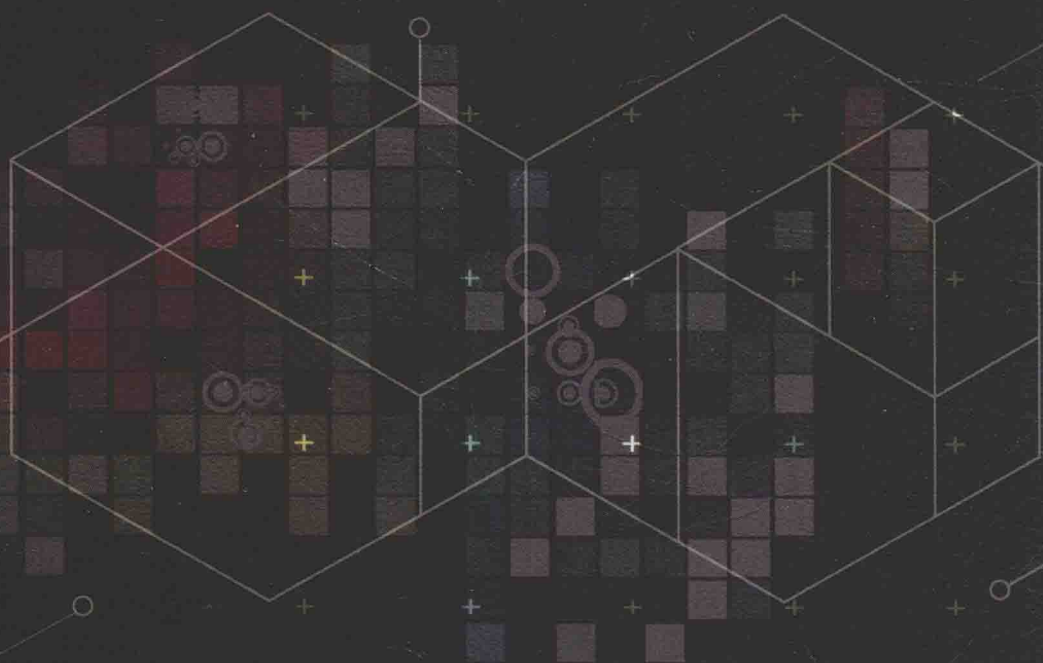




空间信息传输与处理

Space Information Transmission and Processing

◆ 朱立东 卓永宁 吴廷勇 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

空间信息传输与处理

朱立东 卓永宁 吴廷勇 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍空间信息传输与处理的基本原理和技术，主要内容包括：卫星轨道及编队构形设计、卫星通信链路预算及信道模型、星上路由交换及处理、星间链路及星座组网、深空通信；卫星导航定位原理、选星算法及信号捕获技术；星载合成孔径雷达原理、星载 SAR 回波信号模型及回波模拟、卫星编队构形对空间分辨率的影响。

本书适合作为高等学校信息与通信工程、通信与信息系统、信号与信息处理等专业相关课程的教材，也可以作为电子通信领域相关技术人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

空间信息传输与处理 / 朱立东, 卓永宁, 吴廷勇编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.8
ISBN 978-7-121-31577-0

I. ①空… II. ①朱… ②卓… ③吴… III. ①空间信息技术—信息传输—研究 ②空间信息技术—信息处理—研究 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 118098 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 李佩乾 李宪强 宋 薇

印 刷: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

装 订: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 10 字数: 320 千字

版 次: 2017 年 8 月第 1 版

印 次: 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: 88254113。

前 言

近年来空间信息技术发展迅速，美国、中国、俄罗斯、欧盟、日本等不断提出空间互联网计划，解决剩余 30 多亿人的上网问题。我国推出了多个与空间信息技术相关的国家科技重大专项，包括高分辨对地观测系统专项、载人航天与探月工程专项、北斗卫星导航系统专项以及即将启动的天地一体化信息网络专项。移动通信卫星“天通一号”、宽带通信卫星“中星 16 号”、导航定位卫星“北斗系列”、对地观测卫星“高分系列”等成功发射，我国“一带一路”的建设跨越区域广，离不开空间信息技术的支持。2003 年我国提出了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》，加速以卫星通信广播、卫星导航、卫星遥感应用为核心的卫星应用产业发展。2010 年 10 月我国颁布了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，提出做大做强航空产业、积极推进空间信息基础设施建设，促进卫星及其应用产业发展。这些政策和措施大大促进了空间信息技术的发展，各科研院所、高校都投入了大量精力研究空间信息网络的关键技术，包括星座及编队构形设计、信道模型及信道估计、星上处理、星间链路、路由交换、资源管理和移动性管理、深空信息传输及微弱信号接收、卫星导航定位以及星载 SAR 回波信号模拟和成像等。

作者所在的通信抗干扰技术国家级重点实验室长期从事相关的科研和教学工作，先后承担并完成与空间信息技术相关的项目 30 余项，包括国家自然科学基金、国家 863 计划项目、军事电子预研项目，以及与中国航天科技集团和中电集团所属研究院所的合作项目。

作者所在的电子科技大学从 2010 年开始开设“空间信息传输与处理”研究生课程，所采用的讲义得到了学生的好评。本课程使学生较为系统地掌握了空间信息传输与处理技术的基本原理，为国家培养了一批从事空间信息技术的专业人才。基于以上情况，作者在原有讲义基础上，结合近几年来空间信息技术的发展情况，组织编写了本书。

本书是电子科技大学的立项教材，得到了学校、研究生院，以及通信抗干扰技术国家级重点实验室的大力支持。

本书的体系逐层推进，从卫星轨道→链路设计→星座组网，从星间链路→星上处理→路由交换，从卫星通信→卫星导航→卫星遥感。涉及的技术包括：卫星轨道、星座及编队构形设计，链路预算及卫星信道模型，星上处理及路由交换，卫星网络接入协议及多址技术，资源管理和移动性管理，多星测控，深空信息跟踪、测量及高性能接收技术，卫星导航信号的捕获跟踪及多系统的选星算法，星载合成孔径雷达的回波信号模拟及高性能成像技术等。

本书由朱立东等编著，卓永宁编写了 7.1~7.5 节，吴廷勇编写了 2.2 节和 5.1 节，其余章节由朱立东编写，全书由朱立东统稿。吴诗其教授对本书进行了认真审定。在编写过程中得到了电子工业出版社韩同平编辑以及我的研究生的帮助，在此一并表示感谢！

限于时间和水平，难免有错误和遗漏之处，希望读者不吝指正（zld@uestc.edu.cn）。

编 者
于电子科技大学

目 录

第 1 章 空间信息传输与处理概述	(1)
1.1 空间信息技术	(1)
1.1.1 空间信息技术的定义	(1)
1.1.2 空间信息传输链路的特点	(1)
1.1.3 空间信息技术的应用	(2)
1.1.4 空间信息传输处理的核心技术	(2)
1.1.5 中国空间信息技术的进展	(8)
1.2 空间信息网及组成	(8)
1.2.1 空间信息网结构	(8)
1.2.2 空间互联网	(9)
1.2.3 空间信息系统	(10)
1.3 空间信息传输技术	(10)
1.3.1 空间信息传输模型	(10)
1.3.2 空间信息传输关键技术	(11)
1.4 空间信息处理技术	(11)
1.5 空间信息技术的发展	(12)
1.5.1 卫星通信技术的发展	(12)
1.5.2 卫星导航定位技术的发展	(12)
1.5.3 卫星遥感技术的发展	(12)
1.5.4 地理信息系统技术的发展	(12)
习题一	(13)
本章参考文献	(13)
第 2 章 卫星轨道及编队构形设计	(15)
2.1 卫星轨道	(15)
2.1.1 卫星运动原理	(15)
2.1.2 卫星轨道摄动	(16)
2.1.3 地心坐标系与卫星轨道参数	(17)
2.1.4 卫星轨道分类	(19)
2.1.5 卫星的星下点轨迹	(21)
2.1.6 卫星覆盖特性计算	(21)
2.2 卫星星座	(23)
2.3 卫星编队构形设计	(24)
2.3.1 编队飞行卫星的概念及应用	(24)
2.3.2 编队卫星的相对运动分析	(26)
习题二	(30)
本章参考文献	(30)

第3章 卫星链路预算及信道模型	(32)
3.1 卫星链路传播特性	(32)
3.1.1 卫星链路传播问题	(32)
3.1.2 星间和星地链路传播特性	(32)
3.2 噪声和等效噪声温度	(35)
3.2.1 系统热噪声	(35)
3.2.2 噪声温度和噪声系数	(35)
3.3 卫星全链路质量分析及链路设计	(36)
3.3.1 链路预算分析	(36)
3.3.2 全链路传输质量	(37)
3.4 卫星移动通信链路特性	(38)
3.5 卫星信道模型及信道模拟器	(40)
3.5.1 卫星信道建模方法	(40)
3.5.2 信道建模常用概率密度函数	(41)
3.5.3 卫星移动通信信道模型	(42)
3.5.4 Ka 频段宽带卫星信道模型	(46)
3.5.5 卫星信道模型的仿真实现	(49)
3.5.6 卫星信道模拟器	(51)
习题三	(52)
本章参考文献	(53)
第4章 星上路由交换与处理技术	(55)
4.1 星上交换	(55)
4.1.1 星上交换的意义	(55)
4.1.2 星上交换体制	(55)
4.2 卫星网络路由技术	(59)
4.2.1 卫星网络拓扑结构特点及控制	(59)
4.2.2 卫星网络路由概述	(59)
4.2.3 两种典型的路由算法	(62)
4.3 卫星转发器及星上处理	(64)
4.3.1 卫星转发器的组成	(64)
4.3.2 转发器的 EIRP 和 G/T	(65)
4.3.3 卫星转发器分类	(65)
4.3.4 星上处理	(65)
4.4 星上抗干扰技术	(67)
4.4.1 卫星通信面临的干扰威胁	(67)
4.4.2 星上抗干扰技术	(69)
习题四	(73)
本章参考文献	(74)
第5章 星间链路及星座组网技术	(75)
5.1 星间链路	(75)
5.1.1 星间链路的概念及组成	(75)
5.1.2 建立星间链路的意义	(75)

5.1.3	星间链路的种类	(75)
5.1.4	星间链路的传输介质及频段	(75)
5.1.5	星间链路的方位角和仰角	(76)
5.1.6	星间链路的几何动态特性	(77)
5.1.7	星间链路需要解决的问题	(80)
5.2	卫星通信系统的随机多址接入协议	(81)
5.2.1	时隙 ALOHA	(81)
5.2.2	扩频 S-ALOHA	(82)
5.3	卫星通信系统的多址方式	(83)
5.3.1	卫星频分多址 (FDMA) 技术	(83)
5.3.2	卫星时分多址 (TDMA) 技术	(84)
5.3.3	卫星码分多址 (CDMA) 技术	(85)
5.4	卫星移动通信系统的资源管理及移动性管理	(86)
5.4.1	资源管理	(87)
5.4.2	移动性管理	(88)
5.5	多星测控	(91)
5.5.1	测控系统概述	(91)
5.5.2	多星测控出现的问题及解决途径	(92)
5.5.3	新测控技术	(92)
5.5.4	星座卫星系统测控	(92)
5.5.5	星座卫星系统的多星测控途径	(93)
	习题五	(93)
	本章参考文献	(93)
第 6 章	深空通信技术	(96)
6.1	深空通信概述	(96)
6.2	深空通信系统的组成及工作原理	(98)
6.3	深空通信的跟踪、测量技术	(100)
6.4	深空通信的主要技术	(101)
6.5	深空微弱信号接收技术	(103)
6.5.1	单台接收机的相干接收技术	(103)
6.5.2	天线组阵技术	(105)
6.5.3	组阵相关算法	(109)
	习题六	(110)
	本章参考文献	(110)
第 7 章	卫星导航定位技术	(111)
7.1	概述	(111)
7.2	卫星导航定位基础	(112)
7.3	双静止轨道卫星定位系统	(115)
7.4	GPS 导航定位系统	(117)
7.4.1	GPS 系统结构	(117)
7.4.2	GPS 系统工作原理	(117)
7.4.3	绝对定位和相对定位	(118)

7.5 低轨卫星导航定位系统.....	(121)
7.6 卫星导航定位系统的选星算法.....	(122)
7.6.1 单一卫星导航定位系统的选星.....	(122)
7.6.2 卫星融合系统的选星.....	(124)
7.7 卫星导航信号捕获技术.....	(126)
7.7.1 串行搜索.....	(126)
7.7.2 并行频率搜索.....	(127)
7.7.3 并行码相位搜索.....	(127)
7.7.4 捕获算法比较.....	(128)
习题七.....	(130)
本章参考文献.....	(130)
第8章 星载合成孔径雷达技术.....	(132)
8.1 合成孔径雷达工作原理.....	(132)
8.2 星载合成孔径雷达回波信号模型及回波模拟.....	(133)
8.2.1 点目标回波信号模型.....	(133)
8.2.2 点目标回波信号模拟.....	(136)
8.2.3 面目标回波信号模拟.....	(138)
8.3 卫星编队构形对空间分辨率的影响.....	(141)
8.3.1 单星 SAR 空间分辨率.....	(141)
8.3.2 直线型编队构形对空间分辨率的影响.....	(142)
习题八.....	(150)
本章参考文献.....	(151)

第 1 章 空间信息传输与处理概述

1.1 空间信息技术

1.1.1 空间信息技术的定义

空间信息技术 (Spatial Information technology) 是 20 世纪 60 年代兴起的一门新兴技术, 70 年代中期以后在我国得到迅速发展。主要包括卫星导航定位系统、地理信息系统和遥感等的理论与技术, 同时结合计算机技术和卫星通信技术, 进行空间数据的采集、测量、分析、存储、管理、显示、传播和应用等。空间信息技术在广义上也被称为“地球空间信息科学”, 在国外被称为 GeoInformatics。20 世纪 80 年代空间信息技术得到了较快的发展, 在全球与区域通信、导航定位、资源勘测、灾害和环境的动态监测、区域和城市规划等领域得到了广泛应用, 并取得了显著的经济效益和社会影响。

空间信息技术主要有两种定义。

定义一: 空间信息技术是卫星遥感、全球定位系统、地理信息系统以及数字传输网络等信息技术的集成, 包括空间信息的获取、传输、处理以及应用。

定义二: 以 3S+C (3S: 地理信息系统 GIS、遥感 RS、全球定位系统 GPS; C: 卫星通信技术) 为主要内容, 研究与地球和空间分布有关的数据采集、测量、分析、存储、管理、显示、传输、应用的一门综合集成的科学技术。

空间信息技术是当前人类进行信息传输以及快速获取大区域地球动态信息和定位信息极其重要的手段, 与纳米技术、生物技术并列为三大科学前沿领域。

1.1.2 空间信息传输链路的特点

空间信息传输链路和地面通信链路相比, 有如下特点:

(1) 传输时延长, 并且不固定

卫星是空间信息传输的重要节点, 不同的卫星轨道高度以及用户终端 (手持终端、地球站等) 相对于卫星的仰角决定了卫星与用户终端之间的距离, 即星地链路距离。星地链路距离除以光速就得到传输时延。如果终端对卫星的仰角都为 90° , 则地球静止轨道 (GEO) 卫星 (以 Inmarsat 系统卫星为例, 轨道高度 35786km) 的星地链路传播时延约为 120ms, 中轨道 (MEO) 卫星 (以 GPS 系统卫星为例, 轨道高度 20200km) 的星地链路传播时延约为 67ms, 低轨道 (LEO) 卫星 (以“铱”系统卫星为例, 轨道高度 785km) 的星地链路传播时延约为 2.62ms。由于卫星和用户终端的相对运动, 星地链路时延会动态变化。

(2) 误码率较高

由于星地链路距离远, 自由空间传播损耗大; 星地链路要穿过大气层 (包括电离层和对流层), 会产生附加损耗; 由于建筑物、树木、输电线等的遮蔽、阻挡, 会产生阴影衰落; 卫星和终端之间的相对运动会产生多普勒频移, 且多普勒频移是动态变化的。所有这些因素会导致

卫星链路传输误码率较高。

(3) 时断时续和周期性

对于非静止轨道卫星，由于卫星的地面覆盖区域不断变化，星地链路会出现时断时续的现象。另一方面，卫星运动具有规律性和周期性，可以预知。

(4) 上下行链路具有非对称性

通常上行链路的速率较低，而下行链路的速率较高。上行链路对功耗的限制不如下行链路严格，因为星载设备对功率、重量、体积都有严格的限制。

1.1.3 空间信息技术的应用

空间信息技术应用除了传统的工程建设、资源勘察等领域外，不断拓展和加深，进入经济社会发展各个领域，包括交通、国防、电力、农业、林业、电信、商业、旅游、现代物流等领域以及大众服务行业，其中在数字城市中的应用已经成为地理信息技术最为重要的应用领域。

1.1.4 空间信息传输处理的核心技术

空间信息传输处理涉及的核心技术包括：卫星遥感技术、地理信息系统技术、全球卫星导航系统技术以及卫星通信技术。

1. 卫星遥感技术

一切物体，由于其种类及环境条件的不同，具有反射或辐射不同波长电磁波的特性。遥感就是利用物体反射或辐射电磁波的固有特性，达到识别物体及其环境的目的。卫星遥感技术以卫星为平台，通过观测电磁波特性，判读和分析地物目标及现象，它涉及传感器技术，信息处理、提取和应用技术，目标信息特征的分析与测量技术等。

遥感过程中的电磁辐射源包括自然辐射源和人工辐射源，其中自然辐射源有太阳辐射和地物的热辐射，人工辐射源包括微波辐射和激光辐射。根据对地物的反射光谱、发射光谱和透射光谱的分析，可以区分不同的地物。

根据电磁波的波段，遥感可以分为以下几类：

紫外遥感：探测波段在 $0.05\sim 0.38\mu\text{m}$ 之间。

可见光遥感：探测波段在 $0.38\sim 0.76\mu\text{m}$ 之间。

红外遥感：探测波段在 $0.76\sim 1000\mu\text{m}$ 之间。

微波遥感：探测波段在 $1\text{mm}\sim 1\text{m}$ 之间。

多波段遥感：将目标物辐射来的电磁辐射分割成若干个窄的光谱带，然后同步探测，同时得到一个目标物不同波段的多幅图像。

根据遥感资料的记录方式，遥感又可以按照图 1-1 所示进行分类。

按工作方式分类，有主动式遥感和被动式遥感两种。主动式遥感是指遥感仪器主动向目标物体发射一定波长的电磁波，然后接收目标物体反射回来的电磁波能量信息，如雷达遥感、闪光摄影等。被动式遥感是指不依靠人工辐射源，直接由遥感仪器接收目标物体自身发射或反射自然辐射源的电磁波能量信息，如可见光摄影和扫描等。

卫星遥感传感器是收集、探测和记录地面目标物的电磁波信息的仪器，是遥感信息技术的核心部分。遥感卫星及装载在卫星上的传感器（有效载荷）是遥感信息获取的重要组成部分，卫星遥感传感器由收集系统、探测系统、信号转换系统和记录系统（或通信系统）组成。卫星

遥感传感器的性能指标包括空间分辨率、辐射分辨率和波谱分辨率。

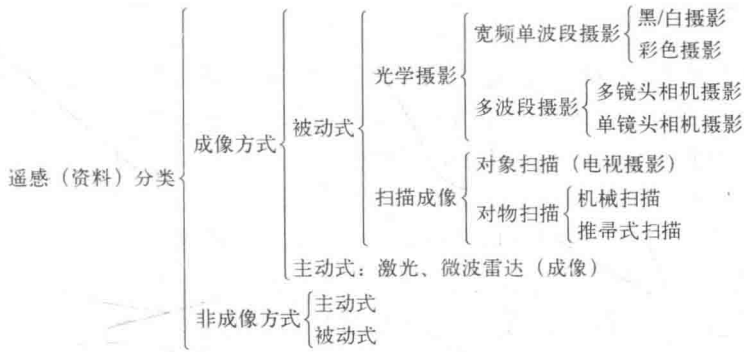


图 1-1 遥感 (资料) 分类

要支持卫星 (或航天器) 及传感器, 必须有地面系统来指挥并控制它们, 监测其位置及姿态, 获取数据并传输指令。地面测控网对卫星 (或航天器) 的飞行状态进行跟踪、测量、控制并接收航天器发回的探测数据等任务。地面测控网通常由一个航天控制中心和若干个配有跟踪测量以及遥测遥控设备的测控站 (包括测量船和测量飞机) 组成。卫星遥感系统包括卫星控制中心、测控站、跟踪站、遥感数据接收站、数据中继卫星、数据处理中心、遥感技术中心、地面试验场等子系统。

遥感卫星地面站主要由天线跟踪伺服系统、收发信机系统、通信控制系统和显示监控终端以及配套的各类软件等组成, 具体配置如图 1-2 所示。

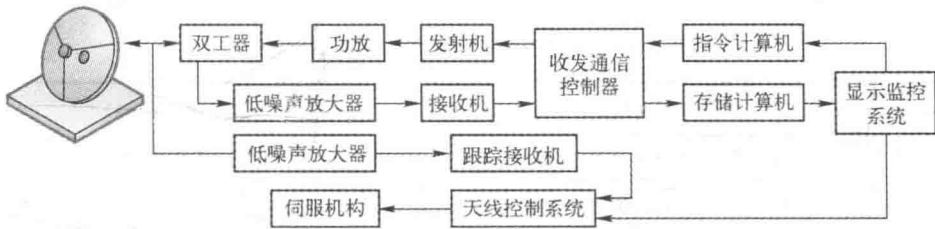


图 1-2 遥感卫星地面站结构

遥感卫星地面系统主要对卫星 (或航天器) 进行跟踪遥测, 发送遥控指令, 并接收卫星 (或航天器) 发回的遥感数据。地面站系统经由下行通信链路从各分系统得到卫星轨道和姿态信息及各设备的状态信息, 从而及时掌握卫星工作和运行状态; 卫星有效载荷获取的对地观测信息将以遥感数据形式经过星载测控通信分系统的下行链路传送给地面站; 遥控指令是地面站对卫星及有效载荷进行控制的信息总和, 其中一部分是卫星各分系统的控制指令, 另一部分是地面站对有效载荷的控制指令, 这些指令信息以数据帧的形式经测控通信分系统的上行链路发送。为了提高星载计算机软件的可靠性和适应性, 有些遥感卫星系统要求具有软件重注功能, 软件重注数据由地面站通过上行链路发送给星载计算机系统。

遥感卫星系统的主要功能是进行地球观测, 来自卫星的大量遥感影像数据将由地面站进行各种预处理。一般遥感卫星地面站数据处理系统主要包括: 遥感数据实时存储系统、遥感影像信息预处理计算机、测控计算机局域网、卫星遥测数据处理计算机、卫星遥控指令信息处理计算机及相应的软件等。

遥感卫星地面站主要完成卫星下传的遥感影像数据和其他辅助测量数据的接收、影像筛选、辐射改正、几何校正以及数据存储与传输工作, 并根据摄影任务要求上传卫星摄影任务的

遥控数据，完成对卫星的测控。

2. 地理信息系统技术

地理信息系统是指在计算机软硬件系统支持下，对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。地理信息系统由若干个相互关联的子系统构成，如数据采集子系统、数据管理子系统、数据分析和处理子系统、图像处理子系统、数据产品输出子系统等。

地理信息系统处理、管理的对象是多种地理空间实体数据及其关系，包括空间定位数据、图形数据、图像数据、属性数据等，用于分析和处理在一定地理区域内分布的各种现象和过程，解决复杂的规划、决策和管理问题。空间数据的最根本特点是每一个数据都按统一的地理坐标进行编码，确定其空间位置，实现对其定性和定量的描述。

3. 卫星导航定位系统技术

卫星定位是指利用卫星确定某对象在某时刻的位置信息，卫星导航是指利用卫星确定某对象在某时刻的位置及速度。

用于确定用户位置的卫星无线电业务有两种形式，一种是卫星无线电导航业务，即 RNSS，由用户根据接收到的卫星无线电导航信号，自主完成定位和航速及航行参数计算，又称为无源定位。另一种是卫星无线电测定业务，即 RDSS，用户的位置确定不能由用户独立完成，必须由外部系统进行距离测量和位置计算，再通过同一系统通知用户，该方式不便于提供用户运动速度，难以提供多种导航参数，例如速度、偏航差、到达目的地的预测时间等。

卫星定位和卫星导航的特点比较如表 1-1 所示。

表 1-1 卫星定位与卫星导航的特点比较

名称 性能	卫星定位 (RDSS)	卫星导航 (RNSS)
原理	由用户机以外系统确定用户位置	用户机自主完成位置、速度测定
可用卫星星座	地球静止轨道 (GEO) 卫星星座	地球静止轨道 (GEO) 卫星星座, 中圆轨道 (MEO) 卫星星座, 地球倾斜同步轨道 (IGSO) 卫星星座
服务业务	定位, 授时, 位置报告, 通信	定位, 测速, 授时
用户发射响应信号	需要	不需要
观测量	用户经卫星至中心控制系统距离和多普勒频偏	星地伪距, 多普勒测量值
卫星载荷复杂性	较简单	复杂
覆盖特性	区域	区域, 全球一体化设计
用户动态适应性	中、低动态用户单次服务	高、中、低动态连续服务
应用范围	定位、位置报告、通信、救援	导航, 武器制导

我国的北斗一号是双星定位系统，属于区域导航定位系统，利用无线电测距确定用户位置，即无线电测定业务 (Radio Determination Satellite Service, RDSS)。RDSS 系统属于有源定位，系统由导航通信卫星、地面站和用户设备组成。除提供定位服务以外，还提供通信和授时服务。双星定位系统的基本原理如图 1-3 所示。

“北斗一号”卫星定位系统由两颗静止轨道 (GEO) 卫星 (还包括一颗备份卫星)、中心控制系统、标校系统和各类用户机等组成。首先由中心控制系统同时向两颗卫星发送询问信号，经过卫星转发器向服务区内的用户广播。用户响应其中一颗卫星的询问信号，并同时向两颗卫星发送响应信号，经卫星转发回控制中心系统。中心控制系统接收并解调用户发来的信

号，测出两个时间延迟：一是从中心控制系统发出询问信号，经某一颗卫星转发到达用户，用户发出定位响应信号，经同一颗卫星转发回中心控制系统的延迟；二是从控制中心发出询问信号，经上述同一颗卫星到达用户，用户发出响应信号，经另一颗卫星转发回中心控制系统的延迟。由于中心控制系统和两颗卫星的位置是已知的，由上面两个延迟量可以计算出用户到第一颗卫星的距离，以及用户到两颗卫星的距离之和，从而知道用户处于以第一颗卫星为球心的一个球面，和以两颗卫星为焦点的椭球面之间的交线上。中心控制系统从存储在计算机内的数字化地形图查询到用户高程值，可知用户处于某一与地球基准椭球面平行的椭球面上。控制中心系统最终可算出用户所在点的三维坐标，经过加密后由出站信号发送给用户。

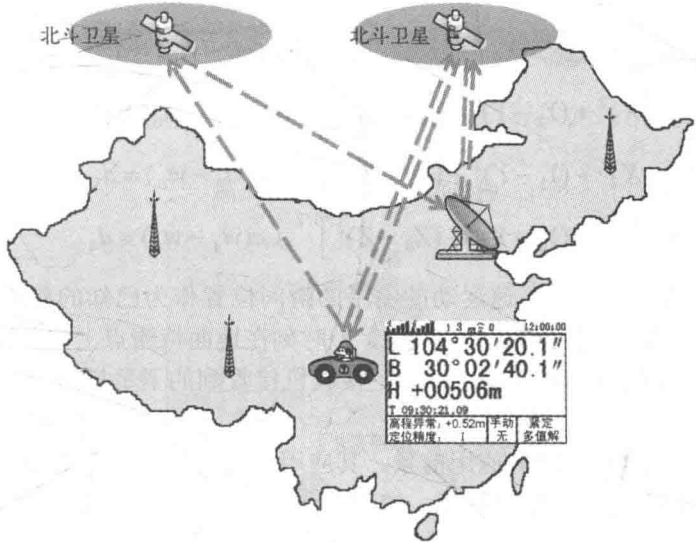


图 1-3 “北斗一号”双星定位系统基本原理

GPS、GLONASS、Galileo 以及我国的“北斗二代”属于 RNSS 系统，即无源定位。GPS 系统是全球导航定位，由导航卫星、地面支撑系统或控制系统及用户接收设备组成。地面支撑系统包括 1 个主控站、3 个注入站和 5 个监测站。GPS 系统基本组成如图 1-4 所示。

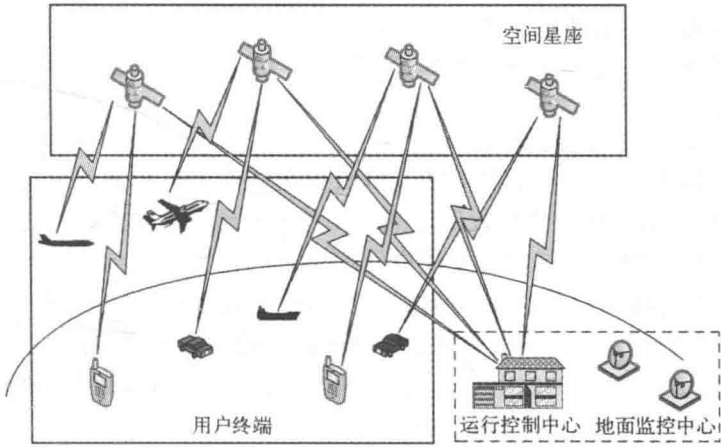


图 1-4 GPS 系统基本组成

GPS 系统主要包括三大组成部分，分别是空间星座、地面监控中心和用户终端。GPS 定位基本原理如图 1-5 所示。

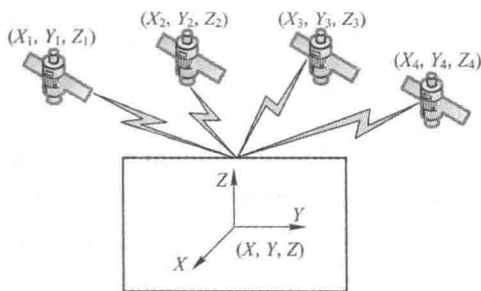


图 1-5 GPS 定位基本原理

$$\begin{cases} \left[(X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2 + (Z_1 - Z)^2 \right]^{1/2} + c(vt_1 - vt_0) = d_1 \\ \left[(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2 + (Z_2 - Z)^2 \right]^{1/2} + c(vt_2 - vt_0) = d_2 \\ \left[(X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2 + (Z_3 - Z)^2 \right]^{1/2} + c(vt_3 - vt_0) = d_3 \\ \left[(X_4 - X)^2 + (Y_4 - Y)^2 + (Z_4 - Z)^2 \right]^{1/2} + c(vt_4 - vt_0) = d_4 \end{cases} \quad (1-1)$$

GPS 定位的基本原理是将高速运动的卫星的瞬间位置作为已知的起算数据，采用空间距离后方交会的方法，确定待测点的位置。假设 t 时刻在地面待测点上安置 GPS 接收机，可以测定 GPS 信号到达接收机的时间 Δt ，再加上接收机接收到的卫星星历等其他数据可以确定图 1-5 中的四个方程式。

卫星导航定位系统具有广阔的应用前景，其应用领域包括：交通运输、产业（如农业、建筑业、渔业、林业等）、地理（包括测量、绘图、大地测量、地理信息系统等）、个人消费、军事应用等。

我国的卫星导航定位系统计划分三步走：

第一阶段：从 2000 年到 2003 年，中国成功发射了 3 颗北斗导航试验卫星，成为继美国、俄罗斯之后第 3 个拥有自主卫星导航系统的国家。

第二阶段：2012 年前首先提供覆盖亚太地区的定位、导航、授时和短报文通信服务能力。

第三阶段：2020 年左右建成由 5 颗静止轨道卫星和 30 颗非静止轨道卫星组成的覆盖全球的北斗卫星导航系统。

4. 卫星通信技术

卫星通信是指利用卫星作为中继站转发或反射无线电波，以此来实现两个或多个地球站（或手持终端）之间、或地球站与航天器之间通信的一种通信方式。换言之，卫星通信是在地球上，包括地面、水面和大气层中的无线电通信站之间，利用人造卫星作为中继站进行的通信。主要包括卫星固定通信、卫星移动通信、卫星直接广播和卫星中继通信四大领域。卫星通信基本结构如图 1-6 所示。卫星通信系统包括空间段、地面段和用户段，空间段是指卫星，地面段包括地面控制中心、卫星控制中心、测控站等，用户段是指各种类型的用户终端。

卫星通信系统的基本工作原理如图 1-7 所示。

在发射端，基带信息首先进行信源编码，减少信息冗余成分，然后进行信道编码，提高信息传输的可靠性。完成上述处理以后再调制，由基带信号变换到中频，调制方式可选择 BPSK、QPSK、OQPSK、8PSK、16QAM/16APSK、32QAM/32APSK 等。调制后的信号上变频到射频，再经高功率放大（HPA），最后通过天线发射出去。

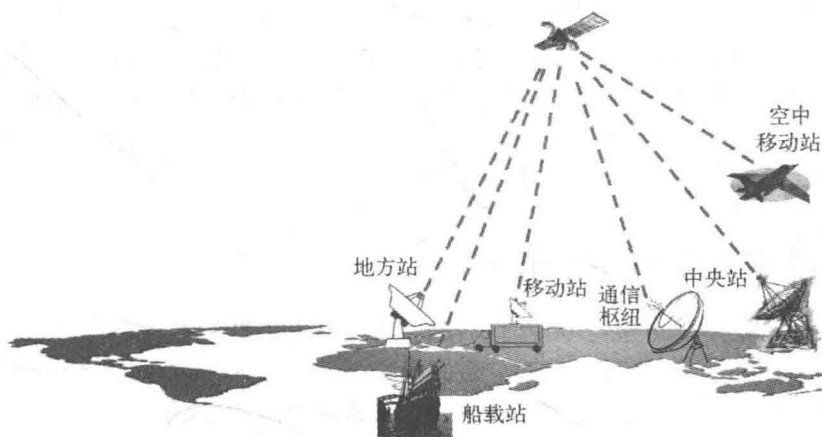


图 1-6 卫星通信基本结构

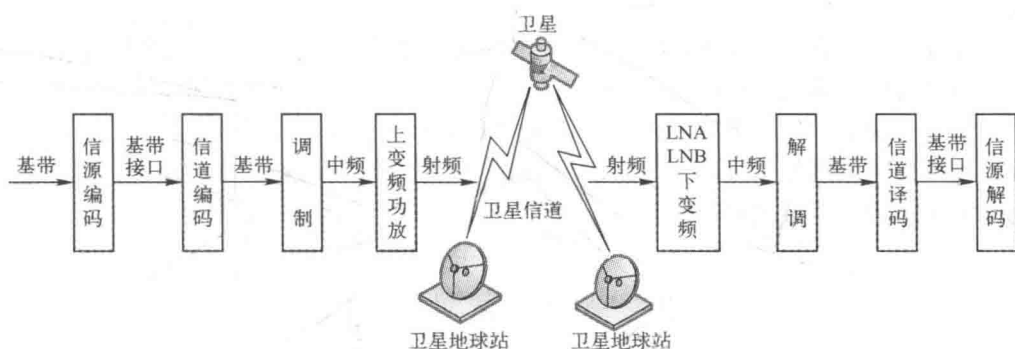


图 1-7 卫星通信系统的基本工作原理示意图

在接收端，信号从天线进入以后，首先通过低噪声放大（LNA）和下变频，将射频信号变换为中频信号，然后进行解调，解调方式和发射端的调制方式相对应。解调以后得到基带信号，再进行信道译码和信源译码，恢复源信息。

卫星通信常用的频段包括 VHF, UHF, L, S, C, X, Ku 和 Ka 等。各频段的频率大致范围如下：L: 1~2GHz; S: 2~4GHz; C: 4~7GHz; X: 7~12GHz; Ku: 12~18GHz; Ka: 20~40GHz。在卫星通信系统中，在某一频段内的上行链路频率往往比下行频率高很多。这是因为射频功率放大器的效率随着频率的升高而下降，而地球站较卫星能容忍这种功放的低效率。同时，通常地球站发射功率比卫星发射功率大几十倍。

卫星通信具有以下优点：

- 覆盖面积大，通信距离远，建站成本与通信距离基本无关。
- 组网灵活，便于多址连接。各种地面站不受地理条件的限制，不管是固定站还是移动站，不同种类的业务可在同一个卫星通信网内组网。
- 通信容量大。卫星通信工作在微波频段，使卫星的通信容量可达上万路话路。
- 通信质量好、可靠性高。电磁波主要在接近真空的外层空间传播。
- 经济效益、社会效益好。卫星通信不受地理和环境条件的限制，具有建设快、投资少、经济效益高的优点。
- 可以自发自收进行监测。

另一方面，卫星通信具有以下缺点：

- 信号极弱（毫微微瓦级），对技术和设备的要求较高。
- 时延大（双向往返约 540ms）。对于话音通信，接续时间长，必须加回声抵消器；对于数据通信，IPv4 标准 TCP 容量受限，需采用协议加速（或协议欺骗）或采用 UDP 方式。
- 每兆赫兹带宽成本与光缆相比偏高。

1.1.5 中国空间信息技术的进展

中国空间信息技术从 20 世纪 60 年代兴起以来，取得了以下进展：

(1) 卫星遥感信息技术方面，已建立资源卫星数据服务体系，形成一定市场规模，相应遥感数据生产加工市场潜力巨大，相关企业也正在迅速发展与壮大。

(2) 卫星定位技术方面，广泛应用于精准农业、车船调度管理、智能交通、移动电子商务、物流管理信息系统、测绘和经济社会管理等，并成为空间技术应用中首先进入大规模产业化发展的领域之一。

(3) 卫星通信技术方面，已建成具有一定规模、能够基本满足各种业务需要的卫星通信网，形成初具规模的卫星通信应用市场，有效补充了地面通信网等其他通信手段的不足，尤其在抢险、防灾、救灾、处理突发事件的应急通信中发挥出不可替代的作用。

(4) 地理信息系统技术方面，广泛应用于资源环境管理和规划、城市建设、工程建设、商业策划、灾害防治、军事战略分析等。

1.2 空间信息网及组成

1.2.1 空间信息网结构

空间信息网有三种定义。

定义一：通过星间、星地链路连接在一起的不同轨道、种类、性能卫星、星座及相应地面设施所组成的天基网络，以及由天基网络所支持的指挥、控制、通信及其他各种应用系统的集合。强调“天地一体化”。

定义二：以航天飞行器作为载体来进行信息获取、信息传输和信息处理的网络系统。强调“以航天飞行器为载体”。

定义三^[18]：空间信息网是以空间平台（如同步轨道卫星或中低轨道卫星、平流层气球和有人或无人驾驶飞机等）为载体，实时获取、传输和处理空间信息的网络系统。空间信息网络通过组网互连，实时采集、传输和处理海量数据，实现卫星遥感、卫星导航和卫星通信的一体化集成应用与协同服务。

归纳起来，空间信息网是指通过星间、星地链路连接在一起的不同轨道、种类、性能卫星、星座及相应地面设施所组成的天基网络，以及由天基网络所支持的指挥、控制、通信及其他各种应用系统的集合。

整个信息网可以分为三个层面：以通信、广播和中继卫星为主的骨干节点卫星；以中低轨道星座及其他各类中低轨卫星构成的接入卫星；包含手持机、车载台、机载台、舰载台等在内的各类用户终端。由此，多样化的网络设施和通信链路使得空间信息网络的结构和组成变得十分

复杂。空间信息网链路具有大误码、长时延的特性，降低了网络中通信链路的稳定性。空间信息网络的节点都在不停移动，节点间的空间位置关系随时间产生各种变化，拓扑结构具有动态性和不规则性。同时，网络节点通过星间链路彼此连接，网络的轨道平面之间存在漂移现象，这也进一步加剧了空间信息网的动态特性。

空间信息网的结构如图 1-8 所示。

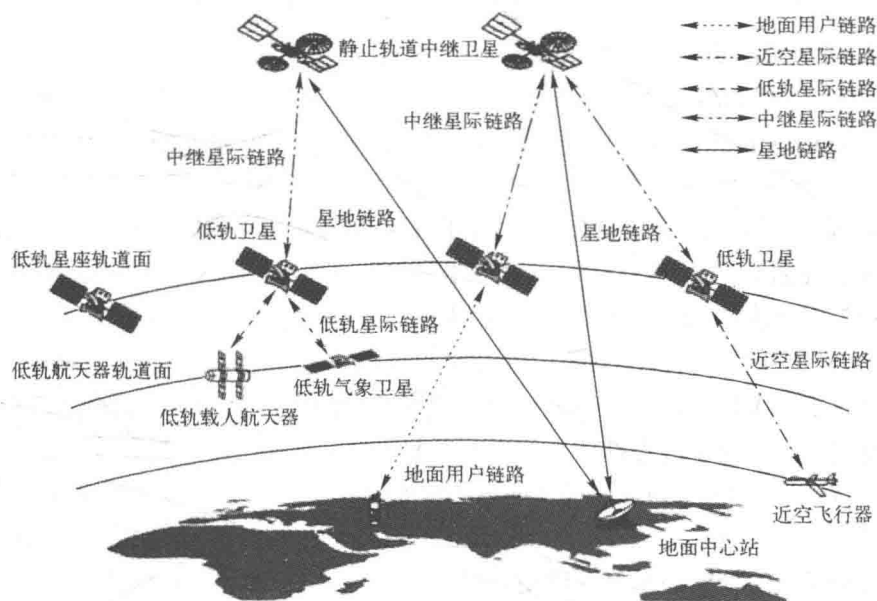


图 1-8 空间信息网结构

1.2.2 空间互联网

空间互联网^[19]是指以星间链路为物理传输媒介，按照高效利用、综合集成的原则，将不同轨道的各种卫星、星座及航天器等太空信息资源进行有机连接，建成集成化、智能化、综合一体化的太空信息网络，具有与地面互联网类似的应用服务能力及与地面互联网互联互通的性能。

空间互联网的内涵可以从两个方面来理解：第一，是利用地面互联网技术对空间信息资源进行的统一规划和设计，而不是对单一用户或专项任务进行的单一解决方案；第二，在采用地面互联网现有技术和协议的同时，要充分考虑太空通信和太空任务的自身特点及特殊需求。空间互联网的能力应满足如下基本要求：一是地面上的任何一个地点，能在任何时刻直接或通过地面网络关口站，与至少一颗网络节点星进行星地通信；二是太空中的任何一个航天器，能在任何时刻直接与至少一个网络节点星进行星间通信；三是任何一个网络节点星，能在任何时刻与其他至少两颗网络节点星进行双向星间通信；四是网络节点星具备动态自动路由功能，即任何一颗网络节点星的退出或加入，都不会导致网络瘫痪，并能自动重组网络；五是能满足不同业务质量要求的通信传输；六是能在空域和时域上无缝连接的进行文件操作；七是具备各种网络高层应用能力（如基于网络的 Web 应用等）；八是具有网络数据安全保障能力。

空间互联网包括空间段和地面段，空间段是指所有航天器，地面段是指与航天器相关的地面网络。空间互联网由骨干网、外部网和行星网组成。