



专题：5G 演进技术

5G NTN 关键技术研究 with 演进展望

缪德山^{1,2}, 柴丽³, 孙建成^{1,2}, 柯颀³, 刘玉真³, 徐晓东³, 胡南³, 陈山枝²

- (1. 中信科移动通信技术股份有限公司, 北京 100083;
2. 无线移动通信国家重点实验室(电信科学技术研究院有限公司), 北京 100191;
3. 中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 5G 非地面网络(non-terrestrial network, NTN)技术是 5G 通信系统面向卫星通信和低空通信等新应用场景的重要技术, 标志着 5G 技术应用从陆地通信走向了空间通信。首先分析了 5G NTN 和地面 5G 的差异点, 包括网络架构、时频同步、HARQ 和移动性管理等。进而介绍了 3GPP Release 17 的 5G NTN 标准进展及关键技术点与 3GPP Release 18 的 5G NTN 增强技术。最后展望了未来空、天、地一体化的技术演进。通过对 5G NTN 技术研究和标准分析, 明确了 5G 和卫星通信融合的技术路线, 并为后续 6G 空、天、地融合系统研究和设计提供基础。

关键词: NTN; 传输时延; 移动性; 覆盖

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022056

Key technologies and evolution of 5G non-terrestrial network

MIAO Deshan^{1,2}, CHAI Li³, SUN Jiancheng^{1,2}, KE Ting³, LIU Yuzhen³,

XU Xiaodong³, HU Nan³, CHEN Shanzhi²

1. CICT Mobile Communications Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications,
China Academy of Telecommunications Technology(CATT), Beijing 100191, China

3. China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Non-terrestrial network (NTN) in 5G system is expected to provide communication services via near-earth space access and satellite access, which means 5G network has expanded its service area from land to space. Standardization status and key technologies of 5G 3GPP Release 17 NTN were presented, including key differences compared 5G TN, especially in network architecture, time and frequency synchronization, HARQ, and mobility management etc. Moreover, the main candidate techniques in 3GPP Release 18 NTN and beyond were explored, aiming to outline a vision for NTN evolution. Based on the analysis of 5G NTN and its evolution, it was observed that the integration of TN and NTN would be an obvious technique trend, which paved a way to a unified system applied for space, land and sea.

Key words: NTN, propagation delay, mobility, coverage

收稿日期: 2022-01-10; 修回日期: 2022-03-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(No.2020YFB1807900)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China(No.2020YFB1807900)

0 引言

地面 5G 通信的第一个版本 3GPP Release 15 (Rel-15) 针对 3 种典型场景——eMBB、mMTC、URLLC 提供了强大的技术支撑,使得移动通信从以人与人的连接为主,演变成了人与物、物与物的海量连接。由于陆地的覆盖仅占地球表面的 6%,地表面积大部分没有移动通信的覆盖,因此 5G 的通信触觉进一步延伸到更广阔的空、天、地、海领域,进而触发了在 3GPP Rel-16 开始非地面网络 (non-terrestrial network, NTN) 的技术研究,在 3GPP Rel-17 首次开始 WI (Work Item) 系统设计。5G NTN 技术吸收了传统卫星通信和地面移动通信的双重优势技术,不仅扩大了卫星通信产业链,而且为下一代空、天、地一体化融合通信系统奠定了技术基础。本文针对 3GPP 的 NTN 空口技术进行了系统性的介绍,针对标准进展和关键技术展开了分析,目的是理解和挖掘 NTN 技术的潜力,促进卫星通信、临空通信与地面 5G 服务的协同发展^[1],同时对即将进行标准化的 3GPP Rel-18 NTN 项目进行了简要介绍,以便对 NTN 技术在 5G 系统中的演进提供技术上的前瞻性探索 and 判断。

1 5G NTN 的应用场景和差异性分析

5G NTN 技术的主要目标是借助 5G 系统的技术框架、针对卫星通信和低空通信的特点而进行的 5G 系统适应性改造,实现 5G 通信系统对空、天、地、海多场景的统一服务。因此在研究 5G NTN 技术之前需要对可能的应用场景和差异

性进行分析。

1.1 典型部署场景

5G 系统从 3GPP Rel-15 开始主要面向地面通信,因此小区半径、终端的移动性、终端与基站的传输时延等方面和 4G 系统差异不大,而在 NTN 场景,主要面对的是卫星通信和低空通信 (低空平台),这导致了系统设计方面需要考虑新的技术问题和挑战。

5G 非地面网络的典型部署场景见表 1^[2-3],与地面通信的差异主要体现在高时延、广覆盖和卫星的运动等方面。

1.2 5G NTN 的差异性和技术挑战

基于 NTN 的应用场景,由于空中或太空载体的高度和移动速度,以及由此造成的高传播时延和多普勒偏移等,将对非地面网络的设计和应用带来新的问题和挑战。相应地,5G 非地面网络组网需要对 5G 协议进行针对性的修改或增强,以适应上述差异和变化。

(1) 高传输时延

高度在 35 786 km 的 GEO 单路传输时延可达 272.4 ms (针对透明转发卫星),非 GEO 单路传输时延为至少 14.2 ms (600 km LEO),而高度在 10 000 km 的 MEO 可达 95.2 ms, HAPS 单路传输时延为至少 1.526 ms,仍远高于地面蜂窝网络的 0.033 ms。高传输时延将极大地影响基站与终端间交互的时效性,特别是接入和切换等需要多次信令交互的过程,以及 HARQ (hybrid automatic repeat request) 重传过程等,进而对用户体验产生负面影响,因此需要对上述相关协议流程进行改进或针对性的重设计。

表 1 5G 非地面网络典型部署场景

平台	高度	轨道	典型覆盖
低轨道地球卫星 (low earth orbit satellite, LEO)	300 ~ 1 500 km	绕地球转	100 ~ 1 000 km
中轨道地球卫星 (middle earth orbit, MEO)	7 000 ~ 25 000 km		100 ~ 1 000 km
地球静止轨道卫星 (geostationary earth orbit, GEO)	35 786 km	保持相对于给定地球点的仰角/方位角固定的站点	200 ~ 3 500 km
空中载体平台 (包括 HAPS (high altitude platform station))	8 ~ 50 km (HAPS 20 km)		5 ~ 200 km
高轨道地球卫星 (high elliptical orbit satellite, HEO)	400 ~ 50 000 km	以椭圆轨道绕地球运行	200 ~ 3 500 km



(2) 更大的小区半径

与地面蜂窝网络小区相比,非地面网络的小区一般具有更大的覆盖范围,如卫星小区直径可达 1 000 km 级别,因此小区的中心边缘时延差异等将更加明显。小区半径增大对系统定时同步带来一定的影响,5G 系统是同步通信系统,因此有必要引入增强的同步机制保证用户间的同步从而避免干扰。

(3) 多普勒变化率和定时变化率

对于低轨卫星系统,卫星将围绕地球做高速环形运动,这会导致额外的技术问题——多普勒变化和定时变化。地面 5G 系统在高铁场景应用时,多普勒频偏仅需考虑数千赫兹的频偏,然而对于低轨卫星系统,将不得不处理几十千赫兹甚至兆赫兹级别的多普勒偏移。对于时间变化率,地面通信基本可以忽略,然而,对于低轨卫星通信,其定时变化率则达数十 $\mu\text{s}/\text{s}$ 的量级,对于高频段的 5G 系统,是一个巨大的挑战。总的来说,时频同步技术必须进行较大的技术增强才能支持 NTN 通信。

(4) 移动性管理

5G 非地面网络的小区重选和切换、波束选择和恢复等移动性管理过程同样需要考虑可能的小区移动。一方面,在移动性管理决策中,需要将小区的移动状态信息(速度、方向、预计位置)等纳入考量,避免不必要的切换或重选等;另一方面,可进一步利用小区的移动状态信息,进行预先的小区或波束切换,减少信令交互开销。

(5) 峰均比问题

由于卫星的载荷器件的限制,卫星通信的峰均比一直是被重点关注的问题。传统的卫星通信采用单载波技术,而在 5G NTN 系统中,正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)技术是一项基本技术。在实践中,峰均比技术可以通过相应的技术手段进行规避,比如,通过相控阵天线技术,多个波束将会共享一个功放(power amplifier, PA),这会消除多载波技术和单载波技术的差异;进一步地,考虑削

峰技术,通过对信号的峰值进行限幅从而降低峰均比。经过广泛的技术讨论,3GPP 仍然采用了 5G 的波形体制,峰均比问题仅作为实现问题留给设备商进行技术优化。

2 3GPP Rel-17 NTN 关键技术

与传统的地面蜂窝网相比,NTN 的网络架构、终端/基站特性、具体的协议功能等方面都和传统的地面蜂窝接入网有着或多或少的差异。在 3GPP Rel-17 的标准化过程中,针对网络架构讨论了透明转发和再生模式两种架构,最终同意先支持透明转发模式。具体如下。

2.1 网络组成与架构

NTN 分为两大场景——透明转发(又称,弯管转发)和再生转发。其中,透明转发场景中卫星扮演的角色是射频中继,服务链路(service link)和馈电链路(feeder link)均采用 5G 的 Uu 接口,而 NTN GW (gateway)只是透传 NR-Uu 口信号,不同的透传卫星可以连接相同的地面基站 gNB;另一方面,再生场景中卫星扮演的角色则是星载基站(gNB-DU 或 gNB),服务链路采用 NR Uu 口,不同于透明转发模式,馈电链路采用卫星私有空口(satellite radio interface, SRI),NTN GW 则是 transport network layer 节点,不同星载 gNB 可以连接相同的地面 5G 核心网。基于透明转发和再生架构的非地面网络分别如图 1、图 2 所示^[3]。

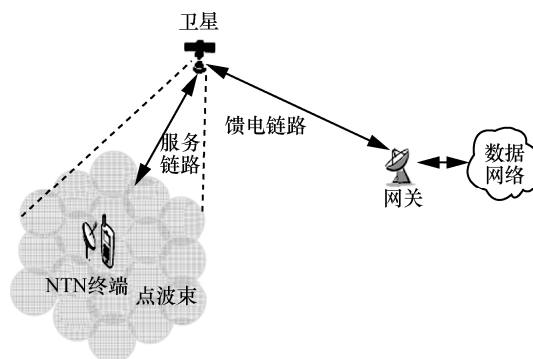


图 1 基于透明转发的非地面网络

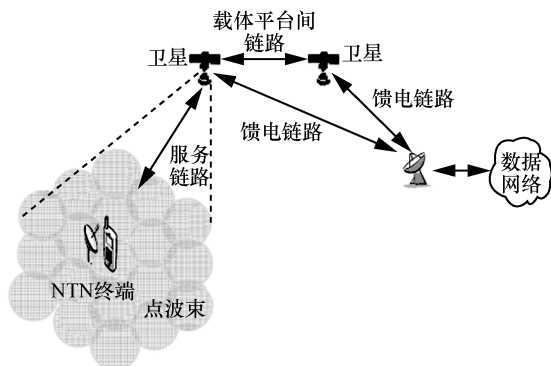


图2 基于再生架构的非地面网络

非地面网络一般由以下部分组成。

(1) 网关

非地面网络与公共数据网络之间的参考点。

(2) NTN 终端

包括手持终端等小型终端和甚小口径天线终端（very small aperture terminal, VSAT），其中手持终端等小型终端通常由窄带或宽带卫星接入网络直接服务，频段通常在 6 GHz 以下，下行速率为 1~2 Mbit/s（窄带）；VSAT 通常搭载于移动平台（如船舶、列车、飞机等）作为其内部小型终端的中继，由宽带卫星接入网络直接服务，频段通常在 6 GHz 以上，下行速率可超过 50 Mbit/s。

(3) 馈电链路

网关与卫星（或者空中载体平台）之间的通信链路。

(4) 空中载体平台

搭载部分（如射频拉远头（remote radio head, RRH））或全部基站功能单元，当搭载部分基站单元，仅具备射频滤波、频率转换和放大功能时，称为透明转发模式；当搭载全部基站单元，额外具备调制/编码、解调/解码、交换/路由等功能时，称为再生放大模式。

(5) 载体平台间链路（inter-satellite link, ISL）

用于再生模式下空间平台基站之间进行信息交互的情况。

(6) 服务链路

NTN 终端与卫星（或者空中载体平台）之间

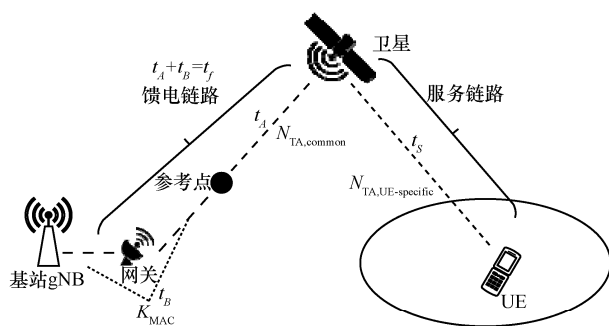
的通信链路。

2.2 主要关键技术

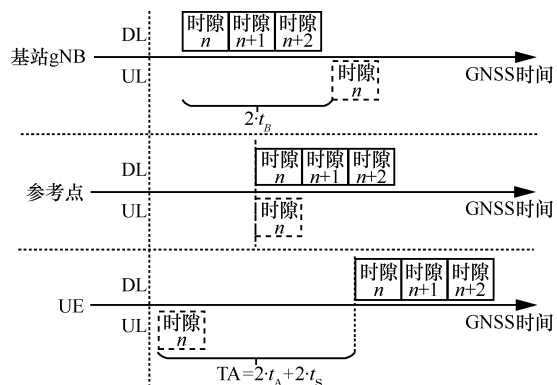
2.2.1 时频率同步补偿

在地面网络中，终端（user equipment, UE）根据网络指示的 TA（timing advance）命令确定 TA 值，且 TA 补偿后，上行/下行对齐点在地面基站侧。而在 3GPP Rel-17 基于透明转发的 NTN 中，由于终端和地面网关的链路包含两部分——第一部分是终端到卫星的服务链路，第二部分是卫星到地面网关；因此在 3GPP 的技术讨论中，出现了两种观点：一种是终端的上行定时补偿仅包括服务链路，另一种是终端的上行定时补偿包括服务链路和馈电链路。第一种方法的优点是终端无须补偿馈电链路，处于保密安全的需要，终端通常不知道地面网关的位置，第二种方法的优点是在基站侧定时点是固定的，终端补偿全部的链路时延，要求终端获取馈电链路的时延变化，因此需要指出网络广播馈电的时延以及时延变化率。两种方法各有优缺点，经过技术讨论后，最终选择了一种折中方法^[4-5]，即定义一个参考点，由网络指定终端补偿时延的数值，当参考点在地面网关时，终端补偿全部时延，当参考点在卫星时，终端仅补偿服务链路的时延，这样上述两种补偿方法同时在标准上获得支持。在具体实现时，UE 将结合自身估计值和网络指示值，联合确定 TA 值（ T_{TA} ）；UE UL TA 补偿示意图如图 3 所示，TA 补偿后，上行、下行对齐点在卫星（含）和地面基站（含）之间馈电链路中的某个参考点（reference point, RP）上。在信令设计时，主要的指示参数 $N_{TA,common}$ ，当 $N_{TA,common} = 0$ ，意味着定时参考点在卫星上，当 $N_{TA,common} > 0$ 时，则意味着 $N_{TA,common}$ 在馈电某一点上，通常参考点配置在地面网关。

对于低轨卫星移动系统，多普勒频率补偿是一个关键技术点。在 3GPP Rel-17 NTN 中，由于场景设定为透明转发卫星，因此多普勒变化的影



(a) 信号传播路径示意图



(b) 上行、下行对齐点示意图

图3 UE UL TA 补偿示意图

响服务链路和馈电链路。从 UE 的角度看，服务链路可以通过星历信息和终端的位置信息计算相应的多普勒变化，而对于馈电链路，由于缺乏地面网关的位置信息，这部分多普勒偏移需要由基站进行补偿。

无论定时补偿还是多普勒补偿，网络都需要广播星历信息给终端，星历的精度和格式是其中的关键因素。在 5G NTN 系统中，时间同步误差需要在 $1/2CP$ (cyclic prefix) 范围之内，频率误差需要控制在 0.1×10^{-6} 以内，因此星历信息需要周期性更新，并保持必要的精度。另外，为了保持技术实现的灵活性，3GPP Rel-17 NTN 还支持基于轨道六根数（半长轴 a 、离心率 e 、轨道倾角 i 、近心点辐角 ω 、升交点经度 Ω 和真近点角 ϕ ）和基于卫星位置与速度的星历格式^[6]，前者的预测时间长，后者有利于简化终端实现。

2.2.2 定时关系增强

5G 系统的定时关系是严格要求的，所有终端上行必须保持同步，因此 NTN 场景带来了额外的技术变化。考虑在 NTN 中，星地通信时延过大，远超出地面网络中定义的相关定时参数（如 PDSCH 到 HARQ 反馈时延 $K1$ 、上行调度到 PUSCH 传输时延 $K2$ 等）的最大指示范围，为了不影响标准的兼容性，3GPP Rel-17 在已有的定时参数基础上，引入新的 K 值偏移量 (K_{offset})，

即所有有影响的定时关系上，增加一个 K_{offset} ，用于涵盖星地传播延时影响。

3GPP Rel-17 确定在下述定时关系中引入 K_{offset} 值，包括^[7]：DCI 调度 PUSCH 传输的定时关系、RAR 调度 PUSCH 传输的定时关系、PDSCH 到 HARQ 反馈的定时关系、参考 CSI 资源的定时关系、非周期 SRS (sounding reference signal) 的定时关系、MAC CE (control element) 承载的 TA 命令的生效时间、PDCCH 调度 PRACH 传输的定时关系等。

DCI 调度 PUSCH 传输的定时关系增强示意图如图 4 所示。gNB 在 t_1 时刻 (gNB 侧 DL 时隙 n) 发送承载上行调度信息的 DCI；该 DCI 经过 $RTT/2$ 的空间传播延时后，在 t_2 时刻 (UE 侧 DL 时隙 n) 到达 UE 侧；UE 根据网络指示，经过和地面网络相近的处理时延后，在 t_3 时刻 (UE 侧 UL 时隙 $n + K_{offset} + K_2$) 发送被调度的 PUSCH；该 PUSCH 经过 $RTT/2$ 的空间传播延时后，在 t_4 时刻 (gNB 侧 UL 时隙 $n + K_{offset} + K_2$) 到达 gNB 侧。可以看出， K_{offset} 的主要作用是保证在终端做了上行定时补偿后，基站与终端的时序保持同步。因此 K_{offset} 取值不能小于终端的上行补偿 TA 值。

2.2.3 HARQ 重传

NTN 中，卫星到地面时延过长，如高度在

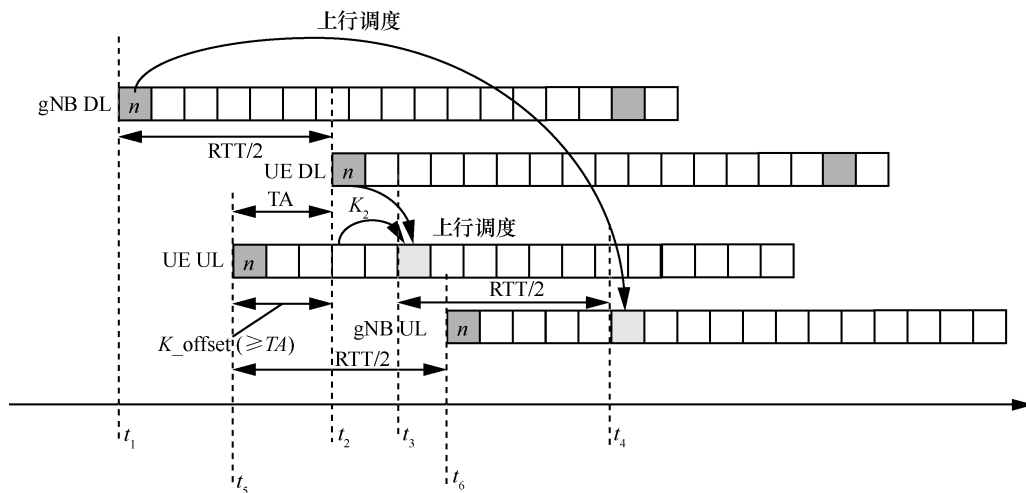


图4 DCI调度PUSCH传输的定时关系增强示意图

35 786 km 的 GEO 单路传输时延可达 272.4 ms, 非 GEO 单路传输时延至少 14.2 ms (600 km LEO), 而高度在 10 000 km 的 MEO 单路传输时延可达 95.2 ms, 传统地面网络中 HARQ 重传技术受到挑战, 至少对于 GEO 和 MEO 网络, HARQ 进程数过大导致 UE 缓存能力受限。因此, 3GPP Rel-17 确定 NTN 有能力配置 UE 是否关闭 HARQ 的反馈和重传功能, 并且基于终端能力的考虑, 确定最大仅支持 32 个进程^[8]。现有技术中, HARQ 关闭意味着 UE 无法做软合并。当 PDSCH 传输失败后, RLC 层重传虽然也能工作, 但与 MAC 层的 HARQ 重传相比, 一是频谱效率低, UE 无法将多次重传结果做软合并; 二是时延更长。为了避免 RLC 层重传, NTN 需要通过降低频谱效率的手段 (如重复传输、高 BLER 目标、低 MCS 调度等) 提高初传成功率, 但同样导致 NTN 的频率效率较低。所以, 为了尽量避免简单“一刀切”的方式来盲目使用这种能耗很高、效率低的技术, 最终面向 NTN 的 HARQ 过程增强如下:

- 对于下行链路, 可以启用或禁用 HARQ 反馈, 但在 SPS 去激活场景下, 要求始终发送 HARQ 反馈;
- 对于上行链路上的动态授权, 网络可为 UE

的每个 HARQ 过程配置 UL HARQ 状态, 确定是允许重传或非重传模式。此外, 每个逻辑信道 (logical channel, LCH) 可被配置为在一种 UL HARQ 状态上传输。因此, 配置了 UL HARQ 状态的 LCH 的数据只能映射到配置了相同状态的 HARQ 进程, 否则引起数据处理错误。面向逻辑信道配置 UL HARQ 状态的示意图如图 5 所示。

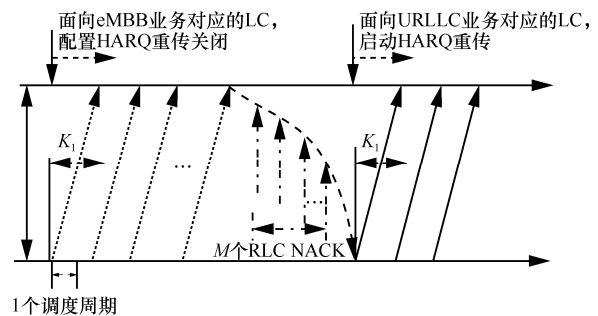


图5 面向逻辑信道配置 UL HARQ 状态的示意图

2.2.4 寻呼和空闲态管理

为了解决由卫星运动触发的频繁寻呼跟踪区更新 (tracking area update, TAU) 过程的问题, 5G NTN 提出了“固定跟踪区域”的概念, 即跟踪区域码 (tracking area code, TAC) 固定在地面上, 而小区在地面上随着卫星的移动而改变, 也就是说, 当小区在地面扫描时, 如果小区到达下



一个计划的地球固定跟踪区域时，广播的跟踪区域码（即 TAC）发生变化。“固定跟踪区域”虽然解决了卫星运动触发的频繁 TAU 过程的问题，但也对小区的系统消息更新或寻呼周期带来了新的问题。

于是，3GPP Rel-17 在传统的硬跟踪区更新的基础上引入了软跟踪区更新方案，具体是网络可以在 NR NTN 小区中针对每一个 PLMN(public land mobile network) 广播多达 12 个以上的跟踪区域码（TAC），包括相同或不同的 PLMN。系统信息中的 TAC 变化受网络控制，即它可能与地面光束的实时照明不完全同步。另外，如果当前广播的 TAC 之一属于 UE 的注册区域，则不期望 UE 执行由移动性触发的注册过程。跟踪区域码和地理位置固定示意图如图 6 所示。

2.2.5 连接态的移动性管理

(1) 切换技术

对于低轨卫星，波束覆盖存在覆盖固定波束和覆盖移动波束两种模式，所谓覆盖固定波束指的是波束指向地面固定的区域，而覆盖移动波束指的是波束随着卫星的移动而移动。在 3GPP Rel-17 NTN 系统中，由于假设透明转发场

景，还存在服务链路和馈电链路的分离切换模式，增大了切换管理的复杂度。连接模式移动性管理按照 UE 移动以及卫星移动分为以下 5 种特定场景^[9]。

- 场景 1：用于覆盖固定波束的馈电链路切换，包含 UE 服务链路切换。
- 场景 2：用于覆盖移动波束的馈电链路切换，包含 UE 服务链路切换。
- 场景 3：卫星切换导致的覆盖固定波束服务链路切换。
- 场景 4：当覆盖移动波束不再服务于 UE 时，覆盖移动波束的连接模式移动性。
- 场景 5：由于 UE 移动，覆盖移动和覆盖固定波束的连接模式移动性。

对于 NTN 系统的切换，主要考虑的问题是如何利用星历和终端的位置信息，以保证切换的可靠性；在地面系统切换中，RRM 测量是主要切换依据，然而在卫星通信中，切换不仅仅依靠 RRM 测量，也需要充分利用终端的位置和卫星的波束移动规律。因此在 3GPP Rel-17 NTN 中，引入了条件切换（conditional handover, CHO）的技术方案，即基于卫星移动的规律提前按照某

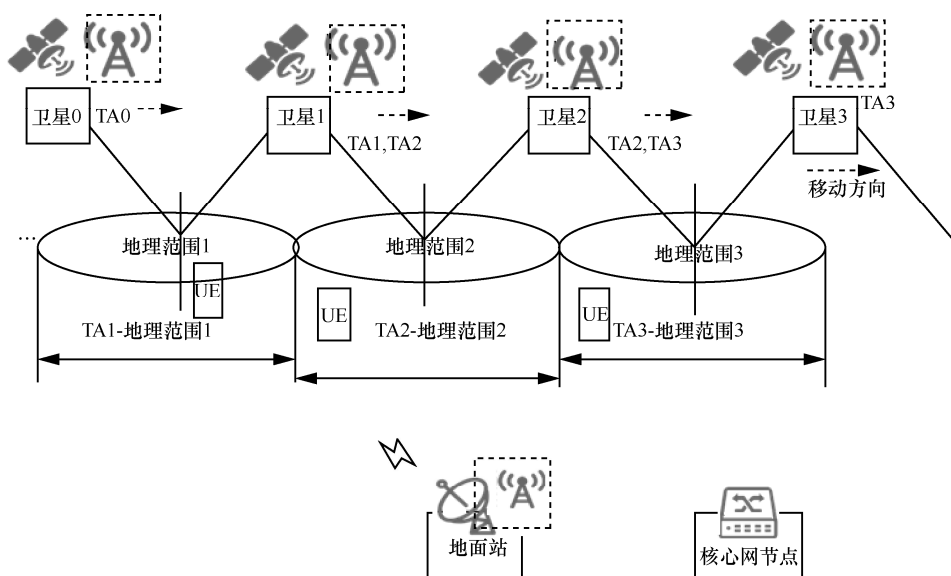


图 6 跟踪区域码和地理位置固定示意图

种条件配置终端到点自主切换。具体的触发条件包括：

- CHO 执行触发的测量 CHO 事件 A4；
- 基于时间的触发条件，定义 UE 可以对候选小区执行 CHO 时的时间窗口；
- 一种基于位置的触发条件，定义从 UE 到源小区和从 UE 到候选小区的两个距离阈值，UE 可根据该距离阈值执行 CHO；
- 基于时间或基于位置的触发条件始终与基于测量的触发条件之一（CHO 事件 A3、A4 或 A5）一起配置。

（2）连接态的测量

传统的同频测量和异频测量，由于基站均在地面上，不同的地面基站到终端的传输时延差比较小，因此协议中规定的测量窗口长度比较小。而对于非地面网络，卫星到 UE 之间的传输时延差异较大，尤其是 LEO 和 GEO 到 UE 的传输时延差，更是到了百毫秒级别，如果使用现有的测量配置可能导致 UE 无法检测到目标小区的同步信号和 PBCH 块（synchronization signal and PBCH block, SSB）。同时，由于卫星的移动速度比较快，可能测量配置在实际执行时会比地面网络的错误率高很多，具体如图 7 所示^[10]。

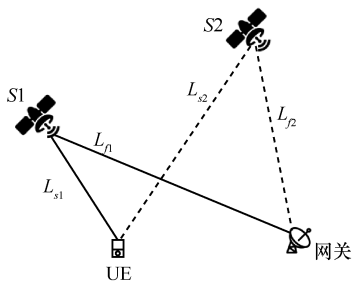


图 7 面向 NTN 的目标小区和服务小区到 UE 的传播时延示意图

因此在 3GPP Rel-17，对测量方案进行了增强，充分考虑目标小区和服务小区到 UE 的传播时延差，使得 UE 能够正确检测到目标小区的 SSB。同时，综合考虑卫星的移动速度，提高测量配置的容错性能。具体地，网络可以配置如下。

- 每个载波信道最多配置并行 4 个同步块测量时序配置（SS/PBCH block measurement timing configuration, SMTC），并且对于一组给定的小区，配置的数目具体取决于 UE 能力。作为最低要求，UE 能够在每个载波上并行支持 2 个 SMTC。
- SMTC（包括偏移、周期性）使用根据 UE 报告的定时提前信息、馈线链路时延以及服务/相邻卫星小区星历计算的传播时延差。
- 在连接模式的网络控制和空闲/非活动模式的 UE 控制下，可以通过换挡调整 SMTC。

3 面向 3GPP Rel-18 的 NTN 技术演进

3.1 3GPP Rel-17 NTN 技术演进的需求

在 3GPP Rel-17 版本，NTN 技术的标准化主要是基于透明转发的 GSO 和 NGSO 网络场景下对具备定位能力终端的支持。NTN 3GPP Rel-17 只是一个比较基础的版本，仍无法满足更为灵活多样的空、天、地一体化网络架构和网络部署需求，更为多样的终端类型和业务需求。

NTN 技术在 3GPP Rel-18 的演进需求主要包括两个方面：新特性支持和现有特性增强。在新特性支持方面，不少公司提出了各种不同的想法和需求，如多播广播业务（multicast broadcast service, MBS）的支持、RedCap 的支持、新频谱的支持、再生模式的支持以及没有 GNSS 能力的终端的支持等。现有特性增强方面，如进一步的覆盖增强、波束管理增强以及移动性管理增强等^[11-12]。

对于卫星波束的配置和部署假设，3GPP Rel-17 NTN 版本没有增强，主要的原理是遵循地面 5G 通信的控制波束和数据波束的概念，但受卫星波束的大覆盖和链路预算的影响，客观上存在增强的需求。但受限于 3GPP Rel-18 的时间进度，最终采纳的 NTN 标准化需求包括^[13]：

- 支持 10 GHz 以上的部署的新场景，主要覆



盖现有卫星通信的常用 Ku/Ka 频段；

- 基于卫星系统大的传播时延和低轨卫星高速运动的特点，对手持终端（尤其是智能手机）的性能进一步优化；
- 对终端的移动性和业务连续性的进一步增强，以减少低轨卫星系统下 UE 频繁切换对终端业务的影响；
- 对终端位置报告进行网络验证，以满足相关监管的要求（如合法的拦截、紧急呼叫、公共预警系统等）。

3.2 3GPP Rel-18 NTN 主要关键技术

3.2.1 覆盖增强

3GPP Rel-18 目标的重点是考虑 NR 覆盖增强方案在 NTN 系统中的适用性，识别 NTN 系统中覆盖方面的潜在问题并针对性地进行方案设计，设计应考虑 NTN 特征包括较大的传播时延和卫星的快速运动。

NTN 3GPP Rel-18 覆盖增强的相关工作仅包含 NTN 特定特征，对于覆盖增强通用技术则可以直接应用。对于应用场景，至少需要考虑商业智能手机的语音和低速率数据服务。关于天线增益，使用更合理的假设，而不是目前 NTN 链接预算分析假定的 0 dBi，比如 -3 dBi。

对于 NTN 覆盖增强，主要考虑下列技术研究方向：

- 在 3GPP Rel-17 覆盖增强项目标准化的重复增强之外的 NTN 特定的重复增强技术；
- NTN 特定的分集增强和/或极化增强技术；
- 在链路预算有限的情况下提高低速率编解码的性能，减少对 VoNR 在接入网的协议开销。

3.2.2 10 GHz 以上频谱的支持

对于高频段，卫星通信有巨大的应用需求，因此，3GPP Rel-18 要研究和确定 NTN 示例频带，包括相邻信道共存的场景和规则分析，具体的要求如下。

- 根据 ITU 分配，考虑以卫星 Ka 频段为参考；

考虑终端类型（如 VSAT、ESIM）场景，和 ITU-R /地区法规，定义一个适合开发通用的 3GPP 最低性能要求的示例频带。

- 研究 FR2 FDD 操作的影响，推导得到需求确定适当的示例频带。3GPP 为 FDD NTN 系统引入的示例频带不得影响现有的 3GPP TDD 规范中地面所使用的与 NTN 邻近的频谱。
- 相关的共存场景和分析需要在 RAN4 考虑，如果适用于其他地方，要保证 3GPP 引入的频谱不影响现有的规范，不对使用 NTN 频谱的邻近频谱的地面网络造成损害。
- 以 FR1 中的设计作为 10 GHz 以上的共存分析的基础和参考。
- 定义 10 GHz 以上的 NTN 频带不应改变当前 FR1 / FR2 的定义，也不会自动适用于未来地面网络在该频谱上定义的频带。

对于确定的示例频带，需要尽快明确定义卫星接入点的 Rx / Tx 要求和不同的 VSAT UE 等级。从现有 FR1 和 FR2 集合中确定物理层参数的值，可以包括但不限于以下一组参数：

- 时间关系相关增强（例如 K_{offset} ）；
- 不同的 UL / DL 信号/通道的子波间隔；
- 10 GHz 以上的 PRACH 配置索引。

3.2.3 UE 位置的网络验证

NTN 3GPP Rel-17 版本中，3GPP 系统与架构小组 SA2 和 SA3 提出了对 UE 位置信息的使用监管需求，具体如下：

- 在卫星小区跨国/地区覆盖的场景下，基站应为 UE 选择该 UE 当前位置所处国家/地区对应的核心网网元；且在 UE 连接态在一个小区内发生了跨国/地区移动的情况下，基站应能识别并触发 inter-AMF/inter-PLMN 的切换；
- 基站向核心网上报的 ULI（user location information）中包含的 CGI（cell global ID）应

和 NR 地面网络中的小区大小的粒度相当。

为了满足上述需求, 3GPP Rel-17 设计了空口的 UE 位置上报机制, 但上报的 UE 位置是否准确有效, 目前没有明确的网络验证的方法。因此, 3GPP Rel-18 要进一步讨论网络验证 UE 位置的法规要求及精度要求, 并基于该需求, 设计对应的网络验证 UE 上报位置的具体方法。

3.2.4 移动性和业务连续性增强

NTN 3GPP Rel-17 版本中, 对 NTN LEO 系统内的移动性方案进行了设计, 包括空闲态的小区选择和重选、连接态的基于 UE 位置和基于时间的条件切换。NTN-TN 之间的移动性在 3GPP Rel-17 中没有得到充分的讨论, 也没有进行完善的方案设计。

3GPP Rel-18 将以 3GPP Rel-17 的移动性方案设计为基础, 设计和完善 TN-NTN 之间的移动性方案, 同时考虑 NTN 系统内的移动性管理方案的优化和增强, 以缩短切换带来的业务中断。由于 TN 和 NTN 的覆盖互补性, 在两种网络中的平滑切换能有效提升业务服务的连续性, 如图 8 所示。

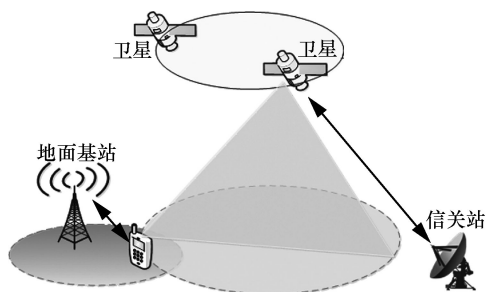


图 8 支持业务连续性的 TN 和 NTN 网络互补覆盖

移动性管理的增强方面有多种优化机制可以考虑, 具体如下。

(1) 基于 UE 位置上报进行切换的决策和实施

3GPP Rel-17 已经设计了空口的 UE 位置上报, 3GPP Rel-18 会进一步讨论 UE 上报位置的精度和如何验证的问题。基于此, 如果基站侧能够获得相对精准的 UE 位置信息 (比如精确的 GNSS 位置或者百米精度的 UE 位置), 基站可以直接基于 UE 的位置和自身覆盖情况来确定和执行星

内切换及星间切换。

(2) 基于 DAPS (dual active protocol stack cell system) 的切换

基于 DAPS 的切换在 3GPP 移动性增强项目中已经进行了相关的标准化。通过 UE 的双协议栈, 可以先和目标小区建立连接, 因此可以进一步地减小切换的时延。该技术可以重用的 NTN 系统中, 适用于 NTN 小区间的切换以及 TN 和 NTN 间的切换。

(3) 基于 DC (双连接) 的切换

通过引入 DC, 在提升用户吞吐量的同时, 可以对频繁切换造成的业务时延进一步缩减。双连接有多种场景, 如: GEO + LEO、LEO + LEO、TN + NTN 等。但目前 NTN 系统中对某些场景支持的增益并不明显, 如 LEO + LEO 的双连接, 对网络覆盖提出了新的要求, 增加了系统的复杂度, 同时也无法改善频繁切换的问题。在 GEO + LEO 场景下, DC 的引入在理论上可以有一些增益, 如: 信令通过 GEO、数据通过 LEO 来传递; 但双连接对 UE 能力尤其是天线同时收发能力以及功耗提出了新的挑战。

4 面向 6G 的空、天、地一体化技术演进

卫星通信在覆盖、可靠性及灵活性方面的优势能够弥补地面移动通信的不足, 卫星通信与地面 5G 的融合能够为用户提供更为可靠的一致性服务体验, 降低运营商网络部署成本, 连通空、天、地、海多维空间, 形成一体化的泛在网络格局^[14-15]。

从需求和技术方面来看, 未来的演进可以着眼于以下几个方面。

(1) 网络架构和组网方式增强

基于部署和业务的需求实现接入网功能的弹性部署, 支持全再生模式、部分再生模式、透明模式等形式的接入网架构。将地面基站的部分或全部功能逐步迁移到星上是发展趋势, 能够有效



降低信令和业务的处理时延、提升用户体验，并综合利用星地的空口和硬件资源。通过星链，可以更好地进行覆盖的延伸，可以提供更为灵活的网络部署选择。

对于核心网，需要考虑卫星网络和地面网络的深度融合，包括更灵活的天地融合架构的设计，GSO、NGSO、TN 等不同层次网络间更好的互联互通以及协同工作，真正实现空、天、地一体化。引入 NFV 和 SDN 技术，实现卫星平台的虚拟化和智能化，实现网络功能的按需部署，并实现高轨、低轨、地面网络的统一的移动性管理和资源管理框架。

（2）星地统一的频率资源分配

频率资源仍是制约星地融合的主要瓶颈，随着低轨星座的大面积部署，频率冲突的问题将愈发严重，探索星地频率规划及频率共享新技术是实现星地融合需要解决的首要问题。未来的网络将不再分卫星频段和地面频段，基于需求实现频率的统一分配和动态共享，并且研究星地频率干扰协同和干扰规避技术，大幅度提高频率资源的利用效率。

（3）统一的空口设计和移动性管理

针对卫星通信和地面通信，空口的差异性需要考虑时延、同步、移动性等因素。面向 6G，从第一个版本就需要考虑统一的波形设计和统一的空口技术，实现极简接入和智能接入，真正实现零时延接入和零时延切换。无论何时何地，终端可以动态地选择地面网络、临空平台或者卫星网络，按照业务 QoS 需求智能接入网络，获得最优的用户体验。

（4）卫星波束管理和大规模天线技术的应用

大规模 MIMO 技术是 5G 的一大特色，在卫星通信中也可以进行增强，充分考虑星载平台的特点，设计合理的波束成形机制和多流传输技术。星载相控阵技术将是未来的主要卫星天线实现方式，多星多波束的协同传输技术将成为可能，可有效提升系统容量。

（5）终端的一体化设计

现有地面终端和卫星终端差异较大，在 6G 系统中，由于采用统一的空口设计，终端芯片将一体化设计。更重要的是，随着天线技术的发展，适合多频段的终端天线和射频技术将更为成熟。因此，终端的一体化设计是空、天、地一体化的重要环节，用户将能自由地在不同的网络中切换和漫游，享受空、天、地、海的无缝覆盖和连续的业务服务。

（6）更丰富的业务提供能力

卫星通信系统最大的优势是广覆盖技术，卫星物联网是一个重要的发展方向，后续空、天、地一体化网络将提供个人移动、宽带接入、物联网服务等更丰富的业务服务。基于卫星的垂直行业的服务能力将大幅提升，比如通过 RedCap 等技术，使用更小的带宽实现 IoT 类的业务支持，以提供 IoT 业务海量的接入和服务。同时，支持 MBS 等新广播业务特性也是一个重要方面；卫星网络的广覆盖，对支持广播类的业务有着天然的优势，尤其是应急类的广播业务。

5 结束语

5G NTN 技术扩展了 5G 技术的应用领域，不仅能支持地面通信，同时也支持空间通信，为空、天、地、海一体化通信提供了技术可能性。3GPP Rel-17 NTN 技术以弯管通信为主，解决了卫星通信的基础问题，包括时频同步、大传输时延和移动性管理等问题，而 3GPP Rel-18 NTN 基于弯管通信进一步做了增强，侧重于覆盖增强、频段扩展和业务连续性，但对再生模式和星间链路的标准化并没有提到日程，仍需要时间等待技术的成熟与市场的驱动。

面向 6G 的 NTN 技术发展，需要解决立体组网的一体化、终端的一体化、频率的一体化等若干关键技术问题；随着应用场景、市场规模、关键技术的突破，终端的便捷性等方面的有效提升，实现空、天、地、海的泛在场景互联将指日可待。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 3GPP. Study on new radio (NR) to support non-terrestrial networks: TR 38.811 v15.0.0[R]. 2018.
- [3] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN): TR 38.821 v16.0.0[R]. 2019.
- [4] CATT. UL time and frequency compensation for NTN: R1-2007855[R]. 2020.
- [5] THALES. Considerations on UL timing and frequency synchronization: R1-2009298[R]. 2020.
- [6] MediaTek, Eutelsat. UL time and frequency synchronisation for NR-NTN: R1-2008809[R]. 2020.
- [7] Ericsson. On basic assumptions and timing relationship enhancements for NTN: R1-2006464[R]. 2020.
- [8] CMCC. Enhancements on HARQ for NTN: R1-2008012[R]. 2020.
- [9] CMCC. Discussion on service continuity between NTN and TN: R2-2103702[R]. 2021.
- [10] CMCC. Report of [AT115-e][112][NTN] SMTC and gaps: R2-2109135[R]. 2021.
- [11] CATT. Views on the Objectives of 3GPP Rel-18 NR NTN WID: RP-213302[R]. 2021.
- [12] Qualcomm. Views on NTN evolution: RP-211943[R]. 2021.
- [13] RAN vice-chair (AT&T), Thales. New WI: NR NTN (non-terrestrial networks) enhancements: RP-213690[R]. 2021.
- [14] 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.
- [15] 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.

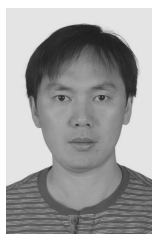
[作者简介]



缪德山 (1978—), 男, 博士, 现就职于中信科移动通信技术股份有限公司, 主要研究方向为无线移动通信、卫星通信。



柴丽 (1977—), 女, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要从事 4G 及 5G 标准化技术研究工作。



孙建成 (1982—), 男, 现就职于中信科移动通信技术股份有限公司, 主要从事 4G/5G 高层标准的研究和推动工作。



柯颀 (1982—), 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 5G 物理层标准。

刘玉真 (1992—), 女, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要研究方向为 5G 高层标准, 主要负责非地面网络通信高层标准研究工作。

徐晓东 (1975—), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院高级工程师, 3GPP RAN1 工作组副主席, 主要从事 4G、5G 无线接入技术标准化及 4G、5G 无线网络规划优化方面的工作。

胡南 (1980—), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院无线和终端技术研究所副所长、正高级工程师, 3GPP 全会副主席, 主要从事 4G、5G 无线接入技术标准化方面的工作。

陈山枝 (1968—), 男, 博士, 无线移动通信国家重点实验室 (电信科学技术研究院有限公司) 主任, 博士生导师、正高级工程师, 国家杰出青年科学基金获得者, IEEE Fellow, 中国电子学会会士, 中国通信学会会士。负责 4G 和 5G 移动通信、C-V2X 车联网技术与标准研究及产业化工作。主要研究方向为 B5G 和 6G、车联网、卫星移动通信等。