

# 窄带物联网(NB-IoT) 标准协议的演进

从R13到R16的5G物联网之路

陆婷 方惠英 袁弋非 戴博 沙秀斌◎著

# NB-IoT

升级版

《窄带物联网(NB-IoT)标准与关键技术》

深入阐述NB-IoT的关键技术和重要的标准化过程



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 窄带物联网(NB-IoT) 标准协议的演进

从R13到R16的5G物联网之路

## 本书特色：

- ① **更全面：**本书涵盖R13、R14、R15、R16的NB-IoT的整体协议，从核心网一直到物理层，深入阐述NB-IoT的关键技术和重要的标准化过程。
- ② **更及时：**R16的NB-IoT标准化工作刚于2020年6月完成，本书将标准化内容及及时呈现给读者。
- ③ **更重要：**NB-IoT是中国在国际电信联盟（ITU）提交的5G技术的重要组成部分，也是目前物联网众多标准技术当中非常热门、非常被看好的一项技术，是中国主推的物联网通信协议。
- ④ **更专业：**本书主要作者袁弋非博士及其团队，长期工作在3GPP NB-IoT国际化的第一线，他们根据参与国际标准制定过程的亲身经历和对技术预研的思考，特编写出本书。



分类建议：物联网/5G

人民邮电出版社网址：[www.ptpress.com.cn](http://www.ptpress.com.cn)

ISBN 978-7-115-53769-0



9 787115 537690 >

定价：129.00元

# 窄带物联网 (NB-IoT) 标准协议的演进

从R13到R16的5G物联网之路

陆婷 方惠英 袁弋非 戴博 沙秀斌◎著

人民邮电出版社  
北京

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.cn1000book.com](http://www.cn1000book.com)

## 图书在版编目(CIP)数据

窄带物联网(NB-IoT)标准协议的演进:从R13到R16  
的5G物联网之路 / 陆婷等著. — 北京:人民邮电出版  
社, 2020.7

ISBN 978-7-115-53769-0

I. ①窄… II. ①陆… 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(2020)第067195号

## 内 容 提 要

本书在回顾 NB-IoT Rel-13 标准的网络架构、控制面协议、用户面协议、物理层技术和关键过程等内容的基础上,进一步介绍了 NB-IoT 从 Rel-14 到 Rel-16 后续多个版本标准演进的需求及立项背景、技术框架与方案选择等多方面的内容。本书重点介绍了 NB-IoT 每个标准版本的核心功能,描述了各功能相关技术方案在标准会议中的讨论情况及方案的确定过程,并且通过对一些关键过程及关键参数的详细描述,帮助读者对相关技术可以有一个比较系统、全面的理解。另外,本书还介绍了 NB-IoT 后续 Rel-17 版本的关键立项目标以及未来技术的发展方向。

本书适合对 LTE 及 NB-IoT 协议有一定了解的移动通信领域从事研究、开发、工程等相关工作的人员阅读,也可供高等院校师生学习参考。

---

◆ 著 陆 婷 方惠英 袁弋非 戴 博 沙秀斌

责任编辑 李 强

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <https://www.ptpress.com.cn>

三河市中晟雅豪印务有限公司印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 25

2020 年 7 月第 1 版

字数: 464 千字

2020 年 7 月河北第 1 次印刷

---

定价: 129.00 元

读者服务热线: (010)81055493 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东市监广登字 20170147 号

**陆婷**，华南理工大学博士毕业，2003年至今就职于中兴通讯。历任软件工程师、标准总监、技术预研专家等，牵头NB-IoT/eMTC多个版本的关键技术研究及高层标准制定工作。已申请发明专利数十项，参与5G国际标准总体方案等多个科技重大专项。

**方惠英**，浙江大学硕士毕业，2003年至今在中兴通讯从事无线通信研发和技术研究工作。参加IEEE和3GPP等标准化组织工作13年，近年来主要负责3GPP NB-IoT和MTC等物联网相关课题的标准化工作，曾担任3GPP RAN1 MTC演进课题的联合报告人。

**袁弋非**，国家特聘专家，清华大学本科和硕士毕业，美国卡内基-梅隆大学博士毕业，曾就职于朗讯贝尔实验室（Bell Labs）。2008年起在中兴通讯负责4G和5G移动通信关键技术研究 and 标准化工作。2020年1月调至中国移动研究院任首席专家，负责6G前沿技术研究工作。兴趣方向包括：多天线技术、非正交多址、信道编码、资源调度、窄带物联网等。

**戴博**，哈尔滨工业大学硕士毕业，2006年至今在中兴通讯从事无线标准技术研究工作，参与了所有LTE版本的物理层标准制定和5G标准技术预研，近年来主要负责物联网标准技术研究工作和6G技术预研。

**沙秀斌**，西南交通大学硕士毕业，2001年至今就职于中兴通讯，先后从事CDMA产品的软件开发，WCDMA、TD-SCDMA、LTE产品的无线算法设计、仿真、外场测试以及NB-IoT的标准技术预研。

移动通信发展历经四十年，从 1G 到 4G，每一代都凝聚了人类智慧和技术发展的结晶，给人类社会带来了有价值的变化。今天我们迈入 5G 时代，5G 将实现网络性能新的飞跃，开启万物互联的新时代。5G 应用在物与物的通信中打开了新的史诗篇章——物联网。近年来，物联网应用发展迅速，已覆盖生产、消费领域等多个应用场景，未来，以智慧城市、智能家居等为代表的典型应用场景与 5G 深度融合，物联网发展将进一步驶入快车道。

2016 年 6 月，3GPP( 第三代合作伙伴计划 ) 完成了 Rel-13 窄带物联网 ( NB-IoT, NarrowBand Internet of Things ) 核心标准的制定，形成了面向低功耗、广覆盖通信技术的全球统一标准，为移动物联网标准的推广和应用奠定了基础。此后，3GPP 对 NB-IoT 技术做了多次完善，历经 Rel-14、Rel-15 和 Rel-16 3 个版本，国际标准的统一在很大程度上拓展和促进了物联网的部署和应用。2019 年，3GPP 将 NB-IoT 纳入 5G 候选技术集合，作为 5G 技术的组成部分提交至国际电信联盟 ( ITU )。相信在全球统一标准的框架下，5G 与物联网技术深度融合，将进一步加速产业的数字化产业转型，对未来经济社会产生深远的影响。

在 NB-IoT 国际化过程中，中国通信业产学研用各个相关单位积极参与国际标准研制，与全球产业界一道，为 NB-IoT 标准制定及其演进做出了积极、重要的贡献。本书主要作者袁弋非博士及其团队，长期工作在 3GPP NB-IoT 国际化的第一线，他们根据参与国际标准制定过程的亲身经历和对技术预研的思考，编写出这部《窄带物联网 ( NB-IoT ) 标准协议的演进》著作，系统、全面地介绍了 NB-IoT 标准的技术演进。本书的出版会帮助大家更好地认识和

了解 NB-IoT 技术的发展, 希望本书能引发信息通信业更多人对 5G 与物联网技术深度融合的关注和思考, 并为我国物联网的发展做出贡献。

中国工程院院士、北京邮电大学教授



2020 年 4 月 8 日



2016年6月，NB-IoT第一版标准协议核心部分正式完成，此后NB-IoT迅速成为产业界关注的焦点，并在短时间内发挥出从芯片、模组、无线、核心网到IoT平台的端到端产业链能力。多家运营商推动完成了包括无线、核心网、终端及应用在内的全产业链组网测试，对包括覆盖增强、终端功耗、业务速率及时延等在内的各项具体指标进行了充分验证，证明NB-IoT能够全面满足各种物联网应用的覆盖需求、业务传输需求及海量连接需求。以此为契机，通信产业界联合传统行业不断推出各种新型应用，如智能电网、智慧停车、智能交通运输/物流、智慧能源管理系统、水质监测等，涉及智慧城市、智慧家庭等众多垂直领域，快速推动了传统行业的升级改造，也给人们的日常生活带来了极大的便利。与此同时，5G NR首发版本也于2017年12月正式冻结，并于2019年开始大规模试验和商业部署。2019年7月ITU会议上，NB-IoT已被正式采纳，作为5G候选技术方案来满足5G时代海量机器连接（mMTC）场景的技术需求。相信5G与NB-IoT的结合，将极大地提高3GPP系统能力，并为垂直行业发展创造更多机会。

规模化的应用催生更加丰富的市场和技术需求，反过来又推动NB-IoT不断演进。3GPP先后于2016年6月、2017年3月及2018年6月立项Rel-14/Rel-15/Rel-16 NB-IoT标准协议演进，一方面继续增强NB-IoT的基本性能，如Rel-14支持多载波来提升小区容量，引入两个混合自动重传请求（HARQ）进程以及更大的上下行传输块大小（TBS）来提高传输速率；Rel-15引入唤醒信号来降低终端功耗，支持提前数据传输（EDT）来降低传输时延和终端功耗；Rel-16引入预配置上行资源（PUR）用于空闲态数据发送，可进一步提升传输效率，提

升系统容量,降低终端功耗。另一方面引入更加丰富的业务功能,如 Rel-14 支持定位和多播; Rel-15 支持时分双工 (TDD) 并引入窄带随机接入信道 (NPRACH) 覆盖增强来满足 100 千米的覆盖需求; Rel-16 支持网络管理工具、异系统网络选择、与 NR 共存以及连接到 5GC 功能。随着 Rel-16 标准正式发布, NB-IoT 演进版本的覆盖能力、终端节电能力、小区容量及吞吐量、与 NR 共存等性能将得到显著提升,展现前所未有的业务支持能力以及更广阔的市场应用前景。

为了帮助产业链上众多相关者了解 NB-IoT 演进版本的增强功能,加速推动 NB-IoT 在各行业的普及和应用,为了帮助研发和工程技术人员深入理解各增强功能的技术细节、更好地进行产品算法设计、缩短产品研发周期,同时也为了让高等院校师生更深入地研究无线通信技术,推动无线通信技术的发展,我们在 2016 年出版的《窄带物联网 (NB-IoT) 标准与关键技术》一书的基础上,再次推出这本介绍 NB-IoT 标准演进的著作。

本书第 1 章简要介绍了 NB-IoT 的背景及进展情况。第 2 ~ 3 章简要回顾了 Rel-13 NB-IoT 标准的基本内容,包括网络架构、控制面 / 用户面协议、关键流程以及物理层关键技术等。第 4 ~ 6 章分别详细讲述了 Rel-14/Rel-15/Rel-16 NB-IoT 各标准演进版本的增强功能。在这部分中,重点描述了针对立项需求识别出的待解决问题,以及针对待解决问题提出的各种方案、方案对比和方案最后的标准化过程。翔实的介绍可以帮助读者充分理解技术本身的优缺点以及标准制定过程中的取舍考虑,从而更好地理解标准协议,进行产品设计和开发。第 7 章结合 Rel-17 立项内容展望了 NB-IoT 下一阶段的标准化热点,承上启下,可以帮助读者回味并思考 NB-IoT 未来的发展。

本书各章节写作分工如下:第 1 章由方惠英撰写;第 2 章由陆婷和卢飞撰写;第 3 章由戴博和袁弋非撰写;第 4 章由陆婷和方惠英撰写;第 5 章由陆婷、方惠英和沙秀斌撰写;第 6 章由陆婷、方惠英、沙秀斌、刘锟、杨维维、胡有军、刘旭和卢飞撰写;第 7 章由戴博撰写;全书由袁弋非和戴博统稿。在此,我们要感谢胡留军、王欣晖、郁光辉、李儒岳、郝瑞晶等技术专家的支持,还要感谢人民邮电出版社的大力支持和高效工作,使本书能尽早地与读者见面。

本书是基于作者的主观视角对标准化讨论过程和结果的理解,观点难免有欠周全之处。对于书中存在不当之处,敬请读者谅解,并给予宝贵意见!

作者

· 第 1 章 · / 背景及概述 / 001

- 1.1 NB-IoT简介 / 002
- 1.2 NB-IoT应用场景 / 002
- 1.3 NB-IoT系统需求 / 003
- 1.4 NB-IoT标准进展 / 004
- 1.5 NB-IoT市场动态 / 006

· 第 2 章 · / Rel-13 NB-IoT网络架构和协议栈 / 007

- 2.1 简介 / 008
- 2.2 总体框架 / 009
- 2.3 协议栈架构 / 011
  - 2.3.1 基于SGi的控制面优化方案的协议栈 / 011
  - 2.3.2 基于T6的控制面优化方案的协议栈 / 012
- 2.4 空口控制面协议 / 013
  - 2.4.1 概述 / 013
  - 2.4.2 RRC功能 / 013
- 2.5 空口用户面协议 / 036
  - 2.5.1 媒体接入控制 / 036
  - 2.5.2 无线链路控制层 / 047

2.5.3 分组数据汇聚协议层 / 047

2.6 其他关键流程 / 049

2.6.1 总体流程 / 049

2.6.2 多载波处理 / 077

2.6.3 安全机制 / 080

2.6.4 小区选择和重选 / 084

## · 第3章 · / Rel-13 NB-IoT物理层 / 089

3.1 物理层下行链路 / 090

3.1.1 同步信号 / 091

3.1.2 物理广播信道 / 093

3.1.3 物理下行控制信道 / 095

3.1.4 物理下行共享信道 / 103

3.1.5 下行参考信号 / 105

3.1.6 中心频点 / 108

3.1.7 DL Gap / 109

3.1.8 下行HARQ过程 / 112

3.2 物理层上行链路 / 119

3.2.1 帧结构 / 119

3.2.2 上行资源单元 / 119

3.2.3 物理上行共享信道格式1 / 121

3.2.4 物理上行共享信道格式2 / 122

3.2.5 物理随机接入信道 / 123

3.2.6 上行参考信号 / 128

3.2.7 SC-FDMA信号生成 / 133

3.2.8 UL Gap / 134

3.2.9 峰均比降低 / 134

## 3.2.10 上行HARQ过程 / 135

## · 第4章 · / Rel-14 NB-IoT / 143

## 4.1 简介 / 144

## 4.2 定位增强 / 144

## 4.2.1 NB-IoT定位参考信号 / 144

## 4.2.2 NB-IoT定位架构 / 148

## 4.2.3 NB-IoT定位过程 / 149

## 4.3 多播传输增强 / 151

## 4.3.1 SC-PTM架构 / 151

## 4.3.2 SC-PTM调度 / 152

## 4.3.3 SC-PTM配置参数获取 / 156

## 4.3.4 SC-PTM传输 / 157

## 4.3.5 SC-PTM移动性 / 164

## 4.4 多载波增强 / 164

## 4.4.1 多载波PRACH / 165

## 4.4.2 多载波寻呼 / 168

## 4.4.3 非锚定NB-IoT载波上的NRS配置 / 170

## 4.5 移动性增强 / 171

## 4.5.1 连接态移动性优化考虑 / 171

## 4.5.2 CP重建立 / 172

## 4.5.3 RLF触发条件优化 / 177

## 4.5.4 空闲态专用载波偏移量优化 / 178

## 4.5.5 异RAT间的空闲态移动性过程 / 179

## 4.6 两HARQ进程以及更大TBS的支持 / 179

## 4.6.1 NB-IoT单HARQ进程支持更大的TBS / 179

## 4.6.2 NB-IoT支持两HARQ进程 / 181

- 4.7 低功率终端 / 182
- 4.8 覆盖增强授权 / 183
- 4.9 释放辅助指示 / 184
- 4.10 使用CP优化的UE间的差异化服务质量 / 185
- 4.11 可靠性数据传输 / 186

## · 第5章 · / Rel-15 NB-IoT / 187

- 5.1 简介 / 188
- 5.2 终端功耗降低 / 188
  - 5.2.1 唤醒信号 / 188
  - 5.2.2 MO数据提前发送 / 194
  - 5.2.3 系统获取时间减少 / 218
  - 5.2.4 RRC快速释放 / 218
  - 5.2.5 邻区测量放松 / 220
- 5.3 频谱效率增强 / 223
  - 5.3.1 半持久性调度 / 223
  - 5.3.2 调度请求 (SR) 增强 / 225
  - 5.3.3 测量精度提升 / 227
  - 5.3.4 RLC UM支持 / 228
  - 5.3.5 功率余量报告增强 / 229
  - 5.3.6 UE测量信息上报 / 230
  - 5.3.7 基站调度辅助信息增强 (终端特征区分) / 231
  - 5.3.8 接入控制增强 / 233
- 5.4 新的应用场景 / 236
  - 5.4.1 PRACH覆盖增强 / 236
  - 5.4.2 独立运行模式增强 / 243
  - 5.4.3 小小区 / 245

- 5.5 TDD NB-IoT / 248
  - 5.5.1 帧结构 / 248
  - 5.5.2 上行链路 / 248
  - 5.5.3 下行链路 / 254
  - 5.5.4 TDD HARQ / 259
  - 5.5.5 定时器扩展和无线参数配置 / 260

## · 第6章 · / Rel-16 NB-IoT / 263

- 6.1 简介 / 264
- 6.2 终端功耗降低 / 265
  - 6.2.1 组唤醒信号 / 265
  - 6.2.2 终端被呼的数据提前传输 / 274
  - 6.2.3 基于预配置上行资源的上行数据传输 / 298
  - 6.2.4 NRS增强 / 315
  - 6.2.5 UE特定DRX / 317
- 6.3 频谱效率增强 / 320
  - 6.3.1 多个传输块联合调度 / 320
  - 6.3.2 测量上报增强 / 327
  - 6.3.3 SON / 329
- 6.4 新的应用场景 / 335
  - 6.4.1 NB-IoT和NR共存 / 335
  - 6.4.2 NB-IoT接入5G核心网 / 340
  - 6.4.3 Inter RAT小区选择 / 351
- 6.5 NB-IoT接入5G核心网增强 / 355
  - 6.5.1 总体流程 / 355
  - 6.5.2 数据传输 / 356

## · 第 7 章 · / 后续演进 / 369

7.1 Rel-17 RAN Work Item (WI)简介 / 370

7.2 未来发展 / 375

缩略语 / 376

参考文献 / 383

# · 第 1 章 ·

## 背景及概述

NB-IoT

