

SYNCHRONIZATION TECHNIQUES IN
SATELLITE COMMUNICATIONS RECEIVERS

卫星通信接收机 同步技术

武 楠 匡镜明 王 华 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

SYNCHRONIZATION TECHNIQUES IN SATELLITE COMMUNICATIONS RECEIVERS

卫星通信接收机 同步技术

武 楠 匡镜明 王 华 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书介绍卫星通信接收机中的同步技术, 主要内容包括卫星通信概述、同步技术的理论基础、载波频率同步技术、载波相位同步技术、定时同步技术、帧同步技术、信噪比估计技术, 并以欧洲第二代卫星数字视频广播(DVB-S2) 标准为例, 详细介绍了接收机同步算法的设计、仿真和实现过程。本书既涵盖了卫星通信接收机中的经典同步算法, 也特别融入了近年来该技术领域出现的新方法。

本书是专门阐述卫星通信接收机同步技术的理论书籍, 可作为高等院校相关专业高年级本科生、研究生学习数字接收机同步技术的教材或参考书, 也可作为从事卫星通信的工程技术人员参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

卫星通信接收机同步技术/武楠, 匡镜明, 王华著. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.4

ISBN 978-7-5682-5479-3

I. ①卫… II. ①武… ②匡… ③王… III. ①卫星通信-通信接收机-同步-接收技术 IV. ①TN927 ②TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 060058 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 固安县铭成印刷有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 23

字 数 / 441 千字

版 次 / 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 78.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

卫星通信具有覆盖范围广、通信距离远、建设速度快、容量大、不易受地理环境和自然灾害影响等优点，已经在通信广播、导航定位、气象预报、灾害预防、军事侦察等各个领域得到了广泛应用。

随着信息社会的飞速发展，人们对多媒体业务的需求显著增加，因此，要求卫星通信系统具有更大的系统容量、更高的传输可靠性，并且能够支持交互式业务。应用需求推动了卫星相关技术的快速进步：卫星平台技术和功率放大器的发展显著提升了卫星转发器的功率，使新一代卫星通信系统可以采用高阶调制技术，从而提高了卫星的频谱利用率；卫星的工作频段由 X 频段、Ku 频段向 Ka 频段，甚至更高的 Q 频段发展，极大地增加了卫星通信系统的可用带宽；多波束卫星天线技术的进步提高了覆盖范围内的频率复用因子；链路自适应理论和技术的发展，不仅使逼近时变卫星信道的传输容量成为可能，而且为卫星通信系统提供不同“服务质量等级（QoS）”的交互式业务奠定了基础。总之，借助上述卫星相关技术的发展优势，新一代的卫星通信系统将进一步突破功率和带宽约束，实现大容量、高可靠的自适应传输。

同步技术是卫星通信接收机中的关键技术。首先，信号同步的结构和性能影响接收机模拟前端的设计方案，从而很大程度上决定了整个接收机的成本；其次，信号同步是接收机正常工作的前提，任何因素造成的“失步”将导致通信中断，因而要求同步具有较强的可靠性和鲁棒性；最后，同步的偏差直接影响信道译码器的性能，导致接收机误比特率性能的恶化。本书较为系统地阐述了卫星通信接收机中的同步理论与技术，主要内容涉及载波频率同步、载波相位同步、符号定时同步、帧同步等。本书既涵盖了大量经典的同步算法，又特别引入了近年来在卫星通信同步技术方面涌现出的新方法；既尝试通过信号处理理论分析，探究各类同步算法的原理本质，又借助实际通信接收机同步算法的设计和实现过程，使读者对同步技术有更为“立体”的把握。

本书共分为 8 章。第 1 章和第 2 章由武楠、匡镜明撰写；第 3~6 章由武楠撰写；第 7 章和第 8 章由武楠、王华撰写。在本书的撰写过程中，得到了北京理工大学通信技术研究所的老师和支持和学生的帮助，在此向他们表示衷心的感谢。本书的研究内容受到国家自然科学基金青年基金项目（编号：61201181）、国家自

然科学基金面上项目（编号：61072049、61471037）、教育部全国优秀博士学位论文作者基金项目（编号：201445）的资助。北京理工大学优秀博士学位论文出版项目基金资助。借此机会，特别向国家自然科学基金委、教育部、北京理工大学研究生院给予的支持和帮助表示感谢。

由于作者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请同仁和读者批评指正。

作 者



目 录

第 1 章 概述	1
1.1 卫星通信系统的基本概念	2
1.1.1 卫星通信的定义	2
1.1.2 通信卫星的分类	2
1.1.3 卫星通信的特点	5
1.1.4 卫星通信的任务	6
1.2 卫星通信系统的现状与发展趋势	8
1.2.1 卫星固定通信的现状与发展趋势	8
1.2.2 卫星移动通信的现状与发展趋势	9
1.2.3 卫星广播通信的现状与发展趋势	10
1.3 卫星接收机中的同步技术	11
1.3.1 通信系统的基本模型	11
1.3.2 接收机中的同步技术	13
参考文献	14
第 2 章 同步技术的理论基础	15
2.1 概述	15
2.2 基带信号的定时恢复及对信号抽样的影响	15
2.2.1 基带信号的定时恢复	16
2.2.2 定时恢复误差对检测性能的影响	18
2.3 带通信号的载波恢复及对解调性能的影响	20
2.3.1 带通信号的载波恢复	20
2.3.2 载波相位误差造成的性能损失	23
2.4 差分解调的同步性能分析	26
2.5 同步的参数估计理论	28
2.5.1 最大后验概率估计和最大似然估计	28
2.5.2 同步参数估计中的似然函数构建	34
2.6 同步参数估计的性能极限	36
2.6.1 克拉美罗限及修正的克拉美罗限	36

2.6.2 同步参数估计中的修正克拉美罗限	40
参考文献	42
第3章 载波频率同步技术	43
3.1 概述	43
3.2 经典载波频率同步方法	43
3.2.1 平方环法	43
3.2.2 Costas 环法	45
3.3 数据辅助频率估计	46
3.3.1 基于最大似然的频率估计理论	46
3.3.2 载波频率估计的简化模型	48
3.3.3 Kay 算法	49
3.3.4 Fitz 算法	50
3.3.5 L&R 算法	51
3.3.6 M&M 算法	52
3.3.7 频率估计算法性能比较	53
3.3.8 一种改进的 M&M 载波频率估计算法	54
3.4 非数据辅助载波频率同步	57
3.4.1 理想定时同步下的载波频率同步	57
3.4.2 非理想定时同步下的开环载波频率同步	63
3.4.3 非数据辅助载波频率估计的克拉美罗限	66
3.5 APSK 调制信号的非数据辅助载波频率估计	68
3.5.1 存在载波频率误差的 APSK 信号模型	68
3.5.2 L&R 载波频率估计算法在 APSK 调制信号下的性能分析	69
3.5.3 算法性能的进一步优化	75
附录 3.A	76
参考文献	77
第4章 载波相位同步技术	79
4.1 数据辅助载波相位同步	79
4.1.1 载波相位最大似然估计	79
4.1.2 载波相位估计的性能分析	80
4.1.3 频率残差对载波相位估计的影响	82
4.2 基于判决引导的载波相位估计方法	83
4.2.1 硬判决反馈的载波相位同步	83
4.2.2 软判决反馈的载波相位同步	88
4.3 非数据辅助的载波相位同步	97
4.3.1 理想定时同步下的非数据辅助载波相位同步	97

4.3.2 高 SNR 下的非数据辅助载波相位同步	98
4.3.3 低 SNR 下的非数据辅助载波相位同步	99
4.3.4 非数据辅助载波相位同步的开环方法	102
4.3.5 QAM 调制信号的非数据辅助载波相位开环估计方法	103
4.4 APSK 调制信号的非数据辅助载波相位估计	104
4.4.1 系统模型	104
4.4.2 非数据辅助载波相位估计的克拉美罗限	105
4.4.3 V&V 载波相位估计算法在 APSK 调制信号下的性能分析	108
4.4.4 基于星座图分割的载波相位估计算法	112
4.5 编码辅助载波相位同步	114
4.5.1 编码辅助载波相位同步算法	114
4.5.2 基于选择性软判决反馈的载波相位同步算法	118
4.5.3 编码辅助判决反馈载波相位同步性能分析	122
附录 4.A	134
附录 4.B	138
附录 4.C	139
附录 4.D	142
参考文献	150
第 5 章 定时同步技术	153
5.1 定时同步技术概述	153
5.2 经典定时同步方法	154
5.2.1 平方律同步法	154
5.2.2 超前-滞后门同步法	156
5.3 基于同步采样的定时误差反馈跟踪同步法	157
5.3.1 模数混合数控振荡器原理	158
5.3.2 同步采样定时校准关系的建立	158
5.4 基于非同步采样的定时误差反馈跟踪同步法	160
5.4.1 非同步采样插值控制时钟恢复原理	162
5.4.2 分段多项式插值器原理	163
5.4.3 非同步采样定时校准关系的建立	164
5.5 基于判决引导的定时误差检测	165
5.5.1 基于最大似然的定时误差检测算法	165
5.5.2 基于真似然函数的误差检测算法性能分析	166
5.5.3 三种近似的定时误差估计算法	171
5.5.4 三种近似算法的跟踪性能分析与比较	173
5.6 非数据辅助的定时误差检测算法	176

5.6.1 基于最大似然的非数据辅助定时误差检测算法	176
5.6.2 非数据辅助的 GAD 定时误差检测算法	177
5.6.3 GAD 算法和 NDA-ELD 算法的跟踪性能比较	179
5.7 前馈定时估计算法	181
5.7.1 基于最大似然的非数据辅助前馈定时估计算法	181
5.7.2 O&M 前馈定时估计算法	184
5.8 编码辅助符号定时同步及其性能分析	186
5.8.1 编码辅助符号定时同步算法	186
5.8.2 编码辅助判决反馈符号定时同步性能分析	190
附录 5.A	200
附录 5.B	201
附录 5.C	202
参考文献	206
第 6 章 帧同步技术	209
6.1 概述	209
6.2 起止式帧同步	209
6.3 集中插入式帧同步的基本方法	210
6.3.1 巴克码	210
6.3.2 巴克码识别器	211
6.3.3 帧同步的保护	212
6.3.4 帧同步性能分析	213
6.4 复杂同步码组下的集中插入式帧同步	214
6.4.1 采用复杂同步码组的帧结构特征	215
6.4.2 复杂同步码组的帧同步检测方法	216
6.4.3 复杂同步码组的帧同步校核保护方法	225
6.4.4 复杂同步码组帧同步性能分析	227
6.4.5 复杂同步码组帧同步性能仿真分析	233
参考文献	240
第 7 章 信噪比估计技术	242
7.1 概述	242
7.2 传统的信噪比估计算法	243
7.2.1 基于相干接收的信噪比估计	243
7.2.2 基于矩的信噪比估计	245
7.3 基于期望最大的编码辅助迭代信噪比估计	247
7.4 最大似然编码辅助信噪比估计	251
7.4.1 最大似然编码辅助信噪比估计算法	252

7.4.2 编码辅助信噪比估计的克拉美罗限	254
7.4.3 编码辅助信噪比估计算法的仿真结果及分析	255
7.5 存在载波频偏的数据辅助信噪比估计	258
7.5.1 基于差分相关的数据辅助信噪比估计算法	259
7.5.2 CFR 信噪比估计算法在实际系统中的仿真与改进	259
7.6 存在载波相偏的数据辅助信噪比估计	264
7.6.1 相位-信噪比联合设计的 ML-DA 信噪比估计算法	264
7.6.2 CPR ML-DA 信噪比估计算法的性能分析与仿真	266
7.7 APSK 调制信号的编码辅助最大似然信噪比估计	269
7.7.1 编码 APSK 信号的 ML 信噪比估计器	269
7.7.2 编码辅助 APSK 信号信噪比估计的 CRB	273
7.7.3 APSK 信号信噪比估计仿真结果及分析	273
参考文献	277
第 8 章 DVB-S2 接收机中的同步技术	279
8.1 第二代卫星数字视频广播标准 DVB-S2	279
8.1.1 国际数字电视广播标准	279
8.1.2 DVB-S2 的背景	280
8.1.3 DVB-S2 系统概述	281
8.2 DVB-S2 接收机的同步技术	284
8.2.1 DVB-S2 系统解调与同步原理概述	284
8.2.2 DVB-S2 系统帧同步的差分检测方法	287
8.2.3 DVB-S2 系统符号定时同步	292
8.2.4 DVB-S2 系统载波频率同步	292
8.2.5 DVB-S2 系统载波相位同步	297
8.3 DVB-S2 同步系统仿真与分析	302
8.3.1 DVB-S2 系统差分检测帧同步仿真与分析	303
8.3.2 DVB-S2 系统符号定时同步仿真与分析	307
8.3.3 DVB-S2 系统载波频率同步仿真与分析	311
8.3.4 DVB-S2 系统载波相位同步仿真与分析	315
8.3.5 DVB-S2 系统同步总体仿真	318
8.4 DVB-S2 系统同步模块的 FPGA 设计与实现	319
8.4.1 FPGA 开发平台 ISE	320
8.4.2 DVB-S2 系统帧同步设计与实现	321
8.4.3 DVB-S2 系统符号定时同步设计与实现	323
8.4.4 DVB-S2 系统载波同步设计与实现	328
8.4.5 DVB-S2 系统接收机总体设计与实现	348
参考文献	354

第 1 章

概 述

本章首先介绍了卫星通信的定义、分类、特点、业务类型及历史与发展，使读者对卫星通信有基本的了解。在此基础上，介绍了数字通信系统的基本模型，引出了同步在信号接收解调中的作用。

自 1945 年 Arthur C. Clarke 在“Wireless World”（《无线电世界》）上发表著名论文“Extra-Terrestrial Relays”以来，随着现代通信技术、半导体集成电路技术、计算机技术、互联网技术、航天技术的不断发展，卫星通信已经从概念成为现实，并与人们生产、生活的联系日益紧密，在航空航天、航海、工农业生产、国防、信息等领域都获得了广泛应用，成为信息社会发展的重要基础。

由于卫星飞行高度高，视场广阔，覆盖地域大，与其他通信手段相比，具有突出的优势，因此，卫星通信成为通信技术发展最迅速的领域之一。特别是在解决广阔海洋通信、不发达地区通信、环境恶劣的边远地区通信等方面所具有的不可替代性，使得世界各国都普遍重视卫星通信技术的发展和运用。截至 2015 年 12 月 31 日，全球共有在轨通信卫星 707 颗^[1]。

我国卫星通信事业起步较晚，但发展迅速，目前已有 34 颗在轨通信卫星。1984 年发射的“东方红 2 号”通信卫星是我国卫星通信发展的重要标志^[2]，随后研制并发射的 3 颗“东方红 2 号甲”和“东方红 3 号”通信卫星，开创了我国卫星通信的新局面。目前“东方红 4 号”通信卫星及“中星 9 号”“中卫 1 号”“鑫诺 3 号”等通信卫星，以及亚洲卫星公司和亚太卫星公司拥有的大容量同步静止轨道卫星，已能够基本满足我国卫星通信对卫星转发器的基本需求。2014 年 9 月由清华大学、信威集团联合研制的中国首颗低轨移动通信卫星——灵巧通信试验卫星发射成功，并已完成全部在轨测试实验。预计 2017—2020 年我国将完成低轨卫星通信网络星座建设，并最终发展成为具有全球覆盖能力的提供全球通信和移动互联网服务网络的国家^[3]。目前，我国已成为通信卫星研制和应用的大国之一，不但有能力研制和发射满足国内通信需求的各类通信卫星，而且也提供卫星出口和火箭发射服务。我国通信卫星正朝着大容量、大带宽、高可靠、长寿命的方向发展，以满足对卫星通信日益增长的需求。

1.1 卫星通信系统的基本概念

1.1.1 卫星通信的定义

工作在微频段的发射机与接收机天线尺寸小，不易受大气、天候的影响，可用通信频带宽，信道容量大，因此，微波通信是大容量远程通信的主要形式。微波是一种能在真空或空气中直线传播的高频电磁波，在两个相互通信的站点之间不能有遮蔽。受地球曲率的影响，采用微波通信的两个直视通信站点距离不能大于 50 km。为了实现远距离通信，一种方法是每间隔 50 km 建设一个微波中继站，另一种方法是将微波中继站建立在不受地球曲率影响的太空，图 1.1 是两种微波通信方式的示意图。前一种方法的优点是技术实现简单，缺点是通信距离越远，需要的微波中继站点越多，建设成本越高；后一种方法需要在太空建立微波中继站，因此必须使用卫星平台。

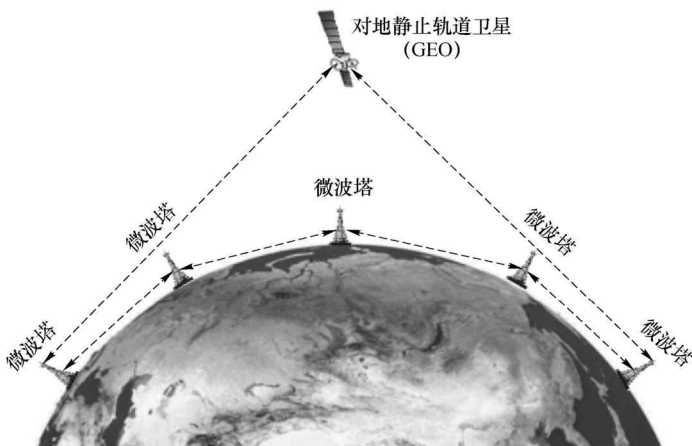


图 1.1 地面微波中继和卫星中继通信示意图

正如 Arthur C. Clarke 在“Extra-Terrestrial Relays”中所描述的，只要在太空静止轨道上布置三颗卫星，就可以实现对全球 76° 纬度以下地区的全球通信，如图 1.2 所示。

因此，按照 1979 年国际无线电联盟（ITU）给出的空间无线电通信的定义，卫星通信是指：地球上的无线电通信站之间通过人造地球卫星作为中继站点而进行的通信^[4]。

1.1.2 通信卫星的分类

卫星分类的方法多种多样，可按照轨道形状、倾角、高度、运转周期、用途

等分类。按照轨道形状的不同,可将卫星分为赤道静止轨道卫星、倾斜轨道卫星、极地轨道卫星等,而按照轨道的不同,又可分为椭圆轨道卫星、圆轨道卫星、低地球轨道卫星等。图 1.3 是赤道静止轨道卫星、倾斜轨道卫星、极地轨道卫星的示意图。通信卫星通常分为对地静止轨道和对地非静止轨道两类^[2,4,5]。

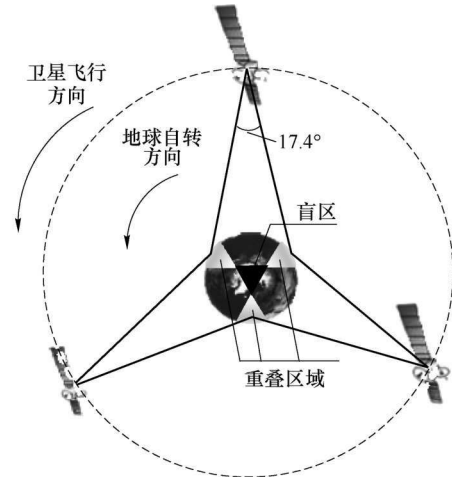


图 1.2 三颗对地静止轨道卫星构成的全球卫星通信示意图

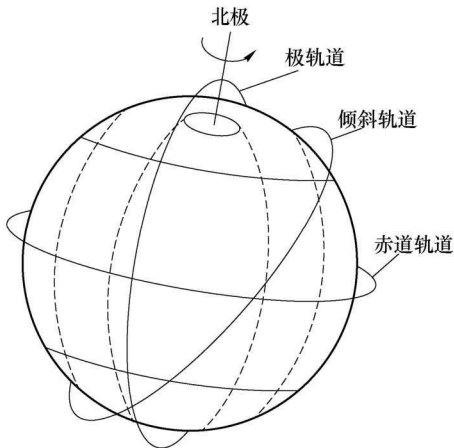


图 1.3 不同倾角卫星轨道示意图

1.1.2.1 对地静止轨道通信卫星

目前,大多数通信卫星是对地静止轨道卫星,运行在地球赤道平面上,绕行方向和地球自转方向相同,与地球同步运行。使用在这一轨道上运行的通信卫星的主要优势在于:一是对卫星覆盖区域的任何地球站而言,卫星都是静止的,因此不需要卫星跟踪天线,使建站成本大大降低;二是由于卫星在轨道上漂移引起的多普勒效应极小,因此多普勒频移小,对卫星信号的处理难度小;三是用彼此间隔 120° 的三颗静止轨道卫星可覆盖南北纬 76° 以内的地球表面,并且某些表面还会有一定重叠,而南北纬 76° 以内地区是地球上人口最稠密、经济活动最繁盛的地区。对地静止轨道卫星轨道如图 1.4 所示。

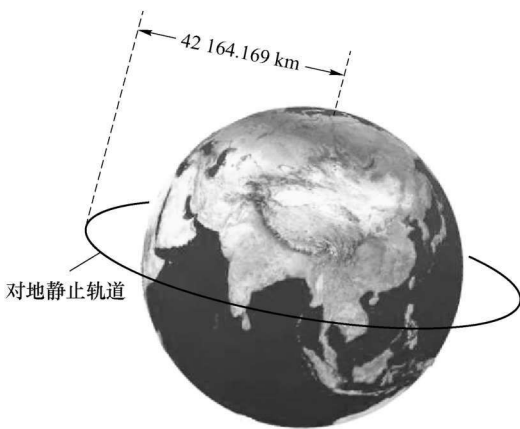


图 1.4 对地静止轨道卫星示意图

大多数卫星的有效波束宽度都小于全球波束宽度,这样可对所要服务的区域提供能量更高的信号,并且可以抑制向服务区外的辐射。根据卫星覆盖区域要求的不同,卫星天线分为全球波束天线、半球波束天线、区域波束天线、点波束天线。全球波束天线是要求对地静止轨道卫星天线波束覆盖全球的天线,它对地球的张角为 17.34° ,因此,它的波束半功率角为 17.34° 。半球波束天线是对地静止轨道卫星用于覆盖从卫星上看到的陆地区域的天线,它的波束宽度在东西方向上约为全球波束的一半,一般可覆盖一个洲(不包括海洋)。区域波束天线是对地静止轨道卫星用于覆盖从卫星上看到的某个特定区域的天线,这种天线是按覆盖地域的需要对天线波束赋型,所以它的天线又称为波束赋型天线。点波束天线包括固定波束和指向可变波束天线,一般指向地面通信业务需求量大的区域,点波束天线照射范围小,波束截面为圆形,在地球上的覆盖区域也近似为圆形,天线一般为对称反射面天线。



图 1.5 中继转发模式示意图

对地静止轨道卫星的两个地面站之间有两种通信模式。一种模式为弯管模式,两个地面站都在同一颗卫星的直视范围内,一个地面站发送的信号通过卫星中继到另一个地面站,它们相互通信的实现与地面站天线波束的最小仰角有关,仰角一般在 $10^\circ \sim 20^\circ$ 范围内,且波束和卫星通视。另一种模式称为中继模式,由于一颗卫星覆盖区域有限,为了实现全球通信,利用两颗通信卫星的共同覆盖区域,将不在同一颗星覆盖下的两个地面站通过位于重叠区域的地球站转发实现通信联络,如图 1.5 所示。

1.1.2.2 非对地静止轨道通信卫星

非对地静止轨道卫星(NGEO)包括低轨道(LEO)卫星、中轨道(MEO)卫星、高轨道(HEO)卫星。LEO 卫星轨道的高度为 $700 \sim 1\,500\text{ km}$, MEO 卫星轨道的高度从 $1\,500\text{ km}$ 到不超过 $36\,000\text{ km}$, HEO 卫星轨道使用较少。低、中、高轨道卫星轨道示意图如图 1.6 所示。NGEO 卫星的优点是:由于轨道较低,通信信号的空间损耗小,降低了对卫星电源的功率需求,相应地,地面设备的设计也可以简化;对于语音通信延时小,回声问题也不明显;用极地轨道或高倾角轨道可为高纬度地区提供通信服务;可为手持机提供服务;可用其多普勒频移特性进行定位;还可工作在存储转发模式。NGEO 卫星的主要缺点是:单颗卫星不能

提供 100% 的实时通信；多普勒效应明显，需要进行运动补偿；地球站天线需要跟踪卫星转动；提供连续的全球覆盖需要一个卫星星座，卫星控制与管理比较复杂^[2]。

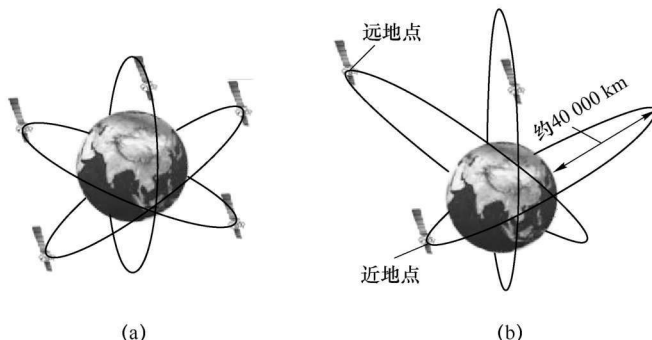


图 1.6 非对地静止轨道卫星轨道示意图

(a) 低轨道和中轨道卫星；(b) 高轨道卫星

1.1.3 卫星通信的特点

自 1957 年苏联发射了世界上第一颗卫星 (Sputnic) 后，世界上技术先进国家意识到发展卫星通信的重要性。卫星通信与微波地面中继通信相比，具有巨大的优势。

卫星通信的主要优点如下：

(1) 视场广阔，覆盖区域大

若使用对地静止轨道卫星，距地轨道高度 35 860 km，只需一颗卫星即可覆盖地球表面约 42% 的面积，用三颗卫星可覆盖全球，即只需一颗卫星就可实现地球表面 1 万多千米的通信。

(2) 多址接入，使用方式灵活

卫星通信以广播方式进行，只要在卫星波束范围内，各地球站都可以利用此卫星进行相互间的通信，可采用时分多址、频分多址、码分多址、空分多址等方式灵活组成通信网络。

(3) 可用频带宽，通信容量大

卫星通信使用微波频段，从之前用 C 频段、Ku 频段为主，到现在向 Ka 频段、V 频段甚至太赫兹频段扩展，可使用的频带资源越来越宽。C 频段、Ku 频段卫星的可用带宽一般为 500 MHz，而 Ka 频段卫星的可用带宽更大，一般可达 2 GHz。在采用多点波束频率复用、极化复用的情况下，单颗卫星可用带宽达几十吉赫兹，通信容量大，卫星资源利用率高。随着数字通信技术的迅速发展，卫星转发器信道传输速率也不断提高，在当前具备支持语音、传真、电视广播、图像传输等传统业务的基础上，对多媒体业务也将提供重要技术支持。

(4) 信号传输通道稳定, 通信质量高

采用微波频段在空间传输信号, 除在少数频点上衰减较大外, 绝大多数频段受大气影响较小, 在大气层外的空间传播路径也十分稳定, 因此卫星通信受天候影响较小, 通信质量高。

(5) 建设成本低, 使用灵活

卫星通信的建立, 不因通信用户间的距离远而增加成本, 不受地理条件限制, 不论是在交通便利的城市, 还是在偏远的山区, 均可建立卫星通信系统, 并且建站速度快、组网灵活、成本低, 既可实现固定通信, 也可实现移动通信。

虽然卫星通信有诸多优点, 也存在如下缺点:

(1) 抗干扰性能较差

对地静止轨道通信卫星的位置及通信频段公开, 通常又使用透明转发器, 通信易被干扰, 且容易被插播有害信息。

(2) 通信保密性较差

由于卫星通信采用广播方式, 只要是在波束范围内的接收机, 都可以接收来自卫星的信号, 信号易被截获和破译。对于需要保密的内容, 应采取保密通信技术。

(3) 高轨道卫星传输延时大

对于对地静止轨道卫星和高轨道卫星, 由于信号中继传输距离远, 传输延时较大, 例如, 对地静止轨道卫星通信信号往返需要 16 万千米, 传输延时达 0.5 s, 同时, 还会有回声现象, 特别是对语音通信质量有一定影响, 需要采取相应的技术措施加以消除。

(4) 高纬度地区通信质量不佳

虽然利用极地轨道卫星和高轨道卫星可以在一定程度上解决这一问题, 但有效通信时间短, 并且需要地球站实时跟踪卫星, 增加了地球站建站的复杂性。

1.1.4 卫星通信的任务

卫星通信的主要任务是满足地面固定和移动用户的通信及广播需求, 也可以用于空间的星间中继通信与数据传输。

卫星通信业务主要包括卫星固定业务 (FSS)、卫星移动业务 (MSS)、卫星广播业务 (BSS) 三大类^[5]。卫星固定业务是各地球站都在固定状态下相互进行的通信业务; 卫星移动业务是通信双方至少有一方在移动状态下的通信业务, 例如, 海上航行的船舶的对地通信; 卫星广播业务是指用户可直接收视卫星下发的广播电视信号的业务, 通常称为直播业务。进入 21 世纪以来, 又发展了卫星移动广播业务, 其用户站比固定接收站进一步小型化, 可在移动状态下直接接收来自卫星的音视频信号。随着卫星通信技术的发展和人们多媒体移动通信业务需求的增长, 以上几种通信方式有逐渐统一的趋势^[4-6]。

1.1.4.1 卫星固定通信业务

卫星固定通信业务是两个固定地球站之间依托卫星中继实现的通信业务，主要利用地球静止轨道卫星开展，使用的频段有 C、Ku、Ka 频段，极化方式有圆极化和线极化，天线波束形式有全球、半球、区域和点波束等，转发器形式有透明转发和再生处理转发。根据卫星使用要求的不同，开发了多种类型的标准地球站与卫星相匹配。

截至 2015 年年底，全球经营卫星固定通信业务的公司有 40 余家，主要运营商有国际卫星通信公司（美国/卢森堡）、欧洲卫星公司（美国/卢森堡）、欧洲卫星通信公司（法国）、电信卫星公司（加拿大）、天空完美日星公司（日本）等。

根据固定通信业务类型，卫星固定通信业务又可以分为国际通信业务、国内通信业务和区域通信业务。国际通信业务主要利用多颗静止轨道卫星组成星际网络，实现地球南北和各洲际之间的通信，而国内和范围通信业务的通信区域限于国家或一个地区之内，利用一颗卫星即可实现两个地点的通信。

1.1.4.2 卫星移动通信业务

卫星移动通信业务的通信双方至少有一方是移动的。卫星移动通信能够真正实现地球上任何时间、任何地点、任何人的通信发展目标，但目前来看还存在运营成本 and 用户机成本高的问题。卫星移动通信所使用的卫星有低轨卫星和静止轨道卫星，由此也构成了两类不同的卫星移动通信系统。

低轨卫星移动通信系统目前已投入运营的主要有美国摩托罗拉公司提出的铱星系统（Iridium）、美国劳拉公司和高通公司发起的全球星系统（Globalstar）及由美国 Orbcomm 公司和加拿大 Teleglobe 公司联合经营的轨道通信系统。我国目前也开展了低轨轨道卫星通信，首颗卫星已经成功发射并完成了通信指标的在轨测试，可实现用户间直接依托卫星的移动通信，支持手机、车载、舰载、机载及半固定和固定用户的通信。特别是随着通信技术的进步，将有条件为用户提供功能强大的通信系统，满足除常规的电话业务之外的高清实时图像传输、宽带数据通信等业务。

静止轨道卫星移动通信已投入运营的主要有全球覆盖的国际海事卫星（Inmarsat）通信系统，区域覆盖的有瑟拉亚（Thuraya）卫星通信系统、亚洲蜂窝（AceS）卫星通信系统等。使用的频段主要在 L、S 频段，Ka 频段的业务正在开发。投入运营最早、影响最大的是海事卫星通信系统，已发展了四代支持 L 频段通信的系统，目前正在开发支持 Ku 频段业务的第五代通信系统，是全球唯一能为用户提供全球化、全天候公众通信和遇险通信服务的系统。静止轨道卫星移动通信可向用户提供语音、传真、低速数据传输及区域性漫游等业务服务。