

21

世纪

信息与通信技术教程

卫星通信

(第三版)

■ 丹尼斯·罗迪 著

■ 张更新 刘爱军 张 杭 童新海 译

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

Mc
Graw
Hill

麦格劳-希尔教育出版集团

21 世纪信息与通信技术教程

卫星通信 (第三版)

丹尼斯·罗迪 著

张更新 刘爱军 张 杭 童新海 译

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

卫星通信/(美)罗迪著;张更新等译. —3版. 北京:人民邮电出版社, 2002.5

21世纪信息与通信技术教程

ISBN 7-115-10098-5

I. 卫... II. ①罗...②张... III. 卫星通信—教材

IV. TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 036475 号

21 世纪信息与通信技术教程

卫星通信(第三版)

-
- ◆ 著 丹尼斯·罗迪
译 张更新 刘爱军 张 杭 童新海
责任编辑 梁 凝
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线: 010-67180876
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 27
字数: 649 千字 2002 年 5 月第 1 版
印数: 1 - 4 000 册 2002 年 5 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记 图字: 01-2001-3980 号
ISBN 7-115-10098-5/TN · 1843
-

定价: 45.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

内 容 提 要

本书涵盖了卫星通信的基本理论、发射方法及实际应用等各个方面。对硬件进行了完整的描述,包括卫星结构、天线、地球站及星上系统。涉及了许多边缘应用,比如无线 Internet、电话、全球定位系统(GPS)及数字电视的全球广播等。包括了 ATM、TCP/IP、LEO 卫星组网、移动系统及星上交换等新内容。给出了有关计算方法、轨道、链路、多址接入、信号、调制及干扰的细节。所有的例子和习题都以 Mathcad 的形式来给出,把数学计算的复杂程度降到最低。第三版中新增的内容有:更多地涉及到 CDMA;增加卫星 Internet 一章;增加数字电视广播一章;扩展了有关对地静止轨道的章节;纠错编码;对新应用和新增长点的展望。

本书是一本非常好的教科书和专业参考书。可作为高等院校通信专业高年级学生和研究生教材或参考书,也可供从事卫星通信的工程技术人员学习参考。

1403-19

版 权 声 明

Dennis Roddy

Satellite Communication

ISBN:0-07-137176-1

Copyright©2001 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Posts and Telecommunications Press.

本书中文简体字翻译版由人民邮电出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2001-3980 号

关于作者

丹尼斯·罗迪(Dennis Roddy)是位于加拿大安大略省打雷湾(Thunder Bay)Lakehead 大学的一名退休的电子工程教授。他讲授过的课程有卫星通信、通信系统、光通信及模拟电路的分析和设计等。他在工业和专业技术教育领域有超过 40 年的实际工作经验。他曾经发表过的著作有:《Radio and Line Transmission》第一、二卷、《Introduction to Microelectronics》、《Microwave Technology》及《Satellite Communications》的前两版。另外,他还与别人合著过几本教材,并发表过题材广泛的科技论文和研究报告。

译者序

卫星通信作为一种通信方式已存在了近半个世纪,目前,它在国际通信、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,卫星通信自诞生到今天已得到了迅速的发展,也是当前通信领域发展最为迅速的领域之一。它具有许多其他通信方式无法替代的突出优点,尤其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等方面具有不可替代的作用。

正如一位读者在 Amazon 电子书店的留言中所说:“这是一本有关卫星通信的真正经典的教材。罗迪以一种非常容易理解的方式来写作,并且包括了大量的例子和习题。如果你希望对卫星通信的基本概念有更多的理解,请阅读这本书。”通过翻译,我们深深体会到,这本书确实具有许多国内同类其他教材所不具备的特点:它内容广泛,基本概念介绍得非常清楚,通俗易懂,理论结合实际并有大量的例子和习题。因此,我们认为这是一本好教材,可作为国内各大专院校通信学科各专业高年级学生和研究生教材或参考书。由于其紧密结合实际且没有太多数学推导的特点,对于即将或已经从事卫星通信工作的有关工程技术人员来说,本书同样是一本不可多得的教材和参考书。

本书共分 17 章及 8 个附录,其中第 2、3 和 7 章由张更新翻译;第 1、8、14、15、16 和 17 章由刘爱军翻译;第 9、10、11、12 和 13 章由张杭翻译;第 4、5、6 章及 8 个附录由童新海翻译。全书译文最后由张更新统一审核并定稿。

在本书翻译过程中,我们得到了景斌、张峥峥、赵杭生和张珈曦等同志的关心和支持,在此表示衷心的感谢。张建设、柴俊领、郝学坤、吕智勇、马文锋等同志对本书的翻译提供了大力支持和协助,在此表示深深的谢意。甘仲民、杨千里、朱德生、马刘非、杨喜根、李广侠、张邦宁、周顺海、周建兵、许晔锋、易强等同志对本书的翻译也给予了关心和支持,在此一并表示感谢。

译者本着忠实于原文、按照中文习惯组织文字、尽量意译的原则翻译了这本书,虽力求能完整、准确地把原文翻译出来,但由于水平有限,中译本中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

译者

2001 年 11 月

前 言

《卫星通信》第三版和读者见面了。和前两版一样,第三版尽量为读者提供更多的有关卫星通信方面的内容,同时在理论叙述方面保持了一定的深度,以便读者能在此基础上进行更深入的研究。

书中引用了大量的数学公式,它是一种工具,可便于读者更好地理解所阐述的物理概念并得到定量的结果。为了便于阅读,书中尽量避免使用冗长的数学推导。书中提供了大量的例子和习题,它们可以用简单的计算器或一些计算机数学软件来解答。Mathcad¹ 是用来解题的一个极好的工具,在本书的大部分例子中都使用了它。基本的 Mathcad 符号和运算方法在附录 H 中给出。在计算卫星链路的性能时,广泛使用了分贝及相关的单位。如果读者对一些比较专业的计量单位还不太熟悉,则可以在附录 G 中找到对这些计量单位的解释。

第三版中主要增加了与数字卫星业务有关的内容。数字卫星业务是目前发展非常迅速的领域,尤其是其中的直播卫星业务(主要是电视)和因特网,本书针对这些课题新增了两章。差错检测和纠正是数字传输所具有的基本特征,本书用单独一章来专门研究这一课题。有关码分多址接入和其他数字传输方法的章节内容,在第三版中也进行了扩展。

与前两版一样,在第 2 章中给出了有关轨道机理的基本概念。由于对地静止轨道的独特地位和广泛应用,本书专门用了一章来介绍这方面的内容。非对地静止卫星的使用目前正在明显增加,本书也对它们拟提供因特网应用的利用低地球轨道(LEO)和中等地球轨道(MEO)的较新系统进行了描述。铱系统是一个由 66 颗低轨道卫星组成的系统,它设计用来向全球提供移动通信业务,但在 2000 年宣布破产,其业务没有进行下去。鉴于此,在本书第三版中没有对铱系统进行详细描述。在 2000 年 12 月,组成了一个新的公司——铱卫星有限公司(Iridium Satellite LLC.)。有关该公司及其已提供业务或拟提供业务的详细情况,可访问网站 <http://www.iridium.com/>。在第三版的写作过程中,作者大量使用了万维网(WWW),书中给出了所参考的网址。以前以表格形式列在附录中的有关人造卫星的列表,现在可以在附录 D 中给出的网址上找到。使用这些网站上给出的列表的优点是可以始终获得当前最新的数据。

本书中的大量信息是来源于各公司、专业组织及政府部门。书中给出了这些信息的提供者。作者要感谢这些提供信息的人们。作者也要感谢提出了许多修改意见并且对课堂教学中使用的草稿进行了订正的 Lakehead 大学的学生们。作者还要感谢计算机科学公司(Computer Sciences Corporation)的亨利·德莱夫(Henry Driver)博士,是他对测地位置的计算内容进行了仔细的校正并提出了参考意见。作者欢迎读者对本书进行评论和提出建议,作者的电子邮件地址为 dennis.rodny@lakeheadu.ca。还有卡罗尔·拉维,她保证了整个编辑过程能按计划非常顺利地完;责任编辑史蒂夫·张伯曼对本书第三版的工作起了巨大的推动作用,作者在此一并表示感谢。

丹尼斯·罗迪
安大略省打雷湾
2001 年 1 月

¹ Mathcad 是 Mathsoft 公司的注册商标

目 录

第 1 章 卫星系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 卫星业务的频率分配	1
1.3 INTELSAT	3
1.4 美国的 Domsat	8
1.5 极轨卫星	12
1.6 习题	17
第 2 章 轨道和发射方法	18
2.1 引言	18
2.2 开普勒第一定律	18
2.3 开普勒第二定律	19
2.4 开普勒第三定律	19
2.5 围绕地球旋转的卫星的有关术语的定义	20
2.6 轨道要素	22
2.7 远地点和近地点高度	24
2.8 轨道摄动	24
2.8.1 非球形地球的影响	24
2.8.2 大气阻力	27
2.9 倾斜轨道	28
2.9.1 日历	28
2.9.2 世界时	29
2.9.3 儒略日期	30
2.9.4 恒星时	31
2.9.5 轨道面	32
2.9.6 地心赤道坐标系	34
2.9.7 相对于 IJK 坐标系的地球站	36
2.9.8 地面水平坐标系	40
2.9.9 星下点	42
2.9.10 预测卫星位置	44
2.10 太阳同步轨道	44
2.11 习题	46
第 3 章 对地静止轨道	49
3.1 引言	49

3.2	天线视角	50
3.3	极座架天线	54
3.4	可见度的限制	56
3.5	近对地静止轨道	58
3.6	卫星的地球日蚀	59
3.7	日凌中断	61
3.8	发射轨道	61
3.9	习题	64
第4章	无线电波传播	66
4.1	引言	66
4.2	大气损耗	67
4.3	电离层效应	68
4.4	降雨衰减	68
4.5	其他传播损耗	71
4.6	习题	72
第5章	极化	73
5.1	引言	73
5.2	天线极化	76
5.3	卫星信号的极化	78
5.4	交叉极化鉴别度	82
5.5	电离层去极化	83
5.6	降雨去极化	84
5.7	冰晶去极化	85
5.8	习题	85
第6章	天线	87
6.1	引言	87
6.2	天线互易原理	88
6.3	坐标系	89
6.4	辐射场	89
6.5	功率通量密度	92
6.6	各向同性辐射体和天线增益	92
6.7	辐射方向图	93
6.8	波束立体角和方向性	94
6.9	有效口径	96
6.10	半波偶极子	96
6.11	口径天线	98
6.12	喇叭天线	100
6.13	抛物面天线	103
6.14	偏焦馈源	107

6.15 双反射面天线	108
6.16 赋形反射面系统	110
6.17 阵列	111
6.18 习题	115
第7章 空间段	117
7.1 引言	117
7.2 供电	117
7.3 姿态控制	120
7.3.1 自旋卫星稳定	120
7.3.2 动量轮稳定	122
7.4 位置保持	124
7.5 热控	126
7.6 TT&C 系统	127
7.7 转发器	128
7.7.1 宽带接收机	129
7.7.2 输入去复用器	130
7.7.3 功率放大器	131
7.8 天线系统	134
7.9 Morelos 通信系统	136
7.10 Anik-E 卫星	139
7.11 先进的 Tiros-N 航天器	144
7.12 习题	146
第8章 地面段	148
8.1 引言	148
8.2 家用电视单收系统	148
8.2.1 室外单元	148
8.2.2 模拟(调频)电视的室内单元	150
8.3 共用天线电视系统	151
8.4 社区共用天线电视系统	152
8.5 收发地球站	153
8.6 习题	156
第9章 模拟信号	157
9.1 引言	157
9.2 电话信道	157
9.3 单边带电话	157
9.4 FDM 电话	159
9.5 彩色电视	162
9.6 频率调制	165
9.6.1 限幅器	166

9.6.2 带宽	166
9.6.3 FM 检测器噪声和处理增益	168
9.6.4 信噪比	169
9.6.5 预加重与去加重	170
9.6.6 噪声加权	171
9.6.7 FDM /FM 电话的 S/N 与带宽	172
9.6.8 TV /FM 信号的信噪比	173
9.7 习题	174
第 10 章 数字信号	176
10.1 引言	176
10.2 数字基带信号	176
10.3 脉冲编码调制	179
10.4 时分复用	182
10.5 带宽要求	183
10.6 数字载波系统	185
10.6.1 二进制相移键控	186
10.6.2 正交相移键控	188
10.6.3 PSK 信号的传输速率和带宽	189
10.6.4 PSK 调制系统的误比特率	190
10.7 载波恢复电路	193
10.8 比特定恢复	194
10.9 习题	195
第 11 章 差错控制编码	197
11.1 引言	197
11.2 线性分组码	197
11.3 循环码	199
11.3.1 汉明码	199
11.3.2 BCH 码	199
11.3.3 里德-所罗门码	200
11.4 卷积码	201
11.5 交织	203
11.6 级联码	204
11.7 受编码影响的链路参数	205
11.8 编码增益	206
11.9 硬判决译码和软判决译码	207
11.10 自动重发请求 (ARQ)	209
11.11 习题	210
第 12 章 空间链路	212
12.1 引言	212

12.2 有效全向辐射功率	212
12.3 传输损耗	213
12.3.1 自由空间传输	213
12.3.2 馈线损耗	214
12.3.3 天线指向误差损耗	214
12.3.4 固定的大气层和电离层损耗	216
12.4 链路功率预算方程	216
12.5 系统噪声	216
12.5.1 天线噪声	217
12.5.2 放大器噪声温度	219
12.5.3 级联放大器	219
12.5.4 噪声系数	220
12.5.5 吸收网络的噪声温度	220
12.5.6 全系统的噪声温度	221
12.6 载噪比	222
12.7 上行链路	223
12.7.1 饱和通量密度	223
12.7.2 输入补偿	224
12.7.3 地球站 HPA	225
12.8 下行链路	226
12.8.1 输出补偿	227
12.8.2 卫星 TWTA 的输出	228
12.9 降雨的影响	228
12.9.1 上行链路雨衰余量	229
12.9.2 下行链路雨衰余量	230
12.10 合成的上行链路和下行链路[C/N]率	231
12.11 互调噪声	233
12.12 习题	235
第 13 章 干扰	238
13.1 引言	238
13.2 卫星线路之间的干扰(B_1 和 B_2 模式)	239
13.2.1 下行链路	241
13.2.2 上行链路	242
13.2.3 由上行链路和下行链路上的干扰引起的合成[C/I]	242
13.2.4 天线增益函数	242
13.2.5 通带干扰	244
13.2.6 接收机转移特性	245
13.2.7 规定的干扰指标	245
13.2.8 保护比	246

13.3 能量扩散	246
13.4 协调	248
13.4.1 干扰电平	249
13.4.2 传输增益	250
13.4.3 得到的噪声温度升高值	250
13.4.4 协调准则	251
13.4.5 噪声功率谱密度	251
13.5 习题	252
第 14 章 卫星多址接入方式	254
14.1 引言	254
14.2 单址接入	255
14.3 预分配 FDMA	255
14.4 按申请分配 FDMA	259
14.5 SPADE 系统	259
14.6 带宽受限和功率受限的 TWT 放大器操作	261
14.6.1 FDMA 下行链路分析	261
14.7 TDMA	264
14.7.1 参考突发	267
14.7.2 报头和报尾	268
14.7.3 载波恢复	269
14.7.4 网络同步	270
14.7.5 独特码检测	272
14.7.6 业务数据	274
14.7.7 帧效率和信道容量	274
14.7.8 预分配 TDMA	275
14.7.9 按申请分配 TDMA	277
14.7.10 话音插空和预测	278
14.7.11 数字传输的下行链路分析	281
14.7.12 对 TDMA 和 FDMA 上行链路所需功率的比较	282
14.8 用于 FDMA/TDM 工作模式的星上信号处理	284
14.9 卫星交换 TDMA	286
14.10 码分多址接入方式	290
14.10.1 直接序列扩频	291
14.10.2 地址码信号 $c(t)$	292
14.10.3 $c(t)$ 的自相关函数	294
14.10.4 捕获与跟踪	294
14.10.5 频谱扩展和解扩	296
14.10.6 CDMA 的吞吐量	297
14.11 习题	299

第 15 章 卫星业务与因特网	303
15.1 引言	303
15.2 网络层	304
15.3 TCP 链路	306
15.4 卫星链路 with TCP	307
15.5 在卫星信道中使用标准机制来增强 TCP(RFC-2488)	308
15.6 请求评述(RFC)	310
15.7 分割 TCP 连接	311
15.8 非对称信道	313
15.9 计划中的系统	314
15.10 习题	317
第 16 章 直播卫星业务	319
16.1 引言	319
16.2 轨道间隔	319
16.3 转发器的额定功率和数目	319
16.4 频率与极化	320
16.5 转发器的容量	321
16.6 数字电视的比特速率	322
16.7 MPEG 压缩标准	322
16.8 前向纠错	325
16.9 家用接收机的室外单元(ODU)	326
16.10 家用接收机的室内单元(IDU)	328
16.11 下行链路分析	329
16.12 上行链路	334
16.13 习题	335
第 17 章 卫星业务	337
17.1 引言	337
17.2 卫星移动业务	337
17.3 VSAT	339
17.4 Radarsat	340
17.5 全球定位系统(GPS)	343
17.6 Orbcomm	344
17.7 习题	352
附录 A 部分习题答案	354
附录 B 圆锥截线	359
附录 C NASA 双线轨道要素	370
附录 D 人造卫星列表	372
附录 E 三阶互调产物举例说明	375
附录 F 缩写词	376

附录 G 对数单位	383
附录 H Mathcad 符号	386
索引	388
参考文献	405

第 1 章 卫星系统概述

1.1 引言

在通信系统中使用卫星已经成为现实生活中非常普遍的现象,从越来越多的家庭安装了接收卫星电视的碟形天线就可以看出卫星应用的普及程度。但是人们并不完全了解卫星也是全球电信系统中的一个基本组成部分,除了传输电视信号外,它还承载了大量的数据和话音业务。

卫星具有一些其他通信方式不可比拟的特点。由于一颗卫星可以覆盖地面上很大的一片区域,因此,卫星就可以作为一个能把在地理上相距很远的众多用户同时连接在一起的通信网络的起始点。同样,卫星能够为人口稀少的偏远地区提供通信链路,而在这种情况下使用其他通信方式则是非常困难的。当然,由于卫星信号不仅跨越了地理上的界限,而且也超越了政治上的界限,这可能是期望的也可能是不期望的特点。

为了对卫星的成本有一个初步认识,下面举一个例子。加拿大 Anik-E1 卫星的制造和发射成本是 281.2 百万加元(按 1994 年加拿大元统计),Anik-E2 卫星的成本是 290.5 百万加元。两颗卫星合在一起的总发射保险费为 95.5 百万加元。任何一个卫星系统都有一个共同的特点,即通信的成本对距离不敏感,这意味着通信双方相距很近与相距很远的卫星通信链路的通信成本几乎是一样的。因此,只有当系统处于连续使用且成本能够在大量用户间合理分摊时,使用卫星通信系统才是经济的。

卫星还可应用于遥感,例如水污染检测、气象状况的监测和报告等。一些遥感卫星已经成为失事飞机及其他类似事故的搜救工作中非常重要的组成部分。

Pritchard (1984)和 Brown (1981)对卫星的作用做了很好的介绍。这里为了能够对卫星系统作一概述,本章将简单描述卫星的三种不同应用:(1)最大型的国际系统,Intelsat;(2)美国的国内卫星系统,Domsat;(3)用于环境监测和搜救的美国国家海洋研究和大气管理机构(NOAA)的系列极轨卫星。

1.2 卫星业务的频率分配

卫星业务的频率分配是一个相当复杂的过程,它要求在国际间进行协调和规划。卫星业务的频率分配是在国际电信联盟(ITU)的管理下进行的。为了使频率规划工作容易实施,