

第 1 章 卫星通信系统与网络

自第一颗通信卫星诞生以来，卫星通信就得到了令人瞩目的发展，不仅能够承载传统的电话和电视广播业务，还能够提供宽带、互联网和数字卫星广播业务。随着用户对带宽和移动性需求的不断增长，卫星通信已经成为能够为超出地面网络范围的区域提供全球覆盖能力和更大带宽的一种合理选择，并将在未来显示出越来越重要的作用。

卫星通信系统一般由卫星和众多地球站组成，以提供无线通信服务。我们可以将卫星通信系统或其中的一部分称为卫星网络，其中包含了众多卫星终端节点和链路。随着网络技术的发展，卫星网络将更进一步地与全球网络体系结构进行融合。因此，与地面网络和协议的互联就成为卫星网络面临的一项重要任务。

1.1 概 述

卫星网络最终的目的是提供服务和应用。用户终端向用户直接提供服务，网络则在相距一定距离的用户之间提供承载信息的传输服务。图 1-1 显示了一个典型的卫星网络环境，包括地面网络、部署星际链路的卫星、固定地球站、移动地球站、手持终端，以及直接连接到卫星链路的用户终端或通过地面网络连接到的卫星链路的用户终端。

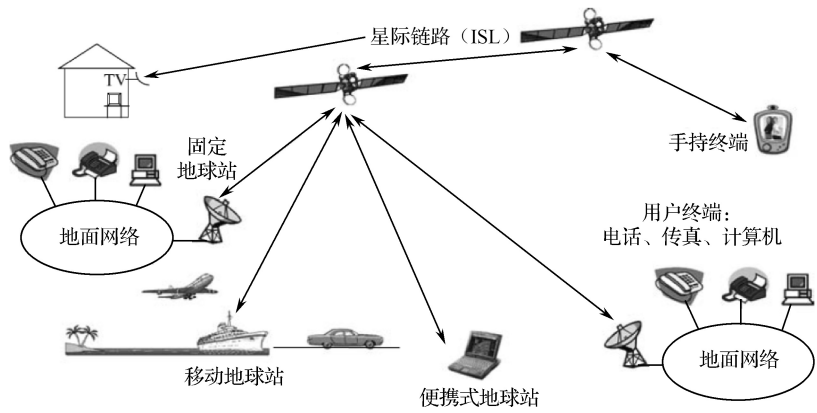


图 1-1 卫星网络的典型应用和业务

在地面网络中，要实现远距离通信和广域覆盖，需要构建大量通信链路和节点。卫星通信的特点使卫星网络与地面网络在传输距离、带宽资源的共享、传输技术、系统设计、开发与运营、费用 and 用户需求方面都有着本质的区别。

从功能上讲，卫星网络能够在用户终端之间提供直接的通信连接，也可以使终端远程接入地面网络，还可以在地面网络之间提供通信连接能力。用户终端是最终为用户提供服务和应用的部分，它通常独立于卫星网络，也就是说，同一个终端既可以接入卫星网络，也可以接入地面网络。卫星终端，也称为地球站，组成了卫星网络的地面段，通过用户地球站（UES）可以为用户终端提供到卫星网络的接入，通过网关地球站（GES）则为地面网络提供了到卫

星网络的接入。卫星是卫星网络的核心，从功能和物理连接上讲，也是整个网络的中心。图 1-2 显示了用户终端、地面网络和卫星网络之间的关系。

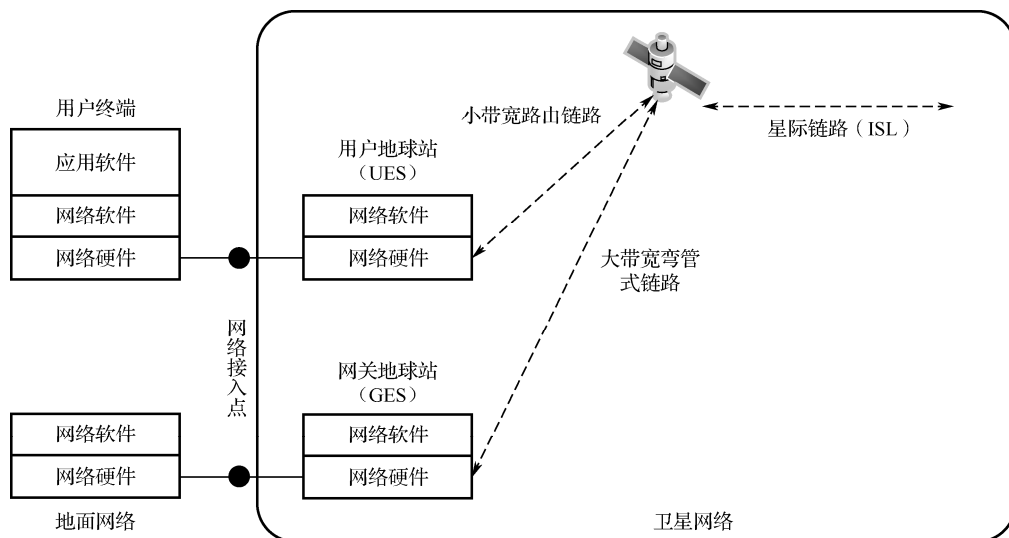


图 1-2 用户终端、地面网络和卫星网络的功能关系

典型的卫星网络包括卫星、通过卫星连接的几个大型网关地球站和许多小型的用户地球站。用户地球站用于直接连接用户终端，大型的网关地球站用于连接地面网络。用户地球站和网关地球站定义了卫星网络的边界，可视为卫星网络边界节点。与其他类型的网络类似，用户通过边界节点访问卫星网络。对于移动和便携式地球站，用户终端和地球站的功能通常融合在一个设备单元中。

从卫星网络的接口来看，卫星网络通常包括两类外部接口：一类是在用户地球站（UES）和用户终端之间的接口，另一类是网关地球站（GES）和地面网络的接口。在卫星网络内部有三类接口：UES 与卫星传输系统之间的接口，GES 与卫星传输系统之间的接口，卫星之间的星际链路（ISL）。所有链路都是无线链路，而 ISL 还可以使用光链路实现。此外，卫星网络与一般网络一样，可以配置为星状或网状拓扑，支持点到点、点到多点和多点到多点连接，同样也有用户网络接口（UNI）和网络节点接口（NNI）。

对卫星网络而言，链路带宽是非常重要的稀缺资源，在网络中带宽只能通过共享的方式使用，并尽可能最大化其利用率。卫星网络的另一重要资源是发送功率，对于移动用户终端或依靠电池供电的远端地球站，以及依靠电池或太阳能供电的卫星，功率都会受到很大限制。特定环境下的带宽和发射功率决定了卫星网络的整体容量。

卫星网络最重要的作用是通过用户终端提供接入能力，以及与地面网络进行互联。这样，地面网络提供的应用和业务，如语音、电视、宽带接入和 Internet 连接，就能够被扩展到电缆和地面无线设备无法安装和维护的地方。而且，卫星网络还能够将这些业务扩展到轮船、航天器等交通工具，以及太空和其他地面网络无法到达的地方。卫星在军事、气象、全球定位系统、环境监测、私有数据和通信业务等方面同样扮演着重要的角色，未来在需要全球覆盖的新业务、新应用（如宽带网络、下一代移动网络和全球数字广播业务）的发展方面也将发挥重要的作用。

1.2 卫星通信的发展历史

卫星通信是从地面的电话和电视广播网络发展起来的,其容量不断增加,覆盖范围不断扩大,支持的业务种类也越来越多,已经能够支持数据、多媒体等业务。

同时,卫星本身变得越来越复杂,从转发式卫星到星上处理和星上交换卫星,甚至发展到具有星际链路(ISL)的非静止轨道卫星星座。早期的卫星上携带有各种转发器,用于将信号从一端转发到另一端,具有这类载荷的卫星称为透明卫星,也称为“弯管式”卫星,因为它们只在终端之间提供链路而不进行信号的处理。具有星上处理(OBP)能力的卫星,可以作为通信子系统的一部分,提供检错和纠错能力,提高通信链路的质量。还有一些卫星具有星上交换(OBS)能力,它们可以作为太空中一个网络节点,高效利用信道资源。由于Internet的快速发展,人们已经开始进行星载IP路由器的试验。

在支持话音、视频、广播、数据、宽带和Internet业务方面,卫星在电信网络中始终扮演着重要的角色。在下一代宽带和Internet网络中,也必将成为全球信息基础设施中重要的组成部分。

从历史发展来看,卫星通信的发展经历了以下几个阶段。

(1) 卫星和空间时代的起步阶段

1957年10月4日,苏联发射了第一颗人造卫星“旅行者”(Sputnik);1960年8月美国完成了第一颗中继通信卫星Courier-1B的首次试验。自此卫星技术开始了令人瞩目的发展。

1962年,美国、法国、德国和英国进行了利用卫星横跨大西洋的通信试验,这是为探索利用卫星实现电视和多路电话业务的首次国际性合作。

(2) 卫星通信发展的早期:电视和电话

1964年8月,19个国家签约成立了Intelsat组织,发射了第一颗商用静止通信卫星“晨鸟”(Intelsat-I)。1965年4月,这颗卫星在美国、法国、德国和英国之间提供了240路电话和1路电视频道的服务。1967年,Intelsat-II为大西洋和太平洋地区提供了相同的服务。从1968年到1970年,Intelsat-III能够为全球提供1500路电话和4路电视频道。第一颗Intelsat-IV卫星于1971年开始为用户提供4000路电话和2路电视频道的通信业务;Intelsat-IVa携带了20个转发器,能够提供6000路电话和2路电视频道服务,并使用了波束分割技术实现频率的复用。

(3) 卫星数字传输的发展

1981年,第一颗Intelsat-V卫星达到了12000条链路的容量,它采用了频分多址(FDMA)和时分多址(TDMA)体制、6/4 GHz和14/11 GHz宽带转发器,通过波束隔离和双极化技术实现频率复用。1989年,Intelsat-VI卫星采用了星上交换TDMA体制,容量达到了120000条链路。1998年,发射了Intelsat-VII、Intelsat-VIIa和Intelsat-VIII卫星。2000年,Intelsat-IX卫星达到了160000条链路的容量。

(4) 直接到户(DTH)卫星电视广播的发展

1999年,第一颗K-TV卫星携带了30个14/(11~12)GHz转发器,可以提供210路电视频道的直接到户卫星电视广播和甚小口径终端(VSAT)业务。

(5) 卫星海事通信的发展

1979年6月,为了提供全球海事卫星通信,26个签约国成立了国际海事卫星通信

组织 (Inmarsat), 成立该组织的主要出发点是建立一个为海上船只提供商用、求救及救援等通信业务的、覆盖全球的卫星移动通信系统。由此, 该组织拓展了卫星移动通信的应用。

(6) 各地区和国家的卫星通信

作为区域性组织, 欧洲电信卫星组织 (Eutelsat) 于 1977 年 6 月由 17 个机构共同建立。许多国家也开发了本国的卫星通信系统, 包括美国、俄罗斯、加拿大、法国、德国、英国、日本、中国等国家。

(7) 卫星宽带网络和移动网络

自 1990 年以来, 包括星上交换技术在内的宽带网络技术迅速发展, 各种非静止轨道卫星系统开始支持卫星移动业务 (MSS) 和宽带卫星固定业务 (FSS)。

(8) 卫星网络上的 Internet

20 世纪 90 年代到 21 世纪初, 通信网络中的 Internet 业务量迅速增长。卫星网络除了传输电话和电视数据流, 也开始用于传输 Internet 数据流, 为用户提供接入和传输能力。这为卫星通信领域带来了巨大的机遇和挑战。一方面, 卫星网络需要与各种不同种类的现有网络实现互联; 另一方面, 在网络技术、网络协议、承载新业务和应用等方面存在差异的网络之间也在不断融合。这给卫星网络与地面网络的融合带来了更大的挑战, 需要卫星网络发展各种新技术, 以实现与未来网络的互联。

1.3 卫星通信系统的组成

典型的卫星通信系统可分为两大部分: 空间段和地面段 (见图 1-3)。空间段包括卫星和对卫星进行控制所需要的地面设施, 如跟踪、遥测和指令 (TT&C) 设施。地面段由发送和接收地球站组成。

卫星网络的设计通常与业务需求、轨道、覆盖面积和频段的选择有关系。

1.3.1 空间段

卫星是整个系统的重要组成部分, 也是卫星网络的核心, 它包括有效载荷和公用舱。公用舱包括承载有效载荷的舱体, 还包括为有效载荷提供服务所需要的电源、姿态控制、轨道控制、热控及跟踪、遥测和指令 (TT&C) 等设施, 用于维持卫星系统的正常运转。

有效载荷包括转发器和天线。天线承担了接收上行链路信号和发射下行链路信号的双重任务, 为卫星网络提供了基本的覆盖能力。转发器是构成通信卫星中接收和发射天线之间通信信道的互相连接的部件集合, 现代卫星还具有星上处理 (OBP) 和星上交换 (OBS) 功能。转发器通常可分为以下几种。

- 透明转发器: 提供信号转接能力。接收从地球站发来的信号, 对信号进行放大和频率变换后再转发给地球站。具有透明转发器的卫星称为透明卫星。
- 星上处理转发器: 除了具备透明转发器的功能, 在将信号从卫星发向地球站之前还完成数字信号处理 (DSP)、再生和基带信号处理的功能。具有星上处理转发器的卫星称为星上处理卫星。
- 星上交换转发器: 除了具备星上处理转发器的功能, 还提供交换功能。同样, 具有星

上交换转发器的卫星称为星上交换卫星。随着互联网技术的迅速发展，人们也在不断地对星上路由技术进行试验。

此外，尽管卫星控制中心（SCC）、网络控制中心（NCC）或网络管理中心（NMC）通常位于地面，但它们也被认为是空间段的一部分。

卫星控制中心（SCC）：负责卫星正常运行的地面系统。通过遥测链路监测卫星上各个子系统的工作状态，通过遥控链路控制卫星保持在正确的轨道位置。卫星控制中心利用专用链路（不同于通信链路）与卫星进行通信，从卫星接收遥测数据，向卫星发送遥控信息。有时，也在地面的不同地点设置一个备份中心，以提高系统的可靠性和可用性。

网络控制中心（NCC）或网络管理中心（NMC）：主要功能是对网络中的数据流、星上与地面的相关资源进行管理，实现对卫星网络的高效利用。

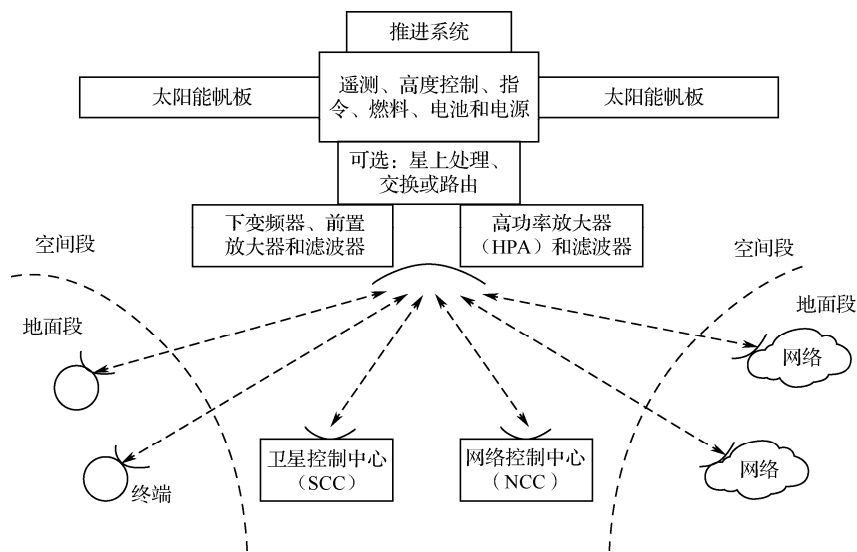


图 1-3 空间段与地面段示意图

1.3.2 地面段

卫星通信系统的地面段由各类地球站组成，主要完成向卫星发送信号和从卫星接收信号的功能，同时也提供了到地面网络或用户终端的接口。地球站是卫星网络的一部分，主要包括最简单的电视单收站、船（车、机）载站、固定站、便携站，以及用于国际通信网的终端地球站。一个典型的地球站由接口设备、信道终端设备、发送/接收设备、天线和馈线设备、伺服跟踪设备和电源设备组成。

接口设备：处理来自用户的信息，实现电平变换、信令接收、信源编码、信道加密、速率变换、复接、缓冲等功能，并送往信道终端设备；同时将来自信道终端设备的接收信息进行反变换，并发送给用户。

信道终端设备：处理来自接口设备的用户信息，实现编码、成帧、扰码、成形滤波、调制等功能，使其适合在卫星线路上传输；同时将来自卫星线路上的信息进行反变换，使之成为可为接口设备接收的信息。

发送/接收设备：将已调制的中频信号转换为射频信号，并进行功率放大，必要时进行合路；对来自天线的信号进行低噪声放大，并将射频信号转换为中频信号送入解调器，必要时进行分路。

天线、馈线设备：将来自功率放大器的射频信号变成定向辐射的电磁波；同时收集卫星发来的电磁波，送到低噪声放大器。

伺服跟踪设备：即使是静止卫星，也不是绝对静止的，而是在一定的区域中随机飘移。对于方向性较强的天线，必须随时校正自己的方位角与仰角以对准卫星。

电源设备：卫星通信系统的电源要求较高的可靠性。特别是大型站，一般配有几组电源，除市电外，还应有柴油发电机和蓄电池。

1.4 通信卫星的轨道和频率

轨道是卫星通信系统的重要资源之一，卫星需要在正确的轨道上为服务区域提供覆盖。通常，划分卫星轨道的方法有多种。

根据卫星的高度，卫星轨道（见图 1-4）可分为下列几种。

低轨道（LEO）：轨道高度小于 5000km，卫星运行周期为 2~4 小时。

中轨道（MEO）：轨道高度为 5000km 到 20000km，卫星运行周期约为 4~12 小时。

高椭圆轨道（HEO）：轨道高度大于 20000km，卫星运行周期大于 12 小时。

此外，位于地球上空 35786km 的对地静止轨道（GEO）卫星由于其运行周期与地球自转周期相同，且方向一致，使得卫星与地面的相对位置保持不变，卫星在空中就好像静止一样，因而成为众多卫星通信系统采用的轨道形式。

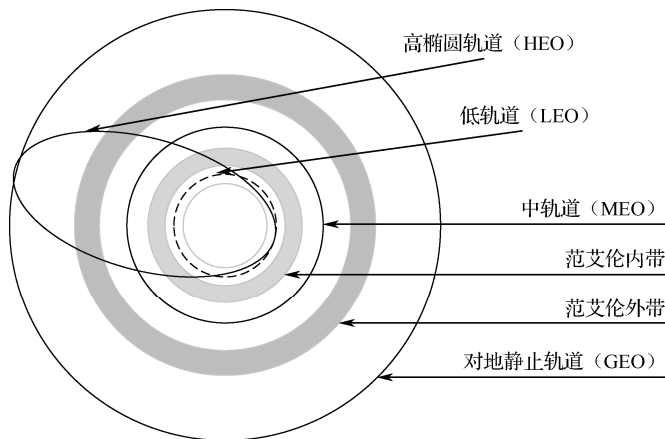


图 1-4 卫星轨道示意图

需要注意的是，在选择轨道高度时要考虑太空中的两个特殊区域。

① 范艾伦辐射带：由于地球磁场从太阳风中俘获了大量高能电子和质子，在地球赤道上空形成了两个高能辐射环带（范艾伦内带、范艾伦外带），带内的高能粒子穿透力极强，对人造卫星的电子电路损害很大，特别要避免卫星在范艾伦带内长时间的驻留。

② 空间碎片带：航天器在到达其寿命后都被弃置在这个区域。它将给未来的卫星系统，尤其是卫星星座和航天任务带来严重影响，因此正逐步受到国际社会的关注。

频率资源是卫星网络的另一个重要资源,也是一种稀缺资源。卫星系统中使用的无线频谱跨越了从30MHz到300GHz的频率范围,早期由于器件水平和大气传播效应的限制,60GHz以上的频率通常不被使用。在历史上,卫星通信使用的无线频谱中的一部分曾被用于地面的微波通信,现在也用于GSM和3G网络等地面移动通信和无线局域网中。

除此之外,卫星与地球站之间的传输环境会受到雨、雪、大气和其他因素的影响,卫星上由太阳或电池供应的有限能量也限制了卫星通信能够使用的频率。图1-5给出了雨、雾和大气给不同频段电磁波带来的衰减。

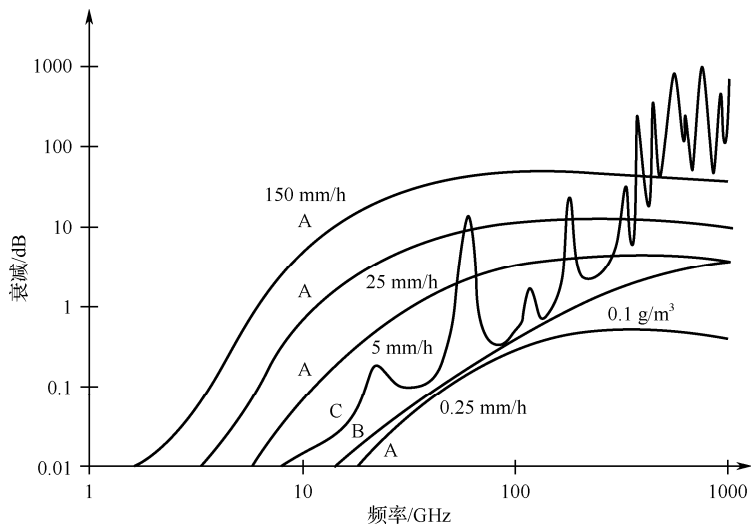


图 1-5 雨 (A)、雾 (B) 和大气 (C) 给不同频段电磁波带来的衰减

卫星通信系统的链路容量受限于传输使用的带宽和传输功率。

频段是由国际电信联盟 (ITU) 分配的,目前分配了几个频段供卫星通信使用。表 1-1 给出了卫星通信可使用的不同频段。在历史上,C 频段通常使用 6GHz 的上行链路和 4GHz 的下行链路,许多固定业务 (FSS) 仍然在使用该频段。军事和政府系统使用 8/7GHz 的 X 频段。还有一些系统工作于 14/12GHz 的 Ku 频段。由于 Ku 频段已接近饱和,新一代卫星系统已开始使用 Ka 频段以进一步扩展可用带宽。表 1-2 给出了这些频段的典型应用。

表 1-1 卫星通信的典型频段

名 称	频段/GHz
UHF	0.3~1.12
L 频段	1.12~2.6
S 频段	2.6~3.95
C 频段	3.95~8.2
X 频段	8.2~12.4
Ku 频段	12.4~18
K 频段	18~26.5
Ka 频段	26.5~40

表 1-2 GEO 卫星频段的应用实例

名称	上行链路/GHz (带宽)	下行链路/GHz (带宽)	GEO 卫星系统 FSS 业务的典型应用
6/4 C 频段	5.850~6.425 (575MHz)	3.625~4.2 (575MHz)	国际和国内卫星系统: Intelsat、美国、加拿大、中国、法国、日本、印度尼西亚
8/7 X 频段	7.925~8.425 (500MHz)	7.25~7.75 (500MHz)	政府和军事卫星应用
		10.95~11.2 > (2500MHz)	区域 1、区域 3 的国际和国内卫星系统 [ITU 划分的频率区域: 区域 1——欧洲、非洲、前苏联地理区域、蒙古和西亚半岛; 区域 2——南北美洲和格陵兰岛; 区域 3——亚洲 (除区域 1 部分)、澳洲和西南太平洋]
		11.45~11.7 12.5~12.75 (1000MHz)	Intelsat、Eutelsat、法国、德国、西班牙、俄罗斯
(13~14)/(11~12)Ku 频段	13.75~14.5 (750MHz)	10.95~11.2	区域 2 的国际和国内卫星系统
		11.45~11.7 12.5~12.75 (700MHz)	Intelsat、美国、加拿大、西班牙
18/12	17.3~18.1 (800MHz)	BSS 频段	BSS 业务的馈电链路
30/20 Ka 频段	27.5~30.0 (2500MHz)	17.7~20.2 (2500MHz)	欧洲、美国、日本的国际和国内卫星系统
40/20 Ka 频段	42.5~45.5 (3000MHz)	18.2~21.2 (3000MHz)	政府和军事卫星

1.5 卫星通信的特点

目前使用的大多数通信卫星都是射频中继或“弯管式”卫星。而星上处理卫星则通常会对接收到的数字信号进行再生,也可以对数字比特流进行解码和重新编码,或者具备大容量交换能力和星际链路 (ISL)。

卫星通信系统中的无线链路在网络分层参考模型中的物理层提供实际的比特和字节传输能力。由于卫星位于离地球站很远的太空,因此,卫星链路与其他通信链路相比存在以下特征,这些特征可能会对卫星网络的组成和应用造成一定的影响。

(1) 传输时延

对于 GEO 卫星而言,信号从地球站到卫星,再到另一个地球站经历的时间约为 250ms。往返传输时延约为 $2 \times 250\text{ms}$,即 500ms。这要比信号在普通的地面系统经历的时延大很多。由此带来的问题是增加了传输系统中链路响应的时延,因此需要在卫星网络的协议和信令设计方面尤其小心,否则协议响应时间或呼叫建立时间就会过长。

(2) 传播损耗和功率限制

对于视距通信的微波来说,自由空间传播损耗可能高达 145dB。对位于 36000km 高空、工作于 4.2GHz 频率的卫星而言,自由空间传播损耗为 196dB;当工作于 6GHz 时,损耗为

199dB; 工作于 14GHz 时, 损耗为 207dB。对于从地球到卫星的链路, 可以通过使用高功率发送设备和高增益天线来解决损耗问题。而从卫星到地球的链路, 则通常是功率受限的, 其原因是: 一些频段是与地面业务公用的, 如 4GHz 频段, 因此要确保与这些业务之间没有干扰; 卫星需要从太阳能电池获得能量, 为了产生足够的射频功率, 需要耗费大量能量, 因此从卫星到地球的下行链路对系统而言非常关键, 从该链路接收到的信号强度将比一般的无线链路低很多。传播损耗可能导致数据传输误码, 影响某些网络协议的正常运行。

(3) 轨道空间和带宽受限

目前卫星轨道空间拥挤, 如赤道轨道已经布满了 GEO 卫星, 卫星系统之间的射频干扰也逐渐增大。这对于采用小天线地球站的系统影响更大, 因为这些系统往往波束覆盖更广。所以, 卫星通信系统能够使用的频率资源非常有限, 这会对卫星网络资源管理和分配的方式, 以及卫星网络的组成结构造成一定的影响。

(4) 广播能力

由于通信卫星离地面距离远, 单颗卫星的覆盖范围大, 例如, 单颗 GEO 卫星可以覆盖超过地球表面三分之一的面积, 其覆盖范围内的各种终端均可通过该卫星实现通信。同时, 卫星具有天然的广播特性, 这使得卫星网络能够利用单颗卫星实现大范围内的广播通信。

(5) LEO 系统运行复杂

除了 GEO 卫星, 还有一类新型的低轨道 (LEO) 卫星系统, 这类系统进一步拓展了卫星系统的容量和应用范围。这类系统中的卫星轨道高度更低, 这会缓解时延和损耗的问题, 但由于 LEO 星座中的卫星处于快速移动中, 因此维持地球站终端与卫星之间的通信链路就更加困难, 导致网络管理和控制复杂性增加。

1.6 卫星网络的业务与应用

通过卫星用户地球站和网关地球站可以为用户提供网络业务。在传统网络中, 这些业务被分为两类: 电信业务和承载业务。电信业务是能够供用户使用的高层业务, 如电话、传真、视频和数据业务。这类业务的服务质量 (QoS) 是以用户为中心的, 即 QoS 表示用户感觉到的通信质量, 如平均客观分 (MOS)。承载业务是网络提供的、用于支持电信业务的低层服务。这类业务的 QoS 是以网络为中心的, 性能度量参数包括传输时延、时延抖动、传输误码率和传输速率。

网络需要分配资源以满足用户 QoS 需求, 同时使网络性能达到最优。但是, 网络性能和用户 QoS 的目标通常是互相矛盾的。通常, 我们可以通过调节流量负载来协调二者之间的关系。例如, 可以减小网络中的流量负载或增加网络资源来提高 QoS, 但是对网络运营者来说这可能会降低网络利用率。网络运营者也可以通过增加流量来提高网络利用率, 而这也影响用户的 QoS。也就是说, 采用流量工程技术可以在特定的网络负载情况下, 最大化网络利用率, 并满足用户的 QoS 需求。

应用是一种或多种网络业务的组合。例如, 远程教育和远程医疗应用都是基于音频、视频和数据业务的组合。音频、视频和数据业务的组合也被称为多媒体业务。一些应用可以与某些网络业务结合产生出新的应用。

业务是网络提供的基本服务单元。应用是由这些基本单元构建起来的。应用和业务这两

个名词在文献中经常相互替代，但在某些场合下对它们进行区分也是有必要的。

卫星通信能够提供的业务取决于可用的无线频段。为了便于进行频率分配、规划和管理，国际电信联盟（ITU）无线通信标准部门（ITU-R）定义了几种典型的卫星业务，包括卫星固定业务（FSS）、卫星移动业务（MSS）和卫星广播业务（BSS）。

（1）卫星固定业务（FSS）

当使用一颗或多颗卫星时，在地球表面特定位置之间的无线通信业务称为卫星固定业务。位于地球表面的站称为固定业务地球站，位于卫星上的站，主要包括卫星转发器和天线，称为固定业务的空间站。在新一代卫星系统中，空间站还将具有星上交换等复杂功能。地球站之间的通信可以通过一颗卫星来实现，或通过由星际链路（ISL）连接的多颗卫星来实现。某些情况下，也可以通过同一地球站连接两颗不具有星际链路的卫星来实现。卫星固定业务的实现还包括一些馈电链路，如固定地球站和提供卫星广播业务、卫星移动业务的卫星之间的链路。卫星固定业务支持电信和数据网络的所有业务类型，包括电话、传真、数据、视频、电视、互联网和无线电通信业务。

（2）卫星移动业务（MSS）

卫星移动业务是移动地球站和一颗或多颗卫星之间的无线通信业务。包括航海、航空和陆地卫星移动业务。由于移动性的特殊需求，移动地球终端通常尺寸较小，有些甚至是手持式终端。

（3）卫星广播业务（BSS）

卫星广播业务是通过卫星进行信号传输，以供公众利用电视单收天线（TVRO）直接接收信号的无线通信业务。支持卫星广播业务的卫星通常被称为直播卫星（DBS）。直接接收系统包括直接到户（DTH）和公用天线电视系统（CATV）。新一代卫星广播系统还具备经过卫星的返回链路。

（4）其他卫星业务

其他卫星业务分别针对专门的应用，如军事、无线电测定^①、导航、气象、地球勘探和空间探测等。

1.7 卫星网络的分类

卫星网络既可以支持点到点连接，也可以支持广播连接。当网络需要实现大范围覆盖时，卫星网络由于具有广播特性而显得更有优势，因此，卫星网络在提供全球覆盖方面扮演着重要的角色。

1.7.1 按形成的拓扑结构分类

卫星链路接入互联网时可能构成几种不同的拓扑结构，按照形成的网络拓扑，可以将卫星网络分为以下几类。

（1）非对称卫星网络

一些卫星网络可能存在带宽非对称的情况，这是由于链路一端的设备发射功率和天线尺

^① 利用无线电波的传播特性确定物体的位置、速度和其他特性，或获得与这些参数有关的信息。

寸受到限制, 导致一个方向上的数据传输速率比相反方向大很多。此外, 还有一些卫星网络是单向的, 其反向链路(也称返回链路)不经过卫星(如使用地面拨号链路等)。这些网络都构成了一种物理特性非对称的网络结构。

(2) 卫星作为最后一跳链路

与位于网络中间的卫星链路相比, 为用户直接提供服务的卫星链路可能会在最后一跳使用特殊设计的协议。一些卫星网络服务提供商也利用卫星链路作为一条高速下行链路, 为那些利用低速、非共享地面链路作为请求和应答的返回链路的用户提供服务。这同样会形成非对称的网络结构。

(3) 混合式卫星网络

在更一般的情况下, 卫星链路可能位于网络拓扑中的任意位置。此时, 卫星链路只是作为两个网关之间的另一条链路而已。在这种网络环境中, 数据连接可能经过地面链路(包括地面无线链路), 也可能经过卫星链路。同样, 数据连接可能只经过地面链路, 或者只经过网络中的卫星链路部分。

(4) 点到点卫星网络

在点到点卫星网络中, 网络中唯一一跳数据传输就经过卫星链路, 这种单纯的卫星环境只会涉及与卫星链路有关的问题。同时作为一种近乎私有的网络, 点到点网络中还可以使用通常不适合共享网络使用的特殊传输协议或方法。

(5) 多跳卫星链路网络

在一些网络中, 数据流可能在源端节点和目的端节点之间经过多跳卫星链路。这种情况下可能使由卫星链路的特点所导致的性能下降更加严重。

1.7.2 按提供的通信服务分类

卫星网络可以作为三种类型的网络来提供通信服务: 接入网、传输网和广播网。

(1) 接入网

接入网为用户终端或专用网提供网络的接入能力。历史上, 卫星曾在电话网中提供从电话或专用小交换机(PBX)到电话网的连接。用户终端只要连接到卫星地球终端, 就可以直接接入卫星链路。如今, 除了电话接入网, 接入方式也可以是 ISDN 接入、B-ISDN 接入和 Internet 接入。

(2) 传输网

传输网提供网络之间或网络交换机之间的连接。通常, 这种网络具有较大的容量, 以支持网络中的大量连接。由于用户并不直接接入传输网, 因此, 对用户来说这些网络是透明的, 但他们能够感觉到经过卫星网络所带来的传输时延和链路质量的差异。利用卫星作为传输网的典型情况是将国际电话网、ISDN、B-ISDN 和 Internet 骨干网络进行互联的网络。通常, 在这种网络中利用固定分配多址接入方式(FAMA)事先规划好带宽的共享方式。

(3) 广播网

卫星既支持电信业务, 也能够提供高效的广播业务, 包括数字音频、视频广播(DVB-S)和具有卫星返回信道的 DVB(DVB-RCS)。

1.8 卫星网络的发展

从历史发展来看,卫星网络的发展始终紧跟地面网络发展的步伐,并不断克服地理障碍,将地面网扩展到更广的覆盖区域。在此过程中,推动卫星网络发展的是不断变化的用户需求和快速的技术发展。

早期,用户终端主要用于提供特定业务,其功能非常有限。如电话机提供话音业务,计算机终端提供数据业务等,而不同的网络支持不同类型的用户终端。随着技术的发展,更多终端和业务被纳入网络中。但是,这些业务的传输速率却严重受限于电话网的信道容量。随后,计算机终端变得越来越复杂,并能够实时处理各种音频和视频业务,因此,人们不再满足于在数据网络中传输数据业务,而是对支持音视频业务提出了越来越高的要求。于是,出现了融合数据、音频、视频的多媒体业务,对网络的 QoS 需求也越来越高。

在卫星网络中支持所有这些业务将存在比地面网络更大的挑战,尤其是在航空、航海和应急救援应用中。一方面,提供综合业务需要将支持不同业务类型的用户终端进行融合,形成能够支持所有业务的单一用户终端,以利于用户的使用。另一方面,卫星网络与地面网络一样,都需要在发展的过程中提高网络容量和传输可靠性,支持综合业务与应用,更重要的是,需要高效利用有限的网络资源,降低网络成本。

卫星通信最初仅承载越洋电话和电视广播业务,随着技术的发展,不断将业务范围扩展到海上应用和陆地应用,业务类型扩展到数据和多媒体业务。卫星从单个透明转发器发展到星上处理、星上交换,甚至到具有星际链路的星座系统,不仅链路的通信质量大大改善,而且对无线资源的利用率也大幅提高。随着互联网技术的发展,人们还不断展开星上 IP 路由器的研制,以实现将地面互联网向太空的扩展,形成天地一体化的信息网络。此外,由于低成本火箭发射技术大幅降低了单次发射成本,加上微小卫星平台逐渐成熟和实用化,打造由低轨小卫星组成的卫星星座,为全球提供互联网接入服务即将成为现实。这些新技术和新系统的出现必将对天地一体化组网进程起到极大的推动作用。在此过程中,卫星网络在整个电信网络中发挥着越来越重要的作用,并将在下一代宽带互联网中成为全球信息基础设施的重要组成部分。