

# 面向6G的星地融合网络架构



## Integrated Satellite and Terrestrial Network Architecture for 6G

徐晖/XU Hui<sup>1,2</sup>, 陈山枝/CHEN Shanzhi<sup>2</sup>,  
艾明/AI Ming<sup>1,2</sup>

(1. 大唐移动通信设备有限公司, 中国 北京 100083;  
2. 无线移动通信全国重点实验室 (中国信息通信科技集团有限公司), 中  
国 北京 100019)  
(1. Datang Mobile Communications Equipment Co., Ltd, Beijing 100083,  
China;  
2. State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications (CICT), Bei-  
jing 100019, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202305003

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20231017.0948.002.html>

网络出版日期: 2023-10-18

收稿日期: 2023-08-10

**摘要:** 通过对卫星星座的发展和星地融合网络研究的回顾, 明确了6G的星地融合网络的发展趋势, 提出了智简赋能的6G网络体系架构和弹性可重构的6G星地融合架构, 并分析了星地融合网络中的关键技术问题, 包括星上轻量化虚拟化技术、星上边缘计算功能以及广播/多播技术。认为6G星地融合网络将通过星地协同实现网络资源和计算资源的统一调度, 同时可以根据业务需求和网络状态智能实现网络功能的按需弹性部署。

**关键词:** 6G网络架构; 星地融合网络架构; 边缘计算; 广播/多播

**Abstract:** Through a review of the development of satellite constellations and research on the integrated satellite and terrestrial networks, the trend of the integrated satellite and terrestrial networks for 6G is put forward. An intelligent simplicity empowerment 6G network architecture and a resilient and reconfigurable integrated satellite and terrestrial architecture are proposed. Then the key technical issues in the integrated satellite and terrestrial networks, including lightweight virtualization technology onboard satellites, onboard edge computing function, and broadcast/multicast technology are analyzed. It is believed that 6G integrated satellite and terrestrial networks will achieve unified scheduling of network and computing resources through satellite-terrestrial cooperation and can intelligently deploy network functions flexibly according to service requirements and network conditions.

**Keywords:** 6G network architecture; integrated satellite and terrestrial network architecture; edge computing; broadcast/multicast

**引用格式:** 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. DOI:10.12142/ZTETJ.202305003

**Citation:** XU H, CHEN S Z, AI M. Integrated satellite and terrestrial network architecture for 6G [J]. ZTE technology journal, 2023, 29(5): 9-15. DOI:10.12142/ZTETJ.202305003

随着信息和通信技术的发展, 6G网络将为用户提供丰富的沉浸式体验, 通过协同和融合的方式实现无处不在的连接。6G网络将解决连接、覆盖、容量、数据速率和终端移动性方面的问题, 实现全域覆盖, 为用户提供获得教育、卫生、农业、运输、物流等服务。同时, 6G网络将通过地面蜂窝网络与非地面蜂窝网络的互通和融合, 支持全域的服务连续性。卫星通信网络作为地面移动通信网络的重要补充, 在6G网络中将与地面移动通信网络深度融合。6G网

络将通过星地融合真正实现无处不在的连接, 弥合数字鸿沟<sup>[1-2]</sup>。

## 1 6G星地融合网络的愿景和需求

### 1.1 6G网络愿景

5G大规模的商用, 提升了用户的通信服务体验, 为垂直行业的数字化转型提供了技术手段。面向2030及未来, 6G网络通过人机物智能互联、协同共生, 满足经济社会高质量发展需求, 服务智慧化生产与生活, 推动并构建普惠智能的人类社会<sup>[3]</sup>。

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2020YFB1807901)

作为负责全球移动通信标准化的组织，国际电信联盟（ITU）在2023年6月发布了《IMT面向2030及未来发展的框架和总体目标建议书》。该建议书从分析社会发展愿景、典型场景和应用需求入手，提出了6G网络的七大目标，即包容性、泛在连接、可持续性、创新性、安全性/隐私性/弹性，以及标准化和互操作、互通性。

6G对5G的三大典型场景进行了增强和扩展，提出了沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、人工智能与通信的融合、感知与通信的融合、泛在连接六大场景。6G将实现人、机、物的智能连接，实现物理世界和虚拟世界的连接<sup>[4]</sup>。6G业务将呈现出泛在智能、泛在计算、沉浸式多媒体和多感官通信、数字孪生和虚拟世界、智能工业应用、数字健康与福祉、泛在连接、传感和通信融合、可持续性九大趋势。

6G将提供泛在连接能力，解决目前没有覆盖或者几乎没有覆盖的地区如海洋、沙漠等的通信问题，加强连接，缩小数字鸿沟。6G将通过统一的通信体制和网络实现星地的全球无缝覆盖，实现以用户为中心的网络<sup>[5]</sup>，满足用户随时随地的通信需求。

## 1.2 星地融合网络需求

星地融合是6G网络的一个主要特征，通过高轨卫星网络、中低轨卫星网络和地面移动通信网络等共同组成立体覆盖移动通信网络，从体制、协议、网络、业务、终端等方面实现天基网络和地面移动通信网络的深度融合，满足地面和立体空间的全域、全天候的泛在覆盖需求，从而实现用户随时随地按需接入<sup>[6]</sup>。6G网络通过星地融合网络的多接入融合，不仅为用户业务提供较好的服务质量（QoS）和较高的可靠性，还为用户提供可靠、连续的通信服务和更高的用户体验<sup>[7-8]</sup>。

星地融合网络要考虑卫星通信拓扑结构的动态性、复杂性和可扩展性，以及空间节点的高速移动性和有限的存储及处理能力等特点<sup>[9]</sup>，通过融合的网络架构实现统一高效的智能网络，促进6G的多元信息传输的共享，提升网络传输效率和性能，降低建网与维护成本，灵活部署网络，拓展6G业务应用范围。

传统的卫星通信网络与地面移动通信网络各自独立发展，独立组网，通过网关实现卫星与地面网络业务互联互通，因此网络功能单一，资源无法统一协调；并且网络效率低，系统间互通性差，因此难以满足信息融合和综合利用的需求。

随着卫星通信和地面移动通信技术的不断发展，为了给

用户提供更好的业务体验，5G移动通信系统开始将卫星接入体制融合到移动通信系统中，即卫星通信系统采用与地面移动通信系统相同或者相似的通信体制。用户通过卫星通信系统接入到移动通信核心网中，实现统一管理，从而实现终端在卫星通信系统与地面移动通信系统之间的业务连续性。6G网络将融合多种空间平台，包括同步卫星、中低轨卫星、平流层浮空器以及飞机等，使星地构成一个统一的系统。整个系统的接入点、频率、接入网、核心网完全实现统一规划和设计，并采用协同资源调度实现一致的服务质量、星地无缝切换<sup>[6]</sup>，为用户提供无感知的高质量的服务。

面向6G的星地融合网络将采用统一的空口体制和网络架构，实现统一的资源调度和管理、统一的终端标识、统一的业务管理和调度、统一的网络平台和频率的共享共用，以及统一管理<sup>[10]</sup>。

## 2 星地融合网络研究现状

### 2.1 卫星星座的发展现状

随着互联网业务和宽带通信技术的不断发展，卫星通信正在朝着宽带化和网络化发展。同时，批量化的卫星制造能力降低了卫星的成本，这使得巨型星座的发展成为可能。新型的卫星互联网星座已经扩展至上万颗卫星，如Starlink、Oneweb、Lightspeed和Kuiper等。这些星座利用Ku/Ka/Q/V频段点波束实现全球覆盖，可以满足未来业务增长的需求<sup>[11]</sup>。

在组网方面，星间组网已成为发展趋势，卫星互联网星座可以通过星间链路实现全球无缝连接。由于低轨卫星星座在覆盖范围、网络时延、系统容量等方面能力具有较为明显的优势，新兴的卫星互联网星座大多采用中低轨道，6G网络可以通过低轨卫星星座构建低时延的星地融合网络系统。与低轨卫星相比，高轨卫星在覆盖范围、网络复杂性和移动性管理等方面具有一些较大的优势，因此6G星地融合网络需要考虑到高、低轨卫星的融合组网，从而可以实现优势互补。

在载荷能力方面，半导体技术的进步使卫星具有更强的星上处理和存储能力，而激光星间链路技术大幅提升了星间通信速率。卫星通信载荷朝着轻量化、软件化和多样化的方向发展。目前大部分卫星星座具备星上处理能力，可以对接收的信令或者数据进行解析、存储和转发。同时，星上载荷可以支持在轨功能重构和自适应调整。卫星与卫星之间可以通过星间链路实现数据或信令的转发。卫星的星上处理能力和星间链路的传输能力使得星地融合组网成为可能，这增强

了系统的灵活性。星地融合网络将实现通信和计算融合，构建星上网络基础设施，实现星上网络功能和算力资源的弹性部署与调度。卫星星座通过与地面核心网以及终端的协同，形成云-边-端协同的星地融合网络。

## 2.2 卫星通信与5G的融合组网标准进展

国际上，ITU、第3代合作伙伴计划（3GPP）等主要标准化组织已经启动了卫星通信与5G的融合组网研究工作。2019年ITU-R第4研究组第2工作组提出了星地融合的4种应用场景，包括中继到站、小区回传、动中通及混合多播场景，并提出支持这些场景必须考虑的关键因素，包括多播/单播支持，智能路由、动态缓存管理及自适应流的支持，服务质量保证，网络功能虚拟化/软件定义网络兼容性等<sup>[12]</sup>。在2023年6月召开的国际电信联盟无线电局卫星研究组第2工作组（ITU-R SG4 WP4B）全会通过了由中国提出的卫星国际移动通信（IMT）未来技术趋势的研究报告立项。该报告研究面向IMT-2030的卫星应用的驱动力以及关键技术，包括手机直连卫星通信、星上处理、星间链路、高低轨卫星协同、星地频谱共享技术等，同时也研究星地融合网络的部署/架构、终端、隐私和安全等内容。

在网络架构及关键技术方向上，ITU-T SG13工作组从2020年开始开展面向IMT-2020网络的固定、移动与卫星融合的需求、架构、移动性管理、接入管理、边缘计算、本地数据转发、策略管理等方向的标准化工作。目前ITU-T SG13已经开始讨论下一个工作周期的研究范围和内容，其中星地融合网络将是ITU-T SG13工作组的一个重要的标准化方向。

3GPP在5G系统中将卫星作为一种接入方式。从REL 16开始，3GPP在网络架构和无线接入两个方向进行卫星与5G融合的研究和标准化工作。在REL 16和REL 17中，3GPP主要针对透明转发的组网场景进行研究和标准化工作，主要包括支持卫星接入的5G接入网架构、物理层、空口协议、移动性管理机制、馈电切换、服务质量控制机制等体制增强以及支持卫星监管要求的5G系统增强。在REL 18中，3GPP主要针对卫星覆盖增强、10 GHz以上频段新空口非地面通信（NR-NTN）网络部署、网络验证终端位置、星地网络和星星网络之间的移动性管理和业务连续性增强、非连续卫星覆盖的增强、卫星回传增强和用户面功能上星等进行了研究和标准化工作。在REL 19中，3GPP SA1继续研究星地融合的场景和需求，在卫星的存储转发、与用户设备（UE）通信、全球导航卫星系统（GNSS）无关操作、定位增强等方向进行场景和需求的研究和标准化工作。

## 3 6G星地融合网络架构

### 3.1 6G网络体系架构

业务场景、商业模式需求的多样化，以及社会责任的持续性，这些都使6G网络面临新的挑战。6G要突破从1G到5G的传统陆地移动通信系统，实现星地融合、全域覆盖；要突破从1G到5G的传统蜂窝通信架构，朝着智简方向发展；要突破从1G到5G中只提供通信服务的方式，为业务提供更多的网络内生能力。

随着网络接入规模的持续增大和网络需求的多样化发展，网络变得越来越复杂。为了避免网络复杂叠加，6G网络需要设计智简的架构，以提高网络运行效率，降低运维成本。同时，为了满足多样化场景的业务需求，6G网络将突破中心化的限制，构建分布式自治的网络，实现以用户为中心的控制和管理，满足天、地、空、海等多种异构接入场景和网络性能需求。随着网络规模的不断增大，6G网络呈现出集中加分布式联合部署的方式，实现网络资源互补和按需组网的目标。

目前，移动通信网络与人工智能缺乏深度融合，与算力网络独立管理，网络安全防护方式缺乏动态性和灵动性。6G网络架构需要融合智能内生、算力内生、安全内生的能力，实现网络无所不达，算力无处不在，智能无所不及。

5G网络基于服务化的架构使得控制面与用户面的功能分离。但5G的用户面和接入网服务化程度不高，网络全场景适应能力有限，这约束了网络灵活部署的能力。因此6G网络将进一步增强服务化能力，实现软硬资源充分解耦，灵活调配，从而增加网络柔性，提升网络的适应能力。6G网络将通过可编程技术实现网络按需编排、资源灵活部署、路由动态规划、网络故障快速定位与修复，满足业务多样化的需求。同时，智能内生与可编程的深度融合，为6G网络的编排与实现提供了帮助。

6G网络采用智慧内生和高效简洁的轻量化网络架构，基于内生智能，按需编排网络功能和资源，从而降低网络复杂性。考虑到全场景的泛在连接、业务需求动态变化以及网络的灵活扩展，6G网络需要具备统一架构下的即插即用功能。同时6G网络是集连接、智能、算力、安全、数据等为一体的融合网络，需要支持将多种能力和服务进行一体化的编排管控。图1为智简赋能的6G网络体系架构。

6G网络架构的智简化体现在以下几个方面：

- 架构智简。6G网络支持服务化架构，可以面向场景需求灵活拆分、重组网络功能，通过对多维资源的统一编排，



▲图1 智简赋能的6G网络体系架构

实现以用户为中心的调度和管控，建立弹性可重构的网络架构。

• 功能智简。网络功能将进行更细粒度的分割，支持柔性按需编排原子化功能和网络功能的优化重构。

• 协议智简。全域采用统一协议支持星地融合跨域交互，通过面向场景的协议可编程支持各行业差异化需求，通过统一空口传输协议和组网协议提升端到端网络性能。

• 终端智简。终端支持星地融合等多种空口技术的融合，实现终端无差别的接入。

• 基础设施智简。6G网络通过泛在资源池为网络提供可编程和动态的硬件或软件资源。

6G网络除了提供连接服务外，还要为用户提供感知与定位服务、人工智能（AI）服务、数据服务、算力服务等服务。因此，6G网络应具备极致弹性、灵活能力扩展的赋能能力，为6G网络赋予所需的内生能

力，从而根据网络和业务需求灵活构建网络服务。6G网络的赋能将体现在以下两个方面：

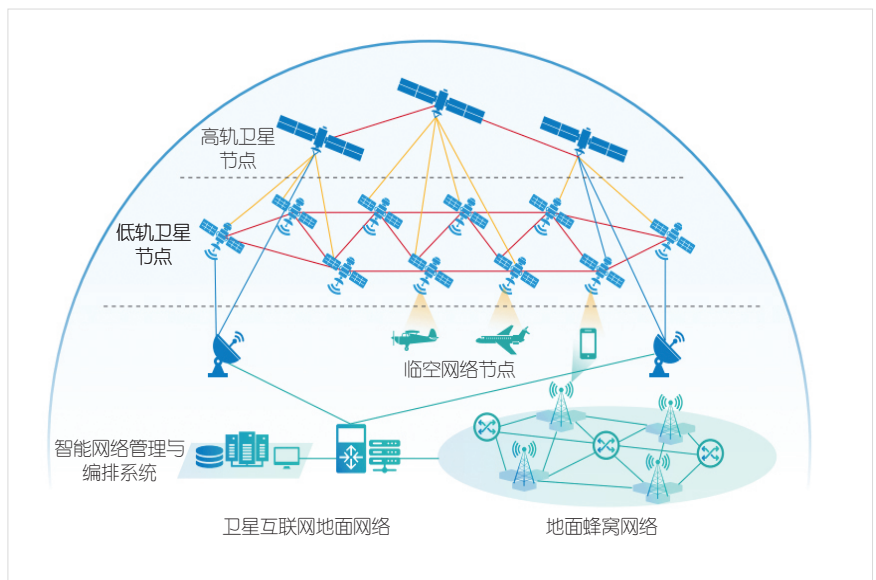
• 对内赋能：通过原生网络功能原子化，按需编排智能、算力、安全等功能，赋予网络具备智能、算力、安全等内生能力。

• 对外赋能：通过设计原生开放的机制，为行业用户和第三方提供了可信并且随需的网络能力和服务等，赋能用户和第三方智能、算力、安全等千人千面的相关需求。

### 3.2 6G星地融合网络架构

6G星地融合通信网络由地面移动通信网络、临近空间网络和天基网络组成，是具有大时空尺度的异构网络，

如图2所示。星地融合网络使用统一的网络架构和标准体制，一体化的无线接入、传输和网络技术，以及一体化的星地协同无线资源分配与业务管理机制，为用户提供全域覆盖，满足用户的无时不在的通信需要。



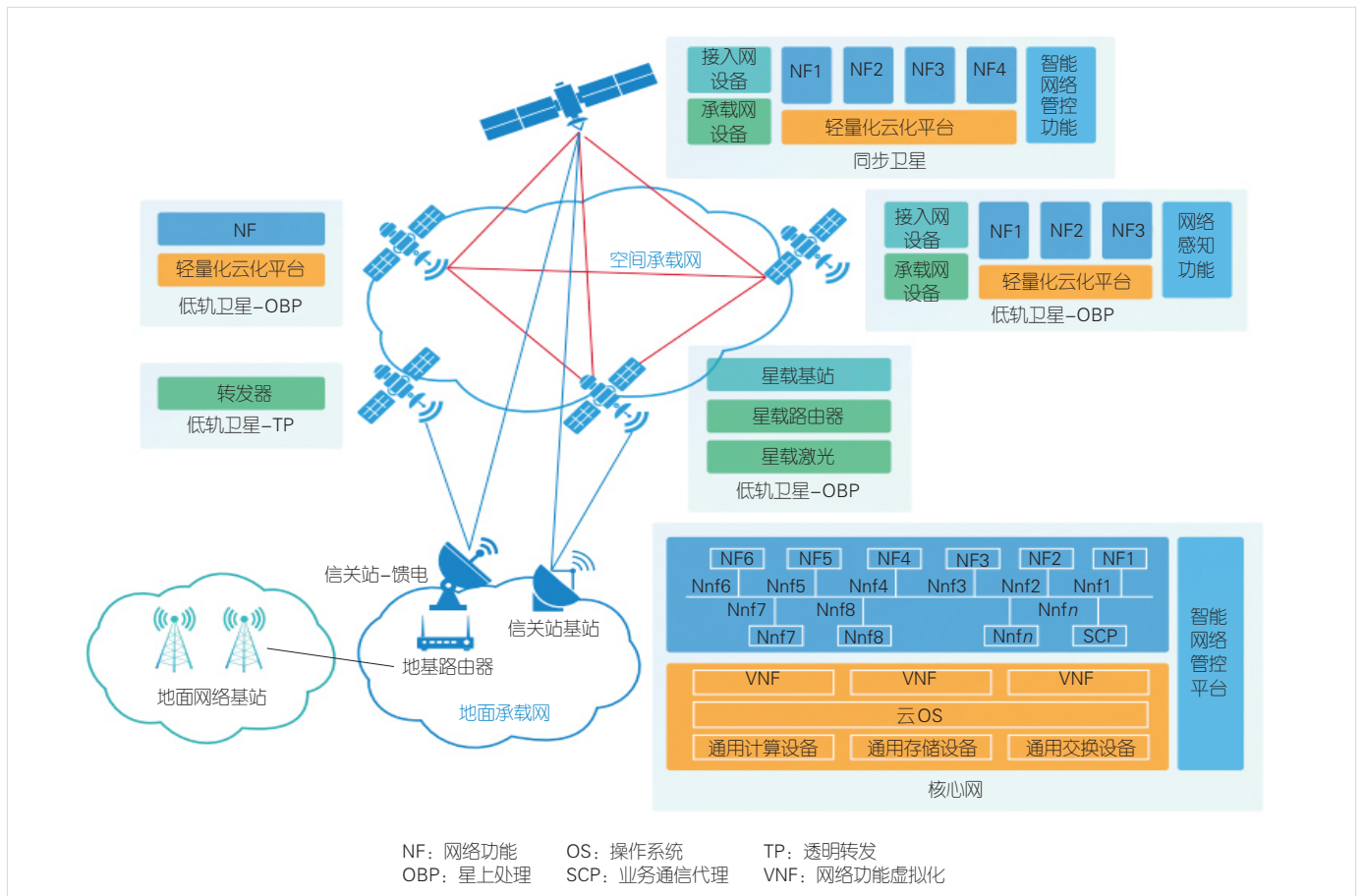
▲图2 星地融合立体网络

随着星上处理能力的不断提高，天基网络可以在星上实现信号处理、路由交换和信令处理。星地融合网络的运行环境与地面网络运行环境相比存在着较大的差异，因此星地融合网络需要针对不同的传输条件和传输时延并通过网络功能的柔性编排实现智简网络的灵活部署和优化。星地融合网络应具有简洁、敏捷、开放和资源随选等特点，因此需要尽量减少网络层级和接口数量，降低运维的复杂性。同时，星地融合网络的弹性可重构能力可以实现网络和业务的按需快速部署，通过网络资源的统一编排和管理，可以实现端到端的资源统一管理。星地融合弹性可重构的网络架构如图3所示。

星地融合网络采用服务化的架构，可以根据业务和组网需求进行网络功能的按需部署，并可将其在卫星和地面网络间进行柔性分割。例如，可以在地面部署完整的移动通信核心网和接入网，在卫星上根据组网需求和卫星能力进行网络功能的分割和灵活部署，提供定制化网络服务能力，从而提升网络的全场景适应能力。由于星上资源有限，为了实现网

络功能的柔性部署，需要在星上部署轻量化的虚拟化资源，提高不同/异构节点上资源的通用性，实现星上功能的重构；也可以通过容器等虚拟化技术在星上部署定制化的网络功能，降低部署网络功能的资源开销；还可以对网元功能进行轻量化设计和细粒度分割，并根据组网形态、业务需求、网络资源情况和节点处理能力，在卫星和地面节点之间合理部署网元功能，实现网络功能的定制和按需重构。

由于星地融合网络具有全域覆盖、随遇接入和动态变化的特点，因此6G网络需要对异构网络的资源进行统一和智能的管理。为此，可以在卫星节点和地面部署网络编排系统。由于卫星节点资源受限，因此卫星上部署的编排器采用了轻量化的网络编排技术，负责感知卫星节点和链路的状态，并可以根据地面智能网络编排系统的指令以及卫星节点的可用性、安全性、负载等进行网络重构。将在地面部署的智能网络编排系统，负责星地融合网络资源的统一管理。智能编排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



▲图3 星地融合网络架构

络能力，实现按需、自动化地对网络资源进行管理和编排；智能网络编排平台还具备端到端的网络策略管理能力，结合用户的业务需求、网络状态和资源现状，进行智能决策与策略下发，从而可以实现网络功能和性能的自动化编排与管理。

### 3.3 星地融合网络的边缘计算

随着新业务的不断涌现，作为远程地面数据中心的中继，卫星网络已无法继续提供高效的数据处理响应。因此星地融合通信网络需要考虑边缘计算功能，在星地之间进行柔性分割边缘，把全局性强、复杂度高、时延低的业务放在地面网络平台上处理，把实时性要求高、计算复杂度低的业务放在卫星节点上处理，通过在轨计算服务，降低时延并实现高效的业务分发。例如，利用卫星预先数据缓存、卫星广播/组播功能可以大大减少星地融合通信网络的前向链路上的流量；将部分卫星数据（如地球图像和天气观测）的处理转移到卫星上，可以大大地降低需要回传的数据量，节省馈电链路的带宽。

6G分布式网络可以在边缘的云化基础设施上部署边缘计算节点，实现对第三方应用的部署和管理。对于星地融合网络来说，卫星节点可以作为分布式的边缘节点来部署边缘计算平台，与部署在地面的边缘计算节点协同，实现跨域的多级边缘计算协同。

随着星上电子器件的不断发展，星上的计算能力有较大的提高，但仍需要网络在云、网、边间接需分配，灵活调度计算资源、存储资源以及网络资源。通过边缘计算智能协同机制，智能网络编排系统可以根据网络状态和算力状态，为用户的业务需求匹配最佳的计算资源，并计算从用户到目标算力节点间的最优路径，确定业务的转发路径。星上部署的边缘计算节点可以利用相对有限的算力资源和网络资源执行部分的边缘算力任务，而地面的中心算力节点具有丰富的算力资源和网络资源，是终端和边缘的有力支撑，可以完成边缘节点无法完成的复杂算力任务。

### 3.4 广播和多播技术

卫星网络通信系统本身具有覆盖面积大、接入速度快、高带宽等特性，易于实现广播和组播业务，是中国广播电视传输覆盖的重要手段和渠道，更好地满足人民群众日益增长的精神文化需求。《广播电视和网络视听“十四五”科技发展规划》中指出，在“十四五”期间，要建设交互卫星广播电视系统，构建双向、互动、跨网络的新型卫星直播融合业务平台，提升直播卫星业务承载能力，探索直播卫星与宽带

通信卫星、卫星互联网的融合应用。因此星地融合网络可以通过广播和多播技术为用户提供广域的信息内容服务、公共安全和应急任务、集团客户的群组通信等。

在接入网技术方面，为了提高系统资源的效率和用户的服务体验，星地融合网络需要解决不同卫星和不同小区之间业务连续性问题<sup>[13-14]</sup>。星地融合网络可以使用单一频点来提供广播服务，以便空闲态终端和连接态终端都可以接收到广播业务，从而降低网络开销。星地融合网络可以根据广播区域的要求，通知特定的卫星或波束向特定的终端发送广播信息。同时终端可以对信息内容进行反馈，提高传输的可靠性。对于组播业务来说，星地融合网络需要解决高效的组播管理和组播路由问题。根据用户和业务需求为特定的终端建立组会话，可以实现组内用户的相互通信。当同一组播组的用户在同一波位内时，只需要在无线空口传输一份信息，便可大大节省资源开销；当同一组播组的用户在同一卫星下的不同波位时，需要在不同波位上分别发送组播信息；当同一组播组的用户在不同卫星下时，需要在相关卫星的相应波位上分别发送组播信息，并需要网络支持组播路由。对于低轨道卫星/中轨卫星通信网络来说，同一组播组的用户通常处在不同卫星下，并频繁地进行星间切换，因此需要高效的组播管理机制和组播路由协议。

在网络技术方面，可以采用移动通信的广播/多播网络架构进行组网；星上基站应支持广播/多播业务；核心网网络功能部署在地面，实现广播/多播业务的授权、会话管理及用户面管理等功能，从而实现热点区域、热点内容的推送与广播，为广域分散的移动用户提供群组通信、多方视频会议、双向对讲、视频点播等新型互联网应用。随着星载边缘计算技术的不断成熟，广播/多播技术和边缘计算融合，通过在星上部署支持广播/多播的用户面功能和边缘应用服务器，并通过在星上边缘云节点缓存热点内容向用户按需分发，实现定时广播、分区广播、自由点播等卫星广播/多播增值业务。

## 4 结束语

随着无线通信技术的发展，星地融合通信已经成为地面移动通信和卫星通信发展的必然趋势。星地融合网络将完成从卫星通信和地面通信的标准体制兼容到卫星通信和地面的系统全面融合的演进，并将成为6G网络区别于传统的地面移动通信系统的重要特征。6G星地融合网络在继承了6G网络新架构和新特征的同时，需要根据卫星的特点进行技术优化和改进，真正实现全域覆盖，万物智联。

## 参考文献

- [1] ITU-R. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond [R]. 2023
- [2] CHEN S Z, LIANG Y C, SUN S H, et al. 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, 27(2): 218-228. DOI: 10.1109/MWC.001.1900333
- [3] IMT-2030(6G)推进组. 6G总体愿景与潜在关键技术白皮书 [R]. 2021
- [4] 彭健, 孙美玉, 滕学强. 6G愿景及应用场景展望 [J]. 中国工业和信息化, 2020 (9):18-25. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9138.2020.09.003
- [5] CHEN S Z, CHEN L, HU B, et al. User-centric access network (UCAN) for 6G: motivation, concept, challenges and key technologies [EB/OL]. [2023-08-10]. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10148944>
- [6] 陈山枝. 关于低轨卫星通信的分析及我国的发展建议 [J]. 电信科学, 2020, 36 (6): 1-13. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020181
- [7] CHEN S Z, SUN S H, KANG S L, et al. System integration of terrestrial mobile communication and satellite communication--the trends, challenges and key technologies in B5G and 6G [J]. China communications, 2020, 17(12): 156-171. DOI: 10.23919/JCC.2020.12.011
- [8] 孙韶辉, 戴琴琴, 徐晖, 等. 面向6G的星地融合一体化组网研究 [J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2021, 33(6): 891-901
- [9] 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. DOI: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021037
- [10] 徐晖, 缪德山, 康绍莉, 等. 面向天地融合的卫星网络架构和传输关键技术 [J]. 天地一体化信息网络, 2020, 1(2):1-10
- [11] 陈东, 仲小清, 邓恒, 等. 宽带卫星通信网络技术发展态势与发展建议 [J]. 前瞻科技, 2022, 1(1): 86-93
- [12] 康绍莉, 缪德山, 索士强, 等. 面向6G的空天地一体化系统设计和关键技术 [J]. 信息通信技术与政策, 2022(9): 18-26
- [13] CHEN S Z, SUN S H, XU G X, et al. Beam-space multiplexing: practice, theory, and trends, from 4G TD-LTE, 5G, to 6G and beyond [J]. IEEE wireless communications, 2020, 27(2): 162-172. DOI: 10.1109/mwc.001.1900307
- [14] 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, 2022, 99: 1-10. DOI: 10.1109/MWC.004.2200085

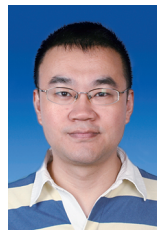
## 作者简介



徐晖, 大唐移动通信设备有限公司创新中心技术总监; 主要研究方向为移动通信网络、移动通信安全、星地融合网络等; 先后主持和参与国家“863”计划项目、国家重大专项和国家重点研发计划近10项; 已发表论文10余篇。



陈山枝, 中国信息通信科技集团有限公司副总经理、总工程师、科技委主任, 无线移动通信国家重点实验室主任, 教授级高工, 国家杰出青年科学基金获得者; 长期从事移动通信关键技术研发、国际标准研制和产业化工作, 主要研究方向为车联网、星地融合移动通信、B5G/6G; 曾主持国家“863”计划项目、国家重大专项和国家重点研发计划等10余项; 发表论文90余篇, 出版学术专著6部, 授权发明专利80余项。



艾明, 大唐移动通信设备有限公司创新中心标准项目经理, 曾担任3GPP TSG CT副主席; 主要研究方向为移动通信网络、网络人工智能、星地融合网络等领域; 先后负责多个3GPP国际标准制定项目, 主持国家重大专项和国家重点研发计划各1项。