

窄带NTN终端为物联网市场注入新活力

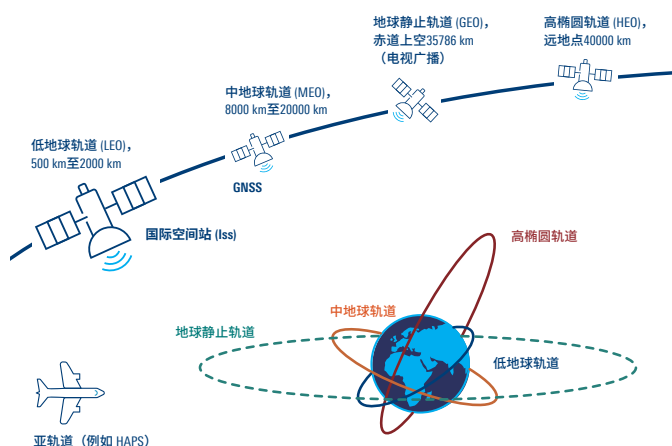
窄带NTN (NB-IoT NTN) 简介

3GPP在R13版本中正式引入了NB-IoT (Narrowband Internet of Things, 窄带物联网) 技术。这是一种面向物联网设备的低功耗广域网 (LPWAN) 无线通信技术, 能够在窄带频谱下提供良好的覆盖与穿透能力, 适用于长时间运行且数据量较小的应用场景, 例如智能抄表、环境监测和智慧城市基础设施等。

根据统计, 全球仍有近30亿人未接入互联网, 其中约4.5亿人位于现有移动网络覆盖盲区, 例如偏远山地、远海和戈壁等地区。NTN (Non-Terrestrial Networks, 非地面网络) 可有效弥补地面网络的覆盖不足, 将连接能力扩展至这些区域。

在R17中, 3GPP将NB-IoT与NTN结合, 定义了NB-IoT NTN的基线规范, 使物联网连接覆盖进一步扩大, 推动农业监测、环境感知与灾害预警等领域的发展。例如, 通过卫星与NB-IoT的结合, 可以实时采集土壤湿度与气象数据, 帮助农户优化灌溉方案; 在灾害监测场景下, NTN可在地面网络不可用时确保关键数据的及时传输。

NB-IoT与NTN的融合为全球物联网的发展带来了新的机遇, 不仅有助于填补数字鸿沟, 还能推动各行业的智能化转型, 助力实现更高效、更可持续的未来, 为物联网市场注入新的活力。



NB-IoT NTN终端的测试要求

与传统NB-IoT终端类似，NB-IoT NTN终端在开发和部署过程中，需要进行一系列测试以确保其性能、可靠性和兼容性。以下是一些关键的测试类型：

- ▶ **基本功能测试：**验证终端的基本通信功能，如网络接入、小区选择/重选、发送和接收数据、连接建立和断开、收发短信以及与不同网络的兼容性等。
- ▶ **射频性能测试：**在不同地理位置和环境条件下测试终端发射机/接收机的射频性能，验证终端在不同环境（如城市、乡村、山区等）中的覆盖能力。
- ▶ **业务性能测试：**测量连接建立的时间、不同信号条件的上下行数据传输速率与数据传输的延迟，确保满足应用需求。
- ▶ **功耗测试：**物联网终端的功耗是一个非常重要的指标。需要评估终端在不同工作状态（如待机、传输、休眠）的能耗表现，验证PSM/ eDRX等省电机制的效果。

NB-IoT NTN终端的测试难点与SIB信令简介

NB-IoT NTN主要涉及地球静止轨道（GEO/GSO）及低地球轨道（LEO）两类卫星，两者具有不同特性及挑战。

GEO/GSO卫星高度约35786 km，单程传播时延约120ms，对于3GPP R17/R18定义的透明转发模式，实际往返时延（RTT）可高达540ms。如此大时延严重影响实时交互体验，增加抖动和回声；使TCP/ARQ/HARQ等基于快速确认的协议性能大幅下降（窗口增长慢、误判丢包、重传延迟），实时控制与时序敏感业务受损；调度、切换与同步复杂度提升，需要更大缓冲、延迟感知的协议优化（如TCP加速、HARQ重设计、边缘缓存与QoS策略）以降低对体验的损害。

对于低轨LEO卫星，卫星高速运动会引起较大且快速变化的多普勒频移；此外，单颗卫星或波束的可见窗口短且动态变化，用户需频繁切换卫星或波束。切换过程会中断载波与时频同步，频偏补偿需在极短时间内切换并重新估计，增加信令与握手开销并带来短时丢包或重传；对实时业务和窄带终端影响明显，难以维持QoS；终端要具备更复杂的星历/GNSS辅助预测、快速跟踪环路与预补偿算法，导致计算与功耗上升；网络侧需支持精细接入管理、无缝切换、上下文迁移和边缘缓存以降低中断和感知时延，否则用户体验和系统效率都会受损。

为应对NTN通信的上述问题，系统广播消息中需新增参数（例如卫星/波束标识、传播延迟与Timing Advance范围、频偏/多普勒辅助参数、RACH/上行功控与重复/发送策略等）。针对NB-IoT在NTN场景下的应用，3GPP新增了系统广播消息SIB31/32/33用于携带这些扩展信息：

- ▶ **SIB31**主要用于提供IoT设备在NTN网络中的基本系统信息。
- ▶ **SIB32**在SIB31的基础上，提供了更为详细和复杂的系统信息，主要用于支持更高效的IoT通信。
- ▶ **SIB33**是针对IoT-NTN的高级系统信息块，旨在提供更全面的网络支持。

限于篇幅，下面仅对必须的“基础广播”SIB31的主要字段略作展开介绍：

```
SystemInformationBlockType31-r17 ::= SEQUENCE {
    servingSatelliteInfo-r17      ServingSatelliteInfo-r17,
    lateNonCriticalExtension      OCTET STRING OPTIONAL,
    ...,
    [[ servingSatelliteInfo-v1820 ServingSatelliteInfo-v1820 OPTIONAL -- Need OR
    ]],
    [[
        servingSatelliteInfo-v1900 ServingSatelliteInfo-v1900 OPTIONAL -- Need OR
    ]]
}

ServingSatelliteInfo-r17 ::= SEQUENCE {
    ephemerisInfo-r17            CHOICE {
        stateVectors              EphemerisStateVectors-r17,
        orbitalParameters         EphemerisOrbitalParameters-r17
    },
    nta-CommonParameters-r17     SEQUENCE {
        nta-Common-r17            INTEGER (0..8316827) OPTIONAL, -- Need OP
        nta-CommonDrift-r17       INTEGER (-261935..261935) OPTIONAL, -- Need OP
        nta-CommonDriftVariation-r17 INTEGER (0..29479) OPTIONAL -- Need OP
    },
    ul-SyncValidityDuration-r17   ENUMERATED {s5, s10, s15, s20, s25, s30, s35, s40,
        s45, s50, s55, s60, s120, s180, s240, s900},
    epochTime-r17                SEQUENCE {
        startSFN-r17              INTEGER (0..1023),
        startSubFrame-r17         INTEGER (0..9)
    },
    k-Offset-r17                  INTEGER (0..1023),
    k-Mac-r17                     INTEGER (1..512) OPTIONAL, -- Need OP
    ...
}

ServingSatelliteInfo-v1820 ::= SEQUENCE {
    satelliteId-r18               SatelliteId-r18 OPTIONAL, -- Need OR
    referenceLocation-r18         CHOICE {
        fixedReferenceLocation-r18 ReferenceLocation-r18,
        movingReferenceLocation-r18 ReferenceLocation-r18
    },
    distanceThresh-r18            INTEGER(0..65535) OPTIONAL -- Need OR
}

ServingSatelliteInfo-v1900 ::= SEQUENCE {
    t-ModeSwitching-r19           TimeOffsetUTC-r17 OPTIONAL -- Need OR
}
```

- **ServingSatelliteInfo-r17**：提供服务卫星的详细信息，包括卫星星历和网络时间对齐 (NTA) 参数等。
- **ephemerisInfo-r17**：卫星星历信息，可采用状态向量或轨道参数的形式提供。
- **nta-CommonParameters-r17**：包含网络时间对齐的通用参数，如NTA值、NTA漂移率及其变化，用于调整UE与网络之间的时间对齐。
- **ul-SyncValidityDuration-r17**：上行同步有效时长，定义了卫星星历数据和NTA参数的有效期。
- **epochTime-r17**：卫星星历数据和通用TA参数的参考时间点。
- **k-Offset-r17和k-Mac-r17**：与帧定时相关的偏移量参数，用于调整下行和上行帧之间的同步。
- **ServingSatelliteInfo-v1820 (可选)**：此部分在R18 V20版本中引入，提供了额外的服务卫星信息，如卫星ID、参考位置和距离阈值。
- **ServingSatelliteInfo-v1900 (可选)**：此部分在R19 V00版本引入。

NB-IoT NTN功能的增强与演进

3GPP在R17版本开始引入NB-IoT NTN功能，主要特点包括：使用透明转发模式，使用6 GHz以下的FDD频谱，要求终端支持GNSS，主要用于支持小数据包传输的物联网应用场景。

在已经冻结的R18及R19版本的规范中，3GPP同样针对NB-IoT NTN增加了一些演进和增强

在R18中增加的相关特性包括：

1 性能增强相关：

- ▶ **关闭下行HARQ反馈：**网侧指示UE不再对下行传输发送即时的HARQ ACK/NACK反馈。
- ▶ **上行HARQ模式A/B：**两类上行容错/重传策略的分化。Mode A接近传统的HARQ机制：发送后等待ACK/NACK，再由gNB触发重传；适用于时延较短或能接受交互信令的场景。Mode B则偏向预配置/盲重传或HARQless（例如固定重复次数、配置性授予或聚合反馈），减少即时反馈依赖，适合高时延、频繁切换或超低功耗设备。
- ▶ **增强GNSS操作：**网络可通过下行MAC CE触发UE启动GNSS获取（避免UE持续监听），在指定时刻或窗口内完成定位/时钟获取以支持时频同步、轨迹预测和多普勒补偿；UE通过上行MAC CE报告GNSS结果的有效时长（validity duration），告知gNB/网络该定位/时钟信息在多长时间可被信任而无需重采。该机制利用轻量级MAC CE信令，实现可控的唤醒策略和更少的GNSS开机次数，适合功耗受限的NB-IoT终端；同时帮助网络在NTN场景（特别是LEO场景中，频繁可见性变化）中安排收发、预补偿和切换决策。设定有效期时需在GNSS获取延时、精度与重采频率之间做协同优化以平衡能耗与可靠性。

2 移动性增强相关：

引入基于时间与基于位置的新触发机制，用于连接态的测量动作，以适配卫星可见性短、变化快且终端功耗受限的特点。时间触发可为绝对或相对窗口，并可与卫星轨道预测对齐，仅在预计有意义的时间段启动信号强度、时频同步或多普勒测量，避免持续监听。位置触发则基于终端的GNSS/辅助位置或网络已知地理区域（如进入/离开地理围栏、到达某

条地面轨迹附近）来决策是否执行测量，便于在接近覆盖边缘或预期切换点时才进行测量操作。两类触发可由网络通过RRC或轻量MAC CE下发配置，并结合UE上报的测量有效期和GNSS获取策略协同工作。

3 不连续覆盖增强相关：

- ▶ 无线链路失败（RLF）后若来不及完成RRC重建流程，UE可直接进入IDLE态。原因多见于NTN场景：时延大、卫星可见性短或切换频繁导致重建超时或握手不能完成，进而导致RRC上下文丢失、会话/资源需重新建立，造成更长的业务中断与额外信令开销。
- ▶ 增加“Release due to discontinuous coverage”的释放链接原因值，用于明确告知核心网该释放并非因UE主动退出或常规异常，而是由于无线覆盖出现间断性不可恢复的情况（例如NTN场景中卫星/波束可见性突然中断、波束切换失败、长时延导致重建超时或覆盖盲区）。

在R19中增加的相关特性包括：

1 再生/存储/转发：

- ▶ 基站上星，在卫星上完成部分或全部基带处理与调度、HARQ、RLC/PDCP终结及星间转发。优点包括可显著降低端到端时延、减少地面回传带宽压力、支持本地化切换与快速恢复并通过星间链路实现更灵活的路由优化。
- ▶ 卫星对地回传（feeder）或卫星与终端的服务链路短时中断时，将用户面或控制面数据在网络侧（如地面网关）或卫星进行暂存，待链路恢复后再转发。
- ▶ 卫星与地面网关（feeder）之间的回传链路发生切换时，网络能够保持用户面和控制面连续性并最小化业务中断的能力。

2 上行容量增强：

- ▶ NPUSCH Format1采用Orthogonal Cover Codes（正交覆盖码，OCC），用于在重复/时频域实现复用与干扰抑制，通过对不同传输实体分配互相正交的码序列，提升接收灵敏度与系统容量。
- ▶ 精简EDT（Early Data Transmission）信令，如：Msg3-EDT 无需完整随机接入、基于DSA（Diversity Slotted ALOHA）；简化或压缩下行的Msg4，如使用短型/合并的DL ACK、位图/指示位或隐式确认以避免完整的Msg4传输与等待。

R&S NB-IoT NTN终端测试方案

3 TDD支持:

引入特定的TDD运行模式以适配卫星链路的长时延、上下行时序不对称和波束可见性短的特点。关键点包括:灵活的UL/DL时隙配置,支持较长的传播延迟;对HARQ时序的放宽或替代(如延长RTT、HARQless/ModeB、关闭DL HARQ反馈)以避免频繁超时;波束级的时钟与TA(Timing Advance)管理以减少大规模终端同步开销;对再生与透明载荷均兼容的时序/调度适配,允许在上行优先或下行优先场景间切换。

4 支持PWS (Public Warning System, 公共预警系统):

- ▶ 支持ETWS (Earthquake and Tsunami Warning System, 地震与海啸预警系统) 与CMAS (Commercial Mobile Alert System, 商业移动报警系统)
- ▶ ETWS geofencing: 将地震/海啸警报按地理区域精确投放,只通知受影响区域内的终端。

此外,随着NB-IoT NTN技术的持续演进,国内外相关应用创新也在快速发展。业界在关键场景(如远洋应急、海事语音告警、车载/轨道语音告警、穿戴式对讲与应急呼叫)对语音能力提出需求并开展了语音增强方案研究,提出三种可能的解决方案:

- ▶ 采用多域体制融合思路,提出基于新增信令网关的语音优化解决方案,可有效减少终端与卫星的信令交互,节约卫星资源。
- ▶ 基于Web-RTC(源自网页的实时通信)架构的语音通话解决方案,使用自定义接口实现语音协议的定制化,可大幅提升语音信令交互效率。
- ▶ 基于IMS信令优化的语音增强解决方案,通过精简SIP/SDP(会话初始协议/会话描述协议)流程及字段,可缩短终端与IMS网络的交互时延,提升交互效率。

罗德与施瓦茨公司基于市场领先的CMW500,提供针对NB-IoT NTN终端的端到端测试解决方案。该方案支持多种轨道,能够进行全面的功能和性能验证,适用于射频发射机/接收机性能分析、网络仿真以及综合性衰落模拟。这一解决方案加快了协议测试和开发过程,确保终端具备良好的互操作性,并符合相关协议标准。此外,该方案还支持应用层测试,包括IP层吞吐量、流量分析和用户体验测试。无论是在研发阶段、GCF/PTCRB一致性认证,还是运营商验收测试,该框架都是地面和非地面通信终端测试的首选解决方案。它能够加速产品上市,提高产品质量,并确保符合行业标准 and 监管要求。通过这一综合测试解决方案,罗德与施瓦茨公司致力于推动NB-IoT NTN技术的发展,帮助客户在竞争激烈的市场中获得优势。



CMW500无线通信测试仪

NB-IoT NTN终端通信功能测试

为了验证NB-IoT NTN终端的通信基本功能，CMW500提供了MLAPI (中级编程接口)。下表列出了MLAPI所提供的测试场景，客户可以直接使用这些测试用例来验证终端的网络接入、小区选择/重选、数据发送/接收、短信收发等基本通信功能。更重要的是，MLAPI 同时提供底层 API 的示例源码，便于开发人员与测试工程师按需扩展测试脚本，实现更灵活、高效的终端测试与验证。

测试用例	测试目的	产品名称
CMW - KU317 NB-IoT 非地面网络 (NTN) 场景		
初始接入		
NBIOT_R17_01_01	SIB31读取和随机接入过程	CMW-KU317
NBIOT_R17_01_02	RRC连接建立	CMW-KU317
NBIOT_R17_01_03	Timing Advance报告过程-TA报告启用和offsetThresholdTA配置	CMW-KU317
附着过程		
NBIOT_R17_02_01	附着于EPS服务，带CP-CIoT EPS优化，不建立PDN	CMW-KU317
NBIOT_R17_02_02	附着于EPS服务，带CP-CIoT EPS优化，IP数据传输	CMW-KU317
NBIOT_R17_02_03	附着于EPS服务，带UP-CIoT EPS优化，IP数据传输	CMW-KU317
NBIOT_R17_02_04	附着于EPS服务，带UP-CIoT EPS优化，非IP数据传输	CMW-KU317
RRC连接过程		
NBIOT_R17_03_01	无线链路失败后，RRC连接重建-SRB和DRB	CMW-KU317
NBIOT_R17_03_02	从挂起DRB状态恢复RRC连接	CMW-KU317
MT数据		
NBIOT_R17_04_01	使用CP-CIoT EPS优化的MT数据传输	CMW-KU317
NBIOT_R17_04_02	使用UP-CIoT EPS优化的MT数据传输	CMW-KU317
MO\MT SMS		
NBIOT_R17_05_01a	使用CP-CIoT EPS优化方式向UE发送SMS	CMW-KU317
NBIOT_R17_05_01b	使用UP-CIoT EPS优化方式向UE发送SMS	CMW-KU317
NBIOT_R17_05_02a	使用CP-CIoT EPS优化方式，UE发送SMS	CMW-KU317
NBIOT_R17_05_02b	使用UP-CIoT EPS优化方式，UE发送SMS	CMW-KU317
SIB-31更新		
NBIOT_R17_06_01	上行同步有效定时器过期后，UE读取并更新修改后的SIB31消息	CMW-KU317
小区重选		
NBIOT_R17_07_01	NTN小区之间的重选	CMW-KU317
NBIOT_R17_07_02	从NTN小区到TNV小区的重选	CMW-KU317
电池省电		
NBIOT_R17_08_01	EPS附着期间的省电模式/PSM激活	CMW-KU317
NBIOT_R17_08_02	连接态eDRX	CMW-KU317

NB-IoT NTN终端信令连接及射频测试

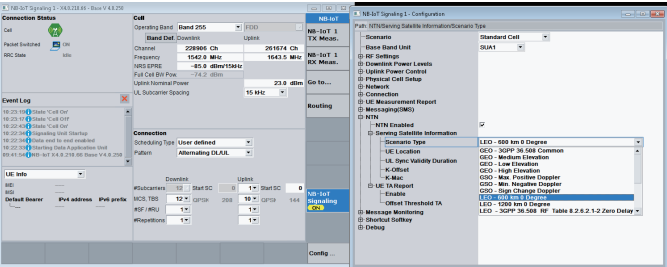
NTN通信卫星主要使用高轨 (GEO/GSO) 和低轨 (LEO)。两者各具特点及适用场景：

高轨卫星：覆盖范围广，仅需少量的卫星及地面站即可进行广域覆盖的服务，并且卫星相对地面运动速度慢，无需频繁调整，即可实现稳定的链路传输；但是缺点是延迟高，高轨卫星往往比较少，所以容量有限，并且容易受到雨雪等天气条件的影响，导致信号质量下降。

低轨卫星：延迟低，受到天气影响较少，可以提供比较稳定的连接，可以根据需求进行动态调整和扩展；但是缺点是单颗卫星覆盖范围有限，需要多个卫星组成星座才能实现全球覆盖，另外由于LEO卫星的轨道较低，卫星需要定期调整轨道以保持稳定，这增加了运营复杂性。

高轨GEO/GSO和低轨LEO卫星各有其适用场景。GEO适合需要广泛覆盖和相对稳定连接的应用，而LEO则更适合对延迟敏感的实时应用和需要高质量信号的场景。

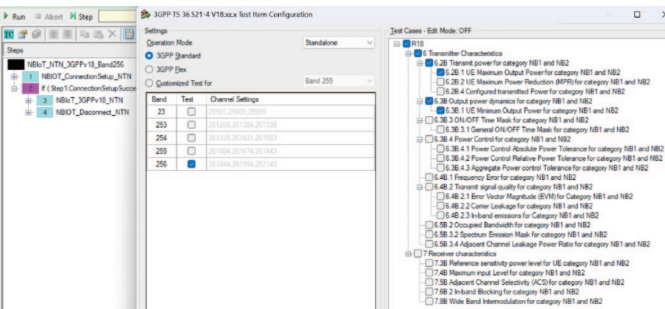
CMW500可以支持所有GEO/GSO以及LEO典型场景的模拟，并提供一些关键参数的修改功能，如K-offset、K-Mac等。这些功能为客户提供了灵活的测试环境，以满足不同应用需求。



下图是针对NB-IoT NTN终端发射机性能指标的测试结果，包含发射功率、EVM、ACLR等关键指标，这个与NB-IoT终端的测试结果并没什么本质区别。



业界广泛应用的自动化测试工具CMWrun同样可以有效测试NB-IoT NTN终端发射机和接收机的射频性能，为用户提供强大的支持，助力用户在快速发展的物联网领域中实现高效、可靠的设备开发与验证。无论是新产品的研发还是现有系统的优化，CMWrun都是用户不可或缺的测试工具。

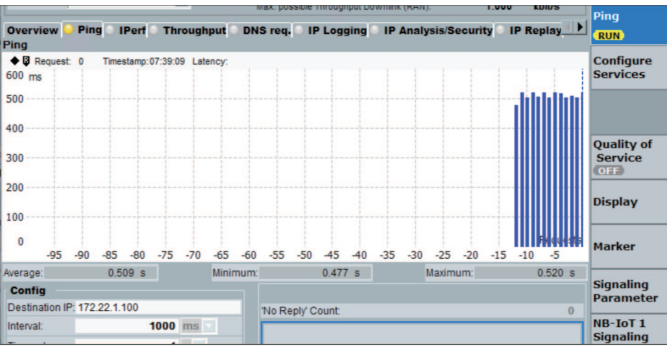


NB-IoT NTN终端双向数据通信测试

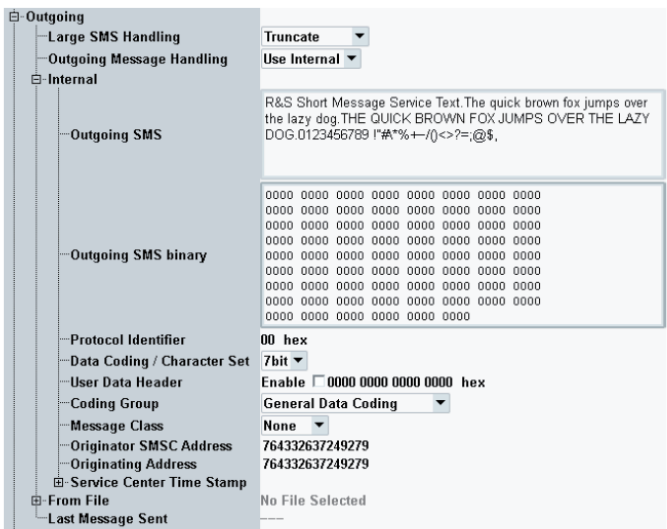
NB-IoT NTN终端广泛用于物联网、智能农业、环境监测等领域，稳定可靠的双向通信能力是NTN终端正常工作的基础。通过验证这一能力，可以确保终端在各种网络条件下都能稳定地进行数据发送和接收，从而提高通信的可靠性。

CMW500可以通过ping包功能验证终端的双向通信能力。当NB-IoT NTN终端成功连接到CMW500后，可以使用CMW500对终端的IP地址进行ping包操作，并接收来自终端的ping回复。这种方法有效地验证了终端的双向通信能力，并能够快速获取往返时间 (RTT, Round-Trip Time)。

以下是NB-IoT NTN终端ping包测试的结果显示，RTT约为500毫秒，明显高于传统NB-IoT网络的延迟。



另外，CMW500还可以验证NB-IoT NTN终端的双向收发SMS的功能，为NB-IoT NTN终端的实时应用奠定坚实的基础。短信具备窄带、低功耗与可靠的存储转发特性，便于在间歇连接或高时延GEO/LEO场景下实现控制、告警、认证与轻量级命令下发。SMS可以使用控制面进行发射，因而在数据业务不可用时提供回退机制，降低对持续双向连接的依赖，利于设备唤醒、状态上报与远程管理。结合定时/重复传输与网络侧QoS策略，在可接受的延时下保障重要消息到达，为后续更复杂的实时服务) 如低延时信令通道、边缘缓存与会话迁移等) 构建稳健的能力。



NB-IoT NTN终端语音通话测试

底部图是使用CMW500支持 NB-IoT NTN终端语音通话测试的拓扑图：NB-IoT或NB-IoT NTN终端与CMW500建立信令连接，并通过USB线将网络共享给左侧 PC1。PC1通过“OTT 编解码器封装器”以RTP/UDP/IP发送音频流，支持窄带语音编解码器 (如AMRNB m0、Codec2)；CMW500内置NB-IoT 协议栈并模拟网络行为，包括NTN网络的各种场景 (如高时延、多普勒、切换等)，负责上/下行信号的收发与协议交互；右侧 PC2经 “OTT编解码器封装器” 接收并播放解码后的音频。该测试方案用于验证端到端语音可行性、编解码互通、时延与丢包对语音质量的影响，以及在NTN场景下对终端与网络参数的评估和优化。

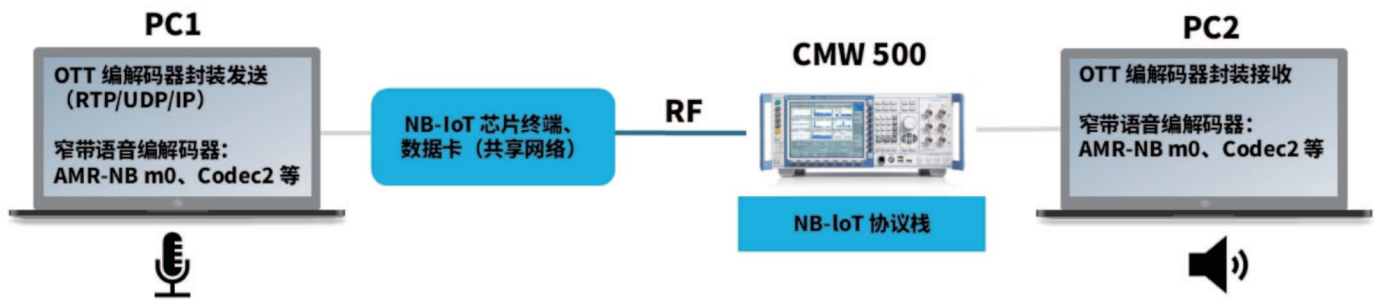
更多NTN技术内容与罗德与施瓦茨解决方案请关注：



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 | 窄带NTN终端为物联网市场注入新活力

文件中没有容限值的的数据没有约束力 | 随时更改