



SPACE-BASED MOBILE COMMUNICATION NETWORK

天基移动通信网络

张军 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

天基移动通信网络

Space-based Mobile Communication Network

张 军 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

天基移动通信网络 / 张军著. —北京:国防工业出版社, 2011. 1

ISBN 978 - 7 - 118 - 07225 - 9

I. ①天... II. ①张... III. ①码分多址 - 移动通信 - 通信网 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 261844 号

※

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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 12% 字数 320 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3500 册 定价 55.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

此书同时获得

总装备部国防科技图书出版基金资助

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金

第六届评审委员会组成人员

主任委员	刘成海			
副主任委员	宋家树	蔡 镭	程洪彬	
秘书长	程洪彬			
副秘书长	邢海鹰	贺 明		
委 员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	鄢江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨 伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

前 言

以网络为中心的信息化作战是现代战争的重要标志,对信息的拥有量和使用效率将直接决定战争的胜负。敌对双方以网络为主战场,紧紧围绕信息和信息网络的获取权、控制权和使用权展开对抗,而以卫星为基础的天基移动通信系统则是信息战争夺的制高点,已经成为各航天大国研究的热点。

天基移动通信网络是现代航天技术和通信技术相结合的产物,是国家的重要基础设施。它充分利用卫星节点覆盖范围大以及现代通信网络灵活、高效的特点,通过移动卫星节点间以及卫星节点与地面和空中节点间的组网,实现面向全球的高效、无缝通信。

以天基为基础的移动通信组网技术旨在解决“拓扑时变、节点处理能力弱以及网络控制管理信息发布和收敛时效差等条件下信息的高效可靠传输”问题,其核心是卫星 IP 组网技术。

卫星 IP 技术是目前卫星通信重要的研究方向,也是构建下一代全球一体化网络的关键。长期以来,人们基本套用地面成熟的 IP 组网(如路由、接入、传输控制和网络管理等)策略来研究天基组网,没有充分顾及到天基网络环境与普通地面环境的不同特点。现有的与卫星通信相关的书籍则往往以传统通信内容(如链路预算、调制解调等)或具体卫星通信系统设计为主,忽略或弱化了以卫星为核心的天基组网技术。

虽然在网络协议以及组网基本形式上,天基网络需要与地面兼容和有效互通,但由于卫星网络与地面网络有着本质的差别(如拓扑动态、链路不稳定、时延大等),传统的基于固定拓扑

结构的 IP 技术不能直接应用于卫星网络,国内外很多学者都致力于卫星网络特殊环境下 IP 技术的可适用性分析、最佳算法的研究以及协议和模型的重构等工作。作者深感天基网络组网技术与传统网络组网技术的差异,展开了以天基移动卫星组网技术为核心的一系列研究,是国内最早在天基移动通信网络方面展开系统研究的学者之一。近 10 年来,本书作者及其研究团队通过不懈努力,先后申请与天基组网相关的国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金面上项目、国家安全重大基础研究计划(国防“973”计划)、国家高科技研究发展计划(“863”计划)、总装备部预先研究项目等 10 余项科研项目,在天基时变网络拓扑特性分析及网络构架、天基移动接入技术、面向 QoS 的天基 IP 路由技术、卫星 TCP 技术以及天地一体化网络管理技术方面取得突破,在国内外期刊和会议上发表相关学术论文 80 余篇(其中,被 SCI、EI、ISTP 三大检索机构收录 60 余篇),申请国家发明专利 30 余项。

本书的主要内容来自于上述成果。在内容安排上,打破了传统卫星通信书籍以链路、信道、编码、调制解调以及星座构成为核心的格局,以天基移动卫星组网技术和卫星 IP 技术的发展为主线,结合作者及其研究团队多年的科研成果,重点介绍卫星 IP 技术以及天基移动卫星组网关键技术,包括网络构架、移动接入、动态路由、卫星 TCP 以及星地一体化网络管理等。其主要内容包括:在天基网络构架和动态路由方面,针对移动卫星网络拓扑动态的特点,通过引入时变拓扑网络模型、基于星间切换的业务中断概率和费用模型等,给出卫星星座设计和星间链路设计方法以及一系列路由和星地星间切换算法,解决了在卫星节点不断运动条件下实现网络稳定通信的难题;在移动接入方面,针对卫星无线资源昂贵、星上计算能力弱的特点,给出了适用于移动卫星 IP 网络的面向综合业务的高效多址接入协议设计方法以及详细的协议性能分析,并提出天地一体化无线资源管理方法,解决了在多业务多用户条件下卫星上行链路时隙资源浪费大、利用率低的难题;在无线

资源管理方面,针对移动卫星 IP 网络业务接入 QoS 保证困难的问题,本书重点分析了业务时隙分配与业务性能的关系,给出了天基系统时隙分配模型和最优分配方法,解决业务因时隙分配而带来的时延和时延抖动大的问题;多层卫星网络具有较高的空间频谱利用率、灵活的空间通信等优点,是未来天基系统的主要组网形式,但由于其网络结构复杂,节点间的动态性大,一直以来都是国内外卫星通信技术的难题。本书从组网结构、星间链路设计以及动态路由和多播路由等方面,专门针对多层卫星网络展开研究,给出系列解决方法。

本书的研究成果,先后获得国家自然科学基金重点项目“空地一体化信息网络的基础理论及关键技术研究”(60532030)、国家杰出青年基金“面向任务的空天信息传输理论与方法”(60625102)、国家自然科学基金面上项目“天空地一体化环境下的空中自组织网络关键技术研究”(10377005),国防“973”计划“ $\times \times \times$ 航天信息高效传输模型和方法”(613 $\times \times \times$),国家“863”计划“ $\times \times \times$ 网络路由交换技术”(863- $\times \times \times$ -2)、“ $\times \times \times$ 宽带传输与分布式组网技术”(701 $\times \times \times$)、“ $\times \times \times$ 网络管理与互联互通技术”(2006AA701 $\times \times \times$)以及总装备部预先研究项目“天基组网 $\times \times \times$ ”(5132 $\times \times \times$)等 10 余个科研项目的资助,作者对上述项目的支持单位表示衷心的感谢!

本书由张军教授著述而成。第 1 章、第 2 章、第 3 章(部分)、第 4 章、第 5 章、第 7 章、第 9 章、第 10 章由张军教授执笔完成;第 3 章(部分)、第 6 章、第 8 章由张涛副教授执笔完成。此外,刘锋教授、张学军教授、刘凯副教授、苑喆博士、顾明博士、程连贞博士、秦勇博士、郭欣博士对本书的完成也起到了重要作用,柳重堪教授、罗喜伶副教授、徐桢副教授、王钢副教授、王福祥博士后、李锐博士后、杜冰博士、卢咏博士、胡宇滢博士对本书提出了很多宝贵意见。清华大学戴琼海教授帮助审阅了初稿。在此,一并表示衷心的感谢!

感谢所有曾经、正在或将要鼓励、爱护和帮助我们研究天基移

动通信组网技术的单位和个人。

我们深知,对于整个天基网络领域来说,本书的内容只是“沧海一粟”。尽管我们数易其稿,字斟句酌,成稿后又请不同学科的多位学者阅读,可是由于研究深度和水平所限,本书只能是抛砖引玉,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请广大读者批评和指正。

著 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 天基移动通信网络的发展	4
1.2.1 窄带卫星通信网	4
1.2.2 宽带卫星通信网	6
1.2.3 天基 Internet	6
1.2.4 发展趋势	7
1.3 天基移动通信网络的特点	10
1.4 天基移动通信网络系统构成	14
1.4.1 用户域	15
1.4.2 天基卫星接入网	17
1.4.3 地面核心网	18
1.5 天基移动通信网络关键技术	19
1.5.1 多址接入	22
1.5.2 组网结构设计	23
1.5.3 网络层路由	24
1.5.4 传输控制	28
1.5.5 网络管理	29
1.6 本书内容安排	33
参考文献	36
第 2 章 天基移动通信网络多址接入技术	41
2.1 卫星网络多址接入技术概述	42
2.1.1 卫星网络多址接入协议分类	42

2.1.2	卫星网络典型多址接入协议介绍及分析	44
2.2	面向综合业务的高效天基 IP 网络多址接入协议设计	57
2.2.1	系统假设	58
2.2.2	APRMA - TR 协议描述	61
2.2.3	APRMA - TR 协议优点分析	71
2.3	天基 IP 网络多址接入协议性能分析及评估	73
2.3.1	协议系统的马尔可夫建模	73
2.3.2	平衡点分析法分析协议系统	78
2.3.3	计算机仿真对比分析	83
2.4	小结	87
	参考文献	88
第 3 章	基于星间链路的天基移动卫星组网结构设计	91
3.1	天基移动通信网络星座设计	92
3.1.1	面向天基移动通信的星座设计面临的问题	93
3.1.2	星座设计的理论依据	96
3.1.3	几种典型的天基移动通信网络星座设计及案例分析	102
3.2	天基移动通信网络星间链路设计	112
3.2.1	链路稳定性模型	113
3.2.2	星间链路设计方法	115
3.2.3	应用实例与仿真分析	118
3.3	小结	124
	参考文献	126
第 4 章	天基移动卫星网络路由技术	128
4.1	卫星网络路由技术概述	129
4.1.1	卫星网络典型单播路由协议介绍及分析	129
4.1.2	卫星网络典型组播路由协议介绍及分析	137
4.2	一种单层卫星网络分布式路由算法	140
4.2.1	卫星网络模型	141

4.2.2	星间最短路问题	142
4.2.3	路由算法与拥塞避免	147
4.2.4	仿真与性能分析	150
4.3	一种多层卫星网络的分层动态路由算法	152
4.3.1	多层卫星网络时延分析	152
4.3.2	定义	155
4.3.3	多层卫星网路由算法	156
4.3.4	仿真及性能分析	162
4.4	小结	168
	参考文献	169
第5章	天基移动卫星 IP 网络组播路由技术	172
5.1	单层卫星 IP 网络组播路由协议设计	173
5.1.1	相关概念和规则	173
5.1.2	组播路径构建方法	174
5.1.3	改进的组播路径构建方法	177
5.1.4	两种构路方法之间的自适应转换	179
5.1.5	基于源的组播路由协议及性能评估	180
5.2	多层卫星 IP 网络组播路由协议设计	186
5.2.1	Core Placement 核心定位算法	187
5.2.2	基于核心树的多播路由算法	192
5.2.3	仿真与结果分析	197
5.3	小结	199
	参考文献	200
第6章	天基移动卫星 IP 网络传输控制技术	202
6.1	卫星网络传输控制技术概述	203
6.1.1	基本传输控制模型和协议	203
6.1.2	移动卫星 IP 网络环境下的传输控制技术	207
6.2	高带宽时延积条件下的 TCP 慢启动算法	216
6.2.1	TCP Vegas 慢启动算法的优缺点	216
6.2.2	一种适合于天基网络的自适应 TCP 慢	

启动算法	219
6.3 网络拓扑高动态条件下的 TCP Vegas 改进算法	223
6.3.1 网络拓扑高动态条件下 TCP Vegas 性能分析	223
6.3.2 针对高动态性的改进方法	227
6.3.3 仿真分析	229
6.4 基于跳数的天基移动卫星 IP 网络时延自适应 TCP 算法	232
6.4.1 自适应 TCP 算法	233
6.4.2 仿真分析	239
6.5 基于跨层机制的天基移动卫星网络传输控制 算法设计	242
6.5.1 链路层自动请求重传技术	243
6.5.2 LRN_TCP 跨层改进机制	246
6.5.3 LRN_TCP 性能分析	249
6.5.4 仿真分析	253
6.6 小结	256
参考文献	257
第 7 章 基于天地一体化的天基 IP 网络移动性管理	261
7.1 小区覆盖模式和终端移动模型分析	262
7.1.1 小区移动性	262
7.1.2 移动终端越区次数	273
7.2 天地一体化的位置管理方法	276
7.2.1 地面常见的移动性管理策略	276
7.2.2 天基 IP 网络的移动性管理策略	278
7.3 天地一体化的切换管理方法	289
7.3.1 星地链路切换概述	290
7.3.2 典型的星地链路切换管理方法研究	292
7.3.3 基于最小费用的星地链路切换管理 算法(SMCH)	295
7.4 小结	301

参考文献	302
第 8 章 基于天地一体化的天基 IP 网络无线资源管理	305
8.1 天地一体化无线资源管理构架	306
8.2 面向天基 IP 网络的宽带卫星无线资源管理 实现方法	311
8.2.1 功能模块设计	311
8.2.2 关键技术实现	314
8.3 天基 IP 网络无线资源分配技术	327
8.3.1 天基 IP 网络中时隙位置分析	329
8.3.2 面向天基 IP 网络的时隙分配方法	338
8.3.3 时隙均匀分配方法及其在 DVB-RGS 中的 应用	342
8.4 小结	346
参考文献	346
第 9 章 面向天基 IP 网络的星载路由交换机设计	350
9.1 星载路由交换系统功能描述以及面临的主要问题	351
9.1.1 星载路由交换系统功能描述	351
9.1.2 星载路由交换系统设计面临的主要问题	353
9.2 星载路由交换机系统设计	355
9.2.1 面向连接的无线接入方法设计	358
9.2.2 星载路由交换系统实现流程设计	359
9.2.3 基于星载路由交换系统的一体化交换设计	362
9.2.4 面向多波束的分级切换设计	364
9.2.5 星载路由交换系统功能模块设计	369
9.3 小结	372
参考文献	373
附录 缩略语	374

Contents

Chapter1	Introduction	1
1.1	Preface	1
1.2	Introduction of Space-based Mobile Communication Network	4
1.2.1	Narrowband Satellite Communication Network	4
1.2.2	Broadband Satellite Communication Network	6
1.2.3	Mobile Satellite Internet	6
1.2.4	Development Trend	7
1.3	Characteristics of Space-based Mobile Communication Network	10
1.4	System Architecture of Space-based Mobile Communication Network	14
1.4.1	User Domain	15
1.4.2	Satellite Access Network	17
1.4.3	Ground Core Network	18
1.5	Key Technology of Space-based Mobile Communication Network	19
1.5.1	Multiple Access	22
1.5.2	Design of network structure	23
1.5.3	Routing	24
1.5.4	Transmission Control	28
1.5.5	Network Management Technology of Integrated Satellite	