

INTERNET OF EVERYTHING

NARROW BAND INTERNET
OF THINGS

万物互联

NB-IoT关键技术与应用实践

郭宝 张阳 顾安 刘毅 等

编著

NB-IoT来了

万物互联新时代还会远吗？



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



INTERNET
OF EVERYTHING
NARROW BAND INTERNET
OF THINGS

万物互联

NB-IoT关键技术与应用实践

郭宝 张阳 顾安 刘毅 等

编著

本书从无线网络优化工程师的角度出发,阐述了窄带物联网(Nanow Band of Things, NB-IoT)的关键技术以及在现网应用的成熟案例。学习本书需要读者初步掌握 LTE(Long Term Evolution, 长期演进)系统技术与标准理论知识,对 LTE 网络架构、各接口协议及业务信令流程有初步的了解,对 LTE 移动性、寻呼、不连续接收等参数有一定的了解。

本书主要读者对象为从事物联网技术与产品开发的人员、网络规划设计工程师、网络优化工程师、系统运营管理人员,移动互联网分析工程师、大数据研发人员、客户感知分析人员、咨询公司行业分析师以及高等院校通信专业的师生。

图书在版编目(CIP)数据

万物互联 NB-IoT 关键技术与应用实践 / 郭宝等编著. —北京: 机械工业出版社, 2017.5

ISBN 978-7-111-56996-1

I. ①万… II. ①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(2017)第 102232 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: 李馨馨

责任校对: 张艳霞 责任印制: 李 昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·10.5 印张·245 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-56996-1

定价: 45.00 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

前言

preface

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。根据相关预测，至 2020 年，中国物联网连接数量将达百亿，其总体市场规模可超过 1 万亿人民币。此外，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。

本书从窄带物联网的发展历程入手，系统地阐述了窄带物联网的物理层的上下行物理信道；结合 LTE 网络技术展开 NB-IoT 覆盖增强、低成本、低功耗、大连接等关键技术的分析；介绍 NB-IoT 网络结构与移动性管理的技术细节；通过窄带物联网网络规划中的链路预算、性能测算等具体工作，展开 NB-IoT 频率规划以及 2G 退频的承载能力分析；最后结合现网已实施的成熟案例演示窄带物联网的实施效果。

本书主要由郭宝、张阳、顾安、刘毅编写，参加本书编写和校对工作的同志还有徐晓东、李秋香、沈骛、沈金虎、刘极祥、何珂、石建、吕芳迪、王明君、刘波、李武强、仇勇、张建奎、王国治、徐林忠、刘少聪、刘大洋、秦焱、周徐、王晓琦、陈向前、孙磊、卞恒坤、陈平、白彪玉、李超超等。此外，中兴通讯的陈波、弥岳峰对本书的出版也给予了大力支持。

由于窄带物联网系统刚开始建设优化，实践经验相对不足，各种优化算法及优化经验尚在摸索整理中，书中难免存在不妥之处，请读者原谅，并提出宝贵意见。意见及建议请发送至：sunailk@139.com。

自序

preface

通信技术这个领域博大精深，没有绝对的无所不知的权威，从事这个行业的专家都在各自感兴趣的领域不断研究学习，各执牛耳。从这个角度来说，通信更像一种特殊的语言，在这个行业的工程师，学者们通过这样一种特殊的语言获得认同，沟通交流，莫造友谊。同时，通信也更像一门哲学，工程师们通过这样一种特殊的修行提升对世界规律本身的认知，同时不断修炼自身的性格。通信专业一般归类在工程专业，而不划分为自然科学，我们一般也更愿意被称作工程师，而不是科学家。可以说这两者还是有区别的，如果引入数学中极限的概念，那么可以说工程师是以一种务实的工作精神不断接近科学家的理论研究极限，工程师更加侧重于应用与实践，而为了更好地开发一款好的产品、好的软件，又往往不得不去一次次地尝试离地跃起去触碰思想灵魂的内核、科学中那些原创的理论与算法。一个优秀的通信工程师既需要理性与缜密的逻辑思维，同时也需要天马行空的创新与想象。我们正是想尝试为工程师写这样一本书：站在工程师的角度，不仅对于技术框架的现行规则与标准用比较质朴的语言进行阐述，同时更尝试追问思考技术设计的原创智慧。让通信技术与理论走下神坛，还原技术本身应该为人服务的宗旨，感受通信技术带来的无穷魅力。

物联网技术是下一个十年中最火热的通信技术研究领域之一，对于这样的新技术，新标准，我们也在不断地学习与研究，通过我们

的理解，将它进行消化与分享。尽管通信技术标准是刻板的，但是其蕴含的智慧是有温度的，然而面对集合全人类精英智慧结晶的物联网技术，个人的理解难免会存在片面或者局限，敬请广大读者批评指正，不吝赐教，促进我们对于物联网相关技术理解与认知的不断深刻。我们也会秉持初心，坚持写有温度的技术书，与广大读者共同分享与成长。



目录

Contents

前言

自序

第1章 NB-IoT 发展历程 / 2

1.1 物联网技术分类 / 3

1.1.1 物联网无线通信技术 / 3

1.1.2 UNB、LoRa 技术发展历程 / 4

1.1.3 LTE-M、EC-GSM 和 NB-IoT 演进 / 6

1.2 物联网技术特征 / 8

1.2.1 非授权频谱物联网技术 / 8

1.2.2 授权频谱物联网技术 / 11

第2章 物理层 / 15

2.1 NB-IoT 物理层 / 16

2.1.1 NB-IoT 物理层 / 16

2.1.2 NB-IoT 下行物理信道 / 19

2.1.3 NB-IoT 上行物理信道 / 29

2.2 eMTC 物理信道 / 39

2.2.1 eMTC 物理层 / 39

2.2.2 eMTC 下行物理信道 / 40

2.2.3 eMTC 上行物理信道 / 42

第3章 NB-IoT 关键技术 / 45

3.1 窄带物联网产业需求 / 46

3.1.1 现有物联网技术 / 46



3.1.2 NB-IoT 技术概述 / 47

3.2 覆盖增强技术 / 49

3.2.1 覆盖增强技术概述 / 49

3.2.2 下行重传带来的覆盖增强 / 50

3.2.3 功率谱密度对覆盖能力的增强 / 52

3.2.4 上行重传带来的覆盖增强 / 54

3.2.5 eMTC 覆盖增强技术 / 55

3.3 低成本技术 / 56

3.4 低功耗技术 / 58

3.4.1 NB-IoT 终端低功耗技术的实现方式 / 58

3.4.2 PSM 功能 / 61

3.4.3 eDRX 功能 / 63

3.4.4 信令简化与数据传输优化 / 65

3.5 大连接技术 / 66

3.5.1 单小区连接能力计算 / 67

3.5.2 PRACH 信道容量规划 / 68

3.5.3 PDSCH 信道容量规划 / 70

3.5.4 PUSCH 信道容量规划 / 71

3.6 后续增强功能 / 72

第 4 章 NB-IoT 移动性管理 / 76

4.1 NB-IoT 网络结构 / 77

4.1.1 蜂窝物联网网络结构 / 77

4.1.2 NB-IoT 传输方式 / 78

4.1.3 NB-IoT 传输路径 / 87

4.2 NB-IoT 移动性管理 / 89

4.2.1 NB-IoT 移动性管理 / 89

4.2.2 LTE 网络的寻呼管理 / 90

4.2.3 NB-IoT 寻呼管理 / 95

第 5 章 NB-IoT 网络规划管理 / 100

5.1 NB-IoT 网络规划 / 101

5.1.1 NB-IoT 网络架构 / 101

5.1.2 NB-IoT 网络规划过程 / 103

5.1.3 NB-IoT 链路预算 / 108

5.1.4 NB-IoT 性能测算 / 111

5.2 NB-IoT 频率规划 / 117

5.2.1 部署方式选择与频率规划 / 117

5.2.2 缓冲区频率规划 / 120

5.2.3 2G 退频后承载能力分析 / 125

第 6 章 NB-IoT 应用实践 / 134

6.1 NB-IoT 现场应用分类 / 135

6.1.1 物联网应用发展现状 / 135

6.1.2 NB-IoT 主要应用分类 / 136

6.1.3 NB-IoT 现有主要应用简述 / 137

6.2 NB-IoT 实践案例 / 140

6.2.1 NB-IoT 成熟实践案例 / 140

6.2.2 NB-IoT 全域覆盖规划 / 146

缩略语 / 150

参考文献 / 155

任何事物的发生都不是完全偶然的，任何技术的出现也都不会是独占鳌头，一枝独秀。对于 NB-IoT 这一新技术的理解一上来就一猛子扎入繁杂的细节海洋中，有时往往通读过后仍是一脸懵圈。此时不妨站在岸边，沏一壶飘香的好茶，顺着时光的浪花，捋一捋新技术出现的前因后果，把一把整体物联网技术的脉络，也许能够有“落水千山天远大，澄江一道月分明”的豁然之感。



万物互联
NB-IoT关键技术
与应用实践

第 1 章

NB-IoT 发展历程

1.1 物联网技术分类

1.1.1 物联网无线通信技术

国家“十三五”规划纲要中指出，要牢牢把握信息技术变革趋势，实施网络强国战略，加快建设数字中国，推动信息技术与经济社会发展深度融合，加快推动信息经济发展壮大。加快构建高速、移动、安全、泛在的新一代信息基础设施，推进信息网络技术广泛运用，形成万物互联、人机交互、天地一体的网络空间。

物联网（Internet of Thing, IoT）的概念在 1999 年美国麻省理工学院首次被提出，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，人与物、物与物、人—识别管理设备—物之间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。根据相关预测，至 2020 年，中国物联网连接将达百亿，其产业链市场空间可达 1 万亿人民币。此外，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。

当前，物联网通信主要有三类技术方案。

第一类是采用非授权（Unlicensed）频谱的低功耗短距技术，包括 ZigBee、WiFi、蓝牙、Z-wave 等，技术特点是终端成本和功耗低，



覆盖距离从短距离到中等距离（10m~1km）。一般情况下，短距技术需要一个网关和无线接入点（Access Point, AP）来管理各类终端节点。网关和无线 AP 通过蜂窝网或者无线方式接入 Internet。由此，短距技术可以认为是两跳组网的技术，该类技术已经有良好的产业链支持，在智能家居、智能工厂等多个物联网领域有规模商用。

第二类是采用非授权（Unlicensed）的低功耗广域覆盖技术（Low Power Wide Area, LPWA），一般为私有技术方案，采用非授权频谱，如 ISM 频谱 868MHz 或者 2.4GHz 的公共频谱，特点是终端成本和功耗低，覆盖距离远（1~100km）。另一类是以 Sigfox 的 UNB（Ultra Narrow Band）技术和 Semtech 的 LoRa（Long Range）技术为典型代表的私有技术方案，还包括 On-Ramp、Ingenus 和 Iotera 等多家创新公司的方案。

第三类是采用授权（Licensed）频谱的低功耗广域覆盖技术，其特点是终端成本和功耗较低，覆盖距离远（1~100km），可支持可靠的、安全的通信服务，主要技术有：海量机器类通信（Enhanced Machine-Type Communications, eMTC）技术、扩展覆盖 GSM 技术（Extended Coverage-GSM, EC-GSM）、窄带物联网（Narrowband Internet of Things, NB-IoT）技术等。第三类技术产业发展稍滞后于前两类，但竞争优势很明显，其网络部署成本最低，部署最快；覆盖范围广，适用物联网的业务范围也最广，且无须考虑新建核心网等。

1.1.2 UNB、LoRa 技术发展历程

物联网的业务需求复杂多样，很难有一种技术能满足所有的需

求，如电力行业要求时延短、传输数据量大、数据高度敏感等；抄表行业要求深度覆盖，对业务时延也有一定的要求。从实际物联网发展情况来看，呈现出各种技术百花齐放的局面。

由于物联网具有巨大的市场空间，近年来发展非常迅速，两个典型的物联网领域新进入者代表有：Sigfox 公司和 Semtech 公司。

Sigfox 公司总部位于法国南部的图卢兹，2009 年成立，由 Intel 公司投资 1000 万美元，用于开发并建设自己的物联网网络。2015 年 2 月，Sigfox 公司获得了 Telefonica、NTT DoCoMo、SKT 等运营商的 1 亿欧元投资，用于建设专门的低成本低功耗物联网网络。Sigfox 公司已在法国、西班牙、英国、荷兰、美国等多个国家建立专用网络，并开展物联网运营，与运营商抢夺 IoT 市场。在 2015 年巴塞罗那通信展上，Sigfox 公司展示了众多的芯片/系统集成等合作伙伴的创新应用，发展势头非常迅猛。

Semtech 公司总部位于美国加州，是一家专注于模拟以及数模混合的半导体设计上市公司。其开发了基于扩频技术的 LoRa 技术，并在 2015 年 3 月巴塞罗那通信展上组建了 LoRa 联盟，全力推动低成本低功耗物联网的发展。Semtech 公司使用免费的 Unlicensed 频谱，终端成本和功耗极低（芯片成本小于 1 美元），借助 LoRa 联盟建立起来的生态联盟，Semtech 公司及其合作伙伴能够提供完整的端到端解决方案。因此，有众多的小公司使用 LoRa 技术，建设自己的局域 LoRa 网络，并开展运营。例如，国内就有公司正在开发基于 LoRa 的智能抄表系统，并且在某些小区自己部署网络，开展智能抄表运营。Semtech 也面向运营商提供解决方案，有多个运营商加入了 LoRa 联盟，如



Swisscom、KPN、SingTel、Proximus、Bouygues Telecom 和 SKT 等。

虽然 Sigfox 和 Semtech 公司都同时向运营商提供网络设备或者端到端的解决方案等服务，但是其与运营商之间的主要关系还是竞争。Sigfox 公司的主要商业模式在于自己建网自己运维，与运营商直接争夺客户。Semtech 公司的很大一部分市场是中小企业市场自建网络，实际上是进一步碎片化了 IoT 市场空间。总体而言，基于 Unlicensed 频谱的技术，由于干扰不可管、不可控，并不适合运营商来做连续广域及深度覆盖。

为了应对 Sigfox 公司和 Semtech 公司等新进入者的竞争，运营商需要尽快部署 IoT 网络。在运营商的需求牵引下，华为等蜂窝阵营厂商发力加速产业进程，使得 eMTC、EC-GSM 和 NB-IoT 等 LPWA 技术纷纷在 3GPP R13 完成标准化。GSMA 也在 2015 年 9 月发起了 Mobile IoT Initiative 项目，主要目的是推动 3GPP LPWA 技术尽快商用。

1.1.3 LTE-M、EC-GSM 和 NB-IoT 演进

3GPP 低功耗广域技术主要有三种：LTE-M、EC-GSM 和 NB-IoT，分别基于 LTE 演进、GSM 演进和一种新的 Clean Slate 技术（类似于打扫干净屋子再请客的做法）。

1. LTE-M

LTE-M (LTE-Machine-to-Machine) 是基于 LTE 演进的物联网技术，3GPP R12 版本中命名为 Low-Cost MTC，在 R13 中被称为 LTE enhanced MTC (eMTC)，其目标是基于现有的 LTE 载波满足物联网设备需求。

2. EC-GSM

EC-GSM，即扩展覆盖 GSM 技术。随着各种 LPWA 技术的兴起，传统 GPRS（General Packet Radio Service，通用分组无线服务）技术应用于物联网的劣势凸显。2014 年 3 月，3GPP GERAN 会议提出将窄带物联网技术迁移到 GSM 上，寻求比传统 GPRS 高 20dB 的更广的覆盖范围，并提出了五大目标：提升室内覆盖性能、支持大规模设备连接、减小设备复杂性和减小功耗和时延。

3. NB-IoT

2015 年 8 月，3GPP RAN 开始立项研究窄带无线接入全新的空口技术，称为 Clean Slate CIoT，这一 Clean Slate 方案覆盖了 NB-CIoT。

NB-CIoT 是由华为、高通和 Neul 联合提出的；NB-LTE 是由爱立信、诺基亚等厂家提出的。

NB-CIoT 提出了全新的空口技术，相对来说在现有 LTE 网络上改动较大，但 NB-CIoT 是提出的六大 Clean Slate 技术中，唯一一个满足在 TSG GERAN #67 会议中提出的五大目标（提升室内覆盖性能、支持大规模设备连接、减小设备复杂性和减小功耗和时延）的蜂窝物联网技术，特别是 NB-CIoT 的通信模块成本低于 GSM 模块和 NB-LTE 模块。

NB-LTE 更倾向于与现有 LTE 兼容，其主要优势是容易部署。

NB-IoT 可认为是 NB-CIoT 和 NB-LTE 的融合，是针对物联网特性进行的全新设计。



1.2 物联网技术特征

1.2.1 非授权频谱物联网技术

基于非授权 (Unlicensed) 频谱的 IoT 技术以 UNB 和 LoRa 为代表, 下面重点介绍这两类 IoT 技术。

1. UNB 技术

UNB (超窄带) 是法国 Sigfox 公司提出的技术, 使用非授权频谱, 在欧洲为 868MHz, 在美国为 902MHz。UNB 设计的链路预算增益高于 GSM 网络, 可降低基站部署密度, 从而降低初期网络部署成本; 也可以用来提升网络的室内覆盖率。UNB 由于需要自建网络, 其相对于 GSM 网络的链路预算增益主要用于降低网络部署成本。

(1) UNB 技术特点

UNB 采用频分多址 (Frequency Division Multiple Access, FDMA) 技术, 子信道带宽在欧洲为 100Hz, 在美国为 600Hz, 支持上下行双向通信, 通信总是由终端发起。UNB 为非调度系统, 终端自主发送信号, 为了避免各个终端之间碰撞, 终端采取重复发射 3 次的办法提升信号发送成功率。终端在预设的频段上随机选择 3 个子信道, 盲发 3 次; 随后终端扫描预先设定的频段, 接收下行数据, 如果收到下行数据, 就进行处理, 如果没有收到, 15s 后进入睡眠状态。

(2) UNB 技术优势

UNB 技术优势体现在终端成本低、功耗低、链路预算覆盖性能优。