

面向6G立体覆盖扩展的即插即用接入机制



Plug-and-Play Access Mechanism for 6G 3D Coverage Extension

刘睿/LIU Rui, 韩书君/HAN Shujun, 许晓东/XU Xiaodong

(北京邮电大学, 中国 北京 100876)
(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202501004

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20250310.1728.002.html>

网络出版日期: 2025-03-11

收稿日期: 2024-12-16

摘要: 6G 泛在连接场景对立体覆盖的扩展能力提出了新的要求。介绍了立体覆盖扩展的智能柔性架构、统一空口以及智能多址接入等关键技术。从原有节点的服务优化和新增接入节点两方面探究了面向6G立体覆盖扩展的即插即用接入机制, 提出了支持即插即用节点扩展的流程机制、信令协议设计等, 并针对高速移动场景验证了所提即插即用接入机制在6G立体覆盖网络中的性能。

关键词: 6G立体覆盖扩展; 即插即用; 接入; 泛在连接

Abstract: The ubiquitous connectivity scenarios of 6G demand enhanced capabilities for three-dimensional (3D) coverage expansion. Key technologies, including intelligent flexible architecture for coverage extension, unified air interfaces, and intelligent multiple access are introduced. The plug-and-play access mechanism for 6G 3D coverage expansion is explored through two approaches: optimizing existing nodes and integrating new access nodes. A process mechanism and signaling protocol design supporting plug-and-play node expansion are proposed. Additionally, the mechanism's performance is validated in high-speed mobility scenarios, confirming its efficacy in enhancing 6G 3D coverage networks.

Keywords: 6G 3D coverage extension; plug-and-play; access; ubiquitous connectivity

引用格式: 刘睿, 韩书君, 许晓东. 面向6G立体覆盖扩展的即插即用接入机制 [J]. 中兴通讯技术, 2025, 31(1): 13-19. DOI: 10.12142/ZTETJ.202501004

Citation: LIU R, HAN S J, XU X D. Plug-and-play access mechanism for 6G 3D coverage extension [J]. ZTE technology journal, 2025, 31(1): 13-19. DOI: 10.12142/ZTETJ.202501004

无处不在的持续连接是提供广泛数字服务的关键。预计2030年以后, 国际移动通信 (IMT) 将在实现联合国可持续发展目标方面发挥重要作用, 帮助弥合数字鸿沟, 并有效应对连接、覆盖、容量、数据速率和终端移动性等挑战。6G通信将通过精准覆盖农村及偏远地区, 将通信服务延伸至人口稀少区域, 确保全域用户体验的无差别, 实现无缝连接, 推动全民数字包容。

为了实现上述目标, 不同于传统覆盖仅基于地面组网的方式, 6G立体覆盖网络将由不同高度的网络节点实现互联互通。这样可以实现更高的数据传输速率和频谱利用效率, 增加系统容量, 减少端到端的延迟, 并扩展6G无线网络覆盖的广度、深度和平滑度。通过支持更快的移动速度, 联接

更多的人、物与智能体, 6G立体覆盖网络为各类用户提供多样化的应用和可持续性的服务。现有技术主要聚焦于提升资源利用效率, 但面对6G立体覆盖网络高度动态变化的特性, 实现服务节点的灵活快速扩展与连接同样至关重要。为此, 本文重点研究了6G立体覆盖网络中支持覆盖能力扩展的即插即用接入机制。

1 6G立体覆盖扩展典型应用场景

国际电信联盟无线电通信部门 (ITU-R) 在 IMT-2030 (6G) 愿景建议^[1]中, 基于 IMT-2020 (5G) 的三大应用场景, 提出了面向6G的六大应用场景。5G技术在三大核心场景——沉浸式通信、超大规模连接和超高可靠低时延通信方面实现了显著增强。面向6G时代, 通信技术将迎来三大创新方向: 人工智能 (AI) 与通信的深度融合、感知通信一体

基金项目: 北京市自然科学基金-海淀原始创新联合基金项目 (L242012)

化以及泛在连接。然而，当前通信网络仅覆盖全球不到6%的地理区域^[1]，距离实现真正的泛在连接目标仍有较大差距。立体覆盖扩展技术为农村、无人区及灾害地区的通信设备提供稳定连接，同时支持智慧城市、智慧交通、智慧工业等场景中超大规模物联网设备的互联。这些应用场景对立体覆盖网络的扩展能力提出了新的需求。

为满足6G全场景泛在覆盖、广域连续覆盖及通信服务确定性的需求，未来的6G网络将构建一个多层次、立体化的通信架构。该架构以地基信息网络为基石、空基信息网络为核心、天基信息网络为骨干，通过整合卫星、无人机、高空平台和地面直放站等基础设施，形成一个超密集异构的覆盖网络，最终实现全球范围内的三维立体“泛在覆盖”^[2]。

由于天基、地基网络承载业务的差异性，网络资源的异质性，网络系统及管理的多样性，多维立体覆盖星地融合网络在全域无缝覆盖的柔性网络架构、按需组网技术、星地资源一体化、立体覆盖扩展等方面还存在诸多问题。

2 6G立体覆盖扩展需求与挑战

在6G立体网络中，由于接入节点数量、计算资源和存储资源等均呈现高度动态变化的特性，仅依赖静态的6G立体覆盖网络难以有效满足多样化业务的不同服务质量(QoS)需求。在网络资源需求发生变化时，可能需要增加接入节点或计算节点，以扩展覆盖范围或满足计算密集型业务的需求。此时，需将新的服务节点纳入立体覆盖网络。鉴于空天地三维大尺度立体覆盖网络(尤其是天基卫星)具有高度动态性，必须确保节点接入的时效性。当前，基于第3代合作伙伴计划(3GPP)标准的接入技术导致了频繁的信令交互^[3]，同时，新接入节点的配置也会引发与核心网之间的大量信令交换^[4]。这不仅增加了通信网络的时延，还带来了额外的开销。为了应对6G通信中的需求和挑战，我们亟需研究6G立体覆盖按需扩展技术，以提高业务完成的可靠性和资源利用效率。

为了保证立体覆盖网络实时高效的按需扩展能力、对全场景业务的有效支撑性，即插即用的6G立体覆盖网络节点接入机制变得必不可少。然而卫星通信与地面移动通信在协议、空口等方面存在不适配的问题。当前非地面网络(NTN)的研究主要集中在基站和核心网的优化上，旨在构建与地面网络相似的卫星接入机制。然而，真正的星地网络融合仍未实现^[5]。在立体覆盖网络中，空基、天基和地基节点的按需接入面临多种网络体制下协议空口的适配挑战。此外，基于互联网协议(IP)的节点配置和核心网注册方式难以适应立体覆盖网络在大尺度空间变化中的需求。

3 面向6G立体覆盖扩展的关键技术

现有研究已从网络架构、空口技术和智能管控等多个维度，对地面移动通信与卫星通信的深度融合进行了系统性设计。为满足广域覆盖连续性与通信服务一致性的需求，我们设计了AI辅助的智能管控架构。该架构通过资源虚拟化技术，将接入网、承载网和核心网整合为星地一体的虚拟化网络。基于统一的空口协议栈和网络架构，实现了星地异构网络的移动性管理、协同传输及多维异构资源的智能管控。针对星地网络异质异构、节点高度动态、拓扑结构时变、时空尺度极大的特点，设计基于可变参数集的软件定义星地统一空口，并研究面向6G立体覆盖扩展的智能接入技术，旨在提升小区边缘覆盖性能，确保可靠接入与高效传输。

3.1 面向6G立体覆盖扩展的智能柔性网络架构

图1为面向6G立体覆盖的智能柔性网络架构，由天基网络、空基网络和地基网络构成。该架构在地面网络侧的虚拟化平台上搭载无线接入功能、完整的核心网功能、面向边缘计算的功能，以及完整的网络管理功能^[6]；在天基搭载轻量化可定制的核心网功能、无线接入功能、轻量化的按需网络管理以及边缘计算功能；在空基平台搭载更为精简的无线接入和边缘计算等功能。面向多元化和个性化的差异化业务需求，智能柔性的立体覆盖网络能够实现按需服务和轻量化的资源控制与调度，并基于AI驱动的决策控制器编排相应业务的通信资源^[7]、计算资源以及存储资源等。高效调度网络节点的接入能力以及多维资源分配，可显著提升6G立体网络的覆盖服务能力，从而实现更精细化和灵活性的网络覆盖。

智能柔性的6G立体覆盖网络架构通过重构无线协议功能，实现了功能的按需灵活部署。具体而言，该架构将部分核心网功能进行分割和剪裁，并将其部署到天基网络中，从而有效减少了回程到地基核心网的流量负载，并支持多种核心网功能的按需组合。当网络中出现新的QoS业务需求时，基于AI的决策单元能够根据新业务的接入需求和计算需求，智能调度新节点的加入以及计算和存储资源的分配。同时，通过虚拟化技术，系统能够在硬件资源上动态搭建核心网功能，确保新业务能够实时高效响应。这种机制使得6G立体覆盖网络能够根据需求灵活扩展覆盖范围，满足多样化的业务需求。

在多层异构节点的立体覆盖网络中，引入无线接入、边缘计算和核心网等功能亟需标准化支持。此外，异构节点间的接口设计、业务承载方案及数据流优化等关键环节也需进一步推进标准化研究。基于AI驱动的智能柔性网络能够更

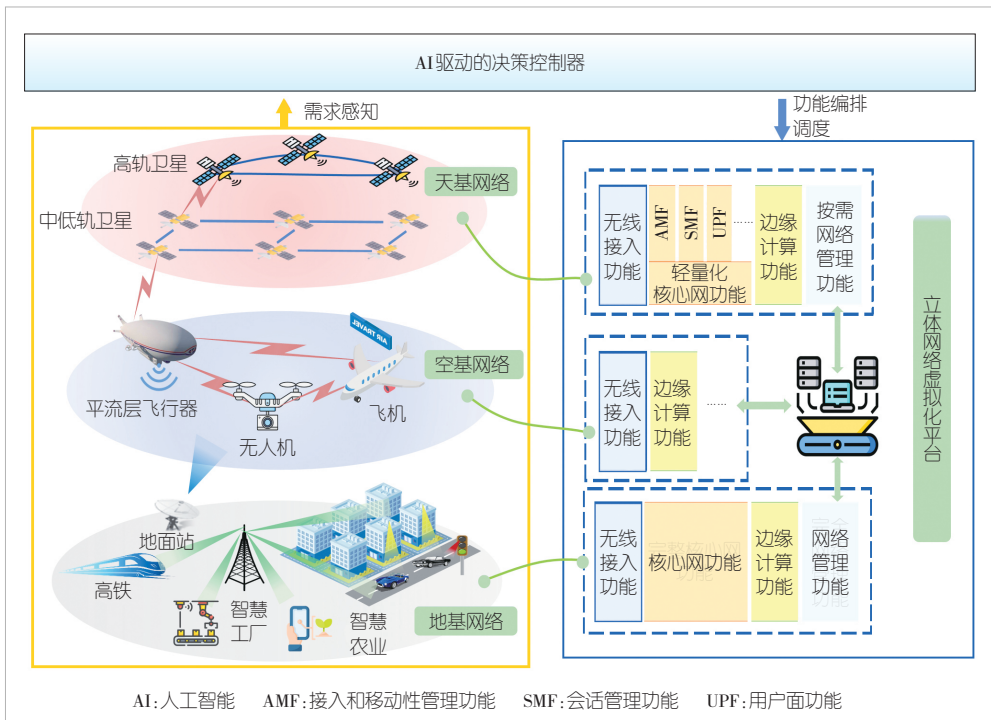


图1 面向6G立体覆盖的智能柔性网络架构

精准地感知需求并快速响应，这对网络的速率和时延提出了更高要求。为此，需深入研究载波聚合、移动性增强等技术的标准化，以促进立体网络中各节点的协同工作。同时，从工程实现的角度，硬件轻量化也是当前的研究重点，以支持星载多接入边缘计算（MEC）和再生转发模式等新兴技术的标准化进程。

3.2 面向6G立体覆盖扩展的统一空口技术

6G立体覆盖网络融合了空天地三层的多种不同的网络制式，各层网络有其不同的接入方式、调制解调方式^[8]。同时，由于立体覆盖网络中的业务具有多样性、异质的特点，6G立体覆盖网络需要根据业务本身的带宽、时延等QoS需求以及可用资源，为差异化异质业务提供不同的网络空口配置。基于可变参数集的空口配置技术能灵活高效地支持6G立体覆盖网络中的业务，在立体覆盖网络架构中真正实现用户无感知的统一空口设计。

在6G立体覆盖网络中，通过采用统一空口可变参数集技术，所有关键空口参数被整合到一个统一的集合中。这种设计使得网络中的各类节点能够灵活、快速地从集合中获取符合特定业务需求的空口配置，从而显著提升网络扩展的灵活性和效率。用户端无须分辨接入的网络属于立体网络中的哪个网段，仅通过配置不同的空口参数即可完成网络中用户资源的统一调度和配置。可变参数集的主要参数包括：传输带

宽、调制方式、编码方式、传输波形、子载波间隔、导频格式、混合自动重传请求（HARQ）配置、正交接入方式、随机接入方式、控制信道格式等^[9]。这些参数都可以根据场景和业务的需求被灵活选取和配置。配置统一空口的方式能够迅速地将新节点加入至网络中，并完成网络的适配，从而支持立体覆盖网络的按需快捷扩展。

3.3 面向6G立体覆盖扩展的智能多址接入技术

IMT-2030 6G 愿景指出，未来网络的设备连接密度将达到每平方公里亿级规模，这对支持海量连接的新型接入技术提出了迫切需求。自5G移动

通信时代起，非正交多址接入（NOMA）技术凭借其优秀的大规模连接能力成为研究热点。该技术通过允许不同用户在同一资源块上进行重叠传输，结合精确的功率控制和接收端的多用户检测技术，实现了高效的信号分离与资源利用。在6G移动通信中，为满足海量用户的泛在连接需求，NOMA技术已演进为下一代多址接入（NGMA）技术^[10]。NGMA根据不同的区分域，主要分为基于功率域和编码域的多址接入技术。随着通信资源的多元化扩展，多址接入技术已突破了传统模式，呈现多维发展的趋势。除了NOMA技术外，还包括：融合多天线的空间域多址接入、基于码域的多址接入，以及通过索引模式区分用户的索引调制多址接入^[11]和利用交织器区分用户的交织多址接入^[12]等多种创新技术方案。这些技术共同构成了6G通信中的多维多址接入体系。

多址接入技术占用时间、空间、功率等多维资源，使得大量用户设备接入网络的管理难度增加，因此需要依靠具有强大数据处理和管理能力的AI技术来进行无线接入的管理^[13]。AI在信道环境的感知与建模方面具有巨大的优势，能够根据历史的信息以及环境的状态对信道进行预测，并智能地选择合适的接入方式。

传统的多址接入技术和基于AI的多址接入技术都致力于在有限资源条件下实现资源分配与优化。然而，在面向泛

在连接的海量用户接入场景中，仅依靠对现有接入节点的调度已难以满足通信需求。因此，亟需实现新服务节点的快速接入以及新功能的灵活高效部署。

4 面向6G立体覆盖扩展的即插即用接入机制

6G立体覆盖扩展技术能够有效支持6G泛在连接场景，保障移动无线通信的覆盖广度和连续性。例如，在通信设施遭到破坏的地区迅速建立通信链路，在无覆盖地区快速部署接入节点等。为了更好地完成6G立体网络的覆盖，实现6G立体网络不同通信系统之间的无缝互连、自动扩展与配置，我们提出了面向6G立体覆盖扩展的即插即用接入机制，使新网络节点在加入6G立体网络时即可实现快速握手、即插即用。即插即用的方式是保证接入灵活性和时效性的重要手段，因此支持即插即用的无线覆盖扩展技术的研究至关重要。通过调度立体网络节点并增设临时节点，结合6G立体覆盖网络的广域覆盖能力，实时采集流量信息并进行处理分析，从而优化节点部署策略。这种机制不仅支持业务的动态功能扩展，还能实现节点的即插即用接入，提升网络灵活性和可扩展性。

4.1 支持即插即用的总体逻辑架构

在6G立体覆盖网络中，即插即用功能通过以下两部分实现：一是，设计支持即插即用的接入流程和信令协议，为网络提供灵活快速的节点调度机制；二是，优化现有接入节点的服务，并根据存量节点的服务情况，按需激活现有节点的功能以实现服务扩展。这种支持即插即用的无线覆盖扩展技术，旨在实现覆盖和服务的快速扩展。然而，这种扩展技术可能会带来覆盖和服务效果的次优化问题。为此，我们首先设计了基于在线评估迭代优化的总体流程，具体如图2

所示。

支持即插即用的整体的逻辑流程由4部分构成：监测预处理单元、决策单元、调度单元与服务质量评估。监测预处理单元包含感知模块与预处理模块。感知模块负责业务QoS需求的感知、信道环境的感知以及网络资源的监测等功能。感知模块由分布在立体覆盖网络的各层中的传感器构成，能够实时监测网络中的业务、网络状态以及资源利用的情况。预处理模块对感知模块获取到的原始信息进行预处理，提取出有用的环境和业务信息，并结合人工智能的方法对业务的QoS以及环境状态进行初步分析，再将处理的数据发送给决策单元进行后续决策。

决策单元的核心功能由AI决策模块执行，其主要任务包括：基于监测处理单元提供的预处理信息，实时获取立体覆盖网络中的用户接入需求和业务请求。该模块运用人工智能算法，综合分析网络资源状况、业务特征及用户负载变化，进而做出以下决策：1) 服务节点的接入与删除；2) 支持不同QoS业务的多维资源请求与释放。决策生成后，单元将相关信息传输至调度单元，由后者负责后续调度任务的执行。

调度单元的核心功能由多维资源调度模块执行，具体包括：根据决策单元下发的指令，调度单元负责即插即用节点的初始化与接入管理，实现对天基卫星、空基无人机及地基节点等立体覆盖网络资源的动态调度。其功能涵盖节点新增、功能扩展等操作，同时集成空口天线调度等模块，支持基于参数集的统一空口管理。

4.2 支持即插即用的节点扩展技术

1) 节点扩展调度

支持即插即用的节点扩展技术利用卫星的广域感知及控制能力临时部署无人机、地面移动节点，并激活卫星节点，能够提升立体覆盖网络的泛在连接能力。采用即插即用的节点扩展技术如图3所示。

基于分布式多节点感知的预测算法，位于地基和天基节点上的网络状态感知器能实时观察网络状态，其感知内容包括网络类型、网络拓扑、可用资源、空口协议、网络流量等影响即插即用性能的状态信息。对此多维信息进行处理，

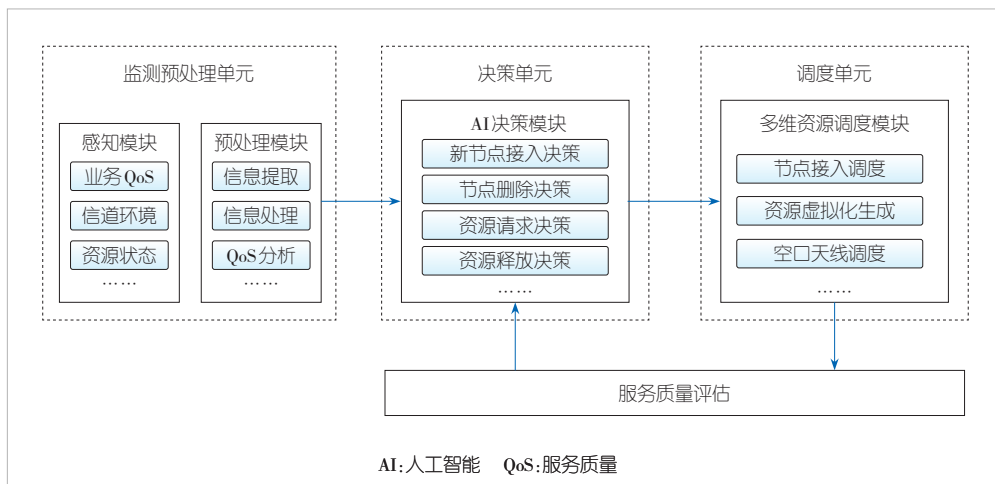


图2 基于在线评估迭代优化的总体流程框图

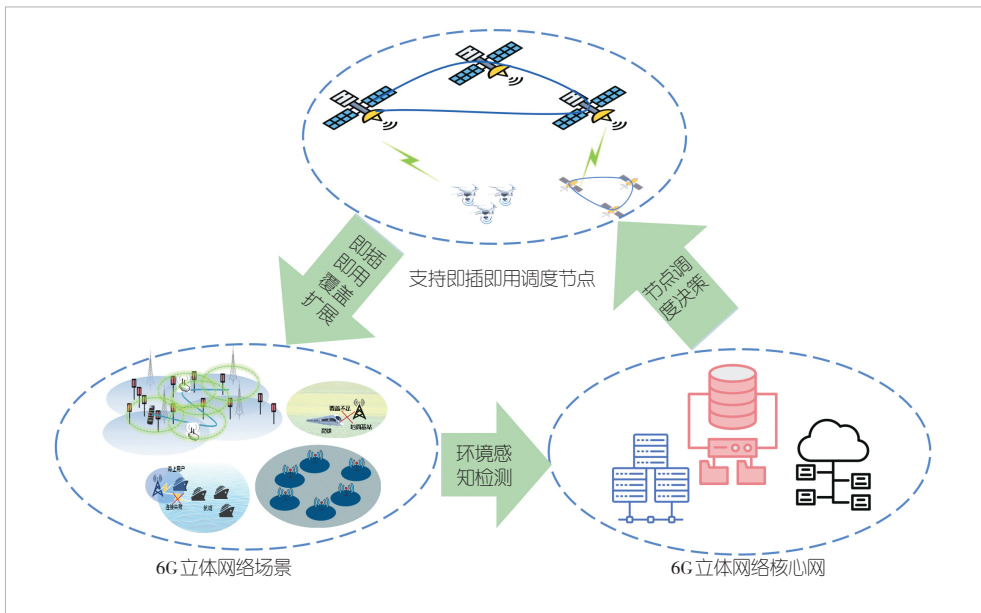


图3 支持即插即用的节点扩展示意图

可实现对即插即用业务的预测，从而解决地基、天基信息不对称所带来的预测不准确的问题。可利用AI算法实时分析环境条件，并将分析结果传输至决策单元。星载与地面决策单元协同工作，通过联合调度策略优化空天地三层节点的部

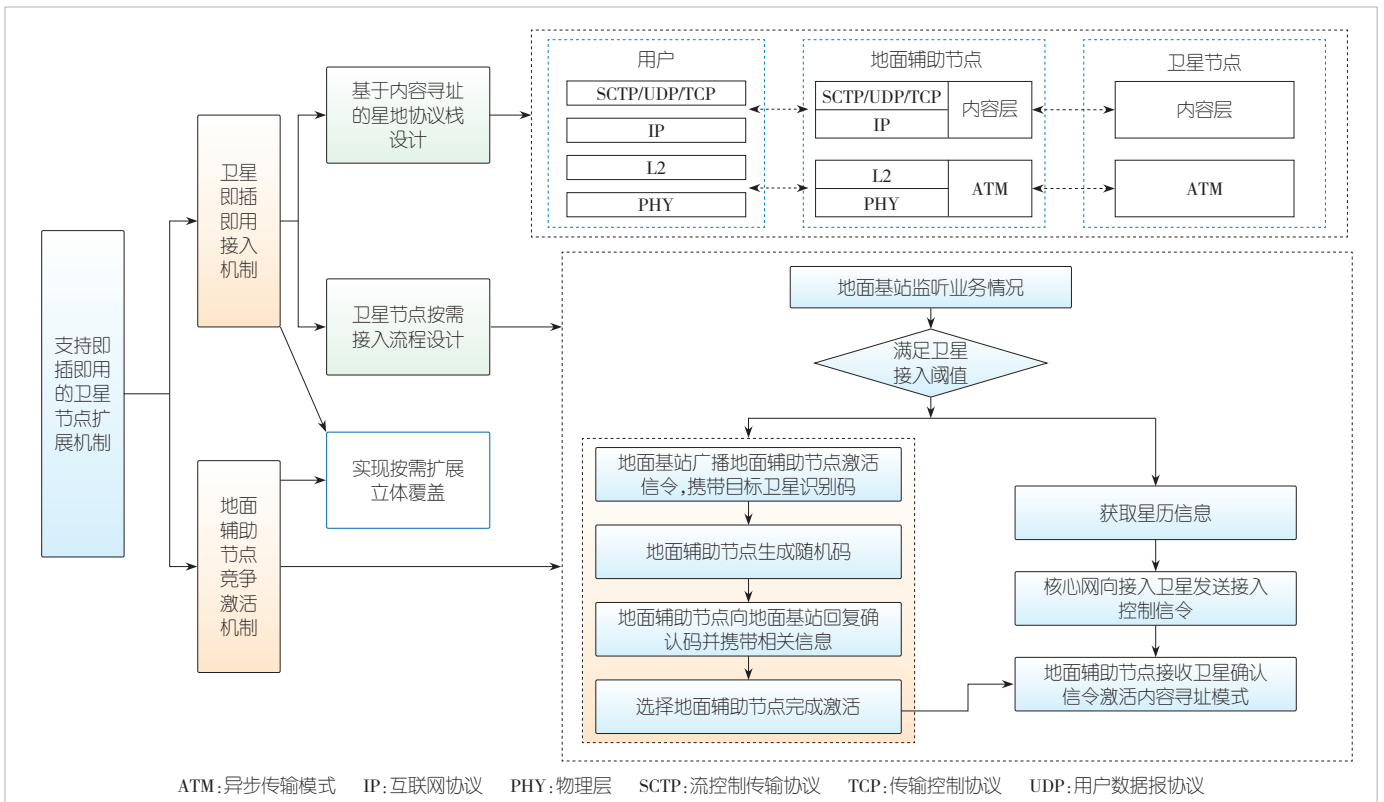
署，从而实现无线覆盖范围的扩展。

支持即插即用的节点扩展技术通过网络状态参数和QoS参数在各层节点间的无缝传递，实现了空天地多层网络的协同设计，从而更高效地利用网络资源，提升用户服务质量。此外，服务质量评估模块会根据用户满意度向决策模块提供反馈信息，以优化决策过程，进一步提升服务体验。

2) 面向卫星节点接入的信令流程及协议设计

在立体覆盖网络中，卫星节点是实现网络广度扩展的关键要素。将卫星节点灵活、快速地按需接入受限网络是实现无线覆盖扩展的重要途径。本文中，我们提出了一种支持即插即用卫星节点接入的扩展机制，其流程如图4所示。

为了建立卫星节点与地面节点之间的高效连接，我们提



ATM:异步传输模式 IP:互联网协议 PHY:物理层 SCTP:流控制传输协议 TCP:传输控制协议 UDP:用户数据报协议

图4 支持即插即用的卫星节点扩展机制流程图

出了一种基于卫星即插即用接入机制的解决方案，实现了卫星节点的快速入网。传统基于IP的寻址方式在连接建立和节点激活阶段，需要接入节点与周边节点及核心网进行大量信息交互，不利于快速建立有效连接。为此，本文创新性地引入了基于内容的寻址方式，以优化网络接入效率。

在这种情况下，为了降低设备复杂度，需对一体化空口进行优化设计，并在地面辅助节点完成协议栈转换。地面辅助节点是指具备协议转换功能的地面基站。为确保地面辅助节点与卫星即插即用节点之间的连接安全性，地面节点会根据星历信息发送包含卫星节点识别码的激活信令。卫星节点在激活后，会向地面辅助节点发送带有标识的回复信令。随后，地面辅助节点将激活即插即用接入模式，实现无缝连接。

如图5所示，星地链路在用户端采用了与无线接入网兼容的协议栈。该协议栈支持物理层的数据传输，并在L2层实现了链路控制、流映射以及数据包的分割与重组，同时在传输层提供了连接建立等功能。地面辅助节点具备协议转换能力，能够与终端用户建立物理和逻辑链路，并支持与卫星异步传输模式（ATM）系统的连接。

在卫星通信系统中，采用基于内容的寻址方式，而地面辅助节点则部署了同时兼容卫星和无线接入网的多模态协议栈。具体而言，协议栈的下层通过L2/物理层（PHY）与ATM的转换，实现了与卫星在信号频率、编码制式及差错检验等底层协议的对接；高层则通过流控制传输协议（SCTP）、用户数据报协议（UDP）以及传输控制协议/互联网协议（TCP/IP）与内容层的转换，支持基于内容的路由功能，并在节点初始建立时实现快速响应。通过在卫星上部署基于内容寻址的协议栈，系统能够与服务节点建立稳定的物理和逻辑链路连接。

本研究提出了一种支持即插即用的卫星扩展机制，并将其应用于高速移动场景。仿真结果表明（如表1所示），通过即插即用方式将卫星节点动态接入网络，可显著提升现有网络覆盖范围内终端设备的业务请求完成率。

4.3 支持即插即用的按需服务功能优化

随着6G技术的发展，传统基于硬件固化、先部署后发

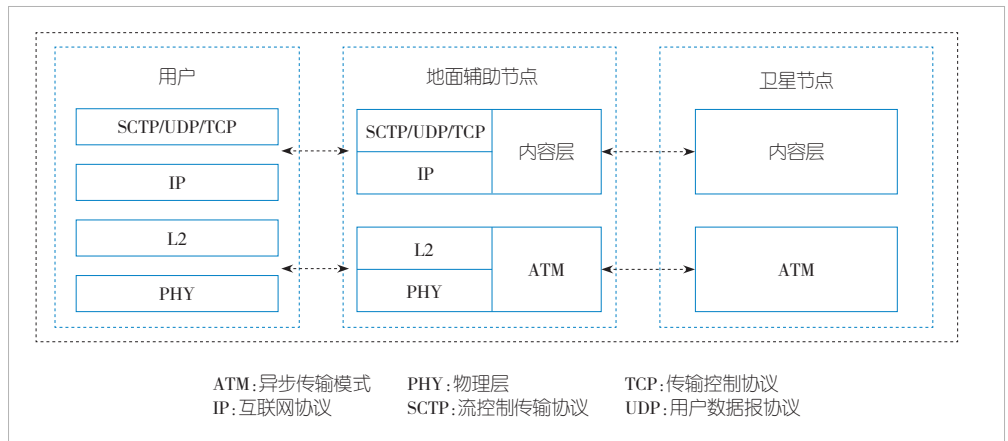


图5 星地链路协议栈转换示意图

射的卫星模式已显现出诸多局限性，难以支撑未来海量新型应用业务的需求。为此，将基站及计算存储容器直接部署在卫星上，可实现新功能的按需订阅，从而在应用层面有效支持网络覆盖的灵活扩展。

为满足6G网络中业务个性化、定制化和广域覆盖的需求，同时提升网络可扩展性和资源利用效率，我们采用模块化设计，将多样化业务功能动态部署于卫星上。这种灵活部署方式能够快速响应业务需求，实现资源的实时调度与释放。通过多终端协同的多要素信息提取算法，我们能够高效处理网络中的多维数据，有效应对业务复杂性，确保服务的实时性。在数据处理层面，传感器采集的多维度信息将被传输至QoS感知处理单元。决策单元则利用多维度联合判决算法，综合考虑服务容器的剩余可用资源、时延代价和即插即用收益等指标，动态决策服务容器内的服务生成。此外，针对即插即用过程中可能出现的配置偏差问题，我们引入基于深度学习的反馈算法，在系统运行过程中持续优化资源分配，并实时调整服务容器的业务配置参数，确保系统的高效稳定运行。

5 结束语

随着未来移动网络接入设备的爆发式增长和业务多样性

表1 高速移动场景下支持即插即用接入的业务完成度对比

| 时隙数 | 支持即插即用的业务完成度/% | 不支持即插即用的业务完成度/% |
|--------|----------------|-----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 765 | 20.00 | 0 |
| 5 713 | 37.50 | 0 |
| 9 827 | 51.25 | 0 |
| 33 472 | 51.25 | 26.67 |
| 50 000 | 51.25 | 26.67 |

的日益凸显，6G立体覆盖扩展对泛在连接的支持愈发显著，支持即插即用的节点灵活扩展技术变得至关重要。未来，面向立体覆盖的即插即用接入技术的发展，需重点关注以下两点：

1) 高效的节点发现能力。大量闲置节点未能得到有效利用，这些节点具备可用的计算和存储资源，能够为按需服务功能优化提供支持。如何发现和监测这些节点，并为其构建能力标签，以实现灵活快捷的接入，是亟待解决的关键问题。

2) 节点的安全性和可靠性。在设计即插即用接入机制时，往往为了追求灵活便捷而忽视了安全性和可靠性。因此，未来的工作亟需在确保安全可靠的基础上，实现节点的灵活快速接入。

参考文献

- [1] IMT-2030(6G)推进组. 6G总体愿景与潜在关键技术白皮书 [R]. 2021
- [2] XU X D, HAN S J, ZHAO Y, et al. 6G wireless coverage extension technology [J]. Scientia sinica (informationis), 2024, 54(5): 1144-1176. DOI: 10.1360/SSI-2023-0346
- [3] 3GPP. NR; Physical layer; General description: 3GPP TS 38.201 [S]. 2017
- [4] 王文兵, 张志民. 5G小基站自动配置与自动部署技术方案的研究 [J]. 通信技术, 2020, 53(12): 2961-2965. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0802.2020.12.013
- [5] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN): 3GPP TR 38.821 [S]. 2019
- [6] 王静贤, 张景, 魏肖, 等. 卫星5G融合网络架构与关键技术研究 [J]. 无线电通信技术, 2021, 47(5): 528-534. DOI: 10.3969/j.issn.1003-3114.2021.05.002
- [7] IMT. IMT-2030 6G无线网络架构和功能研究报告 [R]. 2022
- [8] CUI H X, ZHANG J, GENG Y H, et al. Space-air-ground integrated network (SAGIN) for 6G: requirements, architecture and challenges [J]. China communications, 2022, 19(2): 90 - 108. DOI: 10.23919/jcc.2022.02.008
- [9] 侯利明, 韩波, 缪德山, 等. 基于5G及演进的星地融合空口传输技术 [J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(9): 21-29. DOI: 10.12267/j.issn.2096-5931.2021.09.004
- [10] LIU Y W, ZHANG S W, MU X D, et al. Evolution of NOMA

toward next generation multiple access (NGMA) for 6G [J]. IEEE journal on selected areas in communications, 2022, 40(4): 1037-1071. DOI: 10.1109/jsac.2022.3145234

- [11] LI J, DANG S P, WEN M W, et al. Index modulation multiple access for 6G communications: principles, applications, and challenges [J]. IEEE network, 2023, 37(1): 52 - 60. DOI: 10.1109/mnet.002.2200433
- [12] SHUKLA A, KUMAR M, GUPTA M. Intelligent reflecting surfaces assisted full-duplex IDMA communication network [J]. Wireless personal communications, 2023, 130(1): 469 - 479. DOI: 10.1007/s11277-023-10294-7
- [13] DU J, JIANG C X, WANG J, et al. Machine learning for 6G wireless networks: carrying forward enhanced bandwidth, massive access, and ultrareliable/low-latency service [J]. IEEE vehicular technology magazine, 2020, 15(4): 122 - 134. DOI: 10.1109/mvt.2020.3019650

作者简介



刘睿, 北京邮电大学在读博士研究生; 主要研究领域为星地融合网络。



韩书君, 北京邮电大学副研究员; 主要研究领域为6G智简网络、语义通信、端边云协同分布式智能、智能通信内生安全与隐私保护关键技术等; 主持和参与国家级和省部级课题10余项; 已发表论文60余篇, 申请专利60余项。



许晓东, 北京邮电大学教授; 主要研究领域为语义通信、智简网络、卫星通信等; 作为负责人完成多项国家级项目; 获北京市科学技术奖二等奖、中国通信学会科学技术奖一等奖、中国电子学会科学技术奖一等奖, 所著专著获“中国出版政府奖”; 近5年发表论文50余篇, 申请专利80余项。