



卫星组网的原理与协议

(第二版) Satellite Networking:
Principles and Protocols (Second Edition)

[英] Zhili Sun 著

刘华峰 李琼 徐潇审 赵宝康 译



国防工业出版社
National Defense Industry Press

卫星组网的原理与协议

(第二版)

Satellite Networking: Principles and Protocols (Second Edition)

[英] Zhili Sun 著

刘华峰 李 琼 徐潇审 赵宝康 译

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

卫星组网的原理与协议:第二版/(英)孙智立著;刘华峰等译. —北京:国防工业出版社,2016. 12

书名原文:Satellite Networking:Principles and Protocols (Second Edition)

ISBN 978-7-118-11010-4

I. ①卫… II. ①孙… ②刘… III. ①卫星通信 - 通信原理 ②卫星通信 - 通信协议 IV. ①TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 217790 号

Satellite Networking Principles and Protocols by Zhili Sun ISBN 987-1-118-35160-4

Copyright © 2014 by John Wiley & Sons, Ltd.

All rights reserved. This translation published under John Wiley & Sons license. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

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。版权所有,侵权必究。

※

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 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 23 1/4 字数 468 千字

2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 106.00 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

前 言

自本书(第一版)2005年出版以来,卫星通信与网络领域已取得重大进展。许多为宽带因特网、电视广播和宽带通信研制的卫星系统,通信容量大、数据传输质量高,已经能够与地面网络系统相媲美。

因特网和移动通信网络领域众多新兴技术正在改变着人们的学习、工作和生活方式,以及整个商业和社会的运作模式。而且,当前一个显著的趋势是包括电信网络、移动通信网络、因特网和电视广播网络在内的所有网络系统都在朝着统一IP化的方向演进。

在完善这些网络系统并支持当前和未来的各种业务与应用方面,卫星始终扮演着重要的角色。与近些年发展起来的其他新型组网技术一样,卫星组网是一个特殊而又十分重要的专题。由于同地面链路尤其是光纤链路相比,卫星链路传播时延长、误码率高且带宽有限,所以必须深入理解卫星对标准网络协议和网络设计的影响,以及其职能和优势。

自第一颗通信卫星发射至今,从支持电话和电视广播到支持宽带网络和因特网,卫星组网的方式已经发生了深刻的变化。这种变化同样也反映在研究和开发领域,例如目前对星上处理、星上交换和星载IP路由的研究。另一方面,传统卫星通信和网络领域的研究也在持续发展,如资源管理、安全与服务质量、组播、视频会议,以及宽带卫星接入因特网等。

与此同时,我们见证了DVB-S2、DVB-RCS2、IPv6和4G移动网络等新一代标准的诞生和发展,而卫星将会与这些新型网络和业务互联。

为了得到一个优化的卫星系统解决方案,必须在多种现实约束之间进行折中,这些约束包括地面段和空间段在设计、实现和运行中的造价、复杂程度、技术工艺和效率等。

因此,本书(第二版)对以上这些问题展开广泛的讨论。但是由于涉及信息太多、相关领域技术发展迅速以及书籍出版的要求和个人知识的局限,要想在一本书中包含以上所有内容的细节是不可能的。所以,本书还是把焦点放在卫星组网的基本原理和协议层面,然后根据最新技术发展对相关内容进行了更新。

除正文外,本书还尽力更新了所有的参考文献,以反映最新的技术进展和最新公布的标准。

通过本书,希望帮助读者了解卫星和地面网络的无缝集成、不同的网络协议及其相关技术,以及未来网络协议、技术、业务、应用和用户终端等领域的融合发展

趋势。

本书覆盖了以下专题：

- 对卫星通信网络、宽带网络、广播网络和因特网的概述；
- 从电路交换网络到包交换网络的技术沿革；
- 与卫星组网相关的协议参考模型和标准；
- 卫星承载的 IP 技术和 DVB 技术(DVB - S/S2 和 DVB - RCS/RCS2), 以及 TCP 增强技术；
- IPv6、卫星承载的下一代因特网和网络融合。

卫星组网的基本概念和原理, 以及卫星在未来网络中承担的角色, 是值得始终关注的课题。如果想要了解相关专题的更多细节, 读者可以进一步查询本书各章结尾处所列出的参考文献。

孙智立

于英国萨里大学

2013 年 9 月 8 日

目 录

1 概述	1
1.1 卫星网络的应用与业务	1
1.1.1 卫星网络扮演的角色	2
1.1.2 网络软硬件	3
1.1.3 卫星网络接口	4
1.1.4 网络业务	4
1.1.5 应用	5
1.2 ITU 对卫星业务的定义	5
1.2.1 固定卫星业务	5
1.2.2 移动卫星业务	5
1.2.3 广播卫星业务	6
1.2.4 其他卫星业务	6
1.3 ITU-T 对网络业务的定义	6
1.3.1 交互型业务	6
1.3.2 分配型业务	7
1.4 因特网业务和应用	7
1.4.1 万维网	8
1.4.2 文件传输协议 FTP	9
1.4.3 Telnet	9
1.4.4 电子邮件	9
1.4.5 组播和内容分发	9
1.4.6 IP 电话	10
1.4.7 域名系统	10
1.5 电路交换网	10
1.5.1 建立连接	11
1.5.2 信令	12
1.5.3 基于频分复用的复用传输分层体系	12
1.5.4 基于时分复用的复用传输分层体系	14
1.5.5 空分交换和时分交换	15
1.5.6 前向纠错的编码增益	15

1.6	包交换网络	16
1.6.1	面向连接的方法	17
1.6.2	无连接的方法	18
1.6.3	电路交换和包交换的关系	19
1.6.4	包网络设计要考虑的因素	19
1.6.5	包头和净荷	20
1.6.6	复杂性和异构网络	20
1.6.7	包传输的性能	20
1.6.8	比特级错误与包错误的关系	20
1.7	OSI/ISO 参考模型	21
1.7.1	协议领域的术语	21
1.7.2	分层原则	22
1.7.3	7层功能	23
1.7.4	OSI/ISO 参考模型的衰落	23
1.8	ATM 协议参考模型	23
1.8.1	窄带 ISDN(N-ISDN)	24
1.8.2	宽带 ISDN(B-ISDN)	24
1.8.3	ATM 技术	24
1.8.4	参考模型	24
1.8.5	问题:业务和应用缺乏	25
1.9	因特网协议参考模型	25
1.9.1	网络层:IP 协议	26
1.9.2	网络技术	26
1.9.3	传输层:TCP 和 UDP	26
1.9.4	应用层	27
1.9.5	QoS 和资源控制	27
1.10	卫星网络	27
1.10.1	接入网	27
1.10.2	传输网	27
1.10.3	广播式网络	27
1.10.4	空间段	28
1.10.5	地面段	29
1.10.6	卫星轨道	29
1.10.7	卫星传输频段	30
1.11	卫星网络的特点	32
1.11.1	传播时延	32

1. 11. 2	传播损耗和功率受限	32
1. 11. 3	轨位和带宽的限制	33
1. 11. 4	LEO 的运管复杂性	33
1. 12	数字传输的信道容量	33
1. 12. 1	无噪声信道的奈奎斯特公式	33
1. 12. 2	噪声信道的香农定理	34
1. 12. 3	信道容量的边界	34
1. 12. 4	香农功率极限(-1.6dB)	34
1. 12. 5	大 E_b/N_0 下的香农带宽效率	35
1. 13	与地面网络互联	35
1. 13. 1	物理层的中继器	36
1. 13. 2	链路层的网桥	36
1. 13. 3	物理层、链路层和网络层交换机	36
1. 13. 4	用于异构网络互联的路由器	36
1. 13. 5	协议转换、堆叠和隧道	37
1. 13. 6	服务质量(QoS)	37
1. 13. 7	端用户 QoS 类别和需求	38
1. 13. 8	网络性能(NP)	39
1. 13. 9	卫星网络的 QoS 和 NP	39
1. 14	数字视频广播	40
1. 14. 1	DVB 标准	41
1. 14. 2	传输系统	41
1. 14. 3	对卫星转发器特性的适配	42
1. 14. 4	信道编码	43
1. 14. 5	RS 外码编码、交织和成帧	44
1. 14. 6	内码	45
1. 14. 7	基带成形和调制	45
1. 14. 8	误码性能要求	46
1. 15	DVB-S	47
1. 15. 1	MPEG-2 基带处理	47
1. 15. 2	传送流	48
1. 15. 3	业务目标	48
1. 15. 4	卫星信道适配	48
1. 15. 5	卫星 DVB 回传信道(DVB-RCS)	49
1. 15. 6	DVB 承载 TCP/IP	50
1. 16	DVB-S2	50

1.16.1	DVB-S2 的技术创新	50
1.16.2	传输系统体系结构	52
1.16.3	误码性能	53
1.17	手持设备 DVB 卫星业务(DVB-SH)	54
1.17.1	传输系统体系结构	55
1.17.2	OFDM 和 TDM 模式通用的功能	56
1.17.3	单载波(TDM)模式的功能	57
1.17.4	多载波(OFDM)模式的功能	61
1.17.5	DVB-RCS2	64
1.18	计算机和数据网络发展的历史	64
1.18.1	计算机与数据通信时代的黎明	64
1.18.2	局域网的发展	65
1.18.3	WAN 和 ISO/OSI 的发展	65
1.18.4	因特网的诞生	65
1.18.5	电话与数据网络的融合	65
1.18.6	宽带综合网络的发展	66
1.18.7	杀手级应用 WWW 和因特网演化	66
1.19	卫星通信的发展历史	66
1.19.1	卫星和太空时代的开始	66
1.19.2	早期的卫星通信:电视和电话	66
1.19.3	卫星数字传输的发展	67
1.19.4	直接到户(DTH)广播的发展	67
1.19.5	海事卫星通信的发展	67
1.19.6	地区和国家的卫星通信	67
1.19.7	卫星宽带网络和移动网络	67
1.19.8	卫星网络上的因特网	68
1.20	网络技术和协议的融合	68
1.20.1	用户终端业务和应用的融合	68
1.20.2	网络技术的融合	69
1.20.3	网络协议的融合	69
1.20.4	卫星网络的演变	70
	进一步阅读	71
	练习	72
2	卫星轨道和组网的概念	73
2.1	物理定律	73
2.1.1	开普勒三大定律	73

2.1.2	牛顿三大运动定律和万有引力定律	73
2.1.3	开普勒第一定律:卫星轨道	74
2.1.4	开普勒第二定律:卫星矢量扫过的面积	76
2.1.5	开普勒第三定律:轨道周期	77
2.1.6	卫星速度	77
2.2	卫星轨道参数	78
2.2.1	半长轴	78
2.2.2	偏心率	78
2.2.3	轨道倾角	78
2.2.4	交点赤经和近地点幅角	79
2.3	常用轨道	80
2.3.1	同步地球轨道	80
2.3.2	地球静止轨道	80
2.3.3	大椭圆轨道	81
2.3.4	低轨卫星星座的概念	81
2.3.5	轨道摄动	82
2.3.6	卫星高度和覆盖	82
2.3.7	天线增益和波束宽度角	83
2.3.8	覆盖计算	84
2.3.9	从地面站到卫星的距离和传播时延	84
2.4	卫星链路特性和调制传输	85
2.4.1	卫星链路特性	86
2.4.2	调制技术	87
2.4.3	卫星传输的相移键控方案	88
2.4.4	二进制相移键控	88
2.4.5	正交相移键控	89
2.4.6	高斯滤波最小频移键控	89
2.4.7	误比特率(BER):调制模式的质量参数	90
2.4.8	卫星网络的物理层	91
2.5	前向纠错	92
2.5.1	线性分组码	93
2.5.2	循环码	93
2.5.3	网格编码和卷积码	94
2.5.4	级联码	94
2.5.5	Turbo 码	95
2.5.6	FEC 的性能	96

2.6	多址技术	97
2.6.1	频分多址(FDMA)	97
2.6.2	时分多址(TDMA)	98
2.6.3	码分多址(CDMA)	99
2.6.4	FDMA、TDMA 和 CDMA 的比较	99
2.7	带宽分配	100
2.7.1	固定分配	100
2.7.2	按需分配	100
2.7.3	随机接入	100
2.8	卫星组网的关键问题	101
2.8.1	单跳卫星连接	101
2.8.2	多跳卫星连接	101
2.8.3	星间链路	102
2.8.4	切换	103
2.8.5	卫星波束内切换和波束间切换	104
2.8.6	地球固定覆盖和卫星固定覆盖	105
2.8.7	卫星网络星座内的路由	106
2.8.8	网络互联	107
2.8.9	卫星可用度和分集	107
	进一步阅读	108
	练习	109
3	B-ISDN ATM 和因特网协议	110
3.1	ATM 协议和基本概念	110
3.1.1	包化时延	111
3.1.2	排队时延	112
3.1.3	北美和欧洲间的折中方案	113
3.2	ATM 层	113
3.2.1	GFC 字段	114
3.2.2	VPI 和 VCI 字段	114
3.2.3	CLP 字段	116
3.2.4	PT 字段	116
3.2.5	HEC 字段	116
3.3	ATM 适配层	116
3.3.1	A 类的 AAL1	117
3.3.2	B 类的 AAL2	119
3.3.3	C 类和 D 类的 AAL3/4	119

3.3.4	面向 IP 的 AAL5	120
3.4	物理层	121
3.4.1	物理介质子层	121
3.4.2	传输会聚子层	121
3.4.3	ATM 信元传输	122
3.5	ATM 接口与 ATM 组网	123
3.5.1	用户 - 网络接入	124
3.5.2	网络节点互连	124
3.5.3	ATM DXI	125
3.5.4	B - ICI	126
3.5.5	永久虚连接与交换虚连接	126
3.5.6	ATM 信令	126
3.5.7	ATM 寻址	127
3.5.8	地址注册	128
3.6	网络流量、服务质量和性能方面的问题	129
3.6.1	流量描述符	129
3.6.2	QoS 参数	129
3.6.3	性能问题	130
3.7	网络资源管理	130
3.7.1	连接许可控制(CAC)	131
3.7.2	UPC 和 NPC	131
3.7.3	优先级控制和拥塞控制	132
3.7.4	流量整形	132
3.7.5	通用信元速率算法	132
3.7.6	漏桶算法(LBA)	133
3.7.7	虚拟调度算法(VSA)	135
3.8	因特网协议	136
3.8.1	因特网组网基础	136
3.8.2	协议体系	137
3.8.3	无连接的网络层	137
3.8.4	IP 包格式	137
3.8.5	IP 地址	139
3.8.6	因特网地址和物理网络地址之间的映射	140
3.8.7	ARP、RARP 和 HDCP	140
3.9	因特网路由协议	141
3.9.1	内部网关路由协议(IGRP)	141

3.9.2	外部网关路由协议(EGRP)	142
3.10	传输层协议:TCP和UDP	142
3.10.1	传输控制协议(TCP)	142
3.10.2	TCP段头部格式	142
3.10.3	连接建立和数据传输	144
3.10.4	拥塞和流控	145
3.10.5	用户数据报协议(UDP)	146
3.11	IP和ATM网络互联	147
3.11.1	数据包封装	148
3.11.2	IP和ATM地址解析	149
	进一步阅读	150
	练习	150
4	卫星与地面网络的网络互联	151
4.1	组网的概念	151
4.2	组网术语	152
4.2.1	专用网络	153
4.2.2	公用网络	153
4.2.3	电话业务质量	153
4.2.4	基于IP的网络	154
4.3	网络组件和连接	155
4.3.1	网络终端	155
4.3.2	网络节点	155
4.3.3	网络连接	156
4.3.4	端到端路径	156
4.3.5	参考配置	157
4.4	网络流量和信令	157
4.4.1	用户流量和网络业务	158
4.4.2	信令系统和信令流量	159
4.4.3	带内信令	159
4.4.4	带外信令	160
4.4.5	随路和非随路信令	161
4.4.6	网络管理	162
4.4.7	网络操作系统和仲裁功能	162
4.5	接入网和传输网	163
4.5.1	模拟电话网络	164
4.5.2	电话网络流量工程的概念	164

4.5.3	频域上的卫星网络接入	165
4.5.4	星上电路交换	166
4.6	数字电话网	167
4.6.1	数字多路复用分层体系	167
4.6.2	卫星数字传输和星上交换	168
4.6.3	准同步数字系列(PDH)	168
4.6.4	PDH 的局限性	168
4.7	同步数字系列(SDH)	169
4.7.1	SDH 的发展	170
4.7.2	SDH 标准	170
4.7.3	PDH 到 SDH 的映射	171
4.7.4	SDH 的优点	172
4.7.5	同步操作	172
4.7.6	同步光纤网(SONET)	174
4.7.7	卫星承载 SDH——Intelsat 的场景	174
4.8	卫星网络的假设参考	175
4.8.1	ITU-T 假设参考连接(HRX)	176
4.8.2	针对卫星的 ITU-R 假设参考数字通路(HRDP)	176
4.8.3	性能目标	177
4.9	卫星和 MANET	178
4.9.1	网络场景	180
4.10	与异构网络的互联	182
4.10.1	业务	183
4.10.2	寻址	183
4.10.3	路由	183
4.10.4	演进	183
	进一步阅读	184
	练习	185
5	卫星网络承载 B-ISDN ATM	186
5.1	背景	186
5.1.1	组网问题	186
5.1.2	B-ISDN 组网环境中的卫星业务	187
5.2	卫星 B-ISDN ATM 系统的设计问题	188
5.2.1	传播时延	188
5.2.2	衰减和约束	189
5.3	GEO 卫星 B-ISDN ATM 组网结构	190

5.3.1	地面段	190
5.3.2	空间段	191
5.3.3	卫星带宽资源管理	192
5.3.4	连接许可控制	193
5.3.5	网络监控功能	193
5.3.6	被动拥塞控制	193
5.4	先进卫星 B-ISDN ATM 网络	194
5.4.1	无线接入层	194
5.4.2	星上处理(OBP)的特点	195
5.4.3	B-ISDN ATM 星上交换	195
5.4.4	多波束卫星	197
5.4.5	LEO/MEO 卫星星座	198
5.4.6	星间链路	198
5.4.7	移动管理	199
5.4.8	使用更高的频段	199
5.5	B-ISDN ATM 性能	200
5.5.1	B-ISDN 性能的分层模型	200
5.5.2	网络性能参数	201
5.5.3	卫星突发错误对 ATM 层的影响	203
5.5.4	突发错误对 AAL 协议的影响	204
5.5.5	差错控制机制	204
5.5.6	宽带卫星网络的增强技术	205
5.6	宽带卫星系统的演变	207
	进一步阅读	208
	练习	208
6	卫星网络承载 IP	209
6.1	卫星组网的不同视角	209
6.1.1	以协议为中心看卫星 IP 网络	210
6.1.2	以卫星为中心看全球网络和因特网	210
6.1.3	以网络为中心看卫星网络	212
6.2	IP 封装	212
6.2.1	基本概念	212
6.2.2	高级数据链路控制(HDLC)协议	213
6.2.3	点到点协议(PPP)	214
6.2.4	介质访问控制	214
6.2.5	卫星承载 IP	214

6.3	卫星 IP 组网	215
6.3.1	星载路由	216
6.3.2	卫星网络中的移动 IP	216
6.3.3	地址解析	218
6.4	卫星 IP 组播	218
6.4.1	IP 组播的概念	219
6.4.2	IP 组播编址	220
6.4.3	组播组管理	220
6.4.4	IP 组播路由	221
6.4.5	IP 组播范围	222
6.4.6	卫星环境中 IGMP 的行为	222
6.4.7	卫星环境中的组播路由协议	223
6.4.8	星上可靠组播协议	225
6.5	基本网络安全机制	225
6.5.1	安全方法	225
6.5.2	单向哈希函数	226
6.5.3	对称密码(带密钥)	226
6.5.4	非对称密码(带公钥/私钥)	227
6.6	卫星网络安全	228
6.6.1	IP 安全(IPsec)	228
6.6.2	防火墙和 VPN	229
6.6.3	IP 组播安全	230
6.7	IP 服务质量(IP QoS)	230
6.7.1	IP 业务性能的分层模型	231
6.7.2	IP 包传输性能参数	232
6.7.3	不同 QoS 等级的 IP 网络性能指标	233
6.7.4	IP QoS 等级使用指南	234
6.8	QoS 的综合服务(Intserv)架构	234
6.8.1	综合服务架构(ISA)的原理	234
6.8.2	资源预留协议(RSVP)	235
6.8.3	综合服务等级	237
6.9	QoS 的区分服务(Diffserv)	238
6.9.1	区分服务架构	238
6.9.2	流量分类	239
6.9.3	流量调整	240
6.9.4	区分服务的每跳行为(PHB)	240

6.9.5	跨卫星网络区分服务域支持综合服务	242
6.10	卫星数字视频广播	243
6.10.1	MPEG-2 信源编码和复用 DVB-S 流	244
6.10.2	DVB-S 系统	245
6.10.3	DVB 安全	247
6.10.4	DVB-S 的条件接收	247
6.10.5	DVB-RCS 交互和 DVB 承载 IP	248
6.10.6	DVB-RCS 安全	250
6.10.7	IP 组播安全	250
6.11	DVB-S 和 DVB-RCS 网络体系结构	251
6.11.1	星上处理器(OBP)	252
6.11.2	管理站(MS)	253
6.11.3	再生卫星网关(RSGW)	253
6.11.4	回传信道卫星终端(RCST)	253
6.11.5	网络接口	254
6.11.6	网络系统特点	254
6.12	网络协议栈结构	255
6.13	物理层(PHY)	255
6.13.1	上行链路(遵循 DVB-RCS 标准)	256
6.13.2	时隙	256
6.13.3	帧	257
6.13.4	超帧	258
6.13.5	载波类型和帧的构成	259
6.13.6	上行链路 MF TDMA 信道频率计划	259
6.13.7	下行链路(遵循 DVB-S 标准)	260
6.13.8	RCS 终端(RCST)传输	261
6.14	卫星介质访问控制(SMAC)层	262
6.14.1	传送机制	262
6.14.2	MPEG-2、DVB-S 和 DVB-RCS 表	263
6.15	多协议封装(MPE)	266
6.16	卫星链路控制层	267
6.16.1	会话控制	268
6.16.2	资源控制	270
6.16.3	容量请求的分类	271
6.16.4	连接控制	271
6.17	服务质量(QoS)	274