

doi:10.11959/j.issn.2096-3750.2017.00022

NB-IoT 技术特性与组网浅析

张光辉, 孙震强, 鲁娜

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 102209)

摘要: 为应对蜂窝物联网业务的发展, 3GPP R13 推出了 NB-IoT 技术, 旨在满足广覆盖、大连接、低功率、低成本、低速率的物联网业务需求。介绍了 NB-IoT 技术原理与特性, 分析了 NB-IoT 组网方案、产业现状与业务发展前景, 对 NB-IoT 系统的市场和运营也提出了发展建议。

关键词: 物联网; NB-IoT; eMTC

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Analysis of NB-IoT technology character and networking

ZHANG Guang-hui, SUN Zhen-qiang, LU Na

(China Telecom Corporation Limited Beijing Research Institute, Beijing 102209, China)

Abstract: In order to meet cellular Internet of Things development requirements, 3GPP R13 released NB-IoT, which had characters of wide area coverage, large connections, low power, low cost and low rate. Technology theory and character of NB-IoT were firstly introduced, then NB-IoT network scheme, industry status and development prospect were analyzed. At last, NB-IoT ecosystem and services were summarized.

Key words: Internet of Things, NB-IoT, eMTC

1 引言

当前移动通信已向“信息随心至、万物皆可连”的 5G 时代发展, 物联网已成为移动通信的重要发展方向。按速率划分, 物联网可分为低速、中速和高速接入, 如图 1 所示, 其中, 低速接入主要采用低功耗广域接入技术 (LPWA, low power wide area), 代表技术有 NB-IoT 等。LPWA 技术按工作频段可分为两大类, 一类是工作在非授权频段的 LoRa、SigFox 等技术, 另一类是工作在授权频段的蜂窝通信技术, 如 EC-GSM、NB-IoT。其中, EC-GSM 为基于 GSM 技术进行增强的技术, NB-IoT 为全新窄带空口接入技术。

LoRa、SigFox 等工作在非授权频段的 LPWA 技术, 部署和运营无需许可, 传统电信运营商并无优势, 且当大量基站和终端部署后, 会面临不可避免的干扰问题, 造成网络质量不可控。基于移动蜂窝网络的 LPWA 技术, 运行在授权频段, 依托于运营商的大网, 与非授权频段技术相比更为稳定、安

全、可靠。

2 NB-IoT 概述

2.1 NB-IoT 基本原理

窄带物联网 (NB-IoT, narrow band Internet of Things) 是 3GPP^[1-4] R13 定义的全新窄带无线接入技术, 于 2015 年 9 月 3GPP RAN#69 次全会通过立项, 2016 年 6 月完成核心规范, 2016 年 12 月完成设备性能指标规范。NB-IoT 尽可能重用 LTE 空口技术, 带宽为 180 kHz, 上下行速率不超过 250 kbit/s, R13 定义 NB-IoT 终端类型为 Cat.NB1。NB-IoT 主要面向超低成本、超低功耗、超低速率、广覆盖的物联网业务, 如传感器类、抄表类、物流监控、跟踪类等窄带物联网业务。

NB-IoT 基本网络架构如图 2 所示, 基本与 LTE 网络架构保持一致, 主要分为用户面和控制面方案, 用户面方案由 E-UTRAN 直连 SGW, 控制面方案通过 MME 转接 SGW 或 SCEF。当前主流产业支持控制面方案。

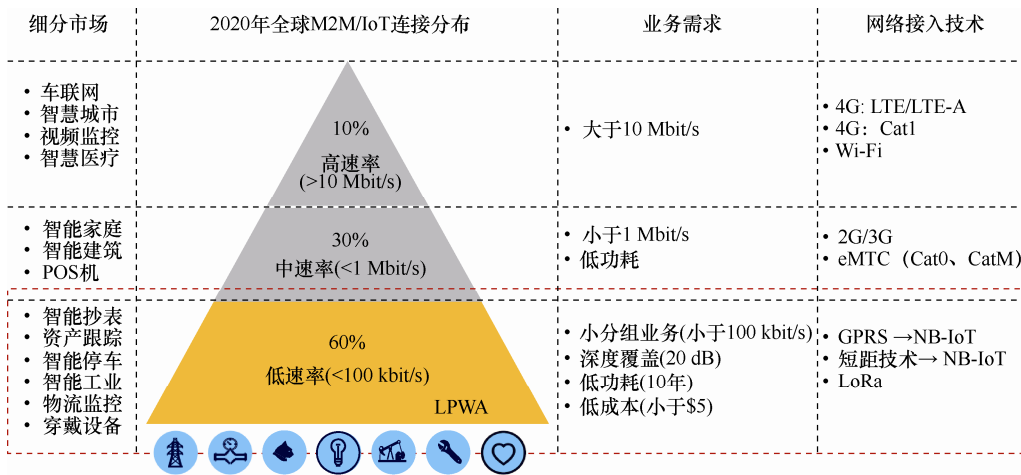


图 1 物联网应用场景与业务特征和网络技术

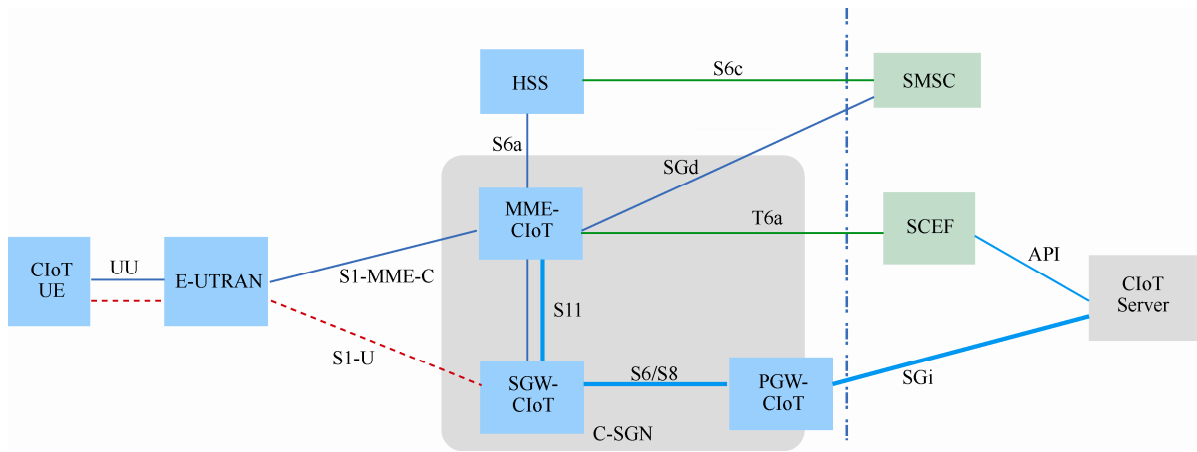


图 2 NB-IoT 网络架构

NB-IoT 空口协议栈如图 3 所示，仍由 PHY、MAC、RLC、PDCP、RRC 和 NAS 层构成，对于只支持控制面的优化方案，PDCP 层透传。

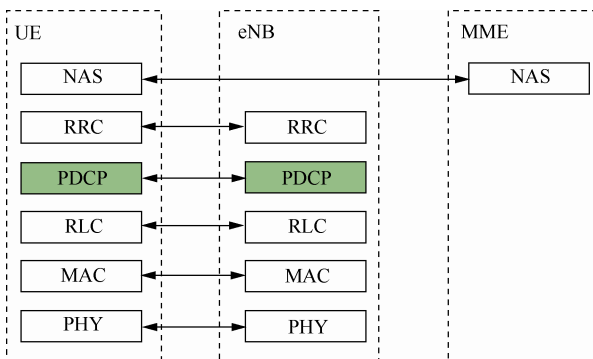


图 3 NB-IoT 空口协议栈

如图 4 所示，NB-IoT 有 3 种工作模式：LTE 带内、LTE 保护带和独立方式。对于 LTE 带内方式，

NB-IoT 占用 LTE 的一个 PRB (180 kHz) 资源工作；对于 LTE 保护带方式，NB-IoT 占用 LTE 的保护带工作，但此时 LTE 带宽要大于或等于 5 MHz。独立方式下，NB-IoT 独立占用 200 kHz。

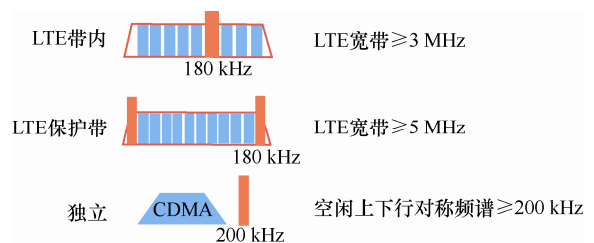


图 4 NB-IoT 工作模式

NB-IoT 仍采用 OFDM 调制，下行子载波带宽 15 kHz，子载波数量 12，占用 180 kHz 带宽。下行每帧 10 ms，1 frame = 10 subframe = 20 slot，1 slot = 7 symbol = 0.5 ms，具体如图 5 所示。

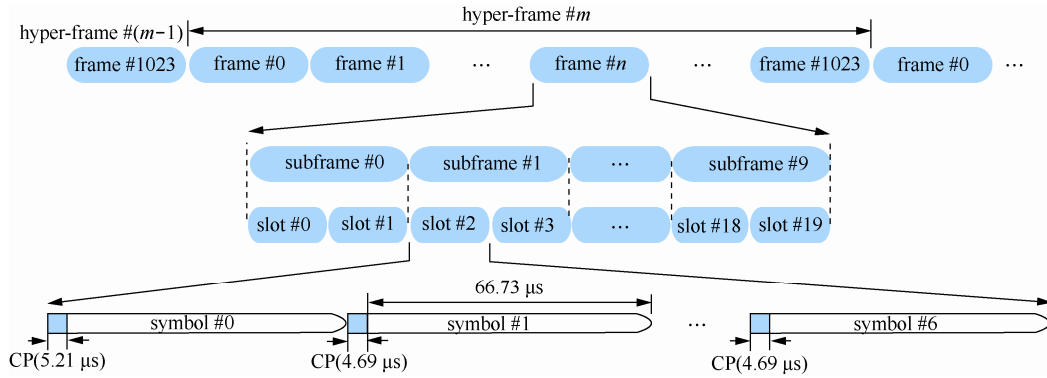


图 5 NB-IoT 帧结构

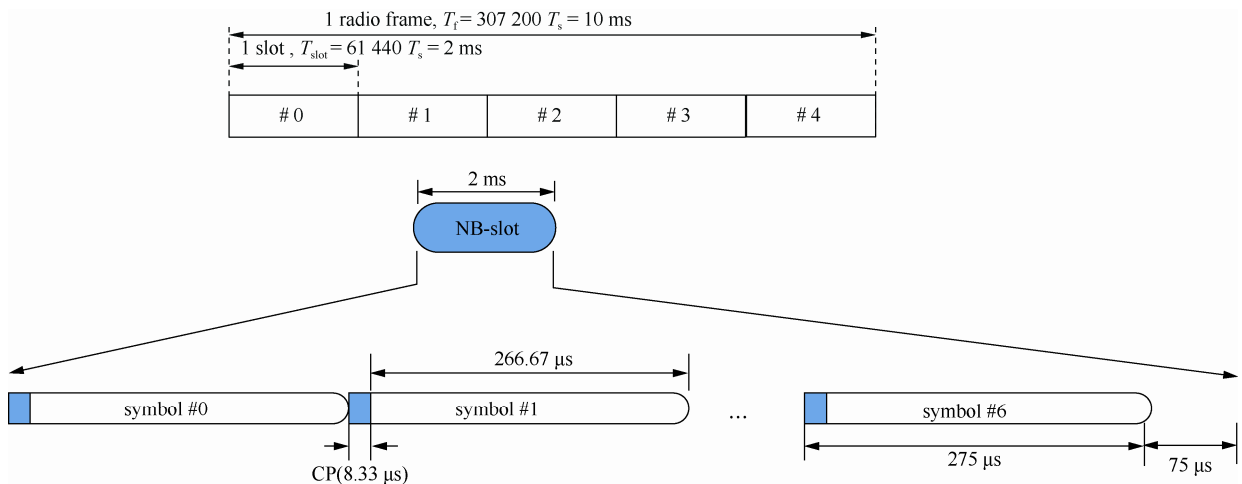


图 6 NB-IoT 上行帧结构 (子载波带宽 3.75 kHz)

上行子载波间隔分 3.75 kHz 和 15 kHz 2 种选择, 并支持 single-tone 和 multi-tone 2 种模式。对于 single-tone, 子载波间隔可以是 3.75 kHz 或 15 kHz, 对于 multi-tone, 子载波间隔仅为 15 kHz。对于 15 kHz 子载波, 帧结构同下行; 对于 3.75 kHz 子载波间隔, 1 radio frame = 5 NB-slot, 1NB-slot = 2 ms, 每个 slot 为 7 symbol, CP 为 8.33 μs, 具体如图 6 所示。

NB-IoT 下行符号有 NRS(NB 参考符号)、NPSS (NB 主同步符号) 和 NSSS (NB 辅同步符号)。NRS 占用每个时隙的最后 2 个符号, 如图 7 所示。

如图 8 所示, NPSS (NB 主同步符号) 和 NSSS (NB 辅同步符号) 主要占用子帧 5 和子帧 9 (偶数帧), NPSS 为长度为 11 的 ZC 序列, NSSS 长度为 131, 由 ZC 序列与 Hadamard 序列组成。如其他信道要使用子帧 5 和子帧 9 (偶数帧) 发射, 发射需全部推迟。

NB-IoT 下行物理信道有 NPBCH、NPDCCH 和 NPDSCH, 没有 PCFICH 和 PHICH 信道。NPBCH 占用无线帧 subframe#0 传输, 不使用子帧的前 3 个符号。

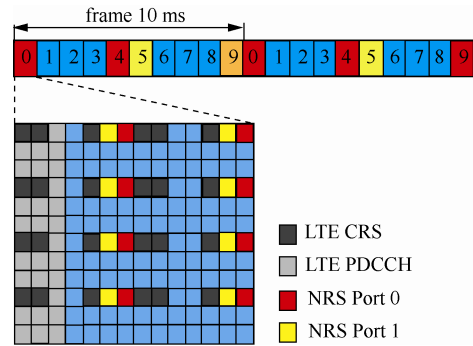


图 7 NB-IoT 参考符号

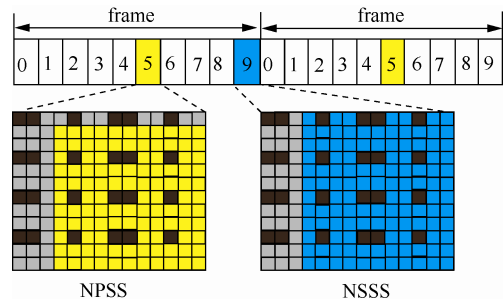


图 8 NB-IoT 的 NPSS 和 NSSS

NB-SIB1 周期是 2 560 ms, 支持的重复次数为 4、8、16。起始无线帧号由 PCID 和重复次数确定。NB-SIB1 TB 映射到 8 个子帧发送, 为连续 16 个无线帧中每隔一个无线帧的子帧上发送。8 个子帧是连续的 16 个物理无线帧中的 8 个奇数无线帧或 8 个偶数无线帧中的子帧 4。

NPDCCH 最大聚合等级 2, AL=2 的 2 个 CCE 位于相同子帧, 只有 AL=2 支持重复传输, 如图 9 所示。

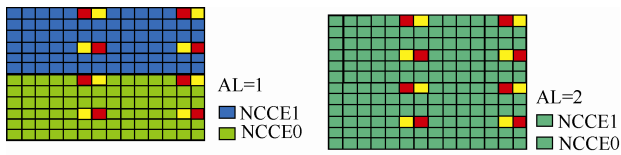


图9 NB-IoT 的 NPDCCH

NPDSCH 最大 TBS 680 bit, 最大重复次数 2 048。支持跨子帧调度, 根据 MCS 和 TBS 选择子帧数 {1,2,3,4,5,6,8,10}, 支持子帧级循环重复。在每个周期, 每个子帧分配的资源连续重复 min(4, repetition) 次, 如图 10 所示。

NB-IoT 上行物理信道有 NPUSCH 和 NPRACH。NPUSCH 的上行调度最小单位为 RU, 具体 RU 大小如表 1 所示。NPUSCH 的 format1 的最大 TBS 为 1 000 bit, 最大重复传输次数为 128。

表 1 NB-IoT 的上行调度单位 RU

NPRACH format	Δf	N_{sc}^{RU}	N_{slebs}^{UL}	时长 /ms	N_{syms}^{UL}
1	3.75 kHz	1	16	32	7
		1	16	8	
	15 kHz	3	8	4	
		6	4	2	
2	3.75 kHz	12	2	1	
		1	4	8	
	15 kHz	1	4	2	

如图 11 所示, NPRACH 采用 single-tone 方式发送, 子载波间隔 3.75 kHz。NPRACH 支持时频域复用, 不支持 Preamble 码分复用。2 种 format 对应不同 CP 长度, 分别为 66.7 μ s 和 266.7 μ s。

NB-IoT 高层过程与 LTE 基本相似, 少数物理层过程稍有不同, NB-IoT 与 LTE 的成本对如表 2 所示。

2.2 NB-IoT 技术特性

基于以上基本原理, NB-IoT 主要有四大技术特性有深覆盖、低成本、低功耗和大连接, 具体如下。

1) 深覆盖: NB-IoT 的 MCL 可达 164 dB, 相对 GPRS 提高了 20 dB, 主要通过提升功率谱密度和重复编码提高覆盖, 如图 12 所示。

2) 低成本: NB-IoT 模组目标成本价低于 5 美

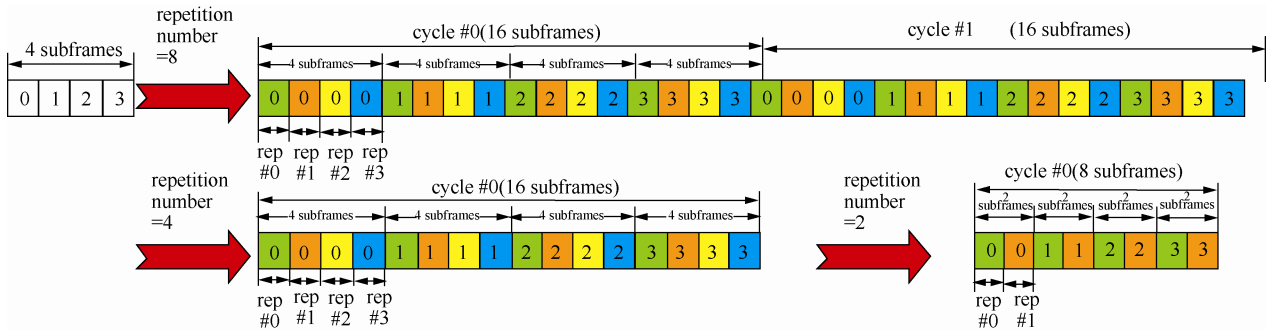
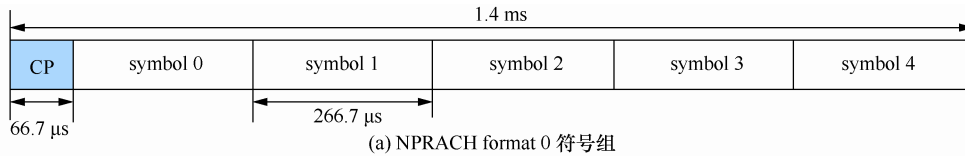
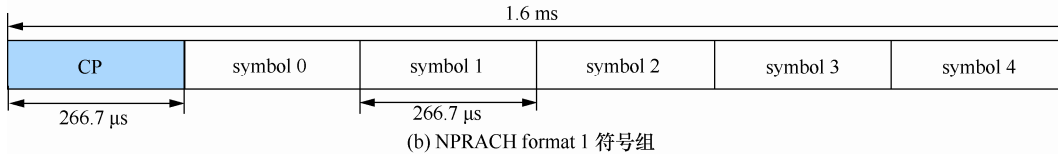


图 10 NB-IoT 的 NPDSCH 重复传输示意



(a) NPRACH format 0 符号组



(b) NPRACH format 1 符号组

图 11 NB-IoT 的 NPRACH 格式

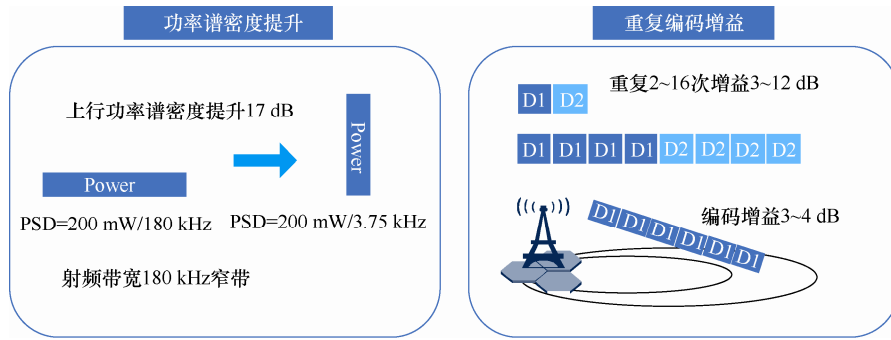


图 12 NB-IoT 的深度覆盖说明

表 2 NB-IoT 与 LTE 成本对比

参数	R8 Cat 4	R8 Cat 1	R13 Cat M1	R13 Cat NB1
终端接收机带宽	20 MHz	20 MHz	1.4 MHz	180 kHz
下行峰值速率	150 Mbit/s	10 Mbit/s	1 Mbit/s	170~226 kbit/s
上行峰值速率	50 Mbit/s	5 Mbit/s	1 Mbit/s	~250 kbit/s
终端最大发射功率	23 dBm	23 dBm	20/23 dBm	20/23 dBm
终端接收通路	2	2/1	1	1
双工方式	全双工	全双工	全双工	半双工
部署方式	LTE 带内	LTE 带内	LTE 带内	LTE 带内/保护带/独立
覆盖(MCL)	>140 dB	>140 dB	>155 dB	>164 dB
移动性	完全移动性	完全移动性	完全移动性	小区重选
相对 Cat4 的复杂性	100%	80%	20%	<15%

元，通过功能简化可降低成本。目前 NB-IoT 成本仍难以降到 5 美元以下，需要规模量产进一步降低。

3) 低功耗：终端低功耗，NB-IoT 终端模块待机时间可长达 10 年，主要手段有：①芯片复杂度降低，工作电流小；②空口信令简化，减少单次传输功耗；③PSM(power saving mode)功耗仅 15 μW；④eDRX(extended DRX)扩展 DRX 周期，最长 2.91 h；⑤长周期 TAU，减少发送位置更新，降低功耗；⑥仅支持小区选择和重选，减少测量开销。

4) 大连接：NB-IoT 目标支持每小区 5 万个连接，主要通过低占空比话务模型提高小区连接数。

3 NB-IoT 组网

3.1 工作频段

为了支持低成本广覆盖，NB-IoT 应部署在低频。目前，全球 NB-IoT 主流均部署在 1 GHz 以下，主要为 900 MHz 和 800 MHz，NB-IoT 的频率位置如图 13 所示。

3.2 工作模式

NB-IoT 可以部署在 LTE 带内，占用 LTE 1 个

PRB；可以部署在 LTE 保护带，占用 180 kHz 带宽；也可以独立部署，占用 200 kHz 带宽(180 kHz 射频带宽+左右各 10 kHz 保护带)。

表 3 针对 NB-IoT 在 LTE 带内部署、LTE 保护带部署、独立部署 3 种部署方案从载波位置配置要求、干扰、覆盖、容量 4 个方面进行对比，运营商可根据需求选择工作模式。

3.3 工作频点

运营商根据各自情况选择合理的频率位置。以中国电信为例，可选择 800 MHz 上端部署，3GPP 仿真结果表明 NB-IoT 需与 CDMA 隔离 395 kHz。

3.4 工作上行子载波间隔

NB-IoT 上行子载波间隔有 3.75 kHz 和 15 kHz 2 种选择，3.75 kHz 深度覆盖相对有优势，但速率和正交带来的干扰相对 15 kHz 有劣势。

3.5 single-tone 与 multi-tone

终端通过 MSG3 multi-tone 指示可通知基站终端是否支持 multi-tone。一般来讲，single-tone 覆盖稍有优势，multi-tone 速率稍有优势，从需求角度，二者最好都支持，发挥互补优势。

表 3 NB-IoT 3 种工作模式对比

工作模式	载波配置要求	干扰	覆盖	容量
带内部署	NB-IoT 锚点载波位置遵守 100 kHz 频偏±7.5 kHz 原则	上行 3.75 kHz 子载波间隔与 LTE 不交, NB-IoT 载波左右需预留 1PRB 保护带或通过调度规避与 LTE 邻频干扰	受限 LTE, 最大 6 dB 抬升, 覆盖小	上行预留保护带影响 LTE 容量避开 LTE 控制信号等位置, 影响 NB-IoT 容量
保护带部署	不同 LTE 带宽可用保护带带宽不同, LTE 带宽不小于 5 Mbit/s	与其他系统邻频干扰风险大, 基本无法共存	受限 LTE, 最大 6 dB 抬升, 覆盖小	NB-IoT 容量无影响
独立部署	频谱相对独立, 部署位置灵活。NB-IoT 载波中心频率满足 100 kHz 整数部要求即可	采用频率隔离措施, 可规避与 LTE 和其他系统间的干扰	功率独立覆盖最大	NB-IoT 容量无影响

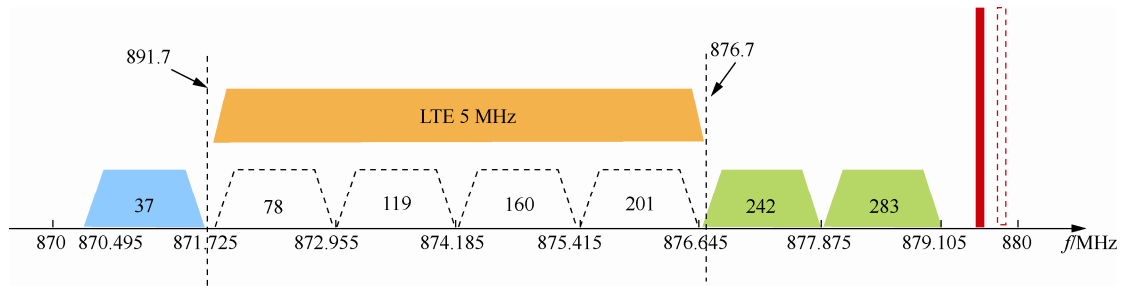


图 13 NB-IoT 的频率位置

3.6 共站方案

对于 NB-IoT 站址与 LTE 站址的关系, 存在 NB-IoT 与 LTE 1:1 组网和 1:N 组网 2 种方案, 一般来讲, 1:1 组网深度覆盖效果较好, 邻频干扰较小, 但投资成本相对较高。

3.7 建设方案

当前主流设备商的基站可在原有 LTE 基站通过 LTE 软件升级或增加少量硬件方式支持 NB-IoT。对于有业务需求的地区, 重用 LTE 的站址、天馈、设备等, 直接软件升级, 即可满足业务需求。

3.8 核心网方案

核心网方案不区分 NB-IoT 和 LTE eMTC, 均统称为 CIoT (cellular Internet of Things), 可共用核心网。

4 NB-IoT 产业与业务进展

4.1 NB-IoT 产业进展

目前华为、中兴、爱立信等主流网络设备厂家均已支持 NB-IoT, 海思、展讯、高通、中兴微电子等芯片公司也已提供 NB-IoT 芯片。移远、u-blox、中兴物联、中兴通讯、SIMCOM、芯讯通、广和通等模组厂家也纷纷推出 NB-IoT 模组。后续随着 NB-IoT 规模发展, 相信更多的芯片厂商和模组厂商会推出更多的相关产品。

当前中国电信全网 30 万 800 MHz LTE 基站升级支持 NB-IoT, 可提供全国覆盖的 NB-IoT 服务,

目前应为全球规模最大的 NB-IoT 网络。同时, 中国移动和中国联通也正在现有 FDD 频率开展部署 NB-IoT 网络。此外, 国外英国沃达丰、德国电信、韩国 LG U+ 等运营商正在或准备部署基于 NB-IoT 的实验网络。

4.2 NB-IoT 业务

NB-IoT 主要适用于低速、低功耗、小数据、广域、相对静止的应用场景。按 GSMA 的研究报告定义了 7 种 LPWA 应用分类: 智能楼宇、农业和环境、消费电子、公共事业、物流、智慧城市以及工业, 如图 14 所示。

5 结束语

为应对未来海量连接的物联网应用需求, NB-IoT 应运而生。NB-IoT 是面向低速物联网应用的窄带蜂窝物联网技术, 无论标准、产业还是应用当前发展均比较迅速, 产业链各方均视为新的蓝海市场, 机遇与挑战并存。

首先, 物联网无线接入技术众多, 不同的技术适用于不同的应用场景, 需要将技术与应用场景进行高效适配, 满足物联网业务需求。以低功耗广覆盖(LPWA)物联网为例, 接入技术包括使用许可频段的 NB-IoT、LTE eMTC 以及使用非许可频段 LoRa、Sigfox 等。对低速率、低功耗、低成本且对网络质量有要求的固定业务场景, 推荐使用 NB-IoT 网络进行承载。

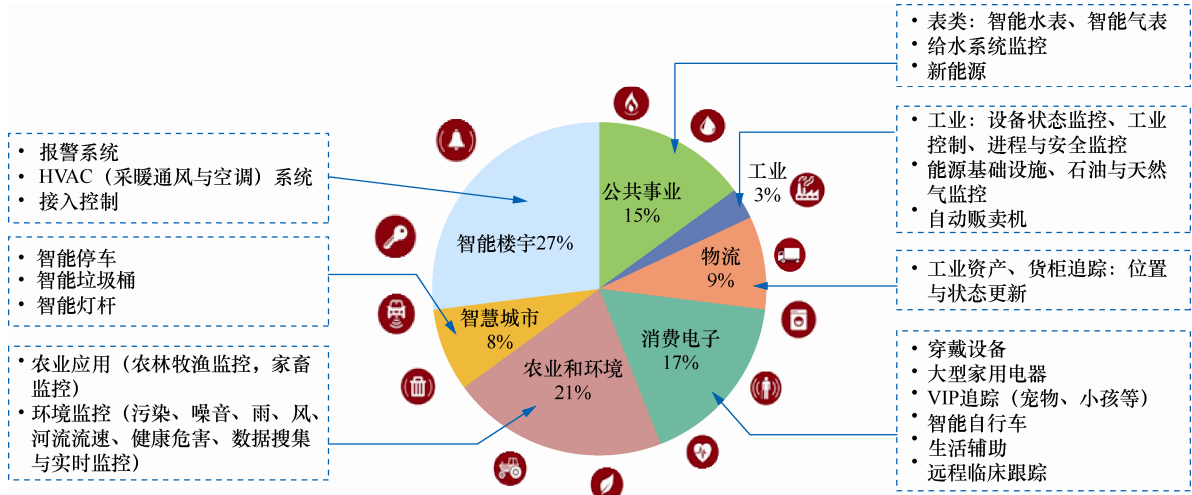


图 14 LPWA 的业务

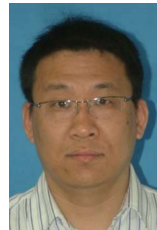
其次，NB-IoT 未来发展需要考虑短信、定位等增值业务。产业界需要尽快支持 SGD 短信功能，对于 R14 的定位和速率增强功能，R15 的小基站和 TDD 系统设计等需要尽快推进，满足后续业务发展需求。

第三，为满足 5G 海量物联网应用场景需求，后续演进技术而考虑运营商网络的持续演进和保护投资。当前 NB-IoT 主要部署在低频，国内 5G 候选频段在 3G 以上，NB-IoT 具有广覆盖低成本优势；物联网终端生命周期长，离网率低，各运营商在 2017~2018 年规模部署的 NB-IoT 网络将面临长期运行维护的需求；NB-IoT 技术可满足一定海量物联网应用要求，后续演进技术只考虑保护运营商网络的持续演进和保护投资。

参考文献:

[1] 3GPP TS 36.211: evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA), physical channels and modulation, release 13[S].
 [2] 3GPP TS 36.212: evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA), multiplexing and channel coding, release 13[S].
 [3] 3GPP TS 36.213: evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA), physical layer procedure , release 13[S].
 [4] 3GPP TS 36.214: evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA), physical layer measurements, release 13[S].

作者简介:



张光辉 (1976-), 男, 中国电信股份有限公司北京研究院无线技术研究室主任、教授级高级工程师, 主要研究方向为移动通信关键技术与网络方案。



孙震强 (1964-), 博士, 中国电信股份有限公司北京研究院副总工程师、教授级高级工程师, 网络研发与运营支持部主任, 中国电信集团科技委员会委员, 主要研究方向移动通信系统、SDN/NFV 网络、高空平台技术等。



鲁娜 (1982-), 女, 中国电信北京研究院高级工程师, 主要研究方向为蜂窝物联网、LTE/LTE-A、5G 网络技术与方案。