

星地融合网络的组网关键技术探讨

宋雅琴, 徐 晖, 刘险峰, 曹彩红, 程志密, 王胡成

(大唐移动通信设备有限公司, 北京 100083)

摘要: 面向未来, 移动通信网络将具备“连接+”的通信服务能力, 以及实现卫星通信和地面通信的系统级融合, 因此提出一种集连接、智能、感知、计算、数据等多个要素于一体的星地融合网络架构。基于所提的网络架构, 首先, 探讨星地融合网络的组网关键技术, 包括星地协同的智能管控技术、面向星地融合的高动态网络切片技术, 针对用户业务对星地融合网络提出的差异化网络服务需求, 对网络切片技术以及分布式自治技术的潜在发展形态展开讨论。然后, 分析星载轻量化核心网技术。最后, 通过自研的移动通信网络平台验证星地融合组网下的多业务网络切片共存以及轻量化核心网上星的可行性。

关键词: 星地融合网络; 组网; 网络切片; 分布式; 轻量化

中图分类号: TN92

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2024030

Exploration and Discussion on Key Technologies for Satellite-Terrestrial Integration Networking

SONG Yaqin, XU Hui, LIU Xianfeng, CAO Caihong, CHENG Zhimi, WANG Hucheng

Datang Mobile Communication Equipment Co., Ltd., Beijing 100083, China

Abstract: For the future, mobile communication networks will have the ability to provide communication services with beyond connectivity, as well as to realize the system level integration of satellite communication and terrestrial communication, so an integrated satellite and terrestrial network architecture that included multiple elements such as connectivity, intelligence, sensing, computing, and data was proposed. Based on the proposed network architecture, several key technologies for satellite-terrestrial integration networking were discussed, included intelligent management and control technology for satellite and ground collaboration, a high dynamic network slicing technology for integrated satellite-terrestrial, and in response to the differentiated network service requirements of user services for integrated satellite and terrestrial network, the potential development patterns between distributed autonomous and network slicing technologies were discussed. Then, onboard lightweight core network technology was introduced. Finally, the feasibility of multi-service network slicing coexistence and on-board lightweight core network were verified through a self-developed mobile communication network platform.

Keywords: integrated satellite and terrestrial network, networking, network slice, distributed, lightweight

0 引言

国际电信联盟无线电通信部门 (ITU-R) 于 2023 年 6 月发布《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》^[1], 建议书中提出的 6G 六大典型场景要求未来网

络支持智能、感知、泛在连接等新能力, 建议书中提出的覆盖能力、网络容量等网络的关键性能指标不仅对单点技术提出了要求, 更对网络提出了系统性要求, 可见新场景和新指标对网络架构的设计提出了更高要求。进一步, 为了实现“全域覆盖, 场景智联”^[2-3]的新愿景,

收稿日期: 2024-06-01; 修回日期: 2024-09-01

通信作者: 徐晖, xuhui1@cictmobile.com

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (No. 2022YFB2902704)

Foundation Item: National Key Research&Development Program of China(No. 2022YFB2902704)

地面通信和卫星通信将利用各自的容量优势和覆盖优势进行互补,通过协同组网形成星地融合网络^[4-10]。因此,面向星地融合网络的组网关键技术的研究成为一个关键问题。

针对不同场景下用户业务提出的差异化网络需求,在传统网络的“one-fit-all”^[11]模式下,综合考虑网络的差异化服务能力以及架构的复杂性和成本等问题,5G网络创新性提出使用网络切片技术^[12]在一张物理网络上提供定制化、相互隔离、质量可保证的多个端到端逻辑网络。面向星地应用需求更加极致化和多样化的趋势,以及考虑到星地网络的巨大差异,尤其是卫星网络的动态性和资源异构等特性,当前网络存在架构日趋复杂、网络灵活性待提升、服务拓展性不足等问题,未来网络需要在架构设计上就原生支持星地融合网络的组网灵活性。

为此,本文首先介绍面向星地融合的网络架构,支持移动通信网络在卫星网络和地面网络之间实现连接、智能、感知、计算、数据等多元素网络能力的灵活组网。基于该架构,提出星地协同的智能管控技术。然后针对星地融合组网下的差异化网络服务保障问题,提出面向星地融合的高动态网络切片技术,同时讨论分布式自治技术与网络切片技术在未来网络发展中可能存在的3种关系。最后,介绍星地融合网络的星载轻量化核心网技术,并对星地融合组网进行实验验证工作。

1 面向星地融合的网络架构

考虑到未来网络将具备超越连接的服务能力,包括泛在连接能力、智能能力、感知能力、计算能力、数据能力^[13]。在作者所在研究团队前期提出的星地融合网络架构^[14-15]的基础之上,本文进一步提出一种面向星地融合的具备连接、智能、感知、计算、数据等多种能力要素的网络架构。

如图1所示,星地融合网络包括地面段和卫星段,根据业务需求和网络环境实现网络功能和网络服务在天基和地基之间的按需部署。地面段基于网络功能虚拟化(Network Function Virtualization, NFV)技术构建云化平台,并在平台上部署完备的连接功能、AI功能、感知功能、计算功能和数据功能等连接+网络能力。卫星段包括同步轨道卫星(GEO)和非对地静止轨道卫星(NGSO),卫星上搭载轻量级云化平台以满足星上资源有限的特点。NGSO可以部署接入网设备支持分布单元(Distributed Unit, DU),核心网部署连接功能、计算功能和感知功能

分别用于支持终端通信、边缘就近计算、中低轨卫星的星上资源状态感知以及卫星周围环境感知等功能。GEO在NGSO的功能基础上,进一步支持接入网的集中单元(Centralized Unit, CU),支持数据的存储转发(即对无法通过卫星接入地面核心网的用户,在卫星上缓存用户的数据,等待卫星能够连接地面网络时,接收或转发用户数据)和数据预处理等数据功能。

图1还包括部署于GEO的天基智能管控功能和部署于地面的地基智能管控功能,通过星地协同的智能管控技术实现星地融合网络的弹性可重构和动态调整,秉承以用户需求和位置为中心的理念和目标,满足不同用户的差异化网络服务需求以及同一用户的网络服务一致性需求。

在该架构的基础上,随着航天技术的发展,卫星可以在星地融合网络架构中承担越来越多不同的网络功能^[4],接入网和核心网的网元及其网络功能在卫星和地面之间的分割和部署存在诸多可能性。在3GPP Release 17(R17)之前,卫星工作在透明转发模式下,卫星可以将位于偏远或特殊地区的终端或接入网设备连接到远端的地面基站或核心网系统,实现数据的高效回传,解决偏远或特殊地区的通信问题,降低该类区域的移动通信网络建设成本。3GPP R18首次提出卫星支持再生模式,支持在GEO上部署用户面功能(User Plane Function, UPF),支持移动边缘计算(Mobile Edge Computing, MEC)和UE-satellite-UE通信^[16-17]。

面向未来,星地融合网络一方面可以基于星地的空口和硬件资源,将基站的部分或全部功能部署到星上,从而降低信令和业务的处理时延^[18],满足自动驾驶等时延敏感型或高机动性的业务需求;另一方面,通过天基和地基网络间的核心网功能的柔性分割,在星上按需部署必要的网络功能以降低处理和转发时延。例如在星上按需部署用户面功能,为用户提供时延敏感型的高可靠、高数据隐私保障服务;在一些没有地面网络覆盖或地面网络覆盖能力不足的区域部署经过网络功能裁剪或重构后的轻量化核心网(例如只部署与接入、鉴权有关的功能),满足终端设备在这类区域的紧急呼叫等网络服务需求。

2 面向星地融合的智能组网关键技术

面向未来,星地融合网络将实现卫星通信和地面通信的系统级融合^[8]。由于星地运行环境的巨大差异性,以及星地融合网络的结构复杂、网络拓扑高动态性、资

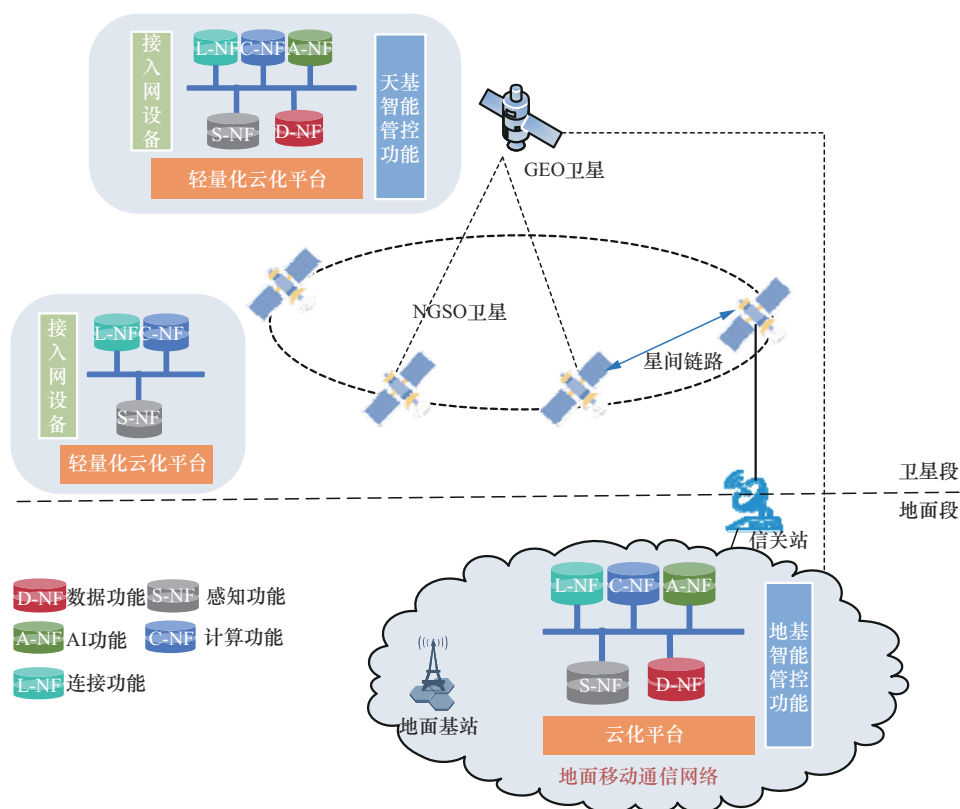


图1 面向星地融合的网络架构

源情况差别大、用户多样、业务分布不均匀、星地传输时延大、星间链路条件复杂等特点,星地融合网络需要在资源统一管控、高动态网络切片、差异化服务、核心网如何上星等多个关键技术方面进行深入研究和优化。

2.1 星地协同的智能管控技术

如图1所示,本文提出在GEO和地面网络分布式部署基于AI的网络智能管控功能,实现星地统一的智能管控,降低运维复杂度以及运营成本,用于提升大规模、动态、异构网络的智能高效管控能力。

首先,本文提出中心和分布式联合管控方式。考虑到卫星网络的分层特性,在GEO卫星部署轻量化的网络管控子系统,实现该GEO管控区域内卫星的统一管理和控制。一方面,收集星间网络拓扑和链路状态,并发送给地面智能网络管控系统;另一方面,根据地面智能网络管控系统的指令,对该GEO管控区域内的卫星下发路由策略,并根据卫星节点的可用性、安全性、负载等进行网络重构。在地面部署能力强大的智能网络管控系统,负责构建全局网络视图,根据网络状况和业务需求进行星地资源的统一管控。根据卫星及地面网络状况计算符合需求的路由和资源调度策略,并通过部署在GEO的管

控子系统下发到对应的NGSO卫星。

其次,考虑到星地融合网络的管控复杂性,保障可以根据时变拓扑及时更新路由和资源分配等策略,在网络管控系统中引入AI技术。智能网络管控系统将根据用户需求数据、网络运行数据、网络拓扑数据、星历数据等,通过AI算法分析与业务需求匹配的网络能力,按需、自动化地对星地资源进行管理和编排;智能网络管控系统还具备端到端的网络策略管理能力,结合业务需求、网络状态和资源现状,进行智能决策与策略下发,实现网络功能和性能的自动化编排与管理。

2.2 面向星地融合的网络切片技术

针对星地融合网络中不同业务提出的差异化网络服务需求,本节首先介绍面向星地融合的网络切片技术。然后在下一节,对差异化网络服务技术,如分布式自治技术和网络切片技术的关系及发展形态进行探讨。

4G网络通过优先级和QoS策略等机制为用户提供差异化网络服务^[19]。5G网络在上述网络特性的服务质量保障基础上,通过网络切片技术实现网络、计算、存储等网络资源的逻辑隔离和差异化保障。面向未来,将网络切片技术应用到星地融合网络,为多种不同的业务提供

定制化网络服务，可以是移动通信网络演进过程中的一种潜在方案。

卫星通信具有高动态、分层分布的特征，且地面通信与卫星通信的网络差异较大。这些给星地融合通信网络中的端到端切片管理和服务质量保障提出了巨大的挑战^[8]，在网络切片的生命周期内，网络拓扑、用户需求都可能会变化，导致现有的静态网络切片难以适应动态资源需求。为此，提出一种基于算网融合技术^[20]的高动态的星地融合端到端网络切片技术。

每个星地融合的端到端网络切片由接入网子切片、承载网子切片和核心网子切片组合而成，分别进行频谱资源、传输资源和网络资源的分配和QoS管理。将网络子切片的实例化任务分解为网络功能实例化子任务，再将每个子任务映射到卫星段或地面段的一个算力节点，利用算网融合技术的资源感知以及动态管理能力，保证为网络切片分配的计算能力和网络能力与子任务的实时资源需求相匹配，为用户提供一致性的连续网络服务。

面向星地融合的网络切片如图2所示。考虑到星地融合网络的不同融合组网方案^[21]，结合高轨卫星覆盖范围大但时延也大，低轨卫星覆盖范围适中但移动性和可以连续服务的时长受限，地面网络的资源充足但覆盖范围有限等特征，端到端星地融合网络切片实例可以由地面、

卫星或星地混合进行灵活动态构建。例如，针对宽带接入业务，为了满足高速数据传输需求，同时考虑到宽带大数据传输无须频繁访问核心网，可以创建纯地面网络切片，也可以创建中低轨卫星和地面网络的混合网络切片，如切片实例1；针对物联网业务，为了避免星地之间传输的不稳定性以及避免占用带宽资源，可以创建中低轨卫星和高轨卫星的混合网络切片，也可以创建纯高轨卫星网络切片，如切片实例2；针对重要客户的时延敏感业务，为了满足用户数据在卫星节点之间的中继传输，避免数据落地带来的时延和安全性威胁，可以创建中低轨卫星和高轨卫星的混合网络切片，也可以创建纯中低轨卫星网络切片，如切片实例3。

为了实现对跨承载网、接入网和核心网的多域网络以及跨地面区域、NGSO区域、GEO区域的星地融合网络的统一切片管理，首先，引入跨域控制功能（Cross-domain Control Function, CCF）单元，将传统的不同网络域的子切片以及对应网络切片子网管理功能（Network Slice Subnet Management Function, NSSMF）实现的功能的差异抽象出来，实现切片模板的自动化设计和切片资源的自动化编排，然后通过算网管理中心将多域异构的算网资源联合起来，实现星地切片的按需统一编排。针对星地融合网络多层次分级网络特性，设计基于中心和

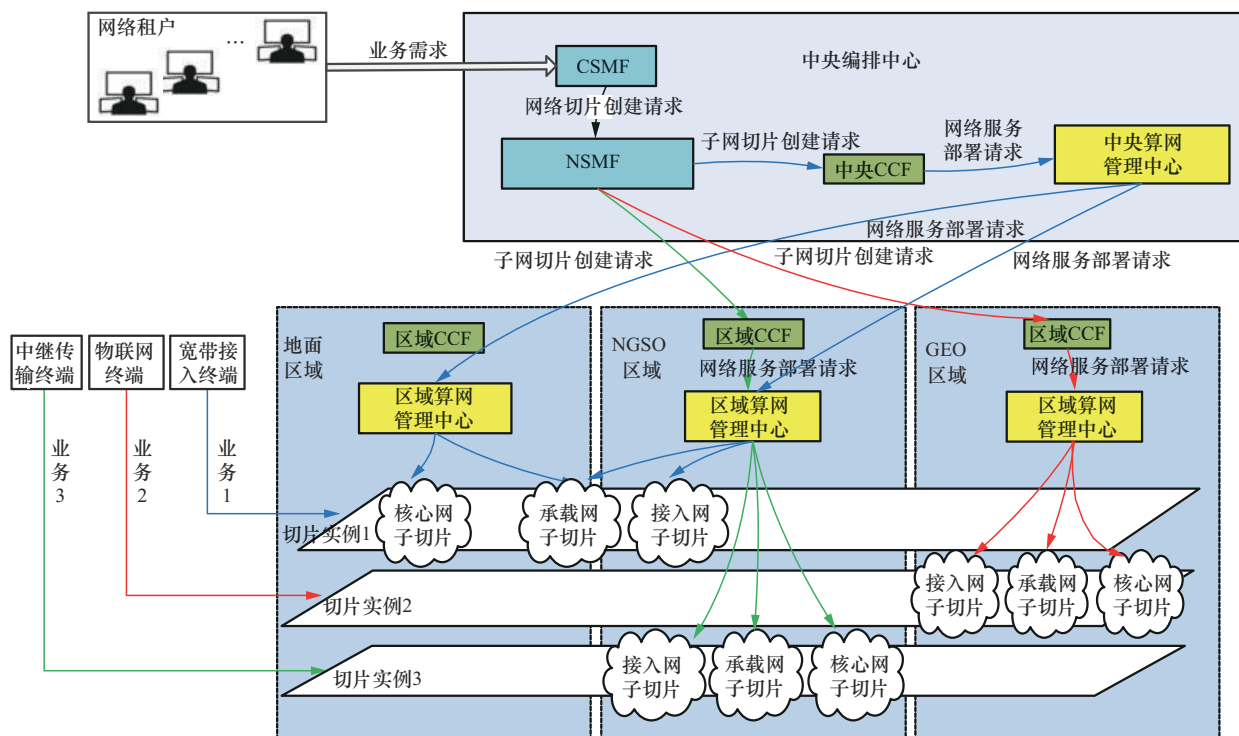


图2 面向星地融合的网络切片

分布式混合的星地融合网络的联合编排管理方式,在地面、中低轨卫星、高轨卫星等位置按需划分不同区域,在区域编排中心部署对应的区域算网管理中心和区域CCF,同时在地面部署中央算网管理中心和中央CCF,以及基于算网协同编排技术支持敏捷部署网络服务的能力。

中央编排中心的通信服务管理功能(Communication Service Management Function, CSMF)接收业务需求,确定业务类型、服务性能需求和请求的服务时长,向网络切片管理功能(Network Slice Management Function, NSMF)请求分配网络切片参数。NSMF将服务参数分解到子网切片,并确定子网切片的部署位置,向对应的中央区域CCF、地面区域CCF、NGSO区域CCF和GEO区域CCF发起子网切片创建请求,对应区域的CCF通过相应的算网管理中心实现跨域或域内的多维资源的灵活分配以及虚拟化网络功能的统一动态编排。

2.3 面向星地融合的差异化服务技术探讨

网络切片技术为星地融合网络提供差异化网络服务能力带来了机会。然而,网络切片的切片粒度较大、资源编排方式较静态、切片配置/升级时人工参与环节多等因素,使得网络切片是否可以在未来继续作为承担提供差异化服务的关键技术而受到了一定程度的质疑。

随着分布式自治技术的不断发展,考虑到不同业务场景对网络特性的需求不同,以及为了避免集中式部署模式带来的可靠性不足、不同子网互联互通性不足、组网灵活性不足等问题,业内对于未来网络将使用中心和分布式联合的分布式组网技术已达成一定共识^[13]。基于该理念,星地融合网络也可以通过分布式组网的方式,结合统一编排技术以及分布式自治技术^[22],通过分布式网络节点之间的高效协作满足不同业务的差异化网络服务需求。

那么,分布式自治技术与网络切片技术在星地融合网络中将分别承担什么角色,是一个值得探讨的问题。本文认为,这两种技术可能的发展形态有:

(1) 革新,通过全新的分布式自治技术以及统一编排技术实现星地融合网络的分布式协同组网、资源的端到端统一编排,以及差异化网络服务保障;

(2) 创新,通过分布式自治技术实现星地融合网络的分布式协同组网,并基于网络切片以及AI、大数据、编排等技术,通过统一编排技术实现资源的统一感知和统一编排,并按照逻辑网络节点的方式实现业务的差异化网络服务保障;

(3) 演进,通过分布式自治技术实现星地融合网络

的分布式协同组网,并基于更细粒度、优化后的网络切片技术实现资源编排和差异化网络服务保障。

针对形态(2),一种潜在的方案是通过统一编排技术在分布式物理网络节点上部署不同的标准化网络功能、裁剪化网络功能、定制化网络功能,并在其上构建满足不同业务的功能需求(例如连接功能、智能功能、计算功能等)以及性能需求的不同的逻辑网络节点。一个逻辑网络节点可以跨不同的物理网络节点,通过为逻辑网络节点划分计算、数据、算法、感知、通信等资源以保障业务的网络服务需求。其中,物理网络节点根据该节点的归属情况,也可以分为共享物理网络节点和专用物理网络节点。物理网络节点也可以根据该节点的服务能力、服务场景、服务用例,分为连接和智能网络节点、沉浸式通信网络节点、全息通信网络节点等。

针对形态(3),首先通过分布式自治技术实现不同分布式子网的联合组网以及网络功能和网络服务的按需部署,然后在分布式网络节点上通过网络切片编排技术构建跨网络节点的网络切片实例,实现满足业务需求的端到端的资源隔离和网络服务保障。网络节点和网络切片可以是一对多和多对一的映射关系,即一个网络节点上可以有多个网络切片,一个网络切片也可以跨多个网络节点。在这种方式下,分布式网络是一种组网技术,分析该网络节点上多个业务的运行状态和网络状态,实现网络功能和网络服务的按需部署和动态调整,确定的是网络节点的整体服务能力;网络切片是在网络功能、网络服务已经部署的情况下,实现满足业务性能需求的、端到端的资源隔离和动态配置,确定的是具体业务可以获得什么样的网络服务。

不论是哪种形态,分布式网络节点之间的互相发现和协作都是一个关键问题。为此,分布式网络可以引入一个新的网络功能或增强原有网络功能,用于维护网络节点粒度的网络节点信息,以及作为节点的代理功能实现网络节点信息在网络节点之间的信息交互,使能实现网络节点间的即插即用和可信交互。

2.4 星载轻量化核心网技术

针对星上载荷资源有限的特点,传统为地面网络设计的核心网架构存在一定不足。包括:标准定义的网元类型较多,网元之间分工比较细,交互流程较多,不利于核心网提供高效的业务服务能力;网元数量较多,加大了系统复杂性,同时对设备能耗需求较大,不利于长时间的通信,特别是应急通信场景应用;网元数量较多,加大了部署的难度,不利于快速组网。因此,星地融合

网络在设计之初,就需要考虑星载核心网的轻量化需求,应进行网络逻辑功能的重构、接口及协议的优化^[13]。

为了支持星载核心网的轻量化设计,一方面网络功能和网络服务需要支持定制化,支持不同应用的个性化需求。例如,卫星载荷有限的UPF无须支持下行分组缓存功能;无须对用户进行基于业务流的细粒度计费与策略控制时,UPF无须支持数据包深度解析功能;当行业用户存在众多设备接入核心网时,则需要支持帧路由功能。基于该需求,考虑到星地资源的异构和不均衡等特性,基于NFV技术实现底层软硬件资源的充分解耦,构建星地统一的资源池,提高异构节点上资源的通用性,将物理设备和网络功能分离,可以支持网络功能的定制化重构和动态性调整,增加网络柔性,提升网络的适应能力^[23]。

考虑到业务类型丰富,对网络服务的颗粒度需求精细,可以基于云原生和微服务技术将网元进行细粒度分割,将每个网元解耦为一组独立网络功能(Network Function, NF),每个NF再解耦为多个NF服务,更好地契合不同业务场景。同时,根据应用场景的特点,不同的网元可以进行按需裁剪与重构,可以裁剪对于地基网络来说冗余的网元,也可以合设功能类似、流程联系紧密的网元,从而将原外部接口交互变成组件内部的通信,节省系统内存资源和计算资源的开销。例如,通常无须对行业用户进行精细的基于业务流的策略与计费控制,那么可以裁剪策略控制功能(Policy Control Function, PCF),在会话管理功能(Session Management Function, SMF)本地预配置静态策略控制规则;轻量化核心网配置规模和数量较小时,特别是单颗卫星自成系统时,NF之间的业务逻辑关系相对固定,可以通过本地配置方式固化通信对端,直接调用目标NF的服务,实现轻量化核心网内部网络功能的自发现。

除了核心网自身的轻量化设计,针对星上同时部署基站和核心网的情况,还可以对星载基站和核心网进行一定的重构优化。在控制面方面,可以将基站CU和AMF合设优化,减少两者之间数据的封装与解封;在用户面方面,基站DU和UPF合设优化,N3接口的数据可直接进行路由转发,从而节省星载系统空间,减少内存资源、频谱资源和计算资源的使用。

3 星地融合组网实验验证

为了对星地融合组网进行可行性验证,本文使用在实验室自研搭建的移动通信网络验证平台。首先,考虑

到卫星网络和地面网络的资源的巨大差异性,以5G系统为例,在地面部署3GPP定义的标准化5G核心网^[24],在星上部署经过网络功能裁剪和合设之后的轻量化核心网,验证轻量化核心网上星的资源占用情况以及典型流程的耗时情况。然后,将上述卫星网络和地面网络使用统一的云平台和管控功能进行部署和管理,构建跨卫星和地面的3个典型业务网络切片,对星地融合组网时多业务网络切片共存且可同时激活进行实验验证。该平台基于NFV^[25]技术将网络资源抽象成虚拟资源池,支持网络功能的灵活动态部署;基于软件定义网络(Software Defined Network, SDN)^[26]技术实现用户面的控制(UPFC)与转发(UPFU)分离,屏蔽底层物理网络在通信协议上的差异。

以3GPP定义的标准化5G系统为例,在地面部署标准化核心网,包括注册和会话建立相关的AMF、SMF、UPF、UDM、PCF、NSSF、AUSF和NRF等8个典型网络功能。当使用基于容器^[27]的编排管理系统进行网络功能的部署时,每个NF的容器镜像包约为600 MB,可以估算标准化核心网需要占用约4.8 GB的存储空间,这对于星上的宝贵资源是不利的。为此,在星上部署对标准化定义的网络功能进行按需定制、裁剪和合设后的轻量化核心网,考虑核心网上星的最小NF集(包括AMF、SMF、UPF),将其他NF的必要功能合设于这3个NF中,例如在AMF中融合了切片选择NSSF、签约数据管理UDM、鉴权AUSF等功能,SMF中融合了PCF等功能。经过对比,从地面标准核心网系统8个NF到星载轻量化核心网系统3个NF,总的镜像包存储空间将减少63%。

接下来测试系统在稳定运行时,轻量化核心网和标准化核心网在CPU和内存资源方面的占用情况。分别进行轻量化(图中标注L)核心网和标准化(图中标注S)核心网的部署,从系统开始部署到进入稳定状态,约10 min后,每隔10 s记录一次抽样结果。图3所示是总计9次抽样的AMF、SMF、UPFC 3个NF的资源占用情况。可以看到,轻量化核心网由于代码量减少和NF重构优化,减少了NF数量以及NF之间的消息交互处理操作,资源占用情况明显有所改善。

然后,测试轻量化核心网和标准化核心网在注册过程和PDU会话建立过程中的耗时情况,具体见表1。由于NF的裁剪、注册过程和PDU会话建立过程中都会减少一些NF间的交互消息,因此过程中的耗时都会降低。同时,由于注册过程本身比PDU会话建立过程的步骤少,因此注册过程耗时减少的百分比更高一些。

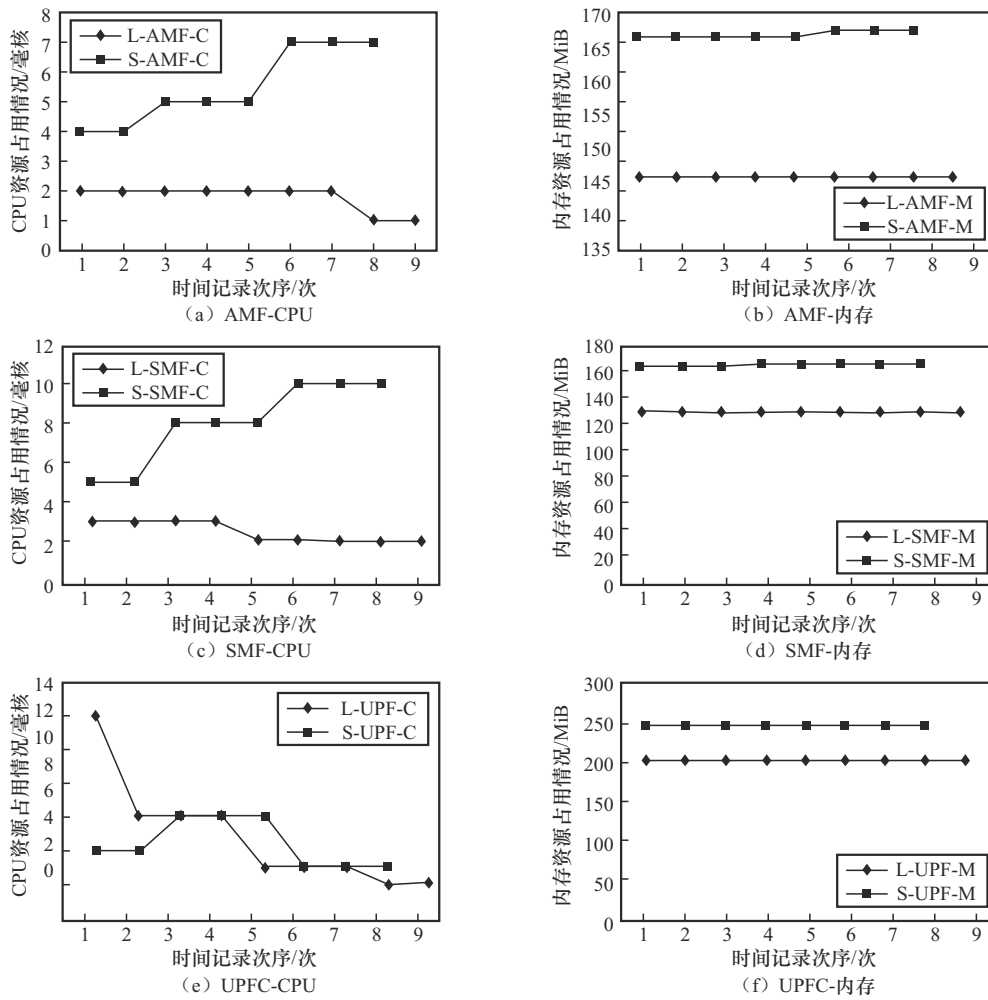


图3 稳定运行时资源占用随时间的变化情况

表1 注册和会话建立过程耗时情况

过程	轻量化耗时	标准化耗时	对比
注册	25 ms	75 ms	降低67%
会话建立	220 ms	330 ms	降低33%

最后，将上述地面标准化核心网和星上轻量化核心网进行融合组网，将星载轻量化核心网部署于普通笔记本电脑，将地面标准化核心网部署于x86服务器，并构建跨星地的3个典型业务的网络切片进行实验。如图4所示，部署卫星宽带接入、卫星物联网和卫星中继传输3种业务的网络切片，主要配置信息见表2。

表2 星地融合3种网络切片主要配置信息

切片	NF位置	业务
宽带接入	地面	视频
物联网	GEO	小数据包
中继传输	GEO和NGSO	回传数据

针对3种业务的网络切片，模拟宽带UE注册，选择卫星宽带接入网络切片建立PDU会话并访问地面业务服务器1，进行宽带接入下行数据大带宽特征的视频播放业务；物联网UE访问星载物联网业务服务器，模拟物联网数据采集业务间隔采样、短报文的特征，使用测试仪表突发1KB小数据包；中继传输UE访问地面业务服务器2，模拟卫星中继数据回传业务上行数据大带宽特征，使用测试仪表，分别以低于切片最大带宽和高于切片最大带宽的速率向地面业务服务器回传数据。测试结果表明，3种业务的网络切片可以共存，宽带业务的视频播放正常；物联网业务无丢包；中继传输业务当测试仪表以低于切片最大带宽的速率发送回传数据，无丢包，超过切片最大带宽时开始出现丢包。

通过上述实验，初步实现了对星地融合组网时，结合星地资源特性的星载核心网网络功能的轻量化柔性分割、服务定制、流程简化，以及跨星地的多业务网络切

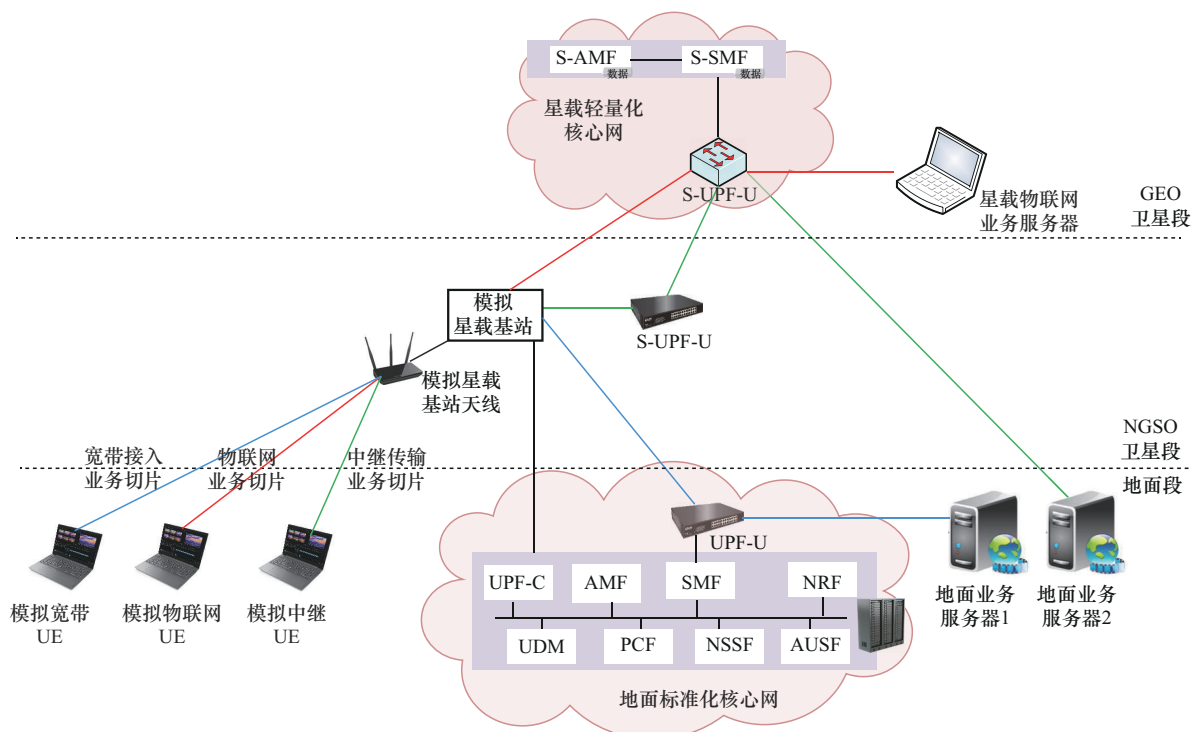


图4 星地融合组网验证系统

片共存的可行性验证。面向未来,还需要从不同的组网策略和关键技术方面展开更加深入和丰富的验证和测试。

4 结束语

随着无线通信技术和卫星通信技术的发展,星地融合组网将成为未来网络发展的重要趋势。星地融合组网的灵活性是一个核心需求,以实现卫星网络和地面网络的互联互通和高效协同。针对卫星的动态性、高传输时延、资源有限等特征,星地融合网络需要基于分层分域的网络特性进行技术的适应性优化,从而降低网络架构的复杂性。在网络架构和关键技术的理论研究基础上,还需要不断完成相关技术的可行性验证工作。

参考文献:

- [1] ITU-R. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond[R]. 2023.
- [2] 中信科移动通信技术股份有限公司. 全域覆盖场景智联-6G网络体系架构白皮书[Z]. 2022.
Citic Mobile Communication Technology Co., Ltd. Global coverage scenarios Zhilian -6G network architecture white paper[Z]. 2022.
- [3] CHEN S Z. Vision, requirements, and technology trend of

6G — how to tackle the challenges of system coverage capacity, user data-rate and movement speed[J]. IEEE Wireless Communications, 2020.

- [4] 王胡成, 徐晖, 孙韶辉. 融合卫星通信的5G网络技术研究[J]. 无线电通信技术, 2021, 47(5): 535-542.
WANG H C, XU H, SUN S H. Research of network technologies of 5G integrating satellite communication[J]. Radio Communications Technology, 2021, 47(5): 535-542.
- [5] 王胡成, 徐晖, 孙韶辉. 星地融合5G网络架构增强技术研究[J]. 电子技术应用, 2022, 48(6): 1-4.
WANG H C, XU H, SUN S H. Research on architectural enhancements for integrating satellite into 5G networks[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(6): 1-4.
- [6] 徐晖, 孙韶辉. 面向6G的天地一体化信息网络架构研究[J]. 天地一体化信息网络, 2021, 2(4): 1-9.
XU H, SUN S H. Research on network architecture for the space-integrated-ground information network in 6G[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2021, 2(4): 1-9.
- [7] CHEN S Z. System integration of terrestrial mobile communication and satellite communication — the trends, challenges and key technologies in B5G and 6G[J]. China Communications, 2020.
- [8] 中信科移动通信技术股份有限公司. 全域覆盖场景智联-星地融

- 合通信白皮书[Z]. 2023.
- CITIC Mobile Communication Technology Co., Ltd. Global coverage scene Zhilian-Xingdi unified communication White Paper[Z]. 2023.
- [9] 汪春霆. 天地一体化信息网络架构与技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
- WANG C T. Integrated space-terrestrial information network architecture and technology[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2021.
- [10] CHEN S Z, SUN S H, MIAO D S, et al. The trends, challenges, and key technologies of beam-space multiplexing in the integrated terrestrial-satellite communication for B5G and 6G[J]. IEEE Wireless Communications, 2023, 30(6): 77-86.
- [11] 陈康. 6G网络细粒度资源切片与调度算法研究与实现[D]. 南京: 南京邮电大学, 2023.
- CHEN G. Research and implementation of fine-grained resource slicing and scheduling algorithms for 6G networks[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2023.
- [12] 管莹莹, 宋静, 宋清洋, 等. 空天地海一体化网络切片研究综述[J]. 移动通信, 2022, 46(10): 20-25.
- GUAN Y Y, SONG J, SONG Q Y, et al. Space-air-ground-sea integrated network slicing: a survey[J]. Mobile Communications, 2022, 46(10): 20-25.
- [13] IMT-2030. 6G network architecture outlook white paper[R]. 2023.
- [14] 徐晖, 陈山枝, 艾明. 面向6G的星地融合网络架构[J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(5): 9-15.
- XU H, CHEN S Z, AI M. Integrated satellite and terrestrial network architecture for 6G[J]. ZTE Technology Journal, 2023, 29(5): 9-15.
- [15] 宋雅琴, 徐晖, 刘险峰, 等. 面向6G星地融合的云边协同网络架构和关键技术[J]. 天地一体化信息网络, 2023(3): 3-11.
- SONG Y Q, XU H, LIU X F, et al. Cloud-edge collaboration architecture and key technologies for 6G integrated satellite and terrestrial network[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2023(3): 3-11.
- [16] 3GPP. Study on 5G system with satellite backhaul; (Release 18): TR 23.700-27[S]. 2022.
- [17] 3GPP. Study on architecture aspects for using satellite access in 5G; (Release 17): TR 23.737[S]. 2021.
- [18] 缪德山, 柴丽, 孙建成, 等. 5G NTN关键技术研究与发展展望[J]. 电信科学, 2022, 38(3): 10-21.
- MIAO D S, CHAI L, SUN J C, et al. Key technologies and evolution of 5G non-terrestrial network[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(3): 10-21.
- [19] 王睿, 张克落. 5G网络切片综述[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2018, 38(5): 19-27.
- WANG R, ZHANG K L. Survey of 5G network slicing[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2018, 38(5): 19-27.
- [20] 雷波, 刘增义, 王旭亮, 等. 基于云、网、边融合的边缘计算新方案: 算力网络[J]. 电信科学, 2019, 35(9): 44-51.
- LEI B, LIU Z Y, WANG X L, et al. Computing network: a new multi-access edge computing[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(9): 44-51.
- [21] 刘超, 陆璐, 王硕, 等. 面向空天地一体多接入的融合6G网络架构展望[J]. 移动通信, 2020, 44(6): 116-120.
- LIU C, LU L, WANG S, et al. Prospects for a multi-access air-space-terrestrial integrated 6G network architecture[J]. Mobile Communications, 2020, 44(6): 116-120.
- [22] 宋雅琴, 徐晖, 刘险峰, 等. 面向星地融合网络的统一编排架构和关键技术[J]. 移动通信, 2024, 48(1): 19-24.
- SONG Y Q, XU H, LIU X F, et al. Unified orchestration architecture and key technologies for satellite-terrestrial integrated networks[J]. Mobile Communications, 2024, 48(1): 19-24.
- [23] 张婷婷, 武楠, 姚海鹏. 天地融合网络智能组网体系架构研究[J]. 天地一体化信息网络, 2022, 3(3): 46-55.
- ZHANG T T, WU N, YAO H P. Research on intelligent networking architecture for the integrated space-terrestrial networks[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2022, 3(3): 46-55.
- [24] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS); Stage 2 (Release 16): TS 23.501[S]. 2021.
- [25] 蔡卫红, 郭旭静, 李聪. 基于NFV的5G核心网络切片研究[J]. 长沙大学学报, 2023, 37(2): 6-11.
- CAI W H, GUO X J, LI C. A research on 5G core network slicing based on NFV[J]. Journal of Changsha University, 2023, 37(2): 6-11.
- [26] 沈家屹, 张丽秋, 何璐茜. 基于SDN的网络虚拟化技术的设计与系统测试[J]. 科学技术创新, 2022(31): 86-89.
- SHEN J Y, ZHANG L Q, HE L Q. Design and system test of network virtualization technology based on SDN[J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(31): 86-89.
- [27] 吴逸文, 张洋, 王涛, 等. 从Docker容器看容器技术的发展: 一种系统文献综述的视角[J]. 软件学报, 2023, 34(12): 5527-5551.
- WU Y W, ZHANG Y, WANG T, et al. Development exploration of container technology through docker containers: a systematic literature review perspective[J]. Journal of Software, 2023, 34(12): 5527-5551.

[作者简介]



宋雅琴（1993—），女，博士，中级工程师，主要研究方向为6G网络架构、星地融合、数据服务等。



曹彩红（1994—），女，硕士，中级工程师，主要研究方向为6G网络架构、星地融合、可编程网络等。



徐晖（1969—），女，博士，教授级高级工程师，主要研究方向为移动通信核心网、星地融合网络技术和移动通信安全等。



程志密（1980—），女，博士，高级工程师，主要研究方向为移动通信核心网、星地融合网络技术、确定性网络技术等。



刘险峰（1982—），女，硕士，中级工程师，主要研究方向为星地融合网络和网络切片等。



王胡成（1983—），男，博士，教授级高级工程师，主要研究方向为移动通信网络和星地融合网络的架构、组网以及协议等。