

3GPP IoT NTN 接入网技术进展和发展趋势

张 路, 王 雪, 齐崇清, 王高健, 延凯悦, 芒 戈, 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: 卫星物联网不但可以实现对传统地面物联网的补充, 还具有一些自身独特的优势, 比如推动低空经济的发展、对自然灾害有更强的耐受力。面向作为卫星物联网市场中坚力量的窄带卫星物联网业务, 3GPP于Rel-17首次制定了“基于非地面网络来支持窄带物联网业务”的IoT NTN国际标准。聚焦于3GPP IoT NTN的接入网, 先介绍于2024年6月正式发布的3GPP Rel-18中的技术进展, 然后概述3GPP Rel-19中的技术议题, 最后描述对3GPP Rel-20+中技术发展趋势的展望。

关键词: 3GPP IoT NTN; 接入网; 技术发展趋势展望

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2025013

Progress and Future Trend of Technologies Used by RAN for 3GPP IoT NTN

ZHANG Lu, WANG Xue, QI Dongqing, WANG Gaojian, YAN Kaiyue, MANG Ge,
ZHONG Hua, ZHANG Yang, ZHU Xuetian

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

Abstract: Satellite IoT not only plays a supplemental role when there have been deployments of terrestrial IoT, but also has some unique advantages, such as promoting the development of low-altitude economy, having a greater tolerance to natural disasters. Aiming at narrow-band satellite IoT services which dominates the market for satellite IoT, in Rel-17, 3GPP issued international standard for IoT NTN for the first time with which NTN can support narrow-band IoT services. Focusing on RAN for 3GPP IoT NTN, this paper will firstly summarize the technical progress in 3GPP Rel-18 which has been officially published in 2024 June, then introduce the technical topics in 3GPP Rel-19, and finally look into the technology trend in 3GPP Rel-20+.

Keywords: 3GPP IoT NTN, RAN, outlook for technology trend

0 引言

相比于传统的地面物联网 (Internet of Things, IoT), 卫星物联网具备覆盖范围广、系统容量大、受天气影响小、在自然灾害中抗毁性强等优势, 并且还将对低空经济起到不可忽视的推动作用。作为在通信技术领域制定全球适用的标准规范的组织, 第三代合作伙伴计划 (3GPP) 在面向非地面网络 (Non-Terrestrial Networks, NTN) 的物联网标准制定中, 采用继承自4G系统的增强型机器类通信 (eMTC) 和窄带物联网 (NB-IoT) 技术对只需提供较低数据传输速率的窄带卫星物联网业务予以

支持, 并且把eMTC NTN和NB-IoT NTN统称为IoT NTN。本文将对3GPP IoT NTN的无线接入网 (Radio Access Network, RAN) 进行分析。

3GPP的第17个版本 (Rel-17) 对IoT NTN所需的最小功能集合给予了支持, 其中在RAN侧, Rel-17标准里所支持的内容主要包括: 重用3GPP 5G NTN标准中的解决方案实现时频同步增强 (包括终端侧时频预补偿和时序关系增强等)、IoT NTN特有的时频同步增强 (包括引入200 kHz的信道栅格或者把绝对频点号的两个最低有效位携带在主系统信息块中)、终端对“全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 测量结果有

效时间”的自主确定和上报、当 GNSS 测量结果失效时终端应进入无线资源控制（Radio Resource Control, RRC）空闲态去重新进行 GNSS 测量、支持终端在时域上分段进行长时上行传输及逐段进行时频预补偿、向终端广播用于预测非连续覆盖的与后续卫星相关的星历和覆盖信息等。2024 年 6 月正式发布的 Rel-18 对 IoT NTN 进行了进一步的功能增强。

接下来, 本文将首先介绍 Rel-18 中 3GPP IoT NTN 接入网最新技术进展, 然后对正在进行研讨的 Rel-19 中的技术议题进行概述, 并对未来 Rel-20+ 中可能会研讨的技术议题进行展望。

1 Rel-18 中 IoT 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 IoT NTN 接入网, 标准化工作的技术议题包括: 面向长时上行传输场景的 GNSS 测量增强、移动性管理增强、混合自动重传请求 (Hybrid Automatic Repeat reQuest, HARQ) 增强, 以及面向非连续覆盖的进一步增强^[1-5]。下面将逐一对 IoT NTN 的这些标准化成果进行分析。

1.1 面向长时上行传输场景的 GNSS 测量增强

在某些场景 (比如: NB-IoT/eMTC 终端需要借助大量重复传输实现上行覆盖增强) 下, 得益于对非连续接收 (Discontinuous Reception, DRX) 技术的使用, NB-IoT/eMTC 终端可以与网络侧在相对较长的时段里保持连接, 如图 1 所示。对于这种“长时上行传输”的情况, Rel-17 已经支持终端在时域上分段完成上行传输和逐段进行“对大时延/大频移的预补偿”。但是, 根据 Rel-17 IoT NTN 的规定, NB-IoT/eMTC 终端处于 RRC 连接态时不允许进行 GNSS 测量, 那么当逐段进行时频预补偿时, 在靠后的时段里 GNSS 测量结果可能已经失效, 从而使得相应的时频预补偿准确性降低。

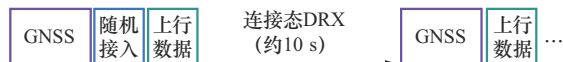


图 1 物联网终端与网络侧在相对较长时段里保持连接示意

为了解决上述问题, Rel-18 允许连接态的 NB-IoT/eMTC 终端在 GNSS 测量结果失效后进行新一轮的 GNSS 测量, 以确保 NB-IoT/eMTC 终端在跟卫星保持无线连接时可以始终通过比较精准的时频预补偿来维持良好的上行同步状态。在具体操作层面, 如果网络侧通过信令消息指示 NB-IoT/eMTC 终端上报“进行 GNSS 测量所需的时长”, 则表示网络侧允许 NB-IoT/eMTC 终端在连接态下

进行 GNSS 测量; 否则, NB-IoT/eMTC 终端在 GNSS 测量结果有效时间到期 (即 GNSS 测量结果失效) 之后, 需要进入空闲态再次进行 GNSS 测量。

对于 NB-IoT/eMTC 终端在连接态下的测量, 有如下两种不同的触发方式。① 自主触发 (需网络侧预先通过参数配置来使能): 在“触发测量的定时器”到期后, 连接态的 NB-IoT/eMTC 终端即会自主地进行一轮新的 GNSS 测量。如果网络侧允许终端在 GNSS 测量结果失效后仍可在“上行传输延长定时器”限定的时长里继续进行一段时间的上行传输, 则前述触发测量的定时器为上行传输延长定时器, 否则, 触发测量的定时器就采用 GNSS 测量结果有效时间来表征。② 网络侧触发: 网络侧可以在上述触发测量的定时器到期之前, 通过下发媒体接入控制层的控制信元 (MAC CE) 去触发连接态的 NB-IoT/eMTC 终端进行一轮新的 GNSS 测量。

1.2 移动性管理增强

Rel-17 IoT NTN 在移动性管理方面仅确定了如下两个结论: ① 面向连接态移动性管理, eMTC NTN 支持条件切换 (Conditional Handover, CHO) 且仅支持基于信号质量测量去触发 CHO, 而 NB-IoT NTN 不支持越区切换; ② 面向空闲态移动性管理, 针对地面准静止小区的情况, 空闲态的 NB-IoT/eMTC 终端在进行小区重选时, 可基于服务小区何时会停止服务的时间信息触发邻区测量。

关于 NB-IoT NTN 不支持越区切换, 是沿用了地面网络的 NB-IoT 标准中的规定。关于 3GPP 做出这种规定的原因, 本文简析如下: 源自地面物联网的 NB-IoT 机制主要为静止或低移动性物联网终端零星偶发小数据包的场景而设计, 因此, 基于应用场景对移动性管理的实际诉求, 在地面网络的 NB-IoT 标准中不支持越区切换。在 IoT NTN 中, 当由高轨的地球静止轨道卫星来构建卫星窄带物联网时, 其所面对的移动性场景的特点与地面网络相同, 因此可沿用地面网络标准中的规定。当由高速运动的中低轨卫星来构建卫星窄带物联网时, 即使是静止的 NB-IoT 终端也会因为卫星的高速运动而面临在不同小区间的跨越, 若不支持越区切换, 覆盖 NB-IoT 终端的卫星小区发生变化时终端会掉线并重新发起连接。但是, 考虑到 NB-IoT 的主流应用场景对于业务中断时延通常没有硬性要求, 以及希望 NB-IoT NTN 能更容易地去复用面向地面物联网的很成熟的 NB-IoT 终端产业链, 因此, 仍旧考虑先沿用地面网络标准中的规定。当然, 未来如果存在对业务中断时延有更高要求的新的业务需求, 应该

会对此进行有针对性的优化。

Rel-18对eMTC NTN触发CHO的条件做了拓展，可以额外支持基于卫星过顶时间段或基于终端位置去触发CHO。作为对比，面向非物联网的5G NTN同样支持这些面向NTN场景而定义的CHO触发条件，但是，在对基于时间段或者终端位置的CHO触发条件进行配置时，eMTC NTN除了可以像5G NTN中那样，需要与一个基于信号质量测量的触发条件一起配置，还可以独立进行配置。

此外，根据Rel-18新定义的移动性管理增强，空闲态的NB-IoT/eMTC终端可以额外支持基于位置信息去触发邻区测量，连接态的NB-IoT/eMTC终端可以支持基于时间或位置信息去触发邻区测量。需要注意的是，由于NB-IoT NTN不支持连接态下的移动性管理，本来无须使连接态NB-IoT终端支持邻区测量，但是，使连接态NB-IoT终端在无线链路失败（Radio Link Failure, RLF）发生之前（通常是在服务卫星即将发生变更之前）被触发进行邻区测量，会获得如下好处：在RLF发生之后，NB-IoT终端进行RRC重建以尝试返回连接态时，可利用RLF发生之前的邻区测量结果降低小区选择的时延。

1.3 HARQ增强

Rel-17 IoT NTN完全没有考虑对HARQ的增强。在Rel-18中，IoT NTN对HARQ进行增强时，并没有同5G NTN一样对最大HARQ进程数进行提升，而是沿用了5G NTN从Rel-17就引入的“禁用HARQ反馈”功能。

关于IoT NTN对HARQ进行增强时不考虑对最大HARQ进程数提升的原因，简析如下：NB-IoT/eMTC设计之初考虑的是用较低成本的终端支持较低的数据传输速率，而支持过多的HARQ进程会增加终端的处理复杂度和功耗，这对于降低设备成本和延长电池寿命都是不利的。

对于下行链路（DL）传输的HARQ，IoT NTN与5G NTN一样，支持以HARQ进程为颗粒度的禁用HARQ反馈功能。其不同于5G NTN之处在于：网络侧除了可以同5G NTN一样，利用RRC信令半静态地配置每个HARQ进程的HARQ反馈状态（即每个HARQ进程是否禁用HARQ反馈），还可以利用下行链路控制信息（Downlink Control Information, DCI）动态地指示每个HARQ进程的反馈状态。

对于上行链路（UL）传输的HARQ，IoT NTN与5G NTN一样，支持利用RRC信令半静态地对每个HARQ进程配置禁用HARQ反馈功能。对于NB-IoT NTN，在上行

链路禁用HARQ反馈并不适用于使用预配置的资源进行物理上行共享信道（Physical Uplink Shared Channel, PUSCH）传输的情况。此外，NB-IoT NTN在上行链路执行禁用HARQ反馈时还需支持下述的专属特性：若NB-IoT终端只开启了单个UL HARQ进程并且该进程被配置为禁用HARQ反馈，由于该HARQ进程对应的PUSCH通常会进行基于多次重复的传输，NB-IoT终端将会在最后一次重复所在的子帧里启动DRX-Inactivity定时器。定义这个专属特性是因为，在NTN场景下，NB-IoT终端发送PUSCH时，通常会进行大量重复传输以提升上行覆盖能力，若按照常规操作，在接收完调度新一轮PUSCH传输的物理下行控制信道（Physical Downlink Control Channel, PDCCH）后即启动DRX-Inactivity定时器，并且DRX-Inactivity定时器的时长也采用较小数值的常规配置，那么在DRX-Inactivity定时器到期以使得终端可进入睡眠状态时，对当前这一轮PUSCH的基于大量重复的传输很可能仍在进行中，所以，DRX-Inactivity定时器的启动时机应该设置得足够靠后。

1.4 面向非连续覆盖的进一步增强

对于很多通过NB-IoT/eMTC终端实现的物联网业务，相应的NB-IoT/eMTC终端每隔一段时间（比如24小时）发射一次数据就足够了，因此可以接受不连续的覆盖。在Rel-17中，为了使NB-IoT/eMTC终端能够比较准确地预测非连续覆盖（即预测出在哪些时段会被卫星信号覆盖），从而减少终端搜索小区而导致的耗电，网络侧会向NB-IoT/eMTC终端广播专门用于覆盖连续性预测的星历参数、覆盖区域的地理位置参数和小区半径、服务卫星结束覆盖以及后续卫星开始覆盖的时间点（仅针对地面准静止小区）。

在Rel-18中，IoT NTN面向非连续覆盖进一步做了如下增强：①网络侧向NB-IoT/eMTC终端广播已有卫星列表中的载波频率，帮助终端加速完成小区选择，以缩短由非连续覆盖导致的服务中断的时间；②当对RLF的判定被触发后，如果因为不连续覆盖使得NB-IoT/eMTC终端没有足够的时间完成RRC连接重建流程，NB-IoT/eMTC终端可以直接进入空闲态。

1.5 小结

为了更清晰地观察Rel-18 IoT NTN相比于Rel-17 IoT NTN所做的增强，以地面网络中的NB-IoT/eMTC功能作为基线，简要总结了IoT NTN在Rel-17和Rel-18中所做的主要功能增强，具体见表1。

表 1 IoT NTN在Rel-17和Rel-18中所做的主要功能增强

相比于地面网络中的NB-IoT/eMTC, IoT NTN进行功能增强的主要领域	Rel-17 IoT NTN	Rel-18 IoT NTN
时频同步	重用 5G NTN 的解决方案(包括终端侧时频预补偿和时序关系增强等); IoT NTN 特有的时频同步增强(包括加大信道栅格或者广播与绝对频点号相关的信息); 对于终端的长时上行传输,在时域上分段进行时频预补偿	同 Rel-17 IoT NTN
GNSS 测量操作	支持终端对 GNSS 测量结果有效时间的自主确定和上报; 当 GNSS 测量结果失效时终端应进入空闲态重新进行 GNSS 测量	当 GNSS 测量结果失效时,若终端处于连接态,可以在连接态重新进行 GNSS 测量
移动性管理	连接态移动性管理:eMTC NTN 支持 CHO 且仅支持基于信号质量测量去触发 CHO,而 NB-IoT NTN 不支持越区切换; 空闲态移动性管理:不论是 eMTC NTN 还是 NB-IoT NTN,在进行小区重选时,均可基于时间信息触发邻区测量(针对地面准静止小区)	对于 eMTC NTN,额外支持基于卫星过顶时间段或基于终端位置去触发 CHO; 对于 eMTC NTN 和 NB-IoT NTN,空闲态终端可以额外支持基于位置信息去触发邻区测量,连接态终端可以支持基于时间或位置信息去触发邻区测量
HARQ	没有进行增强	不论是对于下行链路还是上行链路,均支持以 HARQ 进程为颗粒度的禁用 HARQ 反馈功能
非连续覆盖	支持向终端广播专门用于覆盖连续性预测的星历参数、覆盖区域的地理位置参数和小区半径、服务卫星结束覆盖以及后续卫星开始覆盖的时间点(仅针对地面准静止小区)	支持向终端广播已有卫星列表中的载波频率; 当对 RLF 的判定被触发后,如果不连续覆盖导致终端没有足够的时间完成 RRC 连接重建流程,终端可直接进入空闲态

2 Rel-19 中 IoT NTN 接入网议题概览

Rel-19 的标准化工作会对 IoT NTN 继续进行增强。下面将介绍 Rel-19 IoT NTN 在无线接入网领域已立项议题的关键内容 [6-18]。

2.1 支持“信号再生架构”和基于此的存储转发

与 5G NTN 相同, IoT NTN 在 Rel-17 和 Rel-18 只支持卫星透明转发架构, Rel-19 开始支持信号再生(即基站上星)架构。当前已达成的共识是: Rel-19 IoT NTN 在支持信号再生架构时,只考虑基站功能全部上星的情况。信号再生架构的好处主要包括:减少基站与终端之间的空口传输时延、减少所需部署的地面信关站数量,以及可以使基站之间通过星间链路实现更高效的协作。根据多方分析,若基于 Rel-17 和 Rel-18 的 IoT NTN 规范来支持基站功能全部上星的信号再生架构,则只需针对少数技术环节来研判是否存在协议增强的必要性,比如星载基站与核心网之间的 S1 接口的管理、馈电链路变更等。根据 Rel-19 标准化工作的最新进展,考虑到星载基站可能会因为某些原因(比如低轨卫星系统中卫星的高速运动)与地面信关站在某些时段里失去连接,从而与位于地面的核心网断开连接,因而,在 S1 接口的管理流程中正式新增了“移除(Removal)”流程 [14],用于及时释放与

已失效的 S1 接口实例相关的网络资源。

基于对信号再生架构的支持, Rel-19 会进一步考虑支持存储转发,这主要是面向对传输时延的容忍度比较高的物联网业务而提出的。具体而言,在某些地区(如在不建设地面信关站的海洋区域),当非地球静止轨道(Non-Geostationary Orbit, NGSO)卫星过顶时,虽然当下无法直接通过馈电链路去连接地面信关站,但是卫星可以与部署在相应地区的 NB-IoT/eMTC 终端进行信息交互,并将获取到的物联网业务数据存储起来,当卫星飞到可以与某个地面信关站建立无线连接的地方时,就可以把之前存储的物联网业务数据转发给地面信关站。

2.2 上行链路容量增强

(1) 对上行传输应用正交覆盖码

与 5G NTN 相同, IoT NTN 在 Rel-19 中会考虑利用正交覆盖码(Orthogonal Cover Codes, OCC)实现上行链路的容量增强。不过,该增强仅面向 NB-IoT NTN。

具体而言,在 NTN 场景下, NB-IoT 终端为了增强上行链路的覆盖能力,往往需要对 NB-IoT 使用的窄带物理上行共享信道(Narrowband Physical Uplink Shared Channel, NPUSCH)进行较多次的重复传输,从而使得单个 NB-IoT 终端与卫星的上行通信占用大量的时频资源。根据对卫星物联网需求的分析, NB-IoT NTN 将需要支持巨

大的上行链路用户容量；显然，当前的上行链路传输机制很难满足这样的需求。

为了解决上述问题，Rel-19将针对NPUSCH format 1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。在3GPP中考虑的解决思路是：把5G系统在设计“PDSCH/PUSCH解调参考信号（Demodulation Reference Signal, DMRS）码分复用组”时使用的OCC借用过来，用于对NPUSCH的传输。具体地，在Rel-19的标准化工作中，会优先研讨在单个子载波上复用多个NB-IoT终端进行上行传输的情况（此时子载波间隔配置为3.75 kHz或15 kHz）；对于在多个子载波上复用多个NB-IoT终端进行上行传输的情况（此时子载波间隔配置为15 kHz），也会予以考虑。

对于这个议题，在Rel-19刚开始立项时，曾考虑过将OCC既用于对NPUSCH的传输，也用于对NB-IoT使用的窄带物理随机接入信道（Narrowband Physical Random Access Channel, NPRACH）的传输。根据3GPP标准化工作的最新进展，目前已决定在Rel-19仅专注于研讨将OCC用于NPUSCH。

（2）减少与上行传输相关的信令开销

在Rel-19 IoT NTN中还将尝试通过减少与上行传输相关的上下行信令开销，来帮助提升上行链路容量。具体而言，针对提前数据传输（Early Data Transmission, EDT）技术，即在随机接入过程中利用Message3（简记为Msg3）进行一次上行数据传输的技术。在Rel-19 IoT NTN中会从如下两个方面展开研讨。

第一，在执行EDT时，基于配置授权来传输Msg3。换言之，在执行EDT时省略掉随机接入过程中的Msg1和Msg2。对此，Rel-19考虑的一个重要研讨方向是：网络侧不针对每个NB-IoT/eMTC终端进行专门的资源预配置，而是预配置一个资源池，让多个NB-IoT/eMTC终端竞争性使用。根据Rel-19标准化工作的最新进展，提议采用分集时隙ALOHA（Diversity Slotted ALOHA, DSA）或冲突解决分集时隙ALOHA（Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA, CRDSA）协议来执行基于Msg3的EDT^[16-17]。

第二，在执行EDT时，对于Msg3之后的Msg4，实现传输开销的降低。对于这个研究目标，Rel-19标准化工作已达成了存在一定程度共识的某些提议。例如，因为EDT换个角度也可看作使用预配置的上行链路资源（Pre-configured UL Resources, PUR）进行传输，并且在3GPP

针对传统PUR流程所定义的、被归属为Msg4的多种消息形态中，包括非常简单的物理层ACK消息（适用于网络侧无须传输数据给终端的场景），所以，对于基于竞争的PUR方案，当网络侧收到携带数据的Msg3后使用了“物理层ACK消息”，即是实现了Msg4传输开销的降低^[18-19]。

2.3 上行链路覆盖增强

通过采用大量重复传输，IoT NTN的上行覆盖没有成为瓶颈。但是，这会导致上行吞吐量性能的下降，这种下降对基于地球同步轨道（Geosynchronous Orbit, GSO）卫星的IoT NTN尤为明显。因此，Rel-19考虑将NB-IoT/eMTC终端的最大发射功率从23 dBm（即功率等级3）提升至26 dBm（即功率等级2）。

在Rel-19中对这一议题的立项比较晚，仅被纳入制定终端设备射频技术标准的工作项目里，没有放在接入网技术规范组针对IoT NTN专门设立的工作项目中。

3 对Rel-20+中IoT NTN技术发展趋势的展望

在对Rel-19 IoT NTN的研究范围进行讨论时，曾经考虑过不少候选议题^[20]。虽然最后只有第2节中所讨论的议题被正式纳入了Rel-19，但是，其他一些经过3GPP多轮讨论后认为具有重要意义的议题很可能会在Rel-20+被重新考虑，因此，了解和研究这些议题有助于把握3GPP IoT NTN的技术发展趋势。此外，根据3GPP标准化的进展以及对技术发展趋势的思考，还有一些议题也很可能会在Rel-20+被考虑。

3.1 用5GC来支持IoT NTN

NB-IoT和eMTC是源自4G系统的IoT技术，直到Rel-19，在IoT NTN中均考虑采用EPC（即4G系统的核心网）作为核心网。未来，如果采用5GC（即5G系统的核心网）与支持IoT NTN的4G基站对接，网络的部署策略将会更加灵活。例如，相同的5GC可以被5G地面网络、5G NTN和IoT NTN共用，从而可以省去对EPC的额外部署。预测3GPP需要接入网技术规范组里负责网络架构和接口的RAN3工作组，与核心网技术规范组里负责网络架构、协议和接口的SA2工作组配合起来完成相关研讨。

3.2 对移动性管理的进一步增强

在Rel-20+中可以借鉴3GPP 5G NTN在移动性管理增强上的最新进展，进一步增强IoT NTN的移动性管理。例如，通过借鉴Rel-18 5G NTN中定义的面向小区重选的增强，IoT NTN可考虑支持下列功能：①对于从IoT NTN到地面网络的小区重选，让IoT NTN小区为其所服

务的用户设备 (User Equipment, UE) 提供相邻的多个地面网络小区的覆盖区域信息; ② 对于从地面网络到 IoT NTN 的小区重选, 让地面网络小区为其所服务的 UE 提供相邻 IoT NTN 小区的星历信息; ③ 针对卫星小区的类别为地面移动小区的 IoT NTN 场景, 在面向小区重选的基于位置的邻区测量触发机制中, 将地面固定参考点改为地面移动参考点。

3.3 终端粗略位置上报

考虑到 IoT NTN 的某些部署特点 (如通常采用非连续覆盖), 如果网络侧可知晓 NB-IoT/eMTC 终端的位置信息, 则可以进行一些有针对性的优化设计。虽然 3GPP 中定义了用于在终端和核心网的位置服务网元之间交互位置服务请求和位置信息的 LTE 定位协议 (LTE Positioning Protocol, LPP), 但是, 在绝大多数情况下, 商用 NB-IoT/eMTC 终端并不支持 LPP。因此, 有必要采用其他替代途径来支持终端位置信息的上报。

对于 eMTC NTN, 作为替代途径的示例, 可以重用 5G NTN 在 Rel-17 里定义的两终端粗略位置上报机制: 一种是在上报传统测量报告的消息中捎带终端的粗略位置信息; 另一种是网络侧通过终端信息请求消息查询一次终端的粗略位置信息。

对于 NB-IoT NTN, 由于 NB-IoT 终端没有在无线通信协议栈的接入层 (Access Stratum, AS) 进行加密处理, 因此, 即使是终端的粗略位置信息也无法向基站上报。为实现信息上报, 可能的做法是: 让 NB-IoT 终端通过非接入层 (Non-Access Stratum, NAS) 的消息给核心网上报粗略的位置信息, 然后再通过核心网转发给基站。

3.4 利用 NB-IoT NTN 体制支持卫星语音业务

鉴于 NB-IoT 芯片的低成本, 可以考虑让中低端的 5G 手机额外支持基于 NB-IoT NTN 体制的语音通话, 从而让海量的普惠型用户获得手机直连卫星的服务。前期, 比较典型的业务场景有应急通话。

针对高轨的地球静止轨道卫星, 3GPP 计划于 Rel-20 中对“利用 NB-IoT NTN 体制支持卫星语音业务”进行标准化工作的立项。在相应的标准制定中需要重点考虑的技术方向包括对低速率语音编解码的支持、对 IP 多媒体子系统 (IP Multimedia Subsystem, IMS) 所使用的会话发起协议 (Session Initiation Protocol, SIP) 进行精简、以降低时延为目标的功能优化等。

考虑到低轨卫星对时延和所支持的语音数据速率相对更为友好, 预计 3GPP 在未来也会针对低轨卫星去研讨利用 NB-IoT NTN 体制支持卫星语音业务。但是, 现有的

NB-IoT NTN 体制由于不支持越区切换, 会面临跨低轨卫星小区语音不连续的挑战; 未来需要重点对此展开研究, 给出合理有效的解决方案。

3.5 GNSS 测不到或测不准时的增强操作

在 Rel-20 之前, 对于 NTN (包括 IoT NTN 和 5G NTN), 3GPP 标准化工作一直假设终端能通过 GNSS 测量比较准确地获得自身的位置信息。基于这样的假设, 终端可以根据自身位置信息和接收卫星广播所获得的星历信息, 在对卫星发起初始接入之前即完成时频偏的预补偿, 从而帮助星地通信实现良好的上行时频同步。但是, 在实际的网络中, 终端可能在位于某些地点或处于某些时段时出现 GNSS 信号测不到或测不准的情况。对于这种情况, 在 Rel-20+ 中, 可以考虑研究有效的替代方式以实现良好的上行时频同步。不论是对于 IoT NTN 还是 5G NTN, 一种可能的解决方案是利用网络侧的定位。为了支持这种方案, 可能需要增强现有的定位参考信号设计, 以及额外定义可帮助终端确定其位置的由卫星广播的网络侧辅助信息。

3.6 对降低时延及时延抖动的解决方案增强

在 NTN 场景下, 即使由低轨卫星来组网, 卫星与地面终端间的传播距离也相当大, 从而使得星地间的信号传输通常存在较高的时延。此外, 对于由中低轨卫星构建的卫星通信网络来说, 由于空间段的拓扑存在较高动态, 因此端到端传输存在较高的时延抖动。

就 IoT NTN 而言, 考虑到还是存在对时延及时延抖动有着较高要求的应用场景 (比如, 对于自动驾驶类应用, 需利用车辆上配备的低功耗传感器/设备实时监控车辆的位置和状态), 未来可有针对性地设计能降低时延及时延抖动的解决方案。

3.7 人工智能/机器学习在 IoT NTN 接入网中的应用

依托 5G 地面网络的标准化工作, 3GPP 从 Rel-17 开始对“使用人工智能/机器学习 (AI/ML) 增强无线通信设计”展开研讨。在 Rel-18 中正式将“使用 AI/ML 增强无线接入网 (即 AI/ML for RAN)”纳入规范, 所考虑的应用场景包括基站节能、负载均衡和移动性优化; 同时在 Rel-18 中还“使用 AI/ML 增强空口传输 (即 AI/ML for Air Interface)”展开了研究, 所考虑的应用场景包括信道状态信息反馈增强、波束管理增强和定位精度增强。相关工作在 Rel-19 中得以持续进行。目前, 不论是在 5G NTN 还是 IoT NTN 中, 3GPP 均尚未考虑使用 AI/ML 对 NTN 的无线通信设计进行增强。但是, 随着 3GPP 标准的逐渐演进, 若存在能切实给网络带来增强的合适的

应用场景,则完全可以考虑利用AI/ML去增强NTN的无线通信设计。上述地面网络在应用AI/ML时所考虑的应用场景是经过对无线通信的各个设计环节进行全面考察和反复推敲后筛选出来的,可以作为很好的参考。就本文所关注的IoT NTN而言,下面简析其应用AI/ML增强无线通信设计时与地面网络考虑的典型应用场景之间的契合度。

(1) 基站节能:在采用基站上星架构时,鉴于星上资源受限的挑战,使用AI/ML对星载基站的节能进行优化是比较有价值的。

(2) 负载均衡:因为窄带物联网业务在网络侧的负载量不会很高,卫星间负载均衡的需求也不迫切。

(3) 移动性优化:窄带物联网业务通常可以接受非连续覆盖,在这种情况下,移动性管理没有优化需求;而且,即使是连续覆盖,由于移动性管理主要面向具有确定性运动轨迹的中低轨卫星的高速移动,而非像地面网络那样面向具有不确定性运动轨迹的终端的移动,因此,使用AI/ML进行移动性优化的需求也并不迫切,这种优化主要通过预测运动轨迹来预测终端何时会切换到哪个目标服务小区。

(4) 信道状态信息反馈增强:窄带物联网终端的低成本对基于AI/ML的信道状态信息反馈增强并不友好,因为这种增强通常需要在终端侧额外配备“基于神经网络的编码器”。

(5) 波束管理增强:由于NB-IoT/eMTC体制继承自4G系统,卫星会采用小区级的宽波束,所以无须像5G系统那样去考虑对多个相对较细的波束进行精细化的波束管理。

(6) 定位精度增强:对于IoT NTN,不论是从应用的角度还是从“不依赖GNSS的体制增强”的角度,网络侧对终端的定位都是有意义的。不过,基于AI/ML的定位精度增强通常需要将终端反馈的信道信息用作运行于定位服务器的AI/ML模型的输入,而NB-IoT终端为了简化协议栈不会反馈信道信息给网络侧,所以这种优化仅适用于eMTC NTN。

综上,在IoT NTN接入网应用AI/ML时,可以优先考虑研讨的应用场景包括星载基站节能(针对NB-IoT和eMTC NTN)和定位精度增强(仅针对eMTC NTN)。

4 结束语

本文全面梳理了3GPP IoT NTN接入网国际标准的最新进展,并分析了相关技术及其演进脉络。国际电信联盟无线电通信部门于2023年6月通过的6G系统六大典型场景中,“泛在连接”明确提出了对卫星通信的需求,而

“超大规模连接”则延续了对低成本中低速物联网的需求。3GPP计划在Rel-20进行6G系统的需求研讨,因此,从Rel-20开始,在关注IoT NTN协议演进的同时,还需关注中低速卫星物联网在6G系统中的需求情况。

参考文献:

- [1] 3GPP. E-UTRA and E-UTRAN; Overall description; Stage 2 (Release 18), V18.4.0: TS 36.300[S]. 2024.
- [2] 3GPP. E-UTRA; Radio resource control (RRC); Protocol specification (Release 18), V18.3.1: TS 36.331[S]. 2024.
- [3] 3GPP. E-UTRA; User equipment (UE) procedures in idle mode (Release 18), V18.2.0: TS 36.304[S]. 2024.
- [4] 3GPP. E-UTRA; Physical layer procedures (Release 18), V18.2.0: TS 36.213[S]. 2024.
- [5] 3GPP. RP-233261 (Work item summary), Summary for Rel-18 IoT NTN enhancements[R]. 2023.
- [6] 3GPP. RP-234077 (Work item description), New WID - NTN for IoT phase 3 in Rel-19[R]. 2023.
- [7] CATT. 3GPP RP-232055 (T-doc for discussion), consideration on NTN evolution[R]. 2023.
- [8] Samsung. 3GPP RP-232037 (T-doc for discussion), NTN enhancements in Rel-19[R]. 2023.
- [9] OPPO. 3GPP RP-231777 (T-doc for discussion), discussion on NTN evolution for Rel-19[R]. 2023.
- [10] VIVO. 3GPP RP-231795 (T-doc for discussion), Rel-19 NTN evolution (RAN2-led)[R]. 2023.
- [11] ZTE and Sanecips. 3GPP RP-232154 (T-doc for discussion), views on NTN for Rel-19[R]. 2023.
- [12] Qualcomm. 3GPP RP-231720 (T-doc for discussion), views on scope for NTN enhancements in Rel-19[R]. 2023.
- [13] Huawei and HiSilicon. 3GPP RP-231931 (T-doc for discussion), NTN enhancements in Rel-19[R]. 2023.
- [14] Ericsson, Sateliot, Thales, ESA, and Deutsche Telekom. 3GPP R3-247457 (T-doc for agreement), store & forward (S&F) architecture - S1 removal[R]. 2024.
- [15] Qualcomm. 3GPP R1-2401461 (T-doc for agreement), IoT NTN uplink capacity/throughput enhancement[R]. 2024.
- [16] ESA. 3GPP R2-2405202 (T-doc for agreement), discussion on EDT enhancements[R]. 2024.
- [17] ESA, Eutelsat Group, Viasat, Inmarsat, Novamint, Echostar, and Sateliot. 3GPP R2-2407502 (T-doc for agreement), discussion on DSA and CRDSA performance[R]. 2024.
- [18] ZTE and Sanecips. 3GPP R2-2404884 (T-doc for agreement), consideration on enhanced early data transmission in IoT NTN [R]. 2024.
- [19] InterDigital. 3GPP R2-2405110 (T-doc for agreement), efficient de-

livery (reduced overhead) of Msg4/RRCEarlyDataComplete[R]. 2024.

[20] Offline Session Moderator. 3GPP RP-232621 (T-doc for discussion), moderator's summary for REL-19 RAN2 topic NTN for IoT [R]. 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有限公司, 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有限公司, 主要研究方向为卫星互联网网络架构与网络体制。



齐崇清 (1984-), 男, 硕士, 现就职于中国星网网络创新研究院有限公司, 主要研究方向为卫星互联网无线网络协议。



王高健 (1988-), 女, 博士, 现就职于中国星网网络创新研究院有限公司, 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。



延凯悦 (1992-), 女, 中级工程师, 硕士, 现就职于中国星网网络创新研究院有限公司, 主要研究方向为天地一体化接入网侧国际标准研究。



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有限公司, 主要研究方向为5G、卫星移动通信和频谱工程。



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有限公司, 主要研究方向为卫星网络总体论证与设计。



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有限公司, 主要研究方向为卫星互联网。



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有限公司副总经理, 主要研究方向为卫星互联网网络技术研发与创新。