



运营技术广角

NB-IoT 增强技术研究现状和发展趋势

徐芙蓉, 翁玮文, 张超, 卞婷婷, 马新利, 高向东, 李新, 曹蕾
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 作为物联网关键技术的 NB-IoT, 受到了全球运营商的广泛关注。首先概述了 NB-IoT 已商用的技术, 然后从移动物联网增强技术、定位增强技术、移动性增强技术和智能网络优化技术方面详细介绍了 NB-IoT 增强技术的研究现状, 最后介绍了 NB-IoT 技术的未来演进趋势。

关键词: NB-IoT; 增强技术; 网络演进

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020039

Research status and development trend of NB-IoT enhancement technology

XU Furong, WENG Weiwen, ZHANG Chao, BIAN Tingting, MA Xinli, GAO Xiangdong, LI Xin, CAO Lei
China Mobile Research Institute Co., Ltd., Beijing 100053, China

Abstract: NB-IoT, which is the key technology of the Internet of things, has received widespread attention from global operators. Firstly, the commercial technologies of NB-IoT was outlined, then the research status of NB-IoT enhancement technology was introduced in detail from the aspects of mobile IoT enhancement technology, positioning enhancement technology, mobility enhancement technology and intelligent network optimization technology, and finally, future evolution of NB-IoT technology was introduced.

Key words: NB-IoT, enhancement technology, network evolution

1 引言

近年来, 低功耗广域 (low power wide area, LPWA) 逐渐成为物联网技术关注的焦点, 其中, 工作在未授权频谱的广域技术包括 LoRa 和 Sigfox 等, 工作在授权频谱的主要是 NB-IoT、eMTC、EC-GSM 等基于蜂窝网络的物联网技术。

工作在授权频谱的蜂窝物联网技术, 即业界所称的狭义上的“移动物联网”概念, 更受运营商和大中型客户的青睐, 其中 NB-IoT 和 eMTC 已经是业界达成一致的由运营商承建的蜂窝物联网的两大重要技术。

自 2017 年下半年以来, 在全球范围内, 基于运营商建设的低功耗广域网 (low power wide area

收稿日期: 2019-06-11; 修回日期: 2020-02-10

基金项目: 国家科技重大专项 (No.2017ZX03001012-002)

Foundation Item: National Science and Technology Major Project (No.2017ZX03001012-002)

network, LPWAN) 技术快速兴起并逐步商用, 运营商建设的低功耗广域网规模快速增长, 产业成熟度的提升带来物联网部署成本的不断下降, 截至 2018 年 12 月, 全球商用网络达到 98 张。其中, 全球已商用 NB-IoT 网络达到 60 张, 全球已商用的 eMTC 网络达到 38 张。

基于 3GPP R13 的 NB-IoT 基础版本, 与其他系统 (GSM、eMTC) 相比, 在速率、时延、移动性等方面的性能还有一定差距, 无法满足更多场景的业务需求, 需要通过提升相应的技术能力以提升 NB-IoT 的市场竞争力。同时, NB-IoT 不支持测量上报, 导致运营商网络优化难度大, 需要通过相应技术以实现智能网络优化。

2 NB-IoT 增强技术研究现状

2.1 NB-IoT 已商用的技术概述

NB-IoT 是专门为 LPWA 类移动互联网业务设计的全新技术, 采用超窄带、低成本设计 (基于 FDD 半双工模式), 牺牲速率和时延性能, 换取更极致的移动互联网承载能力。NB-IoT 基于 LTE 对终端和网络进行精简, 产业开发周期缩短, 难度降低。NB-IoT 技术可达到续航 10 年, 较 GSM 系统覆盖增强 20 dB、支持 50 000 连接/小区以及低成本的设计目标。在无线网络方面, NB-IoT 采用了以下革新空中接口技术: 采用超窄带设计 (200 kHz 系统带宽, 3.75/15 kHz 信道带宽)、长时间发送 (如多次重复等) 实现覆盖增强; 采用新增模式 (如 PSM 省电模式、eDRX 功能等) 实现功耗降低; 采用低复杂度设计降低成本。

除了上述已商用的 NB-IoT 技术, 3GPP 标准为了进一步提升 NB-IoT 技术的竞争力, 在 3GPP R14 中引入了速率增强、定位增强、移动性增强、智能网络优化等技术。

2.2 移动物联网增强技术

2.2.1 速率增强技术

速率增强通过提升编码速率和支持单用户双

HARQ 进程调度两种技术手段实现。

在提升编码速率方面, 上下行数据信道由原来最多支持 MCS 12 的调制编码方式提升至可支持 MCS 13 的调制编码方式, 同时, 上行数据信道由原来最大支持 TBS 1 000 bit 提升至可最大支持 TBS 253 6 bit, 下行数据信道由原来最大支持 TBS 680 bit 提升至可最大支持 TBS 2 536 bit。上下行数据信道的码率见表 1 和表 2^[1]。

表 1 上行数据信道传输块大小
(下划线数字为 3GPP R14 新增) (单位:bit)

I_{TBS}	I_{RU}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16	32	56	88	120	152	208	256
1	24	56	88	144	176	208	256	344
2	32	72	144	176	208	256	328	424
3	40	104	176	208	256	328	440	568
4	56	120	208	256	328	408	552	680
5	72	144	224	328	424	504	680	872
6	88	176	256	392	504	600	808	1 000
7	104	224	328	472	584	712	1 000	<u>1 224</u>
8	120	256	392	536	680	808	<u>1 096</u>	<u>1 384</u>
9	136	296	456	616	776	936	<u>1 256</u>	<u>1 544</u>
10	144	328	504	680	872	1 000	<u>1 384</u>	<u>1 736</u>
11	176	376	584	776	1 000	<u>1 192</u>	<u>1 608</u>	<u>2 024</u>
12	208	440	680	1 000	<u>1 128</u>	<u>1 352</u>	<u>1 800</u>	<u>2 280</u>
<u>13</u>	<u>224</u>	<u>488</u>	<u>744</u>	<u>1 032</u>	<u>1 256</u>	<u>1 544</u>	<u>2 024</u>	<u>2 536</u>

表 2 下行数据信道传输块大小
(下划线数字为 3GPP R14 新增) (单位:bit)

I_{TBS}	I_{SF}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16	32	56	88	120	152	208	256
1	24	56	88	144	176	208	256	344
2	32	72	144	176	208	256	328	424
3	40	104	176	208	256	328	440	568
4	56	120	208	256	328	408	552	680
5	72	144	224	328	424	504	680	<u>872</u>
6	88	176	256	392	504	600	<u>808</u>	<u>1 032</u>
7	104	224	328	472	584	680	<u>968</u>	<u>1 224</u>
8	120	256	392	536	680	<u>808</u>	<u>1 096</u>	<u>1 352</u>
9	136	296	456	616	<u>776</u>	<u>936</u>	<u>1 256</u>	<u>1 544</u>
10	144	328	504	680	<u>872</u>	<u>1 032</u>	<u>1 384</u>	<u>1 736</u>
11	176	376	584	<u>776</u>	<u>1 000</u>	<u>1 192</u>	<u>1 608</u>	<u>2 024</u>
12	208	440	680	<u>904</u>	<u>1 128</u>	<u>1 352</u>	<u>1 800</u>	<u>2 280</u>
<u>13</u>	<u>224</u>	<u>488</u>	<u>744</u>	<u>1 032</u>	<u>1 256</u>	<u>1 544</u>	<u>2 024</u>	<u>2 536</u>

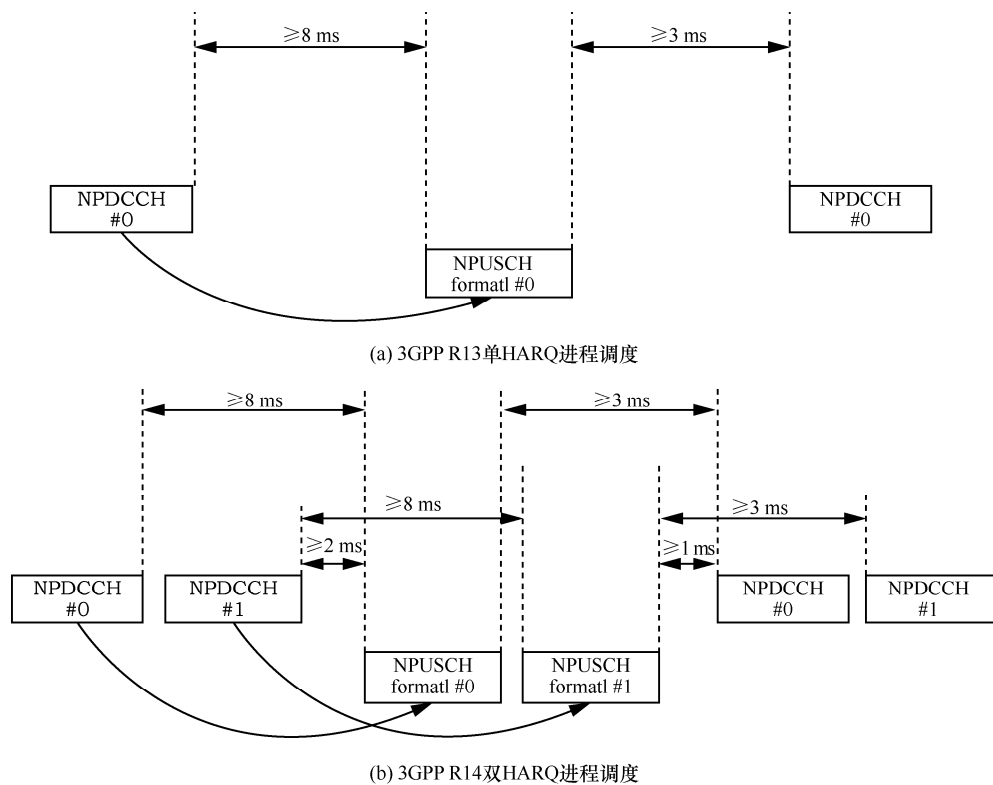


图1 3GPP R13 单 HARQ 进程调度和 3GPP R14 双 HARQ 进程调度

在支持双 HARQ 调度方面，在 3GPP 标准的 R13 中，NB-IoT 单用户仅支持单 HARQ 进程调度，并且上下行信道转换之间有时间间隔要求，单用户传输效率较低。在 3GPP 标准的 R14 中，NB-IoT 单用户可支持双 HARQ 进程调度，单用户传输效率得到提升。以上行调度为例，3GPP R13 单 HARQ 进程调度和 3GPP R14 双 HARQ 进程调度如图 1 所示。

根据调度时序和 TBS 表，经过理论计算，不同工作模式下的单用户峰值速率见表 3 和表 4。

表 3 NB-IoT 上行单用户峰值速率

工作模式	多频传输
3GPP R13、单 HARQ 进程、最大 TBS 为 1 000 bit	60 kbit/s
3GPP R14、单 HARQ 进程、最大 TBS 为 2 536 bit	105 kbit/s
3GPP R14、双 HARQ 进程、最大 TBS 为 2 536 bit	158 kbit/s
3GPP R14、大 TBS+2HARQ、与 R13 相比的增益	163%

对单用户而言，使用双 HARQ 进程调度可提升单用户速率，但从小区角度而言，双 HARQ 进程调度无法提升小区吞吐量。因此，在小区吞吐量方面，主要通过提升编码速率来提高小区吞吐

表 4 NB-IoT 下行单用户峰值速率

工作模式/载波	独立模块/保护带模式		带内模式	
	锚点载波	非锚点载波	锚点载波	非锚点载波
3GPP R13，单 HARQ 进程，最大 TBS 为 680 bit	25 kbit/s	27 kbit/s	22 kbit/s	24 kbit/s
3GPP R14，单 HARQ 进程，最大 TBS 为 2 536 bit	72 kbit/s	79 kbit/s	49 kbit/s	54 kbit/s
3GPP R14，双 HARQ 进程，最大 TBS 为 2 536 bit	105 kbit/s	126 kbit/s	71 kbit/s	86 kbit/s
3GPP R14，大 TBS+2HARQ，与 3GPP R13 相比的增益	320%	367%	222%	258%

量。通过理论计算，考虑一定的上下行信道固定开销，可得到与 3GPP R13 相比，3GPP R14 的小区峰值吞吐量增益。具体的 NB-IoT 小区上下行峰值吞吐量增益见表 5 和表 6。

除了上述理论分析和计算，在实验室环境和现网环境中开展了速率增强的相关测试，评估验证结果如下。

(1) 单用户上行速率

单用户上行峰值速率可达到 151.9 kbit/s；与 3GPP R13 单用户相比，在极好点和好点速率增益明显，提升 50%~188%。

(2) 单用户下行速率

单用户下行峰值速率可达到 103.7 kbit/s；与 3GPP R13 单用户相比，在极好点、好点和中点增益明显，提升 185%~333%。

(3) 小区吞吐量（实验室评估验证）

上行小区峰值吞吐量达到 254 kbit/s，与 3GPP R13 无增益相比；下行小区峰值吞吐量达到 154 kbit/s，比 3GPP R13 提升 22%。上下行均符合理论预期。

R14 速率增强功能可显著提升极好点、好点终端的单用户上下行速率，并将单用户峰值速率提升至 GPRS 水平，极大提升 NB-IoT 的竞争力。

2.2.2 定位增强技术

(1) OTDOA 定位

OTDOA 定位技术是通过终端测量多个小区下行 NPRS 信号的到达时间差（RSTD）来确定终端位置的。终端至少需要测量 3 个非共站小区的 NPRS 信号 RSTD 才可完成定位。终端将测量结果上报给定位服务器 E-SMLC，由 E-SMLC 根据测量结果计算得到终端位置^[2]。

以图 2 的 3 个基站测量为例，终端分别测量 3 个基站的下行 NPRS 信号的到达时间。3 个基站的 TA 值分别为 N_0 、 N_1 和 N_2 ，3 个基站到终端的距离分别为 d_0 、 d_1 和 d_2 。建立如下双曲线方程，解方程即可获得终端的位置。

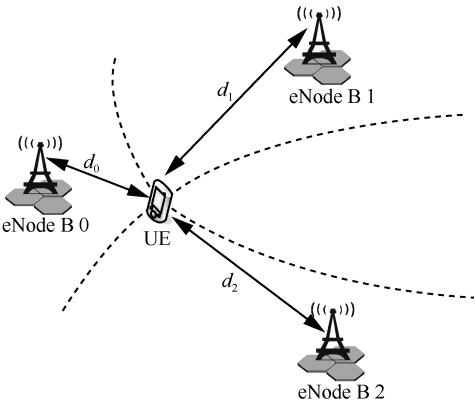


图 2 OTDOA 定位算法原理

表 5 NB-IoT 上行小区峰值吞吐量

工作模式	TBS	传输时间	小区峰值吞吐量 (不考虑开销)	上行开销	小区峰值吞吐量 (考虑开销)	与 3GPP R13 相比的增益
ST 3.75 kHz	872 bit	160 ms	261.6 kbit/s	8%	240.6 kbit/s	0 (240/240)
ST 15 kHz	872 bit	40 ms	261.6 kbit/s	8%	240.6 kbit/s	0 (240/240)
MT 15 kHz	1 032 bit	4 ms	258 kbit/s	8%	237.3 kbit/s	3% (237/230)

注：上行开销为 NPRACH 的资源开销，配置 NPRACH 为 24 子载波、40 ms 周期、6.4 ms 长度，此时对应的开销为 8%。

表 6 NB-IoT 下行小区峰值吞吐量

工作模式	TBS	传输时间	小区峰值吞吐量 (不考虑开销)	下行开销	小区峰值吞吐量 (考虑开销)	与 3GPP R13 相比的增益
SA/GB	2 536 bit	10 ms	253.6 kbit/s	33.33%	169 kbit/s	25% (169/136)
In-band	1 736 bit	10 ms	173.6 kbit/s	33.33%	115.7 kbit/s	10% (115/105)

注：考虑下行系统开销（系统信息和同步信号）为 30%，下行 NPDCCH 开销（占用 1 个 CCE）为 $(0.5/10.5) \times (1-30\%) = 3.33\%$ ，因此下行总开销为 33.33%。



$$\begin{aligned} & \sqrt{(x_{uc} - x_{bs0})^2 + (y_{uc} - y_{bs0})^2} - \\ & \sqrt{(x_{uc} - x_{bs1})^2 + (y_{uc} - y_{bs1})^2} = \\ & d_0 - d_1 = (N_0 - N_1) \times c \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{(x_{uc} - x_{bs0})^2 + (y_{uc} - y_{bs0})^2} - \\ & \sqrt{(x_{uc} - x_{bs2})^2 + (y_{uc} - y_{bs2})^2} = \\ & d_0 - d_2 = (N_0 - N_2) \times c \end{aligned} \quad (2)$$

(2) E-CID 定位

E-CID 定位是 Cell-ID 小区定位的增强版, 比小区定位精度高。小区定位只能给出终端服务基站的位置, 定位精度较差。E-CID 包括上行 E-CID 和下行 E-CID 定位两种。上行 E-CID 是通过终端的服务基站测量上行信号传播的时间差值 (即上行 TA) 的, 基站将测量结果通过 LPPa 协议上报给定位服务器 E-SMLC; 下行 E-CID 是终端测量多个小区的 RSRP 和 RSRQ, 并将测量结果通过 LPP 上报给定位服务器 E-SMLC 的, 如图 3 所示。两种 E-CID 定位算法均是由定位服务器 E-SMLC 根据测量结果计算得到终端位置。

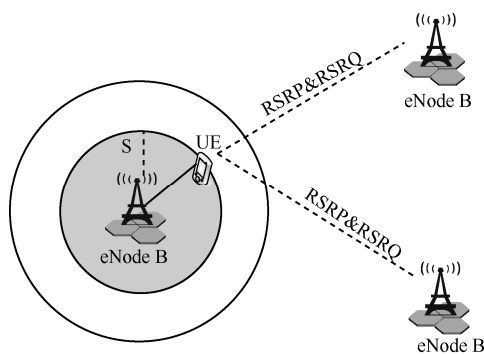


图 3 下行 E-CID 定位算法原理

对于 OTDOA 和下行 E-CID 定位而言, 均需要终端进行测量和上报, 而出于省电的考虑, NB-IoT 终端不支持连接态测量。因此, 在 OTDOA 和下行 E-CID 定位中, 终端首先需在连接态进行定位辅助信息等数据传输, 然后回到空闲态完成测量过程后, 再进入连接态进行测量结果上报。

从定位原理可以看到, 定位精度受站间距、

终端信号质量 (终端信号越好, 测量精度越高)、终端与基站的距离、直射径与否、终端测量到的小区数的影响; 定位时延受终端信号质量 (信号越差, 空中接口传输时延越长)、不活动定时器时长 (终端从连接态回到空闲态需等待的时间, 定时器时长越长, 全流程定位时延越大)、终端测量的小区数 (测量的小区数越多, 测量时间越长) 的影响。

在现网环境中对定位精度和定位时延进行了测试评估, OTDOA 和 E-CID 的平均定位精度在百米级, 可基本满足物联网终端的定位需求。

2.2.3 移动性增强技术

在 3GPP R13 中, NB-IoT 支持控制面 (control plane) 和用户面 (user plane) 两种传输模式。在 CP 模式下, 终端和网络不支持 RRC 连接重建功能。当正在进行数据传输的用户跨小区移动时, 因不支持小区切换发生无线链路失败, 终端脱网后需重新发起 RRC 连接建立过程且数据重新发送, 导致较差的移动用户体验。在 3GPP R14 中, 对移动场景进行了优化, 支持 CP 模式的 RRC 连接重建功能, 可通过 RRC 重建过程恢复数据传输, 从而降低用户跨小区中断时延, 提升移动用户体验。

在现网环境中对移动性增强技术所带来的性能增益进行了测试验证。与 3GPP R13 的脱网重搜相比, 采用 3GPP R14 移动性增强后, 上行业务恢复时延略有降低; 下行由于减少寻呼过程时延增益明显, 下行业务恢复时延降低 30%~40%。

2.2.4 智能网络优化技术

为节省终端能耗, NB-IoT 取消了终端测量报告上报功能, 导致网络无法获取终端 RSRP, 不利于网络优化。而采用路测方式评估小区覆盖, 效率低下且成本高昂。

因此, 在 3GPP R14 中引入了终端通过 MSG5 消息 (RRC 连接建立完成消息、RRC 连接重建完

成消息、RRC连接恢复完成消息)上报服务小区的测量结果 RSRP 和 RSRQ 给基站^[3],从而网络可获取终端的覆盖情况。

而对于现网中已部署的 NB-IoT 3GPP R13 终端,网络可根据终端 MSG3 (RRC 连接建立请求消息、RRC 连接重建请求消息、RRC 连接恢复请求消息)中上报的发射功率余量 (PHR) 信息^[3],利用上下行链路的对称性,近似估算出终端的 RSRP,且不增加额外信令开销和终端功耗,对网络改造很小,人工投入几乎为零。

通过上述两种方案可对现网已部署的 3GPP R13 终端和未来演进终端完成,覆盖评估,为后续智能运维、网络优化等提供数据分析源。

对于上述 MSG5 直接上报终端信号强度的方案,网络获取到的 RSRP 和 RSRQ 就是终端测量到的真实 RSRP 和 RSRQ;网络根据 PHR 估算 RSRP 的方案,由于 PHR 的粒度较粗等,存在一定的误差。

经过现网环境的验证评估,网络根据 PHR 估算 RSRP 方案的评估结果为:在覆盖中差点等覆盖评估主要场景,估算精度较高,估算误差在 0~4 dB。

3 NB-IoT 技术未来演进趋势

3GPP R15 在终端功耗、数据传输时延、网络容量等方面做了进一步优化。

在终端功耗优化和时延方面,提出了数据传输提前 (early data transmission)、物理层调度请求、唤醒信号等。数据传输提前是指终端无需进入连接态,可通过随机接入过程的 MSG3 (RRC early data request-NB)^[3]中携带数据到基站,从而降低数据传输时延和终端功耗。物理层调度请求是支持用户在连接态无需通过随机接入过程即可请求上行资源,降低连接态用户发送分组时延。唤醒信号 (wake up signal)^[4]是指终端在空闲态监听寻呼消息前可先行监听唤醒信号,若未监听到唤醒信号,则无需盲检后续的寻呼消息,

监听唤醒信号比盲检寻呼消息的功耗低,从而达到省电的目的。

在提升网络容量方面,支持 Standalone 和 In-band 多载波灵活组网,可在 Standalone 载波容量受限,通过增加 In-band Non-Anchor 载波进一步提升网络容量^[5]。

物联网业务的需求千差万别,有些业务需要为低功耗,但对传输速率和时延不敏感,有些业务对时延敏感,但对功耗不敏感,因此需在 3GPP R17 及后续技术演进中研究 NB-IoT 差异化服务方案以满足多样化的物联网业务需求。现网中已部署 NB-IoT 智能电动车等移动型物联网业务,对 NB-IoT 的移动场景性能提出了更高的要求,因此 NB-IoT 需在 3GPP R17 及后续技术演进中持续提升其移动性能,为移动物联网用户提供良好的业务体验。

4 结束语

本文详细介绍了 NB-IoT 增强技术的原理和试点结果,包括速率增强、定位增强、移动性增强、智能网络优化。综上所述,NB-IoT 3GPP R15 在降低终端功耗、降低数据传输时延、提升网络容量等的优化技术方案,包括数据传输提前、物理层调度请求、唤醒信号、standalone 和 in-band 多载波灵活组网等。通过上述技术手段,可为物联网用户提供更高、更快、更强的网络能力。

参考文献:

- [1] 3GPP. Physical layer procedures (R15): TS36.213, V15.1.0[S]. 2018.
- [2] 3GPP. LTE positioning protocol (LPP) (R14): TS36.355, V14.6.0[S]. 2018.
- [3] 3GPP. Radio resource control (RRC) (R15): TS36.331, V15.3.0[S]. 2018.
- [4] 3GPP. User equipment (UE) procedures in idle mode(R15): TS36.304 V15.1.0[S]. 2018.
- [5] 程日涛,邓安达,孟繁丽,等. NB-IoT 规划目标及规划思路初探[J]. 电信科学, 2016, 32(Z1): 137-143.



CHENG R T, DENG A D, MENG F L, et al. Study on NB-IoT planning objectives and planning roles[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(Z1): 137-143.

[作者简介]



徐芙蓉（1991- ），女，中国移动通信有限公司研究院无线系统研究员，主要研究方向为移动物联网无线技术及行业应用方案。



翁玮文（1978- ），男，博士，中国移动通信有限公司研究院终端技术与方案研究员、高级工程师，主要研究方向为移动物联网、LTE、Wi-Fi 终端技术及行业应用解决方案。



张超（1982- ），男，中国移动通信有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为移动通信关键技术、蜂窝物联网关键技术。



卞婷婷（1991- ），女，中国移动通信有限公司研究院项目经理，主要研究方向为无线网络。



马新利（1993- ），女，中国移动通信有限公司研究院终端通信软件研究员，主要研究方向为移动物联网终端技术及行业应用方案。

高向东（1990- ），男，中国移动通信有限公司研究院无线系统研究员，主要研究方向为移动物联网无线技术及行业应用方案。

李新（1977- ），男，中国移动通信有限公司研究院主任研究员、高级工程师，主要研究方向为蜂窝物联网、5G 等。

曹蕾（1981- ），女，博士，中国移动通信有限公司研究院主任研究员，主要研究方向为 4G、移动物联网等移动通信技术及行业应用解决方案。