



信息科学技术专著丛书

# 高通量卫星通信技术

袁俊刚 韩慧鹏 编著

GAOTONGLIANG WEIXING TONGXIN JISHU



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com



信息科学技术专著丛书

# 高通量卫星通信技术

袁俊刚 韩慧鹏 编著



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

本书面向对卫星通信业务需求的激增和高通量卫星通信的快速发展,全面介绍了高通量卫星通信系统技术,包括高通量卫星平台技术和载荷技术、高效编码调制技术及卫星通信组网技术,此外还介绍了高通量卫星通信链路预算方法及国外主要高通量卫星通信系统。

本书层次清晰、内容丰富,力求理论方法结合工程实际。本书可作为从事卫星通信工程研发和研制的技术人员的学习用书,也可作为高校卫星通信专业本科生及研究生的教材或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

高通量卫星通信技术 / 袁俊刚, 韩慧鹏编著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2021. 10

ISBN 978-7-5635-6529-0

I. ①高… II. ①袁… ②韩… III. ①卫星通信 IV. ①TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 203167 号

策划编辑: 彭楠 责任编辑: 刘颖 封面设计: 七星博纳

---

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 唐山玺诚印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18

字 数: 416 千字

版 次: 2021 年 10 月第 1 版

印 次: 2021 年 10 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-6529-0

定价: 88.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

随着经济社会的发展，市场对卫星通信的需求出现前所未有的增长。特别是公众宽带接入、移动宽带接入、中继通信及应急通信等对卫星通信容量和通信性能提出了新的高要求。由此，国际上发展起了高通量卫星通信技术。2005年8月通信卫星IPSTAR-1成功发射，其单星通信容量达到40 Gbit/s，开启了高通量卫星通信的时代。自2010年起，高通量卫星系统进入了快速发展期，2017年发射的Viasat-2卫星通信容量高达300 Gbit/s，在研中的Viasat-3卫星通信容量达1Tbit/s。

高通量卫星通过采用多点波束和频率复用技术、数字载荷技术和灵活载荷技术，实现通信容量的跨越式提升，并具备在轨灵活工作的能力，可大幅降低每比特数据传输的成本，经济便利地实现各种新应用，满足用户动态变化的需求。目前，在GEO高通量卫星快速发展的同时，迅猛发展中的低轨互联网通信星座也成为高通量卫星系统的重要组成部分。在此大背景下，我国也加大了高通量卫星的研制和创新研发力度。

本书面向高通量卫星通信的快速发展，全面介绍了高通量卫星通信系统技术，包括高通量卫星平台技术和载荷技术、高效编码调制技术及卫星通信组网技术，此外还介绍了高通量卫星通信链路预算方法及国外主要高通量卫星通信系统。

本书由袁俊刚和韩慧鹏编著。具体分工如下：袁俊刚负责编写了第1章、第2章、第3章的3.1节~3.4节、第4章和第5章；韩慧鹏负责编写了第3章的3.5节、3.6节；韩慧鹏和袁俊刚共同编写了第6章和第7章。

本书邀请中国空间技术研究院的曹桂兴研究员、王敏研究员、李胜先研究员、陶滢研究员和杨显强研究员以及中国卫通集团股份有限公司的王立中研究员进行了审稿，他们提出了诸多宝贵意见。本书的编写得到了中国空间技术研究院通信与导航卫星总体部领导和专家的支持，在此对他们一并表达衷心的感谢！

本书层次清晰、内容丰富，力求理论方法结合工程实际。本书的读者对象主要为从事卫星通信工程研发和研制的技术人员，以及高校卫星通信专业的本科生及研究生。

本书编写过程中，参考了国内外大量文献，在此对这些参考文献的作者表示感谢！限于作者水平，书中难免存在疏漏和错误之处，敬请读者批评指正！

作 者

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 高通量卫星通信的特点及业务 .....	1
1.2 高通量卫星轨道及频率 .....	3
1.3 高通量卫星通信系统组成 .....	5
1.4 高通量卫星通信技术 .....	9
1.5 高通量卫星通信发展 .....	11
参考文献 .....	19
<b>第 2 章 高通量卫星平台技术</b> .....	20
2.1 高通量卫星平台的发展 .....	20
2.2 高通量卫星平台设计 .....	29
2.2.1 结构分系统设计 .....	29
2.2.2 热控分系统设计 .....	33
2.2.3 姿轨控分系统设计 .....	38
2.2.4 推进分系统设计 .....	41
2.2.5 供配电分系统设计 .....	44
2.2.6 测控分系统设计 .....	51
2.2.7 综合电子分系统设计 .....	53
参考文献 .....	55
<b>第 3 章 高通量卫星有效载荷技术</b> .....	56
3.1 透明转发器载荷 .....	57
3.2 柔性转发器载荷 .....	60



3.2.1	柔性转发器组成及工作原理 .....	60
3.2.2	非均匀数字滤波器 .....	63
3.2.3	柔性转发器路由交换器 .....	67
3.3	灵活载荷 .....	73
3.3.1	频率灵活调节载荷 .....	74
3.3.2	功率灵活调节载荷 .....	76
3.3.3	微波光子灵活载荷 .....	82
3.4	IP 路由转发器载荷 .....	86
3.4.1	卫星路由器结构 .....	87
3.4.2	卫星路由交换协议 .....	90
3.4.3	卫星路由交换单元设计 .....	96
3.5	多波束载荷 .....	103
3.5.1	多波束天线及多色复用技术 .....	103
3.5.2	跳波束技术 .....	106
3.6	相控阵载荷 .....	108
3.6.1	相控阵载荷组成及工作模式 .....	109
3.6.2	相控阵波束形成方法 .....	112
3.6.3	相控阵关键技术 .....	116
	参考文献 .....	120
<b>第 4 章</b>	<b>高通量卫星通信高效编码调制技术 .....</b>	<b>122</b>
4.1	信道编译码技术 .....	122
4.1.1	线性分组码 .....	122
4.1.2	LDPC 码 .....	124
4.1.3	其他常用编码 .....	139
4.2	载波调制解调技术 .....	141
4.2.1	MPSK 调制解调技术 .....	142
4.2.2	MAPSK 调制解调技术 .....	145
4.3	正交频分复用技术 .....	151
4.4	自适应编码调制技术 .....	153
	参考文献 .....	155
<b>第 5 章</b>	<b>高通量卫星通信组网技术 .....</b>	<b>157</b>
5.1	卫星通信网络结构及模型 .....	157

5.2 卫星通信无线资源管理 .....	161
5.2.1 呼叫接入控制方法 .....	161
5.2.2 信道及带宽资源分配方法 .....	164
5.2.3 业务切换技术 .....	170
5.2.4 卫星通信 QoS .....	176
5.3 卫星通信多址接入方式 .....	179
5.3.1 基本多址接入方式 .....	179
5.3.2 MF-TDMA 接入方式 .....	182
5.3.3 CFDAMA 接入方式 .....	189
5.4 卫星通信组网协议 .....	191
5.4.1 TCP/IP 协议 .....	191
5.4.2 卫星通信 TCP/IP 协议改进 .....	203
5.4.3 卫星通信 SCPS 协议 .....	210
5.4.4 卫星通信 DVB 标准 .....	214
5.4.5 卫星通信 IPOS 标准 .....	219
5.5 卫星通信网络安全 .....	222
5.5.1 卫星通信安全策略 .....	223
5.5.2 卫星通信认证及加密 .....	224
5.5.3 卫星通信安全系统 .....	228
5.5.4 卫星安全通信 IPSec 协议 .....	230
5.6 卫星通信网与 5G 的融合 .....	234
参考文献 .....	239
<b>第 6 章 高通量卫星通信链路设计 .....</b>	<b>242</b>
6.1 通信链路载波功率 .....	242
6.2 通信链路噪声功率 .....	247
6.3 信息传输带宽和传输速率 .....	248
6.4 高通量卫星通信链路预算 .....	250
参考文献 .....	256
<b>第 7 章 主要高通量卫星通信系统 .....</b>	<b>257</b>
7.1 GEO 高通量卫星通信系统 .....	257
7.1.1 Viasat 卫星通信系统 .....	257
7.1.2 Inmarsat-5F 卫星通信系统 .....	261



7.1.3	Echostar 卫星通信系统 .....	263
7.1.4	WGS 卫星通信系统 .....	265
7.2	NGSO 高通量星座系统 .....	269
7.2.1	Starlink 低轨星座通信系统 .....	269
7.2.2	Oneweb 低轨星座通信系统 .....	272
7.2.3	O3B 中轨星座通信系统 .....	275
	参考文献 .....	278

# 第 1 章

## 绪 论

---

### 1.1 高通量卫星通信的特点及业务

#### 1. 高通量卫星通信的特点

卫星通信是指利用卫星作为中继来转发无线电波,从而实现多个地面或空中用户间的通信。卫星通信利用星上天线接收地面站、地面或空中用户终端发射的信号,经卫星转发器进行变频放大,然后再通过星上天线发射到其他地面站、地面或空中用户终端,从而完成不同地面站、用户间的通信。卫星通信是在地面微波通信技术和空间技术基础上发展起来的,是现代通信技术与卫星技术交融发展的成果。

美国航天咨询公司北方天空研究所(NSR)于2008年提出了 High Throughput Satellite(HTS)的概念,国内称为高通量卫星或高吞吐量卫星。NSR将HTS定义为:采用多点波束和频率复用技术,在同样频谱资源条件下,整星通信容量是传统通信卫星(FSS)数倍的卫星。HTS概念由宽带卫星(Broadband Satellite)演化而来,但与之有所区别,宽带卫星以大容量和提供宽带互联网接入为特点。

HTS最基本的特征是多点波束和频率复用,点波束数量多达几十甚至数百个,频率复用次数可达几十甚至上百次。带宽与复用次数相结合,使得卫星通信容量提升数十倍甚至百倍。HTS卫星的通信容量一般大于10 Gbit/s,高达数百 Gbps 甚至 Tbps 量级。高通量卫星通信可大幅降低每比特数据传输的成本,可经济、便利地实现各种新应用,正成为推动卫星通信领域跨域发展的重要支撑。

高通量卫星按轨道可划分为地球同步静止轨道(GEO)和非地球同步轨道(NGSO)两类卫星,当前在轨应用的高通量卫星以 GEO-HTS 为主,而 NGSO-HTS 星座正在迅猛发展,将提供低延迟、全球覆盖和大容量的通信服务,在卫星通信中将发挥越来越重要的作用。

#### 2. 高通量卫星通信业务

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)定义了典型的几种卫星业务,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

卫星固定业务(FSS)是利用卫星给处于固定位置的用户地面站之间提供的无线电通信业务。地面站之间的通信可通过一颗卫星,或通过由星间链路连接的多颗卫星来实现。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、数据、视频、电视、互联网和无线电通信业务等。

#### (2) 卫星移动业务

卫星移动业务(MSS)是指飞机、船舶、高铁、汽车等高速移动载体利用卫星进行的无线电通信业务。由于移动性的特殊需求,移动地面终端通常尺寸较小,有些甚至是手持式终端。

#### (3) 卫星广播业务

卫星广播业务(BSS)是指利用卫星发送或转发信号,供用户(包括个体和集体)直接接收的无线电广播业务,包括电视和广播等业务。直接接收系统包括直接到户(DTH)和公用天线电视系统(CATV)。支持卫星广播业务的卫星通常被称为直播卫星(DBS)。

高通量卫星通信主要面向以下领域提供服务:公众宽带、移动通信、中继通信、企业商用和公务通信、广播通信、应急通信和军用通信。

#### (1) 公众宽带

主要为地面网络覆盖不到的地区提供宽带上网服务,重点解决偏远地区人口的宽带上网问题。用户通信位置相对固定,用户数量多,通信带宽需求大,希望服务商直接提供全套服务,系统操作使用越简单越好。

#### (2) 移动通信

主要为飞机、船舶、高铁、汽车等高速移动载体提供广域宽带通信服务。用户移动速度快,服务区域广,对通信服务质量要求高,高通量通信可构建局部热点服务区。随着高通量卫星系统的快速发展,卫星数量越来越多,覆盖区域越来越广,正在逐渐满足移动用户终端跨区、跨波束大容量通信的问题。

#### (3) 中继通信

中继通信业务分为如下两类:第一类为偏远地区地面移动基站提供固定的远端宽带数据接入,这类中继通信主要将远端数据接入骨干网络,大多处于发展中地区、偏远地区、海岛、沙漠、山区等区域,位置相对固定,对通信带宽和通信质量要求较高,其对接入点并不敏感;第二类为两个固定骨干节点间提供宽带数据通信,或为光纤、微波等骨干通信链路提供备份,这类业务对接入点有明确要求,用户中继节点位置固定,对通信速率和通信质量要求高。

#### (4) 企业商用和公务通信

企业商用和公务通信业务分为如下三类:第一类为企业和政府构建卫星通信专网,提供专网内部用户间可靠保密通信服务,这类用户通信网络架构相对固定,对通信质量和安全性要求较高;第二类为商业人员、公务员和其他个人用户提供远程宽带接入服务,这类用户分布范围广、对应用的便利性较为关注;第三类为新闻采编等专用通信。

### (5) 应急通信

为自然或人为的突发性紧急情况及重要节假日和重要会议,提供广域宽带应急通信保障,具有突发性和暂时性。应急通信的用户分布范围广,局部地区通信量大,支持综合通信保障,终端便于携带,通信质量和互联互通要求高。高通量卫星通信特点在于终端体积小、重量轻、便于携带、使用方便、通信速率高。

### (6) 军用通信

国外发展起来的军用骨干卫星通信系统,如美国的 WGS 系统等,由于也采用多点波束及频率复用技术实现大容量骨干通信,因此也属于高通量卫星通信的范畴。此外,商用高通量卫星通信也为部队军事作战、训练、执勤、演习提供了重要的通信保障,例如美国商业卫星使用量占到整个军事卫星服务量的 80%,在伊拉克和阿富汗战场上高达 96%。

## 1.2 高通量卫星轨道及频率

### 1. 高通量通信卫星轨道

卫星通信系统设计与卫星运行轨道密切相关,不同的卫星通信覆盖及业务需求对应不同的运行轨道及轨道位置。同时,轨道也是卫星通信的重要资源,各国家和各机构都在积极储备卫星通信轨道资源。高通量卫星通信系统必须做好轨道的选择及设计。

高通量通信卫星轨道包括地球静止轨道(GEO)、中轨道(MEO)、低轨道(LEO)。

#### (1) GEO

GEO 高度为 35 786 km,轨道倾角为  $0^\circ$ ,轨道周期与地球自转周期相同,且方向一致,理论星下点为一个点,使得卫星与地面的相对位置保持不变,卫星在空间就好像静止一样,因而成为众多卫星通信系统采用的轨道形式。目前,绝大多数高通量通信卫星都运行在 GEO。

实际上,GEO 受地球非球型等摄动因素的影响,会出现南北和东西漂移,需要定期进行卫星南北和东西位保控制,这会带来推进剂的消耗。卫星东西和南北位保的精度一般为: $\pm 0.05^\circ$ 。

#### (2) MEO

MEO 的轨道高度为 5 000 km 到 15 000 km,卫星运行周期为 4~12 小时。MEO 降低了轨道高度,大大减小了信号的空间损耗,又可取得较高的对地覆盖率。例如,一颗轨道高度 10 000 km 的 MEO 卫星可覆盖地球表面 26.7%的面积。对于中轨道,需要构建星座,实现全球通信覆盖。

例如,第一代 O3B 通信卫星系统运行在轨道高度约 8 060 km、轨道倾角  $0.03^\circ$  的 MEO 圆形轨道,由 12 颗卫星组成;第二代 O3B 通信卫星系统由 22 颗卫星组成,其中 12 颗卫星运行在轨道高度 8 062 km、轨道倾角为  $0^\circ$  的赤道圆形轨道上;另外 10 颗卫星运行在轨道高度 8 062 km、轨道角度为  $70^\circ$  的两个圆形轨道上。

(3) LEO

LEO 的轨道高度一般在 500~1 500 km,卫星运行周期为 1.5~2 小时。低轨道卫星通信系统需要以星座形式组网运行,星座参数包括轨道面设置、轨道高度、轨道倾角、每轨道上卫星数量等。低轨星座的主要优点是空间时延低于 20ms,克服了静止轨道卫星长时延信道对 IP 应用和 5G 融合的限制,低轨道高度便于实现卫星、关口站和用户终端的小型化设计。

例如,Starlink 星座计划包含 12 000 颗卫星,分两期建设。第一期的星座规划情况如表 1-1 所示。

表 1-1 Starlink 星座第一期规划

Starlink 计划修改的星座轨道配置方案(2020 年 4 月 18 日提交)					
轨道高度/km	550	540	570	560	560
轨道面数量	72	72	36	6	4
单轨道面卫星数量	22	22	20	58	43
倾角/(°)	53	53.2	70	97.6	97.6

OneWeb 低轨卫星通信系统计划包含 720 颗在轨卫星,分为 18 个轨道面,每个轨道面均布 40 颗星,轨道高度 1 200 km,轨道倾角 87.9°,轨道周期 110 min。

除 GEO、MEO 和 LEO 外,高纬度国家(如俄罗斯)的卫星通信也采用高椭圆轨道(HEO),将远地点设置在国土上空,远地点的轨道高度大于 20 000 km,实现较长时间的通信。另外,为实现高纬度地区的通信覆盖,有时还采用 IGSO(倾斜地球同步轨道),其星下点为“8”字。

2. 高通量通信卫星频率

(1) 通信卫星频段

ITU 给出了表 1-2 所示的频段分配方案,表 1-3 给出了卫星通信常用的频段。

表 1-2 ITU 定义的卫星频段分配方案

频段名称	频率范围
VLF	3~30 kHz
LF	30~300 kHz
MF	0.3~3 MHz
HF	3~30 MHz
VHF	30~300 MHz
UHF	0.3~3 GHz
SHF	3~30 GHz
EHF	30~300 GHz
THF	300~3 000 GHz

表 1-3 卫星通信常用频段划分方案

频段名称	频率范围
L 频段	1~2 GHz
S 频段	2~4 GHz
C 频段	4~6 GHz
X 频段	7~9 GHz
Ku 频段	10~17 GHz
Ka 频段	17~36 GHz
Q 频段	36~46 GHz
V 频段	46~75 GHz

由于卫星通信的覆盖范围大,电波传播的距离广,为防止卫星通信系统之间及其与地面通信系统之间发生电波干扰,必须对卫星通信工作频段进行分配。国际上卫星业务

的频率分配是在 ITU 管理下进行的。在卫星频率分配计划中,将全世界划分为以下三个区域。

区域一:欧洲、非洲、原苏联和蒙古。

区域二:南北美洲和格陵兰岛。

区域三:亚洲(区域一以外的地区)、澳洲和西南太平洋。

在这些区域内,频带被分配给各种卫星业务,但同一业务在不同区域可能使用不同的频段。

(2) 高通量卫星通信业务的主要频段

为传输视频业务和高速互联网业务,卫星系统必须具有高达几兆甚至上百兆 bps 数量级的传输能力,这就要求系统具有很宽的频带。高通量卫星通信的用户上下行频率多采用 Ku 频段、Ka 频段,其频段范围为:

① Ku 频段上行为 14.0~14.5 GHz,下行为 12.25~12.75 GHz;

② Ka 频段上行为 27.5~30 GHz,下行为 17.7~20.2 GHz。

因此,如果考虑双极化应用,Ku 频段可用带宽为 1.0 GHz,Ka 频段可用带宽为 5.0 GHz。

目前,地面信关站的上下行频段开始采用 Q/V 频段,可用带宽为 10 GHz,其频段范围为:

① V 频段一般作为馈电上行频率,频段范围为:47.2~50.2 GHz 和 50.4~52.4 GHz。

② Q 频段一般作为馈电下行频率,频段范围为:37.5~42.5 GHz。

采用 Q/V 频段作为信关站链路的上下行频率,可将 Ka 频段完全分配给用户链路使用,这样用户链路可得到更多的带宽资源;另外,由于 Q/V 频段带宽更宽,单个关口站可管理更多的用户波束,可有效减少地面关口站数量。

2013 年 7 月发射的 Alphasat 卫星是卫星通信领域开发 Q/V 频段的重要一步,该卫星搭载了首个 Q/V 频段通信载荷,包含 3 个点波束、2 个可切换的转发器通道,主要用于测试 Q/V 频段在大气条件下的宽带数据业务传输性能。随后,Eutelsat 65W-A 等多个通信卫星也进行了 Q/V 频段载荷的在轨验证。目前,多个在研的高通量通信卫星馈电链路采用了 Q/V 频段。

## 1.3 高通量卫星通信系统组成

### 1. 高通量卫星通信系统基本组成

高通量卫星通信系统由通信卫星系统和地面系统组成,多数以星状网方式进行通信组网,采用集中管理的方式,用户所有业务都要流经地面站,用户终端间通过双跳实现通信。这种情况下,地面站相对比较复杂,采用大口径天线和大功率功放,而用户终端结构相对简单,天线口径和功放都较小,便于扩容。

高通量通信卫星系统包括 GEO 高通量通信卫星、MEO 或 LEO 高通量通信卫星星座,具体将在后续章节介绍。

高通量卫星通信地面系统从逻辑上一般划分为网络控制中心、信关站和用户终端。如图 1-1 所示,用户终端通过卫星用户波束接入到所属信关站,信关站通过网络控制中心完成业务的接入处理和运营管理。

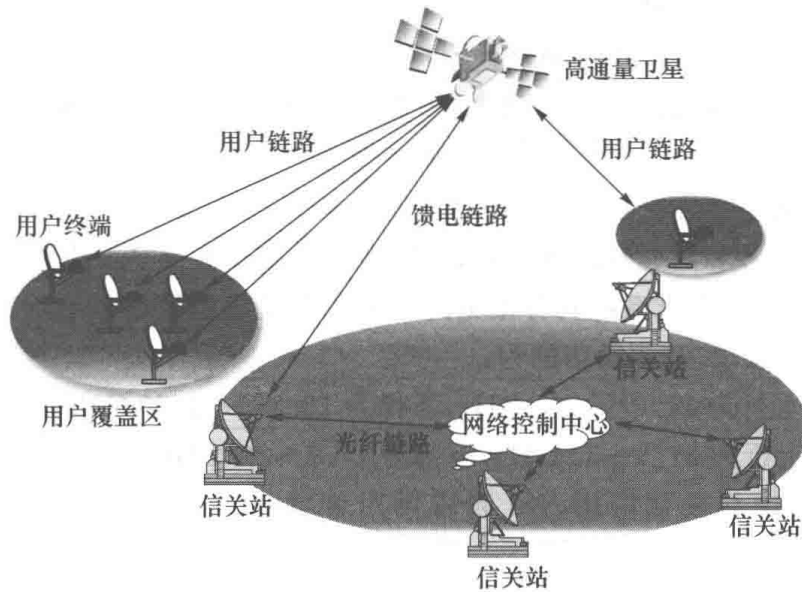


图 1-1 高通量卫星通信系统组成框图

### (1) 网络控制中心

网络控制中心负责整个卫星通信网的网络管理,主要功能包括用户接入控制、资源分配与管理、用户信息管理、系统网络管理和系统业务统计等。

网络控制中心可分为数据交换中心和运营中心。数据交换中心负责所属区域信关站业务数据的处理、存储、分发、网络路由处理、卫星资源管理、用户服务质量保障以及专网和互联网接入管理等。运营中心负责对所属区域的信关站及数据交换节点进行网络管理、业务运营支撑和网络安全防护,实现终端站用户访问上线授权、带宽、流量、时长控制及查询、计费等功能。数据交换中心由基带分系统和交换路由分系统组成,运营中心由基带分系统网管部分、交换路由分系统和业务运营支撑分系统组成。

### (2) 信关站

信关站负责卫星与用户终端间信号的收发、基带调制解调处理、业务数据处理等,并提供与地面网络的接口,实现卫星通信网与国际互联网的接口,为地面网络运营商提供接入平台。高通量卫星信关站的主要特点是大规模的路由交换和大吞吐量。信关站由天线射频分系统、基带分系统和交换路由分系统组成。

为充分利用带宽资源,实现大容量传输,信关站需支持 Ka 频段、Ku 频段和 Q/V 频段等。信关站采用 Q/V 频段进行馈电时,每个站需具备 10 Gbit/s 的处理能力。信关站的数量与卫星通信容量相关,多则几十甚至上百个,例如, ViaSat-1 系统包含 15 个信关站, Oneweb 规划了 55~75 个信关站, Starlink 星座系统仅在美国大陆将部署约 200 个信关站。

### (3) 用户终端

用户终端的形式多样,包括固定站终端、便携站终端、车载静中通终端、车载动中通

终端、车载动中通终端、机载动中通、无人机终端等,既有可单独进行通信的小型终端,也有和外部 Internet 等相连的大型站;既包括陆地公众宽带接入终端,也包括移动通信终端、中继通信终端、应急通信终端等。

用户终端由天线、收发器、调制解调器、网络服务设备、卫星通信标准等组成,不同类型的终端在天线形式、调制解调器状态和安装使用方式上不同。

用户终端的能力成为整个应用的核心,在终端产品设计上应突出互联网应用,并采用新材料和新工艺,有效提升系统性能,降低系统成本。例如,采用以氮化镓管芯为基础的高频段宽带功放模块,小尺寸、低功耗、快响应、宽角扫描的相控阵天线,以及集成高性能调制、解调等的多功能一体化芯片等。

高通量卫星通信地面系统从系统组成上,又分为天线射频分系统、基带分系统、交换路由分系统和业务运营支撑分系统。

天线射频分系统分为上行链路和下行链路,上行链路包括上变频器、高功率放大器等设备。上变频器将基带系统送来的中频信号进行变频放大,转换为上行射频信号后由高功率放大器进行电平放大,再经天线向卫星辐射出去,完成上行信号的发射;下行链路由低噪声放大器、下变频器、跟踪接收机、天线伺服控制系统等设备组成,主要完成下行信号的接收和放大。

基带分系统由安装在信关站的基带设备和安装在运营中心的数据交换节点设备组成。信关站的基带设备主要用于基带数据的处理、封装、调制、解调、纠错以及卫星接口的适配,包括 IP 调制器、多信道解调器、前向链路射频切换矩阵、反向链路射频切换矩阵、以太网交换机和控制器等设备。数据交换节点的基带设备主要由协议处理服务器、数据处理服务器、网络段控制器等组成。

为了支撑高通量卫星通信系统的高速率链路,基带设备需采用更先进的技术以提高频率利用率、极端特殊场景适应性和对大数量用户组网的支撑能力。要不断提升调制解调器的高阶调制能力,由现有的 32APSK 调制提升到至少 256APSK;同时支持超大带宽传输,提升至 500 Mbit/s;提升终端设备在极低信噪比(VLSNR)场景下通信能力,满足特殊极端场景需求。

交换路由分系统负责信关站、数据交换中心和运营中心的互联互通,由边界路由器、防火墙、站间互联路由器、汇聚交换机等组成,其主要用于传输内部和外部的网络业务以及管理数据,并提供外部 Internet 接口,使全系统网络环境最优化。信关站数据接入相应的数据交换节点及运营中心,并根据业务的不同接入相应的互联网出口。

业务运营支撑分系统是实现业务运营的核心信息化管理平台,是一个完整、统一的信息系统,实现对通信业务的全流程管控。业务运营支撑系统主要由客户关系管理和运营支撑、计费账务、综合网管、自服务系统等组成。

## 2. Viasat 卫星通信系统

Viasat 系列宽带卫星是美国 Viasat 公司发展的高通量卫星,Viasat-1 和 Viasat-2 分别于 2011 年 10 月和 2017 年 6 月发射部署,并相继打破全球在轨通信卫星容量记录。

Viasat-1 卫星网络主要由卫星系统、地面信关站、网络运行管理中心以及用户终端等组成,如图 1-2 所示。整个卫星通信网络采用星型物理拓扑结构,卫星通过 72 个用户波

束及 21 个馈电波束实现终端与信关站的互联互通。在这种模式下,不同波束覆盖区域内的终端之间需通过对应馈电波束区域的信关站,以双跳方式实现通信。

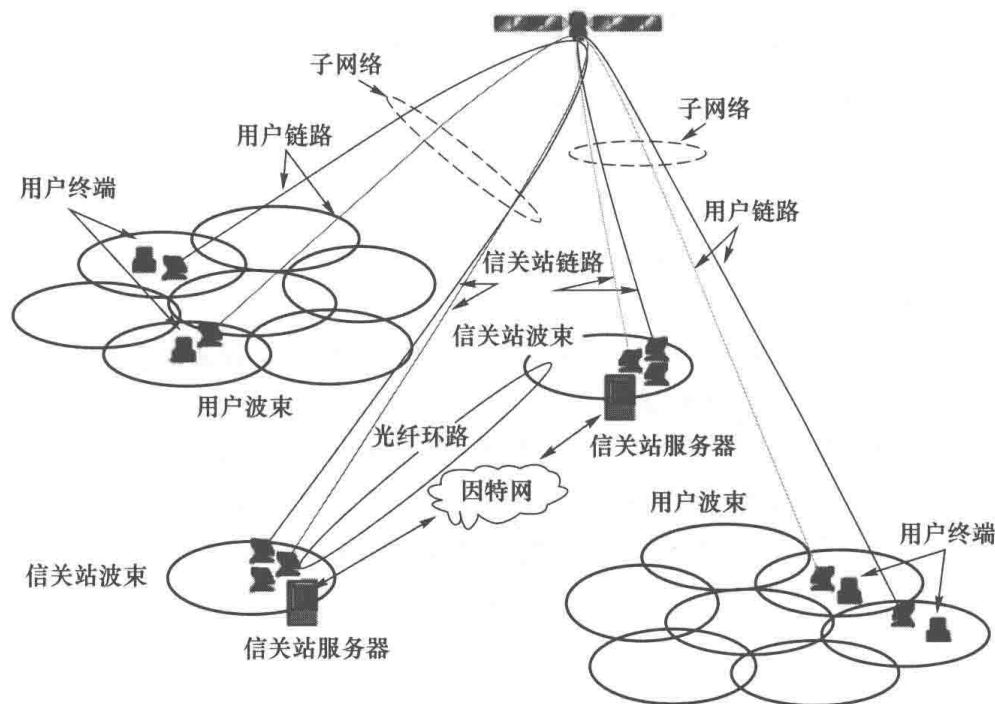


图 1-2 Viasat-1 卫星网络结构

从具体网络功能来看,Viasat-1 卫星较为简单,星上采用透明转发式通信体制,仅对信号做简单的收发、变频与放大,而不进行调制解调及编码译码等处理,因此信号处理与路由交换功能均由地面信关站完成,信关站还负责用户接入的鉴权、用户业务流的计价与管理以及 IP 地址管理等网络操作。部署于美国本土的信关站为 Viasat 卫星系统接入地面网络提供接口,是卫星和地面两个异构网络之间互联和信号转换传输的核心节点。由此,Viasat 卫星与信关站组成的网络设施可视作地面互联网的延伸,扮演“接入网”角色,使得用户终端通过“卫星+信关站”链路,接入互联网服务提供商的光纤设施,享受网络服务。

此外,每个信关站都对应一个由多个用户波束所覆盖的地理区域(称为子网络),处理对应子网络的 IP 业务,信关站之间业务不重叠,所以一个站点出现问题,并不会导致整个网络瘫痪。

Viasat 信关站之间除通过互联网设施相连外,还选择性地在美国中部以及环美线路主要站点之间建设了速率为 1~10 Gbit/s 的光纤干线,组成了独立的信关站网络。信关站网络可以为不同子网、不同地理区域内的用户提供更加便捷的通信服务,避免通过透明转发式卫星产生的多跳延迟。

网络运行管理中心主要承载业务支持系统(OSS)以及网络管理系统(NMS),负责维护用户数据库、定义服务类别/内容/价格、监控网络运行状态,并为分销商提供接口等。Viasat-1 地面系统采用了 Surfbeam2 宽带系统,该系统也采用分层式体系架构。Surfbeam2 宽带系统基于有线电视数据接口标准(DOCSIS),采用商用的业务支撑系统(BSS)和运营支撑系统(OSS),构成了系统的前台和后台,为用户提供快速、经济高效的