

国家重点图书出版规划项目



国之重器出版工程

国防现代化建设

航天先进技术研究与应用系列

Satellite Communication Technologies and Systems

卫星通信技术与系统

余雷 尤启迪 石云 李昌华 吴斌 编著

中国工信出版集团

哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国之重器出版工程
国防现代化建设

航天先进技术研究与应用系列

卫星通信技术与系统

Satellite Communication
Technologies and Systems

徐雷 尤启迪 石云 李昌华 吴斌 编著

中国工信出版集团

哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书介绍了卫星通信的基础知识、卫星通信系统的基本理论与技术、卫星通信业务和应用以及卫星通信系统的发展趋势,力求体现理论性、实践性、方向性和系统性的特点。全书共分为7章,包括卫星通信系统简介、卫星轨道、卫星通信链路、卫星通信的关键技术、卫星通信地面段系统、典型卫星通信系统以及多星组网。

本书概念清楚、内容新颖,具有较高的实际应用和参考价值,可供相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

卫星通信技术与系统/徐雷等编著. — 哈尔滨:

哈尔滨工业大学出版社, 2019.1

国之重器出版工程 航天先进技术研究与应用系列

ISBN 978-7-5603-6033-1

I. ①卫… II. ①徐… III. ①卫星通信系统

IV. ①V474.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第118105号

策划编辑 王桂芝 张凤涛

责任编辑 李长波 刘 威

出 版 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 固安县铭成印刷有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16 印张 15 字数 282千字

版 次 2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6033-1

定 价 78.00元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)



徐 雷

男，锡伯族，黑龙江哈尔滨人，2007年毕业于北京交通大学，硕士学历，高级工程师。目前就职于航天恒星科技有限公司，在宽带卫星通信、无线图像传输、应急通信等领域具有多年的研究与开发经验，曾参与我国第一套具有自主知识产权的VSAT系统研发，负责终端站系统研发及关键技术攻关，获国防科技进步二等奖1项，获发明专利多项。



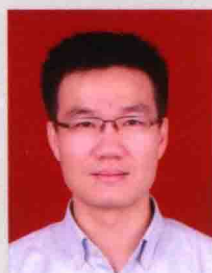
尤启迪

男，汉族，黑龙江哈尔滨人，2006年毕业于哈尔滨工业大学，硕士学历，研究员。目前就职于航天恒星科技有限公司，在宽带卫星通信、卫星移动通信、应急通信、信息安全等领域具有多年的研究与开发经验，曾参与我国第一套具有自主知识产权的VSAT系统研发，负责基带处理系统研发及关键技术攻关，获国防科技进步二等奖1项，获发明专利多项。



石 云

汉族，吉林白山人，硕士学历，高级工程师，目前就职于航天恒星科技有限公司，主要研究方向为宽带卫星通信、低轨卫星移动通信，曾参与我国第一套具有自主知识产权的 VSAT 系统研发，负责 VSAT 系统网络控制系统研发及关键技术攻关，获国防科技进步二等奖 1 项，发明专利 10 余项。



李昌华

男，汉族，福建连城人，2007 年毕业于清华大学，硕士学历，高级工程师。目前就职于航天恒星科技有限公司，主要研究方向为宽带卫星通信、下一代卫星广播、音视频无线传输，参与我国下一代卫星广播通信体制研发，发表论文 3 篇，获发明专利 5 项。



吴 斌

男，彝族，贵州册亨人。2007 年毕业于香港大学，获博士学位，并于同年到加拿大滑铁卢大学做博士后研究。目前就职于天津大学计算机学院，教授，博士生导师。主要研究方向为通信系统与网络、下一代宽带网络、天地一体化网络等。发表期刊论文 30 余篇，会议论文 70 余篇，获发明专利 4 项。

《国之重器出版工程》

编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	李 东	高延敏	何 琼	刁石京
谢少锋	闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生
赵永红	韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波
卢 山	徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁
张 炜	聂 宏	付梦印	季仲华	

专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

于 全 中国工程院院士

王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授

王建民 清华大学软件学院院长

王哲荣 中国工程院院士

王 越 中国科学院院士、中国工程院院士

尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授

邓宗全 中国工程院院士

甘晓华 中国工程院院士

叶培建 中国科学院院士

朱英富 中国工程院院士

朵英贤 中国工程院院士

邬贺铨 中国工程院院士

刘大响 中国工程院院士

刘怡昕 中国工程院院士

刘韵洁 中国工程院院士

孙逢春 中国工程院院士

苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
中国机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家
工程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原
机械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



屈贤明 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任

项昌乐 “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长

柳百成 中国工程院院士

闻雪友 中国工程院院士

徐德民 中国工程院院士

唐长红 中国工程院院士

黄卫东 “长江学者奖励计划”特聘教授

黄先祥 中国工程院院士

黄 维 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长

董景辰 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员

焦宗夏 “长江学者奖励计划”特聘教授



前言

卫星通信是通信技术、计算机技术以及航空航天技术相结合的重要成果。卫星通信自 20 世纪 40 年代提出以来,经由半个多世纪的发展,已经逐渐成为国际军事通信、国家基础干线通信、区域与跨洋通信、行业和企业专网通信和个人通信的重要手段。进入 21 世纪,卫星通信面临着地面高密度、大容量光纤通信的挑战,但随着互联网、信息全球化以及数字多媒体通信业务的增长,卫星通信已向其具有独特优势的方向发展,成为最强有力的现代通信手段之一。

本书较为全面和系统地介绍了卫星通信的基础知识、卫星通信系统的基本理论与技术、卫星通信业务和应用、卫星通信领域研究的热点问题及卫星通信系统的发展趋势,力求体现理论性、实践性、方向性和系统性的特点。

本书共分为 7 章:第 1 章概括介绍了卫星通信的发展历程,列举了国内外典型的卫星通信系统的开发历史,探讨了卫星通信系统未来的发展趋势;描述了卫星通信系统的组成、各模块的主要功能;讨论了卫星通信的优缺点,以及如何克服一些实际工作的困难。第 2 章详细介绍了开普勒定律的发现过程,对开普勒三大定律进行了严密的数学推导,指明了开普勒定律对天文学和卫星通信具有的伟大理论意义和工程价值;阐述了三个宇宙速度的推导过程,指出了宇宙速度对卫星发射速度的约束条件;介绍了常用的卫星轨道参数,说明了一些常见卫星轨道的特征和适用场景。第 3 章简要地介绍了卫星通信无线电波传播方式以及卫星通信链路的类型:星间链路与星地链路;重点分析了各种传输损耗,以及噪声和干扰等对卫星通信链路传输质量的影响。第 4 章对卫星通信的关键技术进行了阐述,介绍了模拟信号和数字信号的调制和解调,研究了包



括频分多址、时分多址、码分多址和空分多址在内的多址连接方式,论述了多种天线技术以及星上干扰抑制技术,分析了卫星信道的差错编码问题和数字卫星链路的差错控制方式。第5章介绍了地球站的组成和分类,并详细叙述了卫星通信地球站的各个组成部分及其功能,最后对地球站站址的选择和布局以及相关的性能指标进行了介绍。第6章对VSAT系统、铱系统、Inmarsat系统、Odyssey系统、WINDS宽带多媒体卫星通信系统以及ICO卫星移动通信系统的发展、工作原理、组网方式及应用进行了详细的介绍。第7章介绍了多星组网的定义、特点以及发展趋势,从网络控制、数据传输、计算能力等方面详细阐述了如何设计多星组网系统的资源高效利用模式,进而保障系统的QoS。

本书由徐雷、尤启迪、石云、李昌华、吴斌编著,在撰写过程中,天津大学计算机科学与技术学院的栾泽宇、辛珊珊、杨姝、赵志鹏等人参与了部分撰写工作,在此一并表示感谢。另外,本书在撰写过程中参阅了一些中英文书籍和资料,在此对各位作者和译者表示衷心的感谢。

由于作者的学识水平和实践能力有限,书中难免会有疏漏和不足之处,恳请读者不吝斧正。

作 者

2017年5月



目 录

第1章 卫星通信系统简介	1
1.1 卫星通信的发展历史	2
1.1.1 国外卫星通信系统	2
1.1.2 国内卫星通信系统	6
1.2 卫星通信系统的网络结构	9
1.3 卫星通信的特点	10
1.4 全书的组织结构	12
第2章 卫星轨道	13
2.1 开普勒定律	14
2.1.1 开普勒第一定律	14
2.1.2 开普勒第二定律	17
2.1.3 开普勒第三定律	18
2.2 宇宙速度	18
2.3 轨道参数	20
2.4 常用轨道	23
2.4.1 太阳同步轨道	24
2.4.2 对地静止轨道	24
2.4.3 极轨道	24
2.4.4 逆行轨道	25



2.4.5 近地轨道	25
第3章 卫星通信链路	27
3.1 无线电波传输	29
3.2 卫星通信链路的类型	32
3.3 影响卫星通信链路质量的几个重要因素	36
3.3.1 传输损耗	37
3.3.2 噪声和干扰	47
3.3.3 载噪比	57
3.3.4 其他因素	65
第4章 卫星通信的关键技术	67
4.1 调制与解调	68
4.1.1 模拟信号的调制	68
4.1.2 数字信号的调制与解调	70
4.2 多址连接	78
4.2.1 频分多址	79
4.2.2 时分多址	81
4.2.3 码分多址	87
4.2.4 空分多址	89
4.3 天线技术	90
4.3.1 卫星天线的分类	90
4.3.2 多波束反射面天线	94
4.3.3 多波束透镜天线	96
4.3.4 多波束阵列天线	98
4.3.5 智能相控阵天线	98
4.4 差错控制	100
4.4.1 卫星信道的编码问题	101
4.4.2 检错重传差错控制方式	106
4.5 干扰抑制	110
4.5.1 卫星通信系统的干扰特性	110
4.5.2 干扰卫星通信的几种形式	111
第5章 卫星通信地面段系统	117
5.1 地球站的分类及组成	118
5.1.1 地球站的分类	118



5.1.2 地球站的组成	119
5.2 天线分系统	121
5.2.1 馈源系统	127
5.2.2 跟踪伺服系统	129
5.3 发射分系统	136
5.4 接收分系统	143
5.5 其他系统和设备	148
5.5.1 接口及终端设备分系统	148
5.5.2 通信控制分系统	149
5.5.3 电源分系统	151
5.6 地球站站址选择与布局	152
5.6.1 地球站站址选择	152
5.6.2 地球站的布局	155
5.7 地球站的性能指标	157
第 6 章 典型卫星通信系统	159
6.1 VSAT 系统	160
6.1.1 系统的发展	160
6.1.2 系统的组成	162
6.1.3 系统的应用	165
6.2 铱系统	166
6.2.1 系统的发展	167
6.2.2 系统的工作原理	167
6.2.3 系统的组成	168
6.2.4 系统的应用	170
6.3 Inmarsat 系统	171
6.3.1 系统的发展	171
6.3.2 技术指标	172
6.3.3 系统的组成	173
6.4 Odyssey 系统	174
6.4.1 系统的工作原理	174
6.4.2 系统的组成	175
6.5 WINDS 宽带多媒体卫星通信系统	177
6.5.1 系统工作模式	178
6.5.2 系统的组成	179



6.6	ICO 卫星移动通信系统	182
6.6.1	系统的发展	182
6.6.2	系统的组成	182
第 7 章	多星组网	185
7.1	多星组网的概述	186
7.1.1	空间段立体多星组网结构	186
7.1.2	多星组网的发展趋势	187
7.1.3	构建天地一体化网络	190
7.2	关键技术	194
7.2.1	网络控制	194
7.2.2	数据传输	198
7.2.3	计算能力配置	209
7.2.4	安全性与可生存性	215
参考文献		217
名词索引		221



卫星通信系统简介

本章概括介绍了卫星通信的发展历程，列举了国内外典型的卫星通信系统的开发历史，探讨了卫星通信系统未来的发展趋势；描述了卫星通信系统的网络架构，由空间分系统、通信地球站、跟踪遥测及指令分系统和监控管理分系统等组成；介绍了各部分的主要功能、作用、工作过程、工作频率等基本问题；讨论了卫星通信的优缺点，以及如何克服一些实际工作的困难。



1.1 卫星通信的发展历史

卫星是指在围绕行星的轨道上运行的天然天体或人造天体，如月球是地球的卫星。本书所说的卫星是指人造地球卫星。

通信是指带有信息的信号从一点传送到另一点的过程，广义来说，是指任何两地之间、使用任何方法、通过任何媒质相互传送信息达到联系的过程，例如人与人、人与机器之间信息的交换。所谓通信系统，是指传递信息所需的一切技术设备的总和，它包括信源、发送设备、传输媒质、接收设备和信宿等部分。

卫星通信，指的是设置在地球上（包括地面、水面、低层大气中）的无线电通信站之间利用人造地球卫星作为中继站转发或反射无线电波，在两个或多个地球站之间进行的通信。

卫星通信是在地面微波中继通信和空间电子技术的基础上发展起来的，它是宇宙无线通信的主要形式之一，也是微波通信发展的一种特殊形式。与其他通信方式相比，卫星通信具有覆盖面广、通信容量大、距离远、不受地理条件限制、性能稳定可靠等优点。卫星通信本身还具有独特的广播特性，组网灵活，易于实现多址连接，可以作为陆地移动通信的扩展、延伸、补充和备用，因此对航空用户、航海用户、缺乏地面通信基础设施的偏远地区用户，以及对网络实时性要求较高的专用用户都具有很大的吸引力。此外卫星还能够提供直接到家庭（Direct To Home, DTH）的 Internet 服务，是解决“最后一公里”问题的最佳方案之一，也是向全球用户提供宽带综合 Internet 业务的最佳选择。由于卫星通信具有上述优点，因此它自诞生之日起便得到了迅猛发展，成为当今通信领域中最为重要的一种通信方式。

1.1.1 国外卫星通信系统

1. 国外卫星通信系统发展简史

自 1957 年苏联发射第一颗人造地球卫星以来，人造卫星已被广泛应用于通信、广播、电视等领域。1965 年，第一颗商用通信卫星被送入大西洋上空同步轨道，开始了利用静止卫星的商业通信。自 1964 年 8 月 19 日美国率先发射成功第一颗静止同步卫星“辛康”（SYNCOM）3 号开始，在之后近 20 年的时间里，C 频段、低功率和中功率通信卫星飞速发展，可以传送数千路电话和数