

从测试角度透视NR NTN未来

作为5G及未来6G网络的核心扩展技术，NR NTN (New Radio Non-Terrestrial Networks，新空口非地面网络) 通过卫星与高空平台实现全域无缝覆盖，正在重塑全球通信的边界。

本文将系统介绍NR NTN技术面临的挑战，并展望其通过测试验证推动商业化落地的未来路径。

NR-NTN技术体系简介

非地面网络 (NTN) 是3GPP定义的新型通信架构，通过卫星或高空平台系统 (HAPS) 实现地面网络无法覆盖区域的通信服务，构成天地一体化网络的关键组成部分。其核心架构由三部分构成：地面NTN网关 (含gNB基站功能)、空间段 (卫星或HAPS) 和用户终端 (UE)，三者通过服务链路 (卫星与UE之间) 和馈线链路 (网关与卫星之间) 建立通信连接。根据轨道特性，NTN主要分为地球静止轨道 (GEO)、中地球轨道 (MEO)、低地球轨道 (LEO) 卫星系统，以及距地面8-50公里的高空平台，其中LEO因500-2000公里的轨道高度成为当前商业化的焦点。

从技术形态看，NTN的空间段有效载荷分为透明模式和再生模式两类。透明模式卫星仅承担射频信号的变频与放大，相当于空中中继器；再生模式则具备星载处理能力，可执行解调、编码和路由等基站功能，显著降低对地面网关的依赖。这种架构差异直接影响系统时延与可靠性 —— 再生模式虽复杂度更高，但能减少时间敏感功能的传播延迟，更适合宽带通信场景。

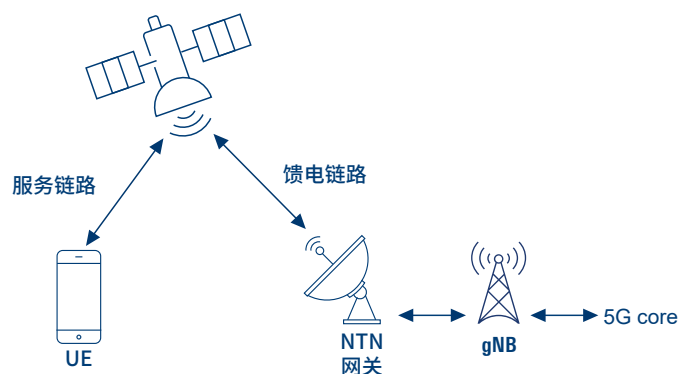


图1：NTN透明模式架构图

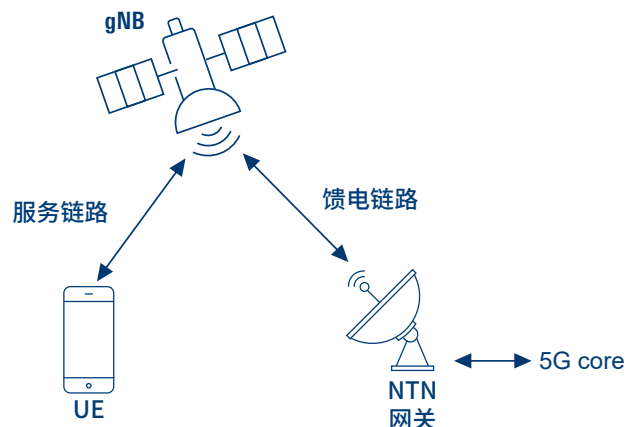


图2：NTN再生模式架构图

NR NTN多维技术挑战

近期NB NTN已在物联网中得到支持，主要的物联网模块供应商都已支持NB NTN。基于NB NTN物联网模块的解决方案正在逐步发展为基于芯片组的集成解决方案，这意味着NB NTN将进入智能手机，可穿戴设备和汽车领域。至于NB NTN领域，芯片投入市场尚需一定时间，目前更多处于早期研发阶段。随着空地一体化通信需求升级，非地面网络 (NTN) 加速推进，成为覆盖偏远地区、保障应急通信的核心技术。但快速发展中，工程师面临多重独特挑战：

动态多普勒频移

大且快变的频偏，直接冲击NR载波同步与信号解调

低轨宽带NR卫星的多普勒频移问题，远高于地面移动通信与高轨 (GEO) 卫星场景，核心痛点在于“频偏幅值大 + 变化速率快 + 多源叠加”，对终端同步算法构成极致考验：低轨卫星轨道高度通常为500-2000 km，星地相对运动产生的多普勒频偏远超地面5G NR最大多普勒频移；更关键的是，低轨卫星过境时间短，且波束窄，终端在移动中 (如车载) 会同时叠加自身运动的多普勒频偏，导致总频偏呈现“毫秒级动态跳变”。在低轨宽带NR测试场景中，这种动态频偏会直接导致终端载波同步失准，解调EVM劣化。测试时需通过仪器 (如CMX500) 模拟“动态多普勒轨迹” (按低轨卫星过境轨迹生成频偏变化曲线)，验证终端在不同频偏速率下的同步恢复能力，尤其需关注NR同步信号 (SSB) 的捕获成功率——若频偏超终端捕获范围，会导致SSB同步失败，终端无法接入卫星网络。

时延波动与切换叠加

短时延但动态跳变，打破低轨宽带 NR 业务时序平衡

在低轨宽带NR卫星通信的时延挑战中，低轨 (LEO) 虽以20-50 ms单程时延显著优于地球同步轨道 (GEO) 的250 ms，但“动态时延波动 + 切换时延叠加”的特性，成为低轨宽带NR需突破的核心难点。低轨卫星受大气阻力、太阳辐射压等轨道摄动影响，星地距离会出现上千米的动态变化，导致单程时延波动。

例如URLLC业务依赖HARQ快速重传，若沿用地面5G默认HARQ定时器，会因时延波动导致“重传过早”浪费资源，或“重传过晚”引发BLER上升。更关键的是，低轨星座需多星切换覆盖 (单星覆盖10-15分钟)，在未采用优化技术的情况下，低轨卫星间切换时延可达上百毫秒，极端情况下时延会更大，可能导致连接断连。

NR NTN测试平台R&S®CMX500

极端信道衰落与极低信噪比

多源衰减叠加，极限考验终端接收性能

低轨宽带NR卫星的信号传输链路面临“多源衰落叠加 + 链路损耗大”的双重打击，导致极端信道条件（大衰减、极低信噪比）频发，直接威胁传输连续性，测试需覆盖“恶劣天气 + 遮挡 + 远距离损耗”的复合场景：

大信号衰落，衰减幅值大且动态：低轨卫星多采用Ka/Ku频段（宽带容量需求），该频段对降雨衰减极为敏感；同时，低轨波束窄，终端若因移动或楼宇遮挡偏离波束覆盖区，会瞬间产生阴影衰落；

极低信噪比，链路损耗叠加噪声：低轨星地自由空间损耗虽低于GEO，但叠加降雨 / 遮挡衰减后，终端接收信噪比远低于传统通信环境。

在测试场景中，需通过仪器构建“复合衰落模型”（见图3）：模拟瑞利衰落（模拟多径）、阴影衰落；若终端抗衰落能力不足，会出现“频繁断连”，导致低轨宽带业务（如高清视频）卡顿。

在此背景下，对于NR NTN用户设备在研发阶段和测试阶段如何接收到NR NTN信号，如何确保接收到的NR NTN信号与实际卫星信号的特性相符，这是NR NTN测试技术的难点。

罗德与施瓦茨依托市场领先的R&S®CMX500平台，构建了NR NTN设备的端到端测试解决方案，为卫星通信终端的研发与验证提供了一站式支撑。该方案覆盖芯片组与终端设备从早期设计验证、功能调试到性能优化、认证测试的全研发周期，贯穿产品迭代的核心阶段，大幅提升研发和测试效率。

CMX500的独特性尤为突出：它将多轨道卫星信号模拟（涵盖LEO、GSO、GEO等不同轨道类型）、多频段信号生成能力，以及高精度信道仿真功能集成于单一仪器，无需额外设备组合即可复现复杂的NTN实际场景，显著简化测试部署与操作流程。

在频段支持上，CMX500针对不同频段采用适配的信号传输方案：L频段与S频段直接通过射频单元发射，确保信号直达终端；Ku频段通过中频单元发送，覆盖该频段的信号特性；Ka频段则可外接RRH（远程射频头）实现精准发射，全面满足各主流NTN频段的测试需求。

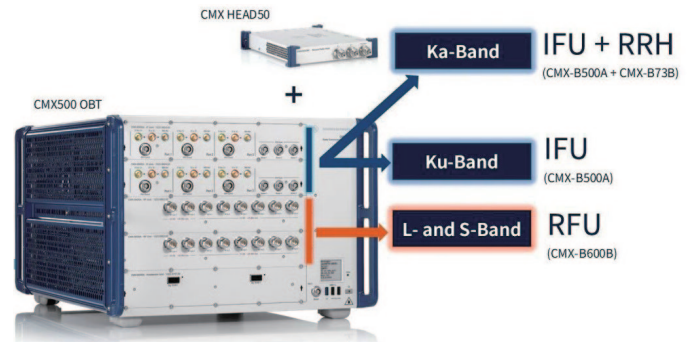


图4: CMX频段支持能力

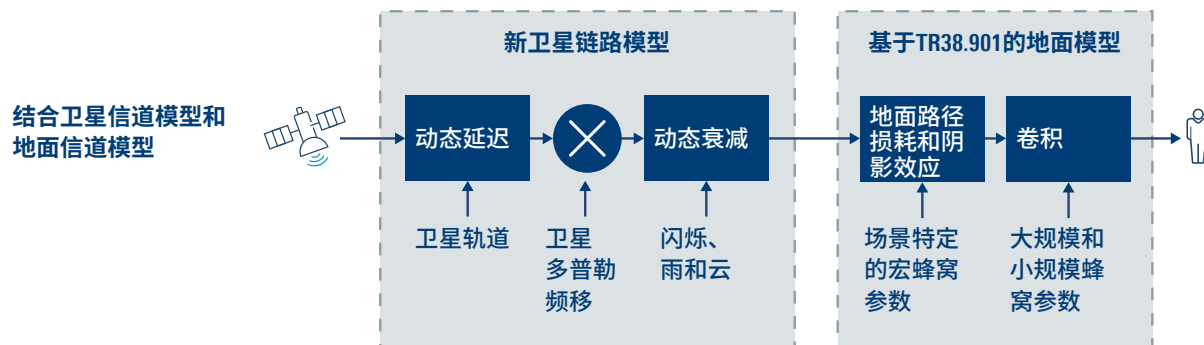


图3: NTN链路模型示意图

CMX500可模拟NR NTN关键移动场景 (如地面网络与非地面网络、非地面网络间的切换), 这类场景对NR NTN测试至关重要, CMX500单台设备最多可同时配置六颗卫星信号。如图5示意图, NR NTN移动场景类型:

图5系统呈现了NTN (非地面网络, 以卫星为核心的5G延伸网络) 场景下的四大移动性关键场景, 完整覆盖终端在“卫星接入、单星内部、卫星之间、空 - 地融合”全维度的连接管理与切换逻辑, 是实现“天地一体、全域无缝”5G通信的核心技术载体:

- ▶ **小区选择/重选:** 终端需像搜索地面5G小区一样, 扫描卫星通过波束形成的“空中小区”。终端需高效测量多颗卫星的同步信号 (如SSB同步信号块), 在动态波动的卫星信号环境中, 快速筛选出信号质量最优的卫星波束完成驻留, 建立初始的NR NTN连接, 为后续通信奠定基础。
- ▶ **波束间切换:** 单颗低轨卫星通常采用多波束技术拓展覆盖范围, 当终端在地面移动从卫星的一个波束覆盖区进入另一波束, 会触发波束间切换。由于低轨卫星与终端相对运动速度极快, 波束覆盖的“有效时间窗口”极短, 因此切换需以更快的判决与执行速度完成。

- ▶ **卫星间切换:** 当终端从一颗卫星的覆盖范围移动至另一颗卫星的覆盖区时, 需执行卫星间切换以保障连接连续性。低轨星座由数十至上百颗卫星组成, 单星覆盖时间有限, 需通过卫星间切换实现“接力式”连续通信。该过程需解决切换判决的准确性、信令交互的时延与可靠性问题, 确保业务 (如视频、语音传输) 在卫星间无缝过渡。
- ▶ **NTN与地面网络切换:** 这是“空 - 地融合”的核心场景: 终端在卫星覆盖的偏远区域 (如海洋、荒漠) 时依赖NR NTN连接, 当进入地面5G基站覆盖的城市区域时, 需切换为地面5G连接; 反之, 从地面网络向卫星网络的切换也需支持。该场景需突破空 - 地网络的协议异构, 频率差异等挑战, 确保语音、数据业务在切换时“零感知”衔接, 真正实现“天地一张网”的连续覆盖体验。

这些场景共同构成NTN移动性管理的技術全景, 是NTN从“实验室技术”走向“全域商用”必须突破的核心挑战领域。

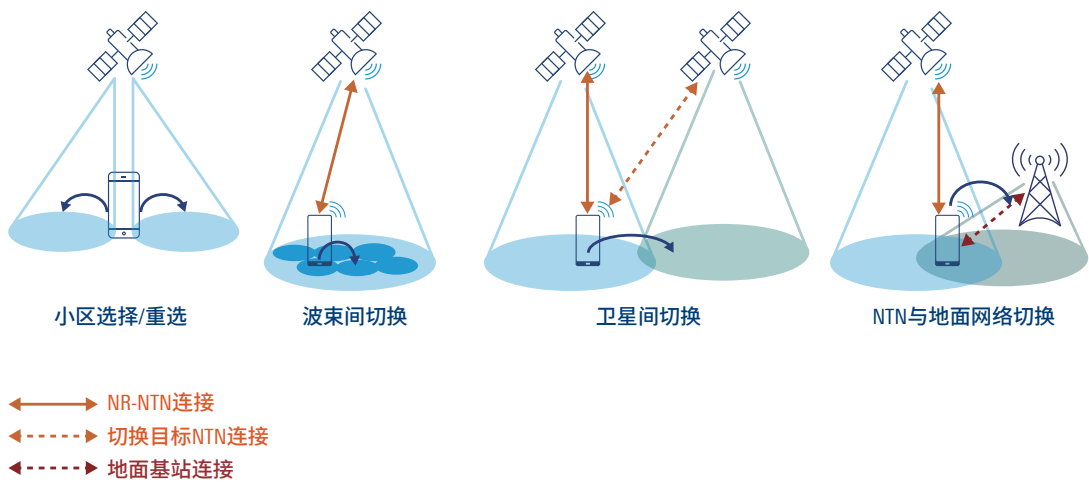


图5: NR-NTN移动性场景

NTN测试方案

可视化界面测试：

基于直观的WebGUI界面，可实现NR NTN测试场景的全流程可视化配置。界面集成了模块化操作入口，支持通过图形化交互完成卫星星座参数、信号特性、信道环境 (衰落模型、多普勒效应) 等核心参数的配置。同时，界面支持配置模板的保存与复用，便于标准化测试流程的快速部署，显著提升NR NTN测试的效率与准确性。

启用NR小区的NTN功能后，系统会自动加载NTN配置参数，其中预定义配置文件 (Predefined Profiles) 是核心参数——它不仅定义了NTN卫星的轨道特性，还涵盖多普勒频移、传播延迟、仰角等关键要素。除预定义轨道模型外，用户也可根据需求自定义轨道参数。点击Satellite View按钮，即可查看3D实时轨道视图。(如图7所示)

此外，当选定某一轨道模型后，界面会实时同步展示当前卫星的动态运行状态，像时延、多普勒频移、卫星仰角等关键参数会直观呈现 (如图8示意图所示)，助力测试人员更直观地掌握卫星轨道相关信息。

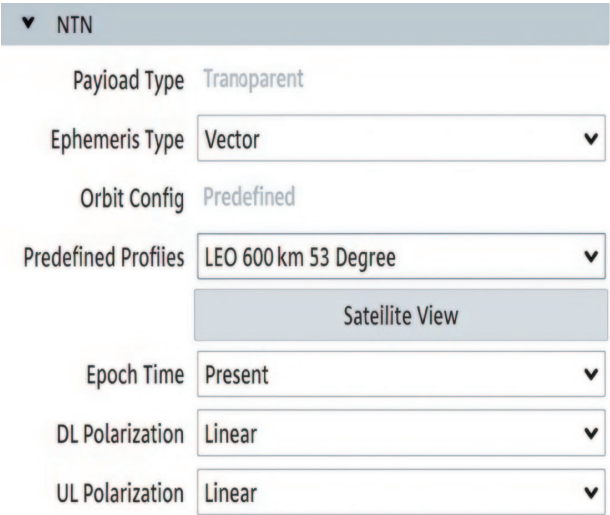


图6：预定义配置文件

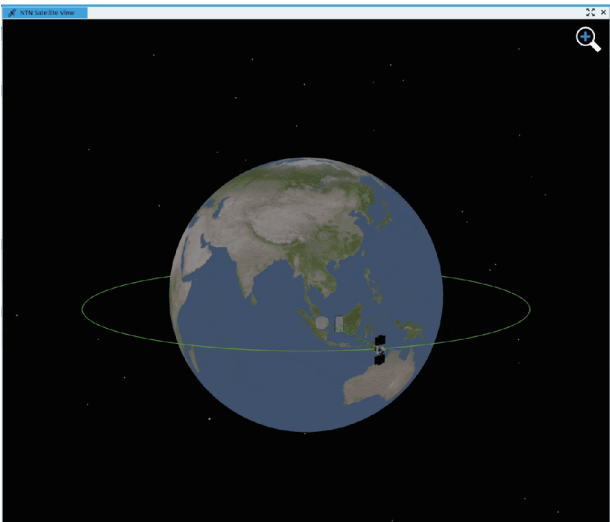


图7：NTN 3D实时视图

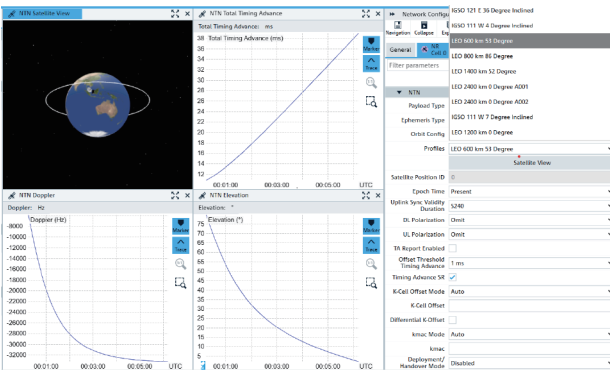


图8：预定轨道信息

Python脚本自动化测试：

借助Python代码与XLAPI脚本的协同，可实现NR NTN测试流程的自动化执行，大幅提升测试效率与一致性。在XLAPI工程框架中，不仅可以预先定义也可自定义贴合实际场景的轨道模型 (用于模拟卫星运行轨迹与位置变化)，还集成了精准的衰落模型 (复现NTN信道的信号衰减特性)，确保测试场景的真实性。

```
ntn_config.set_predefined_scenario(  
    scenario=PredefinedNtnScenario("LEO_600KM_53DEGREE")  
)  
  
ntn_cell.has_fader = True  
ntn_cell.fading_profile = FadingProfile[NR_NTN_TAL100]
```

测试过程中，这些模型参数、实时测试数据及执行状态会动态同步至WebGUI界面，实现全流程可视化监控，便于工程师实时追踪测试进展与结果分析。

当前，XLAPI KF651已集成覆盖各类NTN场景的自动化测试能力，无论是低轨(LEO)、还是高轨 (GEO) 卫星通信场景，均能提供标准化的测试流程与执行逻辑，大幅减少手动操作成本。

为直观展示其应用方式，我选取了部分LEO场景的测试样例 (如下所示)，这些样例已预设典型轨道参数、信道特性及终端交互场景，可直接作为测试基准。

CMX-KF651X	Release 17 NR NTN
Basic Capability	
nr_ntn_01_01	Identification of NTN support during UE capability transfer procedure
Access Control	
nr_ntn_02_01	NTN Cell barred information on SIB19
Sample Scripts	
nr_ntn_03_01	NR Registration on NTN Cell using LEO scenario
BLER Measurements	
nr_ntn_04_01a	NTN LEO Cell DL BLER measurement without fading
nr_ntn_04_02	NTN LEO Cell UL BLER measurement
Timing Measurements	
nr_ntn_05_01a	NTN LEO Cell Timing Advance measurement without fading
nr_ntn_05_01b	NTN LEO Cell Timing Advance measurement with fading
Mobility	
nr_ntn_06_01a	NR FR1 Cell to NTN LEO Cell handover
nr_ntn_06_02a	NTN LEO Cell to NTN LEO Cell handover
nr_ntn_07_01a	Emergency call establishment from NTN LEO Cell

图9：NTN LEO测试例

在此基础上，XLAPI工程支持根据实际需求灵活扩展 —— 无论是适配特定卫星星座 (如自定义轨道倾角、运行周期)、终端类型 (如物联网终端、手机终端)，还是针对性验证某类业务场景 (如大时延下的语音通话、高速移动中的切换性能)，都能快速定制专属NTN测试方案，满足多样化测试需求。

快速可视化星座选择：

在NR NTN测试中，面对卫星运营商的庞大星座，如何高效模拟这些卫星进行测试？CMX500为此专门开发了卫星星座工具SATCON。该工具可定义NR NTN移动终端位置，支持加载预定义星座 (如Starlink、OneWeb等) 或基于TLE文件导入自定义星座。配置好终端位置与卫星参数后，即可在CMX500上直接部署NR NTN网络，大幅简化了NTN覆盖等问题的分析。如下图所示：慕尼黑的NR NTN移动终端 (地球表面绿色五角星) 与当前位置可见的多颗卫星 (橙色和蓝色圆点及轨迹)。

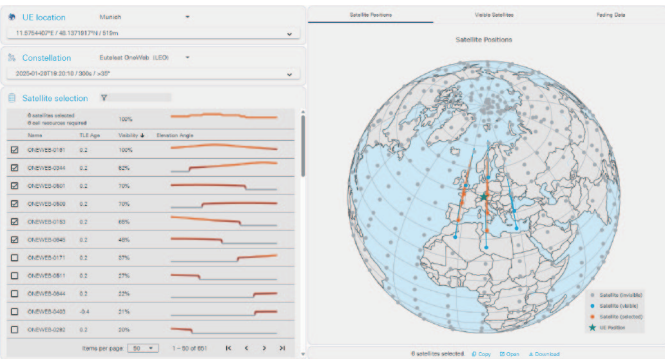


图10：SATCON工具卫星Position界面

在NR NTN测试的卫星信号监测环节，当选定目标卫星并进入Visible Satellites界面后，可实时追踪NR NTN信号随时间的动态变化趋势 (包括信号可见状态、关键参数波动等)，且界面呈现的信号规律与实际卫星星座的运行特性、信号传播逻辑完全匹配，确保测试场景与真实环境的一致性。

以下图OneWeb星座的测试场景为例：5 颗卫星的NR NTN信号在监测周期内共持续500秒，而受卫星轨道运行轨迹、终端与卫星相对位置实时变化的影响，每颗卫星的可见起始时间与结束时间存在明显差异——这种时间差异的可视化呈现，能帮助测试人员直观掌握不同卫星的信号覆盖时间窗口特性，为后续分析卫星信号覆盖连续性、卫星切换时机合理性等关键测试点提供精准的数据支撑，具体如下示意图所示。

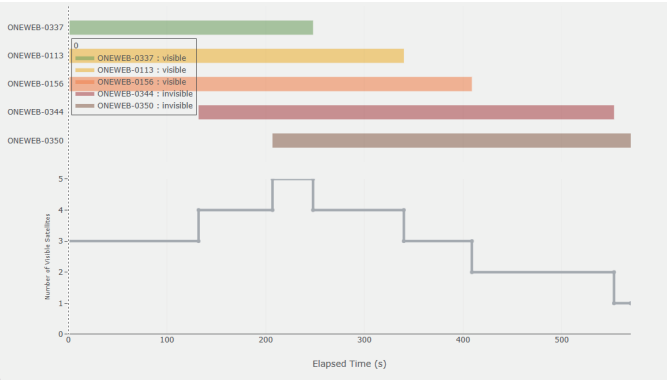


图11：SATCON工具Visible Satellites界面

在NR NTN信道动态特性的监测与分析环节中，Fading Data界面——核心数据可视化窗口 (图12所示)，它会将NR NTN信号的四大关键信道参数，随卫星沿预设轨道移动、与终端相对位置实时变化的过程，以实时动态曲线的形式直观呈现，让测试人员能精准捕捉参数波动规律与内在关联。

这四大参数分别对应NTN通信的核心特性：**卫星仰角**曲线反映卫星与终端连线 and 地平面夹角的变化 (直接关联信号遮挡风险与接收稳定性)；**多普勒频移**曲线呈现因卫星高速移动产生的信号频率偏移 (是NTN信号同步与解调的关键参考)；**传播延迟**曲线记录信号从卫星到终端的传输耗时 (直接影响语音、控制信令等实时业务的体验)；**路径损耗**曲线则展示信号在传输过程中的衰减程度 (包含自由空间损耗、大气衰减、阴影衰落等多因素叠加效果)。

这些动态曲线不仅同步匹配卫星的实际运行轨迹，更能帮助测试人员快速定位异常——比如仰角骤降时的路径损耗突增、卫星切换阶段的多普勒频移跳变等问题，为后续优化NTN信道模型、提升终端抗干扰能力提供直观的数据支撑。

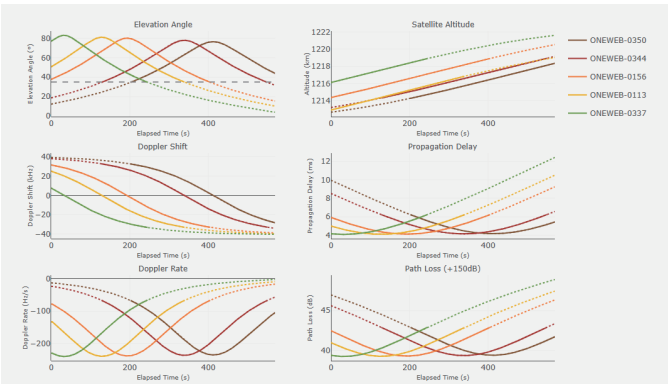


图12：SATCON工具Fading Data界面

SATCON星座工具为NR NTN小区提供的图形化显示功能，兼具直观性与精细化特点——它不仅能清晰呈现卫星星座分布、终端与卫星的相对位置、信号覆盖范围等核心信息，更能帮助测试与研发工程师精准复现特定时间节点的NTN实际运行环境。借助这一可视化能力，用户可高效排查场景中的潜在问题 (如信号覆盖盲区、卫星切换衔接断层、信道参数异常波动等)，同时全方位掌握卫星网络的实时运行状态 (如卫星可见时长、链路稳定性、关键性能指标变化趋势) 与整体性能表现。这种直观的呈现方式，大幅降低了NTN网络监控与管理的复杂度，让工程师和研究人员无需依赖复杂数据推导，即可快速把握网络核心情况，为后续优化网络配置、提升通信可靠性提供直接的数据支撑。

可视化信息交互：

将配置好的卫星信号部署到CMX500后，即可开展NR NTN性能评估，确保用户设备接收到与实际卫星信号特性一致的NR NTN信号，大幅简化测试流程。

在NR NTN测试过程中，可实时监控网络与UE之间的信令交互及数据传输过程，确保链路通信的稳定性；同时，核心测试参数会实时动态更新，并以图形化界面直观呈现——既包括基础通信指标也涵盖NTN场景特有的关键参数，如NTN传播时延、多普勒配置参数等，让测试数据一目了然。

下面为大家简要列举几项NTN核心的图形化信息交互内容：

在NR NTN测试的终端能力验证环节，可通过图形化界面直观查看UE的NTN支持能力——是否支持不同轨道（LEO/MEO/GEO）卫星的信号特性，为后续测试场景匹配、功能验证提供基础依据，具体内容如下图所示（图中清晰呈现了该UE在NTN相关功能上的具体支持状态）。

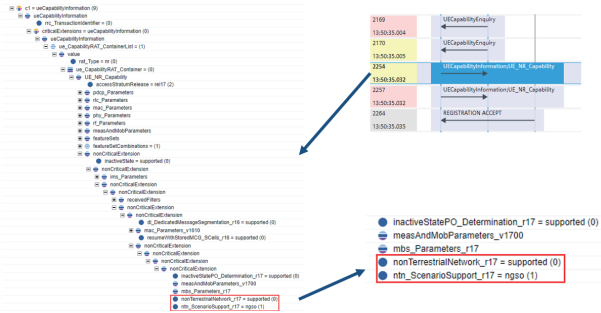


图13：UE NTN能力查询

可以查看网络侧SIB19配置信息，SIB19是NTN中轨道信息的核心载体，是轨道信息在5G空口协议中的工程化实现，是天地一体化网络的关键技术基石。

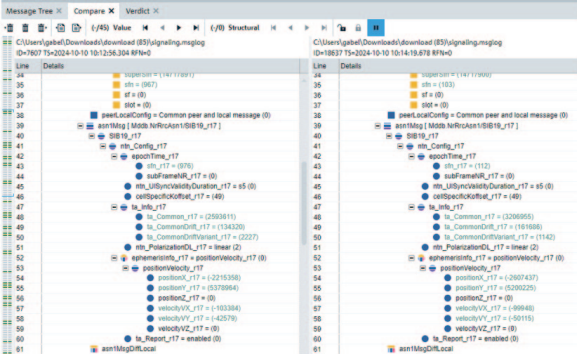


图14：SIB19配置信息

通过Ping测试可直观观测NTN场景下RTT的特性影响，包括验证NTN网络时延是否达到设计指标、终端在大时延环境中的Ping成功率，以及卫星切换过程中RTT的突变情况。

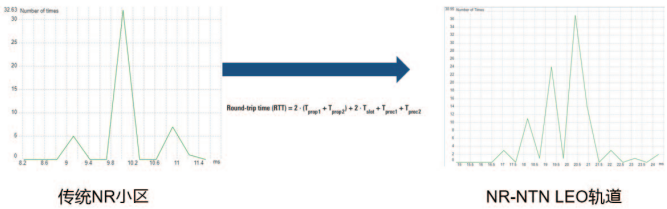


图15：Ping结果对比

通过图15的测试结果，可以明显看到LEO轨道时延远远大于传统通信时延。

另外像时延与多普勒配置信息，也可在日志中追踪记录；可在时间轴上展示仪表侧的相关参数，直观呈现这些配置参数随时间的变化轨迹，为分析NR系统中延迟和多普勒效应的调控逻辑提供可视化依据。

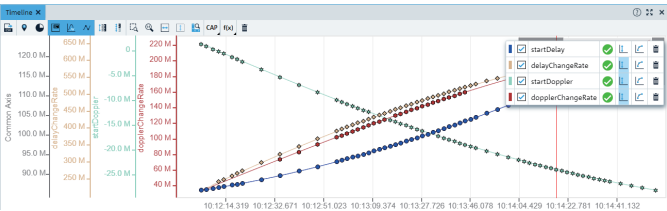


图16：仪表配置日志记录

未来进行时

“分层指标列表 + 时序趋势曲线”的可视化组合，让NR NTN的速率与传输质量数据既“细节可查”，又“趋势可视”，极大便利了测试分析，下图是CMX500+NTN终端在实验室测得的NTN速率，结果呈现如下：

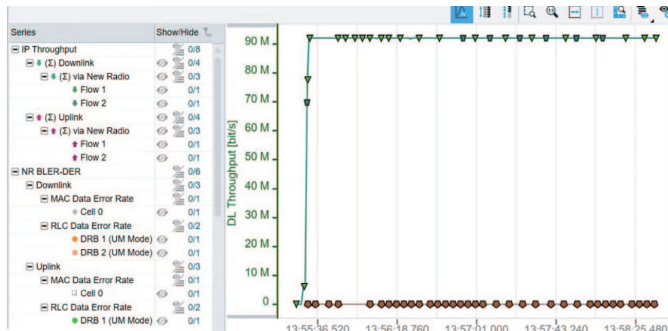


图17: NTN吞吐量测试统计

左侧面板分类分层呈现核心指标：IP吞吐量、MAC层/RLC层数据错误率，层级清晰，便于快速定位“哪一层、哪条流”的性能异常。

右侧时序速率曲线以时间为轴，直观展现吞吐量的动态变化：绿色线代表下行吞吐量，能清晰看到“初期快速攀升后稳定在约90+ Mbit/s”的趋势。曲线与左侧指标列表联动呼应，既让测试者一眼把握“速率是否稳定、有无突降 / 突升”的宏观趋势，又能通过左侧面板精准获取“各协议层、各数据流的量化数值”，实现“从整体趋势到细节指标”的高效穿透式分析。

CMX500其核心优势在于NR NTN端到端测试——可搭建从5G NTN卫星信号生成(模拟卫星接入网)、信道仿真(复现空-地传输损耗)、终端接入发起业务，到核心网交互、互联网业务落地的完整链路，复现空天地通信全流程，排查终端与网络兼容性问题，为5G NTN终端全链路性能验证提供“一站式”支撑。

同时，基于CMX500的NR NTN一致性测试系统，已落地首个协议与射频一致性测试用例——既为当前NR NTN终端标准化认证提供关键依据，更为奠定6G NTN一致性测试体系基础，助力行业形成统一标准。

CMX500既是当前NR NTN (5G非地面网络) 用户设备测试的核心平台，更是具备6G NTN前瞻适配能力，为空天地一体化通信演进提供关键测试保障，基于此能实现终端多维度性能精准测试。

作为兼具“当前实用性”与“未来扩展性”的平台，CMX500为NR NTN设备从芯片研发、终端调试、量产认证及未来6G NTN早期研发的全阶段，提供覆盖性能、协议、一致性的一站式测试方案。它能帮助企业大幅缩短研发周期、提升产品质量，确保符合行业标准与监管要求，既是当前NR NTN终端测试首选，更是企业抢占6G NTN先机、加速空天地一体化产品商业化的核心工具。

更多NTN技术与罗德与施瓦茨解决方案请关注：



NTN技术方案合集



白皮书

增值服务

- ▶ 遍及全球
- ▶ 立足本地个性化
- ▶ 可定制而且非常灵活
- ▶ 质量过硬
- ▶ 长期保障

关于罗德与施瓦茨公司

罗德与施瓦茨科技集团开发、生产和销售种类广泛的专业电子产品。公司推出丰富的产品组合，旨在缔造一个更加安全的互联世界。在测试与测量、安全通信、网络和网络安全以及广播和媒体等市场，全球客户都信赖罗德与施瓦茨及其提供的先进解决方案。在成熟的业务领域之外，罗德与施瓦茨还大力投资人工智能、工业物联网(IIoT)、6G、云解决方案和量子技术等各种未来技术。自公司创立以来的90多年，罗德与施瓦茨是众多行业客户的可靠合作伙伴。

罗德与施瓦茨 (中国) 科技有限公司

800-810-8228 400-650-5896

info.china@rohde-schwarz.com

www.rohde-schwarz.com.cn

官方微信



官方视频号



Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

可持续性的产品设计

- ▶ 环境兼容性和生态足迹
- ▶ 提高能源效率和低排放
- ▶ 长久性和优化的总体拥有成本

北京

北京市朝阳区紫月路18号院1号楼 (朝来高科技产业园) 罗德与施瓦茨办公楼 100012
电话: 010-56108074 传真: +86-10-64312828

上海

中国上海市浦东新区张江高科技园区盛夏路399号亚芯科技园11号楼
罗德与施瓦茨办公楼 201210
电话: 021-63750018/63750028

深圳

深圳市南山区高新南环路43号 威新软件科技园1号楼2楼东/南翼 518057
电话: 0755-22985864 传真: +86-755-82033070

成都

中国成都市高新区天府大道 天府软件园A4号楼南一层 610041
电话: 028-62677640 传真: +86-28-85194550

西安

西安市高新区锦业一路56号 研祥城市广场5楼502室 710065
电话: 029-83663470 传真: +86-29-87206500

武汉

中国湖北省武汉市武汉经济技术开发区201M地块海棠路6号
华中智谷项目二期D2办公室2层1号 430051
电话: 025-83484142

R&S®是罗德与施瓦茨公司注册商标

商品名是所有者的商标 | 中国印制

2025年12月 | 从测试角度透视NR-NTN未来

文件中没有容限值的数据没有约束力 | 随时更改