



专题：空天地一体化通信技术

面向星地融合的5G网络增强及关键技术研究

张剑寅, 尼凌飞, 王汉白, 谷尚铭, 刘昱, 刘景磊
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 卫星在覆盖范围、可靠性和灵活性等方面与地面5G网络具有融合互补的优势, 尤其是低轨卫星和5G网络的融合已成为业界研究热点之一。重点面向星地融合领域介绍了5G网络增强架构及融合关键技术。首先, 分析了星地融合领域发展趋势并列举重点应用场景; 其次, 介绍了5G网络增强架构, 涉及基于透明转发卫星和基于可再生卫星的两种组网架构; 最后, 重点围绕星地融合通信业务需求分析了相关关键技术并进行了简要总结, 为5G星地融合的应用落地提供有益参考。

关键词: 星地融合; 5G网络增强架构; 融合关键技术

中图分类号: TN915.85

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2024164

Research on the enhancement and key technologies of 5G network for satellite-terrestrial integration

ZHANG Jianyin, NI Lingfei, WANG Hanbai, GU Shangming, LIU Yu, LIU Jinglei
China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Satellites have the advantages of complementing terrestrial 5G network in terms of coverage, reliability and flexibility, especially the integration of low earth orbit (LEO) satellite and the terrestrial 5G network has been one of the hot topics in the industry. The enhanced 5G network architecture and related key technologies for satellite-terrestrial integration were primarily introduced. Firstly, the development trends in the field of satellite-terrestrial integration were analyzed and key application scenarios were listed. Secondly, two enhanced 5G network architectures were introduced, which involved transparent relay satellites and renewable satellites. Finally, the related key technologies were analyzed for the business requirements of satellite-terrestrial integrated communication and the brief summary was given, which provided useful reference for the application of 5G satellite-terrestrial integration.

Key words: satellite-terrestrial integration, enhanced 5G network architecture, key technologies for integration

0 引言

长期以来, 卫星和地面移动通信作为两个产

业链各自独立发展。随着泛在宽带通信需求的增加和天地一体化通信技术的演进, 卫星与地面通信产业生态系统正逐步走向融合, 其中面向手机

直连卫星的卫星星座与地面网络融合已成为全球卫星互联网发展的热点^[1-4]。2024年1月, SpaceX宣布使用T-Mobile地面网络通过星链(Starlink)卫星发送了短信,并计划在一年内推出手机直连卫星技术并提供短信服务。目前,星链系统已成为在轨卫星数量最多的卫星系统,可支持星间链路、大规模相控阵天线等功能。截至2024年5月,星链系统已发射卫星超过6 000颗。

当前,地面通信网络已发展到5G阶段。5G网络采用服务化架构,面向增强型移动宽带(enhanced mobile broadband, eMBB)、超高可靠低时延通信(ultra-reliable low-latency communications, URLLC)和海量机器类通信(massive machine type communication, mMTC)等典型业务场景,实现了用户上、下行速率提升100 Mbit/s以上和时延降低到10 ms以内,网络商用发展趋于饱和。第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)面向5G星地融合网络开展了相关标准化工作^[5-8],从Release 14(Rel-14)开始提出卫星通信和地面通信网络的融合,在Rel-15启动对非地面网络(non terrestrial network, NTN)进行立项研究,在Rel-17形成第一版技术规范,有效实现地面5G网络在卫星通信领域的新拓展,引入了天地一体化新能力,突破传统卫星使用私有协议体制或国际空间数据系统咨询委员会等非3GPP协议体制。基于3GPP NTN使5G和卫星两个产业链相互促进、相互赋能,共同构建一个覆盖空天地海的泛在连接网络,可提供手机直连卫星普遍服务和卫星物联网业务,并推动卫星导航遥感/遥测与5G通信能力的新融合和跨地区、跨国、跨洲际业务的新孵化,成为未来6G网络演进的基石。

卫星网络相比地面网络主要具有通信覆盖区域大、距离远,机动灵活、不受地理条件的限制,通信频带宽、容量大,信道质量好、传输性能稳定和灾难容忍性强等显著优点。与此同时,

卫星网络也存在一些明显的缺点。首先,卫星链路传输衰减很大,要求地面和星上的通信设备具有大功率发射机、高灵敏度接收机和高增益天线。其次,卫星链路传输时延大。高轨卫星的传输时延可以达到百毫秒级别,而低轨卫星的传输时延也有几十毫秒,都远高于地面5G网络。除此之外,非对地静止轨道(non-geostationary-satellite orbit, NGSO)卫星网络还有频繁切换、链路接续困难的问题。针对上述问题,5G网络需要结合卫星网络的特点进行增强优化,为5G星地融合网络的商用落地扫除技术障碍。

1 面向星地融合的应用分析

5G与卫星网络的融合为扩大全球通信网络的覆盖范围,提升可靠性和灵活性提供了有效途径,5G的低时延、高带宽和广泛连通性能将与卫星通信的全球覆盖能力相结合,为各种应用市场带来创新的解决方案和服务。5G卫星通信市场正处于快速增长期,预计将在未来几年内实现显著扩展。2024年,全球5G卫星通信市场的估值为56.95亿美元,预计到2032年将增长至432.15亿美元,复合年增长率为28.12%。在未来的应用市场中,5G与卫星网络融合的实现可以面向国防、政府和商业以及个人等用户,提供偏远地区的互联网接入、无地面覆盖用户间通信、紧急响应和灾难恢复、媒体传播和内容分发等服务。面向星地融合网络,上述服务可归纳为如下3类典型业务场景。

(1) 手机直连卫星业务场景

在海洋、无人区、孤岛等地区,人烟稀少、面积广袤等原因导致地面基础通信设施匮乏,所以该类区域为地面通信网络的覆盖盲区,用户无法获取通信服务。通过在5G系统中整合卫星接入,可以在上述地区为用户提供手机直连卫星的音视频通话等服务,快速便捷地完成处于孤立区域的用户之间以及孤立区域用户与地面用户的通



信，也能节省在孤立区域建设网络互通设施的成本。同时，采用基于5G网络上星的星上不落地通信模式可满足时延敏感的通信场景，允许用户面数据直接通过卫星在用户间传输，从而避免经过地面网络传输而导致高时延和数据速率限制，并减少对回程资源的消耗，以提高用户的通信效率和服务质量。

(2) 广域监控和广播通知业务场景

对于在本地、外地、海上等不同公共区域提供服务的企业或政府机构，面临着地面网络难以实现广域覆盖以及在偏远或孤岛地区提供服务的挑战。此外，采用传统的点对点通信方式来实现并行通信不仅成本高昂，而且难以实现商业化应用。通过星地融合5G网络提供卫星广播/多播服务，可以有效地解决这些问题。借助卫星网络的广泛覆盖能力，运营商和企业可以广播/多播的形式向终端用户大规模并行传输服务内容。上述解决方案不仅克服了地面网络在覆盖范围和通信效率方面的限制，还为实现在偏远地区的广域通信提供了新的可能，从而支持企业和政府机构的服务更加广泛、高效地覆盖到各个区域。

(3) 行业内远距离通信业务场景

对于跨国金融、国际教育、远程医疗等分支机构较多、地理位置较分散的企业来说，由于地理限制，通信距离较远，企业难以实现安全、高效的业务运营。星地融合5G网络的部署可为这些企业建立专属的行业专网系统。该方案有效突破了地理限制，可保证业务的全面统筹和数据的即时同步，同时满足部分企业业务提出的低时延、高可靠需求。星地融合5G网络为有远距离通信需求的企业提供了一种全新的解决方案，它不仅解决了传统通信网络在安全、效率和可靠性方面的局限，还为企业的全球化发展开辟了新的道路。

上述业务场景体现了星地融合网络技术在各个领域的一些潜在应用。为满足这些应用场景的

需求，星地融合网络必须具备相应的网络能力并达到性能指标要求。该网络不仅要求服务质量(quality of service, QoS)能满足特定的带宽和时延要求，同时为了保障在多样化的网络环境中业务能够无缝切换并持续运行，需融合边缘计算技术，以降低网络时延并增强数据处理能力。此外，星地融合网络还需支持星载用户面功能(user plane function, UPF)的动态选择机制，通过根据实时的连接质量和用户需求动态调整数据路由策略，实现服务质量的最优化。面向星地融合的增强5G网络，可为用户提供更可靠、高效和广泛的通信服务体验。

2 面向星地融合的5G网络

2.1 星地融合网络概述

面向星地融合，国际电信联盟电信标准化部门(International Telecommunications Union Telecommunications Standardization Sector, ITU-T) Y.3200^[9]和 Y.3201^[10]已提出固定、移动和卫星融合网络架构(如图1所示)，包括基于卫星网络架构和基于地面网络架构。基于卫星网络包括卫星接入网络、基于卫星的核心网、基于卫星的业务平台以及基于卫星的数据网络。基于地面网络包括移动接入网络、固定接入网络、基于地面的核心网、基于地面的业务平台以及基于地面的数据网络。

卫星网络包含空间段和地面段，其中空间段由通信卫星组成，按照轨道高度的不同，包含低地球轨道(low earth orbit, LEO)、中地球轨道(medium earth orbit, MEO)和地球静止轨道(geostationary orbit, GEO) 3类卫星，采用3GPP NTN协议体制。地面段由信关站组成，与地面网络相连。地面网络包括5G接入网、核心网与业务系统。终端包含手机、车载/机载/船载卫星终端和物联网终端等类型，支持3GPP NTN空口协议。

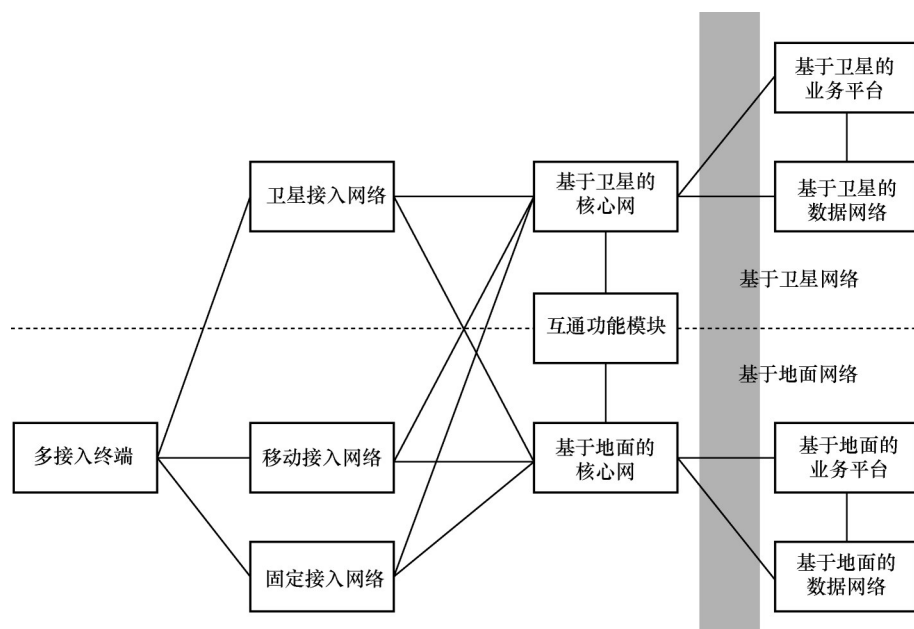


图1 固定、移动和卫星融合网络架构

2.2 5G星地融合组网

(1) 组网方式

根据卫星模式的不同分为基于透明转发卫星的星地融合5G网络和基于可再生卫星的星地融合5G网络。

基于透明转发卫星的星地融合5G网络包括用户设备（user equipment, UE）、卫星、信关站、地面NTN基站、核心网和业务平台系统，其中卫星只做信号的放大、转发和滤噪，类似直放站。

基于可再生卫星的星地融合5G网络中，根据卫星网络提供网元功能的不同，可分为基站上星的星地融合5G网络和基站+UPF上星的星地融合5G网络：基站上星的星地融合5G网络包括UE、卫星、信关站、核心网和业务平台系统，其中基

站部署在卫星上，信关站、核心网和业务平台系统在地面；基站+UPF上星的星地融合5G网络包括UE、卫星、信关站、核心网和业务平台系统，其中，基站和核心网用户面网元UPF部署在卫星上，信关站、其他核心网网元和业务平台系统部署在地面。

(2) 组网架构

基于透明转发卫星的星地融合5G网络组网架构如图2所示。

终端直连卫星通过地面信关站接入NTN基站，由基站根据用户号码段、目的地址段等信息将N2、N3接口消息分发到核心网网元接入和移动性管理功能（access and mobility management function, AMF）和UPF。基于透明转发卫

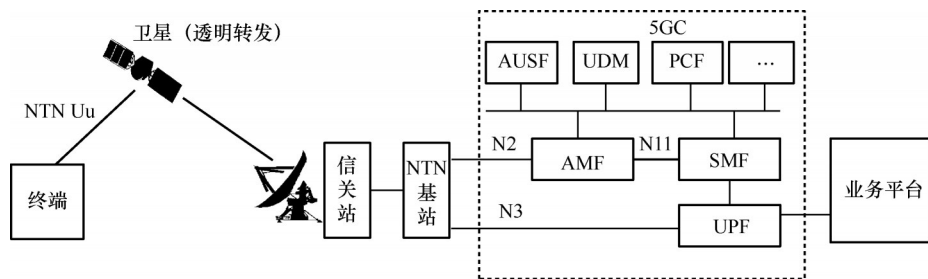


图2 基于透明转发卫星的星地融合5G网络组网架构



星的星地融合 5G 网元和业务平台主要在地面，能够继承并提供地面网已有业务以及切片、边缘计算等 5G 网络能力，满足偏远地区、航空、海面等大范围覆盖需求，但因信号传输距离有限，需部署较多卫星地面信关站，由卫星地面信关站完成星地信号转换处理。

基于透明转发卫星的星地融合 5G 网络技术相对成熟，在 3GPP NTN Rel-17 已完成空口部分的标准制定，与移动网络之间的 N2 接口（非接入层）新一代接入协议（next generation access protocol, NGAP）/流控制传输协议（stream control transmission protocol, SCTP）/互联网协议（Internet protocol, IP），N3 接口通用分组无线服务隧道协议（general packet radio service tunneling protocol, GTP）/用户数据报协议（user datagram protocol, UDP）/IP，在 3GPP 标准体系已做明确定义，并针对卫星接入规定在 RAT type 中新增卫星接入定义值新空口（new radio, NR）（LEO）、NR（MEO）和 NR（GEO）等^[11-12]。此外，AMF 增加对卫星接入类型的识别和对应接入的处理，并且针对卫星接入增加了 5G 服务质量标识（5G quality of service identity, 5QI）值（值为 10）和 QoS 控制要求。

基站上星的星地融合 5G 网络组网架构如图 3 所示。

卫星上将部署下一代无线基站（next generation node B, gNB）。终端直连星载 gNB，通过星载 gNB 将非接入层请求发送到地面核心网，完成

注册鉴权和协议数据单元（protocol data unit, PDU）会话建立。星载 gNB 通过地面信关站与地面 UPF 建立 GTP 隧道传递用户面数据。星地融合 5G 网络的核心网和业务平台部署在地面，能够继承并提供现有地面网通信业务以及边缘计算、切片等能力。此外可扩展基站间的 Xn 接口，结合星间链路（inter-satellite link, ISL）技术实现信息的远距离传递，减少对地面站部署的依赖，以实现全球覆盖。

基站上星的星地融合 5G 网络技术尚未成熟，目前在 3GPP Rel-19 标准已明确基站上星组网^[13]，相关网络要求（包含 Xn 接口的扩展并支持星间路由，NGSO 卫星星载 gNB 切换下的接入管理等）正在制定中。

gNB+UPF 上星的星地融合 5G 网络组网架构如图 4 所示。

卫星上将部署 gNB、核心网网元 UPF 和边缘计算平台。终端直连星载 gNB 通过地面信关站接入到用户归属地面核心网完成注册鉴权并建立星上会话，星载 gNB 与星载核心网网元 UPF 建立星上用户面数据转发通道。基站+UPF 上星的星地融合 5G 网络在提供现有地面网通信业务和能力外，可提供面向企业的星上边缘计算和 5G 局域网（local area network, LAN）业务，实现高安全不落地的终端—卫星—终端服务，此外可以通过星上边缘计算（edge computing, EC）处理和 ISL 降低馈电链路负荷，减少对地面站的依赖，实现海洋、岛屿、偏远地区，公众应急通信等场景下的极致覆盖。

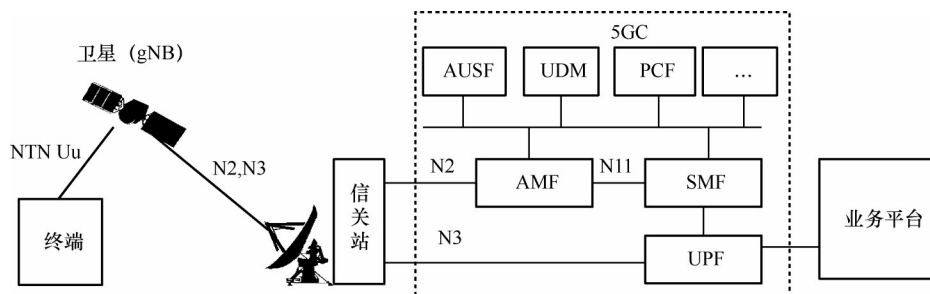


图3 基站上星的星地融合 5G 网络组网架构

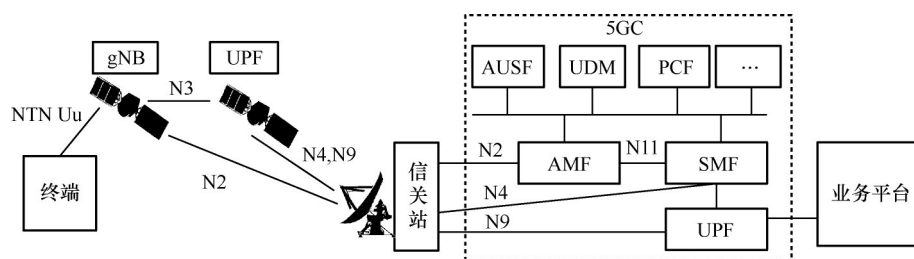


图4 gNB+UPF上星的星地融合5G网络组网架构

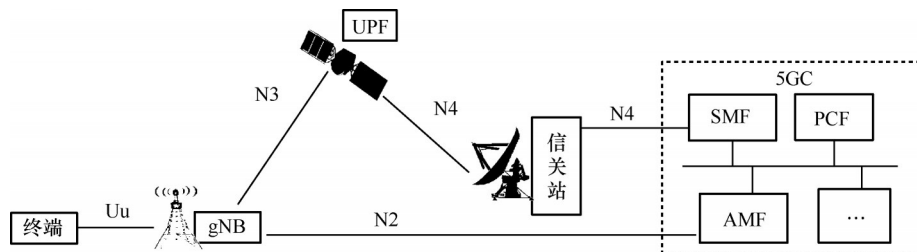


图5 GEO星载UPF组网架构

3GPP Rel-18提出基站在地面的GEO星载UPF组网^[14]（其架构如图5所示）。这种方式对地面基站依赖度高，无法突破在现有地面网不能覆盖地区提供服务的约束，难以做到空天地海全覆盖，且不支持提供手机直连卫星服务，应用场景有限，技术发展整体陷于停滞。在3GPP Rel-19提出基站+UPF上星的组网构想，相比仅UPF上星突破了在地面网不能覆盖地区提供服务的限制，与手机直连卫星结合成为产业发展的焦点。但星载UPF选择以及星间星地路由技术尚未形成统一标准，星载UPF的功能针对卫星网络时变特征尚在优化定义中，技术整体处于面向成熟落地的不断演进中。

3 面向星地融合的5G网络增强关键技术

面向星地融合，5G网络仍需结合卫星通信的特点进行多方面的功能增强，几项关键技术如下。

(1) 星地融合QoS保障

卫星通信存在许多会对QoS保障造成影响特性，如显著的信号传播时延、受限的通信带宽，以及由空间电磁干扰和气象条件敏感所导致的通信质量动态变化。这些特性限制了直接将地

面5G网络QoS策略应用于星地融合网络的可行性。针对星地融合通信环境，需要研究特定的QoS保障控制策略。

星地融合QoS保障机制如图6所示，在UE直连卫星场景下，信关站可以接收并存储用于星地融合QoS控制的相关信息。星载gNB通过信关站与地面核心网的AMF建立连接后，将卫星接入信息（卫星接入类型、卫星标识）以及卫星通信数据（卫星星历信息、卫星波束覆盖范围、卫星信道带宽等）等信息发送至核心网。在触发PDU会话建立流程时，会话管理功能（session management function, SMF）网元从AMF网元获取卫星接入类型并向策略控制功能（policy control function, PCF）网元请求用于会话的卫星QoS策略，PCF网元收到请求后向网络数据分析功能（network data analytics function, NWDAF）网元请求获取卫星接入的QoS约束集（用于筛选出卫星接入支持的QoS参数），NWDAF网元根据卫星星历、卫星波束覆盖范围等卫星通信数据分析计算，并形成卫星QoS约束集再下发至PCF网元，由PCF网元生成会话对应的卫星QoS策略，并下发对应的5QI、分配和保留优先级（alloca-

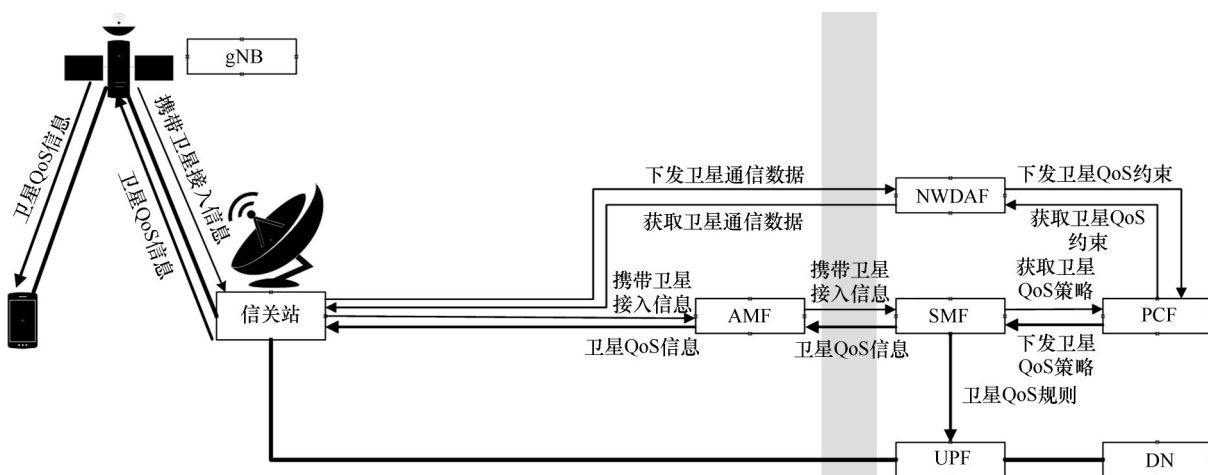


图6 星地融合QoS保障机制

tion and retention priority, ARP) 等 QoS 策略参数, 通过核心网完成到接入网与 UE 的卫星 QoS 信息的传递, 实现端到端的星地融合 QoS 保障。

针对用户直连卫星建立的 PDU 会话, NWDAF 网元同时在 AMF 进行卫星通信数据更新订阅。当 AMF 根据 UE 位置信息和卫星位置信息计算用户和卫星距离, 并判断该数值达到阈值时, AMF 从信关站发送获取与指定卫星相关的通信监测信息, 并将更新的卫星接入数据发送至 NWDAF 网元。根据 PCF 网元订阅信息, NWDAF 网元向 PCF 网元发送更新的卫星 QoS 约束集, PCF 网元根据更新的卫星 QoS 限制进行 QoS 策略更新。并且 PCF 网元在 SMF 网元订阅切换通知服务, 针对星间、星地、地星的切换场景进行通知。

此外, 还可结合新空口技术, 如智能反射面 (intelligent reflecting surface, IRS), 优化上述 QoS 保障机制。与北京邮电大学合作提出联合 IRS 调度、用户调度、功率和带宽分配的优化算法^[15], 实现了多 UE 接入下的 QoS 保障优化。该算法利用拉格朗日对偶法对原始变量和对偶变量进行交替优化, 直至原始残差满足收敛条件, 从而获得优化问题的次优解。在算法收敛性验证基础上, 随着用户数量的增加, 对该算法的平均系统吞吐量进行了仿真验证, 系统吞吐量用户分集

增益如图 7 所示, 仿真结果验证了当用户数量增加时, 所提算法能够带来较大的用户分集性能增益, 从而实现用户 QoS 的更优保障。

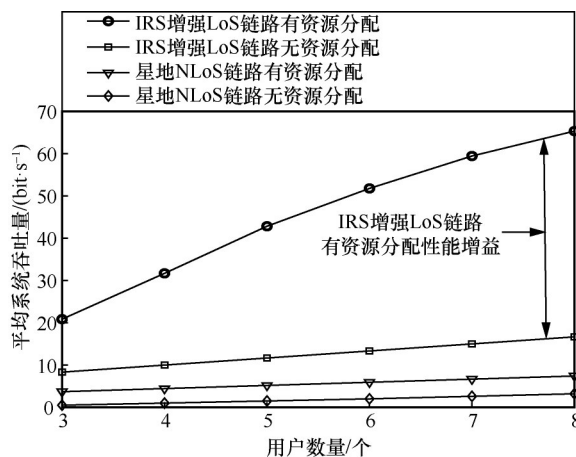


图7 系统吞吐量用户分集增益

(2) 切换业务连续性

针对手机直连卫星业务场景, 卫星上将部署 gNB。UE 建立 PDU 会话后, 由于 NGSO 卫星移动速度快 (如 LEO 卫星移动速度为 7.0~7.8 km/s), 将面临其连接星上 gNB 发生改变的情况。该场景下, 如不能及时将经过源星载 gNB 到地面 UPF 之间的现有会话路径切换到目的星载 gNB 到地面 UPF 的会话路径, 保障业务连续性的切换示意图如图 8 所示, 将发生 PDU 会话中断, 从而影响正在进

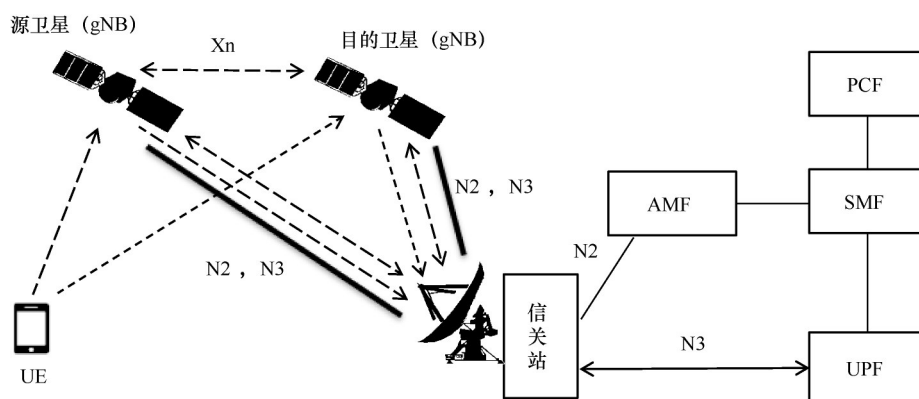


图8 保障业务连续性的切换示意图

行的通信服务。

该场景下，5GC在确认接入类型为NGSO卫星时，将获取星载gNB标识和UE位置信息，并在建立PDU会话后上报NWDAF。NWDAF首先获取当前卫星和相邻卫星的星历信息（包括周期内卫星覆盖时间，当前覆盖用户的卫星，卫星的最大仰角、持续覆盖时间等），构建星间切换拓扑，并结合卫星星历数据和UE、信关站位置信息计算卫星与UE、信关站之间的距离确定切换路径，形成切换有向图（如图9所示）。此后，将根据连接速率、通信持续时间和切换次数等影响因子选择切换最优路径，并形成切换参考信息，由PCF生成接入管理策略更新通知，通过5GC将切换参考信息发送到星载gNB，再下发至UE进行切换前准备。

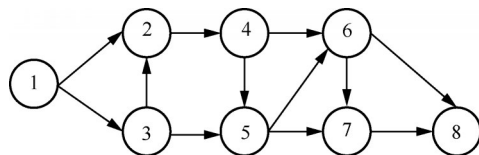


图9 用户通信期间卫星切换有向图

星载gNB根据收到的测量报告和星历数据等计算发生切换的时机，在当前卫星还未离开UE通信范围前，通过已建立的Xn连接向切换目的星载gNB发送切换请求，在收到切换确认后，发送切换指令到UE，指示UE与目的星载gNB交互进行接入，同时目的星载gNB发送切换路径请求

到地面5GC，地面5GC完成对应的PDU会话更新处理。在更新过程中，为保障通信不中断，在未建立切换目的星载gNB与地面5GC连接前，用户面业务数据仍通过源星载gNB发送。

为优化卫星用户切换业务连续性，与北京邮电大学合作提出了一种基于多属性图和遗传算法的智能切换方案^[16]，针对时延优化获取切换最佳路径。该方案首先将切换过程建模为从多属性图（包括仰角、覆盖时间和空闲信道状态等）中寻找最佳路径，然后引入遗传算法选择最优切换路径。如图10所示，该方案与基于仰角和基于剩余服务时间的切换方案相比，可以降低10%切换时延，有效优化卫星用户切换质量。

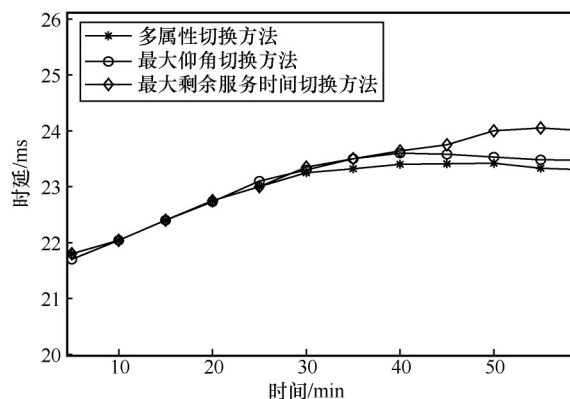


图10 不同切换方案下的切换时延

(3) 卫星紧急通信

应急通信保障一直以来都是涉及国计民生的重要课题，其在自然灾害等紧急情况发生时发挥



着巨大作用。当前5G地面网络可实现在大多数内陆地区的网络互通，为用户终端提供持续稳定的通信服务。但面对自然灾害、人为破坏等极端情况时，其容灾抗风险能力尚有不足。面向大众终端，结合3GPP NTN机制，星地融合网络中的紧急通信业务能够扩大应急通信覆盖和救援任务范围，实现多域全天候应急通信服务，以保证通信的可靠性和便捷性以及应答的及时性和有效性。

星地融合网络紧急通信架构如图11所示，为实现紧急业务提供，将在星地融合网络架构中部署紧急业务提供平台（可考虑地面网络紧急呼叫中心升级），同时可结合星上边缘计算、人工智能等技术提升业务处理的高效性。

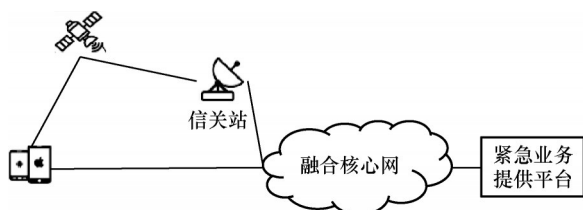


图11 星地融合网络紧急通信架构

在紧急情况下，紧急业务平台根据用户业务的紧急程度等级对用户的业务请求进行业务调度，确保用户的业务连续性 & QoS 要求。紧急呼叫业务提供可分为两种模式：地面处理模式和星上处理模式。地面处理模式参考现有IP多媒体子系统（IP multimedia subsystem, IMS）紧急业务呼叫进行处理。星上处理模式可实现同卫星覆盖下的语音通信。星上处理模式要求星上同时部署

gNB、UPF、增强代理呼叫会话控制功能（proxy-call session control function, P-CSCF）和应用网关（application gateway, AGW）等功能。其中增强P-CSCF具有动态实时存储注册在所在卫星星载UPF的用户身份信息及用户IP地址的增强功能。

使用卫星紧急通信服务的用户设备在进行IMS注册时，会向星载增强P-CSCF发送注册消息，其中包含用户身份、用户IP地址及P-CSCF地址。星载增强P-CSCF保存用户身份信息及用户IP地址，相关用户信息将用于星载增强P-CSCF在语音呼叫过程中查询判断主被叫用户是否为同卫星覆盖，以决定是否触发星上语音处理流程。若星载增强P-CSCF判定主被叫为同卫星覆盖，可触发星上紧急呼叫处理流程，以节省馈电链路，降低通信时延。在星上语音处理流程中，因主被叫用户同属星载增强P-CSCF处理，可简化原有呼叫流程中主被叫P-CSCF建立连接的过程，直接修改AGW媒体资源（主被叫用户的媒体资源信息），建立主被叫语音路由。

（4）星载UPF选择

在基站+UPF上星的星地融合5G网络中，地面和星上都有UPF功能，需要在业务提供时解决UPF选择问题，尤其是如何完成星载UPF的选择。

如图12所示，UE直连卫星基站接入地面5GC完成注册后，发送PDU会话建立请求到星载gNB。星载gNB转发PDU会话建立请求到AMF

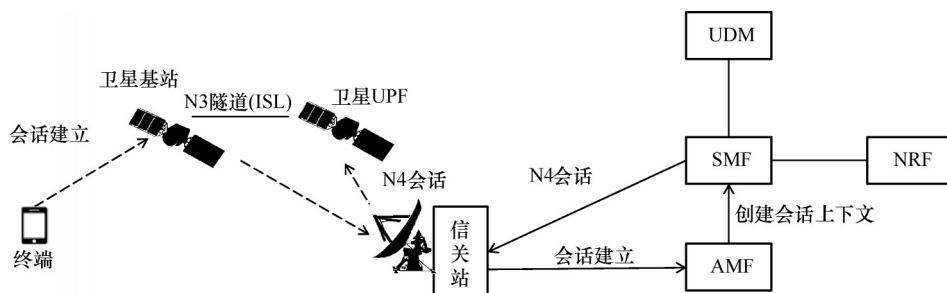


图12 星载UPF选择示意图

时携带基站所在的卫星标识信息, AMF收到后结合地面网选择规则和卫星接入类型等信息, 选择具有管理星载UPF能力的SMF并下发请求(携带卫星接入类型、卫星标识和基站所连接的信关站地址等信息)。SMF收到请求后结合UE的签约数据(支持星上业务)和获取到的卫星接入类型、基站所在卫星标识信息, 到网络存储功能(network repository function, NRF)查询星载UPF信息并获取所在卫星标识。SMF采用共星优先机制优选所在卫星标识与基站所在卫星标识一致的UPF, 当匹配不到时, SMF将查询星载gNB所在卫星的可用星间链路信息, 获取可用UPF所在的卫星信息, 确定候选UPF列表, 并结合UPF负载情况、可用容量和提供服务时间等影响因子选择最优星载UPF。最后, SMF通过信关站与选择的星载UPF建立N4会话, 并将星载UPF地址信息和关联的卫星信息(包括卫星标识, 星间链标识等)通过AMF发送给星载gNB, 实现星载gNB与星载UPF间的用户面数据隧道的建立, 以完成后续用户数据的转发和处理。

4 结束语

在天地一体化和卫星互联网等国家战略政策的推动下, 卫星与5G网络将天地融合相互赋能, 构建覆盖空天地海的连接+能力+算力的立体网络。本文结合面向星地融合的应用业务场景分析, 探讨了手机直连卫星和星地融合业务对5G网络的增强需求。同时分析了基于3GPP NTN的5G网络组网架构, 介绍了面向星地融合的5G网络增强关键技术, 希望为天地一体化网络的实现提供有益技术参考。

参考文献:

- [1] ITU-R. Key elements for integration of satellite systems into next generation access technologies: M.2460-0 [S]. 2019.
- [2] 汪春霆, 翟立君, 卢宁宁, 等. 卫星通信与5G融合关键技术与应用[J]. 国际太空, 2018(6): 11-16.
- WANG C T, ZHAI L J, LU N N, et al. Key technologies and application of satellite communications and 5G integration[J]. Space International, 2018(6): 11-16.
- [3] 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.
- CHEN S Z. Analysis of LEO satellite communication and suggestions for its development strategy in China[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(6): 1-13.
- [4] 肖永伟, 卢山, 宋艳军. “手机直连卫星”发展及关键技术[J]. 国际太空, 2024(1): 20-27.
- XIAO Y W, LU S, SONG Y J. Development and key technologies of “direct mobile phone to satellite” [J]. Space International, 2024(1): 20-27.
- [5] 孙建成, 孙嘉颖, 缪德山, 等. 5G NTN网络架构标准化演进的思考[J]. 电信科学, 2023, 39(9): 76-86.
- SUN J C, SUN J Y, MIAO D S, et al. Thoughts on the standardization evolution of 5G NTN network architecture[J]. Telecommunications Science, 2023, 39(9): 76-86.
- [6] 3GPP. Service requirements for the 5G system; Stage 1: TS 22.261[S]. 2024.
- [7] 3GPP. Study on integration of satellite components in the 5G architecture; Phase 2: TR 23.700-28[S]. 2022.
- [8] 3GPP. Study on satellite access-Phase 3: TR 22.865[S]. 2023.
- [9] ITU-T. Fixed, mobile and satellite convergence-requirements for IMT-2020 network and beyond: Y.3200[S]. 2023.
- [10] ITU-T. Fixed, mobile and satellite convergence-framework for IMT-2020 networks and beyond: Y.3201[S]. 2023.
- [11] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS): TS 23.501[S]. 2023.
- [12] 3GPP. NR; NR and NG-RAN overall description; Stage 2: TS 38.300[S]. 2024.
- [13] 3GPP. Study on integration of satellite components in the 5G architecture; Phase 3: TR 23.700-29[S]. 2024.
- [14] 3GPP. Study on 5G System with Satellite Backhaul: TR 23.700-27[S]. 2022.
- [15] MENG M, HU B, CHEN S Z, et al. Cooperative user-scheduling and resource allocation optimization for intelligent reflecting surface enhanced LEO satellite communication[J]. China Communications, 2024, 21(2): 227-244.
- [16] LI H Q, LIU R P, HU B, et al. A multi-attribute graph based handover scheme for LEO satellite communication networks [C]//Proceedings of the 2022 IEEE 10th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT). Piscataway: IEEE Press, 2022: 127-131.



[作者简介]



张剑寅（1974—），男，博士，中国移动通信有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为核心网演进、5G 专网、天地一体化网络等。



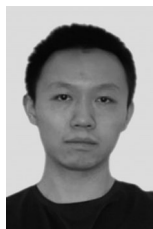
尼凌飞（1978—），男，中国移动通信有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为天地一体化网络、核心网演进、网络能力开放等。



王汉白（1999—），男，中国移动通信有限公司研究院助理工程师，主要研究方向为天地一体化网络、核心网演进等。



谷尚铭（1995—），女，中国移动通信有限公司研究院工程师，主要研究方向为天地一体化网络、核心网演进等。



刘昱（1991—），男，博士，中国移动通信有限公司研究院工程师，主要研究方向为网络能力开放、移动通信、天地一体化网络等。



刘景磊（1982—），男，中国移动通信有限公司研究院高级工程师、网络与IT技术研究所副所长，主要研究方向为移动核心网、NFV/SDN、天地一体化网络和算力网络等。