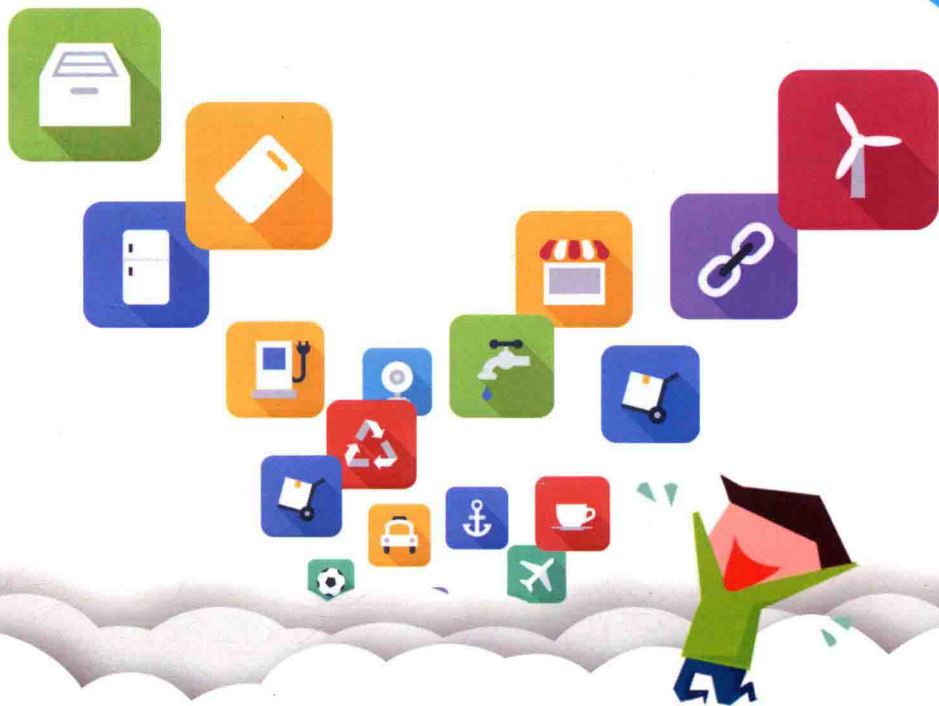


30讲



NB-IOT

从原理到实践

吴细刚 著

- ♥ 从无线网络工程师的视角，用通俗易懂的语言解读了窄带物联网（NB-IoT）的重要特性、基本原理、关键技术和网络规划。
- ♥ 重点介绍了NB-IoT与LTE的异同，方便具备LTE技术基础的读者快速完成知识导入。
- ♥ 整体知识以讲座形式进行科学切分，方便碎片化学习。



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

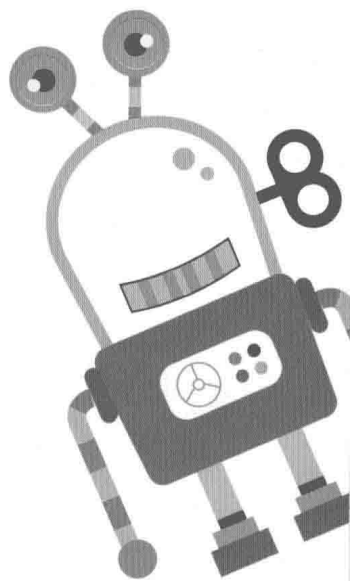


30讲

NB-IOT

从原理到实践

吴细刚 著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以一个无线网络工程师的视角,用通俗易懂的语言解读了窄带物联网(NB-IoT)的重要特性、基本原理、关键技术和网络规划。在阐述的过程中,重点介绍了NB-IoT与LTE的联系与差异,方便具备LTE技术基础的读者快速完成知识导入。书中通过对一些关键过程的详细分析,将散落在各层协议的相关知识点有机串联起来,使得知识全面化、体系化。在内容编排上,将整体知识以讲座的形式进行科学切分,方便读者阅读学习。

本书主要读者对象为移动通信领域从事技术研究、产品开发、网络优化、网络维护、网络规划人员,也可供高等院校师生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

NB-IoT 从原理到实践 / 吴细刚著. —北京:电子工业出版社, 2017.10

ISBN 978-7-121-32894-7

I. ①N… II. ①吴… 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(2017)第 252605 号

策划编辑:张云怡

责任编辑:裴 杰

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:18 字数:216 千字 彩插:1

版 次:2017 年 10 月第 1 版

印 次:2017 年 11 月第 2 次印刷

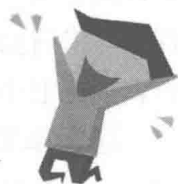
定 价:66.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254573, zyy@phei.com.cn。

序言



当前，移动通信正处在快速变革中，从人与人的连接，发展到人与物的连接，甚至是万物互联，核心业务也从传统语音加速向数据更迭。从运营商的角度来看，语音及数据的业务高峰之后，下个业务的蓝海将是什么？从目前观点来看万物互联将成为第三个高峰，它将创造新的机遇，在多个垂直行业领域创造巨大的市场空间。预计到 2020 年国内的连接规模有望突破 100 亿元，数字化服务关联市场将达到万亿量级（数据来源：麦肯锡）。

中国移动在 2016 年开始全面实施“大连接”战略。NB-IoT 技术因为天生具备“强覆盖、小功耗、低成本、大连接”等特点，深度契合了“万物互联”的技术实现，因而被引入进行现网部署。面对 NB-IoT 这样一门全新的技术，如何快速有效地让技术人员了解、掌握其工作原理，从而促进网络的规划建设、日常维护、网络优化工作，是迫在眉睫的事情。

《NB-IoT 从原理到实践》深入浅出地阐述了 NB-IoT 的技术原理、网络组网、维护要点、优化实操等知识内容，读了数遍之后，谈谈对这本书的理解。

这是本有思想的书。它基于作者一线维护优化的实践，对相关的技术原理进行了梳理、归纳和总结。作者用自己的思路阐述对于 NB-IoT 技术的理解，将之与 LTE 技术展开对比，前后内容连贯，架构完整清晰，知识导入快捷，在比较中加深对于新技术的掌握。

这是本有温度的书。通信技术标准是刻板的，往往让人感到枯燥乏味，本书却通俗易懂，例如用武功招数类比 NB-IoT 的技术特点，以快递的包装类比特结构等，使人一看就懂，趣味性强，使读者感觉好像作者就在自己对面激情四射地讲解，使读者感受到作者带给自己的“温度”。这样的书读来趣味横生，谈笑间即可轻松完成对知识的掌握。

这是本有态度的书。本书力求做到技术细节描述准确，技术观点不偏颇。例如，在讲 NB-IoT 容量问题时，面对各种不同的数据，作者花了较长的时间查阅了大量的知识文献，包括 3GPP 协议，最后通过解读 3GPP 协议，用详实的推导得到最终结论，体现了作者对于技术研究踏踏实实、不偏信的态度。作者还在书中分享了自己技术学习的经验，不光授人以鱼，更授人以渔。

这是本实用的书。一是内容的实用性。本书分为四个篇章，囊括了 NB-IoT 的四大特性、基本原理、关键技术和网络规划，内容全面，知识实用，可以直接作为培训教材使用。二是编排的实用性。作者将本书切割为 30 讲，读者可以从头至尾、由浅入深、手不释卷地通读，也可以直接跳到某一章节对某个专题进行深入学习，通篇内容有机关联又互相独立，便于读者对于专题知识的掌握。

我们组织出版《NB-IoT 从原理到实践》一书，凝聚着作者的勤奋、勤勉，对于技术不懈的追求，也凝聚着我们的期望，期望这样一本有血有肉，有理想、有情怀的书，能成一场及时雨，对公司 NB-IoT 人才培养起到积极的作用，继而提升 NB-IoT 网络规划建设、运行维护的质量，最终助力公司大连接战略的落地。

中国移动通信集团湖南有限公司网优中心总经理
龙南屏

前言



时光荏苒，我已然在移动通信行业摸爬滚打十载有余，先后参与了 GSM、TDS、LTE 网络的建设与优化，而现在正处在万物互联及 5G 兴起的风口，细细思索，这个行业唯一不变的是一直在变，技术的车轮一直滚滚向前。

作为一名技术人员，我一直在不断汲取各方营养滋养自己，如今虽不敢妄称已经修炼为专家，但总算初有所悟、小有所得。又有感于公司新入职员工技术学习道路的艰辛，老同志们又事务缠身，无法时时、处处点拨。于是，我萌生了一个大胆的想法：在公司内部开班授课，传道授业，一来可以赠人玫瑰，二来可以教学相长。不成想，在这三尺讲台上一讲就是七年，从 TDS 讲到了 NB-IoT，自己也从小吴讲成了吴老师。

记得在 2016 年圣诞，有人问我：如何扩大你技术培训的受益面？此后，就有了“吴老师聊通信”公众号。基于多年的技术讲稿，针对 NB-IoT 技术，我将自己的部分技术见解写成了系列文章，斗胆在公众号上陆续发布，一来为了技术的普及，二来鞭策自己努力学习，不断提高。晒文章的同时，亦能求教于各位专家，共同进步。公布之后，我收到了好多点赞，好多鼓励（当然也有拍砖的），还有好多朋友在问，有没有出版实体书可以用来系统学习？但我一直回复没有。也有出版商邀约书稿，我亦婉拒。因为潜意识里我觉得写书是件非常严肃的事情，公众号上的文章可以嬉笑怒骂，更新速度可以或缓或急，写的内容亦可天马行空。但是一旦集结成册，就必须严肃对待，我需对技术细节负责，对知识结构进行系统化，对行文进行规范……直到 2017 年春节后，我的领导鼓励我：为了方便系统化学习，还是汇编成书吧。此后，我用了半年时间，翻阅各种资料，梳理思路，整理文字，将多年的知识进行沉淀，最终汇成

此书。

应该说，没有众多朋友、同事、领导、同行、热心网友以及家人的支持，这本书就难以面世，在此，诚挚致谢！特别感谢我的好朋友蒋专、刘言敏等，在网络规划章节给予我很多好的技术建议。

写作本书，我秉承三个基本原则：一是内容上坚持理论加实践，尽量选取跟工作中相关的内容进行讲解，并配备一些现网应用情况；二是尽量做到通俗易懂，在这点上，多年讲课的经验给了我很大的帮助，让我知道如何做到深入浅出，书中大量利用了生活中的例子进行类比说明，使得技术不再是冷冰冰的公式、图表和文字；三是如何做到快速理解，我在本书中重点介绍了NB-IoT与LTE的异同，方便具备LTE技术基础的读者快速完成知识导入，另外尽量多利用图、表进行讲解，使得内容形象化、生动化。

本书是基于作者的主观视角编写而成，其中夹杂了很多例证，观点难免有欠妥之处；又因为是技术讲稿，其间表述难免有不当之处，敬请读者谅解，欢迎提出宝贵意见。

作 者

目录



四大特性篇

第 1 讲	NB-IoT 的笑傲江湖	2
1.1	物联网的前世今生	2
1.1.1	何为物联网?	2
1.1.2	物联网的应用场景	3
1.1.3	物联网技术的众生相	4
1.2	NB-IoT 的笑傲江湖	6
1.2.1	NB 是什么	7
1.2.2	NB 大战不同门派	8
1.2.3	NB 大战同门师兄弟	9
1.2.4	NB 大战同门不同宗派	10
第 2 讲	NB-IoT 强覆盖之降龙掌	11
2.1	第一招 飞龙在天	11
2.2	第二招 六龙回旋	13
2.3	第三招 亢龙有悔	15
2.4	15kHz 能达到 20dB 增益吗?	16
2.5	链路预算表	17
第 3 讲	NB-IoT 低功耗之前戏要做足	18
3.1	DRX 概述	18
3.2	场景一: Idle DRX	19
3.3	场景二: Connected DRX	21

3.4	场景三: RRC Inactive Timer	23
3.5	小结	24
第 4 讲	NB-IoT 低功耗之太极拳	25
4.1	PSM	25
4.2	eDRX	28
4.3	PSM 和 eDRX 的关系	29
4.4	节电技术小结	30
第 5 讲	NB-IoT 低成本之葵花宝典 1	31
5.1	采用 FDD 半双工, 降低器件复杂度	31
5.2	新硬件结构, 裁剪不必要的硬件	35
第 6 讲	NB-IoT 低成本之葵花宝典 2	37
6.1	根据终端窄带特性, 简化信道及物理层	37
6.2	新空口协议栈, 阉割芯片运算能力	38
6.3	产业链及运营等影响成本的因素	40
6.4	芯片成本进展	41
6.5	低成本小结	42
第 7 讲	NB-IoT 大连接之乾坤大挪移	43
7.1	NB-IoT 的用户密度估算	44
7.2	单小区 50k 连接数如何做到?	45
7.3	实际容量估算	47
7.4	关于容量的一些思考	48

物理信道篇

第 8 讲	NB-IoT 工作带宽为多少, 这是个问题!	50
8.1	LTE 带宽分析	50
8.2	NB 是 200kHz?	52
8.3	NB 是 180kHz?	53
8.4	为什么大家都在谈 GSM 退频给 NB 用?	54
第 9 讲	NB-IoT 的三种部署方式	56
9.1	你到底叫啥名?	56



9.2	三种部署方式	56
9.3	NB-IoT Channel Raster	58
9.4	三种部署方式性能比较	60
9.5	终端如何区分部署方式?	62
第 10 讲	NB-IoT 物理层结构	63
10.1	下行物理层结构	63
10.1.1	频域分析	64
10.1.2	时域分析	64
10.2	上行物理层结构	66
10.2.1	频域分析	66
10.2.2	时域分析	68
10.3	上行资源单元 RU	69
第 11 讲	NB-IoT 下行主同步信号 NPSS	72
11.1	练好基本功——Zadoff - Chu Sequence	72
11.2	NPSS 信号作用和资源映射	75
11.3	NPSS 信号的生成	77
第 12 讲	NB-IoT 下行辅同步信号 NSSS	80
12.1	NSSS 信号作用和资源映射	80
12.2	NSSS 信号的生成	83
12.3	NB 同步信号与 LTE 比较	86
第 13 讲	NB-IoT 下行参考信号 NRS	87
13.1	LTE 中下行参考信号 RS	87
13.2	NRS 信号的生成及作用	89
13.3	NRS 资源映射	90
13.4	遇到的挑战	92
13.5	NRS 与 CRS 比较	93
第 14 讲	NB-IoT 下行广播信道 NPBCH 信道	94
14.1	信号与信道的区别	94
14.2	系统消息简介	94



14.3	NPBCH 中内容解码	96
14.4	NPBCH 的处理过程	98
14.5	NPBCH 资源映射	100
14.6	NPBCH 与 PBCH 比较	101
第 15 讲	NB-IoT 下行控制信道 NPDCCH	102
15.1	NPDCCH 的 DCI 格式和功能	102
15.2	NPDCCH 资源映射	105
15.3	NPDCCH 的处理过程	108
15.4	NPDCCH 的搜索空间	108
15.4.1	搜索空间分类	108
15.4.2	搜索空间起始位置及盲检次数	109
15.5	DL GAP 配置	111
15.6	NPDCCH 与 PDCCH 比较	112
第 16 讲	NB-IoT 下行共享信道 NPDSCH	113
16.1	DCI Format N1 字段解析	113
16.2	NPDSCH 资源映射	118
16.3	NPDSCH 的处理过程	118
16.4	SIB1-NB 的传输	119
第 17 讲	NB-IoT 上行随机接入信道 NPRACH	122
17.1	NPRACH 信道结构	122
17.2	覆盖等级介绍	126
17.3	NPRACH 资源配置	128
17.4	Preamble 码的生成和发送	130
17.5	NPRACH 与 PRACH 比较	132
第 18 讲	NB-IoT 上行共享信道 NPUSCH	133
18.1	NB 与 LTE 上行传输的不同点	133
18.2	NPUSCH 上行资源单元 RU	134
18.3	DCI Format N0 字段解析 (for NPUSCH Format 1)	134
18.4	NPUSCH Fomat2 (UCI) 调度字段解析	140



18.5	NPUSCH 的其他特性	140
18.6	NPUSCH 与 PUSCH 比较	141
第 19 讲	NB-IoT 上行参考信号 DMRS 及信道小结	142
19.1	DMRS 信号的作用	142
19.2	DMRS 资源映射	143
19.3	NB 中 DMRS 与 LTE 的差异性	146
19.4	NB 中信道小结	147
19.5	结语	148

关键技术篇

第 20 讲	NB-IoT 网络架构	150
20.1	NB 总体网络架构	150
20.2	UP 和 CP 传输优化方案大战	152
20.2.1	CP 和 UP 方案传输路径对比	153
20.2.2	CP 和 UP 协议栈对比	154
20.2.3	信令流程对比	155
20.2.4	CP/UP 方案综合比较	155
20.3	Non-IP 数据传输方案	156
20.4	短消息传输方案	157
第 21 讲	NB-IoT 关键信令流程	159
21.1	CP 传输方案	159
21.1.1	CP 传输方案端到端信令流程	159
21.1.2	RRC 连接建立过程	161
21.2	UP 传输方案	163
21.2.1	UP 传输方案端到端信令流程	164
21.2.2	RRC 挂起流程 (Suspend Connection procedure)	166
21.2.3	RRC 恢复流程	167
21.3	CP/UP 方案网络协商流程	168
第 22 讲	NB-IoT 小区选择与重选	171
22.1	小区选择与重选概述	171



22.2	小区搜索	174
22.3	PLMN 选择	174
22.4	小区选择	175
22.5	邻区测量	177
22.6	小区重选	178
第 23 讲	NB-IoT 系统消息调度	182
23.1	系统消息广播概述	182
23.2	系统消息调度	183
23.2.1	MIB 和 SIB1 的发送	184
23.2.2	其他 SIB 消息调度	185
23.2.3	SI 窗口开始 SFN 计算方法及调度示例	186
23.3	系统消息更新	187
第 24 讲	NB-IoT 寻呼原理与 eDRX	190
24.1	关于省电的故事的续集	190
24.2	寻呼原理	191
24.2.1	寻呼的触发	191
24.2.2	空口寻呼机制	192
24.2.3	寻呼处理过程	194
24.2.4	寻呼实际计算示例	195
24.3	eDRX 寻呼	196
24.3.1	eDRX 协商和寻呼流程	196
24.3.2	eDRX 寻呼机制	197
第 25 讲	NB-IoT 随机接入过程	200
25.1	NB 和 LTE PRACH 信道特性对比	201
25.2	覆盖等级简介	202
25.3	基于竞争的随机接入流程解析	203
25.4	SIB2 中 NPRACH 解码	208
第 26 讲	NB-IoT 功率控制	209
26.1	下行功率分配	209
26.2	上行功率控制	211



26.2.1	NPRACH 功率控制	212
26.2.2	NPUSCH 功率控制	215
第 27 讲	NB-IoT HARQ 过程	218
27.1	HARQ 连环九问	218
27.2	NB 中上下行 HARQ 应用要点	221
27.3	下行 HARQ 定时关系	222
27.3.1	NPDCCH 与 NPDSCH 定时关系	223
27.3.2	NPDSCH 与 NPUSCH 格式 2 定时关系	224
27.3.3	下行 HARQ 示例	225
27.4	上行 HARQ 定时关系	225
27.4.1	NPDCCH 和 NPUSCH 定时关系	225
27.4.2	上行 HARQ 示例	226
27.5	一次完整的下行 HARQ 传输定时流程	227
第 28 讲	NB-IoT 技术拾遗	228
28.1	NB 中常见的定时器和计数器	228
28.1.1	RRC 初始接入类	230
28.1.2	无线链路失败监测类	230
28.1.3	RRC 重建类	232
28.2	NB-IoT 的安全机制	233
28.3	NB 中终端能力信息交互	234

网络规划篇

第 29 讲	NB-IoT 规划概述及链路预算	237
29.1	规划的三大要点	237
29.2	NB 的规划特点分析	238
29.3	覆盖规划之于链路预算	240
29.3.1	链路预算过程	241
29.3.2	链路预算表（示例）解读	242
29.3.3	NPUSCH 链路预算实例	243
第 30 讲	NB-IoT 容量和参数规划	246



30.1 容量规划	246
30.1.1 容量规划三个原则	246
30.1.2 容量规划的流程	247
30.1.3 容量规划方法	247
30.1.4 容量估算结果示例	248
30.2 参数规划	249
30.2.1 小区 ID 规划	249
30.2.2 PCI 规划	249
30.2.3 TAC 规划	249
30.2.4 PRACH 规划	250
30.2.5 导频功率配置规划	250
30.2.6 NB-IoT 功率规划	250
30.2.7 覆盖等级 RSRP 设置	251
30.3 频谱规划	252
30.3.1 频段选择	252
30.3.2 频谱部署方式和干扰保护带	253
30.3.3 CMCC NB-IoT 试点频率规划方案	254

FAQ 篇

关键技术类	257
网络性能类	261
部署策略类	263
网络规划类	266
缩略语	268
参考文献	272





作为“开胃菜”，本篇吴老师主要讲解 NB-IoT 的四大特性，即强覆盖、低功耗、低成本、大连接，让大家对 NB-IoT 有个“爱的初体验”。

第 1 讲 NB-IoT 的笑傲江湖

作为满汉全席的开胃菜，本讲将介绍物联网的发展历史及 NB 是如何笑傲江湖的。

1.1 物联网的前世今生

1.1.1 何为物联网？

首先我们得知道，自从 20 世纪 80 年代以来，从“大哥大”开始，无线通信技术经历了四代的传承与发展（目前仍是“三世同堂”）。从开始人与人的连接，发展到人与物的连接，自然地，人们的脑洞大开，是否可以将所有的物都连在一起呢？

而实际上从商业角度来看，语音通信（人与人连接）收入已经见顶，由于 4G 的大力建设及推广，数据业务（人与人&人与物的连接）支撑运营商收入进入了新的巅峰，那么下个收入“蓝海”将是什么？从目前观点来看，物与物

