

# 星地网络融合架构及组网场景分析

## Space-ground Network Convergence Architecture and Networking Scenarios Analysis

陈婉珺,林琳,穆佳,王泽林(中国联通研究院,北京 100048)  
Chen Wanjun,Lin Lin,Mu Jia,Wang Zelin(China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China)

### 摘要:

随着网络的不断发展,未来通信网络服务范围将扩展至空天地,卫星网络成为未来重要发展方向。5G与卫星网络融合能够为用户提供更可靠的服务体验,降低运营商网络部署成本。从核心网出发,分析卫星网络与通信网络融合发展现状,探索未来融合网络可能的网络形态,选择边缘计算和VN组通信2个典型场景,详细分析了其面临的问题,并提出了相应的技术方案。

### 关键词:

NTN;卫星通信;星载核心网  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.11.001  
文章编号:1007-3043(2023)11-0001-06  
中图分类号:TN927  
文献标识码:A  
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

With the development of the network, the future communication network service scope will be extended to space and earth. Satellite network will become an important development direction in the future. The integration of 5G and satellite networks can provide users with a more reliable service experience and reduce network deployment costs for operators. From the core network, it analyzes the current situation of the space-ground network, and explores the possible network forms. Then two typical scenarios of edge computing and VN group communication are selected, and the problems they face are analyzed, and the corresponding technical solutions are put forward.

### Keywords:

NTN; Satellite communications; On-board core network

引用格式:陈婉珺,林琳,穆佳,等.星地网络融合架构及组网场景分析[J].邮电设计技术,2023(11):1-6.

## 0 前言

随着网络的不断发展,通信行业的研究工作已经向6G迈进。IMT-2030推进组在《6G总体愿景与潜在关键技术白皮书》中指出,6G潜在应用场景包括全域覆盖和无线立体的超级连接。随着业务的逐渐融合和部署场景的不断扩大,未来地面蜂窝网与高轨卫星网络、中低轨卫星网络、高空平台在内的空间网络相互融合,构建全球广域覆盖的空天地一体化三维立体组网,为用户提供无盲区的宽带移动通信服务。星地

一体融合组网已经成为未来网络的一项关键技术。

## 1 卫星通信

### 1.1 卫星通信优势

卫星通信系统是指利用人造地球卫星作为中继站转发无线电波,实现2个或多个地球站之间或地球与航天器之间的一种通信系统。相比地面无线通信网络,卫星通信有如下优势。

a) 覆盖广:卫星互联网可作为地面网络的补充,覆盖地面网络无法覆盖及人群密度低的区域,如海洋、天空、高原、农村等地区,有效解决这些地区的互联网接入问题;同时,通过合理部署卫星,可以实现全球性的通信覆盖,从极地到赤道都可以进行通信。

基金项目:国家重点研发计划(2022YFB2902503)

收稿日期:2023-10-10

b) 克服地理限制: 卫星通信可以克服地球的地理限制, 无需受到地形、建筑物、障碍物等因素的影响, 从而在任何地方都可以实现通信。

c) 较大的容量和连接密度: 卫星通信系统可以支持大量的设备同时连接, 适用于大规模物联网(IoT)应用, 如智能城市、智能交通等。

## 1.2 轨道卫星分类

基于卫星的高度不同, 轨道卫星可以分为3类。

a) 近地轨道(LEO): 高度一般在2 000 km以下, 由于距离较近, 时延一般小于50 ms。典型的场景包括绝大多数对地观测卫星、空间站、Starlink等。

b) 中地轨道(MEO): 位于LEO和GEO之间, 时延大于135 ms。典型的场景包括GPS、北斗、伽利略等。

c) 高轨及地球静止轨道(GEO): 地球赤道面上方35 786 km的圆形轨道, 时延大于560 ms。典型的场景包括大多数商用通信卫星、广播电视卫星和辅助定位卫星等。

基于不同轨道卫星的特点, 高、中、低轨卫星也有各自的优劣势, 表1给出了3种轨道卫星技术的对比。从表1可以看出, 低轨卫星相对于中、高轨卫星, 传输时延短, 路径损耗小。地面设备与低轨卫星通信不需要太大功率, 对电话和手持式设备来说更为理想, 因此低轨卫星更适合应用于通信系统。但由于每个低轨卫星覆盖面积较小, 因此需要由多个卫星组成大型通信系统, 也就是星云通信系统。

表1 3种轨道卫星技术对比

对比项	高轨	中轨	低轨
高度/km	35 768	2 000~35 786	160~2 000
周期/h	-	3.5~7.5	1.5~1.8
用户切换频率	无	低	高
技术优势	部署简单, 卫星固定	居中	时延低, 星座容量高
技术劣势	通信时延大, 单星容量低	居中	组网复杂, 卫星相对地面移动快
典型星座及能力	VIASAT: 总容量为180 Gbit/s, 用户速率为12~100 Mbit/s, 时延为500 ms	O3B: 16颗星, 单星容量为16 Gbit/s, 用户速率为100~500 Mbit/s, 时延为120~180 ms	星链: 第一批4 408颗星, 单星容量为20 Gbit/s, 用户速率为30~500 Mbit/s, 时延为20~90 ms

## 2 星地融合网络研究进展

当前陆地通信(TN)覆盖不到20%的陆地区域和不到5%的海洋区域。卫星通信开始进入快车道, 截至2022年7月23日, SpaceX已发射2 042颗卫星, 服务

36个国家和地区, 约40万用户。卫星通信在覆盖、可靠性、灵活性等方面可以弥补地面移动通信的不足, 5G与卫星网络融合能够为用户提供更可靠的服务体验, 降低运营商网络部署成本。

3GPP将卫星网络划入非地面网络(Non-Terrestrial Networks, NTN)范畴, 从R14开始开展星地融合的研究工作, 在R15中明确将支持卫星接入作为5G系统需求; 在R16中对NR支持NTN解决方案进行SI立项, 输出3GPP TR 38.821, 明确了透明接入、DU上星和NR上星3种卫星接入5G系统的架构; 在R17中针对卫星接入对核心网的影响问题及解决方案进行研究和评估, 输出3GPP TR 23.737, 并将相关成熟研究成果应用于3GPP TS 23.501中, 根据3GPP的规划, 后续R18还会对卫星接入多连接、核心网上星和星上边缘计算等卫星与5G的融合增强特性进行研究, 深入推动5G与卫星网络融合演进。

当前卫星接入演进主要包含三大方向: 卫星回传, 卫星作为回传网连接基站和核心网; 透明模式, 卫星只做频率转换、数据信令透传; 再生模式, 基站上星, NR空口信号星上产生。随着研究的不断深入, 卫星通信融合从透明模式, 逐步向核心网(UPF)、基站上星演进(见图1)。

## 3 星地网络融合架构及组网场景

### 3.1 卫星回传组网场景及技术看案

卫星回传方式, 主要考虑在偏远区域, 如高山、孤岛等, 地面回传网难以铺设, 此时需要卫星作为回传网, 典型的组网场景不仅包括单星单链, 还包括多星串联(星际链路)、多星并联(中低轨)(见图2和图3)。这2种组网场景面临不少挑战, 采用多星串联方式, 不同卫星的轨道不同, 卫星之间的距离是动态变化的, 将导致时延、带宽的动态变化以及报文的乱序; 而采用多星并联方式, 同一个基站和5GC之间存在多条链路, 且时延、带宽不同, 需要考虑如何选择合适的路径和QoS策略。可从链路监测、策略增强、信息开放3个方面, 采用如图4所示流程解决上述问题。

a) 链路监测: 用户建立PDU会话后, AMF将卫星回传类型告诉SMF, 进而传递给PCF, PCF触发QoS Monitoring, 测量卫星链路的时延。

b) 策略增强: SMF会将UPF收到的链路时延的检测结果上报给PCF。PCF根据类型、时延等设置不同QoS策略; 当QoS Monitoring的结果不能满足之前预

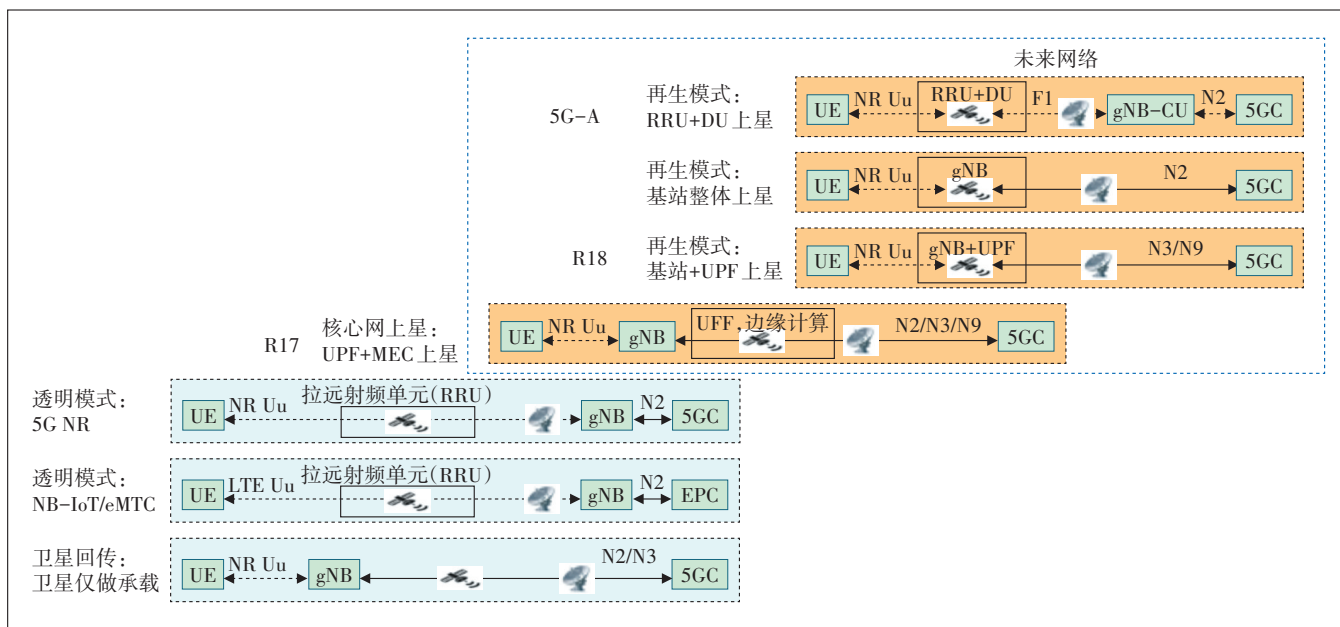


图1 3GPP卫星接入演进三大方向

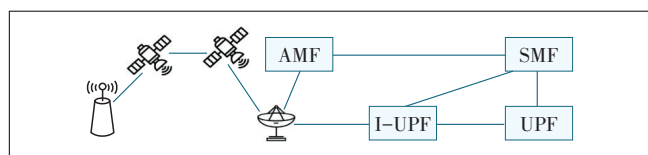


图2 多星串联(星际链路)

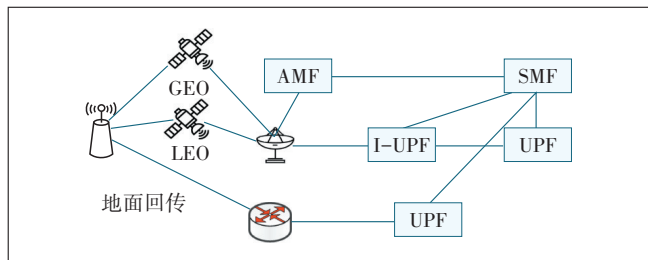


图3 多星并联(中低轨)

设的QoS策略要求时,PCF可以选择进行策略更新,比如选择其他合适的UPF或者回传链路。

c) 信息开放:PCF还可以将不同卫星回传网络的信息向AF开放,用于辅助AF应用侧进行相应的调整,也可以将这些信息告知CHF,用于制定差异化的计费策略、网络统计管理或者解决客户投诉等。

### 3.2 未来星载核心网基本架构

随着卫星网络的发展以及业务需求的丰富,考虑到尽可能缩短用户面时延,未来也可以考虑按需将部分核心网设备放置在卫星上。

5G核心网采用NFV架构,控制面与用户面分离。

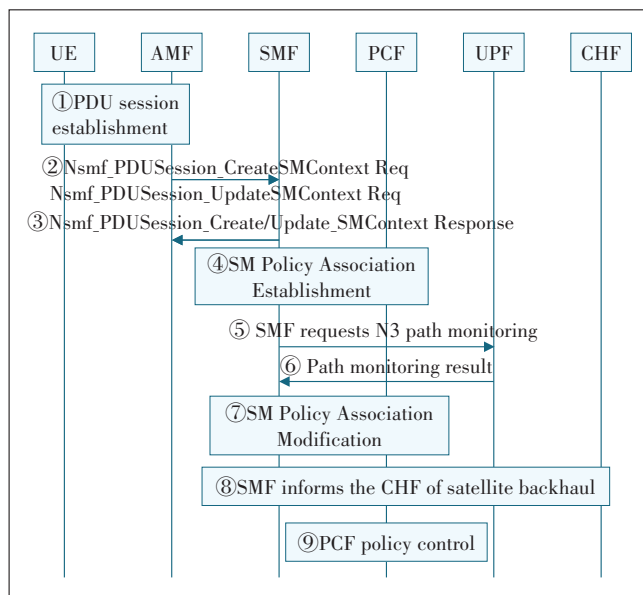


图4 动态时延监控和QoS自适应方案流程

考虑到卫星的体积有限,算力和存储资源有限,核心网网元可以考虑仅部分部署至卫星上。其中,控制面网元如SMF与PCF等部署在地面信关站上,用于业务控制、资源分配、用户管理和安全管控;UPF以及MEC等可以考虑部署在卫星上,其中UPF网元主要负责用户数据流量的转发。

这种部署方式,可以满足以下3种主要的用户需求。

a) 高安全等级的特殊用户为了避免业务落地过

程中遭到窃听,要求实现直接连接。

b) 在某些场景中,落地交换可能具有过大的时延,不满足 QoS 指标要求,例如同一颗卫星下 2 个应急用户的信息交换,将 UPF 调度在该卫星上可明显降低时延。

c) 地面信关站与卫星之间的互联因气象或者其他因素而不可用时,将 UPF 部署在卫星上可提供基本的服务能力,提升系统的可靠性。

如图 5 所示,基站通过 N2 接口与地面 5G 核心网相连,并根据接收到的地面 5G 核心网指示,使用 N2 接口将本地用户面数据路由到部署在卫星上的 UPF。卫星上 UPF 网元,通过 N6 接口与卫星上 MEC 平台相连,实现星上本地用户面数据的路由转发和处理,缩短用户面时延。卫星上 UPF 通过 N4 接口与地面 5G 核心网相连,接收 N4 会话管理指令并处理。

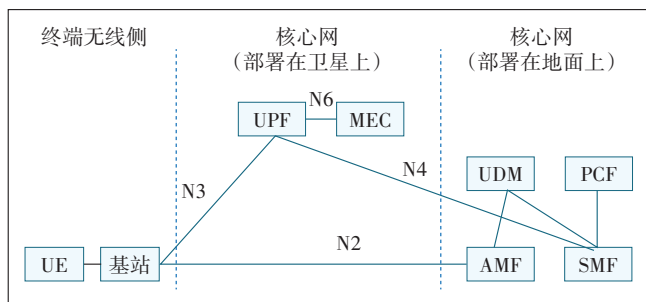


图5 星载核心网组网架构

### 3.3 星载核心网组网场景及技术方案的

星载核心网与不同的网络技术相结合,可以满足更多的业务需求,进一步扩展卫星网络的适用场景,真正让卫星网络成为蜂窝地面网络的有效补充,实现全域覆盖。

场景 1: 卫星网络与边缘计算相结合。在 GEO 卫星上部署边缘应用,例如地球遥感遥测、天气监测、视频直播等,避免数据往返多次传输,浪费频谱资源。组网架构如图 6 所示,星载 UPF 作为分流点,同时在卫星上设置边缘计算应用服务器 (Edge Application Server, EAS),通过 N6 口相连。星载 EAS 能够提供的服务就不需要再通过回传链路向地面服务器获取,极大地缩短了传输时延。而星载 EAS 不能提供的服务,再路由回地面网络,接入相应的业务。而对于 EASDF,考虑到 SMF 和 DNS 服务器均部署在地面,因此 EASDF 也可以部署在地面网络。

具体的实现方案如图 7 所示,AMF 将从 gNB 收到的卫星回传信息及 gNB ID 告知 SMF,SMF 从 UDM 获

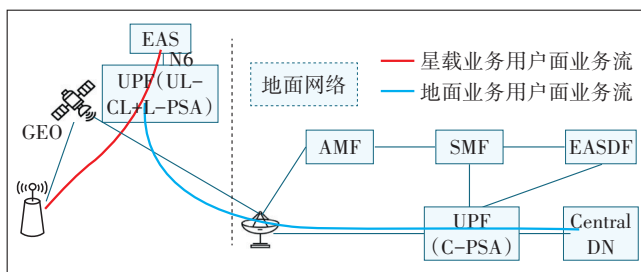


图6 通过星载 UPF 实现边缘计算

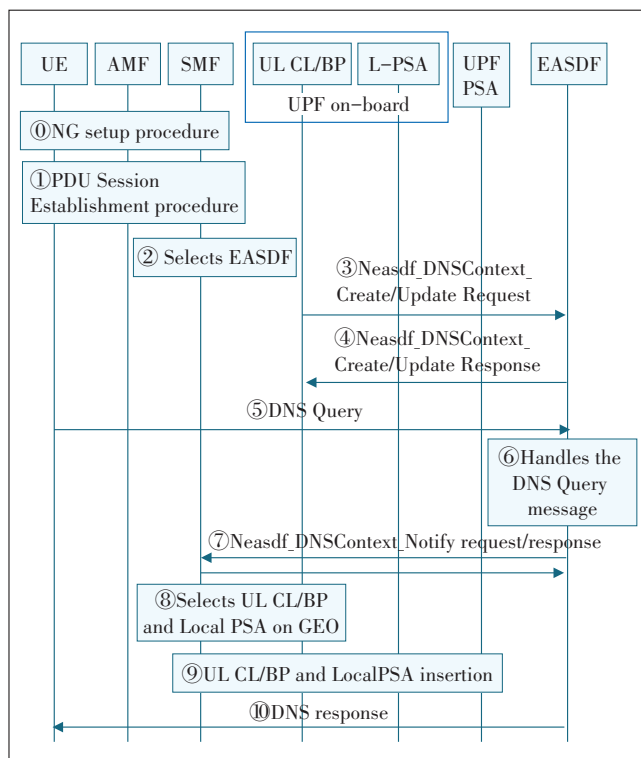


图7 星载 UPF 进行边缘分流流程

取用户签约,并核实 UE 是否授权通过 EASDF 进行 EAS 发现,若没有,则流程终止;若 UE 已授权,则 SMF 基于用户签约选择 EASDF。

SMF 基于 EASDF 告知的 EAS 信息、UPF 选择规则、可能的用户体验、DN 的性能分析等找到星载 EAS;同时,SMF 通过之前的 N4 建链消息中获得 AMF 告知的 gNB ID,如果是对应星载 UPF 的,则选择星载 UPF 作为 ULCL/BP 分流点及辅锚点(L-PSA)。对于卫星连接的场景,SMF 必须选择星载 UPF 作为 ULCL/BP 分流点及辅锚点。

场景 2: 卫星网络与 5G LAN 相结合。5G LAN 有基于本地转发 (Local Switch)、基于 N6 转发和基于 N19 转发 3 种主要的转发方式 (见图 8)。

考虑到星载核心网缩短用户面时延的关键诉求,

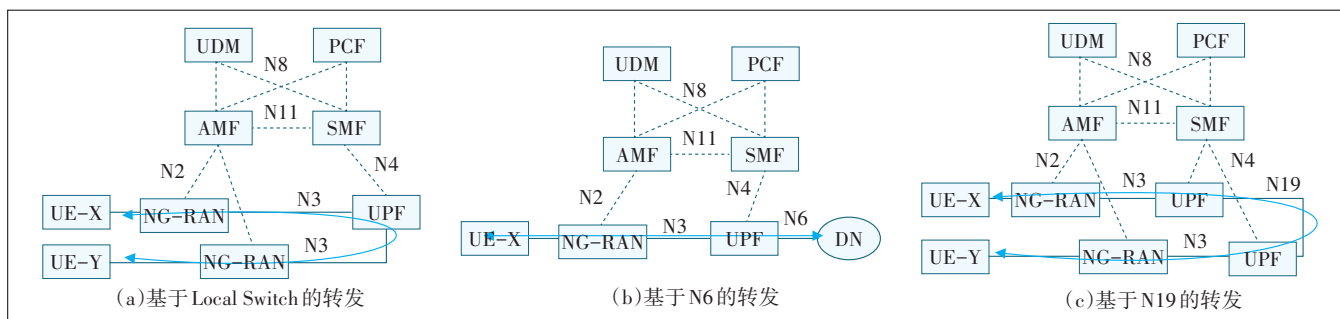


图8 5G LAN用户面转发方式

星载核心网可以考虑引入 Local Switch 及 N19 转发 2 种方式。本地转发方式如图 9 所示, 可以由星载 UPF 完成注册在该 UPF 下的同一 VN 组的多个 UE 之间的互通, 这种方式可以有效地扩大大地转发方式下 VN 组的覆盖范围; 若想进一步扩大 VN 范围, 也可以采用 N19 转发方式 (见图 10), 在 2 个星载 UPF 之间建立 N19 接口。相较于 UPF 部署在地面的方式, 由星载 UPF 完成 5G LAN 的 VN 组用户之间的数据转发, 可以让业务 QoS 得到很大的提升。

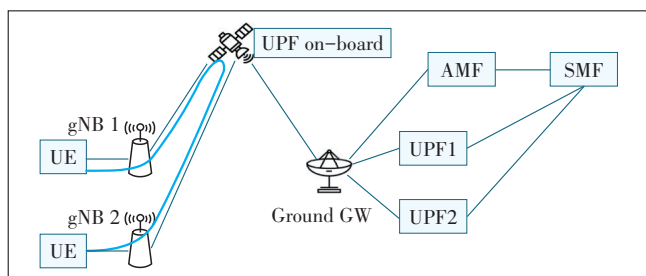


图9 星载UPF支持本地转发方式组网

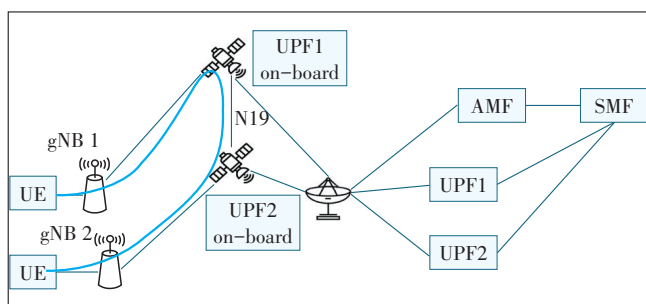


图10 星载UPF支持N19转发方式组网

星载 UPF 进行 VN 组通信的流程如图 11 所示, 需要 gNB 告知 AMF, 使 AMF 能够发现服务当前 UE 的 gNB 具有卫星回传, 并将相关信息告知 SMF。再由 SMF 选择星载 UPF 作为分流点和辅锚点, 来完成 VN 组用户之间的通信。

如图 11 所示, UE1 先建立会话, 此时 AMF 若依据 DNN/S-NSSAI 信息发现该用户关联到一个 5G VN 组,

则为其选择默认的 SMF, 同时若 AMF 将从 gNB 获得的 gNB ID 和卫星回传信息告知 SMF。SMF 从 UDM 获取签约信息, 其中包含 VN 组 ID。此时, SMF 决定是否插入分流点和辅锚点来激活本地交换。若此时该 VN 组没有其他 PDU 会话建立, 则暂时不插入 ULCL/BP 分流点和辅锚点。SMF 正常选择地面 UPF 作为主锚点。此时 UE1 的会话建立完成。

此后, UE2 建立会话, 同样 AMF 发现其关联到一个 VN 组, 选择默认的 SMF。此时 SMF 发现之前该组已经有 PDU 会话, 则插入 ULCL/BP 分流点和辅锚点。SMF 建立 N4 会话, 下发 FAR 和 PDR。若 UE1 和 UE2 由相同的 GEO UPF1 提供卫星回传, 则 SMF 通过 UPF1 实现本地交换; 若它们是由不同的 GEO UPF 提供服务的, SMF 可以在 2 个 UPF 之间建立 N19 会话。SMF 给分流点 UPF 的 PDR 和 FAR 指示, 由星载 UPF 服务的所有的组用户的上行流量会转发到辅锚点, 而辅锚点发送的下行流量会通过 N3 隧道转发到 gNB; 下发给辅锚点的 PDR 和 FAR, 则所有的上行流量给 gNB, 而所有的下行流量通过 N9 给分流点。

最后 SMF 为会话 1 进行会话更新, 选择分流点和辅锚点。

#### 4 后续展望

综上所述, 5G 与卫星的互补优势将推动 5G 与卫星网络走向融合发展, 从透明转发到再生模式, 再到星载核心网, 人们在不断探索 5G 网络与卫星网络的融合形态, 不断增强卫星融合网络的业务体验, 拓展更加丰富的融合业务场景, 实现空天地一体化业务覆盖。但卫星通信与 5G 融合的过程中仍存在很多技术问题, 后续也会进行重点研究。

接口协议方面: N4 接口之前都是由地面稳定可靠的光纤传输来实现的, 由卫星链路替代地面的光纤传输, 势必需要对现有的接口协议进行相应的协议增强

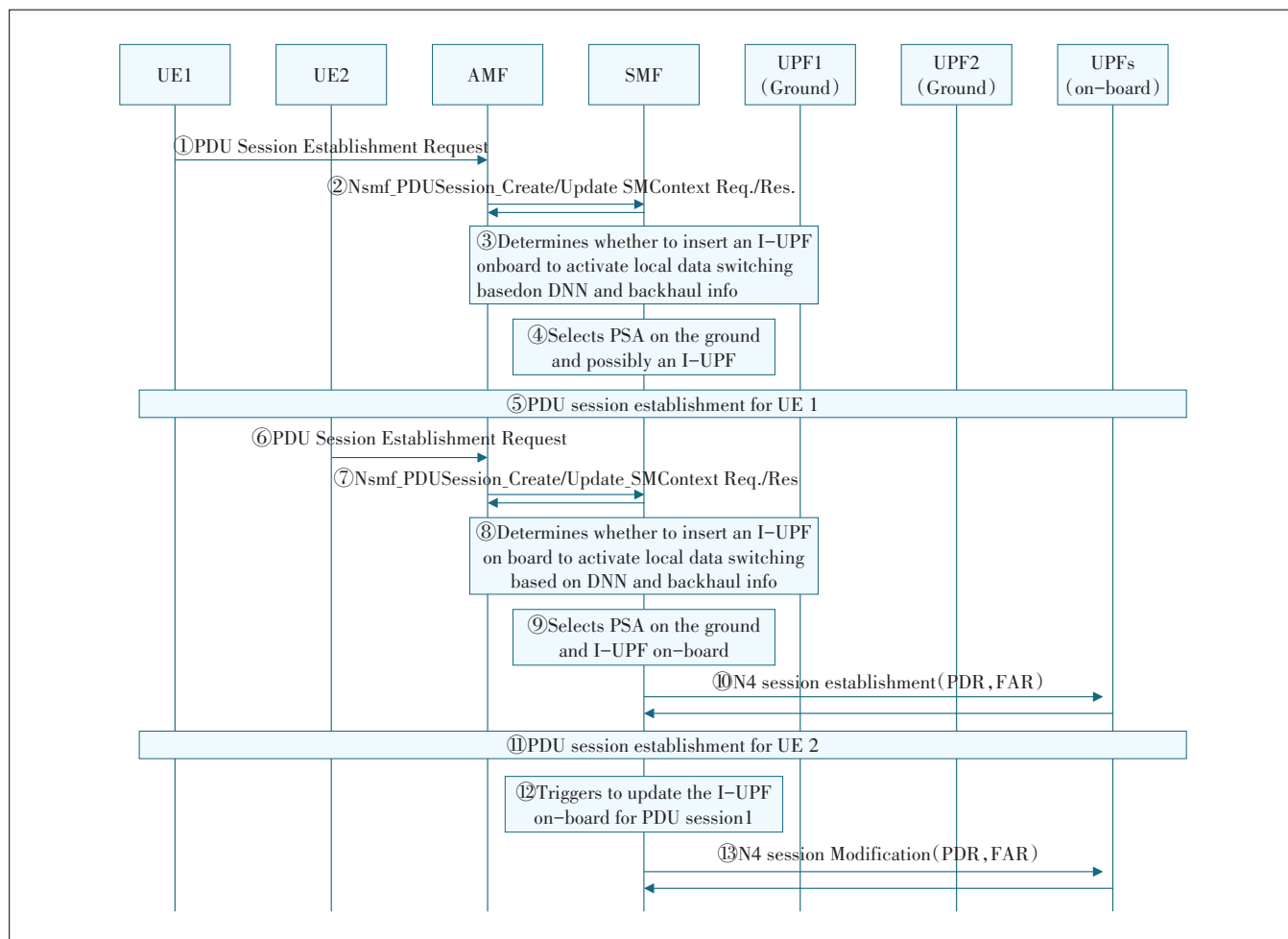


图 11 星载 UPF 进行 VN 组通信流程

来提升接口传输的稳定性。此外,若进一步考虑星载核心网设备与地面核心网设备之间的容灾备份,那么同类型设备之间的数据同步接口协议增强,也是需要考虑的问题。

链路管理方面:文中所提出的解决方案,大部分都是基于高轨卫星,而 UPF 部署在卫星上,尤其是中、低轨卫星,必然面临星间切换问题,需要进一步研究如何保证地面 SMF 与不同的星载 UPF 之间 N4 链路以及 N19 链路快速有效建立。

业务连续性方面:UPF 在 5G 网络中作为会话锚点,为了保证业务连续性,在用户移动的过程中,通常需要保证 UPF 不变更。若 UPF 部署在低轨卫星上,频繁的星间切换势必对业务连续性带来极大的影响,还需要进一步研究移动性管理与节能增强技术。

#### 参考文献:

[1] 3GPP. System Architecture for the 5G System:3GPP TS 23.501 [S/

OL]. [2023-07-22]. <https://www.3gpp.org/ftp/>.

[2] 3GPP. Non-Access-Stratum (NAS) functions related to Mobile Station (MS) in idle mode:3GPP TS 23.122 [S/OL]. [2023-07-22]. <https://www.3gpp.org/ftp/>.

[3] 3GPP. Procedures for the 5G System:3GPP TS 23.502 [S/OL]. [2023-07-22]. <https://www.3gpp.org/ftp/>.

[4] 3GPP. General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access:3GPP TS 23.401 [S/OL]. [2023-07-22]. <https://www.3gpp.org/ftp/>.

[5] 3GPP. Study on 5G System with Satellite Backhaul:3GPP TR 23.700 [S/OL]. [2023-07-22]. <https://www.3gpp.org/ftp/>.

[6] 王悦,王权. 低轨卫星通信系统与 5G 通信融合的应用设想[J]. 通信世界,2019(1):54-59.

#### 作者简介:

陈婉璐,高级工程师,主要从事 5G 网络技术、建设方案以及未来网络研究工作;林琳,高级工程师,主要从事星地融合、网络能力开放、核心网能力应用等相关研究工作;穆佳,高级工程师,主要从事核心网总体架构和关键技术、网络内生业务等相关研究工作;王泽林,主要从事网络技术、传输接入、IP 网络等领域的研究工作。