

研 究 报 告

R/TAF 013—2025



面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

Research on Satellite-ground Handover Technology towards the Integration of NTN
and TN

电信终端产业协会

2025 年 12 月

版 权 声 明

本研究报告版权属于电信终端产业协会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本研究报告文字或者观点的，应注明“来源：电信终端产业协会”。违反上述声明者，本协会将追究其相关法律责任。



目 录

前言	II
1 缩略语	1
2 研究背景与意义	1
2.1 研究背景	1
2.2 研究目的	1
3 星地融合通信的发展现状	2
3.1 标准化进展	2
3.2 关键技术与演进	5
3.3 产业布局与发展趋势	10
4 切换总体架构	11
4.1 星内切换	11
4.2 星间切换	12
4.3 星地切换	13
5 星地切换关键技术分析	15
5.1 切换触发机制	15
5.2 切换决策算法	22
5.3 切换过程中的数据传输	27
5.4 切换后的网络优化	34
6 总结与下一步标准化建议	36
6.1 总结	36
6.2 下一步标准化建议	36
参考文献	38

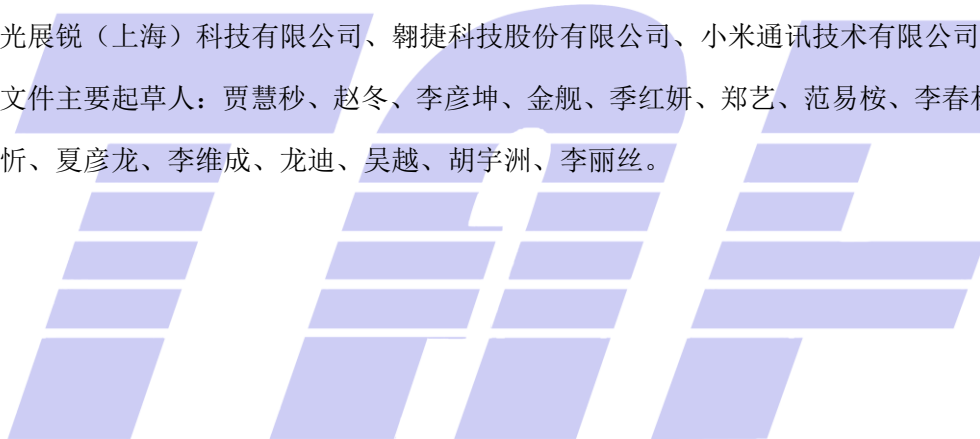
前 言

随着非地面网络（NTN）与地面网络（TN）融合成为未来通信的核心趋势，在航空、航海及应急救援等场景中实现星地无缝切换对保障业务连续性与服务质量至关重要。然而，NTN与TN在网络架构、传输时延、频谱资源等方面存在显著差异，导致星地切换面临诸多挑战。本项目基于3GPP R18演进框架与产业化实践，聚焦星地协同切换关键技术研究，研究成果将为构建高可靠、低时延的星地融合网络提供理论支撑，推动我国空天地一体化通信能力建设。

项目承担机构：电信终端产业协会空间技术融合应用工作委员会

本文件起草单位：中国电信集团卫星通信有限公司、博鼎实华（北京）技术有限公司、北京邮电大学、紫光展锐（上海）科技有限公司、翱捷科技股份有限公司、小米通讯技术有限公司。

本文件主要起草人：贾慧秒、赵冬、李彦坤、金舰、季红妍、郑艺、范易桢、李春林、王程、崔博开、李忻、夏彦龙、李维成、龙迪、吴越、胡宇洲、李丽丝。



面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

1 缩略语

CHO: Conditional Handover, 条件切换

GEO: Geostationary Earth Orbiting, 同步轨道地球环绕卫星

IoT: Internet of Things, 物联网

LEO: Low Earth Orbiting, 低轨道地球环绕卫星

MEO: Medium Earth Orbiting, 中轨道地球环绕卫星

NB-IoT: Narrow-Band Internet of Things, 窄带物联网

NTN: Non-Terrestrial Network, 非地面网络

RAN: Radio Access Network, 无线接入网络

UE: User Equipment, 用户设备

2 研究背景与意义

2.1 研究背景

随着通信技术的持续演进，非地面网络（NTN）和地面网络（TN）的融合已然成为下一代移动通信的关键方向之一。在星地融合通信场景中，如航空、航海、应急救援等领域，实现NTN与TN星地网络间无缝协同及高效切换对于保障通信的连续性和服务质量有着举足轻重的意义。然而，NTN与TN在网络架构、传输特性、频谱资源等方面均存在显著差异，使得星地切换面临同步难、效率低、稳定性差等挑战。因此，本研究课题基于当前的产业现状和标准化情况，针对星地切换关键技术展开研究，以促进星地融合通信的产业化进程。

2.2 研究目的

本项目聚焦基于高轨卫星的NTN场景，围绕NTN与TN融合的星地切换，针对场景、需求、架构、关键技术问题及解决方案进行研究，旨在提出一套完备的NTN与TN融合的星地切换技术方案，为实际应用落地给予理论支撑。本项目主要包括：

1. 星地融合通信的发展现状

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

2. 研究星地切换的总体架构
3. 研究星地切换的关键技术
4. 总结及下一步标准化建议

3 星地融合通信的发展现状

3.1 标准化进展

3.1.1 3GPP NTN 技术进展

NTN是3GPP在5G阶段研究的基于新空口技术的终端与非地面网络直接通信技术。3GPP于Rel-17正式发布了支持非地面网络（NTN）特性的系列协议规范，在后续每个版本中持续引入了该特性的增强。

3.1.1.1 3GPP Rel-15 NTN 关键技术

3GPP于Rel-15开启了兼容卫星通信场景的第一个研究阶段，研究范围涉及了NTN用例、部署场景及信道模型分析，为后续标准制定奠定了理论基础。该阶段研究系统分析了非地面网络（NTN）相较于地面网络（TN）呈现出的诸多差异化特性以及这些特性对系统设计提出的适应性需求。

3.1.1.2 3GPP Rel-16 NTN 技术演进

在Rel-16阶段，NTN研究持续深入。在无线方面，进一步深入探究了支持NTN对RAN协议/架构的影响，并初步评估了相应的解决方案，研究中考虑的卫星参考场景包括GEO、具备转向波束的LEO、具备移动波束的LEO，同时考虑了透明有效载荷和再生式有效载荷的情况。

3.1.1.3 3GPP Rel-17 NTN 技术演进

Rel-17阶段标准项目“5GSAT的第1阶段”（5GSAT）正式定义了5G系统支持卫星通信的各项要求，涵盖5G系统应支持5G地面接入网和5G卫星接入网之间的服务连续性；5G系统应能利用卫星接入提供服务；具有卫星接入功能的5G系统应能支持同时使用5G卫星接入网络和5G地面接入网络等要求。

在无线工作组，Rel-17阶段NR NTN标准项目“NR_NTN_Solutions”基于以下假设下进行了协议更新，即：只针对透明的有效载荷；在频率范围FR1（410MHz-7125MHz）内使用FDD的工作频带（引入n255（L频段）和n256（S频段）两个NR NTN频段）；支持功率等级为3(PC3)的手持设备；假设UE具有GNSS功能；具有地面固定或移动小区的地面固定跟踪区域。

3.1.1.4 3GPP Rel-18 NTN 技术演进

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

无线工作中Rel-18阶段研究项目（SI）FS_IMT2020_SAT_eval旨在评估基于Rel-17版规范的NR工作项目（WI）NR_NTN_solutions在支持5G卫星通信方面的性能。同时，该项目评估了基于LTE的IoT NTN系统性能，以通过非地面网络（NTN）支持物联网（IoT）服务。

RAN2工作组牵头的Rel-18阶段项目 WI“NR_NTN_enh”进一步就上行覆盖增强、网络对终端的位置验证、移动性管理增强及引入Ka频段NR NTN等四个方面进行了协议更新。

此外，RAN4工作组牵头的Rel-18阶段WI“NR_NTN_CBW_30MHz-Core”为卫星接入节点（SAN）和UE的工作频段n255（L频段）和n256（S频段）在已经支持的5MHz、10MHz、15MHz和20MHz信道带宽的基础上增加了30MHz的信道带宽。工作项目NR_NTN_LSband，基于Rel-17版 NR_NTN_solutions所引入的L频段（n255）和S频段（n256），新增了FDD NTN频段，称为频段n254。对于该频段，用户设备在1610MHz-1626.5MHz（上行链路，L频段）进行发射，而卫星接入节点（SAN）在2483.5MHz-2500MHz（下行链路，S频段）进行发射。

3.1.1.5 3GPP Rel-19 NTN 技术演进

RAN2工作组牵头的Rel-19版工作项目（WI）NR_NTN_Ph3研究内容主要包括：

1. 下行链路覆盖增强：研究并指定下行物理信道的链路层增强，解决卫星功率受限问题；
2. FR1-NTN 的上行链路容量增强：对上行的容量进行增强的研究，以提高系统所支持用户的数量。实现多用户复用，提高数据传输速率；
3. 支持再生有效载荷：选择TR38.821中的gNB处理有效载荷，支持再生模式，并指定在TS 38.300中支持在卫星上搭载完整gNB；
4. 广播服务信令支持：将广播业务和NTN结合，在卫星覆盖范围更大的情况下指示预期广播服务区域；
5. RedCap用户设备支持：解决FR1 NTN中的RedCap用户设备支持问题，保证低复杂度设备的同时，提供比IoT-NTN更强的服务能力。

3.1.1.6 面向 6G NTN 技术展望

2023年6月30日，ITU-R WP4B通过了首个面向6G卫星研究项目的立项《卫星IMT未来技术趋势》，内容涉及手机直连卫星通信、星上处理、星间链路、高低轨卫星协同、星地频谱共享技术等重点技术方向。根据目前的工作计划，《卫星IMT未来技术趋势》将于2026年上半年完成，涉及的主要技术趋势包括：

1. 无线接口技术

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

- 先进的调制、编码和多址方案
- 时间和频率同步技术
- 波束跳变技术
- 多波束合作或虚拟MIMO技术
- 有效利用频谱
- 卫星与地面系统频谱共享技术

2. 卫星网络技术

- 与地面IMT网络互通
- GSO卫星网络与非GSO卫星系统之间的连通性
- 通过卫星间链路向其他类型的非地面观测系统提供服务
- NGSO星座，包括提供无所不在覆盖、卫星间链路和高效路由技术的星座
- 再生载荷

3. 终端类型和应用场景

- 手持终端，如手机；支持语音和不同的数据速率(例如，高、中、低数据速率流量)
- 物联网和机器类设备，支持低数据速率流量；支持静态、低速和高速运动(如在飞机上)
- 定向终端；支持宽带业务、高数据速率流量、语音；安装在汽车、轮船和飞机上，固定在地球表面
- 其他类型的终端

2025年3月，3GPP在韩国仁川举办了6G研讨会，会议聚焦于6G技术的愿景制定、技术优先级规划及标准化路径的初步探讨，旨在为未来3GPP Release 20及后续版本的研究奠定基础。会议提出，非地面网络（NTN）卫星与高空平台通信被普遍视为6G“全连接”愿景的核心组成部分。多家卫星运营商（如GSOA、ESA）联合提案，要求NTN从标准制定初期即被纳入，支持多轨道协同和广域覆盖。然而，部分厂商对NTN与地面网络（TN）的融合复杂度表示担忧，认为未来需进一步研究干扰协调、移动性管理等技术挑战。

3.1.2 CCSA NTN 标准进展

目前中国通信标准化协会（CCSA）各个技术工作委员会都在积极布局卫星通信领域相关标准，针对卫星互联网设备相关标准正处于编制的起步阶段。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

IoT-NTN系列卫星互联网设备行业标准在TC5WG9&TC5WG10&TC5WG12&TC12WG1联合工作组开展研究，总结标准如下：其中《基于非地面网络（NTN）的窄带物联网接入（NB-IoT）接入网总体技术要求（第一阶段）》《基于非地面网络（NTN）的窄带物联网接入（NB-IoT）卫星接入节点设备技术要求（第一阶段）》《基于非地面网络（NTN）的窄带物联网接入（NB-IoT）终端技术要求（第一阶段）》《基于非地面网络（NTN）的窄带物联网接入（NB-IoT）终端测试方法（第一阶段）》行业标准报批稿公示已完成，《基于非地面网络（NTN）的窄带物联网接入（NB-IoT）卫星接入节点设备测试方法（第一阶段）》行业标准通过征求意见稿。

NR-NTN系列卫星互联网设备行业标准在TC5WG9&TC5WG10&TC5WG12&TC12WG1联合工作组开展研究，其中《基于非地面网络（NR NTN）的宽带接入网总体技术要求（第一阶段）》《基于非地面网络（NTN）的5G卫星接入节点设备技术要求（第一阶段）》《基于非地面网络（NTN）的5G卫星接入节点设备测试方法（第一阶段）》《基于非地面网络（NTN）的5G终端技术要求（第一阶段）》《基于非地面网络（NTN）的5G终端测试方法（第一阶段）》《基于5G的卫星互联网 第1部分：总体要求》行业标准正处于编写阶段。

同时，CCSA TC12（航天通信技术）也正开展星地融合技术研究，涉及的研究课题包括《基于星地融合网络的策略控制技术研究》《星地融合网络紧急通信技术要求》《星地融合网络协同无线组网技术研究》等。

3.2 关键技术与演进

5G阶段的非地面网络（NTN）的组网架构支持透明转发架构和可再生架构。目前，可再生架构尚处于标准化讨论阶段。

下图展示了NTN的架构示意图，该架构通过NTN载荷和NTN信关站为终端提供服务。中描绘了NTN载荷与终端之间的服务链路，以及NTN信关站与NTN载荷之间的馈线链路。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

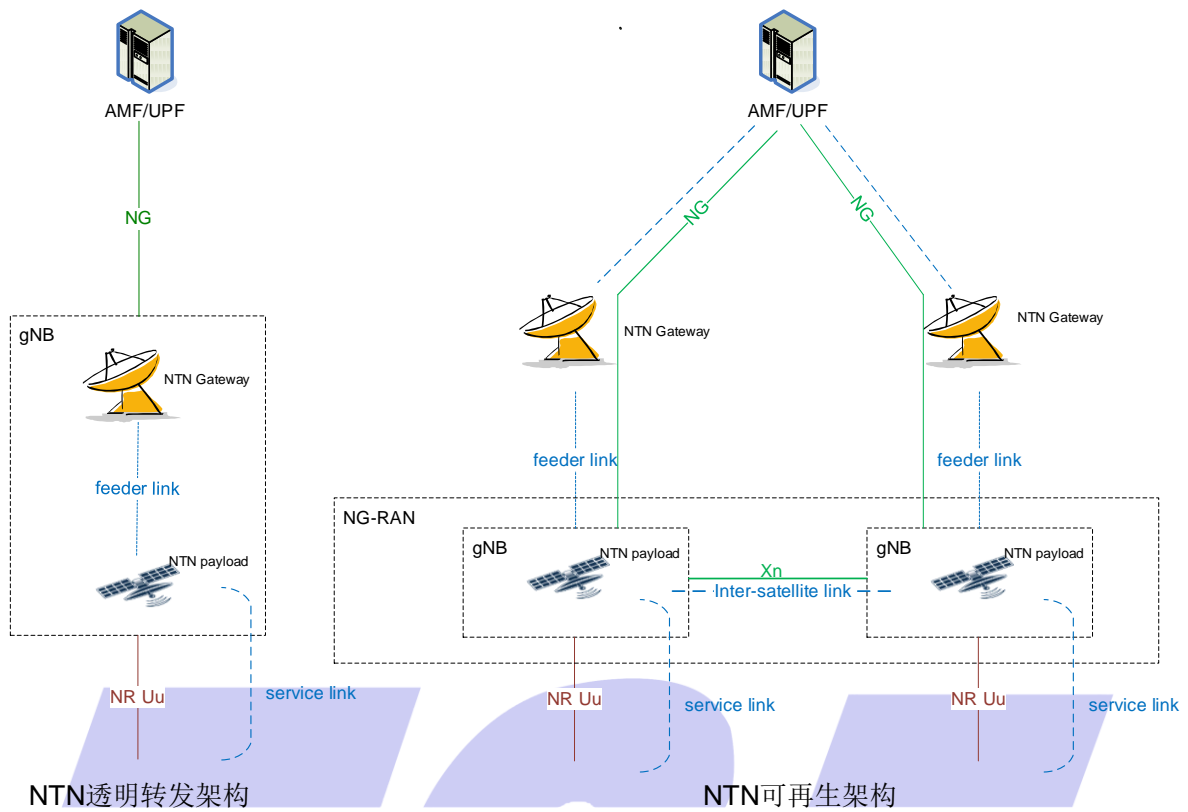


图 1 5G NTN 组网架构

两种组网架构的特点如下：

表 1 两种组网架构对比

透明转发架构	可再生架构
NTN载荷作为透明中继节点，通过馈线链路,转发 UE与服务链路的无线协议至NTN信关站，反之亦然。	NTN载荷集成gNB功能，直接终止Uu接口（服务链路）、NG接口和Xn接口（馈线链路）。支持星间链路互联（如LEO卫星间的数据交换）。

以下为NTN组网中的一些共同特征：

表 2 NTN 组网特征

网络标识规则	<p>跟踪区域（Tracking Area）：对应固定地理区域，具体映射关系由RAN配置。</p> <p>映射小区ID（Mapped Cell ID）：Mapped Cell ID是NG-RAN信令中使用的虚拟地理标识符，与物理Uu接口的小区ID形成映射关系。它代表固定的地理服务区域而非实际卫星波束覆盖范围，主要用于核心网侧的位置管理。</p>
--------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

连接模式	一个网关可服务多个载荷； 一个载荷可由多个网关服务。
服务链路类型	地球固定型：适用于GSO卫星； 准地球固定型：适用于NGSO卫星生成的可调波束； 地球移动型：适用于NGSO卫星生成的固定或不可调波束。

5G NTN在Rel-17阶段的关键技术主要包括以下内容：

1. 时序、同步与HARQ增强

网络可以配置公共定时提前参数，调度定时提前参数和MAC层控制元素生效时间相关时间偏差以确保终端在上行传输之前预留了足够的下行处理时间。

终端必须支持基于有效GNSS位置信息、卫星星历信息以及公共定时提前参数的预补偿，这一预补偿既包括时域也包括频域预补偿。

下行HARQ增强包括去使能HARQ反馈，以便在HARQ RTT时段内调度超过一个HARQ进程。上行HARQ增强包括针对每个HARQ进程配置相应的HARQ模式，例如模式A或者模式B。针对模式B，网络可以在某个HARQ进程失效之前调度一个新的HARQ进程。

2. 移动性管理

针对空闲态移动性，在TAU方面进行增强。NTN场景下，小区半径高达几百公里，如果采用较小TA，会使两个TA边界存在大量TAU信令，如果采用较大TA，寻呼负载则会很高。为了应对以上问题，可以采用“软切换”方案，一个小区对于每个PLMN最多可以广播12个TAC，网络可以广播一个或多个TAC，只要网络广播的任何一个TAC在UE的TAI list中，则UE不需要TAU，可以减少TAU次数。

针对连接态移动性，NTN在Rel-16阶段提出了条件切换CHO，并引入基于时间、位置、RRM测量A4的CHO触发事件。CHO是为了避免普通切换时可能出现测量上报发不上去，或者切换命令下不来的情况，提前配置切换的参数，满足条件时直接切换，与卫星场景非常适配。

测量方面，网络为UE配置多个SMTC、多个测量GAP和辅助信息指导测量。连接态下，网络基于UE上报的辅助信息（服务小区和邻区服务链路的时延差），控制和调整SMTC的配置。空闲态下，UE基于自己的位置和SIB19中的辅助信息调整SMTC。

小区重选方面，NTN支持基于时间和位置的小区重选测量准则。在准地球共址场景下，UE在IDLE/INACTIVE状态下，需要进行基于时间和位置的测量。如果SIB19中配置了服务小区的参考位置和

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

距离门限，UE获得自身位置后计算距离，如果距离小于距离门限时UE不进行重选测量，如果超过距离门限时UE进行同频测量或者异频测量。如果SIB19中下发了t-Service，UE不管位置和距离，也不管Srxlev的大小，均在t-Service到时前进行同频测量或者异频测量，具体的测量开始时间取决于UE的实现。

3. 链路转换

在NTN中，链路转换分为馈线链路转换与服务链路转换两种类型。

馈线链路转换：NTN载荷从源NTN信关站向目标NTN信关站的传输网络层转移过程。该过程包括硬切换和软切换两种方式，其中软切换允许在转换期间临时与多个信关站保持连接。NTN控制功能负责确定转换的具体时刻，而上下文的转移则通过NG或Xn接口实现。

服务链路转换：更换服务NTN载荷的操作。

5G NTN在Rel-18阶段的关键技术主要包括以下内容：

1. 上行覆盖增强

在NTN中，为支持上行覆盖增强，3GPP Rel-18阶段引入了Msg4 HARQ ACK重复传输和DMRS捆绑增强。网络通过SIB19和DCI配置Msg4 HARQ ACK资源的重复次数，在终端专用的PUCCH传输资源生效之前，Msg4 HARQ-ACK重复因子也被用于其他PUCCH传输。

在存在时间漂移的情形下，终端使用DMRS捆绑传输机制，以提升在相位漂移情况下的NTN信道估计精度。

2. 移动性增强

小区重选在R18的增强包括三个方面：（1）在NTN小区SIB25中广播TN cell信息。（2）在TN小区SIB19中广播NTN cell信息。（3）引入对地球移动系统小区重选测量支持。

为了解决切换过程信令负载严重的问题，Rel-18引入了RACH-less HO增强，该特性适用于相同卫星或不同卫星、相同feeder link或不同feeder link之间组合的4种场景，需要满足源小区和目标小区 N_{TA} 相同或 N_{TA} 为0的条件。终端可以使用源小区在切换命令中配置的上行资源（Configured Grant方式）或监听目标小区动态调度的资源（Dynamic Grant方式）来发送重配完成消息。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

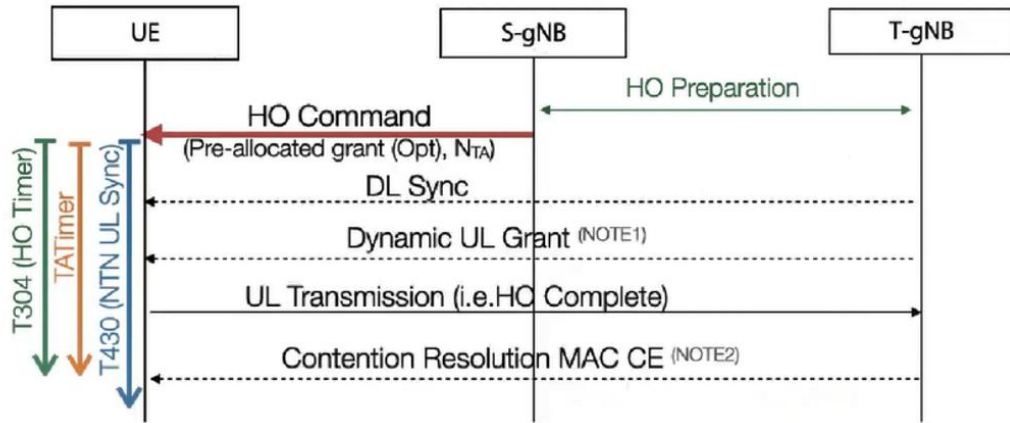


图2 RACH-less HO 信令流程

为了节省L3切换的信令交互, Rel-18阶段还引入了satellite switch with re-sync(原名Unchanged PCI)。该特性适用于准地球共址系统,前提是源小区和目标小区使用相同的SSB频点、相同的gNB、覆盖gap为0或忽略不计,此特性可以与CHO结合使用。根据卫星的服务时间,将satellite switch with re-sync分为两种: hard satellite switch over和soft satellite switch over, 见下图所示。UE根据SIB19中是否包含satSwitchWithReSync-r18确定是否支持satellite switch with re-sync, 根据satSwitchWithReSync-r18中是否包含t-ServiceStart-r18确定执行hard satellite switch over还是soft satellite switch over。

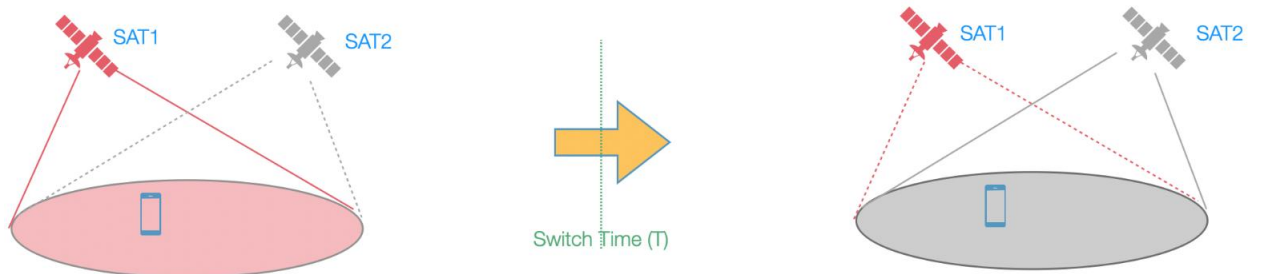


图3 hard satellite switch over 示意图

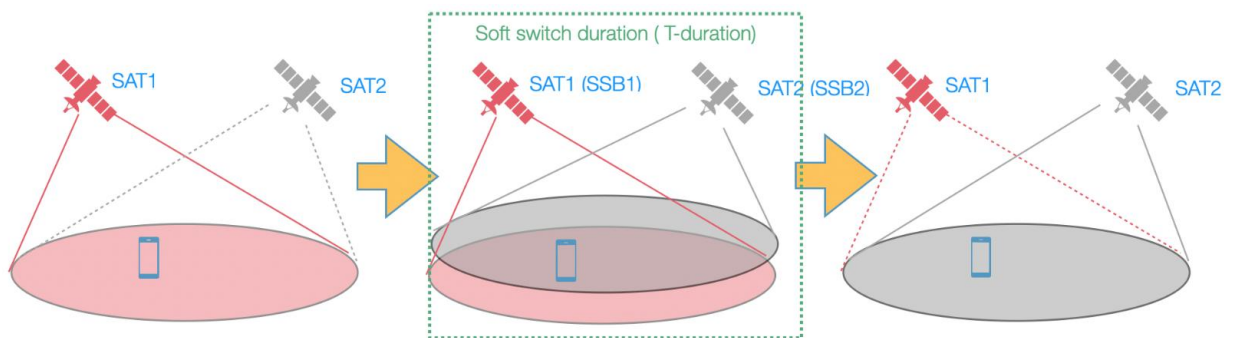


图4 soft satellite switch over 示意图

3. UE位置验证

网络可以针对连接态终端触发位置验证相关流程，终端/基站需要上报如下测量量以辅助位置验证：基站在上行同步参考点的收发时间差、终端收发时间差、终端收发时间子帧误差和下行定时漂移。

3.3 产业布局与发展趋势

5G NTN产业的核心主体包括卫星通信运营商与网络服务提供商，二者肩负5G NTN网络的运营管理职责，为下游用户提供通信服务。

卫星通信运营商负责5G NTN网络的建设和运营，它们通过部署卫星系统，构建起覆盖全球的通信网络。SpaceX的星链项目是目前全球规模最大的低轨卫星通信网络之一，通过发射数千颗低轨卫星，为全球用户提供高速互联网接入服务。OneWeb、SES S.A.等卫星通信运营商也在积极部署卫星网络，拓展5G NTN服务。

网络服务提供商在5G NTN产业中也扮演着重要角色，它们负责为用户提供各种网络服务，包括数据传输、语音通信、定位导航等。移动通信运营商也是NTN商业探索的关键力量，以中国运营商为例：中国电信主导3GPP R19多轨协同与高轨IMS语音标准，并牵头CCSA首个NTN行业标准；中国移动完成国内首次NR-NTN实验室验证，2024年发射“天地一体”低轨试验卫星；中国联通则实现NR-NTN在轨试验，下行峰值达11Mbps。国际上，移动通信运营商也积极探索商业合作模式：T-Mobile与Starlink合作通过频谱共享支持LTE终端直连卫星，在飓风灾害中提供应急通信；Dish Network则建设28颗低轨卫星星座探索融合服务。这些行动显示运营商正通过技术验证、卫星发射和资费套餐探索NTN从标准走向商用。

此外，设备与终端厂商聚焦芯片研发与生态共建，但技术路线存在差异。通信设备商如华为、中兴主导基站与核心网研发，支持中国运营商在舟山等地的外场测试；爱立信、高通与泰雷兹联合推进端到端5G NTN卫星系统。手机厂商中vivo、OPPO研发NTN手机并优化天线小型化；而苹果、华为采用过渡方案，通过定制卫星模组（如iPhone 14连接Globalstar）暂未完全兼容NTN标准。

5G NTN的NR NTN路线主要应用于卫星宽带业务，旨在解决各类场景中的图片、视频等数据传输需求，能够支持更大带宽和更高传输速率，在手机直连卫星、卫星物联网、车联网、宽带接入等场景提供更高质量语音通信、高速数据与视频传输等业务服务。

在手机直连卫星场景下，NR NTN路线可实现更高速的数据传输，满足用户在偏远地区进行高清视频通话、大文件传输等需求。在户外探险时，用户可以通过支持NR NTN的手机与家人进行高清视频通话，实时分享探险经历，而不再局限于简单的语音和短信通信。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

手机直连卫星通信功能的实现主要有三种技术路线。

一是基于现有卫星通信体制的定制手机直连卫星通信。该方案基于在轨卫星的现有卫星通信体制，如天通一号卫星系统、铱星系统、GlobalStar系统，定制面向公众用户的新手机，这种手机通常为双模手机，同时集成地面移动通信终端芯片/模组、专用卫星通信终端芯片/模组，卫星侧基本不做改动，该方案可通俗称为“新手机、旧卫星”。

二是基于现有地面移动通信体制的存量手机直连卫星通信。该方案基于现有地面移动通信体制，实现存量手机直连卫星，用户既不需要更换手机，也不需要对其进行改动，主要由卫星和网络侧进行改动和增强实现，以应对卫星通信场景中的深度衰落、大时延和大频偏等挑战。该方案是“存量手机”+“新建星座”，可以通俗称为“旧手机、新卫星”。

三是基于3GPP NTN体制的手机直连卫星通信。该方案由手机和卫星网络侧根据3GPP NTN标准进行改进增强，是“新研手机”+“新建星座”，可以通俗称为“新手机、新卫星”。该方案与支持5G NTN演进的智能手机兼容，主要涉及物理层时序和同步的增强。

5G NTN与地面网络正推动多维度深度协同：频谱领域探索星地动态复用机制，如高轨与低轨卫星、卫星与地面基站间的L/S频段灵活共享，破解频谱资源紧张难题；空口技术研发统一波形设计与多址接入方案，提升通信效率；网络管理实现星地资源统一调度，以用户需求为中心动态分配算力、频谱等资源，为6G空天地一体化通信奠定技术基础。

4 切换总体架构

在星地融合通信场景中，切换包括服务链路切换和馈线链路切换。服务链路切换包含多种方式，具体包括：（1）星内切换，用户在同一颗卫星不同波束之间切换。（2）星间切换，用户在不同卫星之间切换。（3）星地切换，用户在TN和NTN之间的切换。为了便于描述，下文假设信关站和基站统一部署。

4.1 星内切换

星内切换包含换基站和不换基站两种场景，两种场景的主要区别是是否需要基站间的信息交互。不换基站即基站内的小区切换，换基站即基站间的小区切换。星内基站间切换场景下，终端和卫星之间的服务链路不变、馈线链路变化，导致物理层传输特性改变，终端和网络需要重新建立同步关系，且基站间需要交换用户上下文信息。当源基站和目标基站之间具有Xn接口时，可以进行Xn切换，当源基站和目标基站之间不具备Xn接口时，需要采用NG切换方式。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

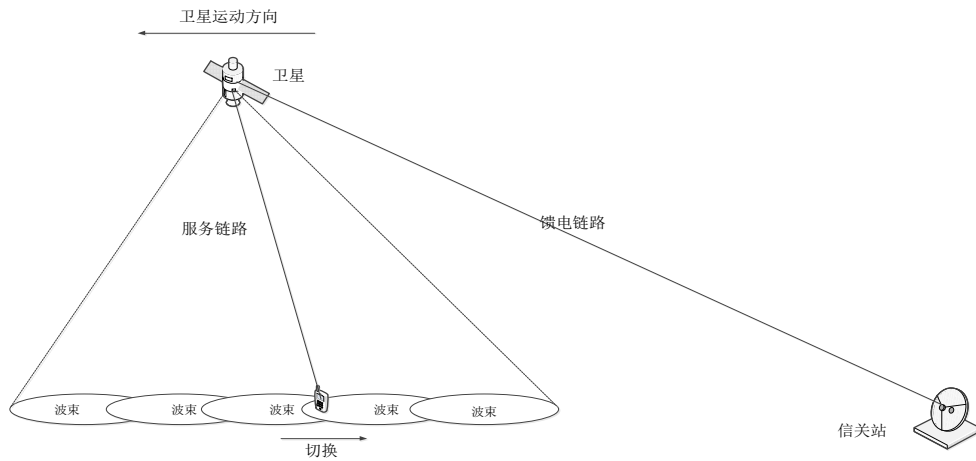


图 5 星内切换不换基站示意图

4.2 星间切换

星间切换同样包含换基站和不换基站两种场景。其中星间不换基站切换场景中，涉及两颗卫星对应的波束资源分配，需要修改信关站路由表。对于基站来说需要具备大容量处理能力，能够管理多颗卫星的数据传输。星间换基站场景中，服务链路和馈电链路均发生变化，终端需要重新和网络建立同步关系，执行Xn切换或NG切换。

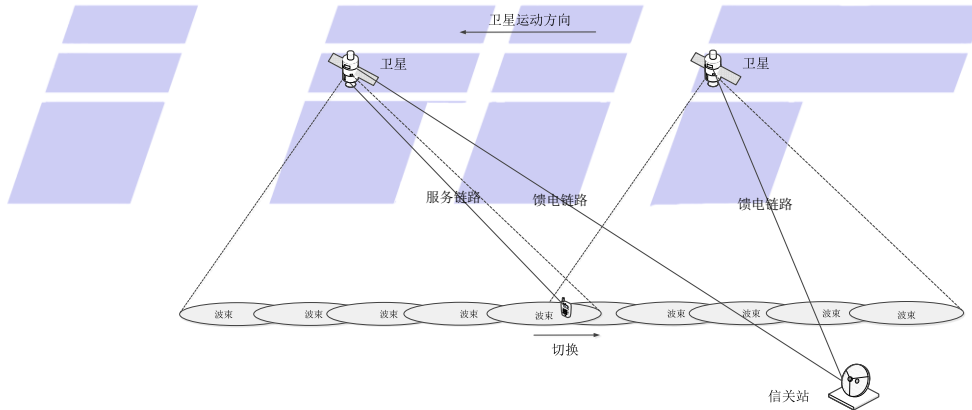


图 6 同一信关站，不同卫星间切换场景示意图

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

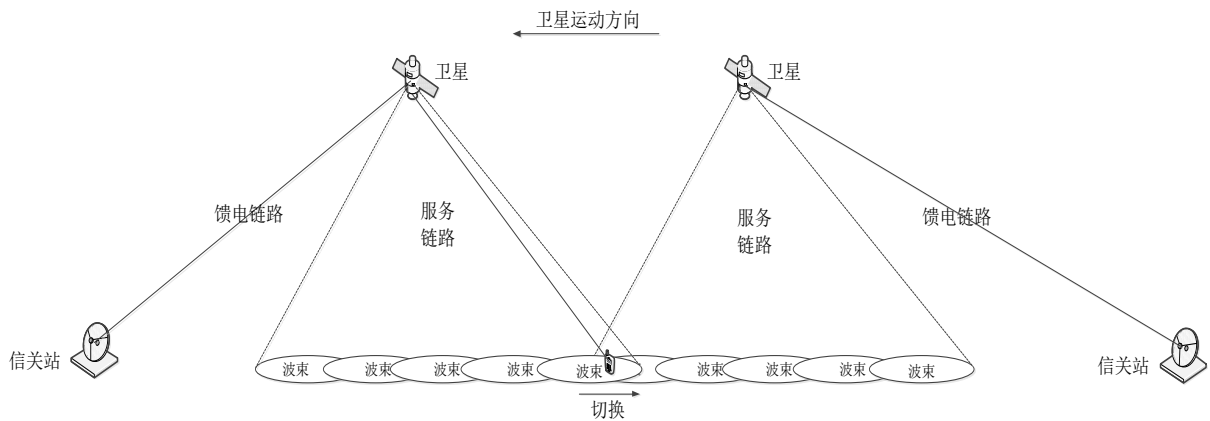


图 7 不同信关站，不同卫星间切换场景示意图

4.3 星地切换

星地融合技术将同时推动着地面移动网络和卫星网络的发展，面向未来，基于 5G 的地面移动网络和卫星网络将会同时存在，也会有越来越多的终端同时支持地面移动网络和卫星网络这两种模式。

地面移动网络和卫星网络各有优劣。地面移动网络虽然能为终端提供低时延高可靠高速率的语音及数据传输服务，但地面移动网络在广域稀疏接入时的建设成本较高，并且虽然覆盖的人口众多但其覆盖范围相对受限。而卫星网络具有覆盖范围广、抗毁性好等优点，也可以为终端提供宽带服务，因此可以作为地面移动网络的覆盖补充，与地面移动网络一起联合为用户提供更好的用户体验。星地切换场景示意图如下：

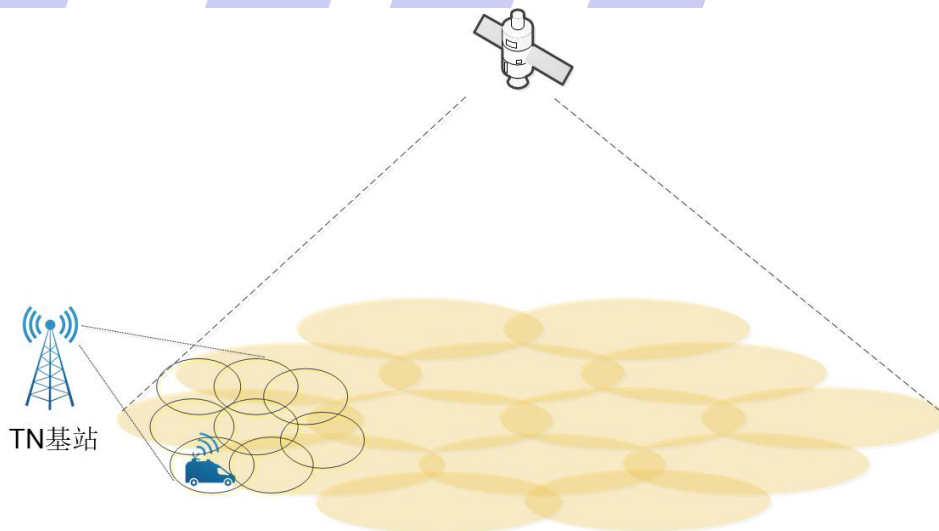


图 8 星地切换场景示意图

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

星地切换包含NTN向TN的切换和TN向NTN的切换两种，目前3GPP仅定义了NTN与TN之间的切换功能，但3GPP RAN4并未定义NTN与TN之间的切换的RRM性能指标需求，也就是说切换过程中业务是否中断，中断时长多大，完全取决于UE实现的能力。本研究报告在目前3GPP标准框架下，对星地切换开展研究：

1. 终端从NTN向TN切换

考虑到卫星通信小区覆盖范围远大于地面移动通信小区，即一个卫星通信小区波束内可能包含有数百上千个地面移动通信小区，如何配置地面移动通信小区的测量是个关键问题。考虑如下解决思路。

(1) 指示终端进行地面移动通信小区的盲搜和上报，根据结果选择合适的目标小区进行切换。

(2) 卫星通信小区提前获知协同覆盖的地面移动通信小区的信息，如小区的频点、小区ID、小区覆盖范围或者中心点的位置，该信息可以通过网管预配置，也以通过基站之间的信令交互获得。然后卫星通信网络侧根据已知的终端的位置信息进行准确的地面移动通信小区的邻区测量配置。

基于上述测量配置的方法，终端完成地面移动通信小区的测量和上报，卫星通信网络做切换判决以及和地面移动通信网络之间的资源协调，将终端切换到合适的面移动通信小区。当然，也可以采用重定向的方式，卫星通信网络指示终端到地面移动通信网络的某个频点上驻留。

2. 终端从TN向NTN切换

TN向NTN的切换的前提是需升级TN基站以支持终端在TN网络下接收切换必要的目标小区信息。终端从地面移动通信网络到卫星通信网络的切换/重定向方法与地面移动通信系统中 inter-RAT 小区测量的启动机制类似，可以设置卫星通信网络搜索的阈值。当地面移动通信服务小区信号值低于某个阈值的时候，通过专用信令指示终端发起卫星通信网络的搜索/测量。阈值的调整取决于网络的优先级策略及当前地面移动通信网络的负载等信息。

另外，也可以考虑在地面移动通信网络的一些小区中(如处于边缘地带)通过专用信令来指示有卫星能力的终端发起卫星通信网络的搜索/测量。如TN基站可以在SIB19中给UE广播NTN目标小区的星历信息，以支持终端能在TN网络下完成对候选的NTN小区进行检测、测量以及同步。终端对卫星通信小区的搜索基于终端所存储的星历信息，终端可以通过当前地面移动通信网络的数据连接下载最新的星历信息。终端将对卫星通信网络的搜索/测量结果进行上报，地面移动通信网络进行切换判决和系统间的资源协调，然后完成切换过程。对于处于连接状态的终端，是否对测量配置中包含、但SIB19中未提供对应卫星信息的小区执行NTN邻区测量，取决于UE的具体实现方案。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

总结起来,星地融合移动通信系统的星地切换方案,可以借用地面移动通信系统的移动性管理方案,主要基于RRM测量和终端的位置作为判决条件。但为了更好地支持连接态终端的业务连续性、保证更好的用户体验,可以对切换的判决和执行条件进一步优化,考虑基于时间、终端位置的条件切换。

5 星地切换关键技术分析

5.1 切换触发机制

5.1.1 测量事件

在TN场景中,UE接收的信号质量好坏与距离服务小区中心的远近有直接关联,通常采用基于信号强度触发的切换策略。3GPP定义了5个同系统信号测量事件,即A1~A5事件,具体定义如下。

- A1事件:服务小区高于一定门限。
- A2事件:服务小区低于一定门限。
- A3事件:邻小区高于主服务小区的偏滞。
- A4事件:邻小区高于一定门限。
- A5事件:服务小区低于某一门限值1,且邻小区高于某一门限值2。

对于A1~A5事件,测量目标是同步信号块(Synchronization Signal Block, SSB)或者信道状态信息参考信号(Channel State Information-Reference Signal, CSI-RS)的RSRP、RSRQ、SINR。对于TN,UE可以测量SSB或者CSI-RS;对于NTN,UE只测量SSB,通常只测量RSRP。

就测量而言,NTN场景与TN场景的一个典型的差别是NTN小区中心和小区边缘信号质量差别不大,差值一般小于3dB,如下图所示:

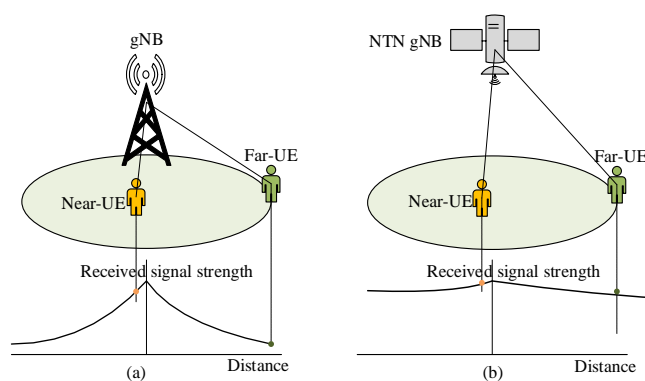


图9 TN系统和NTN系统小区中心和边缘信道质量差别示意图

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

由于NTN场景中小区中心和边缘信道质量相差不大，单纯沿用TN系统中的信号测量事件，会造成NTN系统中对UE移动性管理的效率及性能下降。因此，NTN场景中的移动性管理除了需要考虑信道质量因素外，还需要考虑一些附加因素来进行测量的增强。

为了解决NTN场景基于信号强度触发的切换的局限性问题，3GPP引入了基于位置触发的切换和基于时间触发的切换，即分别定义了D1事件、D2事件和T1事件。

- D1事件：UE与服务小区参考位置的距离大于门限值1，UE与邻小区参考位置的距离小于门限值2。D1事件与A5事件类似，只是测量对象为距离。其参考位置定义为小区的中心，以椭圆点模型（经度和纬度）来表示。
- D2事件：UE与服务小区移动参考位置的距离大于门限值1，UE与邻小区移动参考位置的距离小于门限值2。D2事件适用于NTN Earth-moving的场景。
- T1事件：UE在高于 $t1-Threshold$ 但是低于 $t1-Threshold+duration$ 内测量。其中 $t1-Threshold$ 由UTC（Universal Time Coordinated）来表示，UTC以原子时秒为基础，在时刻上与世界时的误差不超过0.9ms； $duration$ 是持续时间，取值是1~6000的整数，单位为100ms，即最大持续时间是600s。T1事件仅适用于条件切换。

为了降低UE功耗和改善用户体验，在条件切换中，网络一般将T1事件与A3事件、A4事件或A5事件（以下称为A事件）结合起来配置，同时下发候选小区的配置信息给UE。UE将接收到的 $t1-Threshold$ 、持续时间 $duration$ 和A事件作为条件，UE仅在 $t1-Threshold$ 之后才开始测量，如果某一候选小区满足A事件，则UE认为该小区为目标小区，UE完成向目标小区的切换。在 $t1-Threshold$ 之前，即使满足A事件，也不会触发测量和切换。在 $t1-Threshold+duration$ 之后，如果UE没有成功接入目标小区，由于UE不可能再进行切换，UE和网络丢弃目标小区的切换配置，这样做的好处是可以避免目标小区为UE长时间预留资源。同理，网络将D1或D2事件与A事件结合起来配置，只有当D1或D2事件满足后，UE才开始评估A事件。事件触发的测量上报可以配置D1、D2事件，不能配置T1事件。CHO测量可以配置D1、D2、T1事件，且对同一候选小区，网络最多配置D1、D2、T1事件之一。若服务不连续间隙时间长度为零或可忽略不计的情况下，基于时间或位置的触发条件可独立于基于RRM测量条件进行配置。否则，基于时间或位置的触发条件总是与基于测量的触发条件（A3/A4/A5）一起配置。

对于NTN与TN融合的系统而言，切换的测量事件的配置应优先考虑目标小区的性质。当TN小区的UE需要切换至NTN小区时，网络侧需要判断UE接收到NTN小区信号的质量和NTN小区的可服务时长等因素。根据UE与NTN小区中心点的距离网络侧可以推断UE是否已经进入NTN小区的覆盖范围，所以距

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

离事件在该场景应该要配置。根据星历信息和NTN网络资源的配置信息，网络可以给UE配置NTN邻区的D1/D2事件+A事件的测量事件组合或配置条件切换的CondEventD1/D2/T1+A事件的评估条件组合。当NTN小区的UE切换至TN小区时，网络侧需要判断UE是否已处于TN邻区的覆盖范围/是否能接收到TN邻区的信号，同时由于TN小区大多都存在多重覆盖，TN邻区的信号质量优劣就会成为判决切换目标的首选要素，网络侧根据TN网络资源的配置信息可以给UE配置A事件测量多个TN邻区，可选地叠加D1事件一起配置。

5.1.2 测量配置

NR 定义了单个频点维度的 SMTC (SSB Measurement Timing Configuration) 配置，用于告知终端一个频点对应的邻区 SSB 信号所在位置，为了让终端在必要时能够及时找到对应频点邻区。而测量 GAP 机制则是用于 UE 在进行异频测量时，在一段时间内暂停与服务小区的数据发送和接收，确保测量目标小区的同步。SMTC 配置和 GAP 配置关系如下图所示。

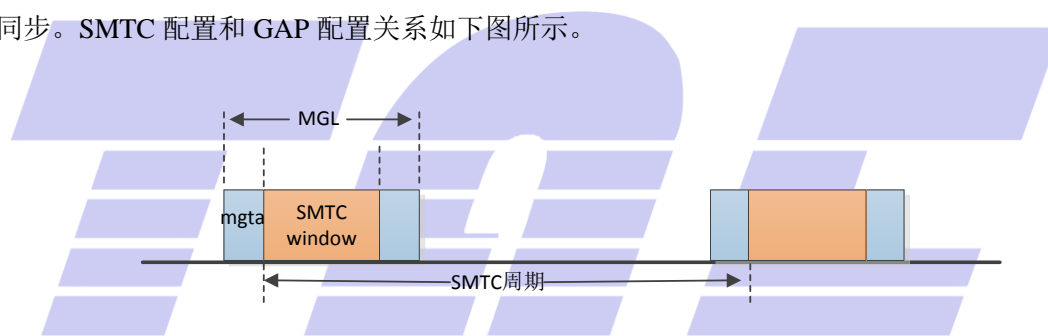


图 10 SMTC 配置

对于NTN场景，终端所处位置与服务卫星及待测量的相邻卫星的距离可能不同，网络为终端配置测量时需要考虑终端与两卫星的传输时延差，在计算SMTC窗口时需要结合服务卫星与相邻卫星的传输时延差、服务小区SSB发送位置和待测量邻区的SSB发送位置进行计算。由于当前小区可能存在多个潜在的邻区，这些邻区对UE而言可能存在不同的传输时延，因此网络可以通过为终端配置smctc4list-r17参数为不同小区配置不同偏移的方式进行多邻区测量。

在NTN-TN场景下，UE到TN小区和UE到NTN小区的传输时延存在较大的差距。对于NTN网络而言，网络需要清楚知道UE的位置信息和TN小区位置信息，可结合自身星历信息来计算两者到UE之间的传输时延差，再结合NTN小区与TN邻区之间的SSB时钟偏移值来给UE配置per-UE的SMTC窗口。其中，TN邻区的规划及位置信息可通过OAM网管接口获取。若考虑星历误差和UE位置误差等因素可能会导致传输时延的计算存在一定量的偏差，此时网络侧需要尽可能配置较大的SMTC窗口持续时间，或者配置多个窗口偏移值供UE进行邻区测量。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

在TN-NTN场景下，TN网络同样地可通过OAM网管接口获取NTN的星历信息和NTN小区位置参数（参考点位置），计算出TN小区到UE和NTN小区到UE的传播时延差，再结合TN小区与NTN邻区之间的SSB时钟偏移值来给UE配置per-UE的SMTC窗口。

对于需要配置测量GAP的场景，网络配置的测量GAP要包含待测量小区的SMTC窗口。配置测量GAP时根据UE能力和网络偏好，可以配置用户级测量GAP或者频点级测量GAP。测量GAP可以配置多组，在配置频点级GAP时，可以为每个测量对象配置至多两个测量GAP。在配置待测量的目标小区时，可以根据目标小区的具体情况配置不同类型的极化方式。

根据UE能力和网络偏好，可以为UE配置per-UE或per-FR的测量GAP。Per-UE的GAP适用于FR1和FR2频率。对于per-FR GAP，分别为FR1和FR2配置两个独立的GAP模式（即FR1 GAP和FR2 GAP）。

5.1.3 切换策略

5.1.3.1 NTN 向 TN 切换

在TN系统中，切换主要基于RRM测量方式进行。由于TN小区边缘的RSRP与小区中心相比存在明显差异，UE可以通过接收的RSRP数值大小来判断其接近小区边缘。在NTN通信(尤其是基于GEO卫星)中，由于小区中心和小区边缘的RSRP差值可能不那么明显，所以可能存在无法设置合适RSRP值的情况。3GPP协议明确支持NTN与TN间的切换，协议引入基于位置、时间的测量以及切换。NTN向TN切换时，可以采用基于RRM的测量，或采用基于位置、时间的测量，也可以采用RRM与时间或位置相结合的测量配置。

GSO cell通常覆盖多个城市（也有TN cell覆盖）、远郊、沙漠甚至海洋。当UE在NTN小区移动时，如果周围没有TN cell，是没有必要对TN cell的频点进行测量的，3GPP引入了NTN-TN小区重选增强技术，NR NTN小区可以广播NR TN和EUTRA TN覆盖区域的小区信息，包括TN覆盖区域ID、地理覆盖区域和相关的频率信息，其中地理覆盖区域通过TN小区的小区中心和小区半径来体现。UE根据广播的覆盖信息确定何时进行TN测量。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

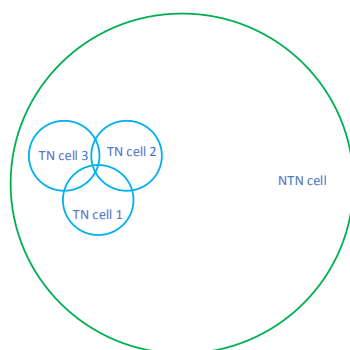


图 11 TN cell 覆盖示意

根据下表分析结果，NTN向TN的切换可以采取2种策略。分别是基于信号强度触发的切换策略、基于位置和信号强度联合触发的切换策略。

表 3 NTN 向 TN 切换策略分析

切换策略	是否支持基本切换	是否支持 CHO	备注
基于RRM测量的切换	√	√	
RRM测量+位置联合触发	√	√	
RRM测量+时间联合触发	×	√	基于时间触发的切换不适用于地球同步卫星
基于位置触发的切换	√	√	CHO下单独配置基于位置的切换要求源小区和目标小区服务不连续时长为0或可忽略不计
基于时间触发的切换	×	√	1.基于时间触发的切换不适用于地球同步卫星 2. CHO下单独配置基于时间的切换要求源小区和目标小区服务不连续时长为0或可忽略不计

1. 基于信号强度触发的切换策略。

例如为UE配置A3事件，只要UE进入NTN小区的覆盖范围，UE就开始搜索TN小区，当UE进入TN小区覆盖范围后，UE向网络报告A3事件。这种方案会导致被调度用户吞吐量急剧下降，这是因为NTN

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

和TN通常工作在2个异频点上，需要配置测量间隙来完成测量，由于NTN传播时延大，UE离开NTN小区，在TN小区完成测量，再返回NTN小区后，需要重新进行同步和定时调整，这将导致调度的低效率。

2. 基于信号强度和位置联合触发的切换策略。

一种做法是网络同时配置A3+D1事件。当UE由NTN小区提供服务时，网络根据小区规划，为UE配置基于RRM测量的A3事件和D1事件，终端收到A事件和D事件配置后，根据产品实现有两种可能的行为：（1）持续监测D事件和A事件是否满足条件（2）当终端检测到满足D1事件时，开始测量A3事件。普通切换场景中，当网络收到A3和D1事件上报后，给UE下发切换命令指示UE发起NTN向TN的切换。CHO场景中，UE检测到满足A3+D1事件后直接发起向目标小区的切换。

另一种做法是A3事件和D1事件分开配置。当UE由NTN小区提供服务时，网络给UE配置D1事件，并在测量配置中要求UE在测量报告中上报粗位置信息，根据UE的粗位置信息和规划的TN小区的覆盖信息，推测UE是否移动到TN小区的覆盖范围内。当UE向TN小区移动时，网络为UE配置A3事件，包括TN小区使用的频率和对应的测量GAP，网络接收到A3事件报告后，发起从NTN小区到TN小区的切换。该策略的好处是避免UE持续测量TN小区导致的服务中断。

5.1.3.2 TN 向 NTN 切换

TN向NTN切换主要在RRC连接态下，终端由蜂窝网络覆盖边缘进入无蜂窝网络区域时发生。TN服务小区可以基于终端位置或者信号质量情况，配置周期性测量或事件触发性测量。对于测量触发门限阈值的设置，应依据NTN网络服务能力而进行设定（如时延、服务质量）。考虑卫星通信大通信时延（尤其是基于GEO卫星），可以根据星历信息计算并提前下发测量配置。

TN小区终端对NTN邻区的测量参数配置，应参照TN蜂窝网络连接态邻区测量的配置流程。考虑卫星通信的接入特点，网络通过系统消息对TN小区终端进行测量配置，参数应包括卫星星历、TA、K-Mac等相关信息。

此外，在开阔场景，GEO NTN的导频信号SINR相差不大，可考虑简化切换测试流程，节省终端能耗，一些情况下可以认为只要终端符合GEO NTN最低接入仰角，就可以启动切换流程，而不需要终端进行邻区信号测量。

根据下表分析结果，对于TN向NTN的切换，可以采用以下切换策略。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

表 4 TN 向 NTN 切换策略分析

切换策略	是否支持基本切换	是否支持 CHO	备注
基于RRM测量的切换	√	√	
RRM测量+位置联合触发	√	√	
RRM测量+时间联合触发	×	√	基于时间触发的切换不适用于地球同步卫星
基于位置触发的切换	√	√	CHO下单独配置基于位置的切换要求源小区和目标小区服务不连续时长为0或可忽略不计
基于时间触发的切换	×	√	1.基于时间触发的切换不适用于地球同步卫星 2.CHO下单独配置基于时间的切换要求源小区和目标小区服务不连续时长为0或可忽略不计

1. 基于信号强度触发的切换策略

TN向NTN的切换可以采用基于信号强度触发的切换策略，例如为UE配置A2事件和A3事件。当 UE 进入 TN小区的覆盖边缘时，网络为UE配置 A2事件，UE 通过测量服务小区的信号强度，可以很容易判断UE位于小区的边缘，触发UE上报A2事件，为了响应该事件，网络为UE配置A3事件，网络接收到 A3事件报告后，将发起从TN小区到NTN小区的切换。该策略的好处是不管TN小区的邻小区是TN小区还是NTN小区，都可以实现统一的切换策略。但由于地面信道状态和星地信道状态差别较大，需要根据UE能力和星地信道条件配置合适的切换门限，能够实现TN向NTN的精确切换。

2. 基于信号强度和位置联合触发的切换策略

一种做法是网络同时配置A3+D1事件。当UE由TN小区提供服务时，网络根据小区规划，为UE配置基于RRM测量的A3事件和D1事件，终端持续监测D事件和A事件是否满足条件或当终端检测到满足D1事件时，开始测量A3事件。普通切换场景中，当网络收到A3和D1事件上报后，给UE下发切换命令指示UE发起TN向NTN的切换。CHO场景中，UE检测到满足A3+D1事件后直接发起向目标小区的切换。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

另一种做法是A3事件和D1事件分开配置，网络给UE先配置D事件，收到UE的D事件上报后给UE配置A事件。普通切换场景中，网络根据UE的A3和D1测量上报，给UE下发切换命令指示UE发起TN向NTN的切换。CHO场景中，UE满足条件直接切换至NTN小区。

3. 基于服务小区的信号质量和目标小区的服务时间的联合触发的切换策略

一种做法是网络同时给UE配置A2和目标小区开始服务的时间，CHO场景中，UE监测到同时满足A2以及UE测量的时间晚于目标小区开始服务时间后，直接发起向目标小区的切换。

5.2 切换决策算法

切换决策算法是实现 NTN 与 TN 融合环境下高效星地切换的关键环节，其核心目标是根据实时网络状态、链路质量、用户需求及服务策略等多维度因素，动态地选择最优的切换时机和目标网络，以保障通信的连续性、可靠性和服务质量（QoS）。

5.2.1 算法设计原则

5.2.1.1 全局多维度联合感知机制

物理层与网络层指标需要并重，NTN 与 TN 在链路特性上存在显著差异：NTN 的卫星链路覆盖范围广、传播时延高，易受电离层、大气层扰动；TN 则具有较低时延、频谱利用率高，但覆盖受地形与基站布设限制。决策算法应同时采集并融合物理层（信噪比 SNR、参考信号接收功率 RSRP、误码率 BER 等）、链路层（丢包率、抖动）、网络层（基站/卫星负载率、信令开销）、终端侧（移动速度、位置预测）以及业务侧（eMBB、URLLC、mMTC 等）等多源信息，将不同量纲的指标映射至统一的“网络可用性评分”和“服务匹配度”两种核心度量维度。算法应在运行时动态调整各指标权重，使评估数据能真实反映当前网络环境与业务需求之间的匹配程度，为后续切换判决提供可靠输入。

5.2.1.2 抗抖动与切换稳定性设计

面对星地融合网络中拓扑动态变化剧烈、信道波动频繁的通信环境，若切换判决机制缺乏稳定性约束，极易产生“Ping-Pong”效应，即终端在两个链路之间反复切换，导致系统开销显著上升并严重影响用户体验。为提升切换过程的健壮性与一致性，切换算法在设计中可引入多层次的抗抖动与稳定性保障机制。首先，在判决阈值层面引入滞后门限约束，要求候选链路的关键性能指标（如综合可用性得分、SNR 等）需较当前链路明显提升（如大于 2-3dB），方可进入切换评估流程，从而滤除瞬态扰动。

其次，系统设定最小驻留时间（Minimum Dwell Time），规定终端在完成一次切换后，需在目标

链路维持连接达到预设时长（例如 5 秒）方可再度触发新一轮切换评估，从机制上防止连续误判引起的反复跳转。

此外，在链路波动剧烈或终端高速移动场景中，算法通过监测单位时间内的切换次数与位置信息，自动识别出高频切换区域，启用“休眠定时器（Dormant Timer）”策略，在设定时段（如 30 秒）内暂停自动切换触发，并持续监控网络质量变化趋势以避免盲目决策，抗抖动机制的流程如下图所示，该机制可有效削弱切换过程对信道临界抖动的过敏反应，增强系统对网络不确定性的容忍能力。

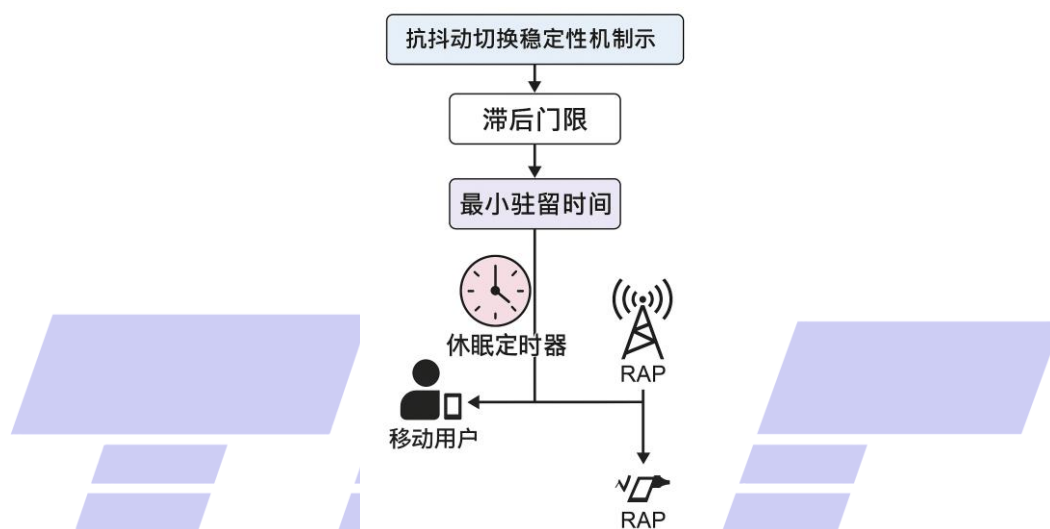


图 12 抗抖动切换稳定性机制

5.2.2 典型切换决策算法

5.2.2.1 基于阈值的算法

阈值算法的核心原理是通过预设门限值触发切换决策，在星地融合网络中需解决双重移动性（卫星高速运动+终端移动）带来的链路不稳定性问题。

1. RSRP/RSRQ门限算法

RSRP（参考信号接收功率）与 RSRQ（参考信号接收质量）是 LTE/NR 系统中引入的链路质量测量指标，专用于衡量小区级别的接入信号情况，较 RSS 更加精细和稳定。RSRP 表示参考信号的接收功率，排除了非参考子载波带来的干扰；RSRQ 则结合 RSRP 与 RSSI 评估整体信道质量，常用于 TN 与 NTN 间的精细判决过程。切换判决表达式如下：

RSRP 判决：

$$RSRP_{target} > T_{RSRP} \text{ 且 } RSRP_{target} > RSRP_{current} + \Delta$$

RSRQ 判决:

$$RSRQ = \frac{N \cdot RSRP}{RSSI} \text{ 且 } RSRQ_{target} > T_{RSRQ}$$

其中, N 为 RB (资源块) 数量, Δ 为切换门限偏移量, T_{RSRP} 、 T_{RSRQ} 分别为参考信号强度和质量门限。

RSRP/RSRQ 门限算法广泛应用于 5G NTN/TN 场景中。例如, 在 3GPP TR 38.821 等标准中, 明确提出基于 RSRP/RSRQ 联合判决的链路选择机制, 用于指导卫星系统中的接入控制和频繁切换优化。

2. SINR 门限算法

SINR (信干比) 是无线通信中衡量链路质量的关键参数, 表示接收信号相对于背景噪声和其他干扰信号的强弱。SINR 门限算法以此为切换判据, 设定一个固定阈值 T_{SINR} , 当当前链路的 SINR 值低于该阈值时, 触发切换到另一质量更好的网络链路, 其基本的切换判决可表达为:

$$SINR_{current} < T_{SINR} \text{ 且 } SINR_{target} > SINR_{current} + \Delta$$

其中, Δ 为切换滞后门限, 用于减少因微弱波动引发的频繁切换。

SINR 计算公式为:

$$SINR = \frac{P_{signal}}{P_{interference} + P_{noise}}$$

算法流程图如图 4.3 所示, 该算法特别适用于干扰严重的环境下, 如 NTN 与 TN 重叠区域、城市核心地带或星地双链路可达区域。

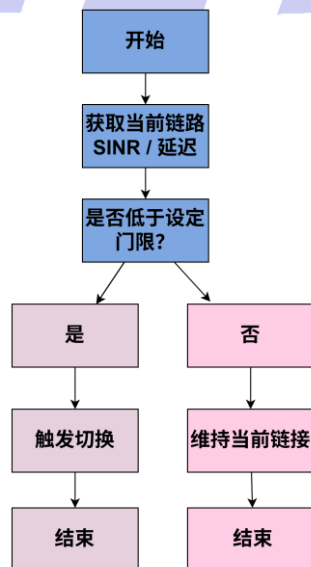


图 13 SINR 门限算法流程图

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

3. 延迟门限算法

延迟门限算法以链路时延（RTT 或 E2E）为切换判据，适用于对时延敏感的业务（如语音通话、工业控制、低时延视频）。当终端检测到当前链路的往返时延（RTT）或端到端时延（End-to-End Latency）超过某一预设门限 T_{delay} 时，即触发切换过程，基本的切换判决如下：

$$Delay_{current} > T_{delay} \Rightarrow \text{切换到其他低延迟链路}$$

其中， T_{delay} 可根据业务类型预设，如URLLC应用可设为10~20ms；eMBB应用可接受100~200ms。

表 5 基于链路质量指标的固定门限算法对比

维度	SINR门限算法	延迟门限算法
判决指标	物理层干扰比	网络层时延（RTT/E2E）
特点	抗干扰性强	关注QoS时延保障
适用业务	高速场景、复杂干扰环境	实时业务（语音/URLLC）
复杂度	中等（需干扰建模）	高（需精确测量）
易误判因素	多径/频率漂移	排队延迟/拥塞突变
改进方向	自适应干扰模型	多指标融合 + 动态延迟预估

4. 速度门限切换算法

速度门限切换算法依据终端的移动速度决定是否允许进行切换，以及选择哪一类网络进行接入。在 NTN/TN 融合场景中，终端移动速度对网络切换频率、链路持续性和服务质量具有直接影响。例如，在高速移动场景下（如高铁、飞行器），地面网络覆盖连续性差、频繁切换，因此更适合接入大范围覆盖的 NTN 链路。该算法设定一个固定速度阈值 V_{th} ，当检测到终端速度 V 超过该阈值，则禁用 TN 接入，仅允许使用 NTN；若低于门限，则优先接入 TN 以获得更低延迟与更高吞吐，判决逻辑表达式：

$$V > V_{th} \Rightarrow \text{优先接入NTN网络}$$

$$V \leq V_{th} \Rightarrow \text{优先接入TN或保持当前连接}$$

速度门限切换算法适用于高速动态变化，减少切换开销，缺点是无法做到门限动态调整，对业务无感知。

5. 地理区域门限

地理围栏（Geo-fencing）是一种基于位置的切换触发机制。该算法通过设置一系列“地理策略区”，为不同区域定义预设的网络接入或切换行为。例如，当终端位置进入“海洋覆盖区”或“山区无地面站区

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

域”时，自动触发连接至卫星网络；反之，当终端返回城市或基站密集区，则优先接入TN网络。本算法依赖于GPS位置检测或星历轨迹推导等手段，在位置与边界坐标重合或越界时触发切换。

逻辑判决条件：

$$(x, y) \in A_{NTN} \Rightarrow \text{接入卫星链路}$$

$$(x, y) \in A_{TN} \Rightarrow \text{接入地面链路}$$

其中， A_{NTN} 、 A_{TN} 为预定义的空间区域。

该算法的优点为策略性强且适合批量部署，缺点为需要高精度的定位支持。

6. 最小驻留时间门限

最小驻留时间是一种约束性策略，用于在完成一次切换后强制终端在目标链路上保持一定连接时间，防止因链路短时波动或测量噪声引起的反复切换。即便链路质量再次下降，也需等待驻留时间结束后才允许发起新的切换请求。

判决逻辑：定义驻留时间 T_{min} ，在切换完成时间点 t_0 后，仅当当前时间满足 $t > t_0 + T_{min}$ 时才允许下一次切换：

$$t - t_0 \geq T_{min} \Rightarrow \text{切换允许}$$

驻留时间一般取 2~10 秒，依据业务类型、网络抖动程度调整。

5.2.2.2 基于预测的算法

在 NTN 与 TN 融合网络中，面对星地链路频繁变化、终端高速移动以及业务 QoS 需求高度多样化等挑战，传统的门限触发切换算法常因响应滞后或误判导致切换失败或业务中断。为此，业界提出多种基于预测的切换决策算法，通过提前感知卫星轨迹、终端行为、信道演化趋势和网络负载变化，实现前瞻性切换判决。

1. 卫星轨道可视性预测算法

该算法基于卫星星历信息，结合终端地理位置与时间参数，计算当前或未来一段时间内的可视卫星集合。算法的核心为可视性判断函数：当卫星仰角 θ 大于设定门限（如 $10^\circ \sim 15^\circ$ ），即视为该卫星“可接入”。可视性判决条件为：设定仰角门限 θ_{thresh} ，则当卫星与地面终端间的仰角 $\theta(t)$ 满足 $\theta(t) > \theta_{thresh}$ ，则视为该卫星可见或可接入。卫星位置可由 TLE（Two-Line Element）轨道数据通过 SGP4（Simplified General Perturbation model 4）算法解算得到地心坐标系下的卫星位置矢量：

卫星位置：

$$\mathbf{r}_s^I(t) = [x_s(t), y_s(t), z_s(t)]$$

地面用户位置（经纬高 → ECEF 坐标）：

$$\mathbf{r}_u^I = [x_u, y_u, z_u]$$

卫星对地观测向量为：

$$\mathbf{r}_{su}^I(t) = \mathbf{r}_s^I(t) - \mathbf{r}_u^I$$

仰角的计算为：

$$\theta(t) = \arcsin\left(\frac{\mathbf{r}_{su}^I \cdot \mathbf{n}}{|\mathbf{r}_{su}^I|}\right)$$

其中， \mathbf{n} 为地面法向量，通常为用户当地地心向外单位矢量。

应用策略若目标卫星将在未来数秒至数十秒内进入可视区，可提前建立预连接；若当前接入卫星将在预期业务结束前离开视场，触发提前切换；可用于“切换准备窗口识别”，提高切换的及时性和成功率。

2. 用户终端轨迹预测切换算法

该算法利用终端历史位置、速度和移动方向等特征，预测其未来运动轨迹，进而判断其是否将进入新的网络区域或脱离当前网络覆盖。常用方法包括：

Kalman 滤波：用于实时轨迹预测，适合车辆/UAV 等连续移动终端；

LSTM 神经网络：对长期路径规律建模，适合地面交通或定时航迹设备；

切换判决逻辑主要判定未来是否进入新的网络覆盖区域，设 TN 覆盖区域的为集合 \mathbf{A}_{TN} ，NTN 的仰角门限为 θ_{thresh} ，预测未来位置 (x', y', z') 后判断：若 $(x', y') \notin \mathbf{A}_{TN}$ ，且预测卫星仰角 $\theta(t + \Delta t) > \theta_{thresh}$ ，则判定应提前切换至 NTN；若即将进入小区范围且 $(x', y') \in \mathbf{A}_{TN}$ ，则提前接入 TN。

5.3 切换过程中的数据传输

为了保证服务质量，在切换过程中需要源侧将数据转发至目标侧。根据网络架构的不同，在切换过程中的数据转发的处理有所不同，问题的关键是如何搭建数据通路。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

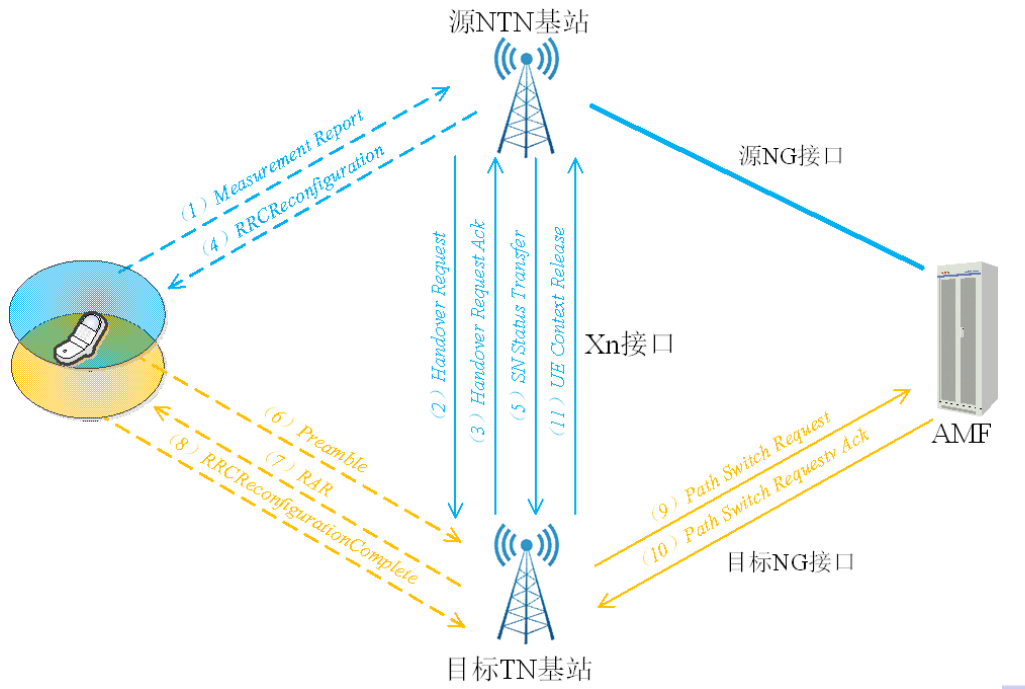


图 14 星地 Xn 接口切换示意图

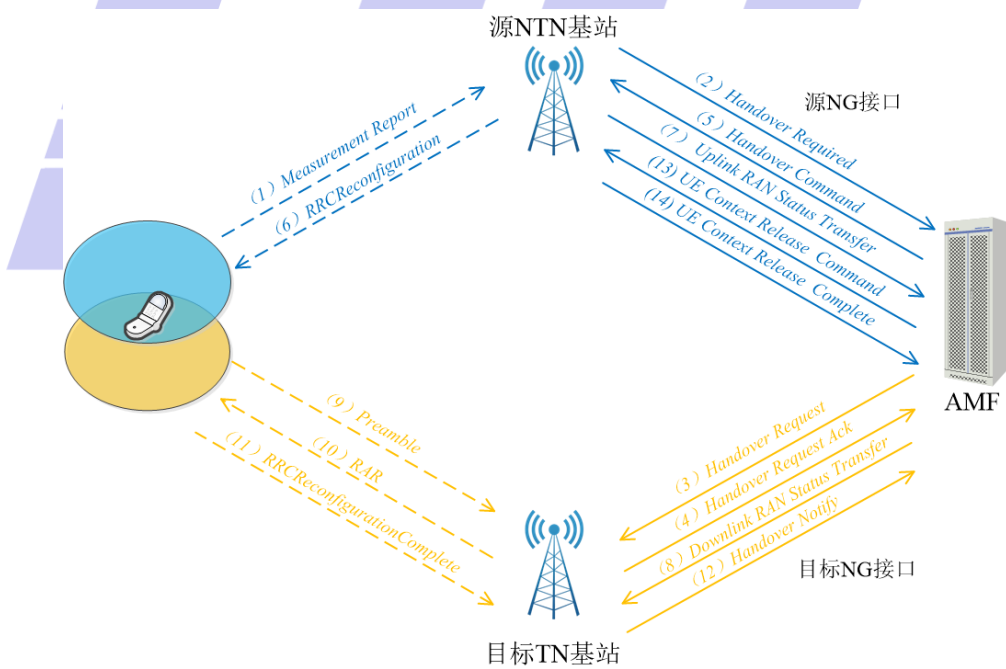


图 15 星地 NG 切换场景示意图

5.3.1 切换流程

NTN 和 TN 之间可以是基于 Xn 的切换，也可以是基于 NG 的切换，取决于系统架构和连接状况。

Xn 切换和 NG 切换的流程简要介绍如下。

• 基于 Xn 的切换流程

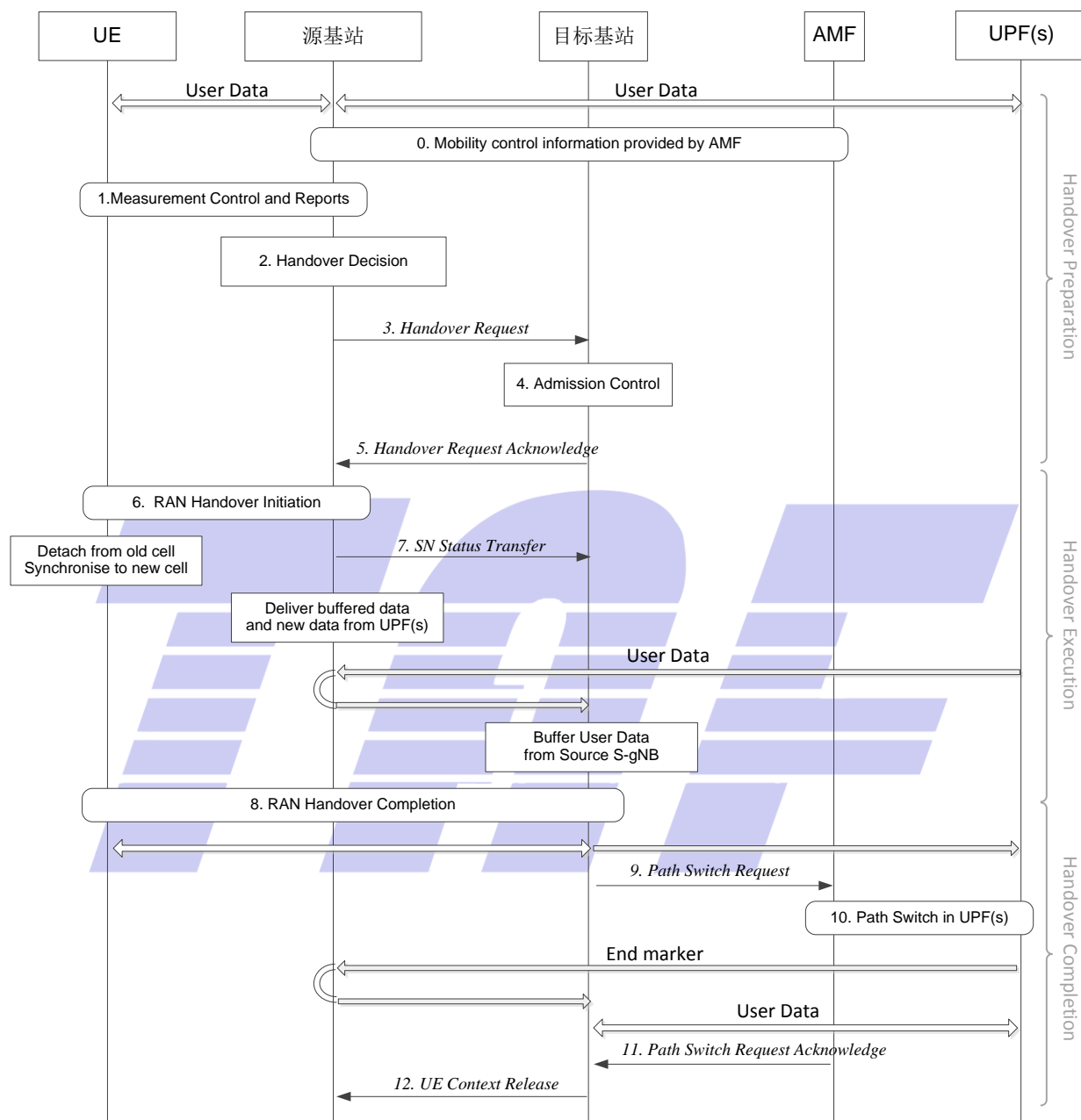


图 16 Xn 切换流程

信令流程简要说明如下：

- 1、UE 按照测量配置进行 RRM 测量和事件上报，UE 上报自己的位置信息；
- 2、源基站根据星历以及终端上报信息（RRM+位置）来做切换判决；
- 3~5、源基站向目标基站发送切换请求消息，传递必要的用于切换准备的相关信息。目标基站接受

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

该请求，为 UE 分配资源并回复确认消息，确认消息中含有给 UE 的切换命令。

6、源基站触发空口的切换，向 UE 发送 RRC 重配置消息；

7、切换过程中源基站向目标基站执行数据前传及 SN 状态传输操作，可以将其收到的 UE 的下行数据前传给目标基站，当 UE 在目标小区接入时，目标小区知道从哪里开始为 UE 继续传输数据；

8、终端从旧小区断开，同步到新小区。当终端成功接入目标小区后，终端发送 RRC 重配完成消息给目标基站，目标基站接收 RRC 重配完成消息后，确认切换成功。至此，目标基站可以开始向终端发送数据。目标基站应优先发送源基站转发的数据；

9、目标基站向核心网发送路径转换请求消息，消息中携带目标基站侧的下行隧道信息；

10、核心网侧的 UPF 发送结束标记“End marker”给源基站，随后中断向源基站的数据发送，将下行数据的发送路径切换到先前目标基站分配的下行隧道；

11、核心网发送路径转换请求确认消息；

12、目标基站向源基站发送 UE 上下文释放消息，指示源信关站可以释放 UE 的相关上下文。

• 基于 NG 接口的切换流程

当 2 个基站间不存在 Xn 接口时，切换应按照 NG 切换来进行。NG 切换流程如下：



面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

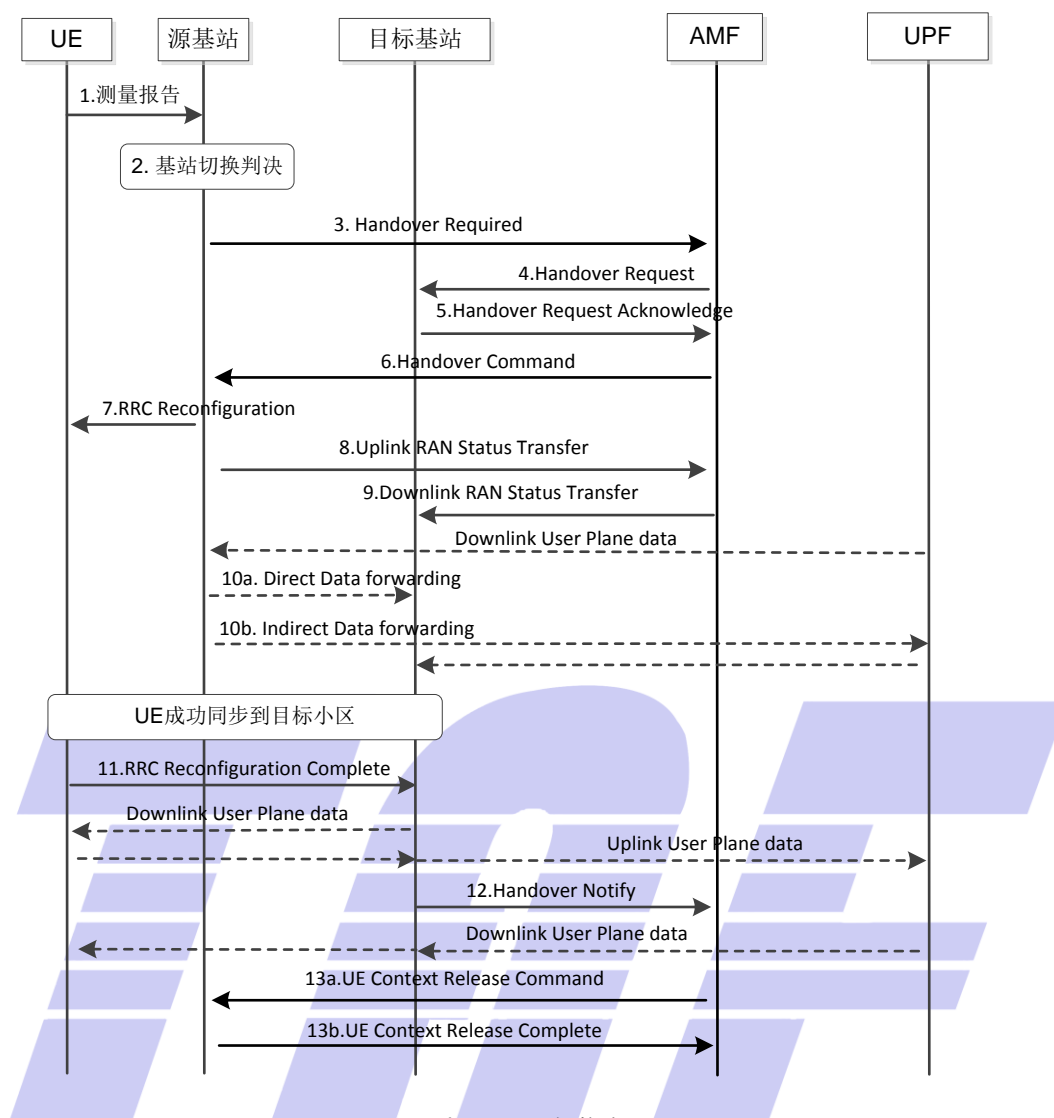


图 17 NG 切换流程

信令流程简要说明如下：

- 1、UE 按照测量配置进行 RRM 测量和事件上报；
- 2、源基站根据星历以及终端上报信息（RRM+位置）来做切换判决；
- 3~6、核心网在收到源基站的 Handover Required 之后，向目标基站发送 Handover Request 消息，目标基站为 UE 分配相应的资源并回复 Handover Request Ack 消息。AMF 接收到目标侧的切换请求确认后，向源基站发送 Handover Command 消息；
- 7、源小区收到核心网切换命令消息后，向终端发送 RRC Reconfiguration 消息；
- 8~9、源小区通过核心网向目标小区执行数据前传及 SN 状态传输操作，目的是为了使终端在目标小区接入时，目标小区知道从哪里开始为终端继续传输数据；
- 10a~10b、源基站将数据转发到目标基站。转发路径有 2 种：直接转发和间接转发。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

11、UE 中断和源基站的连接，同步到目标小区，成功接入后发送 *RRCReconfigurationComplete* 消息给目标基站。此后目标基站首先将源基站转发过来的下行数据发送给 UE。

12、目标基站发送切换通知消息给 AMF，告知切换成功。至此上下行数据可以正常传输。

13a~13b、核心网通知源小区释放上下文，源小区确认后向核心网回复确认消息；

5.3.2 数据转发路径

在透明转发模式下，NTN基站和TN基站均位于地面，在切换发生时，转发处理和传统TN网络相同，数据不需要通过卫星来转发。根据网络部署的不同，NTN地面基站和TN基站之间可以建立直接或间接转发隧道。采用直接转发的方式时，数据传输路径为“NTN基站(地面)→TN基站”；采用间接转发方式时，数据传输路径为“NTN基站(地面)→地面UPF→TN基站”，示意图如下：

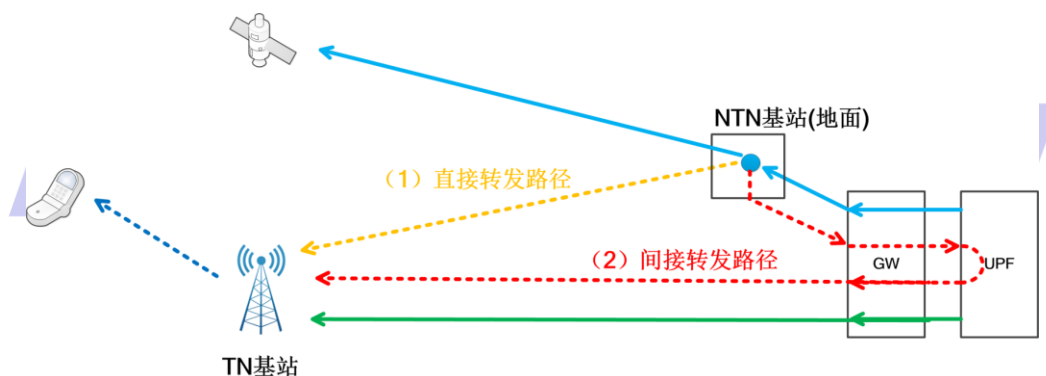


图 18 透明转发模式 NTN 至 TN 切换时的数据转发

TN至NTN切换时处理类似，但上图中数据流方向相反。

5.3.3 PDU 会话与 QoS

空口业务平面协议栈包含了 PHY、MAC、RLC、PDCP、SDAP 这 5 个协议，出于 QoS、安全问题，业务数据需要走完上述全部协议。空口的每个协议，都会为 PDU 会话的承载分配相应的参数，如时频资源、传输信道、逻辑信道、数据无线承载 DRB、QoS 流等，各层协议互相配合共同完成数据传输任务，如下图所示：

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

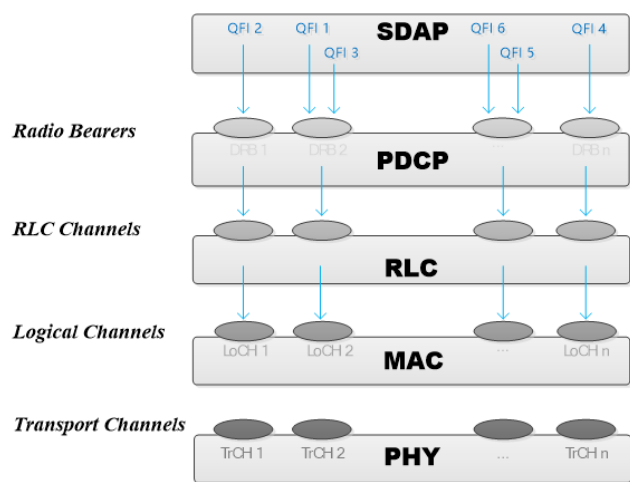


图 19 基站内的 QoS 流、DRB 映射关系

当基站处理完 UE1 的 SDAP 协议拿到 QoS 流后，再将其转发到 GTP-U 隧道（Xn 接口或 NG 接口）上进行传输，示意图如下：

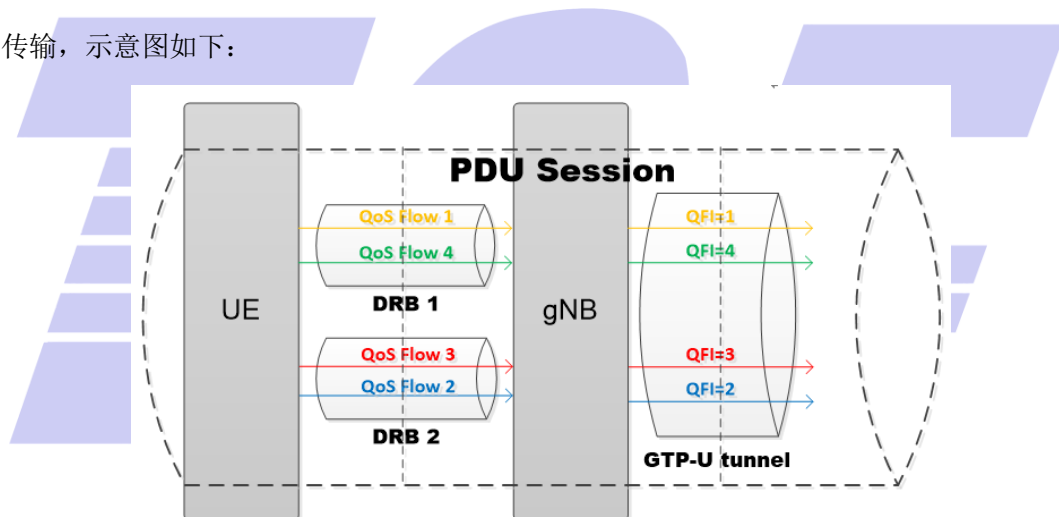


图 20 QoS 流、DRB 与隧道

而所谓的GTP-U隧道，从参数层面是指“IP地址”和“TEID”的组合。对于数据转发而言，需要目标侧分配转发隧道地址，源侧节点向这个转发隧道发送数据。由于转发过程中途经多个设备，因此需要逐段搭建转发隧道，并且需要将转发隧道信息告知对方节点，使之知道往哪里转发数据。

源接入网节点可以针对 PDU 会话建立每个 QoS 流的下行链路数据转发，并且可以提供它如何将 QoS 流映射到 DRB 的信息。目标接入网节点负责处理为 PDU 会话建立的每个 QoS 流的数据转发。

若要求“无损切换”且目标接入网节点所采用的 QoS 流至 DRB 映射规则允许对数据转发应用与源接入网节点相同的 QoS 流至 DRB 映射方式，且若映射到该 DRB 的所有 QoS 流均被接受进行数据转发，则目标接入网节点将建立该 DRB 对应的下行转发隧道。

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

对于适用于 SN 状态保持的 DRB，目标接入网节点可以决定建立 UL 数据转发隧道。

目标接入网节点亦可决定为每个 PDU 会话建立下行链路转发隧道。在此情况下，目标接入网节点需提供已获接受数据转发的 QoS 流信息，以及用于在源接入网节点和目标接入网节点之间建立的数据转发隧道的相应 UP TNL 信息。

只要发生 DL 用户数据分组的数据转发，源接入网节点就必须在同一转发隧道中转发用户数据，即：

- 对于目标接入网节点已接受数据转发的 QoS 流，若其在源接入网节点已映射至某个 DRB 且已为该 DRB 建立下行转发隧道，则该 QoS 流的所有新数据包应作为 PDCP SDU 通过映射的 DRB 下行转发隧道进行转发。
- 对于适用于 SN 状态保持的 DRB，源接入网节点可以经由 DRB DL 转发隧道，按序向目标接入网节点转发所有下行链路 PDCP SDU，其 SN 对应于尚未被 UE 确认的 PDCP PDU。

在适用于 SN 状态保持的 DRB 进行 UL 用户数据包转发期间，源接入网节点应按照以下方式之一处理：

- 若源接入网节点未接受目标接入网节点的上行转发请求，或在切换准备流程中目标接入网节点未请求该承载的上行转发，则丢弃乱序接收的上行 PDCP PDU
- 若源接入网节点在切换准备流程中已接受目标接入网节点对该承载的上行转发请求，则通过相应的 DRB 上行转发隧道，将乱序接收的 PDCP PDU 所对应的上行 PDCP SDU 转发至目标接入网节点

结束标记包的处理方式：

- 源接入网节点从 UPF 接收每个 PDU 会话的一个或多个 GTP-U 结束标记包，并且当不再有用户数据包需经过该隧道转发时，将结束标记包复制到各个数据转发隧道中。
- 通过数据转发隧道发送的结束标记包适用于经该隧道转发的所有 QoS 流。当通过转发隧道收到结束标记包后，目标接入网节点即可开始处理从 NG-U PDU 会话隧道接收到的、与该转发隧道相关联的 QoS 流数据包。

5.4 切换后的网络优化

5.4.1 兼容性优化

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

由于NTN和TN系统在频段使用方面存在差异，可能导致终端设备与网络设备之间无法正常通信，从而出现兼容性问题。因此，在网络切换后需针对关键通信参数进行兼容性优化，确保各类终端在不同网络环境下能够无缝衔接并保持通信质量。

1. 频段分配优化

在切换后的网络中，重新评估频段的分配情况。对于采用FDD的通信系统，要确保上下行频段之间的间隔合理，避免上下行频段之间的干扰。同时，不同频段的频谱资源也拥有不同的传播特性，可以根据将高频段用于覆盖范围小但用户密集的区域，将低频段用于覆盖范围大的区域，以此可以优化频段的使用，也可以减少频率之间的干扰。

2. 频率复用优化

在切换后的网络中，可以优化频率复用方案，避免同频干扰。相邻小区尽量使用不同的频率来规避同频干扰。在切换后，可以考虑采用部分频率复用等技术，根据TN/NTN小区的负载情况和用户分布动态调整频率复用模式，提高频谱利用率的同时降低干扰。

5.4.2 容量优化

网络切换后，由于用户分布、业务模型或覆盖范围的改变，原有的容量配置可能无法匹配新的需求，从而导致网络拥塞或资源闲置。容量优化的前提即是解决这种因网络拓扑和资源分配变化所引发的容量供需失衡问题，以确保用户体验并提升资源利用效率。

1. 小区分裂与合并

在用户密集的区域，如果切换后的小区容量不足，可以考虑进行小区分裂。例如在城市生活中心区域，用户密度很高，通过将一个大的通信小区分裂成多个微小区，每个微小区可以独立地分配资源，为用户提供服务，从而有效提升网络容量。

相反地，在用户稀疏的区域，如果存在多个小区覆盖有较多重叠且容量利用率低的情况，可以考虑小区合并。例如，在一些偏远的山区，用户密度非常低，通过合并小区可以减少基站设备的数量，降低网络的运维成本，同时优化网络结构。

2. 资源分配优化

对于切换后的网络，可以根据用户的业务类型和业务分布时间段来动态分配频谱资源。例如，在视频或直播等高流量业务为主的时段，可以分配更多的频谱资源，而在普通语音业务为主的时段，合理调整频谱资源的分配，提高频谱利用率。

5.4.3 切换参数优化

网络切换后，新的网络拓扑、小区覆盖范围以及无线传播环境会改变用户的移动性行为，导致原有的切换参数（如门限、迟滞等）不再适用。这可能引发切换过早、过晚、频繁乒乓甚至切换失败等问题，严重影响用户的连续通信体验。因此，需考虑针对新的网络环境进行切换参数优化，对控制小区间迁移的关键参数进行重新校准，以建立更加稳定、高效的移动性管理机制。

1. 切换门限优化

根据切换后的网络覆盖和UE移动性状态等情况，动态调整切换门限。例如，在高速公路或高铁沿线的通信网络中，UE移动速度较快，切换门限可以适当放宽，避免频繁切换。而对于城市生活中心区域的通信网络来说，切换门限可以适当收窄，以保证UE在小区边缘的通信质量。

2. 切换迟滞优化

调整切换迟滞参数，避免乒乓切换现象。乒乓切换是指UE在相邻两个小区之间的来回频繁切换，会影响网络的负载并降低用户体验。可以考虑在UE测到的相邻两个小区边缘信号强度差异较小时，延迟切换决策，可以有效减少乒乓切换现象。

6 总结与下一步标准化建议

6.1 总结

NTN与TN融合通信已是大势所趋，面向NTN与TN融合的星地切换关键技术研究具有重要的理论意义和实际应用价值。通过深入研究和不断创新，可以为未来通信网络的发展提供更加可靠、高效的切换技术支持。

本文从标准化进展、关键技术与演进、产业布局与发展趋势等方面介绍了星地融合通信的发展现状，在此基础上研究星地切换的总体架构，进一步重点从切换触发机制、切换决策算法、切换过程中的数据传输、切换后的网络优化等角度深入展开星地切换关键技术研究。通过深入研究和不断创新，可以为未来通信网络的发展提供更加可靠、高效的切换技术支持。

6.2 下一步标准化建议

技术研究的落地离不开标准化，在即将到来的6G标准化阶段，结合目前行业内的主要观点，有如下技术方向的标准化建议：

1. NTN与TN的一体化设计

面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

NTN与TN的融合首先要在架构上融合，一体化的架构设计可以更融洽的互联互通。其次是NTN和TN在空口上的一体化设计，这可以让NTN与TN之间的切换更为便捷。

2. 统一的切换框架设计

当前5G阶段标准化了常规切换、条件切换、DAPS切换、LTM切换等切换方案，每种方案都有一套流程，以适应不同场景的切换优化需求。在6G阶段，希望能有统一的切换框架设计，实现更为灵活的、简洁的切换。

3. 降低切换时延的优化方案设计

切换导致的业务中断时延会影响用户体验，不断追求切换时延的降低也是每一代通信系统移动性设计的目标之一。在6G阶段，可以考虑降低L2的处理时延、减少L2重置、RACH-less切换、连续切换等优化方案设计来降低切换时延。

4. 无GNSS能力终端的切换机制设计

当前NTN切换严重依赖终端GNSS定位能力（如星历计算、多普勒预补偿），然而3GPP在R20阶段将重点研究不具备GNSS模块的NTN方案，对于基于星地切换带来极大挑战，需建立位置无关的切换触发机制，如可考虑网络辅助的位置替代方案。

5. LTE TN和NR NTN切换方案


R19阶段研究了LTE TN和NR NTN的空闲态移动性，未来预计将聚焦连接态切换方案，从LTE参数配置、测量事件定义、信令流程优化等方面对跨RAT的切换进行全方位增强。

未来6G星地切换标准化将从多方面实现关键突破，从能力依赖到普适兼容，通过无GNSS切换机制覆盖全场景终端；从制式割裂到无缝衔接，解决LTE TN与NR NTN的连接态切换断层，保障业务连续性；从地面主导到星地协同，星上处理、联合调度等能力将切换时延进一步压缩。星地切换技术的突破，本质上是构建“全域-全时-全业务”连续覆盖能力的核心引擎，其标准化进程将极大推动6G时代天地融合网络的终极竞争力。

参 考 文 献

- [1] 3GPP, Study on new radio (NR) to support non-terrestrial networks: TR38.811[S]. 2018.
- [2] 3GPP, Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN): TR38.821[S].2019.
- [3] 3GPP, Service requirements for next generation new services and markets: TS22.261[S].2017.
- [4] 3GPP, Study on using satellite access in 5G: TR22.822[S].2017.
- [5] 陈山枝, 孙韶辉, 康绍莉, 徐晖, 缪德山. 星地融合移动通信系统与关键技术[M].北京: 人民邮电出版社,2024.
- [6] 缪德山,柴丽,孙建成,等.5G NTN 关键技术研究 with 演进展望[J],电信科学, 2022,38(3):10-21.
- [7] 3GPP, NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2(Relase 18): TS 38.300[S].2025.
- [8] 3GPP, Radio Resource Control (RRC) protocol specification(Relase 18): TS 38.331[S].2025.





电信终端产业协会研究报告
面向 NTN 与 TN 融合的星地切换关键技术研究

R/TAF 013—2025

*

版权所有 侵权必究

电信终端产业协会发布

地址：北京市西城区新街口外大街 28 号

电话：010-82052809

电子版发行网址：www.taf.org.cn