



国之重器出版工程

网络强国建设

网络基础与关键技术研究丛书

Standards and Key Technologies of Narrow Band IoT (NB-IoT)

窄带物联网 (NB-IoT) 标准与关键技术

戴博 袁弋非 余媛芳 主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



国之重器出版工程
网络强国建设

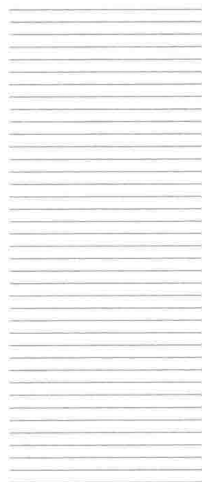
网络基础与关键技术研究丛书



窄带物联网 (NB-IoT) 标准与关键技术

Standards and Key Technologies of
Narrow Band IoT (NB-IoT)

戴博 袁弋非 余媛芳 主编



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

窄带物联网 (NB-IoT) 标准与关键技术 / 戴博, 袁弋非, 余媛芳主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2018.12
(国之重器出版工程·网络基础与关键技术研究丛书)
ISBN 978-7-115-50092-2

I. ①窄… II. ①戴… ②袁… ③余… 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250434号

内 容 提 要

本书介绍了 NB-IoT 标准的背景、技术内容和未来发展, 涵盖了网络架构、控制面协议、用户面协议、物理层技术和关键过程等多方面内容; 还重点介绍了 NB-IoT 协议与现有 LTE 协议的差异, 描述了相关技术方案在标准会议中讨论的情况; 并且, 通过一些关键过程的详细描述, 将各层协议的相关内容串联起来, 从而帮助读者对相关技术可以有一个比较全面、系统的理解。另外, 本书还介绍了 NB-IoT 的关键射频指标, 以及 NB-IoT 标准后续版本中的关键技术和未来的发展方向。

本书主要面向对 LTE 协议有一定了解的移动通信领域从事研究、开发和工程等相关工作的人员, 也可供高等院校师生参考。

◆ 主 编 戴 博 袁弋非 余媛芳

责任编辑 李 强

责任印制 杨林杰

◆ 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 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 720×1000 1/16

印张: 19.5

2018 年 12 月第 1 版

字数: 358 千字

2018 年 12 月河北第 1 次印刷

定价: 108.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

《国之重器出版工程》

编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	李 东	高延敏	何 琼	刁石京
谢少锋	闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生
赵永红	韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波
卢 山	徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁
张 炜	聂 宏	付梦印	季仲华	



专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

- 于 全 中国工程院院士
- 王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 王建民 清华大学软件学院院长
- 王哲荣 中国工程院院士
- 王 越 中国科学院院士、中国工程院院士
- 尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 邓宗全 中国工程院院士
- 甘晓华 中国工程院院士
- 叶培建 中国科学院院士
- 朱英富 中国工程院院士
- 朵英贤 中国工程院院士
- 邬贺铨 中国工程院院士
- 刘大响 中国工程院院士
- 刘怡昕 中国工程院院士
- 刘韵洁 中国工程院院士
- 孙逢春 中国工程院院士
- 苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
中国机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家
工程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原
机械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



屈贤明 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任

项昌乐 “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长

柳百成 中国工程院院士

闻雪友 中国工程院院士

徐德民 中国工程院院士

唐长红 中国工程院院士

黄卫东 “长江学者奖励计划”特聘教授

黄先祥 中国工程院院士

黄 维 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长

董景辰 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员

焦宗夏 “长江学者奖励计划”特聘教授



序 言

移动通信历经四十年发展，深刻地改变了人们的生活方式和社会生产方式，正在成为经济社会发展的重要基础设施。当前，移动通信仍处在快速变革中，核心业务从话音加速向数据更迭，宽带无线从支撑移动互联创新加速向支撑垂直行业移动物联扩展。

近年来，移动物联呈现迅猛的发展势头，特别是窄带物联业务具有数据传输速率低，长距离深度覆盖，电池使用寿命长等特点，适用于水、电、气抄表，物流，消防预警等众多领域，前景广阔。同时，移动物联网的发展也一直面临碎片化问题，应用场景分散，标准林立，产业和应用难于形成规模发展。

窄带物联网（Narrow Band Internet of Things, NB-IoT）是面向低功耗、广覆盖的全球统一标准。NB-IoT 的出现为移动物联标准的推广和应用带来了曙光。NB-IoT 标准在 3GPP 的制定中几乎受到所有运营及设备制造企业的关注，大家都意识到未来物联网的强大潜在市场以及非传统通信厂家巨大的市场压力。在巨大的推动力和广泛参与下，3GPP 在短短 9 个月的时间里，克服各种技术设计挑战，经历多轮艰难的方案融合和筛选，最终于 2016 年 6 月完成 NB-IoT 的核心标准。

在 NB-IoT 国际标准化过程中，中国企业发挥了重要的作用，在第一时间敏锐地发现并启动了 NB-IoT 标准研究工作；在 NB-IoT 国际标准研制中，中国企业与国际企业一道，对最终技术标准的制定做出了重大贡献。当前，全球移动运营及制造企业积极投身于 NB-IoT 研发和市场应用推广，推动移动网络与服务的转型发展。虽然全球移动通信与垂直行业的深度融合仍在探索中，但我们相信 NB-IoT 业务依托移动网络快速部署、统一标准及强大的产业，将会为践行我国“互联网+”“工业制造 2025”国家战略迈出坚实的一步。



本书主要作者袁弋非博士及其团队, 在 NB-IoT 的标准化中, 大胆创新, 既兼顾了 LTE 已有的标准设计理念, 又突出了 NB-IoT 的特性。他们根据国际标准制定的亲身经历, 以及技术预研的思考, 整理出了这一本系统介绍 NB-IoT 标准和关键技术的书。这是一本非常及时的书, 相信这本书的出版会帮助大家更好地认识和了解 NB-IoT。

工业和信息化部信息通信发展司司长 闻库



前言

人类社会进入工业社会，经历了三次工业革命。第一次工业革命的主要特征是以蒸汽机为代表的蒸汽动力的广泛使用，这个时代也被称为蒸汽时代；第二次工业革命的主要特征则是电能的广泛使用，这个时代也被称为电气时代；第三次工业革命的主要特征则是计算机的大规模使用和普及，这个时代也被称为信息化时代。

近期第四次工业革命的概念正在兴起，其主要特点就是物与物之间协作连接。物与物之间的通信是实现物与物之间协作连接的必要条件。由于物联网可以应用到各个领域，如工业、农业、医疗、公共事业和家居等领域，物联网对速率的要求也存在各种需求。目前，高速率使用 3G、4G 通信系统可以满足，中速率使用 2G 通信系统可以满足，低速率还没有完善的低功耗蜂窝标准协议。现有的 4G、3G、2G 通信标准协议无法满足低功耗、低成本、广覆盖和大容量的需求，其他一些低功耗标准协议，如 Lora、Sigfox、Wi-Fi，在信息安全、移动性和容量等方面存在缺陷。因此，对一个新的蜂窝物联网标准的需求越来越迫切。经过全球业界超过 50 家公司的积极参与和一年多的努力，NB-IoT 标准协议核心部分在 2016 年 6 月正式宣告完成。

为了更好地促进 NB-IoT 产业发展，更好地推动物联网的快速普及，以及为了使研究、开发和工程人员可以更好地理解 NB-IoT 标准协议，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，推动无线技术的发展，我们特撰写了本书。本书主要介绍了 NB-IoT 标准背景、网络架构、控制面协议、用户面协议、物理层协议，以及 8 个重要关键过程、射频性能指标和窄带低功耗标准的未来发展。在标准协议内容描述时，重点突出了 NB-IoT 标准协议与现有 LTE 标准协议的差异，以及在标准制定过程中一些其他候



选方案和待解决问题产生的原因,通过方案对比和背景介绍,使读者可以更好地理解窄带通信系统的特性和解决方法的基本途径,从而更好地进行产品设计,以及相关技术研究。另外,为了使读者更好地理解标准协议,我们用专门的一章,将散在各个协议标准中与关键过程相关的内容汇集起来,使读者能够整体把握,较为系统地理解方案细节,减少在看原始标准协议过程中形成碎片化的理解以及在查找多个协议文本才能对某个过程有比较全面清晰理解的麻烦。此外,书中也介绍了一些射频指标,供产品实现人员参考;对 NB-IoT 后续版本中的关键技术、5G 海量物联网场景的关键技术和未来窄带低功耗标准的发展也有简要描述。

本书各章节编写分工如下:方惠英编写第 1 章和第 5.1、6.1 节,李志军、梁爽、高音编写第 2 章;余媛芳编写第 3 章和第 7.7、7.8 和 7.11 节;戴谦编写第 4 章和第 7.5 节,梁春丽编写第 5.2 节;陈宪明编写第 5.3、5.5 和 5.6 节;石靖编写第 5.4、5.8、7.10.1.1 和 7.10.1.2 节;张雯编写第 5.7 和 6.6 节;杨维维编写第 6.2、6.3、6.5、7.10.2.1 和 7.10.2.2 节,刘锟编写第 6.4 和 6.7 节,陈泽为编写第 6.8、7.10.1.3 和 7.10.2.3 节,卢飞编写第 7.1 节,艾建勋编写第 7.2 节;陆婷编写第 7.3 节,刘旭和高音编写第 7.4 节,沙秀斌编写第 7.6 和 7.9 节,李卫敏编写第 7.10.1.4 和 7.10.2.4 节;薛飞编写第 8 章;李书鹏编写第 9 章。全书由戴博和袁弋非统稿。在这里要感谢王欣晖、杜忠达、胡留军、郁光辉、柏刚等技术专家的支持,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



目 录

第 1 章 背景及概述	001
1.1 NB-IoT 背景简介	002
1.2 NB-IoT WI 目标	005
1.3 NB-IoT 系统需求	006
1.4 NB-IoT 标准进展	007
1.5 NB-IoT 市场动态	007
第 2 章 NB-IoT 网络架构	009
2.1 引言	010
2.2 总体框架概述	011
2.3 协议栈架构	013
2.3.1 基于 SGi 的控制面优化协议栈	013
2.3.2 基于 T6 的控制面优化协议栈	014
2.4 网络接口	015
2.5 网元实体	020
第 3 章 NB-IoT 空口控制面协议	027
3.1 概述	028
3.2 RRC 架构	029
3.3 连接控制	030



3.3.1	RRC 连接建立过程	031
3.3.2	RRC 连接恢复过程	033
3.3.3	RRC 释放 / 挂起过程	036
3.3.4	RRC 连接重建立过程	037
3.3.5	RRC 连接重配过程	038
3.3.6	无线资源配置	039
3.3.7	无线链路失败检测及操作	040
第 4 章	NB-IoT 空口用户面协议	043
4.1	媒体接入控制	044
4.1.1	概述	044
4.1.2	关键过程	044
4.2	无线链路控制层	051
4.2.1	概述	051
4.2.2	服务模式	052
4.3	分组数据汇聚协议 (PDCP) 层	053
4.3.1	概述	053
4.3.2	主要功能	054
4.3.3	数据传输过程	055
第 5 章	物理层下行链路	057
5.1	概述	058
5.1.1	多址方式	058
5.1.2	帧结构	058
5.1.3	下行资源单元	059
5.1.4	下行物理信道	059
5.1.5	下行物理信号	059
5.2	同步信号	060
5.2.1	引言	060
5.2.2	信号结构	060
5.2.3	同步序列	061
5.3	物理广播信道	073
5.3.1	信道结构	073
5.3.2	处理过程	074
5.4	物理下行控制信道	077



5.4.1	引言	077
5.4.2	下行控制信息	077
5.4.3	物理下行控制信道格式	080
5.4.4	处理过程	081
5.4.5	搜索空间	082
5.5	物理下行共享信道	086
5.5.1	引言	086
5.5.2	信道结构	086
5.5.3	处理过程	087
5.5.4	传输模式	089
5.6	下行参考信号	089
5.6.1	窄带参考信号	089
5.6.2	小区专有参考信号	092
5.6.3	RRM 测量	093
5.7	下行信号生成	094
5.7.1	中心频点	094
5.7.2	信号生成公式	098
5.8	DL Gap	098
5.8.1	引言	098
5.8.2	方案描述	100
第 6 章	物理层上行链路	103
6.1	概述	104
6.1.1	多址方式	104
6.1.2	帧结构	104
6.1.3	上行资源单元	105
6.1.4	上行物理信道	106
6.1.5	上行物理信号	107
6.2	物理上行共享信道格式 1	107
6.2.1	引言	107
6.2.2	信道结构	107
6.2.3	处理过程	107
6.3	物理上行共享信道格式 2	109
6.3.1	引言	109
6.3.2	信道结构	109



6.3.3	处理过程	110
6.4	物理随机接入信道	110
6.4.1	信道结构	110
6.4.2	随机接入序列结构	118
6.4.3	随机接入信号生成	118
6.4.4	资源配置	119
6.4.5	功率控制	120
6.5	上行参考信号	121
6.5.1	引言	121
6.5.2	时频结构	122
6.5.3	序列	125
6.5.4	序列组跳变	129
6.6	SC-FDMA 信号生成	129
6.7	UL Gap	131
6.7.1	引言	131
6.7.2	方案描述	131
6.8	峰均比降低	132
第 7 章	NB-IoT 关键过程	137
7.1	总体流程	138
7.1.1	附着	138
7.1.2	去附着	143
7.1.3	跟踪区域更新	145
7.1.4	业务请求	149
7.1.5	控制面数据传输	150
7.1.6	用户面数据传输	155
7.1.7	控制面方案与用户面方案切换	158
7.1.8	非 IP 数据传输	160
7.2	系统消息的调度	167
7.2.1	系统消息的类型和结构	167
7.2.2	MIB-NB 的内容与调度	168
7.2.3	SIB1-NB 的内容与调度	169
7.2.4	SI message 的调度	172
7.2.5	系统消息的有效性与更新通知	173
7.2.6	SIB14-NB 的更新	174



7.3	随机接入过程	175
7.3.1	基于竞争的随机接入过程	175
7.3.2	基于非竞争的随机接入过程	182
7.4	寻呼过程	183
7.4.1	寻呼机制增强	183
7.4.2	寻呼的相关计算	184
7.5	接纳控制	185
7.5.1	LTE 系统 ACB 接入控制机制	186
7.5.2	LTE 系统 EAB 机制	187
7.5.3	LTE 系统 Backoff 机制	189
7.5.4	NB-IoT 接入控制机制	190
7.6	多载波处理	193
7.6.1	引言	193
7.6.2	载波类型定义	194
7.6.3	Anchor 载波选择	195
7.6.4	使用条件	195
7.6.5	使用策略	196
7.7	安全机制	197
7.7.1	NB-IoT 密钥架构	197
7.7.2	安全激活	198
7.8	终端能力信息传递	203
7.9	小区选择和重选	204
7.9.1	PLMN 选择策略	206
7.9.2	选择了新的 PLMN 后的小区选择策略	206
7.9.3	空闲模式的测量策略	207
7.9.4	小区重选策略	208
7.9.5	UE 进入连接模式时的小区选择	208
7.9.6	UE 离开连接模式时的小区选择	208
7.9.7	处于正常驻留状态的 UE 的行为	209
7.9.8	处于任何小区选择状态的 UE 的行为	209
7.10	HARQ 过程	209
7.10.1	下行 HARQ 过程	209
7.10.2	上行 HARQ 过程	220
7.11	NAS 信息的传输	229



第 8 章	NB-IoT 射频指标分析	231
8.1	共存分析	232
8.1.1	NB-IoT 共存仿真场景	232
8.1.2	NB-IoT 共存仿真结果	237
8.2	NB-IoT BS 射频指标	241
8.2.1	NB-IoT BS 发射机射频指标	241
8.2.2	NB-IoT BS 接收机射频指标	246
8.3	NB-IoT UE 射频指标	254
8.3.1	NB-IoT UE 发射机射频指标	254
8.3.2	NB-IoT UE 接收机射频指标	262
第 9 章	后续演进	267
9.1	Rel-14 RAN WI 简介	268
9.1.1	定位增强	268
9.1.2	多播传输增强	269
9.1.3	多载波增强	269
9.1.4	移动性增强	269
9.1.5	低功率终端	270
9.2	Rel-14 SA WI 简介	270
9.3	未来发展	270
缩略语		273
参考文献		277