



国防科技著作精品译丛

Satellite Communications Systems Engineering

Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance

卫星通信系统工程

【美】 Louis J. Ippolito Jr. 著 孙宝升 译



WILEY | 北

国防工业出版社
National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字: 军 -2011 -022 号

图书在版编目 (CIP) 数据

卫星通信系统工程/(美)伊波利托著;孙宝升译.

—北京:国防工业出版社,2012.3

ISBN 978-7-118-07797-1

I. ①卫… II. ①伊… ②孙… III. ①卫星通信系统—系统工程 IV. ①TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第016808号

Translation from the English language edition:

Satellite Communications Systems Engineering : Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance by Louis J. Ippolito Jr. ; ISBN 978-0-470-72527-6

Copyright ©2008 John Wiley & Sons Ltd

All rights reserved (including those of translation into other language). No part of this book may be reproduced in any form-by photoprinting, microfilm, or any other means-nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有, 侵权必究。

卫星通信系统工程 [美] Louis J. Ippolito Jr. 著 孙宝升 译

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京奥鑫印刷厂

开 本 700 × 1000 1/16

印 张 24 1/2

字 数 382千字

版印次 2012 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—3000 册

定 价 98.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

译者序

目前, 卫星通信已广泛应用于人们的日常工作与生活中, 卫星通信系统设计已经作为一种专业, 成为越来越多的人工作和学习的内容, 一本与工程实际结合密切、能够直接指导卫星通信应用设计的书籍成为许多技术人员的急需。Louis Ippolito 博士的《卫星通信系统工程》很好地满足了这种需求。

该书在对卫星通信系统组成、卫星本体、卫星运行轨道这些基本知识进行介绍的基础上, 为读者提供了一套系统的卫星通信链路设计和组网运行设计的方法。重点讲述了卫星通信链路计算与评估方法, 大气对卫星通信的影响模型、预测方法、经验取值、减轻大气对无线电信号衰减的途径, 卫星多址传输方法及移动卫星通信信道设计中的特殊因素等。

本书作者Louis Ippolito 博士曾在乔治 — 华盛顿大学做过卫星工程学科的老师, 在美国航天局工作时, 为航天部门设计卫星通信系统。其理论基础扎实、实际经验丰富, 在卫星通信系统设计, 尤其在研究大气对无线通信的影响方面有很深的造诣。作者收集了几十年来世界各国在大气无线传播方面积累的观测结果及在建模方面的最新研究成果, 对卫星通信中涉及的所有大气效应进行了全面的描述, 给出了大气对卫星通信影响的定量分析, 这是该书的一个显著的特点, 在其他类似的书籍中是很难看到的。

该书涉及知识面广, 包含了当前该学科的最新研究成果, 实用且通俗易懂, 适合从事卫星通信工作的专业技术人员和研究生参考。

感谢我的同事史西斌对全书的译稿进行了认真的校对, 同时感谢张纪生老师对部分译稿进行了校对, 并对翻译工作给予了很多指导。满

莉、陶金、王琨、侯利明、王增利、樊静、袁克英等同事对本书的翻译也作了大量的工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于译者水平有限,加之时间比较仓促,翻译中难免存在不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

译 者

2012 年 2 月

原版序

本书面向关心卫星通信系统设计及性能的读者。卫星通信系统用于固定的点对点、广播、移动、无线电导航、数据中继、计算机通信及其他基于卫星的应用。近几年来,卫星通信的快速发展,使得越来越多的人希望深入了解卫星通信系统工程、大气对卫星链路设计和系统性能的影响等信息。本书首次以其独到而又全面的内容来满足这种需求。

过去的10年,对卫星通信无线电波传播效果的认识和建模及利用在轨卫星直接进行测量和评估,都取得了巨大的进步。本书是唯一一本全面描述和分析与目前卫星系统有关的、所有大气影响的书籍,它也是系统链路设计与性能评估必需的工具。书中,许多工具和算法以“手册”的形式给出,所有必需的算法和过程都被集中在一起,使得读者可以直接使用,无需再参考其他资料。

这本书从参与实践工程师的角度,提供了通信卫星链路设计及性能的最新信息,包括简明描述、具体程序,以及综合解决方案。本书的主要内容是自由空间卫星通信链路设计及性能分析。这些内容包含了自由空间通信要考虑的重要因素,如大气影响、工作频率及自适应消除技术等。

读者至少可以从以下三个角度来阅读本书:

有关卫星系统及相关技术的基本信息,理论推导少,但内容新、实用;
作为一本卫星链路设计手册,实例丰富、步骤清晰、方法先进;

作为一本卫星通信系统研究生水平的教材,本书每章的最后都有思考题和老师使用的解题说明。

不同于其他关于卫星通信的书籍,这本书不会使读者局限于非常专业

的技术及硬件中, 因为这样会使读者失去兴趣, 并且生命周期很短。作者希望通过主要论述卫星通信系统特有的且不随时间改变的基本原理, 使本书能对全球的无线电通信爱好者有所帮助。

在此, 感谢为本书做出贡献的很多个人和部门, 本书中包含了很多他们工作和努力的成果。在与美国航空航天局、国际电信联盟及其他组织的长期交往中, 我有幸与这些卫星通信系统领域中的科研人员、开拓者们结识并共事。本书中的许多思想和概念是在与相关技术的提出者广泛讨论与交流下获得的。

最后, 我要由衷地感激我的妻子 Sandi 对我的支持和鼓励, 她的耐心使我能够专注于这一工作。谨以这本书献给 Sandi 及我们的孩子 Karen、Rusty、Ted 和 Cathie。

Louis J. Ippolito

缩略语

8 Φ PSK 8 相相移键控

A

ACM 自适应编码调制
 ACTS 高级通信技术卫星
 A/D 模/数转换器
 ADM 自适应增量调制器
 ADPCM 自适应差分脉冲编码调制
 AGARD 航空研究与发展顾问组
 (NATO)
 AIAA 美国航空航天学会
 AM 幅度调制
 AMI 信号交替反转码
 AMSS 航空移动卫星服务
 AOCS 姿态和轨道控制系统
 ATS- 应用技术卫星 -
 AWGN 加性高斯白噪声
 Az 方位 (角)

B

BB 基带
 BER 误比特率
 BFSK 二进制频移键控
 BO 补偿
 BOL 寿命开始
 BPF 带通滤波器
 BPSK 二进制相移键控
 BSS 广播卫星业务

C

CBR 载波和位定时恢复
 CDC 协调与延迟信道
 CDF 累积分布函数
 CDMA 码分多址

CEPIT 意大利卫星传播实验小组
 CEPT 欧洲邮政和远程通信管理会议
 C/I 载波/干扰比
 CLW 云中液态水
 cm 厘米
 C/N 载波 — 噪声比
 C/N₀ 载波 — 噪声密度比
 COMSAT 通信卫星公司
 CONUS 美国大陆
 CPA 共极衰减
 CRC 循环冗余检验
 CSC 公共信令信道
 CTS 通信技术卫星
 CVSD 斜率变化斜率增量调制

D

D.C. 下变频器
 DA 按需分配
 DAH Dissanayake, Allnutt, and
 Haidara 等人开发的雨衰模型
 DAMA 按需多址
 dB 分贝
 dBHz 分贝 — 赫兹
 dBi 各向同性相对分贝
 dBK 分贝 — 开尔文
 dBm 分贝 — 毫瓦
 dBW 分贝 — 瓦
 DEM 解调器
 DOS 美国国务院
 DS 数字信令 (也称为 T-载波
 TDM 信令)
 DSB/SC 双边带抑制载波
 DSI 数字语音内插
 DS-SS 直接序列扩频

E		hPa	百帕 (气压单位, 等同于 1 cm 水柱)
Eb/N ₀	每比特能量与噪声密度比	HPA	高功率放大器
EHF	极高频	Hz	赫兹
EIRP	有效各向同性辐射功率	I	
El	仰角	IEE	(英国) 电机工程师学会
EOL	寿命终止	IEEE	(美国) 电气电子工程师学会
erf	误差函数	IF	中频
erfc	补余误差函数	INTELSAT	国际卫星组织
ERS	经验路边遮蔽	ISI	码间干扰
ES	地球站	ITU	国际电信联盟
ESA	欧洲空间局	ITU-D	国际电信联盟发展部
E-W	东西位置保持	ITU-R	国际电信联盟无线电通信部
F		ITU-T	国际电信联盟通信标准部
FA	固定接入	K	
FCC	(美国) 联邦通信委员会	K	开尔文
FDM	频分复用	Kbps	千比特每秒
FDMA	频分多址	kg	千克
FEC	前向纠错	kHz	千赫
FET	场效应晶体管	km	千米
FH-SS	跳频扩频	L	
FM	频率调制	LEO	近地轨道
FSK	频移键控	LF	低频
FSS	固定卫星业务	LHCP	左旋圆极化
FT	变频转发器	LMSS	陆地移动卫星业务
G		LNA	低噪声放大器
GEO	地球静止卫星轨道	LO	本地振荡器
GHz	吉赫	LPF	低通滤波器
GSO	地球同步卫星轨道	M	
G/T	接收机品质因数	m	米
H		MA	多址
HEO	大椭圆地球轨道、高地球轨道	MAC	介质接入控制
HEW	卫生教育实验	Mbps	兆比特每秒
HF	高频		
HP	水平极化		

MCPC 单载波多信道
 MEO 中地球轨道
 MF 中频
 MF-TDMA 多频时分多址
 MHz 兆赫
 MKF 街道遮蔽功能
 MMSS 海上移动卫星业务
 MOD 调制器
 MODEM 调制解调器
 MSK 最小相移键控
 MSS 移动卫星业务
 MUX 多路复用器

N

NASA (美国) 国家航空航天局
 NF 噪声系数 (或噪声因子)
 NGSO 非地球同步 (或地球静止) 卫星轨道
 NIC 近瞬时压扩
 NRZ 不归零制
 N-S 南北位置保持
 NTIA (美国) 国家电信信息局
 NTSC (美国) 国家电视制式委员会

O

OBP 星上处理转发器
 OFDM 正交频分多路复用
 OOK 开关键控

P

PA 预分配接入
 PAL 逐行倒相
 PAM 脉冲幅度调制
 PCM 脉冲编码调制
 PFD 功率通量密度
 PLACE 定位与飞机通信实验
 PN 伪随机序列

PSK 相移键控
 PSTN 公众交换电话网

Q

QAM 正交幅度调制
 QPSK 正交相移键控

R

REC 接收机
 RF 射频
 RFI 射频干扰
 RHCP 右旋圆极化
 RZ 归零制

S

SC 业务信道
 SCORE 信号通信在轨中继实验
 SCPC 单载波单信道
 SDMA 空分多址
 SECAM 顺序传送彩色与存储
 SGN 卫星新闻收集
 SHF 超高频
 SITE 卫星教学电视实验
 S/N 信号 — 噪声比
 SS 星下点
 SS/TDMA 卫星交换时分多址
 SSB/SC 单边带抑制载波
 SSPA 固态放大器
 SYNC 同步

T

TDM 时分多路复用
 TDMA 时分多址
 TDRS 跟踪与数据中继卫星
 TEC 总电子含量
 T-R 发射机 — 接收机
 TRANS 发射机

× ■ 缩略语

TRUST 采用小型终端的电视中继
 TT&C 跟踪、遥测和遥控
 TTC&M 跟踪、遥测、遥控和监视
 TTY 电传打字机
 TWT 行波管
 TWTA 行波管放大器

U

UHF 超高频
 USSR 苏联
 UW 独特字

V

VA 语音激活(因子)

VF 音频(信道)
 VHF 甚高频
 VLF 甚低频
 VOW 话音通信线
 VP 垂直极化
 VPI&SU 弗吉尼亚理工大学
 VSAT 甚小天线(口径)终端

W

WVD 水蒸气密度

X

XPD 交叉极化鉴别

目录

第 1 章 卫星通信简介	1
1.1 卫星通信的早期历史	3
1.2 卫星通信系统的基本概念	9
1.2.1 卫星通信基本组成	9
1.2.2 卫星链路参数	11
1.2.3 卫星轨道	12
1.2.4 频带定义	13
1.3 卫星通信法规	14
1.4 全书的标题与结构	17
参考文献	18
第 2 章 卫星轨道	19
2.1 开普勒定律	20
2.2 轨道参数	22
2.3 常用轨道	25
2.3.1 地球静止轨道	25
2.3.2 近地轨道	27
2.3.3 中地球轨道	28
2.3.4 大椭圆轨道	29
2.3.5 极地轨道	29

2.4 GSO 链路几何	30
2.4.1 到卫星的距离	31
2.4.2 卫星的仰角	32
2.4.3 卫星的方位角	32
2.4.4 计算示例	33
参考文献	35
习题	36
第 3 章 卫星子系统	37
3.1 卫星平台	39
3.1.1 物理结构	39
3.1.2 能源子系统	40
3.1.3 姿态控制	41
3.1.4 轨道控制	42
3.1.5 热控制	44
3.1.6 跟踪、遥测、遥控和监视	44
3.2 卫星有效载荷	46
3.2.1 转发器	46
3.2.2 天线	49
参考文献	50
第 4 章 射频链路	51
4.1 射频传输基本原理	51
4.1.1 有效全向辐射功率	53
4.1.2 功率通量密度	53
4.1.3 天线增益	54
4.1.4 自由空间路径损耗	57
4.1.5 接收功率的基本计算公式	59
4.2 系统噪声	61
4.2.1 噪声系数	64
4.2.2 噪声温度	65
4.2.3 系统噪声温度	69
4.2.4 品质因数	73

4.3 链路性能参数	73
4.3.1 载波 — 噪声比	74
4.3.2 载波 — 噪声密度比	75
4.3.3 单位比特能量与噪声密度比	76
参考文献	76
习题	77
第 5 章 链路性能	78
5.1 影响链路的因素	78
5.1.1 固定天线尺寸链路	79
5.1.2 固定天线增益链路	80
5.1.3 固定天线增益、固定天线尺寸链路	81
5.2 上行链路	82
5.2.1 多载波工作模式	84
5.3 下行链路	85
5.4 时间百分比性能指标	86
参考文献	88
习题	88
第 6 章 传输损伤	90
6.1 无线电波频率和空间通信	90
6.2 无线电波传播方式	92
6.3 低于 3 GHz 的传播	94
6.3.1 电离层闪烁	98
6.3.2 极化旋转	100
6.3.3 群时延	101
6.3.4 色散	101
6.4 高于 3 GHz 的传播	103
6.4.1 雨衰	103
6.4.2 气体衰减	108
6.4.3 云和雾衰减	109
6.4.4 去极化	111
6.4.5 对流层闪烁	117

6.5 射频噪声	120
6.5.1 射频噪声说明	121
6.5.2 大气气体产生的噪声	123
6.5.3 雨引起的天空噪声	125
6.5.4 云引起的天空噪声	126
6.5.5 地球外噪声	128
参考文献	134
习题	136
第 7 章 传播效应建模与预报	138
7.1 大气气体	138
7.1.1 利贝复折射率模型	139
7.1.2 ITU-R 气体衰减模型	140
7.2 云和雾	153
7.2.1 ITU-R 云衰模型	154
7.2.2 斯洛宾云模型	160
7.3 雨衰	164
7.3.1 ITU-R 雨衰模型	164
7.3.2 克雷恩雨衰模型	178
7.4 去极化	190
7.4.1 雨去极化模型	191
7.4.2 冰去极化模型	193
7.5 对流层闪烁	197
7.5.1 Karasawa 闪烁模型	198
7.5.2 ITU-R 闪烁模型	201
7.5.3 范·德·坎普云闪烁模型	203
参考文献	206
习题	208
第 8 章 抗雨衰	210
8.1 功率恢复技术	211
8.1.1 波束分集	211
8.1.2 功率控制	212

8.1.3	位置分集	217
8.1.4	轨道分集	234
8.2	信号改进恢复技术	238
8.2.1	频率分集	238
8.2.2	带宽缩减	238
8.2.3	延时传输分集	239
8.2.4	自适应编码和调制	239
8.3	小结	240
	参考文献	240
	习题	242
第 9 章	卫星复合链路	243
9.1	FT 卫星	245
9.1.1	上行链路	245
9.1.2	下行链路	246
9.1.3	复合载噪比	247
9.1.4	复合性能意义	251
9.1.5	路径损耗和链路性能	253
9.2	OBP 卫星	258
9.2.1	OBP 上下行链路	259
9.2.2	OBP 复合性能	259
9.3	FT 与 OBP 性能比较	262
9.4	交调噪声	265
9.5	链路设计小结	267
	参考文献	268
	习题	269
第 10 章	卫星多址	271
10.1	频分多址	274
10.1.1	PCM/TDM/PSK/FDMA	275
10.1.2	PCM/SCPC/PSK/FDMA	277
10.2	时分多址	278
10.2.1	PCM/TDM/PSK/TDMA	280

10.2.2	TDMA 帧效率	281
10.2.3	TDMA 容量	283
10.2.4	卫星交换 TDMA	285
10.3	码分多址	289
10.3.1	直接序列扩频	292
10.3.2	跳频扩频	296
10.3.3	CDMA 处理增益	297
10.3.4	CDMA 容量	299
	参考文献	300
	习题	301
第 11 章	移动卫星信道	302
11.1	移动信道传播	303
11.1.1	反射	304
11.1.2	衍射	304
11.1.3	散射	305
11.2	窄带信道	307
11.2.1	路径损耗因子	310
11.2.2	遮蔽衰减	313
11.2.3	多径衰减	321
11.2.4	阻断	329
11.2.5	混合传播条件	333
11.3	宽带信道	336
11.4	多卫星移动链路	339
11.4.1	不相关衰减	339
11.4.2	相关衰减	341
	参考文献	343
附录 A	卫星信号处理单元	345
A.1	模拟系统	346
A.1.1	模拟基带格式化	346
A.1.2	模拟信源合并	348
A.1.3	模拟调制	349

A.2	数字基带格式化	353
A.3	数字信源合并	358
A.4	数字载波调制	360
A.4.1	二进制相移键控	363
A.4.2	正交相移键控	365
A.4.3	高阶相位调制	368
A.5	小结	368
	参考文献	369
附录 B 误差函数和误比特率		370
B.1	误差函数	371
B.2	BER 近似	372