

面向高通量卫星网络的多基带系统载波统一调配技术

李妍, 赵逸云, 王逸璇

(中国卫通集团股份有限公司, 北京 100094)

摘要: 近年来随着卫星互联网技术的不断进步, 卫星通信运营行业的主体业务正在从传统的转发器租赁和视频传输向着宽带接入等数据传输演进, 进而带来了卫星运营商网络建设模式和网络运维架构等的变革。为了满足不同行业场景、不同类型业务应用对网络的差异化需求, 运营商往往需要部署多套异构基带系统。而当前不同基带系统间网管无法互通、频带资源仅能在各系统内部进行一定程度动态调度的现状, 使得卫星资源的规划和调配缺乏灵活性, 容易引起资源碎片化。对上述背景下带来的不同基带系统间的载波调控运维需求与挑战开展分析, 并对多基带系统载波统一调控方案进行研究, 力图实现频谱资源合理配置、灵活调配, 从而充分释放无线网络资源价值。

关键词: 高通量卫星; 卫星互联网; 多基带系统; 网络运营; 载波统一调控

中图分类号: V19

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2024029

Unified Carrier Regulation and Management Technology for Multiple Baseband Systems in High Throughput Satellite Network

LI Yan, ZHAO Yiyun, WANG Yixuan

China Satellite Communications Co., Ltd., 100094, China

Abstract: With the continuous progress of satellite internet technology, the main business of the satellite communication operation industry is evolving from traditional transponder leasing and video transmission to data transmission such as broadband access, which has brought about changes in the network construction mode and network operation and maintenance architecture of satellite operators. In order to meet the differentiated needs of different types of business applications on the network, operators often need to deploy multiple heterogeneous baseband systems. However, due to the incompatibility of different baseband systems, the frequency resources can only be scheduled in a certain system. Which result in a lack of flexibility in satellite resource planning and allocation. This article analyzed the carrier regulation and maintenance needs and challenges brought about by the above background, and studied the unified carrier regulation scheme for multi baseband systems, aimed to achieve reasonable and flexible allocation of spectrum resources, thereby fully unleashing the value of wireless network resources.

Keywords: high throughput satellite, satellite Internet, multiple baseband systems, network operations, unified carrier regulation

0 引言

近年来, 随着网络强国建设、数字经济转型发展等国家战略的稳步实施, 以及高通量卫星 (HTS)、非静地轨道 (NGSO) 星座等技术的推动, 全球卫星通信行业进

入了卫星互联网阶段。其中, 高通量卫星作为卫星互联网的重要组成部分, 经历了起步阶段 (单颗卫星容量 50 Gbit/s 左右)、发展阶段 (单颗卫星容量 100~300 Gbit/s), 目前已演进至跨越阶段 (单颗卫星通信容量可达 1 Tbit/s), 相当于传统卫星通信容量的数百倍。

收稿日期: 2024-06-01; 修回日期: 2024-08-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 62341131)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 62341131)

这一进步极大地推动了卫星通信运营行业的结构性变化,传统固定卫星业务(FSS)运营以转发器租赁和视频传输服务为主体业务,而卫星互联网的发展使得卫星通信运营的主体业务转向宽带接入、内容投递等数据传输,业务结构和商业模式加速向地面电信和互联网方向转变^[1]。在这一背景下,卫星运营商的网络建设模式、网络运维架构、网络产品研发与营销服务模式也在发生变革,力图同时满足政府、企业、个人等多类型用户的个性化业务需求^[2-4]。

基带系统作为实现卫星互联网业务应用的核心系统之一,各大制造商分别有其主攻的业务方向,具有技术体制标准不同、网络控制模式不同、对不同类型业务的适配度不同等差异。因此,为了同时满足应急通信、航空航海、高速和低速物联、基站回传等多种应用,卫星运营商往往需要部署多套基带系统,针对不同应用的特点构建多个业务子网。如何从管控层面,根据业务需求和异构基带系统资源利用率等情况进行统一规划调度,保障频谱资源合理配置、按需灵活调配,充分释放无线网络资源价值,成为亟待解决的问题。

1 应用模式与需求分析

1.1 传统通信卫星运营与应用模式

传统通信卫星运营以租赁转发器资源为主要模式,由用户自建独立系统开展地面段运营服务,价值增值实际上是以半成品形式向产业链下游传递的,各环节分别承担自己的风险,并未形成有机整体。

从20世纪90年代开始,随着各行各业对数据通信需求的不断增大,同时随着卫星通信技术进步带来的设备小型化,我国国民经济领域一些重点行业,均采用自行建设和运行卫星专用通信网的方式,满足其广域、泛在的通信需求。银行、证券、公安、外交、铁路、气象、环保、地震、交通、石油、水利、电力、教育和新闻等几十个政府部门和行业建成了百余个不同规模的专用卫星通信网,安装了数千座双向地球站、数万座单向数据接收站。尤其在石油化工行业,中国石化、中国石油、中国海油等公司均建设了自己的卫星企业专网,开展生产数据传输、电话会议等业务,服务于企业生产和管理。

上述卫星专网由于应用主体均为政府和企业,且大多面向某一特定业务开展卫星地面系统建设与运维,因此选用的基带系统单一,对资源的灵活调配需求相对也较弱。

1.2 高通量卫星运营与应用模式

高通量卫星在保留传统卫星广域覆盖特点的基础上,传输能力成倍提升,而单位带宽成本大幅降低,用户只需购买终端就可以使用宽带卫星服务,满足数据、视频、语音等应用需求^[5-8],因此高通量卫星应用更侧重流量数据通信端。卫星运营商随之基于卫星网络和运营支撑系统向产业链下游延伸,实现从转发器租售到卫星网络运营,再到增值服务的全类型业务拓展^[9-15]。

概括来说,高通量卫星网络主要承载3类业务^[16]:一是移动互联网业务,如网页浏览、VoIP语音通信;二是传统卫星通信业务的互联网化,如直播、视频分发、高清视频回传;三是卫星通信广域、大连接特性与互联网应用相结合的创新业务,如空间信息服务。

根据业务类型的不同,卫星互联网运营商主要面向的对象和提供的服务模式也有所不同。一是“公网公用”模式,主要面向C端用户,包括固定宽带接入用户、车载动中通用户、渔船和海上中小型船只等。用户一般通过以太网口或Wi-Fi接口的形式,将手持终端或PC等个人设备连接至高通量卫星终端,进而接入高通量卫星网络,并通过购买服务套餐的形式享受卫星互联网服务,进行图像、语音、视频等数据信息的传输和互联网业务访问。二是“公网专用”模式^[17],主要面向B端和G端客户,如应急、公安、电力、水利等对网络独立性、安全性要求较高的用户,以及存在一定规模成员用户、有多个下属单位或子公司的大型集团用户。此类服务场景下,根据不同用户对网络独立性要求的不同,卫星运营商通过频率资源、天线射频设备、基带设备、路由设备(或VLAN)、地面专线等多个层面的端到端网络切片划分,使用户享有物理级别或逻辑级别的隔离,满足不同等级客户对高安全性、高隔离度、高定制化的专网需求。高通量卫星互联网服务模式如图1所示。

由此可见,高通量卫星应用模式与传统通信卫星形成鲜明对比,具有以下特点:一是客户群体多样化,包括政府、行业、公众用户等;二是业务领域多样化,覆盖陆、海、空,如航空航海、普遍服务、应急通信、基站回传、资源监测等;三是业务类型多样化,涵盖语音、数据、视频等。

1.3 基带系统演进与特点分析

基带系统是实现卫星互联网业务应用的核心系统,在无线资源转化为信息服务的环节中起到关键作用,大体上可以划分为控制面和用户面两大类功能。其中控制面主要完成终端接入控制与移动性管理、信道资源分配、

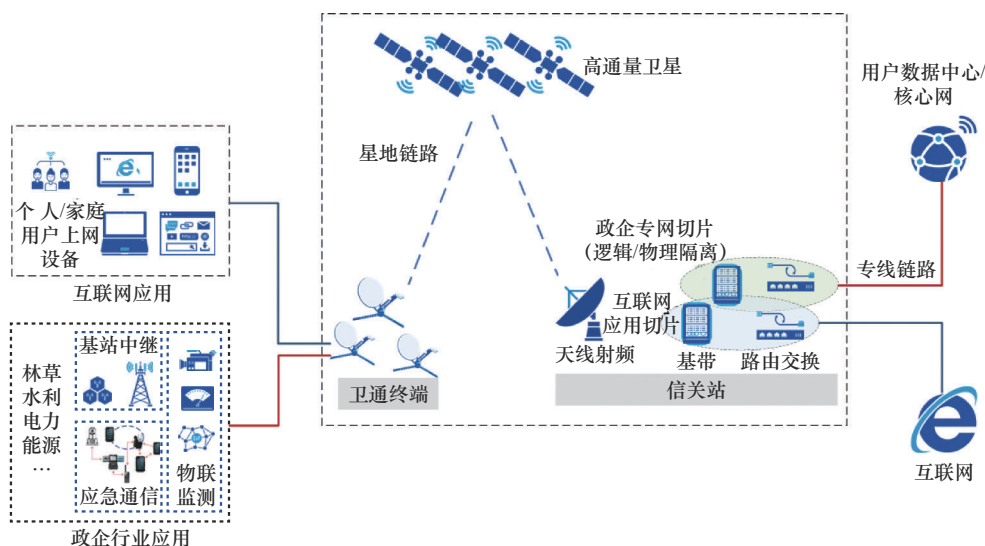


图1 高通量卫星互联网服务模式

QoS控制和传输优化控制等功能；用户面则基于控制面策略，以及所采用的传输协议完成业务数据的封装/解封装、编解码、调制解调等功能。

(1) VSAT卫星通信系统基带厂商

传统通信卫星运营与应用模式下，用户多采用甚小天线地球站（VSAT）系统自建专网开展业务应用，早期以FDMA体制基带系统为主，预先分配频点和带宽，后期根据需求，逐渐采用按需分配方式（DAMA）。自20世纪90年代起出现了TDMA技术体制，主要以SCPC/TDMA、TDMA和TDM/TDMA为主。2000年后，逐步出现了TDM/MF-TDMA体制，随后出现了DVB相关标准。在这一阶段，相对成熟且应用较多的基带系统主要有美国卫讯公司的LinkWay系统、德国诺达公司的SkyWan系统等，可同时支持数十个载波，信息传输速率从几十kbit/s到几Mbit/s为主，组网终端数量一般为数百个。

2010年之后，为了满足逐步向宽带演进的应用需求，VSAT也从窄带网络逐步发展为宽带网络，不仅支持数据、语音、图像业务，也能够提供多媒体、帧中继、Internet、IP等多种业务，通信体制基本就以TDM/MF-TDMA/SCPC/TDMA为主，以DVB标准为主，支持星/网混合拓扑。

(2) 高通量卫星通信系统基带厂商

当前，随着卫星向着Ka、Q/V等更高频段，以及超大容量和更高灵活性等方向不断演进，地面基带系统随之向更高设备集成度，支持更高吞吐量和终端密度，具备更好的灵活性和可扩展性发展，并普遍配置实时资源动态调配技术满足容量需求的动态变化，从而提高系统

效率，降低对机房占地和整体功耗的需求。国际主流的高通量卫星基带系统中美国厂商占比较大，包括Viasat公司的SurfBeam2系统，iDirect公司的Velocity系统，Hughes公司的Jupiter系统，Gilat公司的SkyEdge II-c系统，Newtec公司的Dialog系统，Comtech公司的Heights系统等。

上述各厂商新一代产品前向链路普遍支持DVB-S2X协议，具有更高的频谱效率和接入速率、更好的移动性能等特点；回传链路主要支持MF-TDMA、SCPC通信体制。同时均具备QoS、VNO、协议加速、移动应用等基本功能。在应用场景方面，主要致力于解决蜂窝回传、移动通信、互联网接入、企业专网等，并加大力度研发SDN/NFV技术、基站回传业务、星上灵活适配技术等，以支持未来的星地融合、灵活组网的需求。

可以看出，各厂商系统应用的领域大体相似，但又有各自的侧重，故其产品设计特点及指标也向各自重点应用领域倾斜。在海上通信领域，iDirect公司的系统占据份额较大；在基站回传领域，Gilat公司的系统占据份额较大；在机载通信和家庭宽带方面，Viasat公司较为领先；在政企专网市场方面，则Hughes公司占据近半市场份额。

1.4 高通量卫星运营需求分析

基于高通量卫星所具有的客户群体、业务领域和业务应用多样化等特性，运营商需要面向不同业务领域需求，进行针对性的基带系统选型和部署，以实现最佳的业务适配能力。

目前国内陆地业务领域国产化需求日益明显，尤其

是在信息安全、能源、应急等关系国计民生方面，具体业务应用包括应急保障、资源监测、普遍服务等场景。航空和航海业务由于其固有的广域属性，具有全球化组网需求。国际业务主要面向国外运营商和境外中国企业，具有数据境外落地、用户自主选择基带系统等潜在需求。

由此可见，在高通量卫星通信系统运营中，多套基带系统的部署和运行难以避免。运营商需要根据不同领域和类型的业务需求，对各基带系统所使用的频率资源进行划分，并随着业务的动态变化开展资源统一调配。由于不同基带系统在技术体制标准、网络控制模式等方面存在较大差异，当前不同基带系统划分的频带资源仅能在系统内部进行一定程度的动态调度，网管数据不互通，不具备跨系统业务支撑能力。

目前跨基带系统的载波频率调整，多采用人工计算和操作的方式进行频率资源的重新分配。即根据当前频率分配情况，结合各基带系统资源利用率和业务需求，得出不同基带系统的载波配置方案；然后基于各系统载波配置与各系统网络配置手册，人工设计载波调整方案；最后手动在各套基带系统网管上进行相应操作，人工在载波监视子系统（CMS）中更新载波配置信息。

上述模式主要存在如下问题。

（1）操作分散：整个调整流程中，操作分布于载波监视子系统、各基带网管系统、业务运营支撑系统等，需由人工按照一定顺序切换操作，步骤较多容易出错且耗时较长，导致调整流程整体效率偏低。

（2）决策无法校验：调整方案由人工计算得出，无相应校验机制，存在因频段错误调整导致载波重叠的可能，引起载波间互相干扰，影响正常业务开展。

（3）缺乏全局管控：各基带系统的载波信息，缺乏整体态势以及按照信关站、波束等不同维度的呈现；调整的发起及记录未能线上化、自动化，不利于开展运维工作。

因此，高通量卫星运营中有必要对自动化、智能化的多基带载波统一调控功能开展研究，通过合理规划各套基带系统需调整的频段、调整次序并依序自动执行，实现对多套基带系统频段资源的统一管控，提高频谱调整效率，降低对用户的影响，灵活适应业务需求的动态变化^[4,18-25]。

2 多基带系统载波统一调控方案设想

2.1 系统框架

业务运营支撑系统（BOSS）是电信运营商实现网络

运营、管理和维护的重要支撑软件平台。对卫星网络运营商而言，该系统重点实现高通量卫星站、网、端等基础资源的管理、监控和调度，并将底层资源封装为用户服务，实现业务开通激活、计费、查询、停用等全流程运营支撑。

因此，可在BOSS中新增多基带系统载波统一调配功能模块，该模块通过与各基带网管系统、载波监测系统，以及BOSS内部其他功能组件的对接，使运营商实现对卫星频段资源调整的统一管理和配置。一方面通过操作流程的数字化和自动化减少人工操作工作量，降低操作失误概率；另一方面使BOSS实时掌握各基带系统最新载波配置和使用情况，并基于各类业务需求进行统一筹划，从而实现频谱资源利用效率最大化。系统框架示意图2所示。

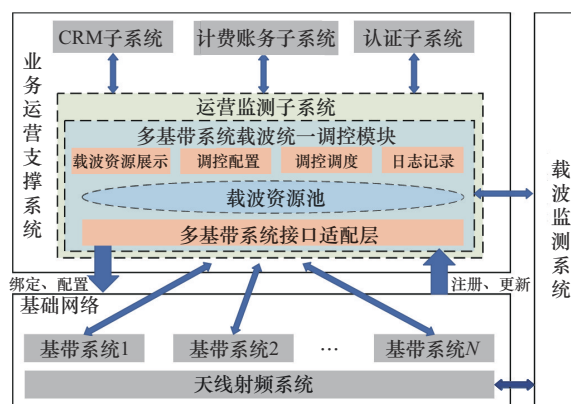


图2 系统框架示意

2.2 系统功能

多基带系统载波统一调配功能模块是保障高通量卫星网络业务开通与高效运行的重要支撑，通过合理规划各套基带系统需调整的频段、调整次序并依次执行，对多套基带系统频段资源进行统一管控，实现频段调整的线上化管理与配置。该功能模块主要包括载波资源信息展示、调控配置、调控流程调度，以及日志记录等功能。

（1）载波资源信息展示：调用基带接口，实时查询基带全局信息和波束信息，并进行展示。

（2）调控配置：配置基带利用率阈值、基带属性配置、临时基带配置信息，并支持条件查询。

（3）调控流程调度：展示调控流程进度情况以及相关操作按钮，可以进行流程推进相关操作。

（4）日志记录：一方面负责记录载波资源调控方案和调度过程，并支持多种条件查询调度日志信息、展示调度日志列表；另一方面通过与多基带系统接口交互，

采用人工操作,最理想情况下所需时间为 $T_{\min}=T$,即当前载波配置情况不涉及其他基带系统调整,最差情况下所需时间为 $T_{\max}=N \times T$,即需要调整所有 N 套基带系统;若使用载波统一调配模块,可在1~5分钟量级自动化完成所有载波调配操作,可实现至少80%的运维效率提升。

3 发展展望

当前各基带厂商的系统虽然架构大体一致,但一方面由于DVB等协议体制本身的开口较多(自定义性较高),另一方面各厂商从自身商业利益考虑和特殊领域封闭应用的需求出发,造成不同系统间难以形成一套开放统一的技术标准,无法互联互通。

本文提出的多基带系统载波统一调控方案,旨在通过与各基带系统,以及载波监测系统之间的接口适配,初步实现线上化的跨系统载波统一管理,提高频谱资源利用效率和运行维护效率。未来,为进一步提升高通量卫星网络面向不同业务的快速适配能力和网络管理灵活性,可以利用SDN/NFV、微服务等技术对卫星接入层、地面承载层到核心运营层的各类基础设施资源进行虚拟化和统一管理,构建面向业务的异构系统资源统筹规划模型,不断提高资源调控算法智能化、精细化水平,实现面向业务需求的网络承载和业务保障策略定制,适配卫星互联网时代不同应用场景在移动性、安全性、可靠性等方面的多样化要求。

4 结束语

卫星互联网时代,用户类型与业务场景的多样化、当前基带系统的封闭性和异构性,对运营商在高效、智能运维和运营方面带来了较大的挑战。本文针对频谱资源规划和管控,初步提出载波统一调控模块方案设想,基于业务需求和异构基带系统使用与运行情况开展统一规划调度,提升频谱资源配置的自动化、线上化程度,降低对用户的影响,从而有效提高运维效率和运营效益,充分释放无线网络资源价值。

参考文献:

- [1] 崔熠. Ka高通量宽带卫星网络服务应用模式探讨[J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31(11): 11-16.
- [2] CUI Y. Discussion on service of Ka high-throughput satellite broadband network[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2018, 31(11): 11-16.
- [3] 解宁宇, 陈任翔, 马广辉. 卫星互联网应用特征与服务场景探讨[J]. 广东通信技术, 2021, 12(14): 58-60.
- [4] XIE N Y, CHEN R X, MA G H. Discussion on application characteristics and service scenarios of satellite Internet[J]. Guangdong Communication Technology, 2021, 12(14): 58-60.
- [5] 赵旭东. 业务驱动的跳波束卫星系统资源分配及干扰消除研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2021.
- [6] ZHAO X D. Research on resource allocation and interference elimination of service-driven beam hopping satellite system[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2021.
- [7] 郝才勇, 骆超, 刘恒. 卫星通信近期发展综述[J]. 电子技术应用, 2016, 42(8): 11-15.
- [8] HAO C Y, LUO C, LIU H. A survey of recent developments of satellite communications[J]. Application of Electronic Technique, 2016, 42(8): 11-15.
- [9] 易克初, 李怡, 孙晨华, 等. 卫星通信的近期发展与前景展望[J]. 通信学报, 2015, 36(6): 157-172.
- [10] YI K C, LI Y, SUN C H, et al. Recent development and its prospect of satellite communications[J]. Journal on Communications, 2015, 36(6): 157-172.
- [11] 刘悦. 国外高通量卫星系统与技术发展[J]. 国际太空, 2017(11): 42-47.
- [12] LIU Y. The development of foreign high-throughput satellite systems and technologies[J]. Space International, 2017(11): 42-47.
- [13] VASAVADA Y, GOPAL R, RAVISHANKAR C, et al. Architectures for next generation high throughput satellite systems[J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2016, 34(4): 523-546.
- [14] 蒯伟. 卫星宽带通信系统的应用优势[J]. 数字化用户, 2017, 23(37): 18.
- [15] KUAI W. Application advantages of satellite broadband communication system[J]. Digitization User, 2017, 23(37): 18.
- [16] 沈永言. 卫星通信与卫星互联网[J]. 通讯世界, 2001(8): 37-40.
- [17] SHEN Y Y. Satellite communication and satellite Internet[J]. Telecom World, 2001(8): 37-40.
- [18] 郝研, 薛浩洁, 郑晓军, 等. 我国卫星通信运营服务创新发展探讨[J]. 卫星应用, 2022(9): 65-70.
- [19] HAO Y, XUE H J, ZHENG X J, et al. Discussion on innovation and development of satellite communication operation service in China[J]. Satellite Application, 2022(9): 65-70.
- [20] 张蕾, 冯彩虹, 张泓翊. 国外主要传统卫星通信运营服务商发展策略分析[J]. 卫星应用, 2023(9): 45-50.
- [21] ZHANG L, FENG C H, ZHANG H Y. Analysis on the development

- strategy of major foreign traditional satellite communication operators[J]. *Satellite Applications*, 2023(9): 45-50.
- [13] 徐鸣, 张世杰. 基于高通量卫星的天地融合宽带通信现状与应用展望[J]. *中国航天*, 2020(1): 54-59.
- XU M, ZHANG S J. Present situation and application prospect of broadband communication based on Qualcomm satellite[J]. *Aerospace China*, 2020(1): 54-59.
- [14] 沈永言. 卫星通信运营数字化转型中的关键要素[J]. *卫星应用*, 2020(12): 46-51.
- SHEN Y Y. Key elements in the digital transformation of satellite communication operation[J]. *Satellite Application*, 2020(12): 46-51.
- [15] 侯倩, 王健, 王守信, 等. 推动卫星互联网发展的践行与思考[J]. *中国航天*, 2023(3): 43-48.
- HOU Q, WANG J, WANG S X, et al. Practice and thinking on promoting the development of satellite Internet[J]. *Aerospace China*, 2023(3): 43-48.
- [16] 马芳, 薛浩浩, 吕韞哲. 中国卫星互联网应用服务发展[J]. *卫星应用*, 2022(12): 47-53.
- MA F, XUE H J, LYU W Z. Development of satellite Internet application services in China[J]. *Satellite Applications*, 2022(12): 47-53.
- [17] 王逸璇, 姚怡, 刘树实, 等. 高通量卫星服务专用网络的应用模式探索[J]. *卫星应用*, 2022(3): 59-62.
- WANG Y X, YAO Y, LIU S S, et al. Exploration on the application mode of Qualcomm satellite service private network[J]. *Satellite Application*, 2022(3): 59-62.
- [18] 王磊, 郑军, 贺川, 等. 高通量多波束通信卫星系统资源分配方法[J]. *中国空间科学技术*, 2021, 41(5): 85-94.
- WANG L, ZHENG J, HE C, et al. Resource allocation in high throughput multibeam communication satellite systems[J]. *Chinese Space Science and Technology*, 2021, 41(5): 85-94.
- [19] 王雨晗. 面向多波束的高通量卫星功率优化策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- WANG Y H. Research on Power Optimization Strategy of Qualcomm Satellite for Multi-beam[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019.
- [20] COCCO G, DE C T, ANGELONE M, et al. Radio resource management optimization of flexible satellite payloads for DVB-S2 systems[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2018, 64(2): 266-280.
- [21] 张更新, 王运峰, 丁晓进, 等. 卫星互联网若干关键技术研究[J]. *通信学报*, 2021, 42(8): 1-14.
- ZHANG G X, WANG Y F, DING X J, et al. Research on several key technologies of satellite Internet[J]. *Journal on Communications*, 2021, 42(8): 1-14.
- [22] 韩永锋. GEO 卫星通信系统跳波束资源动态分配方法研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2022.
- HAN Y F. Research on dynamic allocation method of beam hopping resources in GEO satellite communication system[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2022.
- [23] 刘帅军. 卫星通信系统中动态资源管理技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.
- LIU S J. Research on dynamic resource management technology in satellite communication system[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [24] 郭林. 高通量卫星通信应用若干问题的思考[J]. *卫星应用*, 2018(9): 56-61.
- GUO L. Reflections on some problems in the application of Qualcomm satellite communication[J]. *Satellite Application*, 2018(9): 56-61.
- [25] GUERSTER M, JOSE GARAU LUIS J, CRAWLEY E, et al. Problem representation of dynamic resource allocation for flexible high throughput satellites[C]//Proceedings of the 2019 IEEE Aerospace Conference. Piscataway: IEEE Press, 2019: 1-8.

[作者简介]

李妍 (1988-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为卫星通信系统设计和应用。



赵逸云 (1996-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为卫星通信运营系统设计和研发。

王逸璇 (1994-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为卫星通信系统设计和应用。