

6G星地融合无线网络及关键技术



Terrestrial and Satellite Network Integration Based 6G System and Its Key Technologies

缪德山/MIAO Deshan^{1,2}, 邓凌越/DENG Lingyue^{1,2},
孙建成/SUN Jiancheng^{1,2}, 徐晖/XU Hui^{1,2}

(1. 中信科移动通信技术股份有限公司, 中国 北京 100083;
2. 中国信息通信科技集团有限公司无线移动通信全国重点实验室, 中国 北京 100083)

(1. CICT Mobile Communication Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China;
2. State Key Laboratory of Wireless Mobile Communication, China Information and Communication Technologies Group Co., Ltd., Beijing 100083, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202404007

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20240719.1812.008.html>

网络出版日期: 2024-07-24

收稿日期: 2024-06-20

摘要: 地面移动通信网络与卫星网络的融合是技术发展的必然趋势。5G非地面网络(NTN)系统已实现星地网络在标准体制层面的融合,在向6G的技术演进中,星地网络将会走向更加深入的融合,包括标准、设备、资源和业务等多个方面。从技术需求和应用场景出发,本文提出星地融合的网络架构,分析星地融合网络的关键技术,并对未来的技术趋势进行展望。

关键词: 星地融合; 6G; 网络架构; 协同传输

Abstract: The integration of terrestrial network and satellite network is an inevitable trend in technological evolution. 5G NTN has achieved the integration of satellite network and terrestrial network at standard level. In the evolution towards 6G technology, satellite and cellular communication will move towards deeper integration, comprised of standard, device, resource, and service, etc. Starting from technical requirements and application scenarios, this article proposes a kind of network architecture for the integration of terrestrial network and satellite network, analyzes relevant key technologies, and looks forward to future technological trends.

Keywords: integration of terrestrial network and satellite network; 6G; network architecture; cooperative transmission

引用格式: 缪德山, 邓凌越, 孙建成, 等. 6G星地融合无线网络及关键技术 [J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(4): 42-49. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404007

Citation: MIAO D S, DENG L Y, SUN J C, et al. Terrestrial and satellite network integration based 6G system and its key technologies [J]. ZTE technology journal, 2024, 30(4): 42-49. DOI: 10.12142/ZTETJ.202404007

在5G时代,地面移动通信网络以增强移动宽带(eMBB)、海量机器类通信(mMTC)、超可靠低时延通信(URLLC)三大场景为应用支撑,以万物互联为目标,大幅度提升了移动通信的应用范围和业务服务能力。但近年来随着卫星通信的需求扩展,第3代合作伙伴计划(3GPP)开展了5G非地面网络(NTN)的技术标准化工作,进一步提升了5G系统的应用能力。卫星通信的主要优势在于可提供更广域范围的通信服务能力,特别是在海洋、山川、沙漠等野外环境,也可以用于农村和偏远地区,以弥补地面网络

覆盖的不足。但总体看,5G NTN是在5G后期版本才开始的标准化设计,在系统架构、空口设计以及星地系统协同等方面还未考虑星地系统深度融合的需求,也未考虑卫星空间应用场景的定制化需求,因此卫星网络和地面网络基本上独立部署,而且系统效率并未充分优化。在6G时代,星地融合的全域覆盖已是大势所趋,终端在卫星网络和地面网络的无缝切换将成为现实^[1-3]。因此,空天地一体化是6G网络设计的一个重要动力,也是6G网络实现泛在连接的主要抓手。

针对空天地一体化的应用需求,6G无网络系统应该在系统架构、空口技术和关键流程等方面面向星地融合的技术路径开展相关设计,主要目标是实现星地融合的一体化设计理念,真正实现网络融合和系统融合^[4-6]。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFB2902600)

1 星地融合网络发展趋势

1.1 星地网络技术与标准融合

卫星通信具有广覆盖的特点，作为地面通信的补充，一直以来都是独立发展的。然而，从技术体制的角度看，两种通信系统还是有很多相似之处的。无论是窄带卫星通信，还是近年来的宽带卫星通信系统，卫星通信总体上吸取了地面移动通信的先进技术作为系统设计支撑。值得注意的是，最近几年的手机直连技术进一步推进了卫星通信和地面移动通信的深度融合。在标准层面，ITU-R WP4B在2020年成立了5G卫星无线空口研究项目，侧重于对5G卫星的应用场景、关键性能指标进行评估^[7]。目前3GPP已经提交了基于5G NTN的技术标准作为候选技术方案。3GPP从R15后期开展了基于5G NTN的网络架构、应用场景和技术方案的讨论，在R17阶段完成了第一个融合标准^[8-10]，在R18和R19中继续推进NTN技术的实用化和性能方面的优化。中国通信标准化协会（CCSA）也同步开展了卫星通信的技术和标准讨论，以5G卫星融合为基本技术路径，逐步针对应用场景和技术方案进行全面标准化设计。

然而，总体来说，5G系统设计时由于以地面覆盖为主，没有全面考虑卫星通信的应用需求和场景限制，因此，5G NTN体制实现了两种通信模式的标准兼容，但并未形成系统层面的融合和优化。

面向6G，星地一体化将会成为技术发展的必然趋势，已经受到全球标准组织和产业界的高度关注。中国IMT-2030（6G）推进组成立了天地一体化工作子组，负责卫星和地面通信融合技术研究。欧洲电信标准化协会（ETSI）的6G项目也把星地一体化设计作为基础目标，同时ETSI还倡议成立了6G NTN技术联盟，进一步明确了6G星地融合的技术路径。在6G的标准设计需求上，星地融合必然是内生需求。面向6G的天地一体化，需要从标准和技术层面同步考虑地面和卫星的差异性需求，实现系统内生融合，支持星地融合的全球无缝覆盖。

1.2 星地网络应用和系统融合

从应用场景和业务类型来看，6G星地一体化系统能够面向空天地海等泛在连接场景，支持多样化的业务类型，手机直连卫星将成为其中最具代表性的应用。从整个星地一体化角度看，6G系统在引入卫星的业务应用后，将能提供更丰富的业务能力和更好的业务体验。表1给出了6G星地一体化系统的业务需求和对应的支撑能力。

从星地融合的系统发展趋势来看，目前6G星地系统融合呈现将在覆盖协同、业务协同、资源共享和功能升级等方面进行全方位的优化和协同发展。其中，覆盖协同指的是星地系统各自发挥优势，人口密集区域将以地面通信为主，人口稀少的偏远地区将以卫星覆盖为主；业务协同方面可预见的是卫星通信在应急通信、中继通信和低空高速环境下具备明显优势，而地面通信主要为低速移动和高速率需求的用户服务为主；资源共享不仅仅在频率资源方面共存共享，也体现基于负载均衡的资源分配优化；功能升级主要体现在星地融合后，在导航定位、遥感感知、卫星车联网等场景的系统效能提升。基于上述方面的增强优化，可以预见，6G网络的星地融合将在资源协同共享、业务联合管理、协议标准融合等方面走向更彻底的升级演进。

2 6G星地融合无线网络架构

2.1 系统总体架构

星地融合的系统架构需要考虑星地立体异构网络的特点，可以通过地面移动通信网络和卫星通信网络的相互配合共同构成天地一体化信息网络^[11]，也可以通过在星上部署用户面网元来实现业务本地传输和星上业务处理^[12]。面向6G星地融合场景，网络架构需要支持根据业务和组网需求进行按需组网，因此星地融合的网络架构应按照按需配置、统一编排、柔性分割、弹性可重构的设计思路开展具体设计。在组网层面，满足多层网络之间的互联互通，满足数据和控制信息层间交互。在功能层面，每层网络可进行独立的功能配置和网元部署。

▼表1 6G星地一体化系统的业务支撑能力

业务类型	技术能力	典型场景
eMBB业务	为用户提供全球无缝覆盖的语音、数据和视频等业务的支持能力	手机直连卫星、卫星宽带接入、地面蜂窝通信
中继和回传通信	向地面网络无法到达的区域提供高速的通信连接，包括回传、数据中继等	偏远地区通信、远程物联网
高速移动的通信应用	为高速移动设备提供平滑和无缝切换的用户体验	船载通信、机载通信、无人机
广播业务	基于卫星和临空平台提供数据、视频等广播业务	卫星电视、数据广播
机器通信	为各种传感器、物联探测设备提供信息传输通道	卫星/地面物联网
紧急通信	应急灾害预警、应急信息上报、应急场景信息传送	应急救援通信

eMBB:增强移动宽带

如图1所示，星地融合网络采用服务化的网络架构，可以根据业务和组网需求按需部署网络功能。地面网络部署完整的网络功能，包括核心网、接入网和智能的管理和编排系统，在卫星节点上根据卫星能力和组网需求按需部署控制面网络功能和用户面网络功能，确定网络的锚点和接入点，实现用户的自由接入，满足业务和组网需求。在资源管理层面，星地融合网络需要统一的编排和资源管理，实现资源的共享和业务统一调度。通常，在地面网络可配置一个全局网管单元，实现全网资源的统一管控。

在网络架构和协议接口设计方面，星地融合网络需要采用统一的网络架构和标准体制。在进行接口协议设计时需要考虑网元功能和设备能力的差异，同时要考虑星地大时延传输带来的业务管理和资源分配的限制。不同的部署需求和不同功能要求，比如星间中继、星上存储转发、非连续覆盖等，都要求网络接口设计尽可能保持弹性和可扩展性。

在进行星地融合网络架构设计时，需要重点考虑移动性管理能力。低轨卫星的快速移动和星地网络的切换，都要求接入网和核心网对用户的移动性保持良好支持能力，需要满足终端动态的锚点迁移，适应不同终端的移动速度和网络节点的移动速度，真正满足全域覆盖和无缝切换的需求。

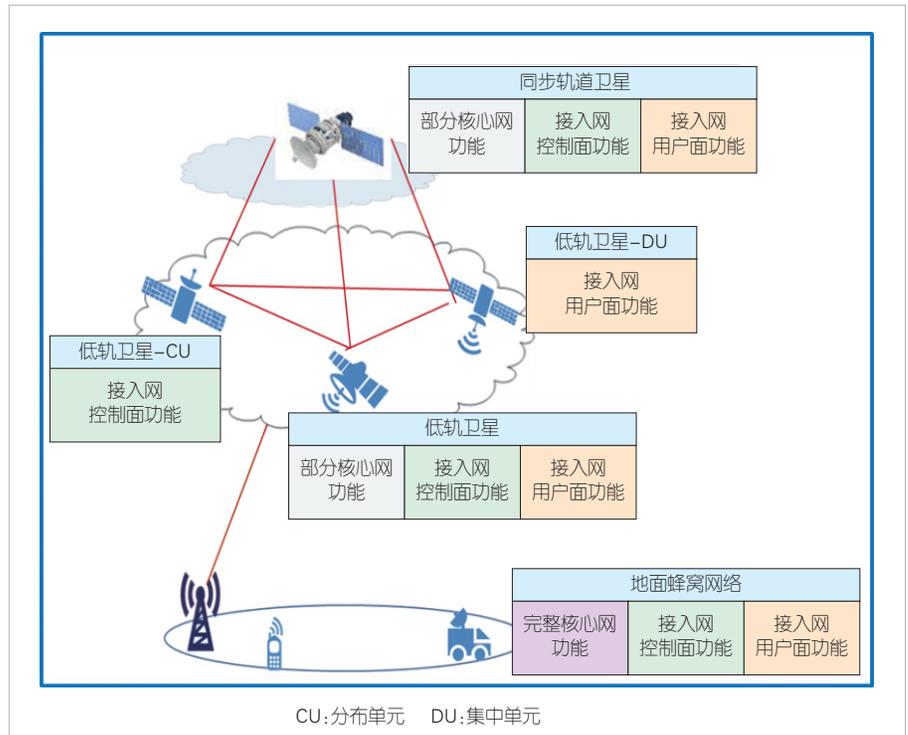
2.2 星地融合接入网架构

在图1的星地融合网络总体设计约束下，接入网架构可在5G NTN基础上进一步增强^[13]，即实现星地网元功能的按需部署。未来6G系统设计仍会继续沿用类似无线接入网（RAN）分离的架构，并基于卫星能力和部署需求，将不同的RAN节点灵活部署在不同的卫星上，借助星间协同或星地协同来完成用户信令和数据的处理。

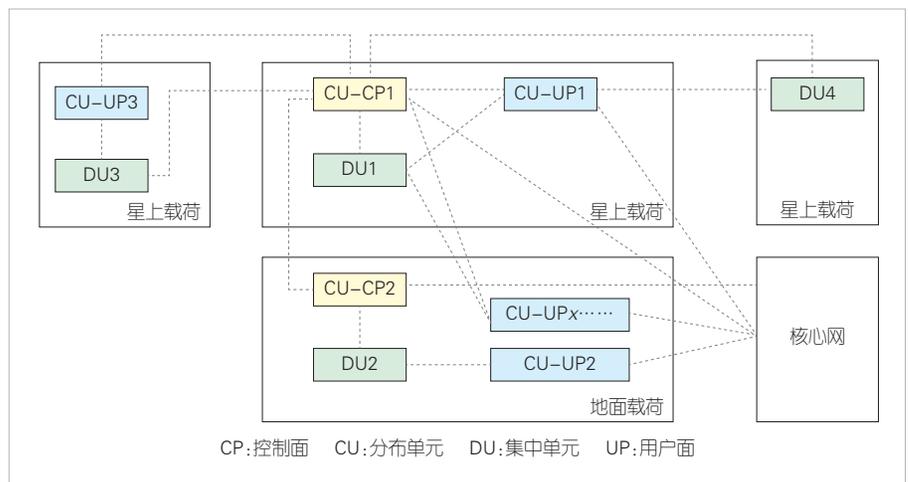
图2给出了一种可能的6G星地融合接入网架构。根据该架构，不同的卫星拥有不同的基带处理能力，有的具备完整的基站处理能力，有的具备DU和CU-UP（集中单元-用户面），有的仅有

DU。这样，相邻的卫星通过星间链路可以完成CU和CU-CP（集中单元-控制面）、DU和CU-UP间的接口建立维护，通过星间协同，共同为用户设备（UE）完成接入网侧的控制面信令和用户面数据的传输。也可以基于馈电链路，在星上载荷和地面载荷之间进行CU-CP、CU-UP以及DU间的灵活交互，以更好地进行星地资源协调、星上负荷卸载等。

另外，考虑到卫星部署的实际特点，6G需要考虑星间路由和中继，以支持远端卫星的馈电连接。在相应的RAN架构方面，可以考虑基于中继的网络架构来支持卫星的多跳连接。



▲图1 弹性可重构的6G星地融合网络架构



▲图2 6G星地融合接入网架构示意图

如图3所示,有些卫星距离卫星网关较远,无法建立直接的馈电连接,但可以将邻近卫星作为中继节点,通过一跳或多跳,连接到锚点基站。该拓扑结构中,中继锚点负责中继路由的配置和管理,每一个中继节点均可以为UE提供接入和服务,通过一跳或多跳将UE的信令和数路由到锚点基站。具体的中继技术可以是基于层3的技术,要求每个中继节点拥有完整的基站处理能力;也可以是基于层2的中继,要求每个中继节点只需要具备物理层和L2的处理能力。

2.3 架构主要特征

基于上述的网络架构描述,未来星地融合网络将采用弹性可重构的网络设计,实现网元功能的按需部署,基于不同的业务需求对卫星节点上的资源进行调度和编排,提高卫星上资源的利用率。面向应用需求,相对于5G NTN网络,6G星地融合网络呈现下列新的特征:

1) 星载平台的虚拟化

星上虚拟化技术可使星地融合网络突破卫星节点之间物理资源不互通的限制,更快地响应业务,降低网络部署和管理开销。通过统一的编排来部署不同的网络功能,满足业务不同服务质量的需求粒度,提供差异化服务;同时根据星上负载情况,采用与地面不同的虚拟化技术,比如轻量化技术中的容器等技术,提升星上资源的通用性与鲁棒性,为多层的星地融合网络的协同管理提供技术保障。

2) 星载功能与协议的轻量化

由于卫星网络与地面网络有不同的通信体制与差异化的通信链路,地面核心网在参数配置及网络功能设置上无法兼容天基网络,因此需要地面核心网网络功能进行适配性优化。为了实现星地融合网络,需要对星地融合网络功能进行

裁剪或者定制化,即在不改变现有网络架构的前提下,评估接入方式、位置更新等过程,以及卫星与地面网络功能裁剪方案对系统技术指标(如业务时延、阻塞率及定时机制)的影响,对地面核心网进行定制化参数设置,使其能够适配天基网络。

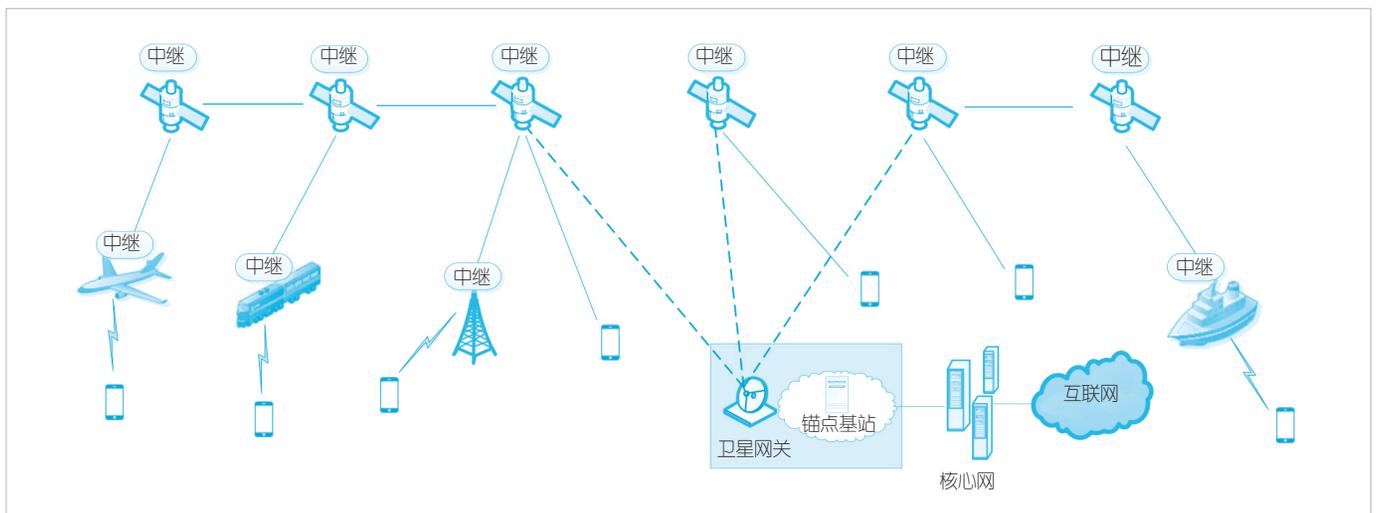
3) 网元功能的按需部署

由于卫星能力和成本的限制,星载基站的CU和DU基于需求可以在不同卫星上部署,CP和UP也可以按需部署。进一步地,CU-CP和CU-UP也可以分开部署。核心网功能的CP和UP可以按需部署。当采用核心网的部分或全部功能上星部署时,可建立天基核心网,使得信令消息直接在星上处理,避免信令消息在卫星与信关站之间频繁交互。在实际部署中,网络架构应兼容透明转发和星上处理的混合组网,以提供网络部署的便利性。

3 6G星地融合无线系统关键技术

3.1 波形与多址技术

对于6G星地融合网络,波形技术需要针对地面蜂窝通信和卫星通信一体化设计,以满足差异化的信道环境同时确保统一的设备实现,降低系统建设成本。相对于地面环境,卫星存在特定的信道差异,需要在波形设计方面予以针对性考虑。对于卫星通信,低峰均比是个关键需求,因此需要考虑低峰均比的波形设计,以提升功耗的效率。由于DFT-S-OFDM(离散傅里叶变换扩展的正交频分复用技术)波形呈现单载波特性和,可有效降低峰均比,卫星系统的下行和上行信道均可选择性使用。当多个卫星波束共用一个功率放大器(PA)时,叠加信号的峰均比对于不同波形的差异降低,此



▲图3 基于中继的接入网拓扑结构示意图

时可以直接应用CP-OFDM波形，或者进一步考虑采用削峰和数字预失真等处理技术降低信号的峰均比。总的来说，基于CP-OFDM和DFT-S-OFDM的波形设计仍然可以继续沿用。

为支持统一的波形设计，空口设计需要采用可变参数集以自适应配置不同的应用场景，包括CP长度、子载波间隔、带宽和DFT变换等参数的动态配置。比如，在卫星信道中，通常以视距传输为主，CP长度的配置相对地面通信可以进行差异化设计，此时下行链路采用较短的CP，而上行链路则采用较长的CP以容忍较大的同步偏差。同时，低轨卫星信道的多普勒偏移较大，子载波间隔的配置必须克服预补偿后的多普勒残差影响。

面向未来的星地融合场景，由于卫星服务的广覆盖需求，系统需要具备支持较多用户同时接入的能力，同时考虑到星地传输时延大，为降低终端接入时延，可以采用非正交多址技术，并简化接入流程，实现有效覆盖。UE之间以非正交多址方式发送接入请求，同时携带数据包承载以简化传输流程，然后卫星基站在检测到数据后，发送确认信息。如果没有持续数据发送，UE可以终止发送过程。通过这一机制，UE以完成了极简接入。

3.2 灵活双工技术

地面移动通信系统中通常采用频分双工（FDD）模式和时分双工（TDD）模式。传统的卫星通信系统多采用FDD模式，目前3GPP NTN主要研究的双工模式也是FDD模式。对于星地融合通信来说，未来的双工方式是FDD和TDD融合部署：当频段受限时，采用TDD模式；当具备成对频谱且需要和地面手机共存时，可以采用FDD模式。

TDD模式是星地融合通信的一个重要的发展方向^[14]。其主要优势有：1) 频率资源相对丰富；2) 便于实现收发共阵。其主要不足在于：1) 对时间同步要求高；2) 复杂的上下行链路干扰问题；3) 更长的物理帧长度。半双工FDD也是星地融合通信的一种重要的双工方式。这种方式的主要优点是便于实现单端收发共阵且能够解决收发隔离问题，主要不足是对时间同步要求高、传输效率较低。

对于TDD系统，需要考虑小区内用户上行和下行的相互干扰，如果直接采用地面的帧结构设计，帧开销太大，因此需要对TDD间隔进行优化设计。基本的技术思路是：基于用户的位置进行时序建立，不同区域的用户由于信号的衰减可实现信号的重叠发送；通过对用户归属区域进行划分，同一区域用户严格对齐，不同区域用户可以信号重叠，从而减少保护间隔。从图4可以看出，传统的GAP（保护间隔）

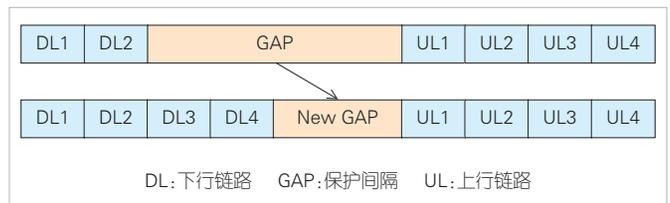
设计由于考虑星地传输时延，间隔较大。通过优化设计，新的GAP可明显降低，提升了系统效率。

3.3 星地融合网络的智能接入

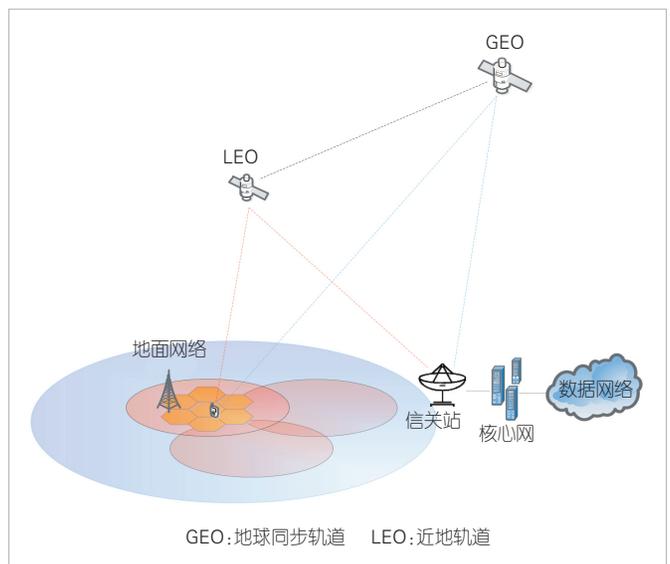
在传统的地面网络中，UE的选网策略比较单一，比如5G优先，其次是4G，再次是3G/2G；网络的切换策略也比较简单，主要是基于UE对邻区的信号测量和上报。不同接入技术间的切换，主要也是由于高优先RAT（无线接入技术）的覆盖不好导致的，通过异频测量或异系统测量配置和UE的测量结果来进行切换判决和实施。

6G星地融合将支持多种多样的终端类型和业务类型。对于支持多轨卫星及地面接入技术的终端，更加优化的网络选择、重选，以及切换技术是为UE提供高质量服务的重要依据。因此，可以综合考虑UE的接入能力、UE的签约信息、用户的个性化设置、UE的业务需求等来选择更优的网络。当UE发起业务时，其自身可以根据本次业务需求，主动进行小区选择或重选到更适合该业务的网络，以更好地满足UE的业务需求。

如图5所示，UE处于地球同步轨道（GEO）、近地轨道（LEO）以及地面蜂窝网络的多重覆盖下。如果UE当前驻留在高轨卫星小区，当其有宽带业务或低时延业务的需求时，



▲图4 时分双工(TDD)帧结构设计



▲图5 多重网络覆盖下用户设备(UE)网络选择/重选/切换示意图

会选择低轨卫星甚至地面网络，并发起相应业务。同样地，在UE业务期间，如果业务模型发生变化（比如发起了新的业务），网络可以根据新的业务需求，结合网络资源情况，优先将UE切换到能够满足新业务需求的网络。

3.4 星间星地协同传输

1) 星间协同传输

为提高卫星通信的系统容量，在未来的海量星座系统中，应利用多颗卫星协作构成协同传输模式，不仅支持星间波束协作降低星间相互干扰，还支持多颗卫星为单个终端服务进行多流传输。从终端角度来看，可见空间内的多颗卫星可以作为多个传输天线或传输点。若每个卫星向终端提供一个波束，多个卫星同时向单个终端传输数据，则系统可以被视为一个大型的虚拟多输入多输出（MIMO）系统^[15]。一般情况下，系统中轨道高度相同和轨道高度不同的卫星之间进行联合传输。各个卫星所处的位置不同，能够避免各个波束信道之间的高信道相关性。因此，多卫星联合传输避免了单星系统中必需的波束间隔离措施。

在典型的双卫星多波束单终端MIMO系统中，两颗卫星同时向单个终端发送数据，每个卫星仅发送一个波束。终端同时接收两个波束，但需要至少两处不同位置的天线以确保构成 2×2 MIMO。由于两颗卫星位于不同位置，波束信道之间相关性较低，信道存在额外的空间自由度，因此，系统通过两颗不同卫星和终端的两个天线形成虚拟MIMO系统。从虚拟MIMO的角度来看，其系统性能取决于两处接收天线收到的叠加信号之间的相关性，而每一处接收天线所收到的叠加信号特性由与两颗卫星的配置有关。

多星协同传输的一个重要技术问题是星间同步问题。在常规思路中，应该由终端根据卫星的时刻进行接收校正，但终端只能确定一个下行接收时刻，不能对两个波束分别设置不同的下行定时。而另一方面，由于两颗卫星对于终端的相对距离不同，其传输时延也大概率不同，这就导致即使同时进行下行传输，两颗卫星信号的达到时刻也不是对齐的。为解决这一问题，可采用星间同步预补偿技术。具体地，以其中一颗卫星为锚点，其他卫星和锚点卫星对齐，在发送端进行信号的同步补偿，从而实现在终端接收侧的信号同步到达。当信号的时延误差在OFDM符号的CP范围之内，则不会影响系统性能。

2) 星地协同传输

星地协同传输主要包括两种模式：一种是覆盖协同，当卫星信号和地面基站信号覆盖在不同区域时，终端在不同区域的移动可基于信号强度的差异进行动态切换；第二种是传

输协同，终端可以同时连接两种接入点，形成双连接，此时地面基站和卫星基站可以采用资源协同和业务协同。比如：卫星基站供广域覆盖，地面基站提供高速数据传输，或者地面基站与卫星基站进行负载均衡，基于不同接入点的资源配置情况，动态协同数据传输。

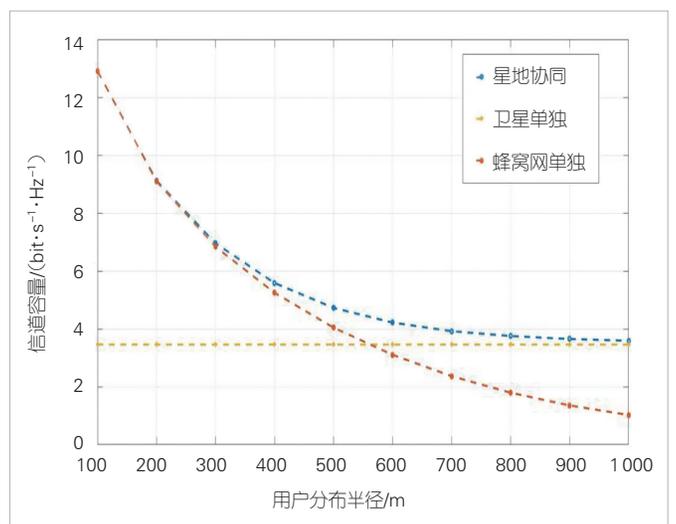
在星地协同传输研究中，有两个首要问题需要解决：（1）地面网络和卫星网络的协同需要高度紧密，最好是同一个运营商，否则协同将退化为异系统漫游；（2）不同协同方式对终端和网络的能力要求不同，需要准确定义接口要求、协议机制和实现约束。

图6给出了一种星地协同传输的理论容量示意图。可以看出，当用户在地面小区不同位置移动时，吞吐量将随用户和基站的位置变化而变化，而卫星传输吞吐量则相对稳定。但是，当采用星地联合传输时，总的传输容量大于单独的卫星传输或者地面蜂窝网传输，假定此时总传输功率一定，卫星传输吞吐量较稳定，总的传输量大于单独的卫星传输和地面传输，系统会保持一个较好的传输容量。这个例子也说明了星地传输的技术潜力。

3.5 星地频谱共享

随着用户和业务的增长，频率资源特别是用于卫星通信的频率资源，变得越发匮乏。星地融合通信网络需要突破传统的频率硬性分割模式，利用空间隔离、时间隔离、空分复用和精细化频谱管理实现星地频谱共享与频率复用。

在星地融合通信中，对于高频段，卫星和终端都采用高增益定向天线，空间隔离、时间隔离和空分复用相对容易实现；对于低频段，特别是手机直连卫星的场景，由于终端采用全向天线或低增益天线，频率复用变得更为复杂，集总干



▲图6 星地协同传输与非协同传输性能对比图

扰问题也十分突出，需要从整个星座的角度（而非单颗卫星的角度）来综合考虑，把多频复用方案、卫星天线模式、旁瓣抑制技术、终端功率控制技术等结合起来。常用的实施方法包括半静态的区域规划、动态的干扰侦听和规避以及星地的资源分配信息共享。如图7所示，卫星和地面覆盖相重叠的区域采用异频，而相距较远的位置可以采用同频，从而提高频谱使用效率。

在星地融合通信中，NGSO（非地球同步轨道）卫星系统不能干扰GEO卫星系统。对于两者共享的频段，应对NGSO卫星系统施加功率通量密度（PFD）限制；对于某些频段而言，还需要考虑等效功率通量密度（EPFD）的限制。因PFD设计相对简单，可以以PFD约束为条件，根据轨道高度、倾角和带宽来设计波束的EIRP（有效发送功率）。EPFD设计相对复杂，一般需要从覆盖、干扰规避角、天线旁瓣抑制水平、轨道高度、倾角和带宽等方面来综合考虑波束的EIRP。

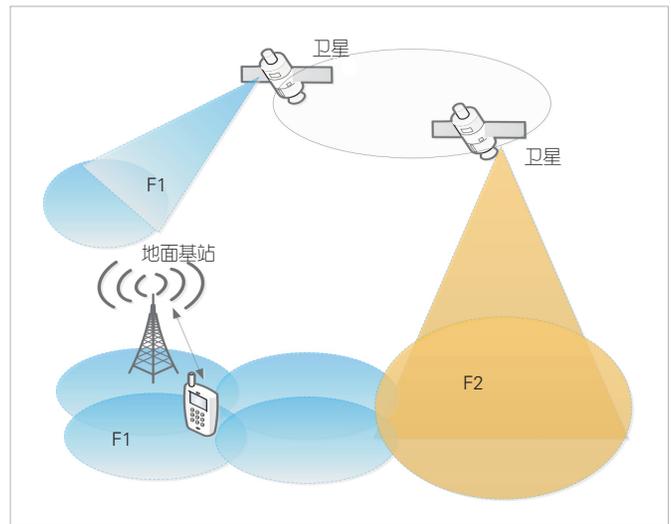
在星地融合通信中，可以利用先进的算法和机制来协作实现星地频谱共享。例如：终端可以使用人工智能（AI）技术，更好地区分卫星通信信号和地面通信信号；利用空间多层网络中波束和覆盖的差异性，实现星地通信的软频率复用；通过引入机器学习预测频率态势，制定星地动态频率共享策略。

3.6 通信、定位和感知融合设计

传统卫星的通信功能和导航定位功能相对分离，星座也是独立部署的。然而，随着星地融合网络的发展，卫星通信和定位技术可以进行深度融合。比如，采用通信信号可进行导航定位，通过卫星位置信息播发和终端的信号测量，终端将具备独立定位解算的能力。地面蜂窝系统的定位技术可以应用于卫星网络，或者基于卫星网络的差异性和空间环境特点，设计新的定位技术，从而实现通信和定位的一体化设计。

在3GPP R18 NTN项目中，相关的卫星定位方案已经过初步评估^[16-17]，研究结果显示基于当前NTN定位技术卫星定位的精度在几百米到几公里之间。面向6G更高精度的通信定位融合设计中，主要解决的技术难点包括：1) 终端可见卫星的数量有限，会降低估计的精度，增加定位的时延；2) 卫星本身的定位精度和卫星之间、卫星和终端之间的钟差都会影响终端定位的精度；3) 星地传输链路的信噪比对终端的定位精度有明显影响。这些难点问题后续需进一步解决。

通信和感知的融合设计是在近年来地面通信和感知一体化的基础上发展起来的。在地面5G网络中，目前正在开展通信和感知的技术与试验。而对于6G网络，不仅地面基站可以实现通信和感知的融合，卫星网络节点也可以进行



▲图7 星地频率共享复用示意图

通信和感知的融合设计。卫星通感一体化设计主要的挑战在于低信噪比、大时延和卫星高速移动带来的问题。针对这些问题目前业界正在逐步地研究解决。

4 总结与展望

基于6G的技术愿景和产业驱动，卫星通信和地面通信将深度融合，特别在覆盖协同、业务管理、资源共享和功能升级等方面进行全方位的优化和协同发展。在星地融合的系统设计层面，网络架构遵从星地多层网络的智能融合，满足弹性可重构的部署需求；在协议功能和接口设计方面，充分考虑星地网元的互联互通，同时考虑空间网元节点的能力限制；在无线传输技术方面，既考虑技术功能的一致性，也考虑卫星场景的差异性和具体场景的优势互补。

展望未来，星地融合的研究还有很长的路要走，在产业技术标准的全球一致性、网络和终端设备的低成本需求、系统的扩展性和健壮性方面仍需要进行探索。作为新型的信息基础服务设施，6G星地融合网络将在信息通信服务、社会安全与公共治理、产业升级等方面发挥更大的作用。

致谢

感谢中信科移动通信技术股份有限公司汪永明博士、康绍莉博士对本研究的大力支持！

参考文献

[1] 林德平, 彭涛, 刘春平. 6G愿景需求、网络架构和关键技术展望 [J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(1): 82-89
 [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] CHEN S Z, SUN S H, KANG S L. 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
- [4] 孙韶辉, 戴翠琴, 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. DOI: 10.3979/j.issn.1673-825X.202107130244
- [5] 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(2): 2–10
- [6] 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. DOI: 10.12267/j.issn.2096-5931.2022.09.003
- [7] ITU. Vision and requirements for satellite radio interface(s) of IMT-2020: ITU-R WP4B [S]. 2022
- [8] 3GPP. Study on using satellite access in 5G (R16): TR 22.822 V16.0.0 [S]. 2018
- [9] 3GPP. Study on new radio (NR) to support non-terrestrial networks (R15): TR 38.811 v15.4.0 [S]. 2020
- [10] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (R16): TR 38.821 v16.1.0 [S]. 2021
- [11] 吴曼青, 吴巍, 周彬, 等. 天地一体化信息网络总体架构设想 [J]. 卫星与网络, 2016(3): 30–36. DOI: 10.3969/j.issn.1672-965X.2016.03.004
- [12] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS): TS 23.501 [S]. 2023
- [13] 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
- [14] KANG S L, MIAO D S, SUN S H, et al. TDD mode on NTN direct to satellite service [EB/OL]. [2024-06-10]. https://futurenetworks.ieee.org/images/files/Tech_Focus_Articles/PDFs/issue16/TDD_mode.pdf
- [15] RAMAMURTHY B. MIMO for satellite communications systems [EB/OL]. (2018-08-22)[2024-06-10]. <https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/publications/documents/MIMO%20for%20Satellite%20Communication%20Systems.pdf>
- [16] 3GPP. Evaluations on network verified UE location for NR NTN: R1-2208955 [S]. 2022
- [17] 3GPP. Network verified UE location for NR NTN: R1- R1-2210005 [S]. 2022

作者简介



缪德山, 中国信息通信科技集团有限公司无线移动通信全国重点实验室技术骨干、中信科移动通信技术股份有限公司系统研究高级技术专家, 教授级高级工程师; 长期从事移动通信新技术研究与标准制定工作, 主要研究方向包括无线传输关键技术、卫星通信等。



邓凌越, 中信科移动通信技术股份有限公司工程师、科技市场高级经理; 主要从事卫星通信技术研究、解决方案制定和业务运营等工作。



孙建成, 中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师、3GPP Rel-19 NR NTN的联合报告人; 主要从事4G/5G/6G高层技术研究和标准化推动工作, 主要研究方向为卫星通信。



徐晖, 中国信息通信科技集团有限公司无线移动通信全国重点实验室技术骨干、中信科移动通信技术股份有限公司系统研究高级技术专家, 教授级高级工程师; 长期从事移动通信新技术研究与标准制定工作, 主要研究方向为网络架构及网络关键技术、卫星通信等。