

3GPP 5G NTN接入网最新技术进展和发展趋势

张路, 王雪, 芒戈, 王高健, 张少伟, 钟华, 章扬, 朱雪田

(中国星网网络创新研究院有限公司, 北京 100029)

摘要: 在卫星互联网技术体制的多种路线中, 基于3GPP 5G非地面网络(Non-Terrestrial Networks, NTN)演进的技术体制因其适配3GPP国际标准, 可以充分复用地面网络及终端的成熟产业链, 同时大幅降低空间段研制部署的技术难度和成本, 并且使系统具有面向未来6G移动通信时代的持续演进能力。聚焦于3GPP 5G NTN的接入网, 在简要回顾3GPP Rel-17中引入的第一个5G NTN标准版本的主要内容后, 首先介绍2024年6月正式发布的3GPP Rel-18中的技术进展, 然后概述近期开启研讨的3GPP Rel-19中的技术议题, 最后描述对未来3GPP Rel-20+中技术发展趋势的展望。

关键词: 3GPP 5G NTN; RAN; 最新技术进展; 技术发展趋势

中图分类号: TN927

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2024032

Latest Progress and Future Trends of Technologies Used by RAN for 3GPP 5G NTN

ZHANG Lu, WANG Xue, MANG Ge, WANG Gaojian, ZHANG Shaowei, ZHONG Hua, ZHANG Yang, ZHU Xuetian

China Satellite Network Innovation Co., Ltd., Beijing 100029, China

Abstract: Among multiple technical routes qualified for building satellite networks, the route which is based on 3GPP 5G NTN and its evolution has its own unique advantages, including fully reusing the mature industry chains of network equipment and terminal for terrestrial networks, dramatically reducing the difficulty and cost of the development and deployment for space segment, and enabling the smooth and continuous evolution toward the future 6G systems. Focused on RAN for 3GPP 5G NTN, after briefly reviewed the key contents of the first version of 5G NTN standard introduced in 3GPP Rel-17, this paper firstly summarized the technical progress in 3GPP Rel-18 which had been officially published in 2024 June, then introduced the technical topics in 3GPP Rel-19 which had started the formal discussions recently, and finally looked into the technology trends in future 3GPP Rel-20+.

Keywords: 3GPP 5G NTN, RAN, latest technical progress, outlook for technology trend

0 引言

卫星互联网技术体制当前主要包括如下3种路线: 专用技术体制、适配现有地面移动通信系统的技术体制和基于3GPP 5G非地面网络(Non-Terrestrial Networks, NTN)演进的技术体制。本文聚焦于对3GPP 5G NTN的接入网(Radio Access Network, RAN)的分析

3GPP的第15个版本(Rel-15)和Rel-16对5G NTN做了比较充分的研究。Rel-17正式完成了对5G NTN的基本支持。接下来, 针对3GPP 5G NTN的接入网, 在简要

回顾Rel-17的主要内容后, 本文将重点介绍其最新技术进展, 并对其技术发展趋势进行展望。

1 Rel-17中5G NTN接入网的关键标准内容

在Rel-17引入的第一个5G NTN标准版本里, 接入网侧的标准内容主要包括对场景/架构和可用频谱的定义, 用于对抗“大”传输时延和“高”多普勒频移的功能增强, 移动性管理增强以及其他一些适配性设计或增强^[1-6]。下面选择一些关键内容进行简要回顾。

1.1 对场景/架构和可用频谱的定义

支持如下的卫星类型: 地球同步轨道 (GSO) 卫星、包括低轨 (LEO) 和中轨 (MEO) 卫星在内的非地球同步轨道 (NGSO) 卫星。GSO 卫星投射到地面的小区模式为地面静止小区 (在某些文献中也被称为凝视小区), 而 NGSO 卫星投射到地面的小区包括两种可能的模式: 地面移动小区和地面准静止小区。地面静止小区是指卫星投射到地面的小区相对于地面静止; 地面移动小区是指卫星投射到地面的小区跟着卫星一起移动 (这种情况下卫星的天线一般是与地面垂直的); 地面准静止小区是指卫星在移动过程中通过调整天线指向角度, 在一个有限的时间段内对地面上某个给定区域进行定点覆盖, 然后在接下来的另一个有限的时间段内对地面上另一个给定区域进行定点覆盖。

在 Rel-17, 只考虑透明转发架构 (也被称为弯管架构)。在这种架构下, 基站功能完全位于地面, 卫星像一个直放站, 仅提供射频中继转发功能。

在 3GPP 5G NTN 中, 星地无线通信的双工方式采用频分双工 (FDD)。在 Rel-17, 两个属于 FR1 (即 3GPP 定义的 410 MHz ~ 7.125 GHz 的频率范围) 的 FDD 频段已经被确定用于 5G NTN: n256 (上行链路使用 1 980~2 010 MHz, 下行链路使用 2 170~2 200 MHz) 和 n255 (上行链路使用 1 626.5~1 660.5 MHz, 下行链路使用 1 525~1 559 MHz)。

1.2 用于对抗“大”传输时延和“高”多普勒频移的功能增强

1.2.1 用户侧的 UE 对“大”传输时延和“高”多普勒频移的预补偿

卫星在新定义的被称为 SIB19 的系统消息中广播本星和邻星的星历信息 (包括卫星的位置与速度信息)。此外, 终端设备 (UE) 需要配备 GNSS 模块。于是, 根据“由 GNSS 测量所获取的自身的位置信息”和“由接收卫星广播的系统消息所获得的星历信息”, UE 可计算出与卫星之间的距离和相对速度, 从而可进一步计算出用于预补偿多普勒频移的频偏值和用于预补偿传输时延的定时提前 (Timing Advance, TA) 值。UE 在接入网络之前完成时频偏预补偿之后, 即可帮助星地通信实现良好的上行时频同步。

1.2.2 定时关系增强

为了预补偿大数量级的信号传输时延, 就需要使用大数值的 TA, 而这将会使得“对信号传输进行调度时所确定的某些时序关系”出现本不应有的错位。例如: 对于一个在序号为 m 的下行时隙里接收到的下行链路业务信道 (PDSCH) 数据包, UE 根据地面网络协议的规

定, 预计会在序号为 $m+K1$ 的上行时隙里发送相应的 HARQ 反馈; 但是, 由于 UE 使用了大数值的 TA, 序号为 $m+K1$ 的时隙可能会被提前至序号为 m 的时隙之前, 导致 UE 无法在正确的时间发送混合自动重传请求 (HARQ) 反馈。为了解决这类问题, 3GPP 5G NTN 协议新引入了一个可由网络侧进行配置的参量 K_{offset} 。就上述的例子而言, 让 UE 在序号为 $m+K1+K_{\text{offset}}$ 的上行时隙里发送相应的 HARQ 反馈。

此外, 用于进行上下行时序对齐的“定时参考点”的位置可能并不会位于基站, 从而导致基站侧的上下行定时存在偏差。因此, 3GPP 5G NTN 协议新引入了另一个会放在系统消息中进行广播的参量 k_{mac} , 用于处理基站侧上下行定时偏差对时序关系的影响。

1.2.3 HARQ 增强

一个 HARQ 进程 ID 只能在相应的反馈被收到 (即在相应的 HARQ 进程完结) 后才能被再次使用。在 NTN 中, 星地链路上的“大”传输时延会使得在某些时段里所有 HARQ 进程均被使用且未完结, 从而使得系统无法再发起新的数据传输。为了解决该问题, 3GPP 在 Rel-17 将 5G NTN 所支持的最大 HARQ 进程数从地面 5G 网络所支持的 16 个增至 32 个。

对于 GSO 卫星, 信号传输时延过大, 如果想采用上述办法来解决问题, 需要将最大 HARQ 进程数增加到一个当前硬件实现不可接受的数目。因此, 3GPP 5G NTN 协议增加了“禁用 HARQ 反馈”的可选功能。对于某个 HARQ 进程, 若其被配置为“禁用 HARQ 反馈”, 则基站不必收到 HARQ-ACK 信息即可在同一进程调度新的数据传输; 此时, 重传可由无线链路控制 (RLC) 层所支持的较慢的反馈机制来处理。

1.3 移动性管理增强

在 3GPP 5G NTN 中, 对于处于连接态的终端, 建议其可以主要依靠条件切换 (Conditional Handover, CHO) 来完成越区切换。在 Rel-17 NTN 中, 新增了基于时间段和基于终端位置的两个 CHO 触发条件。不过, 基于时间段或者基于终端位置的触发条件需要与一个地面网络一直在使用的基于信号质量测量的触发条件一起配置。基于时间段的触发条件被定义为: 只能在与“候选目标小区对应的卫星飞临终端上空的时间”相关的某个时段执行 CHO。基于终端位置的 CHO 触发条件 (也称为 D1 事件) 被定义为: 终端与服务小区的地面固定参考点之间的距离变得大于相应阈值, 并且终端与候选目标小区的地面固定参考点之间的距离变得小于相应阈

值；这个“固定”参考点的设计对于采用“地面移动小区”设计的LEO卫星通信系统来说，需要网络侧频繁地更新参考点，反复配置测量事件，系统复杂度和终端能耗将会很高。

此外，在Rel-17 NTN中，对空闲态或非激活态终端的小区重选，定义了基于时间和基于位置的邻区测量触发机制。基于时间的邻区测量触发机制被定义为：不论当前服务小区的服务质量如何，UE都需要在当前服务小区的服务停止时间之前开启邻区测量。基于位置的邻区测量触发机制被定义为：当服务小区的信号质量高于一定水准时，如果终端与服务小区的地面固定参考点之间的距离小于距离阈值，则终端可以不对同频邻区以及具备相同或更低优先级的异频或异系统邻区进行测量；反之，则需要测量。

一个NTN小区可能覆盖一个或多个省市，因此，一个NTN小区可以包含地面网络中多个跟踪区域的范围。在3GPP 5G NTN协议中，在通过卫星对跟踪区域码（TAC）进行广播的系统消息中，将每个运营商的每个小区可广播的TAC数目从地面网络中所支持的1个扩展到了最多12个。

2 Rel-18中5G NTN接入网的最新标准化成果

在已经正式发布的Rel-18里，对于5G NTN接入网，标准化工作的技术议题包括：对上行链路进行覆盖增强（聚焦于使用商用智能手机与卫星进行通信的情况），拓展5G NTN的部署频段至10 GHz以上，移动性和业务连续性增强，以及让网络认证终端上报位置信息^[2-5,7]。下面对5G NTN的这些最新标准化成果进行介绍。

2.1 上行覆盖增强

在对NTN的上行覆盖增强进行研讨时，重点关注如何把地面网络使用的上行覆盖增强方案合理应用于NTN。在Rel-18的最新进展中，已经明确会被纳入3GPP 5G NTN协议中的上行覆盖增强方案包括：对上行链路控制信道（PUCCH）进行重复传输和对上行链路业务信道（PUSCH）进行跨时隙联合信道估计。

关于对PUCCH进行重复传输，在NTN场景下，首要考虑的是对随机接入过程中“携带Msg4 HARQ-ACK的PUCCH”进行重复传输。在实现该增强功能时，若终端没有获得专用的资源配置，则可根据网络侧下发的参数的指示，来确定PUCCH重复传输的时隙数。

关于对PUSCH进行跨时隙联合信道估计，具体而言，这个功能是在对PUSCH进行重复传输时联合利用多个时隙的解调参考信号（DMRS）一起进行信道估计，以

增强信道估计的精准度。要实现该增强功能，不论是在NTN还是地面网络中，都必须保证DMRS在不同时隙上的相位一致性和功率连续性。为此，不同时间隙的PUSCH传输需要满足一些条件，比如：调制阶数不变，传输功率水平不变，资源分配的频域位置不变（因此需引入新的跨时隙跳频模式），不会发生上下行切换（对时分双工系统而言）等。

2.2 频段拓展至10 GHz以上

在Rel-18，对于10 GHz以上的频谱，3GPP确定了如下3个可用于5G NTN的FDD频段，具体见表1。

表1 3个可用于5G NTN的FDD频段

NTN的操作频段	上行链路(从地面到卫星)	下行链路(从卫星到地面)
n512	27.5~30.0 GHz	17.3~20.2 GHz
n511	28.35~30.0 GHz	17.3~20.2 GHz
n510	27.5~28.35 GHz	17.3~20.2 GHz

2.3 移动性和业务连续性增强

2.3.1 无须执行随机接入的越区切换

基于3GPP 5G NTN在Rel-18的最新进展，UE在两个NTN小区之间可以进行“无须执行随机接入的越区切换（RACH-less HO）”。RACH-less HO的信令交互示意图1所示。

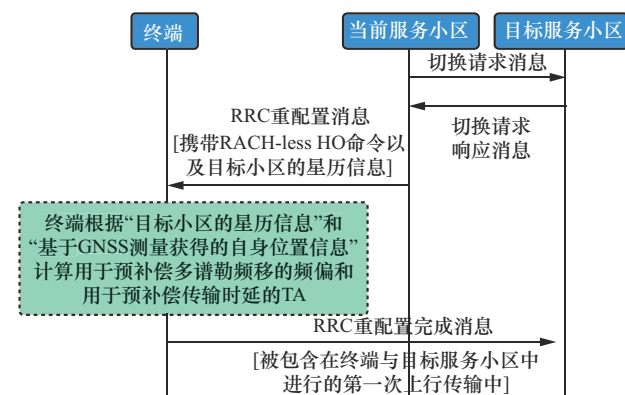


图1 RACH-less HO的信令交互示意

UE执行RACH-less HO时，在越区切换的目标服务小区中进行的第一次上行传输可以基于网络侧的动态授权调度来进行，也可以基于网络侧在RACH-less HO命令中预先给予UE的配置授权调度来进行。对于第一次上行传输是基于动态授权调度来进行的情况，网络侧需要把“与某个特定波束相关的信息”携带在RACH-less HO命令中告知UE，使得UE可以在恰当的波束方向上监听目

标服务小区下发的PDCCH,从而能及时获知动态授权调度信息。对于第一次上行传输是基于配置授权调度来进行的情况,UE会在完成第一次上行传输之后开始监听目标服务小区下发的PDCCH。

UE执行RACH-less HO时,在越区切换的目标服务小区中进行的第一次上行传输里会包含“无线资源控制(RRC)重配置完成”消息。目标服务小区成功收到UE的第一次上行传输后会给UE做出确认,如果第一次上行传输是基于配置授权调度来进行的,UE在得到网络侧的确认后,即会自主释放掉对相应的调度授权的配置。

此外,对于一个处于RRC连接态的UE,当有上行数据发送需求时,若UE没有用于发送调度请求(Scheduling Request, SR)的PUCCH资源,通常会触发UE执行随机接入。如果某个UE被配置了RACH-less HO,则不再会因为要发送SR而触发UE执行随机接入。

在3GPP 5G NTN中,RACH-less HO既可以在同一卫星内的越区切换场景中被支持(此时一颗卫星的覆盖区域被定义为多个小区),也可以在不同卫星间的越区切换场景中被支持(此时一颗卫星的覆盖区域被定义为一个或多个小区),不论越区切换时是否会发生馈电链路的切换。

2.3.2 切换与小区重选时基于位置的触发条件的增强(针对地面移动小区)

基于位置的CHO触发条件增强(针对地面移动小区)如图2所示。

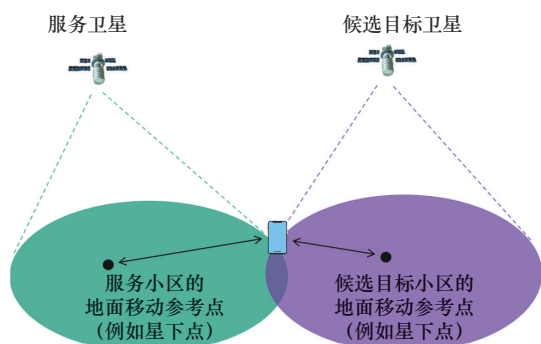


图2 基于位置的CHO触发条件增强(针对地面移动小区)

在Rel-18 NTN,为了适配地面移动小区场景下卫星覆盖区域随着时间的推移而不断变化的特点,对基于终端位置的CHO触发条件进行了增强。具体地,基于局部修改Rel-17中定义的D1事件(参见第1.3节的第一段),Rel-18新定义了一个D2事件,其中进行修改的地方是:将服务小区和候选目标小区的地面参考点从“固定”的

改为“移动”的;与“地面移动参考点”相对应的位置信息会由网络侧通过系统消息广播给终端。

同时,在Rel-18 NTN,对小区重选时基于位置的邻区测量触发机制,也针对地面移动小区场景进行了类似的增强。具体而言,将Rel-17中定义的基于位置的邻区测量触发机制(参见第1.3节的第二段)中所述的“地面固定参考点”改为了“地面移动参考点”。

2.3.3 PCI不变的卫星切换(针对地面准静止小区)

基于3GPP 5G NTN在Rel-18的最新进展,针对“地面准静止小区”的NTN场景,UE可以完成服务小区的物理小区标识(Physical Cell Identity, PCI)不变的卫星切换,即可以完成无须执行越区切换的卫星切换。具体而言,若两颗卫星先后对地面某个给定区域进行定点覆盖,但这两颗卫星归属于相同的基站并且使用相同的频域资源来发送同步信号和PBCH块(Synchronization Signal and PBCH Block, SSB),则认为虽然发生了卫星切换但为所述给定区域提供服务的小区并没有改变,可以不执行越区切换。PCI不变的卫星切换(针对地面准静止小区)如图3所示。

网络侧可在信令中用参数T-service给UE指示当前为所述给定区域提供服务的卫星何时会停止对该区域提供覆盖,以及用参数T-start给UE指示即将接替当前服务卫星来提供服务的目标卫星何时会开始对该区域提供覆盖。如果T-start未在信令中被提供,则可认为T-start等于T-service。

对于这种PCI不变的卫星切换,又可分为“PCI不变的卫星硬切换”(即切换时相邻卫星没有重叠覆盖区域,因而可能会有很短暂的业务中断)和“PCI不变的卫星软切换”(即切换时相邻卫星存在重叠覆盖区域)。至少对于“PCI不变的卫星软切换”,网络侧会在系统消息中给UE广播当前服务卫星与即将接替服务的目标卫星之间的“SSB发送时间偏移”。

如果UE在发起“PCI不变的卫星切换”之前从网络侧收到了越区切换命令(即切换至具有不同PCI的一个小区的命令),则UE将会立即执行越区切换,可以对一个UE同时进行CHO和“PCI不变的卫星切换”的相关配置。此时,这两个流程中的哪一个在UE侧被先触发,UE就执行哪个流程。如果两个流程被同时触发,执行哪个流程取决于UE侧的工程实现。

2.3.4 NTN与TN之间的移动性管理

对于从NTN到TN的小区重选,可以让NTN小区为其所服务的UE提供相邻的多个TN小区的覆盖区域信息,

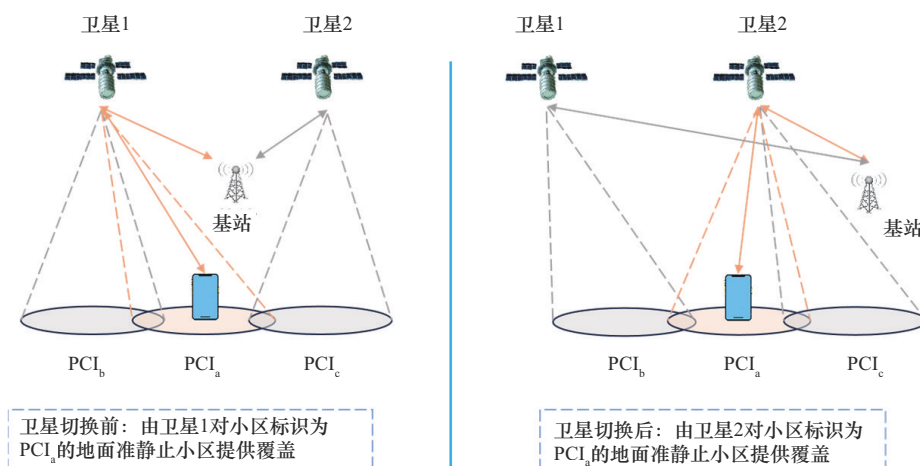


图3 PCI不变的卫星切换（针对地面准静止小区）

以使UE为接下来对相邻TN小区的重选做好准备。对于NTN小区是地面移动小区的情形，网络侧给UE提供的关于相邻TN小区的覆盖区域信息可以包括“卫星在接下来将要覆盖的服务区域”的相邻TN小区，并且在相邻TN小区的覆盖区域信息进行更新时可以存在信息的部分重叠，这样可以使所有被滑动的NTN小区所服务的UE都获得足够充分的TN邻区信息。携带“相邻TN小区的覆盖区域信息”的系统消息在作为当前服务小区的NTN小区里，可以被周期性地广播、按需进行广播，或者以专用的方式被发送。

对于从TN到NTN的小区重选，可以让TN小区为其所服务的UE提供相邻NTN小区的星历信息，以使UE为接下来对相邻NTN小区的重选做好准备。携带“相邻NTN小区的星历信息”的系统消息在作为当前服务小区的TN小区里，可以被周期性地广播、按需进行广播，或者以专用的方式被发送。

2.4 让网络认证终端上报的位置信息

网络侧需基于UE上报的位置信息进行法规认证和核心网路由选择等操作，UE上报的位置信息的真实性影响NTN通信安全和法规风险。此外，一些紧急场景用例下，需保证UE位置的准确性，以便开展后续搜救等工作。因此，Rel-18支持由网络去确认UE上报的位置信息的真实性，并针对一些与位置相关的业务场景（比如紧急呼叫、合法拦截、公共警告、计费 etc.），分析相应的法规要求。

网络侧采用Multi-RTT定位方法对UE上报的位置进行验证，如图4所示。

在5G NTN的网络侧，采用5G地面网络已经支持的Multi-RTT定位方法对UE上报的位置进行验证。在地面

网络，Multi-RTT定位方法是让UE与至少3个基站互发用于定位的参考信号，然后基于UE和基站各自获取的收发时间差测量得到至少3个往返传播时延（RTT）测量值，进而以相应的每个基站为圆心、以“ $0.5 \times \text{RTT} \times \text{光速}$ ”为半径构造至少3个圆形，最后利用这些圆形的交汇来估算出UE的地理位置。而在NTN中，就卫星本身总是处于高速移动中的LEO卫星系统而言，Multi-RTT定位方法是利用至少3个不同时刻下UE与服务卫星间的RTT测量值来估算出UE的地理位置。此外，在NTN中由网络侧对UE进行定位时，可接受的定位精度为5~10 km。

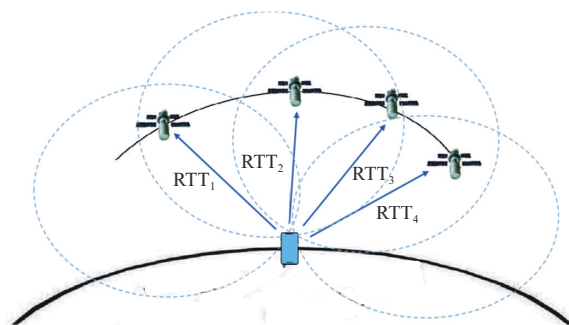


图4 网络侧采用Multi-RTT定位方法对UE上报的位置进行验证

3 Rel-19中5G NTN接入网议题概览

在2024年刚开启研讨的Rel-19的标准化工作中，会对5G NTN继续进行增强。下面介绍Rel-19 NTN在无线接入网已立项议题的关键内容^[8-19]。

3.1 对“信号再生（即基站上星）架构”的支持

就基站上星的具体实现而言，可以让所有的基站功

能都上星运行，也可以只让基站的部分功能上星运行（如只让“按CU/DU分离架构实现的基站的DU”上星）。

基站上星的信号再生架构可以减少基站与终端之间的空口传输时延。相比Rel-17和Rel-18中明确表示会支持的透明转发架构，信号再生架构需要更少的地面信关站。此外，信号再生架构还可以使基站之间通过星间链路实现更高效的协作。

已达成的共识是：最简捷有效地支持信号再生架构的方式就是让所有的基站功能都上星运行。根据多方分析，基站功能全部上星的架构已经可以被Rel-17和Rel-18 NTN的现有规范所支持，只需在实现中对某些参数（比如公共的定时提前量）给予正确配置即可。目前来看，Rel-19只需在相应的3GPP规范（即3GPP TS 38.300）中增加相关描述，明确指出“当前的NTN规范也支持基站功能全部上星的信号再生架构”即可。后续，随着Rel-19标准化工作的开展，若识别出需要进行某些功能或协议增强，则应予以解决并尽量最小化对现有规范的影响。目前已研判出一些需重点甄别是否有必要去增强的地方，比如涉及Xn接口的星载基站间移动性管理功能、星载基站与核心网通信时在控制面采用的NGAP协议等。

此外，对于只让DU上星的信号再生架构，也有极少数的3GPP成员单位建议可在Rel-19给予考虑，以期尽量降低对星上处理的复杂度。由于F1接口的引入，显然需要对现有NTN规范进行更多的改动。对于低轨卫星系统，考虑到卫星高速移动会导致的高动态拓扑，按CU/DU分离架构去实现基站的成本会比地面网络高得多。因此，这种信号再生架构在Rel-19 NTN中被考虑的可能性并不大。

3.2 下行链路覆盖增强

关于NTN下行链路覆盖增强应该在Rel-19被考虑，达成共识的一个主要原因是：当卫星并发多个波束时，卫星的总发射功率会被多个波束分享，有可能使得某个或某些波束发生下行发射功率受限的情况。此外，还有两种原因（或者说场景）也不可忽视：一是，当卫星通信业务与地面通信业务在某些频段内共存时，为保护地面通信业务，国际电信联盟无线电通信部门（ITU-R）会对卫星通信业务施加“功率通量密度（Power Flux Density, PFD）”限制，即限定工作在某频段的卫星通信业务到达地球表面的单位面积功率值；二是，当卫星发射的信号要穿过人体的一部分之后才能到达终端（如鉴于人的站姿和所站方位，卫星发射的信号要穿过人的左肩和背部才能到达装在右边裤子口袋里的终端）时，下行

链路也会产生额外的覆盖损失。

针对如何进行下行覆盖的改善，进行如下两方面的考虑。

一方面，从“链路级”增强的角度：根据链路预算识别出哪些信道是具体的瓶颈信道，比如Msg2或Msg4 PDSCH已被认为很可能成为瓶颈信道。然后，可以考虑借用地面网络进行下行覆盖增强所用的方法（如增大信道编码输出的纠错比特占比、重复传输等），以及可以进行一些专门针对NTN场景的下行覆盖增强（如允许终端上报自身的天线极化属性，使得卫星在发射信号时有可能有针对性地进行极化配置，从而减小下行信号的极化损失）。需注意，暂时无须考虑对SSB的覆盖增强，并且Rel-19仅针对部署在FR1频段的NTN去考虑“链路级”的覆盖增强。

另一方面，从“系统级”增强的角度：根据低轨卫星系统典型配置下单星覆盖面积的大小，可以观察到，要想一次性地完成全局覆盖，需要卫星同时发射数以千计的波束。由于卫星的总功率有限，同时并发如此大量的波束显然是不可行的。因此，需要利用“时分加空分”的跳波束传输，以及辅以“与每次被调度的有限并发波束所覆盖区域和/或所承载业务的特点相匹配”的波束级功率分配优化，从整个系统的层面提升下行覆盖能力。由于每个波束所使用的功率是由卫星的总发射功率和并发波束的（最大）数量来决定的，需要在对跳波束机制进行优化的同时，配合研究下列卫星参数的合理配置：卫星的总发射功率，卫星并发波束的最大数量，天线阵列属性（如是数字还是模拟天线阵列）。此外，如果系统中存在多种具有不同波束宽度的波束，也需研究粗细波束间的合理功率分配。需注意，在Rel-18里经研讨后纳入标准的基站节能技术应作为该研究中波束级功率分配优化的基础，并且Rel-19会对部署在FR1频段和FR2频段的NTN都去考虑“系统级”的覆盖增强。

跳波束传输示意如图5所示。

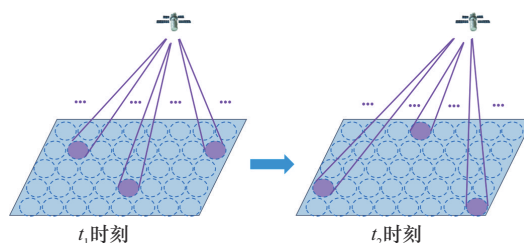


图5 跳波束传输示意

3.3 上行链路吞吐量/容量增强

根据业务特点,某些终端用户需要比其他终端用户使用更多的空口资源,而在低轨卫星通信系统中,由于卫星的高速运动,每个终端用户在任一卫星过顶时都只有很短的时间能获得服务机会。因此,如果想要尽量满足各类终端用户对空口资源的使用需求,就需要通过增强“终端用户对空口资源的复用”来提升系统的上行容量。此外,在NTN中为了实现上行链路的覆盖增强,某些重要技术手段(如大量的重复传输)也需要以上行链路吞吐量/容量的显著降低为代价。

为了解决上述问题,在Rel-19,将针对PUSCH去考虑在相同的空口资源上复用多个终端用户。但是要想在基站侧能够以良好的性能分离和解调出每个终端用户的数据,需要有比较精巧的信号处理设计。一个已被提及的解决思路:把5G系统在PDSCH/PUSCH DMRS的码分复用组设计里所使用的正交覆盖码(Orthogonal Cover Codes, OCC)借用过来。需要澄清和避免误解的是:这里考虑的是对PUSCH的增强而非对PUSCH DMRS的增强。

在5G系统所支持的两种上行波形中,DFT-s-OFDM波形因为具有比CP-OFDM波形更低的峰均功率比(Peak-to-Average Power Ratio, PAPR),在覆盖受限时性能更好。星地无线链路通常是上行覆盖受限的,更适合使用DFT-s-OFDM波形作为上行波形。因此,在Rel-19,将基于DFT-s-OFDM波形来研究如何利用OCC提升PUSCH传输的吞吐量/容量。需注意,Rel-19仅针对部署在FR1频段的NTN去进行PUSCH传输的吞吐量/容量增强,并且不会考虑对初始接入流程中涉及的PUSCH传输进行所述增强。

对PUSCH应用OCC的误块率仿真结果^[15]如图6所示。

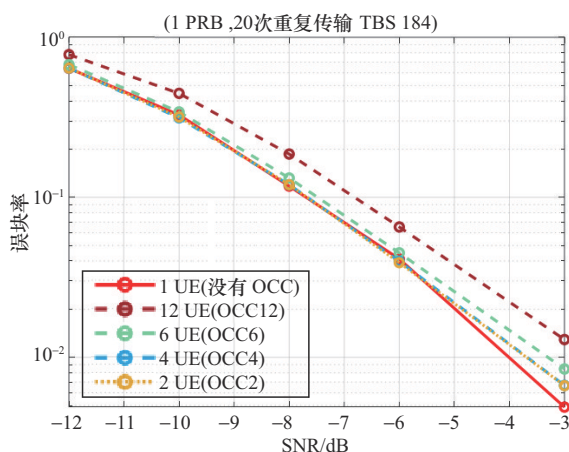


图6 对PUSCH应用OCC的误块率仿真结果^[15]

3.4 基于NTN的组播广播业务

典型的组播广播业务(Multicast and Broadcast Service, MBS)包括公共安全服务、多媒体业务等。如果让NTN支持MBS,则可以利用卫星覆盖区域大的特点,充分利用卫星资源去创造更多价值。鉴于此,Rel-19将会对其进行考虑。

在Rel-19,将会在“把基于地面网络所制定的5G MBS规范重用于NTN”的基础上,针对NTN所特有的“超大传播时延”等特点,去检视是否需要5G MBS规范进行一些适配性改动,以及如果需要应该如何进行改动。总之,一个基本的原则:通过对现有的5G MBS规范进行最小的更改来实现。目前已研判出下述可考虑进行增强的地方:某个广播业务的目标区域可能会小于卫星所具有的相当广阔的覆盖区域,此时,需要合理设计信令以指示清楚相应广播业务的目标区域。

3.5 RedCap终端(即5G轻量化终端)对NTN的支持

在Rel-17,定义了“包括NB-IoT和eMTC在内的4G物联网技术”对NTN的基本支持;在Rel-18,对NB-IoT/eMTC NTN进行了性能增强。为了支持数据速率高于NB-IoT/eMTC NTN的物联网应用业务,Rel-19将会研讨RedCap终端对NTN的支持。

由于RedCap终端是基于5G空口技术的物联网终端,如果对作为RedCap终端的可选特性的“半双工FDD”不予考虑,要实现RedCap终端对NTN的支持,几乎不用对Rel-17和Rel-18中制定的5G NTN规范进行改动。根据3GPP已进行的研究,需要对规范进行补充的主要是终端射频方面的技术要求。当然,如果要让RedCap NTN支持“半双工FDD”,考虑到半双工FDD制式中上下行切换与NTN场景中超大传播时延之间的适配,有可能会需要一些与物理层相关的改动工作。需注意,Rel-19仅针对部署在FR1频段的NTN去考虑RedCap终端对NTN的支持。

3.6 上行链路覆盖的进一步增强

在Rel-18 NTN的标准化工作中,虽然研讨了上行链路覆盖增强,但是,一方面,主要的技术手段(如重复传输)需要用吞吐量/系统容量的下降来换取覆盖能力的提升;另一方面,依靠所研讨的技术手段,链路预算仍旧不够乐观。

对工作于FR1频段的手持NTN终端,Rel-19有考虑将其最大发射功率从23 dBm(即功率等级3)提升至26 dBm(即功率等级2)。

Rel-19对这个议题的立项比较晚,被纳入在制定终端

设备的射频技术标准的工作项目里，而没有放在 Rel-19 RAN工作组针对NTN专门设立的工作项目中。

4 对未来Rel-20+中5G NTN技术发展趋势的展望

在对 Rel-19 NTN的研究范围进行讨论时，曾经考虑过不少候选议题^[20]。虽然最后只有上述议题被正式纳入了 Rel-19，但是，其他的一些未纳入 Rel-19的议题也在 3GPP 经过多轮讨论后被确认为具有重要意义的，很可能在 Rel-20+被考虑。了解和研究这些议题将有利于把握 3GPP 5G NTN的技术发展趋势。

4.1 移动性管理的进一步增强

对于 NTN 与 NTN 之间和 NTN 与 TN 之间的移动性管理（包括终端处于连接态时基于 Xn/Ng 接口的越区切换和终端处于空闲态时的小区选择或重选），基于 Rel-17 和 Rel-18 NTN 的标准化工作，大部分问题已经得到了良好的解决。

对于 NTN 与 NTN 之间的移动性管理，未来可重点研究的内容包括但不限于：基于地理位置（如基于恰当设置的地理距离门限值）来精简小区重选时的候选小区范围；面向“在较短的时间内有大量终端会越区切换到相同的另一个小区”的场景（如地面移动小区发生馈电链路切换的场景和地面准静止小区场景），减少越区切换的信令开销（如由群组中某一个终端的测量上报触发所在群组的所有终端的越区切换，在切换命令中用一个预定义的配置索引替代繁多的配置内容，采用公共的信令消息广播目标小区的配置信息，一次性地发送一个“群组越区切换命令”）等。

对于 NTN 与 TN 之间的移动性管理，在 Rel-20+，可以针对 NTN 与 TN 有重叠覆盖的场景，研究基于 QoS 来合理选择所接入的网络类型。

4.2 无法获取 GNSS 测量结果时的增强操作

GNSS 接收机已经几乎成为各类终端的缺省配置。在 Rel-17 到 Rel-19 NTN 的标准化工作中，一个很重要的基本假设是：终端都能通过 GNSS 测量获得自身的位置信息，并且能将 GNSS 测量结果上报给网络侧。基于这样的假设，卫星通信系统（包括终端侧和网络侧）可以利用终端的位置信息进行一些必要的优化设计。比如：如第 1.2 节中所述，根据“由 GNSS 测量获得的自身位置信息”和“由接收卫星广播的系统消息所获得的星历信息”，终端可以在接入网络之前即完成时频偏的预补偿。

在 Rel-20+，针对具有 GNSS 功能的终端，可以考虑研究“无法获取 GNSS 测量结果”时的增强操作。具体而言，终端可能在位于某些地点或处于某些时段（如位于 GNSS 信号被阻隔的地点，处于终端节电休眠或 GNSS 信号被干扰的时段等）时，出现 GNSS 信号丢失或测不到的情况，从而无法及时测量得到并且也无法及时向网络侧上报自身的位置信息。此外，终端的位置信息是终端所属用户的个人隐私，终端还可能会因为隐私法规问题而无法将经由 GNSS 测量所获得的位置信息上报给网络侧。

为了防止“系统利用终端位置信息进行的一些必要的优化设计”会因为“不知晓终端的位置信息”而无法使用，未来，应该着重对相关技术环节进行不依赖终端位置信息的兜底式的或增强型的设计。比如不依赖终端位置信息完成良好的时频同步；不依赖终端位置信息确定终端是否处于边缘波位，从而考虑是否让该终端进行邻区测量放松以实现节电等。

4.3 在非常差的信号传播条件下卫星给终端的通知/告警

对于在第 3.2 节中所述的 Rel-19 中会研讨的“下行链路覆盖增强”，其主要是针对 NTN 现有的各种下行信道或信号进行覆盖能力增强，所关注的信号传播条件也是以视距（Line of Sight, LOS）为主的情况。根据 3GPP 已完成的对 NTN 的信号传播条件的调研，建筑物遮挡所导致的覆盖能力下降最高可达 18 dB 左右。因此，在 Rel-20+，可以关注如下所述的情形：终端与卫星之间的无线信号传播条件是非常差的纯粹的非视距（Non-Line of Sight, NLOS），比如无线信号传播路径上遇到建筑物或人体等造成的遮挡时。

未来，可以先重点关注对寻呼消息的覆盖增强。在展开研究时，需首先确定对“传统的用于承载寻呼消息的 PDCCH/PDSCH”的覆盖增强是否足以解决问题。如果不能解决问题，可以考虑让卫星给终端发送专门的、对覆盖能力做了大幅增强的、简单的通知/告警，从而让终端用户做出一些能明显改善信号传播条件的行为（如走动几步避开高墙的遮挡，从房间内走到屋外，把终端从包里掏出来等），并希望因此可以让终端在接下来成功接收到寻呼消息（而不至于让网络侧总是寻呼不到终端，以至于终端错过通信）。

5 结束语

从技术发展的角度来看，在 2023 年 6 月 ITU-R 正式通过的全球 6G 愿景中，作为六大典型场景之一的“泛在

连接”，明确提出了对卫星通信的需求。根据业界共识，在3GPP Rel-20中，伴随5G在最后阶段的持续演进，将开始进行6G需求的研讨。因此，从Rel-20开始，在关注5G NTN协议演进的同时，还需关注对6G NTN的需求研讨。

参考文献：

- [1] 3GPP. TS 38.211, NR; Physical channels and modulation(Release 18), V18.3.0[S]. 2024.
- [2] 3GPP. TS 38.213, NR; Physical layer procedures for control(Release 18), V18.3.0[S]. 2024.
- [3] 3GPP. TS 38.214, NR; Physical layer procedures for data (Release 18), V18.3.0[S]. 2024.
- [4] 3GPP. TS 38.300, NR; NR and NG-RAN overall description; Stage 2 (Release 18), V18.2.0[S]. 2024.
- [5] 3GPP. TS 38.331, NR; Radio resource control (RRC) protocol specification (Release 18), V18.2.0[S]. 2024.
- [6] 3GPP. RP-221946 (Work Item Summary), Summary for NR support for NTN in Rel-17[S]. 2024.
- [7] 3GPP. RP-240922 (Work Item Summary), Summary for NR NTN enhancements in Rel-18[S]. 2024.
- [8] 3GPP. RP-234078 (Work Item Description), New WID - NTN for NR phase 3 in Rel-19[S]. 2023.
- [9] 3GPP. RP-231931 (T-doc for Discussion), NTN enhancements in Rel-19[S]. Huawei and HiSilicon, 2023.
- [10] 3GPP. RP-232154 (T-doc for Discussion), Views on NTN for Rel-19[S]. ZTE and Sanechips, 2023.
- [11] 3GPP. RP-232055 (T-doc for Discussion), Consideration on NTN evolution[S]. CATT, 2023.
- [12] 3GPP. RP-232527 (T-doc for Discussion), Rel-19 NTN enhancements[S]. Ericsson, 2023.
- [13] 3GPP. RP-231707 (T-doc for Discussion), NTN evolution in Rel-19 [S]. Nokiaand Nokia Shanghai Bell, 2023.
- [14] 3GPP. RP-232037 (T-doc for Discussion), NTN enhancements in Rel-19[S]. Samsung, 2023.
- [15] 3GPP. RP-231720 (T-doc for Discussion), Views on scope for NTN enhancements in Rel-19[S]. Qualcomm Incorporated, 2023.
- [16] 3GPP. RP-232096 (T-doc for Discussion), Views on NTN evolution in R19[S]. Apple, 2023.
- [17] 3GPP. RP-231777 (T-doc for Discussion), Discussion on NTN evolution for Rel-19[S]. OPPO, 2023.
- [18] 3GPP. RP-231795 (T-doc for Discussion), Rel-19 NTN evolution (RAN2-led)[S]. VIVO, 2023.
- [19] 3GPP. RP-231988 (T-doc for Discussion), Non-terrestrial network (NTN) enhancements for Rel-19[S]. Inter Digital, 2023.
- [20] 3GPP. RP-232610 (T-doc for Discussion), Moderator's summary for REL-19 RAN2 topic NTN for NR[S]. Offline Session Moderator, 2023.

[作者简介]



张路（1978-），男，博士，现就职于中国星网网络创新研究院，主要研究方向为低轨卫星接入与组网、星地融合、5G/6G移动通信系统关键技术等。



王雪（1983-），男，硕士，现就职于中国星网网络创新研究院，主要研究方向为卫星互联网网络架构与网络体制。



芒戈（1985-），男，高级工程师，硕士，现就职于中国星网网络创新研究院，主要研究方向为5G、卫星移动通信和频谱工程。



王高健（1988-），女，博士，现就职于中国星网网络创新研究院，主要研究方向为低轨卫星接入与组网、星地融合、5G/6G移动通信系统关键技术等。



张少伟（1992-），男，工程师，硕士，现就职于中国星网网络创新研究院，主要研究方向为无线体制、频谱工程和干扰共存。



章扬（1980-），男，高级工程师，博士，现就职于中国星网网络创新研究院，主要研究方向为卫星互联网。



钟华（1984-），女，高级工程师，硕士，现就职于中国星网网络创新研究院，主要研究方向为卫星网络总体论证与设计。



朱雪田（1975-），男，教授级高级工程师，博士，现任中国星网网络创新研究院副总经理，主要研究方向为卫星互联网网络技术研发与创新。