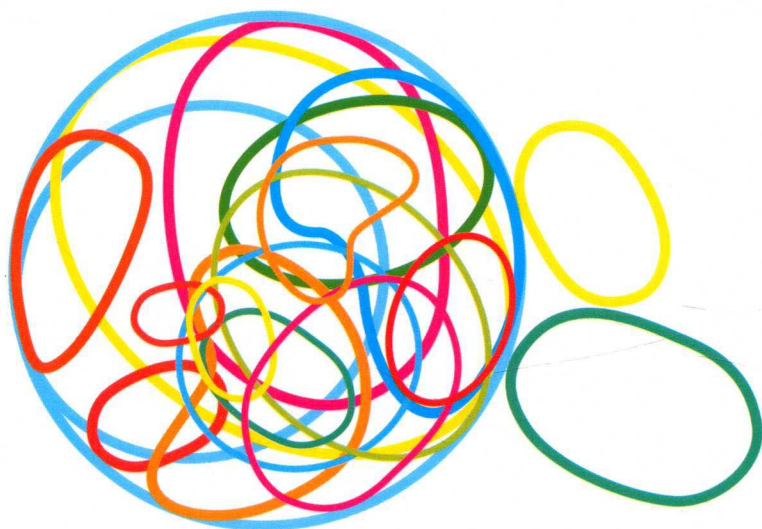


● 专业的解读视角 / 严谨的写作态度 / 本真的人文情怀

# internet of everything

Detailed explanation  
of networking technology —



## 万物互联 蜂窝物联网组网技术详解

张阳 郭宝 / 编著

主流蜂窝物联网技术NB-IoT、eMTC、Sidelink深度解读

第一手的优化案例分析+原汁原味的专业表述

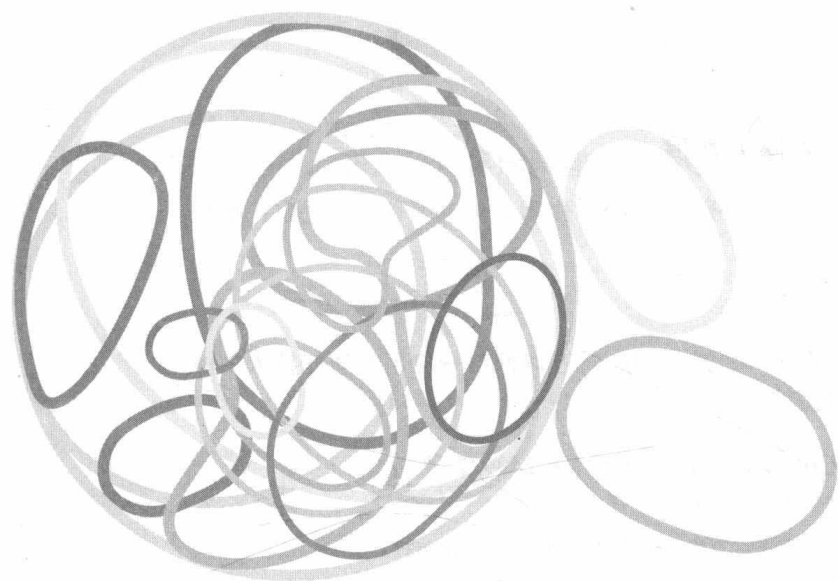
一本温度和态度兼而有之的技术书 + 一本厘清日常工作中概念理论的工具书



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# Internet of everything

Detailed explanation  
of networking technology



## 万物互联

蜂窝物联网组网技术详解

张阳 郭宝 / 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

本书介绍了目前主流的蜂窝物联网技术,其中包括 NB-IoT、eMTC 和 Sidelink。本书以对比的方式,阐述了新兴的蜂窝物联网技术与传统 LTE 技术在系统组网以及关键信令流程方面的差异,便于有一定通信专业基础的读者快速阅读和理解。同时,本书将系统理论与工程实践有机结合,从组网架构及业务流程方面进行了系统性阐述,并对于实际网络优化和运行维护中所需关注的重点问题进行了说明,可以作为通信工程、信息工程和其他相关专业高年级本科生和研究生的参考资料,也可以作为信息与通信工程领域技术人员和科研人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

万物互联:蜂窝物联网组网技术详解/张阳,郭宝编著. —北京:机械工业出版社,2018.10

ISBN 978-7-111-61306-0

I. ①万… II. ①张… ②郭… III. ①互联网络—应用②智能技术—应用 IV. ①TP393.4②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 249922 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:陈文龙 李馨馨

责任校对:张艳霞 责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2019 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·19 印张·334 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-61306-0

定价:69.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

本书献给父亲，永远怀念机场送别的挥手微笑和道别的拥抱！

张阳

本书献给爱人和儿子，怀念陪伴儿子备战高考的无数平静日子。

郭宝



# 推荐序

---

1999 年，物联网（IoT）的概念被美国麻省理工学院首次提出，初期的物联网是指“物-物相连的互联网”。在万物互联时代，IoT 的概念早已突破物-物相连，包括人与物、物与物、人-识别管理设备-物之间在内的连接方式统称为万物互联。伴随大规模物联网需求的产生及移动通信技术的不断发展，通信领域的连接需求正在从人扩展到物。物联网应用领域也逐渐明晰。从个人穿戴设备到智能家居市场，从智慧城市到物流管理等，物联网的出现将实现这些行业的数字化升级及全流程的信息监控与采集，从而引发整个社会的革命性变化。

2010 年前后，学术界开始了基于物联网需求技术的相关研究。作为物联网的候选通信技术，LTE 很早就纳入了业界的视野当中。3GPP R8 版本之后，LTE 的发展大概有两个方向：一是不断追求更高的用户体验，通过一系列调制、编码、天线技术的革新，不断提升频谱效率，提供更高的用户吞吐率；另一个方向是 LTE 整个网络和终端的简化，以实现面向海量部署、低成本、低功耗，从而支持未来物联网市场的技术。下一代通信系统的设计越来越如同定制化的产品设计一样，不会像传统的通信系统设计理念一样瞄准“大而全”的系统，而越来越以应用需求为目标定制化地进行系统设计。

通信技术的发展越来越纷繁复杂，以跨时代发展的角度对比不同的通信系统技术往往是快速学习的切入点，《万物互联：蜂窝物联网组网技术详解》一书是目前为止市面上对于主流蜂窝物联网技术介绍较为全面的一本专著，不仅阐述了 NB-IoT 的相关技术细节，同时也深入研究了 eMTC/物物直通（Sidelink）等蜂窝物联网技术。本书通过对比 LTE/NB-IoT/eMTC 系统，对一些关键的技术细节进行说明，这样能够更全面地把握住系统设计的特点，更好地跨越系统、领悟通信系统设计中的精髓。

本书以 3GPP 协议为主要参考依据，以中立客观的运维视角，从系统设计



最核心、最原创的设计理念对蜂窝物联网通信技术进行解读。作者不仅介绍了蜂窝物联网通信系统是什么，基础信令流程是什么，更有趣的是尝试对为什么这样设计，为什么能想到这么设计进行探究。同时，本书还能够帮助读者大致摸清如何查阅协议，看懂协议，提升信息查阅的能力，是一本不可多得的“授人以渔”的专业书籍。

万物互联时代已然来临，科研工作者任重道远！

网络与交换技术国家重点实验室主任 张平

2018年7月16日



# 自序

---

物联网技术已是全社会关注的热点话题，带动了新一轮的生产方式和行业的变革。已有相当多的资讯对物联网的产业格局和应用进行了解读。作者从一年前开始跟进物联网技术领域，尝试从一个工程师的视角去解读蜂窝物联网的整体框架与技术精髓。编写这本书的初衷是想为通信行业的相关从业者、高校科研机构的研究人员提供一本可用作日常工作中概念理论澄清的工具书，也可作为具备一定通信理论基础知识的人员提供进一步深度学习的引导读物。也许把这一类从工程实践、技术原理类角度切入的书籍作为科普类读物看待，其可读性不一定那么强，甚至有些晦涩难懂，但作者力求以专业的视角，严谨的写作态度，呈现一个温度和态度兼而有之的技术写作。目前市面上关于蜂窝物联网技术较权威、可参考的专业资料相对还较缺乏，甚至 3GPP 的协议规范在不同发布版本下对于同一技术原理的描述说明都是几易其稿，不同协议规范关于一些细节的约束还有自相矛盾之处，这点尤其体现在 eMTC/Sidelink 等相关技术领域。技术没有完美的，总是不断发展的，个人的理解感悟也如此。为了保证信息传递的一致性以及力图呈现原汁原味的专业表述，书中从 3GPP 协议规范截取的相关图表、公式保持了原始英文形态，也请读者一并见谅。

编者



# 致谢

---

校对完书稿已经是 2018 年 3 月 25 日凌晨，回想起过去这一年从接触蜂窝物联网技术的研究学习开始，到 2017 年 11 月底着手将研究的一些体会编纂成书，特别是从 2018 年春节以来每晚笔耕不辍的写作，就像是一场旷日持久的旅行，有撰写“了然于心”内容之时的马踏春风，也有因为“百思不得其解”而踌躇不前。其实做任何事情都不会是一帆风顺的，写作如此，人生亦如此，一切贵在坚持。在写作过程中一度感到心思俱疲，几近灵感干涸的时候，就适时停笔休息一下，休整过后再重新执笔，往往会有意外的认知与发现，这也算是另一个角度的感悟。在坚持中学会休整，不断调整状态再出发，收获颇丰。

需要感恩老父，虽然他已离去多年，当初他指引笔者选择了信息技术这个工作方向，至今无悔。在夜深人静独自写作之时，沉浸品味与父亲相处时光，这是作为儿子温暖的记忆和勇往直前的动力源泉。老父非常尊重科研工作者的价值与所付出的艰辛，对笔者从小就灌输“科研无难事，只要肯登攀”的工作态度，时刻提醒笔者务求秉承实事求是的态度，对科研工作存敬畏之心，悉心付出、认真对待。在此笔者还要感谢一直陪伴的家人和朋友，他们在笔者写作过程中予以无尽的支持、理解和鼓励。需要特别点名致谢的友人有张锴老师（一位严谨治学、无私育人的谦谦君子，在本书写作过程中给予了很多建设性的启发），徐晓东博士（3GPP 当值副主席，通信领域青年工作者的杰出榜样，多年技术探讨积淀的友谊），以及何朗、马凯、李秋香、陈宁宇、邓飞、徐渊、康增辉、吴俊卿、李建玫等众多业内专家和同仁的慷慨交流和解惑。

本书写作过程中笔者经常光顾家附近的小咖啡馆，手边一杯香浓的拿铁，伴随悠然欢悦的背景音乐，是一个很清净的写作环境，也是一段惬意的时光。

张阳



# 目录

# Contents

推荐序

自序

致谢

## 01 绪论 物联网的前世今生

## 17 第1章 NB-IoT 技术概述

### 18 1.1 NB-IoT 系统技术特点

#### 18 1.1.1 NB-IoT 接入网主要协议流程

#### 34 1.1.2 NB-IoT/LTE 开机同步机制

### 37 1.2 NB-IoT 物理层技术

#### 37 1.2.1 NB-IoT 下行物理层技术

#### 55 1.2.2 NB-IoT 上行物理层技术

## 80 第2章 eMTC 技术概述

### 81 2.1 eMTC 系统技术特点

#### 81 2.1.1 eMTC 接入网主要协议流程

#### 89 2.1.2 eMTC 主要工作流程

### 90 2.2 eMTC 物理层技术

#### 91 2.2.1 eMTC 下行物理层技术

#### 111 2.2.2 eMTC 上行物理层技术

## 123 第3章 蜂窝物联网端到端技术

### 124 3.1 蜂窝物联网端到端技术概述

#### 124 3.1.1 蜂窝物联网核心网关键技术流程

#### 138 3.1.2 NB-IoT/eMTC/LTE 端到端主要技术特点对比

### 156 3.2 蜂窝物联网终端的低功耗技术



|            |                                   |
|------------|-----------------------------------|
| 156        | 3.2.1 节电模式功能                      |
| 160        | 3.2.2 延长空闲态 eDRX 功能               |
| <b>163</b> | <b>第 4 章 LTE/eMTC/NB-IoT 随机接入</b> |
| 164        | 4.1 LTE 随机接入                      |
| 164        | 4.1.1 LTE 随机接入参数规划                |
| 178        | 4.1.2 LTE 随机接入过程                  |
| 194        | 4.2 eMTC 随机接入                     |
| 195        | 4.2.1 eMTC 随机接入参数规划               |
| 200        | 4.2.2 eMTC 随机接入过程                 |
| 207        | 4.3 NB-IoT 随机接入                   |
| 207        | 4.3.1 NB-IoT 随机接入参数规划             |
| 215        | 4.3.2 NB-IoT 随机接入过程               |
| <b>222</b> | <b>第 5 章 NB-IoT 规划分析</b>          |
| 223        | 5.1 NB-IoT 网络部署                   |
| 223        | 5.1.1 NB-IoT 部署方式                 |
| 226        | 5.1.2 NB-IoT 1 : $N$ 组网规划         |
| 228        | 5.2 NB-IoT 网络规划                   |
| 228        | 5.2.1 频谱规划                        |
| 231        | 5.2.2 功率规划                        |
| 236        | 5.2.3 参数规划                        |
| <b>238</b> | <b>第 6 章 NB-IoT 评估体系</b>          |
| 239        | 6.1 NB-IoT 性能评估                   |
| 239        | 6.1.1 接入性 KPI 指标                  |
| 241        | 6.1.2 保持性 KPI 指标                  |
| 243        | 6.2 NB-IoT 测试评估                   |
| 244        | 6.2.1 测试指标评估                      |
| 246        | 6.2.2 测试统计评估                      |
| <b>249</b> | <b>第 7 章 NB-IoT 优化分析</b>          |



|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| 250 | 7.1 NB-IoT 覆盖优化                   |
| 250 | 7.1.1 弱覆盖优化                       |
| 254 | 7.1.2 重选慢优化                       |
| 259 | 7.2 NB-IoT 异频优化                   |
| 259 | 7.2.1 异频 1 : $N$ 组网               |
| 263 | 7.2.2 异频 3 频点均衡                   |
| 270 | <b>第 8 章 物物直连 (Sidelink) 技术概述</b> |
| 276 | 8.1 Sidelink 通信技术                 |
| 277 | 8.1.1 Sidelink 通信技术协议栈概述          |
| 278 | 8.1.2 Sidelink 通信无线资源分配           |
| 282 | 8.2 Sidelink 发现技术                 |
| 282 | 8.2.1 Sidelink 发现技术协议栈概述          |
| 284 | 8.2.2 Sidelink 发现技术无线资源分配         |
| 286 | 8.3 Sidelink 技术小结                 |
| 289 | <b>缩略语</b>                        |
| 292 | <b>参考文献</b>                       |



万物互联：  
蜂窝物联网组网技术详解

# 绪论

## 物联网的前世今生



物联网技术已经应用在我们的日常生活中很久了，在一个餐馆吃完饭，准备用信用卡结账，侍应生会拿来移动 POS 机供顾客刷卡，刷卡结算信息就是靠 GPRS 移动蜂窝网络进行回传的。相比用 WiFi 热点传输，对于这类涉及金融交易的物联网应用，移动蜂窝网络的优势相当明显，首先是更大范围的移动性，保险公司的业务员可以开着车，拿着 POS 机等待在公司楼下办理业务。另外就是数据安全性，移动蜂窝网络设计的重要考量因素之一就是对于用户数据的加密鉴权机制，通过这样的安全措施保障，使得用户数据不会被轻易截获。当然还有一些基于 WiFi 热点的物联网应用，比如无线监控摄像头、智能电饭煲等，这些应用的主要特征是超短距离覆盖范围、热点型，家居应用居多。由此可见，物联网应用并不是新鲜的东西，随着国家信息化战略提出开创万物互联的新时代，越来越多的基于移动蜂窝网络的物联网技术，甚至基于私有协议标准的物联网技术登上历史舞台。

物联网技术的一个重要标签就是低功耗，这也是物联网应用与服务能否成为全球范围内下一个最重要的技术浪潮的关键，因此低功耗广域网络（Low Power Wide Area Network, LPWAN）也成了物联网的代名词。涉及 LPWAN 的技术标准阵营众多，比如 IEEE、ETSI、3GPP、IETF、LoRa Alliance 等，当然包括的协议标准更是数不胜数，不仅有物联网那些元老级的技术标准 WiFi、Bluetooth、ZigBee，更有那些物联网技术新贵，比如 NB-IoT、eMTC、SigFox、LoRa 等。为了了解一个个全新技术的基本原理，最好的办法就是循着这些技术的发展轨迹重新走一遭。

## 前世

窄带物联网（Narrow Band Internet of Things, NB-IoT）是蜂窝物联网（Cellular Internet of Things, CIoT）技术的典型代表，窄带物联网的重要技术特点是广覆盖、低功耗（超长待机）、海量连接、数据可靠性，据说最初源自的需求是水表计量中对于用水量的自动计算，并以无线数据的方式进行回传（见图 0-1）。

那么 NB-IoT 这样的新型物联网技术是怎样一步步形成标准的呢？其他的物联网技术还有哪些呢？为了理清蜂窝物联网技术发展的脉络，同时也为了说明目前技术标准共存的现状，我们不得不花一些篇幅从背后的故事说起。

早在 2013 年，包括运营商、设备制造商、芯片提供商等产业链上下游就对窄带蜂窝物联网产生了前瞻性的兴趣，为窄带物联网起名为 LTE-M（LTE for Machine to Machine），名字蕴含的期望是基于 LTE 产生一种革命性的新空口技



术，该技术既能做到终端低成本、低功耗，又能够和 LTE 网络共同部署。同时，LTE-M 从商用角度也提出了广域覆盖和低成本的两大目标。从此以后，窄带物联网的协议标准化之路逐渐加快了步伐。



图 0-1 NB-IoT 技术应用在水表信息上报中

## NB-IoT 之路

初期的技术选型中存在两种思路：一种是对 GSM 网络的演进思路；另一种是华为提出的新空口思路，当时命名为 NB-M2M。尽管这两种技术思路都被包含在 3GPP GERAN 标准化工作组立项之初，但是相比暮气沉沉的 GSM 技术演进，新空口方案反而引起了更多运营商的兴趣。2014 年 5 月，LTE-M 的名字也演变为 Cellular IoT，简称 CIoT，从名称的演变更直观地反映出了技术的定位，同时对于技术的选型态度更加包容。

随着全球金融投资对物联网带来的经济效益集体看涨，在 GERAN 最初立项进行标准化的 CIoT 课题得到了越来越多的运营商和设备商的关注，不过，GERAN 的影响力相对来说已经日趋式微，2015 年 4 月底，3GPP 内部的项目协调小组（Project Coordination Group）在会上做了一项重要决定：CIoT 在 GERAN 研究立项之后，实质性的标准化阶段转移到 RAN 进行立项。这也说明 3GPP 标准化组织顺势而为，通过将 CIoT 技术的标准化工作转移到更大的平台上，以期收获全球更多产业链的关注，其实这里也释放了一个信号：CIoT 已经逐步脱离开老东家 GSM 的技术思路，走向了更新颖、更创新的技术选型之路。

2015 年 5 月，华为与高通共同宣布了一种融合的解决办法：上行采用 FDMA 多址的方式，下行采用 OFDMA 多址方式，融合之后的方案名为窄带蜂窝物联网（Narrow Band Cellular IoT，NB-CIoT），这一融合方案已经基本奠定了窄带物联网的基础架构，这一阶段的某些命名工作也在协议标准上留下了痕



迹,例如涉及核心网协议的 3GPP 24.301 R13 统一将蜂窝物联网技术称作 CIoT,并不区分是 NB-IoT 的接入方式还是非 NB-IoT 的接入方式。

通信技术的更新换代往往孕育着巨大的商业市场,华为和高通在窄带物联网通信领域的前瞻性投入也吸引其他厂商纷纷跟进,爱立信联合其他几家公司提出了 NB-LTE (Narrow Band LTE) 的方案,从名称可以直观地看出,NB-LTE 最主要的目的是能够使用旧有的 LTE 实体层部分,并且有相当大的程度能够复用 LTE 网络的上层协议栈,使得运营商在网络建设时能够减少设备升级的成本,在规划布局上也能够沿用原有的蜂窝网络架构,达到快速升级建网的目的。NB-CIoT 与 NB-LTE 最主要的区别在于采样频率以及上行多址接入技术的选型。两种方案各有特点,技术参数对比见表 0-1。

表 0-1 NB-CIoT 与 NB-LTE 的系统技术参数对比

|                        | Downlink                      |                                | Uplink                 |                                 |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|
|                        | NB-CIoT                       | NB-LTE                         | NB-CIoT                | NB-LTE                          |
| Multiple access        | OFDMA                         | OFDMA                          | FDMA                   | SC-FDMA                         |
| Frame structure        | Frame 1.28s<br>Subframe 160ms | M-frame 60ms<br>M-subframe 6ms | Min.scheduling<br>40ms | M-frame 60 ms<br>M-subframe 6ms |
| Subcarrier spacing     | 3.75kHz                       | 15kHz                          | 5kHz                   | 2.5kHz                          |
| Number of subcarriers  | 48                            | 12                             | 36                     | 72                              |
| Sampling rate          | 240kHz                        | 1.92MHz                        | 240kHz                 | 320kHz                          |
| Modulation             | BPSK,QPSK                     | BPSK,QPSK                      | GMSK                   | BPSK,QPSK                       |
| FFT size               | 64                            | 128                            | —                      | 128                             |
| Cyclic prefix(samples) | 6                             | 9/10                           | None                   | 9/10                            |
| Max.Transmit power     | 43dBm                         | 43dBm                          | 23dBm                  | 23dBm                           |
| FEC                    | CC                            | CC                             | Turbo                  | Turbo                           |

2015 年 9 月,经过多轮角逐和激烈讨论,各方最终达成一致,NB-CIoT 和 NB-LTE 两个技术方案进行融合形成了 NB-IoT,NB-IoT 的名称正式确立。从标准的角度来看,NB-IoT 的名称频繁出现在接入网协议中,某种意义上说明各方对于窄带物联网技术的创新与探索主要面向接入网技术。

2016 年年底,3GPP 规范 Release13 最终完成冻结,至此 NB-IoT 从技术标准中彻底完善了系统实现所需的所有细节。当然,随着技术标准版本的不断演进 (Release 14, Release 15, …),对应的系统设计也在不断地更新升级。

2017 年 2 月,中国移动在鹰潭建成全国第一个地市级全域覆盖 NB-IoT 网络,这预示着蜂窝物联网已经开始从标准理念向正式全网商用落地迈出实质性



的一步。2G GSM 网络从 1982 年创立研究小组到 1995 年中国 GSM 数字电话网正式开通走过了 13 年的历程，3G 移动通信网络从 2000 年国际电信联盟技术标准的确立到 2009 年 1 月国家为三大运营商发放商用牌照用了 9 年，4G 移动通信网络从 2009 年 ITU 在全世界范围内征集 IMT-Advanced 候选技术开始到 2013 年 12 月工信部为三大运营商发放商用牌照只走过了短短 4 年，按照这个趋势看来，在 5G 中面向万物互联的通信网络也不会让我们等待太久。

## eMTC 之路

早在 2002 年，M2M (Machine to Machine)，这一物物通信的雏形概念已经被提出，但碍于通信技术尚未成熟，发展仍属于启蒙阶段，例如自来水、电力公司的自动抄表及数位家庭应用等。随着无线通信技术的快速发展，M2M 的应用服务进入快速发展的阶段，在农业、工业、公共安全、城市管理、医疗、大众运输及环境监控上，都可看到 M2M 的应用，例如智慧节能、智慧车载、智慧医疗、智慧城市、智慧物流等。3GPP 标准组织将 M2M 称为机器型态通信 (Machine Type Communication, MTC)，这是一种新兴的通信架构，以机器终端设备为主，具备网络通信能力，可智慧互动地提供各式各样前所未有的应用与服务，例如监控、控制、资料撷取等资讯化的需求。

早在 2010 年左右，学术界就开始进行了基于物联网需求的 MTC 技术的相关研究。作为物联网的候选通信技术，LTE 很早就进入了业界的视野当中。长期演进系统 (Long Term Evolution, LTE) 七八年以前在 3GPP Release 8 中最早被定义下来之后，就从来没有停止过演进。其发展大概有两个方向：一是不断追求更高的用户体验，通过一系列调制、编码、天线技术的革新，不断提升频谱效率，提供更高的用户吞吐率；另一个方向是 LTE 整个网络和终端的简化，以面向海量部署、低成本、低功耗，从而支持未来物联网市场的技术。3GPP 在 PS22.368 中明确定义了物联网技术 MTC 的服务要求，明确了 MTC 提供一种有别于个人通信的全新市场形态，同时提供低价值、低功耗、小数据流量、面向大链接的数据服务，其中也对其技术特征进行了明确要求，就是低移动性、低频次的业务，MTC 设备状态监控，MTC 设备组的流控以及广播信息优化，定时发送数据或者分时计费，提供稳定安全的连接。如图 0-2 所示，为了满足 MTC 更低传输速率及更低功耗的需求，3GPP R12 在原有面对用户提供更高吞吐能力的终端分类基础上新增 Cat0 的 UE 传输等级，用以支持低速率的终端类型，UE 工作带宽为 20 MHz，支持半双工，最大发射功率为 23 dBm；3GPP R13 将该技术进一步演进，命名为增强型机器型态通信 (enhanced Machine Type

Communication, eMTC), 意味着这一物联网技术性能上的升级。这一个 e (enhancements) 进一步简化终端功能, UE 工作带宽为 1.4 MHz, 支持半双工, UE 可使用更低发射功率 (20 dBm); 3GPP R14 阶段也将新增定位功能、SC-PTM 下行广播功能、异频测量功能等。LTE eMTC 相比 NB-IoT 能够提供更高的传输速率, 拥有更丰富的应用场景。

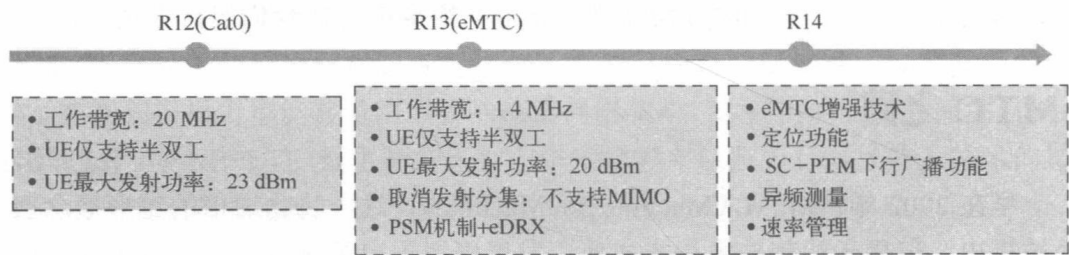


图 0-2 eMTC 的标准发展

协议规定各类型终端能力以及技术参数见表 0-2。

表 0-2 协议规定各类型终端能力以及技术参数

|           | Release 8   | Release 8   | Release 12  | Release 13   | Release 13     |
|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
|           | Cat.4       | Cat.1       | Cat.0(MTC)  | Cat.M1(eMTC) | Cat.M2(NB-IoT) |
| 下行峰值速率    | 150 Mbit/s  | 10 Mbit/s   | 1 Mbit/s    | 1 Mbit/s     | 200 kbit/s     |
| 上行峰值速率    | 50 Mbit/s   | 5 Mbit/s    | 1 Mbit/s    | 1 Mbit/s     | 144 kbit/s     |
| 终端接收天线数量  | 2           | 2           | 1           | 1            | 1              |
| 双工模式      | Full duplex | Full duplex | Half duplex | Half duplex  | Half duplex    |
| UE 接收带宽   | 23 dBm      | 20 dBm      | 23 dBm      | 23 dBm       | 23 dBm         |
| UE 最大发射功率 |             | 20 MHz      | 20 MHz      | 20 MHz       | 1.4 MHz        |
| 调制复杂性     | 100%        | 100%        | 40%         | 20%          | <15%           |

在接入网协议中并没有直接以 MTC/eMTC 的名称出现, 而是以 Low Complexity UE 进行代替, R13 中进一步明确了两种终端类型与技术标准, 分别是 Bandwidth Reduced Low Complexity UE 和 UE in Enhanced Coverage, 体现在物理接入带宽和服务覆盖区域的变化。

相比国内产业链对于 NB-IoT 的热捧, eMTC 似乎没有受到同样程度的关注, 从能搜索到的互联网相关资讯和国内运营商的网络部署进度都能看出一些端倪 (见图 0-3)。从目前掌握的情况来看, 全球物联网部署中, 北美主流运营商更倾向于优先部署 eMTC, 而对 NB-IoT 优先级相对不高, 这可能源于资