



TD产业联盟
Telecommunication Development
Industry Alliance

5G 测试需求及热点测试方案研究

——NB-IoT 专题

TD 产业联盟

2016 年 8 月

目录

1	引言	1
2	低功耗大连接应用场景及测试需求.....	1
2.1	应用场景.....	1
2.2	测试需求.....	2
2.2.1	低功耗测试.....	2
2.2.2	大连接测试.....	2
2.2.3	广覆盖测试.....	3
2.3	测试挑战.....	3
2.3.1	测试场景及终端形态多样化.....	3
2.3.2	海量终端连接加剧测试难度.....	4
2.3.3	缺乏成熟的终端功耗测试方法.....	4
2.3.4	生产测试需提高效率降低成本.....	4
2.3.5	物联网设备的安全性保证.....	4
3	热点技术分析：NB-IoT 测试方案	5
3.1	技术原理.....	5
3.1.1	标准制定.....	5
3.1.2	系统设计.....	6
3.2	测试需求.....	7
3.2.1	内场测试.....	7
3.2.2	外场测试.....	8
3.2.3	垂直行业测试需求举例.....	9
3.3	测试面临的挑战.....	10
3.3.1	技术层面.....	10
3.3.2	市场层面.....	11
3.4	测试方案.....	11
3.4.1	终端测试.....	11
3.4.2	基站测试.....	20
3.5	测试指标.....	23
3.5.1	终端无线资源管理测试指标.....	23
3.5.2	终端射频测试指标.....	24
3.5.3	基站负载测试指标.....	26
3.5.4	增强覆盖测试指标.....	27
4	附录	28
4.1	业务模型.....	28
5	结束语	28
6	参考文献.....	29
7	致谢	29

5G 测试需求及热点测试方案研究

——NB-IoT 专题

1 引言

2016 年,在西班牙巴塞罗那举行的世界移动通信大会(MWC2016)上,多家运营商及企业展示了 NB-IoT(Narrow Band Internet of Things,窄带物联网)相关的技术方案和应用案例,NB-IoT 成为会议的一大亮点。本文将探讨 5G 低功耗大连接应用场景、测试需求及测试挑战,并在介绍 NB-IoT 技术原理及测试需求、测试挑战等的基础上,重点讨论 NB-IoT 测试方案及测试指标等。

2 低功耗大连接应用场景及测试需求

2.1 应用场景

5G 将与工业设施、医疗仪器、交通工具等深度融合,与以往移动通信技术相比,5G 网络所具备的低功耗和大连接特性将会更加满足多样化的物联网需求。目前全球移动通信终端的连接数量已超过 70 亿个,未来的 5G 网络将拥有多达 1000 亿的连接数量。5G 的推出将使“万物互联”成为现实,其典型应用场景举例如表 2-1。

表 2-1 5G 低功耗大连接典型应用场景

应用领域	应用场景	细分应用
城市管理	智能计量	燃气表、水表、电表等
	智能停车	
	智能垃圾桶	
	智能灯杆	
	环境监测	空气、水质、土壤等

	安全监控	盗窃、火警等
企业应用	物流跟踪	
	资产跟踪	自行车租赁等
	智慧工业	
	智慧农业	环境监测（水、温度、湿度、化肥等）
	智慧牧业	环境监测、饲料监控、家畜追踪等
个人应用	定位跟踪	老人/儿童，宠物等
	健康监测	可穿戴设备等
	智能家居	

2.2 测试需求

物联网的典型应用场景对 5G 系统的低功耗、广覆盖、大连接等特性提出了更高的要求，在未来 5G 技术研究和网络部署中需进行相应的专项测试。

2.2.1 低功耗测试

智能抄表等物联网应用对终端的低功耗性能提出了严格要求。万物互联不仅包括室内可供电场景，也包括了下水道、野外等无持续电源供电的场景。在这些极端条件下，所需要的续航时长要求达 10 年之久，这对 5G 技术本身以及芯片、电池等元器件都提出了更高的要求。对应不同的应用场景，相应的测试需求包括：

- 1) 根据具体的业务类型构建贴近现实的功耗模型；
- 2) 终端电池自放电情况测试；
- 3) 在不同的环境条件及业务模型下终端整机耗电测试；
- 4) 为降低终端耗电所采用的终端休眠机制测试等。

2.2.2 大连接测试

在农业环境监测和污染监测等监测类业务场景下，物联网的典型特点就是连接数量极为庞大，网络需要有能力和承载如此庞大数量的终端接入以及确保长时间无故障运行。相应的测试需求包括：

- 1) 在确定资源配置下支持同时接入的最大用户数目；
- 2) 当终端连接数量极为庞大以致超过网络负载极限时，网络与终端进行网络负载协调能力的测试；
- 3) 网络与终端的负载分流机制测试；
- 4) 基于给定上行业务模型的上行连接数目/容量极限测试；
- 5) 基于给定下行业务模型的下行连接数目/容量极限测试；
- 6) 基于给定上下行混合业务模型的连接数目/容量极限测试；
- 7) 异常处理机制等。

2.2.3 广覆盖测试

跟踪类业务由于具有一定的移动性，为保证跟踪的有效性需要网络具有广覆盖能力。相应的测试需求包括：

- 1) 网络的下行覆盖直接决定了该网络的服务能力，下行信号强度、覆盖半径等是下行覆盖的关键技术指标，均需进行相应测试；
- 2) 上行覆盖能力也具有同样重要的地位，上行覆盖取决于终端的发射信号强度，因此需对终端的射频发射功率、OTA、带外干扰等指标进行考察；
- 3) 测试在不同信道条件下的系统性能：
 - a) 地铁与地下室环境下（ $MCL > 154\text{dB}$ ）的性能测试；
 - b) 室内或者楼梯间配电箱内条件下（ $144\text{dB} < MCL < 154\text{dB}$ ）的性能测试；
 - c) 室外良好环境下（ $MCL < 144\text{dB}$ ）的性能测试。

2.3 测试挑战

2.3.1 测试场景及终端形态多样化

物联网细分场景繁多，存在更加复杂、极端的环境部署情况，验证单点关键技术的性能与指标难度加剧。同时，物联网终端的形态趋

于多样化，需要测试仪表具备更好的可扩充性和兼容性。因此，低功耗大连接场景中端到端测试环境的构建更加复杂，核心网模拟服务器需要更加灵活的配置、基站模拟器的测试场景需要更加多样。

2.3.2 海量终端连接加剧测试难度

海量终端连接是低功耗大连接场景的主要特点之一，要求每扇区至少支持 5 万量级的连接数，海量终端的模拟需求对于终端模拟器是个巨大的挑战，测试方案与方法的选择也同样值得考虑。

2.3.3 缺乏成熟的终端功耗测试方法

低功耗要求终端的电池续航时间为 5-10 年。而该场景中终端的工作方式存在特殊性，如在某些工作场景中，设备每天只工作一次：工作状态下，几十微秒内消耗几十纳安到几百毫安的电流；待机状态下，消耗超低深度睡眠电流。对于这种特殊的工作方式，需要在复杂波形中分析功耗，寻求一种成熟的测试方法来量化终端的功耗指标。

2.3.4 生产测试需提高效率降低成本

海量连接同样提升了低功耗大连接场景中生产测试的难度，选择合适的测试方法、设计合理的测试方案是提高测试效率所必须考虑的问题。同时，考虑到物联网模块的低成本特性，如何大幅降低测试成本同样对测试仪表的研发设计提出挑战。

2.3.5 物联网设备的安全性保证

物联网设备的安全性、可靠性、保密性涉及到终端、接入网、核心网等网络各个节点，如何确保物联网生态系统的稳健和高度安全，对于测试是一个极大的挑战。同时，物联网终端的应用场景非常广泛，

涉及到社会基础设施和日常生活中的各个领域，包括工业、农业、铁路、公路、林业、医疗、电力等等，测试仪表需支持各垂直行业领域的安全性测试需求。

3 热点技术分析：NB-IoT 测试方案

3.1 技术原理

3.1.1 标准制定

2014 年 5 月，华为与沃达丰共同向 GERAN 提出窄带技术 NB M2M。2015 年 5 月，融合高通所提出的 NB OFDMA 方案形成了 NB CIoT。2015 年 9 月，在 3GPP RAN 工作组中，NB-LTE 与 NB-CIoT 进一步融合形成 NB-IoT。NB-IoT 标准将于 3GPP R13 形成初稿，并于 2016 年 6 月份冻结。NB-IoT 标准形成过程如图 3-1。

NB-IoT 的提出旨在采用蜂窝无线接入系统提供物联网(IoT)功能，并且支持室内覆盖增强，支持大量低速终端接入，支持低时延敏感性，支持低设备成本，支持低设备功耗等。

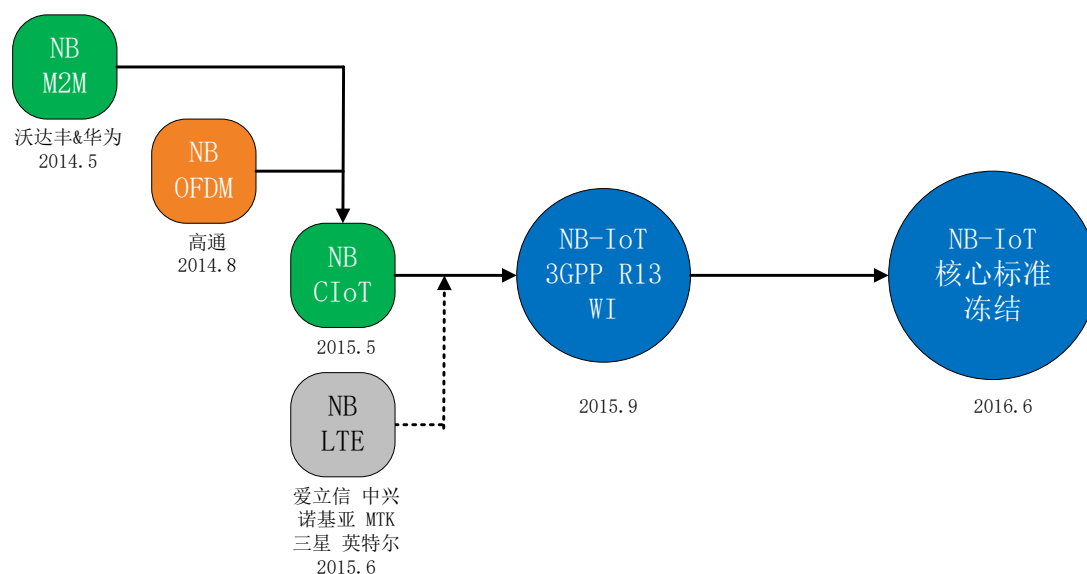


图 3-1 NB-IoT 标准形成过程

3.1.2 系统设计

NB-IoT 系统具体需求描述包括：

- 1) 支持 20dB 覆盖延伸，即 164dB MCL；
- 2) 支持 In-band，Guard-band，Stand-alone 三种模式；
- 3) 支持大用户量低速率设备接入，约 5 万/小区；
- 4) 时延特性支持广泛的 IoT 应用，包括上行异常报告；
- 5) 低上行 PAPR；
- 6) 低终端成本；
- 7) 在低业务（每天最多 200 字节）状态下，支持超过 10 年的电池寿命。



图 3-2 NB-IoT 系统需求

基于以上需求，NB-IoT 目前基本确定的系统配置如表 3-1。

表 3-1 NB-IoT 系统配置

带宽	200kHz
频段	授权频段
双工方式	半双工
多址方式	下行：OFDMA，15kHz 子载波间隔 上行：SC-FDMA， Single tone：3.75/15kHz 子载波间隔 Multi-tone：15kHz 子载波间隔
调制方式	上行：QPSK，BPSK 下行：QPSK
单用户峰值速率	UL：64bps， DL：28kbps
链路预算	164 dB (GPRS coverage +20dB)
物理信道	下行：NB-PDSCH，NB-PBCH，NB-PDCCH， NB-PSS/NSSS，RS 上行：NB-PRACH，NB-PUSCH，DM-RS

3.2 测试需求

NB-IoT 测试需求主要包括实验室内场测试和外场测试两部分。

实验室内场测试包括：NB-IoT 业务能力、射频能力、干扰场景等可能性验证。外场测试包括：单站场景下，业务能力及性能验证；多基站组网场景下，NB-IoT 在典型场景的业务及覆盖能力、广域覆盖能力等验证。测试频段需要考虑国内 NB-IoT 典型试验频段，如 800MHz、900MHz、1.8GHz 频段等。候选测试各频段优先级相同，需规划相同的测试完成时间点。

3.2.1 内场测试

3.2.1.1 网络容量类

- 1) 连接数
- 2) 上下行吞吐量
- 3) 时延
- 4) RACH 成功率/建立成功率
- 5) 寻呼成功率
- 6) 上行/下行 BLER

3.2.1.2 覆盖增强类

- 1) Stand alone 部署场景（近/中/远点性能）
- 2) Inband 部署场景（近/中/远点性能）
- 3) Guard band 部署场景（近/中/远点性能）

3.2.1.3 干扰类测试

- 1) NB-IoT 与 GSM 同频部署
- 2) NB-IoT 与 LTE 同频部署
- 3) NB-IoT 与 WCDMA 同频部署
- 4) NB-IoT 与 CDMA 同频部署

3.2.1.4 接口功能测试（S1、X2）

3.2.1.5 射频类测试

3.2.1.6 核心网信令流程

3.2.1.7 能耗类测试

3.2.2 外场测试

3.2.2.1 覆盖性能

- 1) 路面覆盖
- 2) 室内覆盖
- 3) 深度覆盖
- 4) 2G/NB-IoT/3G/4G 共覆盖测试

3.2.2.2 业务能力

- 1) 上行业务能力
- 2) 下行业务能力

3.2.2.3 典型应用

表 3-2 NB-IoT 典型应用场景测试

应用领域	应用场景	功耗性能	覆盖性能	移动性能
城市管理	智能计量	√	室内/地下	
	智能停车	√	室内/地下	
	环境监测	√	室外/室内	
	智能垃圾桶	√	室外	
	智能灯杆	√	室外	
	安全监控	√	室外	
企业应用	物流跟踪	√	全网	√
	资产跟踪	√	全网	√
	智慧农业	√	室外/室内	

	智慧牧业	√	室外/室内	√
	智慧工业	√	室外/室内	√
个人应用	定位跟踪	√	室外/室内	√
	健康监测	√	室外/室内	√
	智能家居	√	室内	

3.2.3 垂直行业测试需求举例

3.2.3.1 电力业务测试需求

1) 业务时延测试

业务时延测试较为复杂,很多时候业务的时延不仅取决于所采用具体的通信通道的时延,还取决于业务主站和行业终端等环节的时延。举例:从电力主站下发闸刀闭合命令,到配网自动化终端在主站上反馈闸刀闭合成功消息的总时延,既包含了无线调度和传输时延,也包含了与电力设备接口响应时延和电力设备内部处理时延。具体时延指标的要求,遵循行业的业务规范。

2) 不同业务混合并发的测试

该项测试主要考察各类不同类型的业务,在同一个系统内混合并发的系统性能。如语音、图片、采集业务、负控业务、配网自动化业务等数据量和频次都不一样的业务形态。

3) 大容量用户数支持能力测试

该测试主要是考察在同一个业务主站下,对主站下全部业务终端,同时发起端到端的业务测试,验证系统的大容量用户下数传的可靠性和时延特性。

4) 三遥(遥信、遥测、遥控)测试

在电力行业业务中,配网自动化业务对于端到端的业务时延和可靠性要求相对较高。通过遵循相应的业务规范对业务系统进行三遥测试,获得相应的业务指标。

5) 召测成功率测试

该测试主要是考察现场运行的行业采集终端,选取相应范围的目标终端,在

不同时间段/固定时间段的长时间持续的业务成功率测试（如采集电流、电压、电能等）。

6) 互联互通测试

该测试是无线终端和行业终端的互联互通测试。

7) 北向接口测试

该测试主要考察无线网络系统向上级网管递送的无线网络相关数据的功能和性能情况。

3.3 测试面临的挑战

3.3.1 技术层面

相比现有的 LTE 技术，NB-IoT 的信道带宽、双工方式、无线信道类型、帧结构、资源分配方式等方面均发生了改变，相应的空闲模式流程、随机接入、RRC 连接管理、连接重配置、无线链路检测以及可能的重定向等流程也都进行了调整。因此，在功能方面无法复用 LTE 测试仪表，需要将 NB-IoT 视为一项全新的技术进行测试，并覆盖所有的协议功能点。而在 RF 性能方面，同样将保持以往 RAT 测试涉及的各类发射机/接收机、解调等测试项目。

在外场组网测试及网规网优阶段，NB-IoT 单站的巨大终端接入量将导致无法使用实际终端进行多终端在网测试及优化，如何使用终端模拟器，模拟出处于不同小区位置、不同业务场景的终端，从而验证网络性能是 NB-IoT 测试将要面临的一个挑战。另外，由于 NB-IoT 终端部署的特性决定了其维护的困难，软件缺陷使用传统手段难以修复，全系统的稳定性测试如何开展，现网问题如何修正，是另一个测试及检测挑战。

3.3.2 市场层面

目前可将 NB-IoT 测试规划为 PoC 基本能力验证、实验室测试、外场测试三个阶段。在各阶段，需要网络设备、终端设备、测试仪表等企业同步推出可测试样机或商用产品。结合 NB-IoT 预期商用时间点以及整个产业进程，需尽快推出功能完善、性能稳定的测试仪表并形成统一的测试方案，促进各阶段测试的顺利完成。

3.4 测试方案

3.4.1 终端测试

终端/芯片测试主要包括协议测试、NS-IOT 测试、无线资源管理测试、射频测试、OTA 测试、功耗测试、生产测试等，本章节内容将分别对各类测试进行展开说明。

为最终实现“超低通信模块成本”的愿景目标，促进 NB-IoT 产业的蓬勃发展，势必需要产业链各个环节的共同作用。以往终端/芯片厂商在测试环节投入巨大，以 LTE 为例，建立一个较为完整的测试实验室，不含后续升级和维护费用的启动资金就动辄高达数千万元人民币，这其中绝大部分是用于购买测试仪表系统。因此，除针对技术特性本身的测试方法外，如何大幅降低测试成本，将是 NB-IoT 与以往任何移动通信技术测试方案的最大不同之处。

一个较为可行的方案是，将 Protocol 测试、NS-IOT、RRM 测试、RF 测试等众多功能集成于一套系统，并通过串行效率优化、多终端并行测试等途径，真正实现以一套测试系统取代以往多套系统分立的模式，方案示意图如图 3-3。

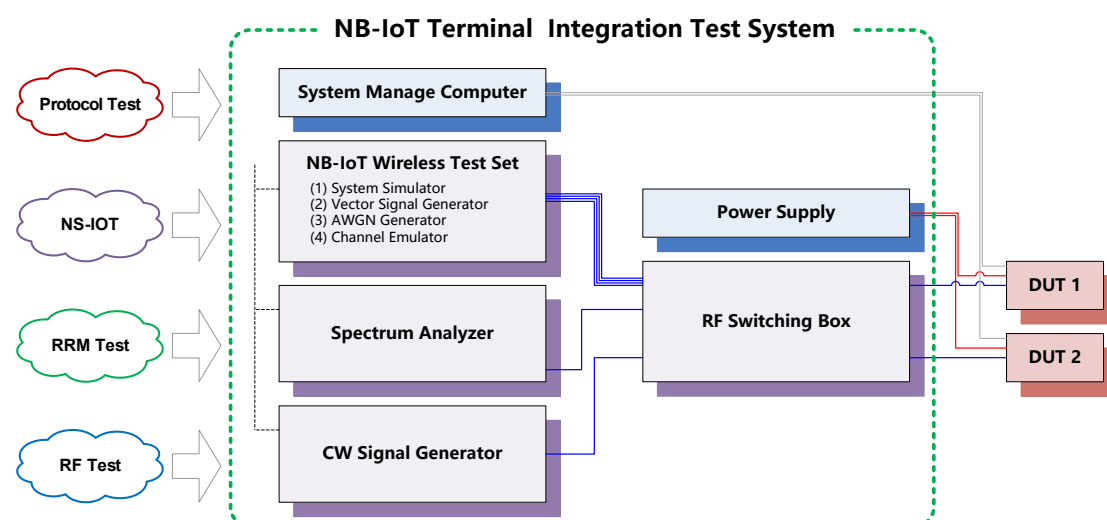


图 3-3 NB-IoT 终端综合测试系统

采用这种方案的优势包括：

- 1) 直接降低研发、测试、认证、进网、运营商入库等各个环节的测试系统采购、升级和维护费用；
- 2) 更高的单位测试效率（例如，相对于传统测试方案，Protocol 测试的时间可降至 30%以下），将缩短测试周期，进而缩短研发周期，进一步降低芯片研发成本。

参考 2G、3G、4G 终端测试设备的售价，该测试解决方案预计可为每家企业/实验室节省开支数千万元人民币（购置、升级、维保费用均大幅下调），值得在 NB-IoT 领域进行推广。

3.4.1.1 协议测试

3.4.1.1.1 空闲状态

为了保证 NB-IoT 终端正常接入小区，根据功能可以分为以下几种：

- 1) PLMN 选择：自动模式和手动模式下的 PLMN 选择；
- 2) 小区选择：正常小区选择驻留和接入控制情况下终端正确进行小区选择；
- 3) 小区重选：同频/异频小区重选；
- 4) 在接入控制下（SIB14-NB）的小区接入以及重选。

3.4.1.1.2 无线资源控制

无线连接管理流程

1) 寻呼：NW 对终端进行寻呼，正确建立连接；广播消息修改，寻呼终端进行广播消息的读取；

2) RRC 连接建立：RRC 连接建立成功/失败；

3) RRC 连接释放：RRC 连接释放成功以及 RRC 连接释放中包含重定向信息，在新的频点上进行小区驻留。

无线连接重配置

NB-IoT 中，无线连接重配置只用于 UP 侧，主要配置 DRB，终端通过 DRB 来发送数据，主要包含以下两种功能测试：无线承载建立和无线资源重配置。

无线链路失败

主要包含以下两种功能测试：CP 侧无线链路失败，直接回到 IDLE 态；UP 侧无线链路失败，通过重建立回到 connected 状态。

终端能力传输

上行传输基于单载波 FDMA，上行传输可分为 single tone 传输和 multi-tone 传输。

无线链路挂起与恢复

主要包含终端在 UP solution 情况下进行终端的挂起与恢复，以及恢复过程中的异常流程测试。

Multi-Carrier

主要包含 Multi-Carrier 的配置，以及在非主载波上的数据发送接收。

3.4.1.1.3 数据链路层

根据不同的覆盖范围和不同的应用场景，对传统的 LTE L2 功能进行修改优化。主要包含以下几个方面：

MAC

1) 随机接入流程：正常随机接入后，异常回复 RAR/MSG4，测试终端接收异常 RAR/MSG4 后的响应；

2) 上行数据传输：NW 发送 UL Grant，测试终端上行数据发送和异步 HARQ 接收功能；测试 MSG3 中的 DVI 以及 BSR 功能等；

3) 下行数据传输：NW 发送下行 PDCCH，测试终端下行数据接收和异步

HARQ 发送功能;

4) 非连续接收 (DRX): 测试终端是否正确支持 longDrx 等功能;

5) 传输包大小选择: 上下行数据传输采用自适应、非同步 HARQ 传输。终端接收 PDCCH 后接收 PDSCH 数据, 直到发送 HARQ 反馈后再监测 PDCCH; 终端接收 PDCCH 后, 直至完成 PUSCH 传输后再检测 PDCCH;

6) 逻辑信道到传输信道的映射。

RLC

AM 模式下, 最后一个分段 PDU 发送设置 POLL bit 为 1, 测试终端是否正常发送状态 PDU; AM 模式下, NB-IoT 的 TBSIZE 最大 680bits, 当大于最大 TBSIZE 时, 测试终端的分段重组功能; 重分段, 接收窗与发送窗口等相关功能。

PDCP

完整性保护和加密与解密流程: 测试 UP 侧, 当配置完整性保护和加密算法情况下, 终端能正确接收以及检查数据的有效性。

无线承载的 PCDP 序列号维护: 测试 NB-IoT 序列号维护机制的正确性。

3.4.1.1.4 EPS 会话管理

EPS 承载上下文修改

UE 请求的 PDN 连接

UE 请求的 PDN 连接中断

终端请求的承载资源分配

终端请求的承载资源分配更改

终端上行包路由

专有 EPS 承载上下文激活

专有 EPS 承载上下文去激活

3.4.1.1.5 EPS 移动性管理

NB-IoT 不支持 HeNB、inter-RAT 移动性、切换、测量报告、公共预警、GBR、CSG、中继、CA、双连接、NAICS、广播多播、实时业务、设备内共存的干扰避免, 需对相关特性进行测试:

EMM 公共流程

EMM 连接管理流程

EMM 专有流程

NAS 安全

3.4.1.1.6 多层流程

NB-IoT 不支持 Qrxlevminoffset 和 Qqualminoffset, 支持 Qoffsettemp 和相关功能、Qoffsetfreq (小区重选, 数值如何设置待定)、同频基于小区的偏置 (不支持异频)、同频或异频的独立测量阈值 (SintraSearch 和 SnonIntraSearch 默认值待定, 当服务小区电平高于测量阈值, 就不用做测量)、同频小区重选指示 (intraFreqReselection, 用于指示小区被禁)、基于 PLMN 优先级的小区搜索和手动 PLMN 选择。

小区重选支持频带间小区重选 (Ranking based mechanism), 通过 RRC 专有消息 (RRC connection release / suspend) 可以将终端重定向到其他小区。

支持 One barring bitmap for MO signalling & MO DATA, 支持基于业务优先级的 RRC 接入控制。

由于 NB-IoT 在移动性管理方面的简化, 对于多层相关流程需要进行测试:

呼叫建立

连接重建

移动性

RRC 连接重配

3.4.1.1.7 无线承载测试

对于配置 MIMO 及未配置 MIMO 的情况进行测试。

3.4.1.2 NS-IOT 测试

NS-IOT 测试主要用于补充协议测试未能覆盖到的场景, 如业务测试/吞吐量测试等。

3.4.1.3 无线资源管理测试

3.4.1.3.1 小区重选测试

在 NB-IoT 中, 根据 NRS SNR 的不同, 可分为普通覆盖模式 (Normal Coverage) 和增强覆盖模式 (Enhanced Coverage), 覆盖模式会对终端的测量性能有影响, 从而导致小区重选的指标也不相同, 所以小区重选的测试例可根据不同的覆盖模

式区分。

普通覆盖模式下小区重选

此测试包含两个同频或者异频 NB-IoT 小区，控制两个小区的功率，使终端满足重选条件，验证终端从服务小区重选到目标小区的时延是否满足要求。

增强覆盖模式下小区重选

此测试包含两个同频或者异频 NB-IoT 小区，控制两个小区的功率，使终端满足重选条件，验证终端从服务小区重选到目标小区的时延是否满足要求。

3.4.1.3.2 RRC 重建建立测试

RRC 重建建立也受不同覆盖模式的影响，所以 RRC 重建建立测试例也可根据不同的覆盖等级区分。

普通覆盖模式下 RRC 重建建立

此测试包含两个同频或者异频 NB-IoT 小区，验证终端在服务小区释放连接之后，重定向至目标小区的时延满足协议要求。

增强覆盖模式下 RRC 重建建立

此测试包含两个同频或者异频 NB-IoT 小区，验证终端在服务小区释放连接之后，重定向至目标小区的时延满足协议要求。

3.4.1.3.3 竞争随机接入测试

在 NB-IoT 中将不支持非竞争随机接入，所以只测试竞争随机接入的性能。在竞争随机接入测试例中，需要验证终端随机接入的流程、以及 preamble 功率和时延满足协议要求。

3.4.1.3.4 终端发送定时精度测试

在连接状态下，验证终端是否具有跟踪 NB-IoT 小区帧定时的能力。主要测试参数为终端初始定时精度，一次定时调整中的最大值，和最大、最小调整速率。

3.4.1.3.5 终端定时提前精度测试

终端在连接状态下，NB-IoT 小区向终端定时提前命令消息后，终端调整定时提前量的精度是否满足协议要求。

3.4.1.3.6 无线链路监测测试

终端在连接状态下，验证终端能够根据下行链路质量变化检测到失步，或者

根据链路质量判断是否处于同步状态。

3.4.1.4 射频测试

NB-IoT 的 UE 射频规范目前已经规定了绝大部分发射机和接收机指标，还未制定性能指标，涉及到详细的测试方法还未确定。因为 NB-IoT 在 LTE 的基础上简化而来，频带、各种配置减少，总体的测试例数目会减少，但会添加针对 NB-IoT 应用场景的测试，如邻道选择性和阻塞特性等需要考虑对 LTE、UMTS、GSM 系统的影响，如接收机灵敏度需要考虑覆盖范围。

关于 NB-IoT 射频一致性测试中关于各个射频指标的具体测试指标会在射频规范的基础上结合测试容限制定。

3.4.1.4.1 发射机测试

发射功率测试

最大输出功率：验证终端最大功率是否满足协议要求，目前已规定功率等级 3 和等级 5。

最大功率回退：针对功率等级 3 和功率等级 5 的 NB-IoT 终端，验证其最大功率回退是否满足协议要求。

输出功率动态测试

最小功率：验证终端的最小功率是否满足协议要求，单音和多音最小功率均为-40dBm。

关功率：验证终端的关功率是否满足协议要求，关功率指标均为-50dBm。

开关时间模板：其中一般开关时间模板重用 E-UTRA 开关时间模板。NPRACH 时间模板还未制定完，仅规定开功率测量周期。

功控：绝对功率容限重用 E-UTRA；相对功率指标已制定；累积功率控制容限暂未提到。

发射信号质量测试

频率误差：验证终端的发射机和接收机的频率特性是否满足协议要求，其中载波频率 $\leq 1\text{GHz}$ ： $[\pm 0.2]\text{PPM}$ ；载波频率 $> 1\text{GHz}$ ： $[\pm 0.1]\text{PPM}$ $[\pm 0.1]\text{PPM}$ 。

发射调制：验证终端的误差矢量幅度（即 EVM）指标以及邻道泄露比，带内发射是否满足协议要求。

输出射频频谱发射测试

占用带宽：不超过 NB-IoT 的系统带宽 200KHz。

带外辐射：包括邻道泄露比和频谱发射模板。

杂散辐射：测试方法应该同 E-UTRA。

发射互调测试

发射机互调：验证终端的发射机互调特性是否满足协议要求。

3.4.1.4.2 接收机测试

参考灵敏度水平

验证终端的参考灵敏度是否满足协议要求，分别定义了无重传的参考灵敏度（-108.2dBm）和基于重传的参考灵敏度（指标未定）。

最大输入电平

验证终端的最大输入电平是否满足协议要求的-25dBm。

邻道选择性和阻塞特性

邻道选择性：验证终端的邻道选择性指标是否满足协议要求。

阻塞特性：验证终端的阻塞特性（仅包括带内阻塞和带外阻塞，无窄带阻塞）指标是否满足协议要求。

杂散响应

杂散响应：基于带外阻塞的基础上验证终端的杂散响应指标是否满足协议要求。

互调特性

宽带互调：验证终端的互调特性是否满足协议要求。

杂散辐射

重用现有的规范。

3.4.1.4.3 性能测试

协议暂无明确要求。

3.4.1.5 OTA 测试

传统的终端 OTA 测试需要在微波暗室或混响暗室中完成，整个测试的复杂度高、测试周期长。考虑到 NB-IoT 终端要求的低成本及测试时间短等要求，传统终端的 OTA 测试方案无法直接应用于 NB-IoT 终端的 OTA 测试。为此，我们

需要考虑在传统 OTA 测试基础上对测试方法做必要的简化。

主要简化的方法如下所述：

- 1) 对于使用微波暗室的场景，通过减少天线方向图测试采样点数量的方式来减少测试时间
 - a) 可以直接减少测试位置数量的选项有：
 - i. 随机选择测试点；
 - ii. 在天线方向图上按照一定的间隔均匀选取测试点；
 - iii. 基于具体的测试用例和无线传播环境选取常用的测试点。
 - b) 在测试灵敏度时通过使用通过/失败门限的方式减少天线方向图的采样点数量，而不是做完整的 EIS 搜索
 - i. 只选取一定比例的点，这些点只需满足 EIS 值最低要求即可。需要合理定义比例，因为某些点会因为天线方向图的变化导致测试失败；
 - ii. 如果去掉要获取最终 EIS 值的需求，可以显著减少 TIS 测试时间。
 - c) 螺旋式 TRP 测试：
 - i. 通过连续移动转台并同时做频繁的功率测量以减少 TRP 测试时间。
- 2) 对于采用混响暗室的场景，通过以下方式降低测试时间
 - a) 在 TRP 测试中不断旋转反射器（不会对测试结果引入明显的不确定性，但是可以使 TRP 测试完成的时间控制在 60 秒-90 秒）；
 - b) 在 TIS 测试中不断旋转反射器：
 - i. 由于快衰落的存在，测试结果不能等同于 TIS，但是用户可以给测试结果定义一个偏移值。

3.4.1.6 功耗测试

3.4.1.6.1 不同 DRX 配置下，空闲状态终端功耗测试

使用电流计测量并记录终端在空闲状态下，使用不同 DRX 配置时的电流值，验证是否满足协议要求。

3.4.1.6.2 不同 DRX 配置下，连接状态下终端功耗测试

使用电流计测量并记录终端在连接状态下，使用不同 DRX 配置时的电流值，验证是否满足协议要求。

3.4.1.7 生产测试

终端生产测试主要包括校准及综合测试两部分。校准包括 AFC（自动频率校准）、AGC（自动接收功率/接收增益校准）、APC（自动发射功率校准）。综合测试需要综合考虑测试效率及成本，基本涵盖 3GPP 协议中规定的单台综测仪能够完成的射频一致性测试用例。

3.4.2 基站测试

支持 NB-IoT 技术特性的基站需要考虑四个方面的测试：

- 1) RF 测试：验证基站的发射指标、接收指标，以及不同场景下多个蜂窝移动通信系统同时正常工作、满足系统共存的要求；
- 2) 协议一致性测试：确保各个厂商均按照 3GPP 协议进行实现，通过一次功能测试就可以保证系统全球范围内的互联互通；
- 3) 关键 KPI 指标的测试：大容量 NB-IoT 终端接入时基站的性能测试，包括接入效率、接入延时、QOS 等性能指标；同时需要考虑基站调度对终端低功耗性能指标的影响，如在静态功耗以及一定的业务模式中，终端在基站的调度下是否可以支持 10 年的工作目标；
- 4) 网络安全的测试：包括传输过程的物理层安全、数字签名、加密等流程的安全性。

具体测试内容应包括如下方面：

1) 基本功能

- a) 操作模式：standalone、in-band、guard-band；
- b) 系统带宽：Standalone 模式下 200kHz；in-band 和 guard-band 模式下 180kHz；in-band 模式下 5/10/15/20MHz；
- c) 信道配置：NB-PDCCH，NB-PDSCH，NB-PRACH，NB-PUSCH 等；
- d) 载波配置：NB-PRACH 和 NB-PUSCH 支持 3.75kHz；
- e) 随机接入：支持最大路径损耗 144dB - 164dB 的随机接入；
- f) 空口安全：加密和完保算法 EE0-EEA3, EIA0-EIA3；
- g) 无线资源控制（RRC）：保证协议一致性；
- h) 功率控制；

- i) 小区重选;
- j) 业务质量保证 (QoS);
- k) 无线接纳控制;
- l) 定位技术;
- m) 头压缩;

2) 基站性能

- a) 调度: 每载波同时激活 M 个用户进行数据上传和下载, 测试每秒最大的调度用户数;
- b) 多天线: 上行 SIMO, 下行 SIMO, 下行 MIMO;
- c) 移动性: 支持 EPA 1Hz;

3) 大容量测试

- a) N 载波测试: N = 3, 6, 12, 24..., 每载波支持 5 万个信令用户;
- b) 业务压力测试: N 载波, N = 3, 6, 12, 24..., 每载波同时激活 M 个用户进行数据上传和下载, 保持 30 分钟;
- c) 长保测试: N 载波, N = 3, 6, 12, 24..., 每载波同时激活 M 个用户进行数据上传和下载, 保持 24/48 小时。

3.4.2.1 大连接测试系统

利用终端测试系统模拟 NB-IoT 终端大连接接入, 根据基站系统给终端系统发送的消息, 调度至少 52000 个 UE, 终端系统接收信息并解码消息, 用来支持测试指标, 达到大连接测试目标。为了验证基站侧的容量是否满足 NB-IoT 要求的容量指标, 设计下面测试方案:

- 1) 使用模拟 UE 设备与被测基站的一个小区射频直联;
- 2) 模拟 UE 设备模拟多个 UE;
- 3) 每个 UE 执行附着流程, 进入 connect 状态;
- 4) 通过模拟 UE 的模拟功能, 构造出 52000 个 UE 同时接入一个小区的场景;
- 5) 验证基站是否具有能够支持 52000 个 UE 的信令处理能力;

- 6) 随机抽取部分 UE 执行用户面数据测试流程;
- 7) 验证在 52000 个 UE 都接入的场景下, 待测基站的调度能力是否满足设计要求。

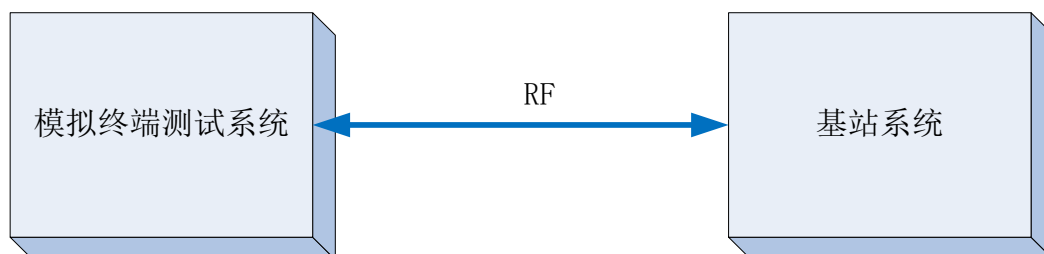


图 3-4 大连接测试示意图

3.4.2.2 增强覆盖测试系统

为了验证基站侧的覆盖强度是否满足 NB-IoT 设计要求, 设计下面测试方案:

- 1) 使用模拟 UE 设备与被测基站的一个小区射频直联;
- 2) 在模拟 UE 设备与待测基站间, 加入信道仿真器;
- 3) 信道仿真器不使能, 模拟 UE 进行小区选择, 上报基站下行参考功率和信道质量;
- 4) 模拟 UE 执行附着流程, 进入 **connect** 状态;
- 5) 模拟终端执行用户面测试流程, 验证是否满足测试数据吞吐量大于 160bps;
- 6) 模拟 UE 进入 **idle** 态;
- 7) 信道仿真器加入信道噪声调整 MCL 为 144DB, 模拟 UE 继续上报基站下行参考功率和信道质量;
- 8) 模拟 UE 再次进入 **connect** 状态;
- 9) 模拟终端执行用户面测试流程, 验证是否满足测试数据吞吐量大于 160bps;
- 10) 模拟 UE 进入 **idle** 态;
- 11) 继续加大信道干扰调整 MCL 为 154DB, 达到扩展覆盖场景;
- 12) 模拟 UE 继续上报基站下行参考功率和信道质量;
- 13) 模拟 UE 执行附着流程, 进入 **connect** 状态;

- 14) 模拟终端执行用户面测试流程，验证是否满足测试数据吞吐量大于 160bps；
- 15) 模拟 UE 进入 idle 态；
- 16) 继续加大信道干扰调整 MCL 为 164DB，达到极端覆盖场景；
- 17) 模拟 UE 继续上报基站下行参考功率和信道质量；
- 18) 模拟 UE 执行附着流程，进入 connect 状态；
- 19) 模拟终端执行用户面测试流程。验证是否满足测试数据吞吐量大于 160bps。

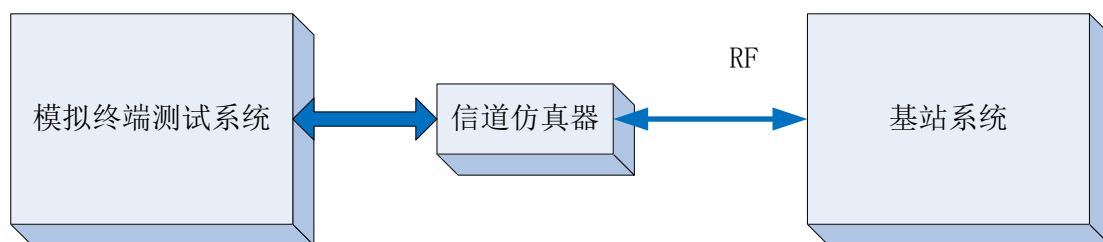


图 3-5 增强覆盖测试示意图

3.5 测试指标

3.5.1 终端无线资源管理测试指标

3.5.1.1 小区重选时延

小区重选的时延定义为，从服务小区和目标小区功率满足终端重选准则的时间开始，到终端在目标小区发送 NPRACH 的时间。

小区重选时延主要包括，服务小区的测量和评估，目标小区识别，目标小区测量和目标小区评估等几部分，其中测量和评估的时延都受覆盖模式的影响，增强覆盖下的时延要大于普通覆盖下的时延。

3.5.1.2 RRC 重建时延

RRC 重建的时延定义为，从 NB-IoT 服务小区发送 RRC 连接释放消息的 TTI 开始，到终端在目标小区发送 NPRACH 的时间。

RRC 重建的时延包括，所有已知目标小区搜索的时间，读取目标小区相关系统消息的时间，随机接入过程的时间和 100 毫秒的补偿。由于小区搜索时间的不同，RRC 重建的时延也受覆盖等级的影响，增强覆盖等级下的时延大于

普通覆盖下的时延。

3.5.1.3 竞争随机接入指标

协议暂未明确。

3.5.1.4 终端发送定时精度

终端初始发送定时的偏移应小于等于 $80T_s - KT_s$ ，其中 K 值待定；一次性最大调整的步长为 $58.33T_s$ ，每秒最小累计调整量为 $7T_s$ 。

3.5.1.5 终端定时提前精度

终端需根据新配置的时间提前量数值调整发送定时提前量，调整后的定时提前量与目标提前量的误差应优于或者等于 $\pm 13.33 * T_s$ 。

3.5.1.6 无线链路监测指标

无线链路监测的性能取决于 NPDCCH 的性能，而最大重复传输等级 (Rmax) 会对 NPDCCH 的性能有影响，所以 NB-IoT 终端的无线链路监测的指标会根据 Rmax 的值分别制定。

3.5.2 终端射频测试指标

表 3-3 终端射频测试系统指标

系统指标	详细
系统带宽	Standalone: 上行和下行均为 200KHz Guard band & In band: 上行均为 200KHz，下行 LTE 信道带宽
工作频段	重用 E-UTRA 工作频段 1、3、5、8、12、13、17、19、20、26、28、66 双工模式为半双工 FDD
信道间隔	Standalone: 200KHz Guard band & In Band: 180KHz

表 3-4 终端射频测试指标

射频指标	详细
最大输出功率	class 5 (20dBm) tolerance(± 2 dB) class 3(23dBm) tolerance(± 2 dB)
最大功率回调	QPSK, NB1, class3&5: 3 tones allocation:

	0-2[≤0.5dB], 3-5&6-8[0dB], 9-11[≤0.5dB] 6 tones allocation: 0-5, 6-11[≤ 1dB] 12 tones allocation: 0-11[≤ 2dB]
最小输出功率	-40dBm
关功率	-50dBm
开关时间模板	重用 E-UTRA 开关时间模板, NPRACH: format 0 (5.6ms) format 1(6.4ms)
功率控制容限	绝对功率容限重用 E-UTRA 相对功率容限: Power step P [dB] NPRACH[dB]/正常 $\Delta P = 0 \quad \pm 1.5$ $\Delta P = 2 \quad \pm 2.0$ $\Delta P = 4 \quad \pm 3.5$ $\Delta P = 6 \quad \pm 4.0$ 极端条件下允许额外的±2.0dB 放宽 NB-IoT 无累积功率容限
频率误差	频点小于等于 1GHZ 为[±0.2]PPM, 大于 1GHZ 为 [±0.1]PPM
误差矢量幅度	多音 QPSK 17.5 % 单音 pi/4 QPSK 17.5 % 单音 pi/2 BPSK 17.5 %
载波泄露	0 dBm ≤ Output power -25 -30 dBm ≤ Output power ≤ 0 dBm -20 -40 dBm ≤ Output power < -30 dBm -10
带内发射	General $\max \{ -15 - 10 \cdot \log_{10}(N_{tone} / L_{Ctone}), -18 - 5 \cdot (\Delta_{tone} - 1) / L_{Ctone}, -57 \text{ dBm} / (3.75\text{kHz or } 15\text{kHz}) - P_{tone} \}$ IQ 镜像 -25dB 载波泄露 同上
占用带宽	不超过 NB-IoT 的系统带宽 200KHz
频谱发射模板	Δf_{OOB} (kHz) Emission limit (dBm) Measurement bandwidth $\pm 0 \quad 26 \quad 30\text{KHz}$ $\pm 100 \quad -5 \quad 30\text{KHz}$ $\pm 150 \quad -8 \quad 30\text{KHz}$ $\pm 300 \quad -29 \quad 30\text{KHz}$ $\pm 500 -1700 \quad -35 \quad 30\text{KHz}$
邻道泄露比	UTRA: 37dB/3.84MHz, RRC_filiter = 0.22, 邻道频

	偏±2.5MHz GSM : 20dB/180KHz, Rectangular, 邻道频偏±200kHz
杂散响应	参考灵敏度+6dBm, 干扰 CW 为-44dBm
最大输入电平	-25dBm
发射机杂散发射	F _{oob} = 1.7MHz, 相关门限重用 E-UTRA
UE 共存的杂散发射	协议暂时还未提及此指标
额外的杂散发射	协议暂时还未提及此指标
参考灵敏度	正常为-108.2dBm, 极端覆盖范围下的参考灵敏度正在研究制定中
邻道选择性	吞吐率≥ 95%
阻塞特性	吞吐率≥ 95%

3.5.3 基站负载测试指标

NB-IoT 要求基站支持海量低吞吐率设备接入, 根据 TR 36.888 中提供的伦敦数据模型, 可以估算普通市区 NB-IoT 基站的容量, 具体算法如下:

Inter-site Distance (ISD) = 1732m

Cell site sector radius, $R = \text{ISD}/3 = 577.3\text{m}$

Area of cell site sector (assuming a regular hexagon) = 0.86 Sq Km

Number of devices per cell site sector = Area of cell site sector*Household density per Sq km*number of devices per household = 52547

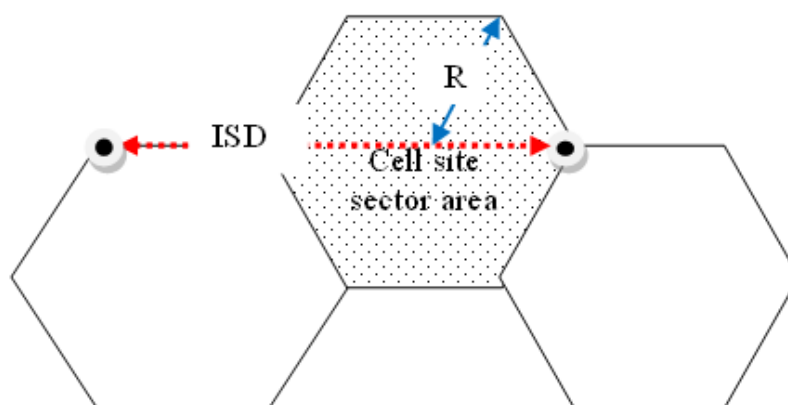


图 3-6 小区扇区面积定义

表 3-5 每小区需支持的用户数

Case	Household Density per Sq km	Inter-site Distance (ISD) (m)	Number of devices within a household	Number of devices within a cell site sector
Urban	1517	1732 m	40	52547

通过计算可知，目前基站每个 section 支持不能少于 52000 个连接。

用于基站负载测试的业务模型主要采用附录 4.1 中给出的周期上报以及网络控制这两种业务模型。其中 80%的用户为周期上报模型，20%的用户为网络控制模型。

对于附录 4.1 中给出的软件升级/重置模型单独进行评估。

3.5.4 增强覆盖测试指标

考虑到很多物联网终端都是在室内部署的，因此室内覆盖也是 NB-IoT 必须支持的场景之一，因此在极限覆盖情况下，NB-IoT 的覆盖增益必须是现有商用系统的 20dB 以上。

根据协议，我们将覆盖分为三个等级：Normal, Extended 和 Extreme。划分标准为：

Normal coverage: 与现有的 GPRS 覆盖一致；

Extended coverage: 在现有 GPRS 覆盖的基础上提升 10dB；

Extreme coverage: 在现有 GPRS 覆盖的基础上提升 20dB。

表 3-6 NB-IoT 三种模式对应的最大耦合损耗

Coverage levels	MCL (dB)
Normal coverage	144dB
Extended coverage	154dB
Extreme coverage	164dB

根据上面的要求，我们设计这个指标为在三种覆盖场景下，都必须能够完成

至少 160bps 的数据传输能力。

4 附录

4.1 业务模型

参考 TR45.820 中 E.2, NB-IoT 支持 4 种典型业务模型：移动自主回报（MAR, Mobile Autonomous Reporting）的异常上报、周期上报、网络控制（NC, Network command）以及软件升级/重配。

表 4-1 NB-IoT 典型业务模型

	异常上报	周期上报	网络控制	软件升级/重配
典型负载及分布	负载： 20bytes	Pareto 分布 ($\alpha=2.4$) 最小负载： 20bytes 最大负载： 200bytes	50% 的网络控制业务需要上报： 负载： 20 bytes	Pareto 分布 ($\alpha=1.5$) 最小负载： 200bytes 最大负载： 2000bytes 用单播时： 最小负载： 20bytes 最大负载： 200bytes (下行)
下行应用层 ACK	100%	50%		
周期		1 天：40% 2 小时：40% 1 小时：15% 30 分钟：5%	1 天：40% 2 小时：40% 1 小时：15% 30 分钟：5%	180 天
测试场景	延时： 小于 10s	容量评估	容量评估	独立下行容量评估

5 结束语

作为目前业界普遍看好的物联网技术，NB-IoT 所具备的广覆盖、大连接、低功耗、低成本等特性，适用于智能计量、环境监测、物流跟踪等物联网应用，将为万物互联时代各垂直行业的信息化带来巨大的发展机遇。目前，NB-IoT 的 3GPP 标准正在加速制定中，产业链也在积极开展相关的实验室测试及外场试验工作，统一、高效、低成本的测试方案将为 NB-IoT 的产业发展提供重要的支撑。

微信扫描以下二维码，免费加入【5G 俱乐部】，还赠送整套：5G 前沿、NB-IoT、4G+ (VoLTE) 资料。

