.3.3 卫星通信与数字信号处理的关系 .....	10
<b>第 2 章 通信卫星分类和轨道</b> .....	11
2.1 概述.....	11
2.2 卫星轨道.....	12
2.2.1 时间和坐标系 .....	12
2.2.2 卫星轨道基本参数及计算 .....	16
2.2.3 卫星位置与地面站计算 .....	18
2.3 对地静止轨道卫星.....	20
2.3.1 特点 .....	20
2.3.2 对地静止卫星的地球覆盖 .....	20
2.3.3 通信工作模式 .....	22
2.4 非对地静止轨道卫星.....	24
2.4.1 特点 .....	24
2.4.2 单轨道平面卫星群的工作模式 .....	26
2.4.3 卫星星座 .....	27
2.4.4 用于移动卫星服务的轨道构成 .....	32
2.5 轨道对通信系统性能的影响.....	33
2.5.1 多普勒频移 .....	33
2.5.2 距离产生变化 .....	35
2.5.3 星蚀 .....	35
2.5.4 日凌中断 .....	37

<b>第 3 章 通信卫星系统</b> .....	38
3.1 概述 .....	38
3.2 通信卫星的有效载荷 .....	39
3.2.1 转发器系统 .....	39
3.2.2 天线系统 .....	43
3.3 通信卫星的平台 .....	45
3.3.1 姿态和轨道控制系统 .....	46
3.3.2 推进系统 .....	50
3.3.3 遥测、跟踪和指令系统 .....	51
3.3.4 电源系统 .....	54
3.3.5 热控系统 .....	57
3.3.6 结构系统 .....	59
3.4 通信卫星的总体设计 .....	60
3.4.1 空间环境的影响 .....	61
3.4.2 通信卫星的功率和重量 .....	62
3.4.3 卫星的寿命和可靠性 .....	66
<b>第 4 章 卫星通信链路和接入方式</b> .....	70
4.1 卫星通信链路 .....	70
4.1.1 传输方程 .....	70
4.1.2 天线的特征参数 .....	71
4.1.3 自由空间传输时接收端的信号功率 .....	73
4.1.4 卫星通信链路中的传输损耗 .....	75
4.1.5 接收机输入端的噪声功率 .....	77
4.1.6 接收机输入端的载噪比 C/N 与 G/T 值 .....	81
4.1.7 噪声功率比(NPR)及其对卫星通信链路的影响 .....	82
4.2 卫星通信链路接入方式 .....	83
4.2.1 频分多址(FDMA)方式 .....	84
4.2.2 时分多址(TDMA)方式 .....	86
4.2.3 码分多址(CDMA)方式 .....	90
4.2.4 空分多址(SDMA) .....	96
4.2.5 随机(争用)多址和可控(预约)多址 .....	97
<b>第 5 章 数字通信技术和信号传输</b> .....	101
5.1 概述 .....	101
5.1.1 数据传输系统的组成及其主要指标 .....	101
5.1.2 数据传输系统的主要技术问题 .....	103
5.2 数字信号的基带传输 .....	106



5.2.1	基带信号在信道中传输的特点	106
5.2.2	无码间干扰的基带传输特性	107
5.2.3	幅度滚降特性	108
5.2.4	基带传输的误码性能	110
5.3	同步技术	111
5.3.1	载波同步	111
5.3.2	位同步	114
5.3.3	群同步	119
5.4	差错控制	122
5.4.1	反馈纠错	122
5.4.2	前向纠错	123
<b>第 6 章</b>	<b>卫星扩频通信抗干扰技术</b>	<b>129</b>
6.1	采用预测技术的抗干扰方法	130
6.1.1	线性预测技术	130
6.1.2	非线性预测技术	134
6.2	编码辅助的抗干扰技术	140
6.2.1	采用线性 MMSE 检测器的窄带干扰抑制技术	140
6.2.2	单音干扰	142
6.2.3	自回归 (AR) 干扰	144
6.3	基于判决反馈的抗窄带干扰方法	146
6.3.1	基于判决反馈的抗窄带干扰方法的基本原理	146
6.3.2	基于改进的判决反馈的抗窄带干扰方法	148
6.3.3	单音干扰下判决反馈器抽头权值的确定	150
6.3.4	信干比的改善量	152
6.3.5	误差概率分析	153
6.3.6	误差传播对误差概率的影响	154
6.4	随机梯度下降法	155
6.4.1	维纳滤波器	157
6.4.2	最小均方算法 (LMS)	158
6.4.3	归一化的 LMS 算法	160
6.4.4	直接判决算法	162
<b>第 7 章</b>	<b>变换域信号处理</b>	<b>163</b>
7.1	变换域的概念以及几种变换方式	163
7.1.1	信号模型	163
7.1.2	块变换	167
7.1.3	重叠变换的发展	173
7.2	时频分析用于通信抗干扰	177

7.2.1	时频分析的历史	178
7.2.2	时频分布的基本理论	180
7.2.3	单频干扰的时频抑制处理	184
7.3	实时变换域滤波技术	189
7.3.1	窄带干扰抑制	189
7.3.2	宽带干扰抑制	195
<b>第8章</b>	<b>数字分路与合成</b>	<b>198</b>
8.1	概述	198
8.2	多采样率信号处理理论基础	199
8.2.1	整数倍抽取(Decimation)	199
8.2.2	整数倍内插(Interpolation)	203
8.2.3	采样率分数倍变换	205
8.2.4	滤波与抽取和内插的互换	205
8.2.5	滤波器的多相结构	207
8.2.6	抽取器和内插器的多相结构实现	208
8.2.7	带通信号采样率变换理论	210
8.3	数字分路与合成——滤波器组	214
8.3.1	分路与合成的整带型实现	215
8.3.2	分路与合成的正交型实现	216
8.3.3	分路与合成的高效实现——DFT 滤波器组	218
8.3.4	一个简单的例子	222
<b>第9章</b>	<b>数字调制与解调</b>	<b>223</b>
9.1	卫星数字传输链路	223
9.1.1	数字信号的基带传输特性	223
9.1.2	基带通信链路传输	225
9.1.3	数字信号的带通传输	226
9.2	数字调制和解调	232
9.2.1	概述	232
9.2.2	二相相移键控(BPSK)调制	233
9.2.3	四相相移键控(QPSK)调制	235
9.2.4	数字调制的误码特性	237
9.3	QPSK 信号全数字解调	245
9.3.1	数字解调原理	246
9.3.2	数字解调的旋转变换算法	248
9.3.3	系统组成	249
9.4	数字调制和解调的工程实现	254
9.4.1	卫星通信链路中调制方式的选择	254

9.4.2	非理想信道的 BER 恶化 .....	257
9.4.3	$E_b/N_0$ 的测量 .....	263
9.4.4	载波恢复的基本方法 .....	264
9.4.5	定时恢复的基本方法 .....	270
<b>第 10 章</b>	<b>星上交换技术 .....</b>	<b>275</b>
10.1	概述 .....	275
10.2	卫星电路交换技术 .....	275
10.3	卫星 ATM 交换技术 .....	277
10.3.1	卫星 ATM 交换网络构架 .....	278
10.3.2	卫星环境中 ATM 交换技术 .....	281
10.3.3	卫星 ATM 交换结构 .....	281
10.3.4	卫星 ATM 交换协议体系 .....	284
10.3.5	卫星 ATM 交换应用方式 .....	288
10.4	卫星 IP 交换技术 .....	289
10.4.1	卫星 IP 交换网络构架 .....	289
10.4.2	卫星环境中的 TCP/IP .....	290
10.4.3	卫星 IP 交换实现模式 .....	290
10.4.4	卫星 IP 交换协议体系 .....	292
10.5	卫星分组交换 QoS 保证技术 .....	294
10.5.1	QoS 参数定义 .....	295
10.5.2	影响 QoS 参数的网络特征 .....	296
10.5.3	卫星分组交换 QoS 保证技术 .....	296
10.6	卫星交换技术发展前景 .....	302
<b>第 11 章</b>	<b>相关技术及今后发展趋势 .....</b>	<b>303</b>
11.1	概述 .....	303
11.2	数字波束形成技术 .....	303
11.2.1	接收信号模型 .....	304
11.2.2	接收数字波束形成原理 .....	305
11.2.3	发射数字波束形成原理 .....	306
11.2.4	数字波束形成系统的分类 .....	307
11.3	盲信号分离技术 .....	310
11.3.1	盲信号分离技术基本理论 .....	311
11.3.2	盲信号分离的基本方法 .....	313
11.3.3	盲信号分离算法 .....	315
11.3.4	盲信号分离技术的应用 .....	316
11.4	对下一代卫星通信的展望 .....	317
11.4.1	卫星星座发展趋势 .....	318

11.4.2	卫星通信技术发展趋势.....	319
11.4.3	卫星通信业务趋势.....	320
11.4.4	卫星通信商业发展趋势.....	323
11.4.5	尚未完全解决的课题.....	324
11.5	结束语.....	324
11.5.1	更高更快的处理能力和更有效的算法.....	324
11.5.2	与新的技术相结合,拓展应用领域.....	325
11.5.3	适合空间应用的高速大规模集成电路和数字信号处理平台.....	325
附录.....		326
参考文献.....		331

# 第 1 章 绪 论

进入 21 世纪以来,与人们日常生活联系非常紧密的卫星通信广播事业飞速发展,卫星通信作为卫星应用的重要方面,已经形成一个产业,成为国民经济中不可忽视的一个部分,所占的比重逐年增长。距 A·C·克拉克在无线电世界上发表著名的论文“地球外的中继站”已经半个多世纪了,克拉克本人在 2003 年世界卫星目录的序言中惊叹:“我几乎不能相信,现代的卫星通信产业已经发展到了如此规模。仅仅在我提出利用人造地球卫星进行通信广播的半个世纪之后,它们已经给人类带来了巨大的利益。……从这本厚厚的目录里可以看到卫星产业和它的分支具有多么令人敬畏的规模。当我听到卫星广播同时有几百个 TV 信道在工作时,我由此会稍稍产生一点忧虑:现代社会是如何来应对如此奔流的信息和娱乐。”

目前,卫星通信在国际通信、国内通信、国防通信和广播电视等领域都得到了广泛的应用。随着现代通信技术、计算机技术、航天技术和半导体集成电路技术的不断发展,卫星通信也得到了飞速发展,它也是当前通信领域发展最为迅速的领域之一。卫星通信具有其他通信方式无法比拟的优点,尤其是在解决通信不发达地区、人口稀少地区及边远地区的通信问题方面具有不可替代的作用。现在,世界上所有的国家,无论是发达国家,还是发展中国家,都非常重视卫星通信事业的发展,投入大量的资金和技术力量,以求在卫星通信方面占有一席之地。

我国的卫星通信事业开始于 20 世纪 70 年代,具有标志性意义的事件是 1970 年 3 月 31 日,发展中国卫星通信工程正式获得批准,东方红 2 号同步通信卫星的研制工作正式开始。1984 年东方红 2 号通信卫星发射成功,奠定了发展中国卫星通信事业的基础。随后相继发射成功三颗东方红 2 号甲应用通信卫星,以及东方红 3 号中等容量通信卫星,开创了卫星通信的新局面。东方红 3 号通信卫星加上引进的中星 7 号、中卫 1 号、鑫诺 1 号和亚洲卫星公司及亚太卫星公司拥有的大容量同步静止轨道卫星,基本上满足了我国卫星通信对卫星转发器的需求。目前我国的通信卫星正朝着大容量、高可靠、长寿命方向发展,以满足飞速发展的卫星通信事业的需要。

## 1.1 卫星通信

早期的卫星通信业务主要集中在话音业务和电视转播业务上,由于卫星通信具有覆盖范围广、频带宽、容量大、不受地理条件限制、性能稳定可靠、通信成本与地面距离无关等一系列优点,因此被人们广泛认同和使用,发展非常迅速。通信技术和航天技术日新月异的发展,为卫星通信技术进一步发展创造了良好的条件,各种新型业务不断地涌现出来。而卫星通信的新的需求反过来又推动航天、通信和其他相关技术的发展,这样互相促进,才有了今天的卫星通信的大好局面和发展机遇。下面就卫星通信业务的分类和发展趋势进行阐述。

### 1.1.1 卫星通信业务的种类

卫星通信业务可以有各种不同的分类方法,这里以业务的性质来进行分类。卫星通信业务一般可以分为卫星固定通信、卫星移动通信、卫星直接广播以及兼顾固定、移动和广播业务的通信方式。为了适应人们日益增长的应用需求,未来卫星通信业务也必将随着技术的进步,不断得到深化和发展,以适应这一需求。

#### 1.1.1.1 卫星固定通信业务

卫星固定通信主要利用静止轨道卫星进行通信。具体的业务又可以分为国际卫星通信、国内和区域卫星通信。

国际卫星通信主要利用赤道上空的多颗卫星组成空间链路,沟通地球赤道南北的绝大部分区域。为了满足覆盖区的要求,卫星天线的波束形式有全球的、半球的、区域的和点波束等,这些波束可以单独或组合使用。要适应地面接收和频率复用的天线的极化形式可以采用不同的圆极化和线极化。通信使用的频段从 C 频段、Ku 频段向 Ka 频段和更高频段发展。

卫星固定通信对应的地球站,根据不同的卫星和使用要求,配置了各种标准的地球站来适应各种不同的业务要求。从发展的趋势看,地球站天线的口径逐渐减小,数字化程度愈来愈高,因而体积也就大大地减小,功能却得到加强。往往一个地球站可以完成多种功能。全球最大的卫星固定通信业务经营商——国际通信卫星组织,现有 8 种不同类型的地球站,用来满足不同国家和不同地区的通信业务要求。

国内和区域卫星通信,与国际卫星通信比较无本质上的区别。一般也是利用静止轨道卫星。对于卫星天线而言,国内和区域卫星通信业务要求的天线覆盖区,只是局限在某一国家或地区,因此往往要求对天线进行特定的赋形设计。

#### 1.1.1.2 卫星移动通信业务

当前卫星移动通信处于比较活跃和竞争激烈的状况,一方面它采用的技术是最先进和最富有挑战性的,另一方面它受地面蜂窝网和光纤通信网的冲击也是最大的。但是,由于卫星移动通信能够真正地实现对地球上任何地点、任何时间和任何人的通信,以及它在数据传输方面的优越性和易于与其他应用相结合的优点,所以它的发展虽有曲折,但势头不减。

目前卫星移动通信有两种不同的构成形式,一种是采用中低轨道卫星星座的结构,星座中的卫星大都是一些中小卫星;另一种用一个静止轨道卫星来实现运动中的通信。这两者有相同之处,也有不同。相同点是它们都要求满足移动用户的通信,如车载、机载和手持机之间的通信,不同点是中低轨道卫星星座的移动通信基本上能够满足全球范围内运动中的通信,而单个静止轨道卫星的移动通信只能满足国内和区域性的移动通信。

为人们熟知的铱系统(Iridium)是典型的全球卫星移动通信系统,它是由美国摩托罗拉公司倡导发展起来的庞大的通信系统,由 66 颗卫星组成星座。卫星上采用了先进的数字处理和交换技术、多波束天线技术。为了避免多跳引起时延过长,卫星之间有星际链路。

静止轨道卫星的移动通信系统的成功范例,应当首推海事卫星(Imarsat)系统,因为该系统首先实现了商业的国际卫星移动通信业务。这个卫星系统从第一代 1982 年投入使用以来,经过十几年的改进和完善,在 1996 年 4 月 3 日成功地将第三代 INMARSAT 卫星发射成功,定点于印度洋区域上空,完成了全球移动通信系统的构建工作。INMARSAT 系统的移动终端一共有六种标准类型,分别适用于海上、陆地和航空的业务。海事卫星和移动终端以及对应

的关口站一起构成了目前世界上独一无二的、借助手提箱式或笔记本式终端实现语音、数据及传真等综合业务的全球卫星移动通信系统。

近年来还相继建成了另外一些静止轨道卫星的移动通信系统,其中有移动卫星-2 (MSAT-2)系统、亚洲蜂窝卫星(AceS)系统、瑟拉亚-1(Thuraya-1)系统等,这些系统大多是国内和区域卫星移动通信系统。

### 1.1.1.3 卫星直接广播业务

现代的卫星直接广播业务包含两方面,即卫星数字电视直播和卫星数字声音直播。

卫星数字电视直播包括两种业务,一种是直播卫星(DBS)业务,另一种是直接到家(DTH)业务,DTH业务除了数字电视直播外,还包含其他的各种业务。这两种业务都属于固定卫星业务,都是采用静止轨道卫星。每家每户都可以用电视单收站接收数字电视信号。

美国在卫星数字电视直播上处于世界领先地位,1993年12月美国发射了第一个直播卫星DBS-1,首次开通了卫星数字电视直播个体接收业务。卫星数字电视直播采用Ku频段,用户只要用0.5m左右的天线就可以接收电视节目。

卫星数字声音直播是由世广卫星集团(WorldSpace)发展起来的全球覆盖L频段卫星数字声音直播系统。该系统安排用3颗静止轨道卫星(非洲星、亚洲星、美洲星)来完成全球范围的,能直接向便携式接收机传送高质量的声音、数据和图像等多媒体信息的服务。其中每颗卫星能够提供100多个频道的CD音乐、新闻和体育节目。

### 1.1.1.4 卫星综合应用业务

随着卫星技术和地面设备的不断发展,卫星固定通信业务、卫星移动通信业务和卫星直接广播业务之间已经开始相互融合,这使得同时提供以上三种业务的通信卫星成为可能。

卫星固定通信业务和卫星直接广播业务的用户终端不断向着小型化和可移动化的方向发展,这与卫星移动通信业务的终端的区别也越来越小,将来就有可能把它们统一做成一个终端;而从各类卫星通信业务的本身而言,这三种传统卫星通信业务的差别也一直在缩小,因此在一个终端上实现这三种业务是完全可能的。据报道,现在已经研制出了能同时实现移动通信和移动视频两种功能的小型终端。可以想象,随着DTH业务的迅速发展,势必会把通信卫星和广播卫星的存在变得没有必要;而手机电视的革命会将固定、移动和广播通信这三项业务在宽带多媒体通信的发展中完全统一起来,一旦这三项业务的融合能真正达到实用,必将使人们的生活更加便利、更加丰富多彩。

## 1.1.2 卫星通信的发展趋势

传统的卫星通信仅仅是提供透明的传输通道,包括卫星上的透明转发器和地球站的通道设备,发挥的是卫星在远距离通信上的成本优势,但是在地面光网络高速发展的挑战下,容量和成本的优势已经不复存在。未来的卫星通信将更多地发挥其在方便地通达各个网络的层次,以及提供不对称链路方面的优势。这种优势在业务上的表现就是,通信越来越方便地进入终端用户,客户所需要的信息和服务更快捷地直接传递给用户,如电视直播、数据信息广播、Internet下载、远程教育和培训、远程医疗、远程监控等。

为了充分发挥卫星通信一点对多点广播的优势,应该将卫星通信与网络技术紧密地结合起来,依靠发挥卫星系统组网快捷、灵活,网络成本与距离不敏感的优势,加上星上数字处理功能的日益完善和强大,可以比地面网络更为方便地提供各类广播业务、专用网业务和应急通信

等。另外对于网络的融合问题通过星上交换的方式也可以得到解决,因此可以向用户提供综合业务。

下面还按照上节中提到的通信业务的几个方面说明卫星通信的发展趋势。

### 1.1.2.1 卫星固定通信的发展趋势

卫星宽带业务是卫星固定业务的主要发展方向。发展卫星宽带通信业务是为了适应发展太空信息高速公路的需要,也是近年来提出的发展天际信息网的需要,重点解决高速数据传输、实现多媒体通信以及 Internet 接入的需求。

为了更好地满足波束覆盖、时延约束、链路特性和网络管理等不同的要求,需要发展各种轨道形式的卫星以及各种星座结构,其中包括低轨星座,高中轨星座以及小卫星星座;为了避免星地多跳中继,实现广域大跨度单跳连接,卫星之间要求采用星间链路;为了提高传输带宽和通信容量,卫星通信频段将由传统的 C 和 Ku 频段提高到 Ka 频段或更高的 Q 和 V 频段,甚至采用激光通信;卫星天线将由传统的双栅频分复用赋形反射面天线,向空间分割频率复用的多波束可控天线方向发展;为了提高信号传输的灵活性和效率,卫星转发器将由传统的透明转发器,向能对上行信号进行再生处理和完成各种交换功能的处理转发器方向发展;为了有效地提高信道的频带和功率的利用率,将采用各种先进的语音压缩和视频图像压缩技术以及先进的编码、调制解调和再调制技术。

代表上述发展方向的、已发射的静止轨道卫星,是 2002 年发射的热鸟-6 卫星。星上一共有 32 个转发器,其中 28 个是 Ku 频段的,另外 4 个 Ka 频段的,这 4 个转发器具有处理功能。为实现星上交换功能,配置了 8 个名为 SKYPLEX 单元的网络,它传输数字电视和无线电广播,能覆盖欧洲和北非以及中东大部分地区,构成了世界上最大的直播卫星系统。目前静止轨道固定业务卫星通信系统还有 Astrolink 系统和 Spaceway 系统等,低轨道固定业务的卫星通信系统有 Teledesic 系统。这些系统有的将支持高速数据传输,满足多媒体和互联网应用的需要。例如 Spaceway 系统下行链路传输速率达到 100Mbps,总容量达到 4.4Gbps,在该系统中采用 256 正交幅度调制(256QAM)代替 QPSK,下行传输速率可达 400Mbps,总容量提高到 17.6Gbps。

### 1.1.2.2 卫星移动通信发展趋势

未来的卫星移动通信发展的总趋势是:从单一的话音业务向多种业务方向发展,从窄带业务向宽带业务发展,从单独组网向多网互联组合的方向发展。面对数量巨大的地面移动终端用户,对星上通信有效载荷提出了很高的要求,要求星上处理器能够具备信号处理和快速交换的能力。

位于同步轨道的大型移动通信卫星未来的发展趋势是:朝着采用大型可展开多波束天线、高 EIRP 技术、采用星上处理和交换技术等方向发展。而对于中低轨道移动通信卫星星座而言,未来发展的重点应该在星间链路、宽带以及多种业务共用和星上处理等方面。卫星的通信链路未来可以通过地面关口站与地面通信网相互连接,借助地面通信网的优势,实现与地面通信网的互连互通和在多制式网络中的相互漫游,充分发挥天地通信网各自的优势,最终能够达到与地面通信网组成全球的无缝隙覆盖的个人移动通信系统,实现个人移动通信的理想。

卫星移动通信系统的目标开始是进行多种业务的融合,以及构建应用和技术之间的互相关联,如将陆地网络直接接入、固定和移动终端的互联网服务、交互式多媒体应用和高数据率传输等方面连接起来。提供的多种业务,尤其是多媒体服务,大多数是建立在非同步轨道卫星



网络基础上的,因为非同步轨道卫星传输时延短、路径损耗小,相对而言技术难度有所降低。

随着三代(3G)和四代(4G)无线移动通信技术的应用和发展,卫星移动通信受到前所未有的关注。在世界范围内,电信部门正启用三代移动通信系统,研究部门探索新一代无线通信系统的新思路,其中包括高数据率传输(最高达到 1Gbps)、多媒体通信、全球无缝接入、服务质量(QoS)管理、高用户容量、与四代技术兼容等。为了适应发展的需要,研究专注于新的卫星移动通信系统,并称之为基于卫星通信的信息高速公路。

### 1.1.2.3 卫星直接广播通信的发展趋势

为了提高广播电视节目质量,改善视听效果,扩大应用领域,增强竞争力,国外数字广播电视卫星直播业务发展趋势为:增大卫星转发器发射功率,减小地面用户接收天线的口径;共用卫星区域波束和点波束,发射功率动态可调,以增大卫星服务区覆盖灵活性;改进数字压缩技术,提高卫星转发器单位带宽传输容量;对传输信道加扰、加密,实现条件接收和对用户的授权接收管理;由只传输电视的单工接收式发展为双工交互式,提供用户点播服务;用户终端既可供家中固定用户收视,亦可供移动着的汽车用户收视;与地面因特网和有线电视网结合,组成多功能综合业务平台;在标准清晰度数字电视基础上,发展高清晰度数字电视直播业务;设立太空电影院,直播高清晰度数字电视,促进电影业的发展。

## 1.2 数字卫星通信

本节从数字通信概念出发,叙述有关数字卫星通信的内容。

### 1.2.1 数字通信

随着现代通信理论和电子技术的快速发展,人们已经认识到数字通信在通信中的重要作用,也真切体会到数字技术带来的种种好处。在数字技术的不断发展的推动下,数字通信的速率也向更高和更低两个方向不断发展。一方面为了提高系统传输信息的能力,则往往要求更高的数据速率,目前传输数据的速率可以达到几百兆比特/秒或上千兆比特/秒;但是另一方面,为了减小单路话音占用的频带宽度,提高频带利用率,则要求尽可能地降低单路数字话音的速率,在降低速率的同时,还要求能无失真地恢复出语音信号,目前单路数字话音的速率已经由 2 400bps 降低到 600bps。

数字通信具有许多优点,最突出的是它的兼容性、灵活性和经济性,这使得数字通信应用范围越来越广了。下面具体介绍它的这几个特点。

#### 1.2.1.1 兼容性

由于数字通信中传输的信号是由‘0’和‘1’组合构成的脉冲序列,它与电话、图像、数据等原始信号的性质没有特别的依赖关系。正是这一基本特性产生出很强的兼容性。使得在一个通信网络中可以经济地适应多种通信业务的要求,能够适应计算机通信和数据通信的需要,有利于综合业务数字网的实现。

在数字通信系统中一般都包括有数字调制解调、数字缓冲寄存单元,这样很容易与多址接入相兼容。数字形式也可以适应于保密通信的需要,在信号中进行加密和采用其他的安全保障措施。另外数字的方法还可以用在需要载波能量扩散和频谱扩展的情况,在军事通信中常见的扩频和跳频通信就是这方面的例子。数字通信还能够与发展的新技术相结合并与之相兼