



NB-IoT 网络与业务协同优化

郭宝¹, 刘毅², 张阳³

(1. 中国移动通信集团山西有限公司, 山西 太原 030032;

2. 中国移动通信集团山东有限公司, 山东 济南 250001;

3. 中国移动通信集团公司, 北京 100033)

摘要: 现阶段 NB-IoT 网络已完成初步建设, 整体覆盖较好, 但局部覆盖空洞较多, 室内疑难场景深度覆盖不足, 干扰问题突出, 重叠覆盖严重。目前 NB-IoT 行业应用成熟度低, 行业应用属于起步阶段, 各厂商终端规范不一, 导致网络部署调通过程中存在较大问题。针对当前物联网的主要业务类型, 依据不同业务特征来分析 NB-IoT 网络关联指标, 根据测试数据与统计数据该类业务的覆盖性能, 对井盖与灯杆类业务分别展开深度覆盖分析与重叠覆盖分析, 对业务接入相对集中的业务模型给出优化解决方案。

关键词: 深度覆盖; 独立天馈; 接入能力

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018279

NB-IoT network and service collaborative optimization

GUO Bao¹, LIU Yi², ZHANG Yang³

1. China Mobile Group Shanxi Co., Ltd., Taiyuan 030032, China

2. China Mobile Group Shandong Co., Ltd., Jinan 250001, China

3. China Mobile Group Co., Ltd., Beijing 100033, China

Abstract: The preliminary construction of the NB-IoT network has been completed at this stage. The overall coverage is good, but there are more partial coverage holes, insufficient coverage of indoor difficult scenes, prominent interference problems and overlapping coverage. At present, the industry application of NB-IoT is low in maturity, and the application of the industry is in its infancy. Different terminal manufacturers have different specifications, which leads to major problems in the deployment process of network deployment. The NB-IoT network related indicators according to different business characteristics were analyzed, according to the main types of business of the internet of things. The coverage performance of such services was researched according to test data and statistical data. In-depth coverage analysis on the covers of manholes and poles was conducted. Overlapping coverage analysis gives an optimized solution to the business model with relatively concentrated service access.

Key words: deep coverage, independent antenna feeder, access capability

1 引言

窄带物联网 (NB-IoT) 建设是要打造高质量、高品质、城区范围连续覆盖的物联网承载网络, 支撑国家“大连接”战略, 但受限于外部强干扰、站点告警及硬件故障、单验入网流程需完善等原因, 局部区域尚未形成连续覆盖。现阶段 NB-IoT 行业应用成熟度低, 行业应用属于起步阶段, 各厂商终端规范不一、接收灵敏度不一, 导致网络部署调通过程中存在较大问题, 不同终端接入网络对信号强度与信号质量要求非常高, 否则无法入网^[1-2]。

现阶段 NB-IoT 网络建设过程中陆续发现五大主要问题: 网络干扰问题突出, 重叠覆盖严重; 整体覆盖较好, 但局部覆盖空洞较多; 室内疑难场景深度覆盖难题; 并发容量存在瓶颈; 支撑手段有待完善。此外, 基于 NB-IoT 技术的物联网业务具有“业务模型差异大, 服务等级差异大, 深度覆盖要求高, 终端静默长”等特征。现阶段 NB-IoT 网络正处于建设初期, 商用终端尚未规模普及, 业务量较少、可借鉴的优化经验缺乏, 亟需开展针对性的网络与业务协同优化研究^[3]。

本文针对当前物联网的主要业务类型, 依据不同业务特征来分析 NB-IoT 网络关联指标, 根据测试数据与统计分析该类业务的覆盖性能, 对井盖与灯杆类业务分别展开深度覆盖分析与重叠覆盖分析, 对业务接入相对集中的业务模型展开相应的优化分析。

2 NB-IoT 分业务覆盖研究

2.1 NB-IoT 业务场景与关联指标

现阶段 NB-IoT 主要业务类型有水表、路灯、单车和智能停车业务等, 按照窄带物联网适合的数据上报方式 (数据上报为主、数据实时交互) 与移动方式, 结合参考 NB-IoT 网络覆盖类型 (室内、室外、地表下、移动中) 可将 NB-IoT 业务大

致分为 4 类业务类型: 类型 1 为固定监测类, 如智能抄表、智能停车、井盖监控等; 类型 2 为固定控制类, 如智能路灯、自助洗衣机等; 类型 3 为移动监测类, 如物流监控、慢性病管理等; 类型 4 为移动控制类, 如共享单车、移动 POS 机、儿童手表等。

为了准确评估 NB-IoT 业务性能, 根据现阶段测试数据与统计数据, 选取出连接类、附着类、速率类等 NB-IoT 业务指标, 通过测试分析得出业务指标基准值与对应的 RSRP、SINR 值, 为分业务覆盖标准的研究提供基础数据支撑^[4-5]。

(1) 固定监测类

此类业务主要包含抄表、井盖、水文监测等业务, 对网络覆盖、业务连接性以及功耗指标较敏感。涉及指标包括 Attach 成功率、RRC 连接成功率、上行速率。

(2) 固定控制类

此类业务主要包括智能灯杆、智能安防、智能家居等业务, 对网络覆盖、功耗及数据相关指标较敏感。涉及指标包括 Attach 成功率、RRC 连接成功率、上行速率、下行速率。

(3) 移动监测类

此类业务主要包含人员、物品定位追踪等业务, 对网络连接性、功耗及移动性指标较敏感。涉及指标包括 Attach 成功率、RRC 连接成功率、上行速率、下行速率。

(4) 移动控制类

此类业务主要包含共享单车、智能穿戴、移动支付等业务, 对网络连接性、业务连接、功耗及移动性指标较敏感。涉及指标包括 Attach 成功率、RRC 连接成功率、RRC 连接时延、上行速率、下行速率。

2.2 NB-IoT 业务场景覆盖标准

通过业务场景覆盖标准评测方法, 分别得出四大类业务的最低覆盖标准, 通过分析, 固定控制类业务对于覆盖要求最高, 固定监测类业务相对较低。结合业务场景覆盖标准, 可为后续



NB-IoT 网络建设与优化提供指导。

(1) 固定监测类覆盖标准为 RSRP: -112.9 dBm、SINR: 1.3 dB

固定监测类业务主要的数据传输模式为周期性或触发性的数据上报, 偶有业务配置等数据下发需求, 通常会设置节电模式。针对此特点, 为保证业务连续性, RSRP 指标为优化工作重点。

(2) 固定控制类覆盖标准为 RSRP: -108.6 dBm、SINR: 0.5 dB

固定控制类业务主要为周期性或触发性的终端状态数据上报以及平台指令数据接收, 为保证平台侧可以实时对终端进行监控, 通常设置较为频繁的上传信息。针对此特点, SINR 为该场景的优化重点。

(3) 移动监测类覆盖标准为 RSRP: -110.3 dBm、SINR: 0.9 dB

移动监测类业务终端通常配置于车辆、机械、人员等移动目标, 实现对目标状态及位置信息的远程监测, 存在数据上报及下发的双向需求。该场景中 RSRP 及 SINR 指标均为优化工作重点。

(4) 移动控制类覆盖标准为 RSRP: -100.7 dBm、SINR: 0.7 dB

移动控制类业务通常供人佩戴使用, 通过终端中 NB-IoT 通信模块, 实现对终端的监测及远程控制。该场景因业务种类的特点, 对覆盖及速率均较为敏感, 因此, 该场景中 RSRP 及 SINR 指标均为优化工作重点。

3 深度覆盖的优化分析

3.1 深度覆盖评估方法

NB-IoT 网络协议规定终端不上报 MR, 无法通过 MR 数据评估深度覆盖状况, 覆盖性能可通过 NB-IoT 终端在 MSG3 消息中携带的 PH 等级信息来评估^[6]。

(1) 路损估算

根据终端在 MSG3 信息中携带的 PH 等级信

息, 通过其对应的范围给每个 PH 指定一个具体值进行路损估算, 计算式如下:

$$PH = P_{\text{cmax}} - (P_{0-N\text{pusch}} + \alpha \times PL_{\text{UL}}) \quad (1)$$

其中, P_{cmax} 为终端最大发射功率, $P_{0-N\text{pusch}}$ 为 UE 初始接受目标功率, PL_{UL} 为上行路损, α 为路损补偿权值, 通常取 0.7~0.8。

(2) RSRP 计算

根据计算出的上行路损, 考虑上下行频率差异, 估算出下行路损, 进一步近似估算出 UE 所处位置的 RSRP, 计算式如下:

$$RSRP = RS_{\text{TXPwr}} - (\Delta + PL_{\text{UL}}) \quad (2)$$

其中, RS_{TXPwr} 为参考信号功率, Δ 为对上行路损修正值。

NB-IoT 网络规划设计中, 原则上与 GSM (900 MHz) 按 1:4 站点规划, 深度覆盖需求场景可采用 1:2、1:1 规划方案, 按需规划, 确保 NB-IoT 网络覆盖良好; 天线使用 2T4R 部署原则, 替换站点优先部署 2T4R 天线, 提升 NB-IoT 网络上行性能; 在重点区域、重叠覆盖严重区域应尽量部署 NB 与 GSM 独立天线系统, 保障 NB 优化不影响 GSM 网络覆盖性能; 室外道路边缘覆盖 RSRP 不低于 -84 dBm、SINR 不低于 -3 dB, 预期可预留不少于 30 dB 穿透损耗, 满足一般场景深度覆盖要求^[7]。

3.2 NB-IoT 1:N 组网方式

现阶段 NB-IoT 网络以宏基站覆盖为主, 与 GSM 站点按照 1:4 比例规划, 可解决约 90% 室内一般场景覆盖^[8]。然而, 部分物联网终端模组集中在楼道、地下室等, 且位置固定, 对深度覆盖要求高。选取 NB-IoT 现网 19 个站点作为与 GSM 站点 1:N 试点区域。

测试表明 NB-IoT 与 GSM 组网方式 1:2 相比 1:1, RSRP 下降约 4~7 dB, 1:4 相比 1:1 下降约 10~12 dB。但是, 1:2 组网方式下, 相比 1:1 的 SINR 高 1.5~2 dB, 相比 1:4 的 SINR 高 0.6~2.4 dB。在不同负荷加载下的对比见表 1。

表 1 NB-IoT 与 GSM 1:N 组网的加载对比测试

终端路测	1:1 空载	1:2 空载	1:4 空载	1:1 加载	1:2 加载	1:4 加载
平均 RSRP/dBm	-78.7	-85.9	-89.8	-77.1	-80.1	-89.3
边缘 5% RSRP/dBm	-100	-102.3	-107.1	-96.1	-98.6	-105.9
平均 SINR/dB	8.9	10.9	6.5	6.1	7.5	6.8
边缘 5% SINR/dB	-6.7	-5.8	-8.7	-7.5	-8	-7.4

测试表明: 1:4 组网下 NB-IoT 已可达到 GSM 同等覆盖水平, 且有一定的穿损冗余。如若采用 1:1 组网, 不仅投资过大, 还存在网络底噪抬升明显、干扰控制难度大的问题。在建网初期, 可充分利用 NB-IoT 的覆盖增强技术, 相对于 GSM900 宏基站的 1:4 的方式实现 NB-IoT 的基本覆盖, 即可支撑广泛的业务发展需求, 又能有效控制投资风险。需关注的是, 1:4 组网时, NB-IoT 可基本满足室内需求, 95% 的覆盖可达到 -107 dBm, 与接收灵敏度还有 25 dB 盈余, 可满足基本的室内覆盖要求, 部分深覆盖可根据实际情况加深覆盖。

3.3 NB-IoT 独立天馈方式

NB-IoT 网络已基本实现市区连续覆盖, 但是 NB-IoT 网络结构与传统 LTE/GSM 网络有较大差异, 因 NB-IoT 与 GSM 站点规模及覆盖目标的差异, NB-IoT 网络的站点规模约为 GSM 的 1/4, 两者的小区覆盖范围有较大差异, 因此对天馈参数

的优化设定会有较大的不同^[9-10]。在道路上重叠覆盖严重的区域, NB-IoT 独立天馈组网有利于网络覆盖质量的优化提升。

对 NB-IoT 共天馈与独立天馈方式下的覆盖性能进行对比, 结果表明, 室外道路覆盖, NB-IoT 独立天馈比共天馈方式的 RSRP 提升 0.86 dBm、SINR 提升 1.67 dB; 室外覆盖室内的测试对比见表 2。

测试结果表明, 室外覆盖室内, NB-IoT 独立天馈比共天馈方式的 RSRP 提升 2.5 dBm、SINR 提升 3.5 dB。

NB-IoT 独立天馈场景下, RF 优化调整方案不会受到 GSM、FDD 网络覆盖目标不同带来的影响, 不需要联合优化, 可以充分结合 NB-IoT 网络覆盖优化的需求独立进行方位角、机械下倾角、电子下倾角甚至天线挂高的调整优化, 最大化射频优化效果。根据现场测试研究表明独立天馈组网对深度覆盖的优化效果显著。

表 2 NB-IoT 独立天馈方式的室内覆盖性能对比测试

室外覆盖室内	RSRP/dBm			SINR/dB		
	独立天馈	共天馈	增益	独立天馈	共天馈	增益
**百货	-111.48	-113.87	2.389 5	8.884	7.247 5	1.636 5
**大酒店	-86.135	-93.888	7.753	5.166 5	0.349	4.817 5
**职业工程学院	-81.393	-83.79	2.397	12.991 5	6.908 5	6.083
**丽枫酒店	-96.108	-99.906	3.797 98	7.454 29	3.376 67	4.077 62
**大学地下车库	-120.26	-117.46	-2.806 4	1.930 71	-0.317 9	2.248 57
**大学第一食堂	-91.887	-93.553	1.665 5	6.306	4.395 5	1.910 5
平均	-97.877	-100.41	2.532 76	7.122 17	3.659 88	3.462 28



4 基于业务特征的协同优化

4.1 物联网业务特征

物联网业务本身有“业务模型差异大、服务等级差异大、行业用户并发需求高”等特征，从现网 NB-IoT 试验区域统计数据来看，不同业务模型的统计结果呈现较大的差异。采集试验区一天 24 个时段的单时段最大用户数，可看出统计数据与水表上线时间保持一致，如图 1 所示。

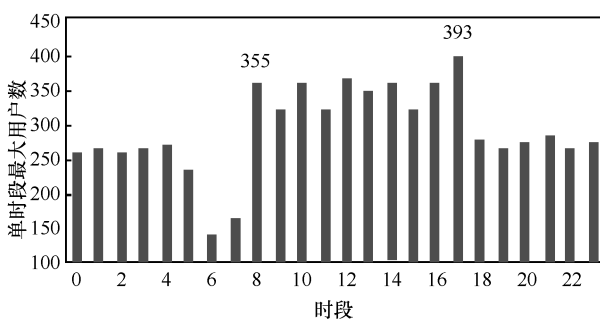


图 1 NB-IoT 单时段最大用户数

采集试验区单小区一天 24 个时段的最大用户数，可看出统计数据与路灯上线时间保持一致，如图 2 所示。

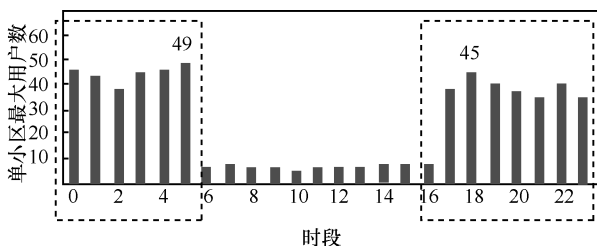


图 2 NB-IoT 单小区各时段最大用户数

4.2 NB-IoT 接入能力

终端访问 NB-IoT 网络包括两个流程：先接入网络，后分配资源。随机接入能力取决于 Msg3 消息处理能力；分配资源的能力取决于 NB-IoT 可调度资源。影响并发接入处理能力主要存在两方面因素：PRACH 周期大小和接入过程中业务信道资源的分配。NB-IoT 接入流程如图 3 所示。

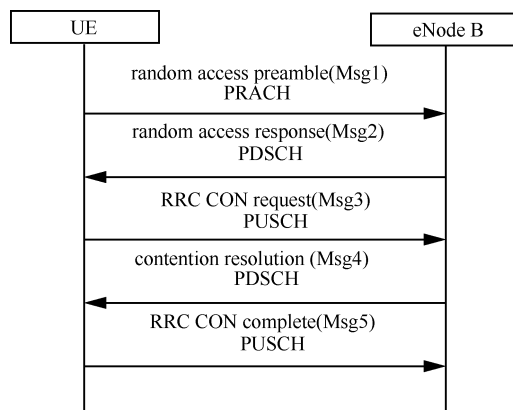


图 3 NB-IoT 随机接入流程

在 PRACH 周期为 320 ms 时，每秒理论最大可并发接入用户 37.5 个。理论并发接入最大用户数计算式如下：

$$\text{理论并发接入最大的用户数} = \frac{\text{时长}}{\text{PRACH周期}} \times \text{PRACH子载波数} \quad (3)$$

$$\text{PRACH子载波数} = \frac{1000 \text{ ms}}{320 \text{ ms}} \times 12 = 37.5$$

目前 NB-IoT 网络默认设置 PRACH 信道固定占用 12 个子载波，每个用户接入占用一个子载波。

在无线环境较好条件下，12 个终端同时发起随机接入，到全部终端 RRC 接入成功用时 0.93 s，其中 Msg2 到 Msg5 资源分配过程耗时 0.92 s，1 s 支持最大支持 12 个用户并发接入。由此来看，并发接入主要受限于 Msg2 到 Msg5 过程中的资源分配。

NB-IoT 接入能力主要考虑两方面：RRC 最大连接用户数和有效 RRC 连接用户数。目前华为和中兴的最大 RRC 连接用户数为 600 个。

(1) 通过计算，100 ms 内最大有效 RRC 连接用户数为 150 个，计算如下：

$$\text{上行理论最大有效用户数, 在 Single-tone 15 kHz 子载波模式, 每个用户占用一个 RU, 未考虑 PRACH 占用的资源。}$$

$$100 \text{ ms最大有效用户数} = \frac{\text{NB-IoT频域带宽}}{\text{RU的频域带宽}} \times \frac{\text{时长}}{\text{RU的时长}} = \frac{180 \text{ kHz}}{15 \text{ kHz}} \times \frac{100 \text{ ms}}{8 \text{ ms}} = 150 \quad (4)$$

(2) 仿真计算时，有效 RRC 连接用户数最

大为 50 个, 计算如下:

仿真最大有效用户数, 在无线环境较好条件下, Single-tone 15 kHz 子载波模式, 进行上行调度仿真, 上行每个用户平均占用 2.5 个 RU, 考虑 PRACH 资源消耗与调度效率, 计算出 8 ms 平均调度的上行用户个数为 4 个。

$$100 \text{ ms 有效 RRC 连接用户数} = \frac{100 \text{ ms}}{8 \text{ ms}} \times 4 = 50 \quad (5)$$

理论上每个上行用户占用 1 个 RU, 实际上行用户平均占用 2.5 个 RU, 因为有效用户数下降为 50 个。一个 RU 频域是 15 kHz, 时域是 8 ms。

用户按覆盖等级强中弱 6:3:1 分布, 60 s 可并发接入用户数约 60 个, 采用接入流程随机化, NB-IoT 单小区并发用户数约 100 个。目前默认设置覆盖等级 0: RSRP 大于 -110 dBm, 覆盖等级 1: -120 dBm 到 -110 dBm, 覆盖等级 2: 低于 -120 dBm。现网实地测试发现: 覆盖等级 0 条件下, 可同时并发 60 个用户同时接入, 但当并发用户数超过 30 个, 接入时延明显增加, 10 s 内可接入用户占比明显下降; 覆盖等级 2 条件下, 同时并发 10 用户出现重建, 接入时延明显增加, 40 用户并发时出现反复尝试最终接入失败问题。

NB-IoT 接入能力主要受限于并发接入处理的能力, 并发接入受限会产生大量重发信令, 造成信令雪崩。针对不同覆盖等级下的 NB-IoT 基站并发接入处理能力进行研究验证。通过验证 60 部终端并发接入测试, 在覆盖等级 0 与覆盖等级 1 覆盖下均可并发接入, 在覆盖等级 2 覆盖下仅能并发接入 36 部。

4.3 NB-IoT 业务与覆盖协同优化

在现网 NB-IoT 业务部署调试过程中, 路灯客户反映终端上线率低, 表现为 300 盏灯有近 40 盏不上线。提取问题区域站点指标, 发现对应时段 RRC 连接成功率低, 业务上线期间网络干扰从 -130 dBm 抬升到 -95 dBm, 如图 4 所示。

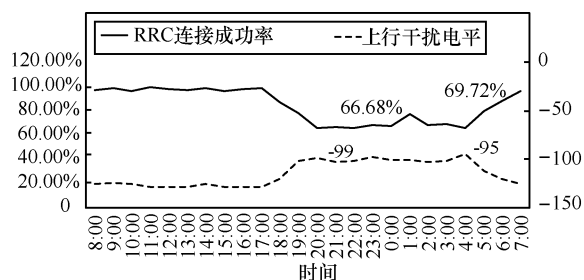


图4 路灯终端 RRC 连接成功率及干扰指标

对应时段覆盖等级 2 的 RRC 连接请求占比急剧抬升, 达到 30%, 如图 5 所示。

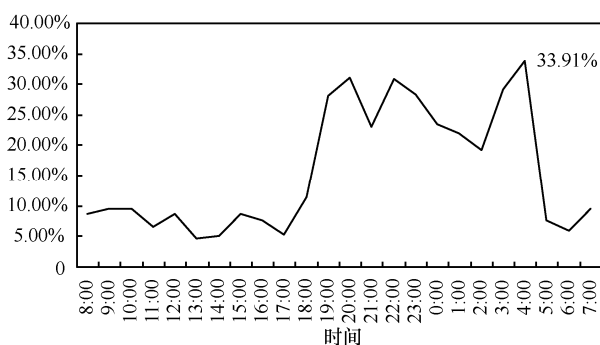


图5 路灯终端覆盖等级 2 的 RRC 连接请求占比趋势

从 RRC 连接成功率指标及干扰变化情况来看, 上行高干扰并不是持续存在, 而是随着 RRC 连接成功率明显降低之后才急剧抬升的。现场测试发现路灯 NB-IoT 终端所处无线环境良好。按照现有覆盖等级门限为 -112/-122 设置, 不会出现覆盖等级 2 用户占比达 30% 的情况。

通过性能指标分析, 发现在路灯上线时间段 RRC 建立失败次数高, 上线时间段基站用户数升高, 伴随 PDCCH 拥塞情况。对 NB-IoT 路灯终端进行上线模型排查, 发现终端未做错峰优化, 路灯的短周期心跳, 频繁接入网络也使得网络拥塞加剧, 影响其他终端接入。

根据上述分析, 可判断路灯终端在覆盖等级 0 集中并发接入, NB-IoT 网络 PRACH、PDCCH 资源拥塞, 终端在覆盖等级 0 发起随机接入尝试后失败, 改由覆盖等级 1 发起接入(终端满功率发射), 继续失败后降级到覆盖等级 2 发起接入尝试(终端满功率发射)。现网 NB-IoT



单小区上行 12 个 NPRACH 子载波（暂不可修改），当前配置 NPRACH 周期为 640 ms，1 s 可同时接入用户数为 18 个。由此可推论：路灯终端集中接入导致网络接入指标下降，终端满功率发射导致网络干扰抬升，终端未做错峰优化、网络容量有限是导致本次接入问题的主要原因。

经过与 NB-IoT 终端厂商协商，优化错峰机制和心跳分组发送周期；同时，NB-IoT 网络侧进行相应的参数优化：加大 NPRACH 接入容量和 PDCCH 容量、优化调整前导最大传输次数和最大尝试次数、ACK/NACK 重复次数以及 PDCCH 相关参数。经过业务侧与网络侧协同优化，终端并发上线问题得到很大改善，路灯控灯率和上线率均达到设计要求。

5 结束语

现阶段 NB-IoT 网络建设初步完成，但是重叠覆盖与干扰问题突出；整体覆盖质量达标，但是局部仍存在覆盖空洞及连续弱覆盖路段；现阶段 NB-IoT 以宏基站覆盖为主，可解决约 90%室内一般场景覆盖，然而，部分室内复杂、疑难场景需进一步研究低成本、易部署的 NB 室内场景覆盖方案。对 NB-IoT 已出现问题的优化分析中，可发现对终端管控能力欠缺，各终端厂商均可自行定义终端接入网络频次、时间，如大量终端同时并发接入网络，将导致网络拥塞、甚至信令风暴；需集客市场口在推广业务时，牵引客户向 NB-IoT 平台靠齐，技术部门在业务应用商用前与行业厂商沟通错峰机制。此外，端到端分析手段欠缺：行业终端的使能，除了运营商端到端管道的能力，还有赖于厂商管理平台的能力，如路灯管理平台故障导致灯不受控，摩拜单车无法上报单车状态等；需尽快实现和完善端到端分析手段，明确问题定界，对于非网络原因导致的问题，督促客户排查。

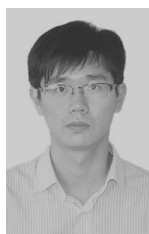
参考文献：

- [1] 何小丹, 宋磊. 基于速率需求的 NB-IoT 上行覆盖性能[J]. 电信科学, 2016, 32(S1): 149-156.
HE X D, SONG L. NB-IoT uplink coverage performance based on rate requirements[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(S1): 149-156.
- [2] 黄韬, 刘昱, 张诺亚. NB-IoT 独立部署下的容量性能分析[J]. 移动通信, 2017(17): 78-84.
HUANG T, LIU Y, ZHANG N Y. Capacity performance analysis of NB-IoT independent deployment[J]. Mobile Communications, 2017(17): 78-84.
- [3] 郭宝, 刘毅, 张阳. NB-IoT 无线吞吐率及低功耗技术探讨[J]. 移动通信, 2017(11): 84-89.
GUO B, LIU Y, ZHANG Y. Discussion on NB-IoT wireless throughput and low power consumption technology[J]. Mobile Communications, 2017(11): 84-89.
- [4] 张超, 高有军, 丁海煜. NB-IoT 性能浅析[J]. 移动通信, 2017(21): 47-52.
ZHANG C, GAO Y J, DING H Y. Analysis of NB-IoT performance[J]. Mobile Communications, 2017(21): 47-52.
- [5] 冯传奋. 窄带物联网部署策略探讨[J]. 移动通信, 2017(20): 64-68.
FENG C F. Discussion on the strategy of narrowband internet of things deployment[J]. Mobile Communications, 2017(20): 64-68.
- [6] 余莎, 黄嘉铭. 基于理论和实测的 NB-IOT 覆盖分析[J]. 移动信息, 2016(12): 72-74.
SHE S, HUANG J M. NB-IOT coverage analysis based on theory and measurement[J]. Mobile Information, 2016(12): 72-74.
- [7] 王阳洋. NB-IoT 技术与网络部署[J]. 电子测试, 2017(17): 60-61.
WANG Y Y. NB-IoT technology and network deployment[J]. Electronic Testing, 2017(17): 60-61.
- [8] 程日涛, 邓安达, 孟繁丽. NB-IoT 规划目标及规划思路初探[J]. 电信科学, 2016, 32(S1): 137-143.
CHENG R T, DENG A D, MENG F L. Preliminary study on planning objectives and planning of NB-IoT[J]. Telecommunication Science, 2016, 32(S1): 137-143.
- [9] 刘玮, 董江波, 刘娜. NB-IoT 关键技术与规划仿真方法[J]. 电信科学, 2016, 32(S1): 144-148.
LIU W, DONG J B, LIU N. Key technology and planning simulation method of NB-IoT[J]. Telecommunication Science,

2016, 32(S1):144-148.

- [10] 张建国. 中国移动NB-IoT部署策略研究[J]. 移动通信, 2017(1): 25-30.

ZHANG J G. Research on NB-IoT deployment strategy of China Mobile[J]. Mobile Communications, 2017(1): 25-30.



刘毅（1985-），男，中国移动通信集团山东有限公司工程师，主要研究方向为TD-LTE网络维护与优化等。

[作者简介]



郭宝（1978-），男，中国移动通信集团山西有限公司高级工程师，主要研究方向为TD-LTE无线优化、端到端优化等。



张阳（1981-），男，博士，中国移动通信集团公司网络部高级工程师，主要研究方向为TD-LTE无线网络优化、5G、大数据网络优化等。