

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会规划教材

通信原理与应用——系统案例部分

卫星通信

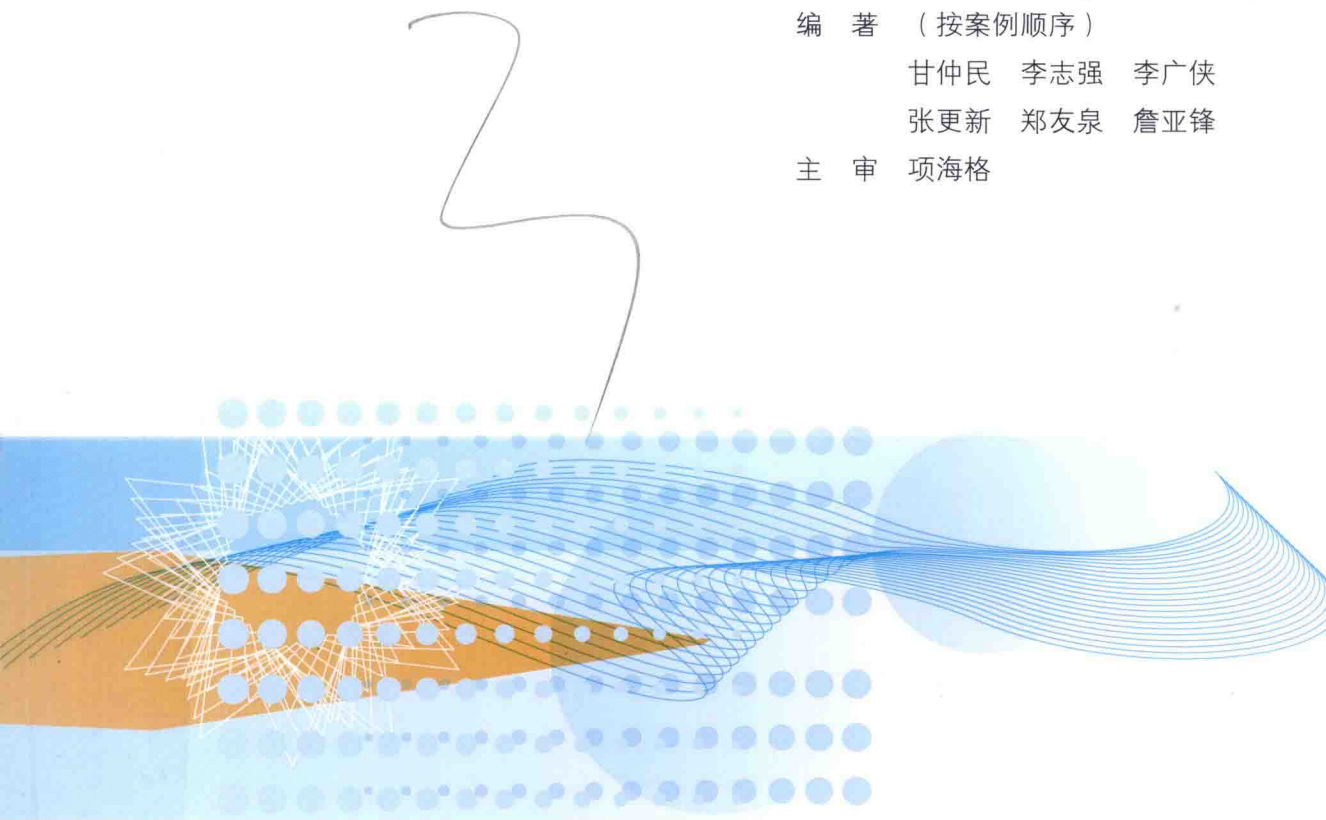
主 编 曹志刚

编 著 （按案例顺序）

甘仲民 李志强 李广侠

张更新 郑友泉 詹亚锋

主 审 项海格



高等教育出版社

教育部高等学校电子

工程类指导分委员会规划教材

通信原理与应用——系统案例部分

卫星通信

主 编 曹志刚

编 著 （按案例顺序）

甘仲民 李志强 李广侠

张更新 郑友泉 詹亚锋

主 审 项海格

TONGXIN YUANLI YU YINGYONG
XITONG ANLI BUFEN
WEIXING TONGXIN

内容简介

本书是《通信原理与应用——系统案例部分》的卫星通信分册。

《通信原理与应用》是在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的系列教材，该教材分为基础理论部分和系统案例部分，将理论部分和系统案例部分作为一个整体编写，旨在理论联系实际，学以致用。

系统案例部分按应用类别分为七个分册：移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信。本书是其中的卫星通信分册，共收纳 9 个案例：固定业务卫星通信、VSAT 卫星通信、卫星广播电视、宽带卫星通信、同步轨道卫星移动通信、星座卫星移动通信、卫星测控、卫星导航、深空通信。

配套出版的基础理论部分内容包括：绪论、随机过程基础、模拟调制、数字信号基带传输、数字调制、模拟信号数字化、差错控制编码、复用与多址技术、无线通信传输新技术。

本书可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材，也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。教学中可以将系统案例与理论部分配合使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与应用. 系统案例部分. 卫星通信 / 曹志刚主编; 甘仲民等编著. -- 北京: 高等教育出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 04 - 042161 - 3

I. ①通… II. ①曹… ②甘… III. ①通信理论-高等学校-教材②卫星通信-高等学校-教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 040084 号

策划编辑	吴陈滨	责任编辑	张江漫	封面设计	王 睢	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	殷 然	责任印制	毛斯璐		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400 - 810 - 0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京鑫丰华彩印有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.landracom.cn
印 张	18	版 次	2015年7月第1版
字 数	340 千字	印 次	2015年7月第1次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 42161 - 00

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确指出:“高等教育承担着培养高级专门人才、发展科学技术文化、促进社会主义现代化建设的重大任务。提高质量是高等教育发展的核心任务,是建设高等教育强国的基本要求。”我国高等教育已经进入大众化教育阶段,成为工程教育大国,但还不是工程教育强国,还远不能满足当前经济建设和社会发展的需求。高等教育培养高素质工程技术人才是我国高等学校人才培养模式之一,并应置于重要的位置。高等教育培养出数量足够并且能够面向一线的优秀工程技术人员,这是中国高等学校,特别是高等工科院校不可推卸的历史责任,也是努力办好人民满意的教育、推动高等教育内涵式发展、深化教育领域综合改革和着力提高教育质量的具体实践。

国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展,对电子信息领域的人才培养提出了更高的要求,而电子信息类专业又是许多高等学校的传统专业、优势专业和主干专业,也是近年来发展最快、在校人数最多的专业类之一。

为了适应高等工程教育改革,满足社会对电子信息类专业工程技术人才的需要,教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会根据教育部卓越工程师教育培养计划要求,针对中国高等工程教育存在的工程性、创新性和多样性缺失等问题,在认真开展了学科专业发展战略的研究和《高等学校电子信息科学与工程类本科指导性专业规范(试行)》的制定基础上,2010年从以信息与通信工程学科为特色的十余所重点高等院校和知名企业遴选了有丰富的工程实践背景和教材编写经验的40余位教授和专家,组织开展编写一套体现理论基础教育与工程应用案例协同教学理念的电子信息类专业核心课程教材,并使其具有权威性、工程性、创新性和示范性。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程涉及“通信原理与应用”“通信网络基础”和“数字信号处理”三门课程。从课程体系、教学大纲到三级目录,编写组在

广泛征求意见的基础上进行了深入的调查、分析和研究,并召开了十几次会议进行研讨。教材完稿后,又邀请相关课程领域的权威专家进行审稿。至此,第一批“高等学校电子信息类专业核心课程教材”将于2015年陆续问世。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的编写汇聚了全国相关课程优秀教育工作者和行业专家的丰硕教学和科研成果。教材内容注重体现理论基础性和工程应用性的协同。教材的理论基础严谨,概念清晰;教材的应用案例典型,特色鲜明。本系列教材有利于培养学生应用数理基础、科学与工程知识的能力,有利于培养学生根据需求设计部件、系统或过程的能力,有利于培养学生解决问题的能力,有利于激发学生提出问题的兴趣,有利于培养学生创新意识,增强学习主动性和积极性。

衷心感谢参与编写第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的学者和专家,正是他们高度的责任感和无私的奉献精神,使这套系列教材得以顺利出版。同时,也衷心希望这套教材能够在我国高等学校电子信息类专业课程教学中发挥积极的作用。

教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会(2001—2012年)

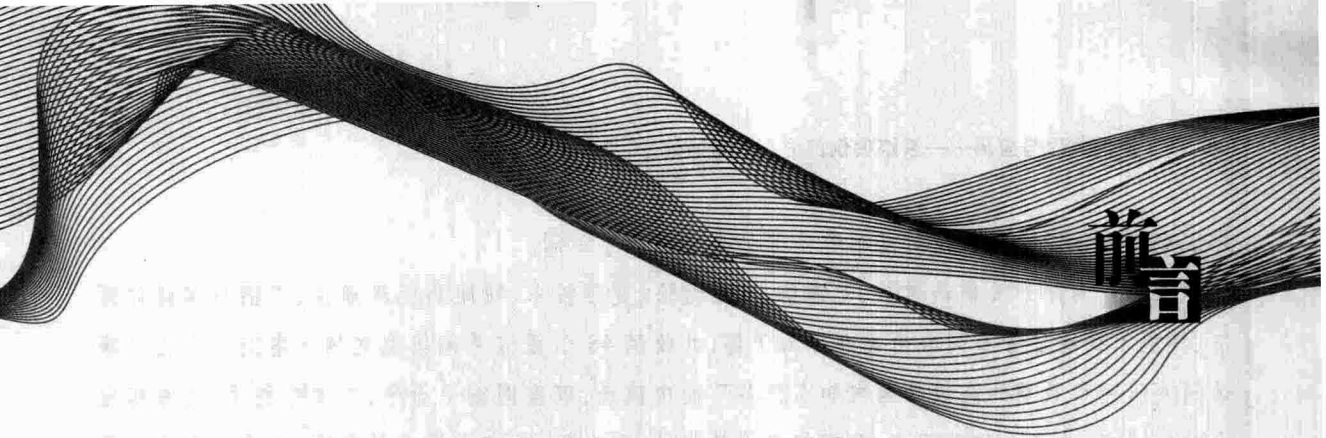
副主任委员

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会(2001—2012年)

主任委员

北京交通大学 谈振辉

2014年12月



前言

为贯彻落实走中国特色新型工业化道路、建设创新型国家、建设人力资源强国的战略部署,实施《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》,教育部提出了卓越工程师教育培养计划。其主要目标是:面向工业界、面向世界、面向未来,培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才,为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势,增强我国的核心竞争力和综合国力。

以实施卓越工程师教育培养计划为突破口,促进工程教育改革和创新,全面提高我国工程教育人才培养质量,努力建设具有世界先进水平、中国特色的社会主义现代高等工程教育体系,促进我国从工程教育大国走向工程教育强国。卓越工程师教育的核心是强化工程实践能力、工程设计能力与工程创新能力,为此需要大力改革课程体系和教学内容。

本书正是基于以上目标,在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的。由清华大学曹志刚教授担任主编、选题并统编定稿。

全书分两部分:基础理论部分和系统案例部分。将理论部分和系统案例部分作为一个整体编写,在国内外同类教材中是一次尝试,旨在理论联系实际,学以致用,拓宽学生的工程知识。

基础理论部分共9章,第1章绪论,第2章随机过程基础,第3章模拟调制,第4章数字信号基带传输,第5章数字调制,第6章模拟信号数字化,第7章差错控制编码,第8章复用与多址技术,第9章无线通信传输新技术。以章次为序,分别由清华大学曹志刚(第1、7章)、东南大学宋铁成(第2、9章)、北京邮电大学杨鸿文(第3、5章)、清华大学陈巍(第4章)、西安电子科技大学张辉(第6、8章)编写。北京交通大学张立军参与了第7章部分内容的修改。清华大学白铂编写了第1章的1.2节。

北京交通大学谈振辉教授对基础理论部分全文进行了审阅。

系统案例部分按移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信等不同应用类别分为7篇,共收纳48个通信系统典型案例。案例作者由从事该领域研究和教学的高校和国内知名设备厂商中遴选,以案例编号为序,作者分别是:北京邮电大学杨鸿文,清华大学李云洲,北京邮电大学张欣、彭木根,北京交通大学孙强,北京邮电大学陈雪,中央民族大学陈根祥,北京交通大学李唐军,解放军理工大学甘仲民、李志强、李广侠、张更新,清华大学郑友泉、詹亚锋,南京邮电大学王文翊,东南大学胡静,北京信威公司许瑞锋、唐春莺、余西西,南京邮电大学余兆明,北京邮电大学郭文彬,清华大学宋健,南京邮电大学朱晓荣,东南大学夏玮玮、徐平平、张在琛,西安电子科技大学李长乐,中国传媒大学韦博荣,清华大学薛永林,北京交通大学张立军、赵永祥,清华大学王昭诚、窦维蓓、唐昆、李晔,解放军理工大学程云鹏、王呈贵,中兴通讯股份有限公司王田甜,清华大学栗欣,西安电子科技大学卢小峰,西北工业大学陈连平。其中个别作者编写了多个案例。通信系统案例部分内容丰富,但篇幅较大。为读者使用方便,将系统案例部分按两种方式出版,一种是系统案例部分合订本;另一种是将系统案例部分分成7个分册出版,每篇自成一册。7个分册依序分别由清华大学王京、陈明华,北京大学项海格,北京邮电大学吴伟陵,东南大学沈连丰,清华大学林行刚,北京交通大学谈振辉担任评审。

限于本人水平,且作者众多,书中错误疏漏、文风不一在所难免,敬请指正。主编邮箱为 czg-dee@tsinghua.edu.cn。

本教材可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材,也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。

曹志刚

2014年9月于清华大学

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

案例十四 固定业务卫星通信	1
14.1 卫星通信概述	1
14.1.1 基本概念	1
14.1.2 卫星轨道	2
14.1.3 工作频率	3
14.1.4 卫星通信系统的分类和通信业务	4
14.1.5 卫星通信的特点	5
14.2 卫星通信系统的组成、网络结构和运行	5
14.2.1 系统的组成	5
14.2.2 卫星通信网络的结构	10
14.2.3 卫星通信链路的建立	11
14.3 通信体制	12
14.3.1 多址接入方式	12
14.3.2 信道分配方式	15
14.3.3 调制编码方式	15
14.4 固定业务卫星通信的实现	19
14.4.1 采用 FDMA 预分配的固定业务卫星通信	19
14.4.2 采用 TDMA 预分配的固定业务卫星通信	21
14.5 卫星通信线路计算	21
14.5.1 卫星通信参数	22
14.5.2 基本链路方程	25
14.5.3 卫星通信链路方程	26
14.5.4 卫星通信链路分析计算举例	28
参考文献	30

案例十五 VSAT 卫星通信	31
15.1 VSAT 卫星通信概述	31
15.1.1 VSAT 的概念	31
15.1.2 VSAT 的特点	32
15.1.3 VSAT 的发展历史	33
15.2 VSAT 系统组成和工作原理	34
15.2.1 VSAT 卫星通信系统组成	34
15.2.2 VSAT 网络结构	36
15.2.3 VSAT 组网与应用	38
15.3 VSAT 系统多址方式及分配制度	40
15.4 VSAT 系统常用通信体制	44
15.4.1 选择通信体制的原则	44
15.4.2 常用通信体制举例	46
15.5 VSAT 网络通信协议	49
15.5.1 分层网络结构	49
15.5.2 相关通信协议	49
15.6 VSAT 系统网络管理	51
15.6.1 网络结构管理	53
15.6.2 计费管理和设备管理	53
15.6.3 安全管理	53
15.6.4 运行管理	53
15.7 典型系统简介	55
15.7.1 窄带 VSAT 网——ISBN	55
15.7.2 窄带 VSAT 网——Skystar Advantage	56
15.7.3 宽带 VSAT 网——SkyWan	57
15.7.4 宽带 VSAT 网——LinkStar	58
15.7.5 基于卫星路由器的 VSAT 网	60
参考文献	61
案例十六 卫星广播电视	62
16.1 卫星广播电视概述	62

16.1.1	基本概念	62
16.1.2	卫星广播电视系统组成	63
16.1.3	频段划分	65
16.1.4	卫星广播电视发展概况	66
16.2	卫星数字广播标准	68
16.2.1	DVB-S 标准	68
16.2.2	DVB-S2 标准	69
16.2.3	ABS-S 标准	72
16.3	卫星广播电视的调制和编码技术	73
16.3.1	调制技术	73
16.3.2	编码技术	77
16.3.3	可变编码调制技术	78
16.4	系统举例	80
16.4.1	中星9号直播卫星	80
16.4.2	系统组成	81
16.4.3	用户接收终端	82
	参考文献	84
案例十七 宽带卫星通信		85
17.1	宽带卫星通信概述	85
17.2	星上有效载荷	87
17.2.1	通信转发器	87
17.2.2	多波束天线	91
17.3	多址方式与带宽分配方式	93
17.3.1	多址方式	93
17.3.2	带宽分配方式	94
17.4	传输体制	96
17.4.1	上行链路	98
17.4.2	下行链路	99
17.5	典型标准和系统概况	101
	参考文献	103
案例十八 同步轨道卫星移动通信		105

IV 通信原理与应用——系统案例部分 卫星通信

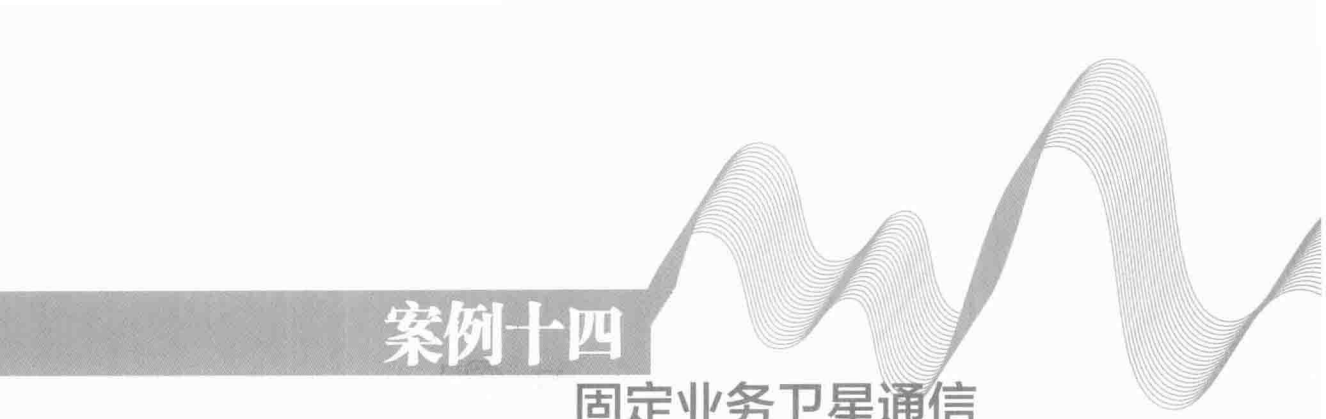
18.1 卫星移动通信概述	105
18.1.1 卫星移动通信的产生	105
18.1.2 卫星移动通信系统的定义和组成	106
18.1.3 卫星移动通信系统的网络结构	110
18.1.4 卫星移动通信中的链路	111
18.1.5 卫星移动通信中的链路计算	112
18.2 卫星移动通信发展概况	115
18.2.1 卫星移动通信系统的发展阶段	115
18.2.2 对地静止轨道卫星移动通信系统发展概况	115
18.3 卫星移动通信系统的特点及需解决的关键技术	118
18.3.1 卫星移动通信信道的传播特点	118
18.3.2 卫星移动通信的技术特点及关键技术	119
18.4 卫星移动通信的工作频率	120
18.4.1 工作频率的选择原则	120
18.4.2 用户链路的频率选择	120
18.4.3 馈电链路的频率选择	121
18.4.4 星间链路的频率选择	121
18.5 卫星移动通信的技术体制	122
18.5.1 多址方式	122
18.5.2 调制方式	125
18.5.3 信源编码方式	125
18.5.4 信道编码方式	126
18.5.5 复用及双工方式	127
18.5.6 信道分配方式	128
18.6 INMARSAT BGAN 系统简介	129
参考文献	133
案例十九 星座卫星移动通信	134
19.1 星座卫星移动通信系统概述	134
19.1.1 星座卫星移动通信系统的提出	134
19.1.2 星座卫星移动通信系统的定义及特点	135
19.1.3 星座卫星移动通信的发展应用概况	137

19.2 轨道与星座	142
19.2.1 有关人造卫星运行轨道的基本概念	142
19.2.2 卫星星座的类型及表示方法	143
19.3 星间通信	145
19.3.1 星间通信的基本概念	145
19.3.2 星间链路天线指向捕获跟踪技术	146
19.3.3 星间通信协议	146
19.4 星上处理与交换	148
19.5 铱系统简介	149
19.5.1 铱系统概况	149
19.5.2 铱系统的组成及主要功能	149
19.5.3 卫星星座及主要技术参数	150
19.5.4 系统控制段	150
19.5.5 铱信关站	151
19.5.6 铱系统用户单元	151
19.5.7 铱系统通信体制	152
19.5.8 铱系统的呼叫处理过程	154
19.5.9 铱系统的链路预算	154
参考文献	158
案例二十 卫星测控	159
20.1 卫星测控的基本概念	159
20.1.1 遥测	160
20.1.2 遥控	160
20.1.3 跟踪测量	162
20.2 卫星测控系统的组成	164
20.3 卫星测控的发展历史	165
20.3.1 分离测控时期	165
20.3.2 统一载波测控时期	166
20.3.3 测控通信融合时期	167
20.4 USB 测控	168
20.4.1 侧音测距技术	168

20.4.2	测速技术	171
20.4.3	USB 测控系统	174
20.5	扩频测控	178
20.5.1	伪随机码测距技术	178
20.5.2	测速技术	183
20.5.3	扩频测控系统	184
20.6	天基测控	186
20.6.1	跟踪测轨业务	188
20.6.2	前向和反向数传业务	189
20.6.3	天基测控的特点	190
	参考文献	192
案例二十一 卫星导航		193
21.1	卫星导航系统概述	193
21.1.1	卫星导航系统的发展历程	194
21.1.2	卫星导航系统的主要特点	195
21.2	北斗卫星导航系统发展进程	196
21.2.1	北斗卫星导航试验系统	196
21.2.2	北斗卫星导航系统区域服务	198
21.2.3	北斗卫星导航系统全球服务	198
21.3	北斗卫星导航系统组成和主要功能	199
21.3.1	空间星座	199
21.3.2	地面控制设施	200
21.3.3	用户终端部分	200
21.4	BDS 导航信号	201
21.4.1	BDS 导航信号种类	201
21.4.2	信号成分	202
21.4.3	信号结构	204
21.4.4	二进制偏移载波 (BOC) 调制	204
21.4.5	导航电文	206
21.5	定位原理	209
21.5.1	原始观测量	210

21.5.2 利用观测量进行定位	213
21.6 用户终端	217
21.6.1 用户终端基本结构	217
21.6.2 用户终端工作原理	218
21.7 北斗导航系统的性能	223
21.7.1 性能指标	223
21.7.2 定位误差	223
21.7.3 测量误差来源	225
21.8 其他卫星导航系统	227
21.8.1 发展现状	227
21.8.2 GPS	227
21.8.3 GLONASS	231
21.8.4 Galileo	234
21.8.5 其他	234
21.9 卫星导航系统的应用	235
21.9.1 位置、速度、时间信息应用	235
21.9.2 其他应用	236
参考文献	237
案例二十二 深空通信	238
22.1 深空探测概述	238
22.2 深空通信的概念及面临的主要难点	240
22.2.1 深空通信的概念	240
22.2.2 深空通信面临的主要难点	241
22.3 深空通信中的关键技术	243
22.3.1 通信频段优选	243
22.3.2 信道编码	244
22.3.3 调制方式	250
22.3.4 测距体制	253
22.3.5 中继传输	254
22.3.6 地面多天线组阵	256
22.4 星载通信系统组成	257

22.5	深空站通信系统组成	258
22.6	典型深空通信系统简介	259
22.6.1	我国“嫦娥二号”探月卫星通信系统	259
22.6.2	美国“黎明号”探测器通信系统	260
	参考文献	267
	系统案例部分总目录	269



案例十四

固定业务卫星通信

卫星通信是一种现代化通信手段。本章围绕利用卫星的固定业务通信,说明了卫星通信的基本概念、原理与特点、使用频段、系统组成和各部分的构成及工作原理;阐明了传输体制,包括多址方式、信道分配方式、调制编码方式等;叙述了固定业务卫星通信的实现,并根据空间环境和信道特点,给出了卫星通信链路的定量计算方法。这些内容,为本篇其他各章的展开做了必要的铺垫。

14.1 卫星通信概述

14.1.1 基本概念

卫星通信是空间通信的一种,它是利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电信号,在两个或多个地球站之间进行的通信。

图 14-1-1 是利用卫星进行通信的示意图。假定处于北京的某个用户,利用地球站打电话给边远地区某地球站附近的另一用户。前一用户的话音信号,经过一定途径到达北京的地球站,使其基带信号调制到发射机的微波射频上,经由天线发向卫星,卫星收到信号后,作频率变换和放大等必要的处理,转发回地面。远方的地球站收到卫星转发来的信号后,进行解调,经一定途径传送给被呼叫的用户;当边远地区的用户呼叫北京的用户时,也经过类似的过程。

由于各通信地球站天线均瞄准卫星,就是说,各站之间都是通过卫星进行通信的。这里,卫星起了非常关键的“中转”作用。

本案例由解放军理工大学通信工程学院甘仲民教授编写。