



专题：星地融合移动通信及卫星互联网

## 基于异构网络聚合的6G非独立组网方案

黄锐<sup>1</sup>, 杨欣欣<sup>1</sup>, 李铎<sup>1</sup>, 吴君毅<sup>1</sup>, 谢柠灿<sup>2</sup>, 徐晓斌<sup>2</sup>

(1. 中国星网网络应用研究院有限公司, 北京 100160;

2. 北京工业大学计算机学院, 北京 100124)

**摘要:** 针对卫星互联网建设初期高投入成本与运营收益不匹配的问题, 对基于空地融合组网的6G非独立组网方案展开研究。提出了Overlay与Underlay融合的异构卫星互联网非独立组网方案, 通过虚拟化技术将多轨道卫星网络抽象为统一资源池, 并设计分阶段演进路径: 初期依托5G核心网实现星地协同接入, 中期下沉用户面功能降低时延, 后期构建星地协同控制面实现全域资源调度。该方案通过分阶段架构演进实现了卫星网络与地面5G/6G核心网的深度协同, 验证了异构资源虚拟化聚合和实时业务稳定性保障能力, 为低成本构建天地一体化6G网络提供了可落地的技术路径。

**关键词:** 6G非独立组网; 卫星互联网; 异构网络聚合; 虚拟化技术; 分阶段演进

**中图分类号:** TP393

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2025139

## 6G non-standalone solution based on heterogeneous network aggregation

HUANG Rui<sup>1</sup>, YANG Xinxin<sup>1</sup>, LI Duo<sup>1</sup>, WU Junyi<sup>1</sup>, XIE Ningcan<sup>2</sup>, XU Xiaobin<sup>2</sup>

1. China Satellite Network Application Co., Ltd., Beijing 100160, China

2. College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

**Abstract:** In view of the challenge of unmatched high cost investment and operating income at the initial stage of satellite Internet construction, the 6G non-standalone solution based on air ground integration was studied. A heterogeneous satellite Internet operation mode integrating Overlay and Underlay was proposed. The multi-orbit satellite network was abstracted into a unified resource pool through virtualization technology, and a phased evolution path was designed. In the initial stage, satellite ground cooperative access was achieved by relying on 5G core network. In the mid-stage, sinking user plane functions reduced the delay. In the last stage, satellite ground cooperative control plane was built to achieve global resource scheduling. This solution achieves deep collaboration between satellite networks and ground 5G/6G core networks through phased architecture evolution, verifying the ability of heterogeneous resource virtualization aggregation and real-time business stability guarantee, and providing a feasible technical path for

收稿日期: 2025-02-28; 修回日期: 2025-04-23

通信作者: 杨欣欣, yangxinxin051131@126.com

基金项目: 海南省重点研发计划项目 (No.ZDYF2024GXJS034)

**Foundation Item:** The Hainan Province Science and Technology Special Fund (No.ZDYF2024GXJS034)

low-cost construction of 6G space-air-ground integrated networks.

**Key words:** non-standalone of 6G, satellite Internet, heterogeneous network aggregation, virtualization technology, phased evolution

## 0 引言

随着通信技术的飞速发展和社会对通信需求的持续攀升, 5G网络逐渐在全球范围内部署并应用, 6G成为全球通信领域的研究焦点。国际电信联盟(International Telecommunications Union, ITU)提出了6G网络可支撑沉浸式通信、超大规模连接、超高可靠低时延通信、泛在连接、通信与人工智能(artificial intelligence, AI)和通信感知一体化等六大场景<sup>[1]</sup>。卫星互联网被认为是5G演进网络乃至6G网络的重要基础设施。卫星网络与地面网络深度融合, 可以为用户提供连续覆盖的超高速、超低时延和超大规模连接的网络服务<sup>[2]</sup>。卫星互联网的建设需要制造、发射数以万计的卫星, 所需资金达到万亿元量级, 卫星互联网建设面临着巨大的挑战<sup>[3]</sup>。

为克服上述挑战, 卫星互联网运营商可基于现有卫星网和地面移动通信网络的能力, 开启前期运营服务, 以前期运营服务的收益反哺网络建设, 形成商业闭环, 加快卫星互联网建设与发展进度。在技术层面, 第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)与ITU持续开展5G非地面网络(non-terrestrial network, NTN)相关标准<sup>[4]</sup>及6G技术架构<sup>[5]</sup>的建设, 软件定义广域网(software-defined wide area network, SD-WAN)技术<sup>[6]</sup>、网络功能虚拟化(network functions virtualization, NFV)<sup>[7]</sup>、天地一体化网络<sup>[8]</sup>等技术的发展为天地融合组网提供了参考的解决方案。在已有标准及相关技术的基础上, 本文设计了一种Overlay<sup>[9]</sup>与Underlay融合的组网架构, 基于这一架构, 提出了6G非独立组网(non-standalone, NSA)的演进方案。在6G NSA的基

础上, 本文分析了异构卫星互联网的应用场景, 提出了业务支撑策略, 并设计了基于异构卫星互联网的运营服务模式。该模式可以充分利用卫星互联网和移动通信网络的现有能力, 并基于异构网络资源开展网络运营服务。本文尝试对卫星互联网运营服务模式开展前瞻性探索, 对支撑卫星互联网业务和加快卫星互联网建设提供了一定的参考。

## 1 6G非独立组网演进方案

本节基于卫星互联网已有的异构网络的资源和能力, 结合现有网络的建设情况, 提出了一种6G非独立组网演进方案。

### 1.1 Overlay与Underlay融合的天地一体化异构组网架构

Overlay网络和Underlay网络是现代网络架构中的两个重要概念, Underlay网络指的是物理网络, 它由物理设备和物理链路组成, Overlay网络是基于Underlay网络构建出的一个逻辑网络。Overlay网络能够突破物理网络限制, 将全球任何物理位置上的访问终端和业务资源映射到Overlay网络中。为了在异构卫星互联网中实现高效、灵活的网络管理和资源调度, Overlay与Underlay融合组网架构成为一种有效的解决方案<sup>[10]</sup>。

在异构卫星互联网中<sup>[11]</sup>, Underlay网络由包括多轨道卫星星座、地面信关站、星间链路、客户前置设备(CPE)等实体网络元素组成, 核心功能是提供确定性的物理传输保障基础连接可靠性。而Overlay网络则是通过虚拟化技术在物理网络之上构建的逻辑网络层, 采用VxLAN<sup>[12]</sup>等隧道封装技术实现协议解耦和拓扑抽象, 形成可编程的虚拟资源池。两者的融合架构相较于传统组网模式具有显著优势, Underlay网络通过硬件



特性保障传输确定性，Overlay网络则可借助SDN技术<sup>[12]</sup>进行集中控制，实现灵活策略编排。

基于异构卫星互联网的Overlay与Underlay融合组网架构如图1所示。在Overlay网络中部署SDN控制器集群，通过北向接口接收网络编排指令并生成全局策略，其内部集成网络切片引擎，支持根据业务服务等级协议（service-level agreement, SLA）需求动态划分虚拟资源池；负责Overlay虚拟拓扑构建与服务质量（quality of service, QoS）参数映射，通过VxLAN逻辑隧道（控制面采用通用路由封装（generic routing encapsulation, GRE）保障可靠性，数据面实施分段路由第六版（segment routing version 6, SRv6））实现跨星域业务隔离与疏导。在物理网络节点中部署代理，进行物理节点的状态采集模块和策略执行，通过南向接口的OpenFlow协议接收频谱分配、路由重构等控制指令。

### 1.2 6G非独立组网方案及演进路径

在Overlay与Underlay融合组网架构的基础

上，本节进一步提出基于该架构的6G非独立组网方案和演进路径。此方案融合了Overlay网络的灵活性和Underlay网络的传输确定性，参考卫星互联网的建设进程，以逐步演进的方案，实现卫星互联网与地面5G/6G核心网的深度协同。

该演进路径的设计参考5G NSA组网方案的演进策略<sup>[13]</sup>，尝试提出一种卫星互联网与地面网络共同部署6G核心网的演进方案。其融合组网方案，充分参考了3GPP所提出的5G NTN相关标准<sup>[4]</sup>和IMT-2030白皮书中6G网络架构设计<sup>[5]</sup>。

在6G网络的非独立组网的演进方案中，有两个重要的影响因素。第一个因素是卫星网络的建设进度，第二个是6G核心网相关标准的建设进度。基于此，本文设计了6G NSA演进的4个阶段，针对每个阶段提出不同的架构选项。6G NSA演进方案如图2所示。

在6G NSA演进的初级阶段，卫星互联网尚处于试验性组网阶段。如图2（a）所示，该阶段

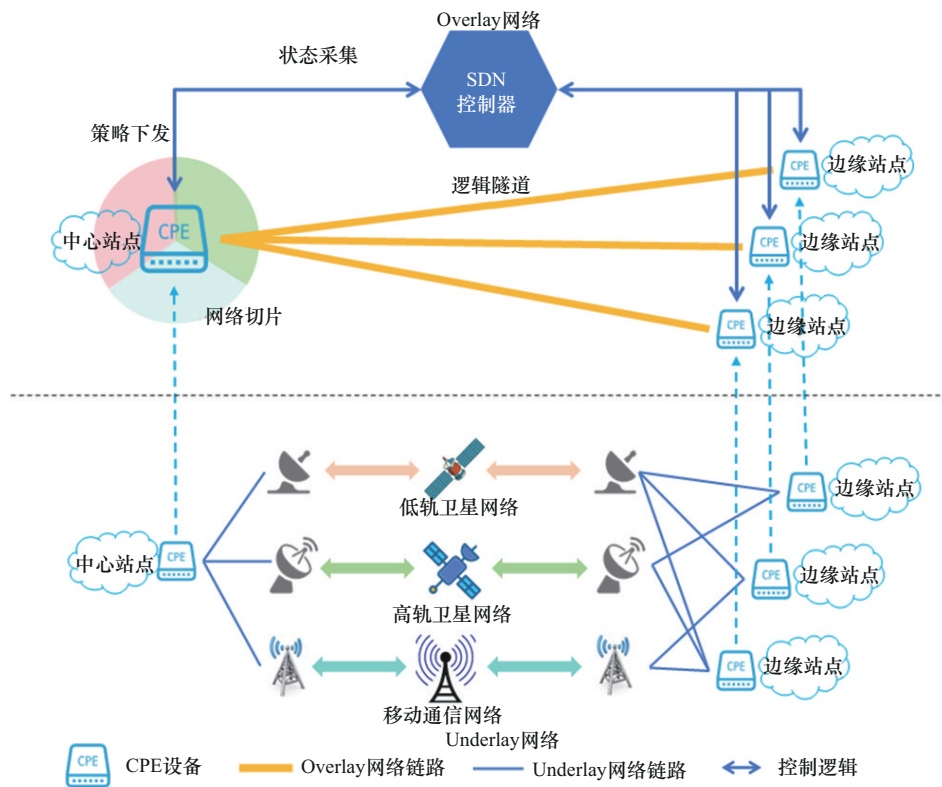


图1 基于异构卫星互联网的Overlay与Underlay融合组网架构

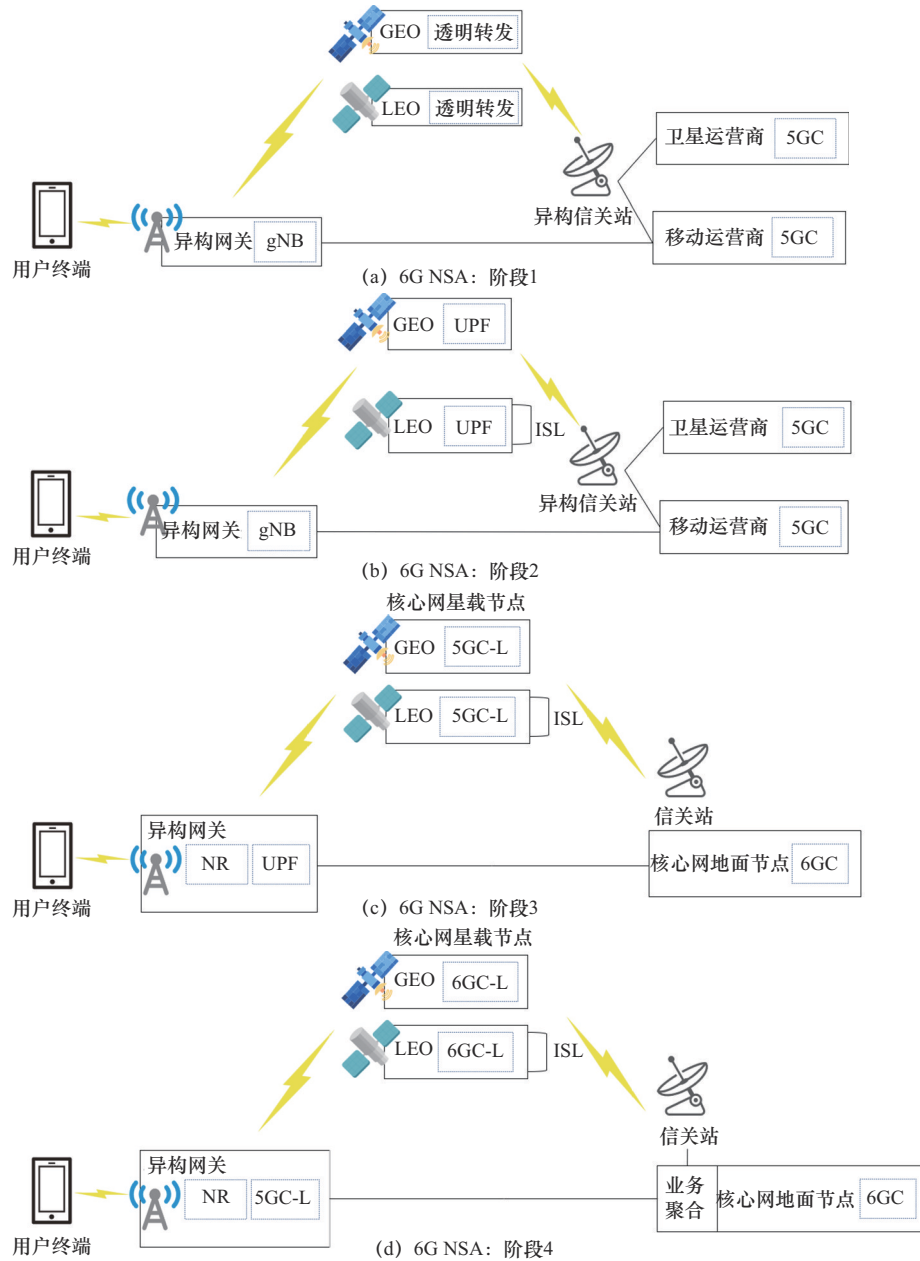


图2 6G NSA 演进方案

的架构核心特征体现为异构网关（heterogeneous gateway, HGW）对传统 5G 基站（gNB）的替代。HGW 作为 Overlay 与 Underlay 网络的关键连接点，集成多模接入能力，支持 5G 新无线-非授权频段（new radio - unlicensed, NR-U）空口协议以兼容现网终端，并通过馈电链路连接低地球轨道（LEO）卫星星座，形成星地融合接入层。而地球静止轨道（GEO）和 LEO 卫星采用非再生

式透明转发模式，仅完成射频信号放大与频段转换，不解析或修改物理层以上的协议数据单元（protocol data unit, PDU）。控制面架构层面，所有信令（包括终端注册、安全鉴权、会话管理）均由地面 5G 核心网（5G core network, 5GC）的接入和移动性管理功能（access and mobility management function, AMF）集中处理。地面 5GC 作为控制面锚点，确保与既有网络的无缝兼容。用



户终端的业务数据需回传至地面核心网用户面功能（user plane function, UPF）进行统一路由，5G核心网在这个阶段作为数据分流点。

在6G NSA演进的第二阶段，在轨卫星规模显著增加，网络架构呈现星地核心网协同下沉的特征。这一阶段的架构如图2（b）所示，Underlay网络继续提供基础的物理传输保障，Overlay网络的软件定义网络（software defined networking, SDN）控制器集群和物理网络代理节点进一步优化网络资源分配。卫星下沉UPF可对区域性高密度业务进行预处理，仅回传关键信息至地面核心网，减少星地回传带宽消耗。地面5GC作为唯一的控制面锚点，负责全局移动性管理、网络切片策略生成和高价值业务的会话控制。卫星星座通过星间链路（ISL）构建分布式网络拓扑，异构网关基于SDN的动态路径选择算法实时分析业务类型、链路负载和成本权重，执行毫秒级分流决策。

在6G NSA演进的第三阶段，低轨卫星星座规模突破万颗量级并实现全球无缝覆盖。这一阶段的架构如图2（c）所示，该阶段通过引入6G核心网（6G core network, 6GC）并与5G核心网共存，实现平滑演进。地面上部署6GC，卫星上部署轻量化5G核心网（5G core - lite, 5GC-L）。在控制层面，全局策略中枢部署于核心数据中心，作为主控制面锚点，集成网络切片管理功能（network slice management function, NSMF）和拓扑管理引擎（topology management engine, TME）。定义切片模板，根据应用场景动态分配卫星波束、地面频谱和计算资源。实时同步网关、卫星和终端状态。卫星作为辅控制面锚点，在星地链路中断或紧急场景中接管本地终端的接入鉴权和会话维持功能，通过异步状态同步协议（asynchronous state synchronization protocol, ASSP）与地面AMF保持最终一致性。在数据层面，异构网关可以本地处理部分数据，减少回传压力，满足部分低时延场景的使用需求。卫星星座和地

面次级数据中心基于对区域热点的分析，预加载内容到自身，降低回传流量成本。

在6G NSA演进的第四阶段，网络架构完成星地协议栈深度统一和资源全域池化。这一阶段的架构如图2（d）所示，卫星上部署轻量化6G核心网（6G core - lite, 6GC-L），异构网关上部署轻量化5G核心网。在控制层面，6G核心网的核心数据节点充当主锚点，基于智能策略引擎的业务聚合模块对卫星、地面等异构网络的多模态业务流进行统一编排和智能分级，动态实施频谱-算力-存储三位一体的资源优化配置。异构网关充当地控制面锚点，承担区域自治控制功能，实现“中心-边缘”协同。根据网络状态，灵活地调整本地策略或执行中心下发策略。对区域内的终端进行注册和移动性管理，并向中心同步数据。卫星星座通过星间链路构建去中心化控制面，实时同步全球网络状态至数据中心，并为异构网关提供跨域移动性预测，缩短信令传输距离，降低时延。在数据层面，卫星系统通过智能数据优化技术，在传输过程中动态调整信息处理方式，实现关键业务的高效传递和资源利用率的全面提升。

经过上述4个阶段的演进，6G核心网将逐步取代现有的5G核心网，提供天地一体化融合的互联网服务，并逐步发展为独立组网架构。

## 2 基于6G NSA的应用场景及运营服务模式

### 2.1 应用场景

6G NSA组网方案具备支撑空天地海多类应用场景的能力，具体包含如下几个方面。

（1）民航客机在起飞和降落过程中，地面网络可用状态将发生变化，网络服务通常需要由地面移动通信网络切换至卫星互联网，6G NSA组网方案可以提供卫星互联网与地面移动通信网络运营商的自适应切换，从而提供无缝的空中上网服务，提升飞行体验。船载通信、车载通信场景与民航客机类似，均可由6G NSA组网方案提供网络的覆盖保障。

(2) 在空天地海场景的应急通信中，视频监控类应用将消耗大量的网络带宽，网络需要对视频流进行实时处理与识别，及时发现灾情，提升响应速度，支持应急指挥和救援调度。偏远地区物联网应用中，海量接入点所采集的数据将消耗大量带宽，需要对物联网数据进行边缘处理，从而节省网络资源消耗。6G NSA 组网方案可支撑数据的在轨处理，能够有效支撑此类应用场景。

(3) 随着低空经济的发展，各类空中设备的自动驾驶、远程控制等要求对网络的低时延、高可靠，应用的多样性和智能化提出了更高的要求，6G NSA 可以通过网络的自适应切片、网络服务的自适应部署等策略，为各类空中设备提供多样化和智能化的服务。

## 2.2 业务可靠性保障策略

在 6G 非独立组网架构中，业务可靠性保障是核心设计目标之一。针对实时传输与非实时传输两类典型业务，本节提出业务的可靠性保障策略，并阐述其触发条件和业务适配机制。

### 2.2.1 主动切换与被动切换

对于实时传输类业务，如视频流传输，通常需要保障数据包的顺序，选择一路网络建立传输通道，进行数据流的连续传输。如果网络中断，异构网关将面临业务数据选路与切换的问题。异构网关为每类网络设置业务传输的优先级，默认优先选择高优先级网络进行数据传输，通过主动切换和被动切换两种策略，保障业务的可靠性。

主动切换是指用户或网络管理平台基于业务需求主动修改路径优先级策略，从而触发网络连

接切换的过程。主动切换和触发条件如图 3 所示，包括：用户手动调整网络偏好，例如优先选择低时延的低轨卫星网络；网络管理平台根据业务 SLA 动态优化路径，比如在视频会议场景中主动切换至高带宽链路；周期性链路质量评估触发策略更新，如定期切换至当前最优链路。主动切换的执行步骤为：首先，由用户或平台发起切换请求，随后 SDN 控制器集群解析该请求中的策略，HGW 根据解析结果获取新的路径优先级，接着 HGW 断开旧的连接并建立新的连接，最后终端同步更新网络配置，完成整个切换过程。

被动切换则是在高优先级网络链路中断或质量严重恶化时，网络自动检测并通过低优先级链路重建连接的过程。其触发条件如图 3 所示，主要包括：链路丢包率超过设定的阈值，例如实时业务的丢包率大于 10%；信号强度低于最低接入门限，比如卫星链路的信噪比小于 3 dB；终端移动导致原链路断开，例如低轨卫星过顶时的切换。被动切换的执行步骤如下：异构网关检测到链路异常后，向 SDN 控制器上报状态，控制器随即触发备用链路选择算法，异构网关根据算法结果激活低优先级链路，最后将数据流量迁移至新链路，并在原链路恢复后触发状态同步，确保网络连接的连续性和稳定性。

### 2.2.2 多路径自适应编码传输策略

对于非实时传输类业务，如大文件传输，通常需要充分利用多路网络资源，进行多路径并发传输，从而充分利用异构网络资源，降低业务时延。对于非实时传输类业务，采取多路径自适应编码传输策略，采取喷泉码<sup>[14]</sup>对源文件进行编码，

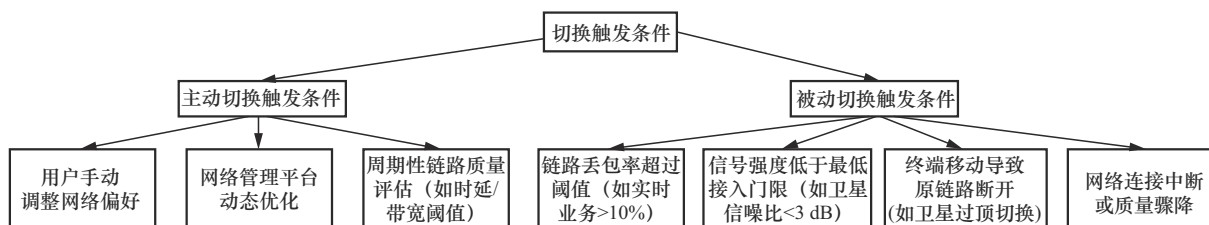


图 3 主动切换和被动切换触发条件



以编码包代替原始数据包。喷泉码是一类抹除码，数据包错误即可直接丢弃，有能力从一组给定的源符号中产生一串无限的编码符号序列，而在理想情况下，只需获得大小和源符号相同或稍大的任意编码符号子集，便可恢复源符号。

喷泉码无须确保每一个编码包正确达到，接收端收到数据包后无须回复确认。在网络丢包率较高时，喷泉码的传输策略有效地避免了等待确认和数据包重传的开销，可以持续生成编码包进行单向传输，直至接收端收到足够的编码包并还原出原始文件。因此，基于喷泉码的传输策略可以将网络抽象为无差异的数据流量通道。在6G NSA组网方案中，卫星网络和地面网络的状态可能是时变的，可以根据网络实时状态调整喷泉码的编码策略，如调整编码包大小、多路径上的数据包分配策略等，实现文件传输的时延最小化。

### 2.2.3 基于业务类型的差异化可靠性保障

针对异构网络资源的高效利用和业务稳定性保障需求，本节设计了基于业务类型的差异化资源调度策略框架，基于业务类型的差异化可靠性保障策略框架如图4所示。该框架以业务分类为起点，将接入业务划分为实时业务（如视频通话、直播流）和非实时业务（如文件传输、批量数据同步），并分别匹配自适应路径切换策略和喷泉码编码多路径传输策略，实现异构网络资源的虚拟化聚合和动态适配。

对于实时业务，首先系统通过部署于异构网关的业务识别模块判定业务类型，触发自适应路径切换策略。该策略基于预设的网络优先级序列（如移动通信网络→低轨卫星网络→高轨卫星网络），优先选择时延最低、稳定性最优的高优先级路径承载数据。当高优先级路径因卫星过境、链路遮挡等因素出现质量劣化（如时延突增超过阈值或丢包率 $>5\%$ ）时，异构网关实时感知链路状态并上报云端控制器，触发自动化路径切换流程：控制器根据全局网络拓扑信息与实时资源

状态，按优先级顺序筛选可用路径，通过SDN北向接口下发切换指令至异构网关。

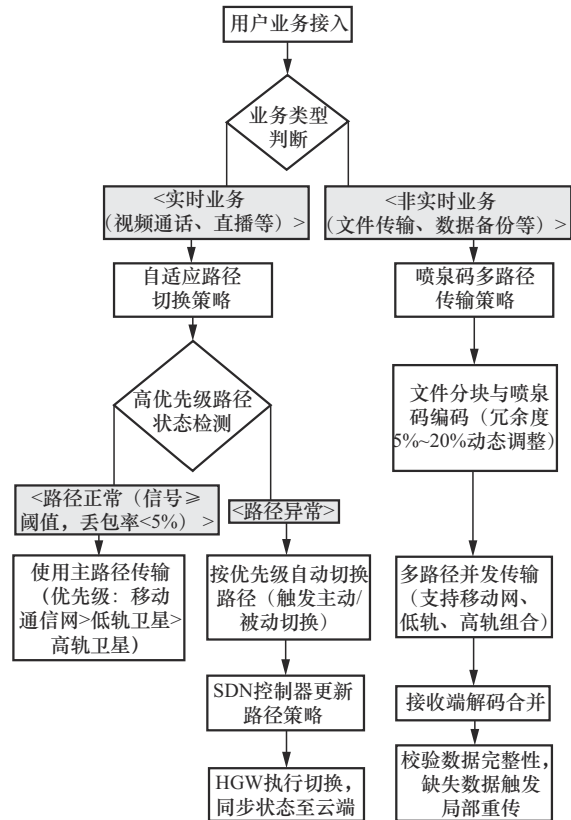


图4 基于业务类型的差异化可靠性保障策略框架

对于非实时业务，系统采用喷泉码编码技术对文件数据进行分片处理，生成具有冗余特性的编码数据包。喷泉码的无速率特性允许接收端在接收到略多于原始数据量的编码包后恢复完整文件，显著地提升了抗丢包能力。编码后的数据包通过异构网关接入的多路异构网络（高轨、低轨和地面移动通信）并行传输，利用SD-WAN技术实现流量负载均衡。云端控制器根据各链路的实时带宽、时延和丢包率来动态调整传输权重，HGW通过多路径聚合技术整合接收数据，即使单条链路丢包率高达90%，仍能通过其他链路冗余数据恢复完整文件。

### 2.3 基于异构网络聚合的运营服务模式

卫星互联网的运营首先需要对已有卫星网络和地面移动通信网络能力进行聚合。运营商提供

异构网关，接入多路卫星网络，异构网络资源进行整合，并面向用户提供网络接入能力。管理功能集成至运营服务平台，对全网接入点和接入用户进行统一管理。由于卫星网络资源稀缺，管理功能需要实时监控异构网络的状态并进行反馈，基于虚拟网络开展管理。管理平台以用户的具体业务为原子单位开展资源的管理、分配、调度等。为了提升异构卫星网络业务的可靠性，在异构网关中提供云化算力，通过云资源的管理，补充网络能力的不足，提升卫星互联网的用户体验。

在异构网络聚合的基础上，本文提出了两种运营服务模式。第一种模式为统一运营服务模式，即由卫星互联网运营商负责统一建设与管理，通过虚拟专网为特有应用单位提供私网及相应管理权限，支持开展小范围运营服务。第二种模式为

专网运营服务模式，即特定行业用户可基于少量终端和网络资源自行开展专网运营。通过两种运营服务模式，满足不同用户需求，提高运营效率和服务质量，形成可持续的运营服务能力和收益。

### 3 实验验证

#### 3.1 实验设计

为了验证本文所提的运营服务模式对业务的支撑能力，在北京和海南两地开展了大范围的实验。实验设计如下：在北京与海南两地部署异构网关，通过实际的高轨卫星、低轨卫星和移动通信网络进行网络接入，为多种类型用户设备如移动计算机、手机等提供互联网服务。在云服务器上部署运营服务管控平台，对资源进行管控。实验场景如图5所示。

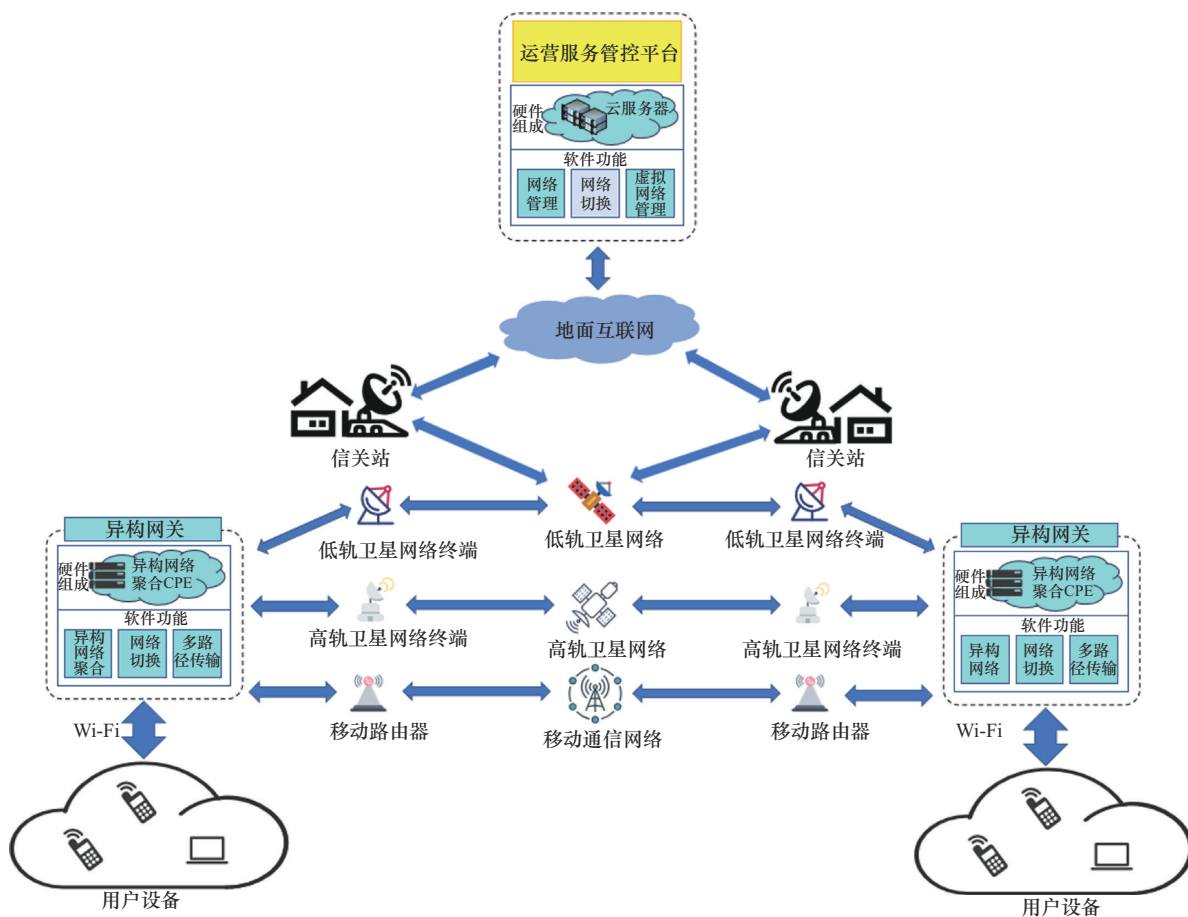


图5 实验场景



本文实验主要支撑两类业务：实时业务和非实时业务。对于实时业务，本文选择实时视频通话作为验证手段，重点考查网络切换时的卡顿时间等指标，以评估系统的实时业务保障能力。对于非实时业务，本文选择文件传输业务进行验证，主要分析任务启动时延、数据传输时延、数据解码时延和不同丢包率下的有效带宽等指标，从而验证系统对非实时业务的支持效果。

### 3.2 实时互联网业务稳定性保障能力分析

#### 3.2.1 异构网络切换时延测试

本组实验对异构网络的主动切换和被动切换分别进行分析。当网络切换被触发时，记录切换触发时间和全部业务流量切换至另一路网络的时间，二者相减，得出切换时延。对异构网络切换开展10组测试，记录切换时延，异构网络切换时延如图6所示。

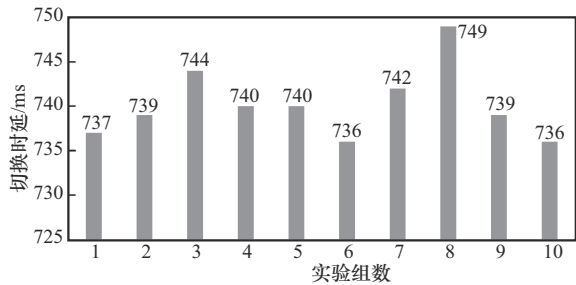


图6 异构网络切换时延

图6的每个数据点分别代表每一组切换的时延，切换的平均时延为741 ms，所有切换时延不大于1 s，表明基于异构卫星网络开展业务，主动切换能够在1 s之内实现全部业务流量的切换。

#### 3.2.2 实时业务稳定性保障能力测试

在实时视频业务持续过程中，触发网络切换，在切换过程中，业务将会临时中断一次，并重新建立传输链路。这一过程将产生一次卡顿。本组实验对切换时视频通话卡顿的时间进行统计，以此来验证本文所提方法的业务稳定性保障能力。异构网络切换情况下实时视频业务卡顿时间对比如图7所示。

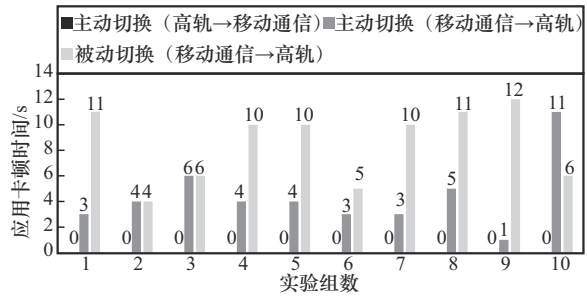


图7 异构网络切换情况下实时视频业务卡顿时间对比

该测试用例针对微信视频通话，测试高轨和移动通信互相主动切换和被动切换的卡顿时间。微信视频通话业务对网络的上下行带宽均有较高的需求。微信会根据网络情况自动调整清晰度，不可手动调整。

对比实验结果可以看出，高轨切换移动通信几乎感受不到卡顿，而移动通信切换高轨的卡顿较为明显，产生这种结果的原因是高轨重新建立连接的时延较长。

对比实验结果可以发现，网络自动被动切换卡顿时间高于主动切换。主动切换需要以下2步：(1) 断开旧的连接，(2) 建立新的连接路径。而被动切换需要以下4步：(1) 检测网络状态，(2) 检测超时，触发接口离线，(3) 断开旧的连接，(4) 建立新的连接。在被动切换中，旧网络断开等待检测超时的过程会造成额外的卡顿。

分析上述结果可以得出以下结论：基于异构卫星网络开展互联网业务，网络业务能够在1 s之内全部切换，而应用的流畅度则取决于应用本身的缓存和防抖动策略，最好情况下可以实现零卡顿用户无感的切换。本文所提的架构能够有效地保障实时互联网业务的稳定性。

### 3.3 非实时互联网业务时延保障能力分析

本组实验选择了一个固定的测试文件，其大小为9.52 MB，采取多路径编码传输方式进行多次数据传输，记录丢包率和传输时延，文件传输丢包率对比如图8所示，文件传输时延对比如图9所示。

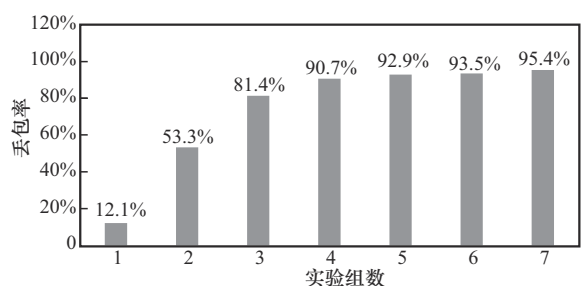


图8 文件传输丢包率对比

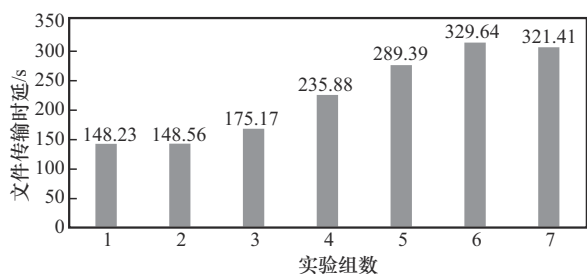


图9 文件传输时延对比

由图8可知，第一次数据传输时，网络情况最好，丢包率仅为12.1%，最后一次数据传输时，网络状态最差，丢包率高达95.4%。

从图9实验结果可以看出，对同一文件进行传输，丢包率为12.1%时，其传输时延最低为148.23 s，丢包率为93.5%时，时延最高达到329.64 s。本文对7次数据传输时的有效带宽进行了分析，有效带宽表示为传输文件大小除以数据传输时延，即数据传输过程中的实际等效带宽。

不同丢包率情况下异构卫星网络有效带宽对比如图10所示。当异构卫星网络不可靠，丢包率上升时，数据传输时延增加幅度远小于丢包率增加幅度。当丢包率为12.1%时，数据传输时延为2.28 min，数据传输的有效带宽为0.51 MB/s；当丢包率达到53.3%时，数据传输时延仍能保持在2.28 min，数据传输的有效带宽保持为0.51 MB/s；当丢包率达到81.4%时，数据传输时延能够保持在2.55 min，数据传输的有效带宽为0.43 MB/s，降低幅度不大；当丢包率达到90.7%时，数据传输时延增加至3.55 min，数据传输的有效带宽为0.32 MB/s；当丢包率高达95.4%时，数据传输时

延提升至5.21 min，数据传输的有效带宽仍能保持在0.24 MB/s。这一结果表明，即使链路极不可靠，本文所提方法仍能保障异构卫星网络的有效传输带宽。

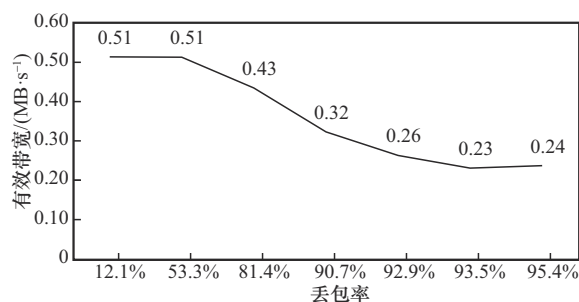


图10 不同丢包率情况下异构卫星网络有效带宽对比

#### 4 结束语

本文探讨了一种基于异构网络聚合的6G非独立组网方案，通过4个阶段的演进支撑从卫星互联网向6G网络的平滑升级，为卫星互联网基础设施的可持续演进提供了可复用的技术框架。进而提出了卫星互联网的运营服务模式，采取该模式进行网络运营，可以有效地聚合已有网络能力，保障业务的稳定性，通过运营服务带来收益，反哺网络基础设施的建设，形成商业闭环，从而加快卫星互联网的建设进度。

**致谢：** 本文所开展的实验由多家单位支撑完成：北京测试场地由银河航天（北京）网络技术有限公司提供，海南测试场地由中国星网网络应用有限公司提供。

#### 参考文献：

- [1] ITU. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond[R]. Geneva: ITU, 2023.
- [2] 陆海涛, 周强, 代九龙, 等. 面向6G的天地一体化网络安全技术[J]. 中兴通讯技术, 2024: 1-11.  
LU H T, ZHOU Q, DAI J L, et al. Network security technology for space-ground integrated networks towards 6G[J]. ZTE Technology Journal, 2024: 1-11.
- [3] 吴智慧, 赵汉青, 韩翔. 火箭运载需求空间巨大 商业航天市



- 场前景可期[C]//第七届空天动力联合会议暨中国航天第三专业信息网第四十三届技术交流会论文集(第二册). 2023: 91-96.
- WU Z H, ZHAO H Q, HAN X, et al. Huge demand space for rocket launch and promising prospects of commercial aerospace market [C]//Proceedings of the 7th Joint Conference on Aerospace Power and the 43rd Technical Exchange Conference of China Aerospace Third Professional Information Network (Volume II). 2023: 91-96.
- [4] 3GPP. Non-terrestrial networks (NTN) related RF and co-existence aspects (technical report 38.863) [R]. Sophia Antipolis, France: 3GPP, 2022.
- [5] IMT-2030 (6G) 推进组. 6G 网络架构展望 [R]. 北京: IMT-2030 (6G) 推进组, 2023.
- IMT-2030 (6G) Promotion Group. 6G network architecture outlook [R]. Beijing: IMT-2030 (6G) Promotion Group, 2023.
- [6] 房棣骥, 吕辉. 基于SDN的动态优化路径算法[C]//TD产业联盟, 中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社. 5G网络创新研讨会(2020)论文集. 中国移动通信集团设计院有限公司北京分公司, 2020: 4.
- FANG Z X, LYU H. Dynamic optimization path algorithm based on SDN [C]//TD Industry Alliance, Mobile Communication Magazine of the Seventh Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation. Proceedings of the 5G Network Innovation Symposium (2020). Beijing Branch of China Mobile Communications Group Design Institute Co., Ltd., 2020: 4.
- [7] 郭娘容. 基于网络流量分析的5G切片管理系统研究与实现[D]. 广州: 广东工业大学, 2022.
- GUO N R. Research and implementation of 5G slicing management system based on network traffic analysis [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2022.
- [8] XU M R, NIYATO D, XIONG Z H, et al. Quantum-secured space-air-ground integrated networks: concept, framework, and case study[J]. IEEE Wireless Communications, 2023, 30(6): 136-143.
- [9] 宋兴光. Underlay 网络与 VXLAN 隧道的自动化编排系统的设计与实现 [D]. 南京: 东南大学, 2021.
- SONG X G. Design and implementation of an automated orchestration system for Underlay networks and VXLAN tunnels [D]. Nanjing: Southeast University, 2021.
- [10] 刘远, 孙晨, 张嫣玲. 基于 Overlay 技术的零信任网络研究[J]. 信息网络安全, 2020, 20(10): 83-91.
- LIU Y, SUN C, ZHANG Y L. A zero trust network research based on overlay technology[J]. Netinfo Security, 2020, 20(10): 83-91.
- [11] 才艺. 面向海洋物联网的高低轨异构卫星接入策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- CAI Y. Research on access strategies for high and low orbit heterogeneous satellites in maritime Internet of Things [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2022.
- [12] 胡士斌, 王晶, 张琦, 等. 基于 VXLAN 技术的城域网随遇接入网络架构研究[C]//第十八届全国信号和智能信息处理与应用学术会议论文集. 2024: 262-265, 373.
- HU S B, WANG J, ZHANG Q, et al. Research on the network architecture for metropolitan area network seamless access based on VXLAN technology[C]//Proceedings of the 18th National Conference on Signal and Intelligent Information Processing and Applications. 2024: 262-265, 373.
- [13] 许浩, 张儒申. 5G 组网架构对比与演进方案[J]. 电信科学, 2020, 36(S1): 1-6.
- XU H, ZHANG R S. Comparison and evolution scheme of 5G networking architecture[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(S1): 1-6.
- [14] XU X B, WANG Q, NIU M H, et al. A reliable data transmission service for Tiansuan constellation[C]//Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Web Services (ICWS). Piscataway: IEEE Press, 2023: 728-730.

[作者简介]



黄锐 (1973- ), 男, 中国星网网络应用研究院有限公司高级工程师, 主要研究方向为卫星互联网、运营服务、网络资源调度。



杨欣欣 (1987- ), 男, 博士, 中国星网网络应用研究院有限公司高级工程师, 主要研究方向为卫星互联网、异构网络。



李铎 (1983- ), 男, 中国星网网络应用研究院有限公司高级工程师, 主要研究方向为卫星互联网、运营服务、异构网络。



谢柠灿 (2000- ), 男, 北京工业大学计算机学院硕士生, 主要研究方向为卫星边缘计算。



吴君毅 (1991- ), 男, 中国星网网络应用研究院有限公司高级工程师, 主要研究方向为卫星互联网、运营服务、智能网络。



徐晓斌 (1986- ), 男, 博士, 北京工业大学计算机学院副教授, 主要研究方向为卫星边缘计算、异构网络聚合。