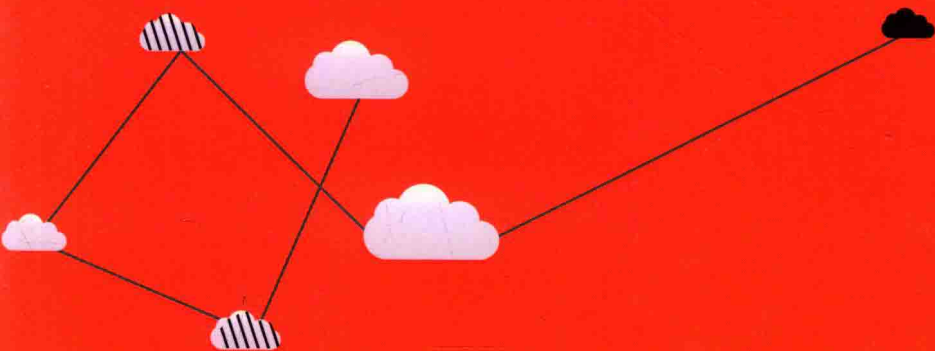


5-GENERATION

INTO THE NEW ERA OF
INTERNET OF EVERYTHING



大话5G

走进万物互联新时代

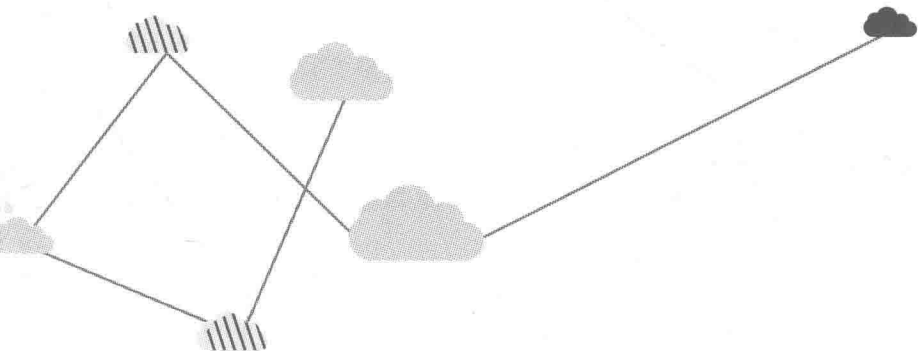
S'2 微沙龙 ◎ 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



ENERATION

INTO THE NEW ERA OF
INTERNET OF EVERYTHING



大话5G

走进万物互联新时代

S2 微沙龙 ©编著

当前正处于 5G 技术研发的关键阶段。未来 5G 的应用，不仅会使人们的工作和生活发生巨大改变，还将对整个工业产生巨大影响，因此无论是普罗大众，还是工业巨头，都对 5G 保持极高的关注度。国内外通信企业为了抢夺话语权，都在紧锣密鼓地进行 5G 研发、布局。在 5G 席卷全球的大背景下，本书对 5G 的相关知识进行通俗解读，以满足大众对 5G 的求知欲。

图书在版编目 (CIP) 数据

大话 5G：走进万物互联新时代 / S2 微沙龙编著. —北京：机械工业出版社，2017.4

ISBN 978-7-111-56507-9

I. ①大… II. ①S… III. ①无线电通信—移动通信—通信技术
IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 069755 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 飞

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2017 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·16.25 印张·1 插页·183 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-56507-9

定价：55.00 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

服务咨询热线：(010) 88361066

读者购书热线：(010) 68326294

(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

前言

preface

伴随着社会的飞速发展，近几十年来，无线通信系统的演进始终行进在快车道上。以 LTE/LTE-A 为代表的第四代移动通信系统（4G）的热潮方兴未艾，关于第五代移动通信系统（5G）的研究与标准化工作又已如火如荼地开展着。

5G 到底是什么？除了如同 4G 及之前无线系统设计所追求的速率更高的目标外，5G 还将关注大规模机器物联网通信（mMTC）和低时延、高可靠物联网通信（uRLLC）这两个物联网场景。5G 时代来临，人与人的通信正在向人与物/物与物的通信扩展，万物互联时代正在到来。作为未来信息基础设施，5G 应成为端到端的网络平台，可以支持移动连接、无处不在的覆盖、一致的用户体验、垂直行业及新的业务模型。其中，垂直行业的应用是 5G 发展的重要方向和驱动力，5G 将不再只是一个单纯的通信系统，而是以用户为中心，全新、开放的融合体系。

5G 要如何去了解？依旧是“技术原理→系统架构→性能评价”这样的老一套么？看着案头摆放的几尺高的通信专业书籍，我们不禁有些疑惑，或许对广大读者、尤其是对 5G 感兴趣的广大通信用户，需要的是一本通俗易懂的、贴近生活的参考资料，这也是我们编写本书的初衷。

本书的作者是一群热爱通信事业的小伙伴，在互联网上以“S^2 微沙龙”为名建立了微信公众号，“S^2 微沙龙”的每期文章均立足于通信技术或通信前沿事件的报道，目前活跃粉丝数已近万。“S^2 微沙龙”产出的文章尽量用诙谐的语言来解读 5G 的技术发展脉络及对 5G 演进的思考，而这

些关于 5G 的文章经常获得热烈的反响，这不仅超乎我们的意料，也使得大家有了成书的想法。

本书共分为七章。

第一章介绍了演进中的移动通信，为读者提供了一个快速了解无线通信系统发展的切入点，从 1G 到 4G，回顾历次无线通信系统的演进，目标不同，系统架构与关键技术也均存在差异，然而其研究过程却是有规律可循的。同时，3GPP 对于 4G 系统的标准制定至关重要，也请在书中找到其中奥秘。

第二章的目的是向广大读者展示 5G 愿景，如前所述，5G 系统与之前无线通信系统的最大不同就在于应用场景从人与人的通信扩大到人与物/物与物，不仅可以进一步提升无线网络的数据传输速率，也将以万物互联为目标打造未来通信新世界。大家可以借此展望，物联网将如何改变人类生活。

第三章和第四章分别从网络架构和接入技术两方面通俗地讲解 5G 系统的关键技术。在网络架构方面，网络切片和多网络融合等网络革新将带给大家全新的认识；在接入技术方面，5G 仍然将提升系统频谱效率以及对频谱的有效利用作为关键的网络性能指标，而大规模天线、超密集组网、灵活的双工和多址技术以及频谱扩展等都是解决 5G 问题的潜在技术手段，读者可以从书中找到其技术原理及场景应用。

第五章为爱好动手的读者们带来福音，这一章是动手玩系列，通过软件无线电的方式为读者提供了几个信号传输的基本示例，为大家展示了硬的目标与软的实现之间有这样有趣的桥梁。

第六章分别从研究与标准进展、全球预商用计划以及产业界的 5G 旋风三个方面给广大读者呈现了 5G 的最新进展。5G 将改变人类生活的方

面面，而 5G 的时间表是怎样，大家可以深入关注。

最后，作为对通信极具热情的通信人士，我们意犹未尽地想再扯点啥，如果您意犹未尽，请关注我们的微信公众号。

参加本书编写的 S^2 微沙龙小伙伴包括：韩斌、王达、刘洋、陈鹏、蒋峥、余小明、杨姗、朱剑驰、梁林、杨蓓、赵嵩、杨星、洪伟、李欣。

由于我们的知识视野有一定的局限性，书中如有不准确、不完善之处，请广大读者与同行专家批评指正。

— 编 者



大话5G
走进万物互联新时代

目录

Contents

前言

第一章 演进中的移动通信 / 02

一、移动通信的前世今生 / 03

1. 1G 到 4G 发展脉络 / 03
2. 3GPP 组织架构与 4G 技术特性 / 07
3. VoLTE: 基于 IP 的 4G 新语音业务 / 12

二、通信大事记——移动通信发展的历程 / 14

1. 1998 年, 硕果累累的通信圈 / 15
2. 2016 年, 盘点通信圈的业绩单——5G 全面启航 / 23
3. 近十年 MWC 的最佳移动终端 / 29
4. 移动终端的那点事儿 / 36

第二章 5G 愿景——梦想带动现实 / 40

一、无线网络: 浸入数据之海 / 41

1. 沉浸在网络中生活 / 41
2. 三种典型网络需求 / 43

二、万物互联: IoT 打造未来新世界 / 47

1. 你知道什么是物联网吗? / 49
2. 物联网是如何感知世界的? / 49
3. 未来物联网——遍及世界每个角落 / 55

4. 物联网与人工智能的深度思考 / 64

5. 5G 中的物联网需求 / 67

第三章 5G 都有啥——网络篇 / 71

一、网络形态：服务无所不能，服务无所不在 / 72

1. 网络切片——服务无所不能 / 72

2. Mesh 漫话——服务无所不在 / 75

二、多网络融合：好朋友要在一起 / 79

1. LTE 和 WiFi——亦敌亦友 / 79

2. 802.11ax——谁说 WLAN 没有 5G？！ / 87

3. 运营商运营 WLAN 网络的新方法——LWA / 95

三、全球物联网盛宴，内容超乎想象 / 98

1. 5G 低功耗广域物联网时代真的要来了？ / 99

2. 5G 与工业互联网——最好的关系，是互相成就 / 102

3. 自动驾驶距离我们有多远？ / 103

4. Halow——WiFi 的物联网技术来了 / 106

四、“重”网络与 5G “轻形态” / 109

1. 只在此山中，云深不知处——网络越来越重 / 109

2. 半亩方塘一鉴开，天光云影共徘徊——5G 网络的未来 / 110

3. 对症下药，面向未来，我们需要 5G 轻形态 / 112

五、当我们说到 5G 网络安全，我们在讨论什么？ / 113

1. 4G LTE 网络已经够安全了吗？ / 114

2. 5G 网络安全怎么做？ / 120

3. 迈入未知森林前的准备 / 124



第四章 5G 都有啥——技术篇 / 127

一、毛细血管网络——超密集组网 / 128

1. 超密集组网的概念与挑战 / 128
2. 超密集组网干扰管理 / 129
3. 超密集组网移动性管理 / 132
4. 超密集组网之软扇区技术 / 137

二、移动通信的触手——多天线 / 139

1. 天线阵列——天线的 3D 时代 / 139
2. FDD 大规模天线——从理论走进现实 / 143
3. 模块化天线化解部署难题——分布式大规模天线 / 147

三、双工技术 / 150

1. 灵活频带技术——潮汐车道 / 151
2. 全双工——神奇的碰撞分离 / 154

四、多址技术 / 157

1. 什么是多址 / 157
2. 上行多接入信道 / 160
3. 下行广播信道 / 161
4. 5G 新多址 / 163

五、多样的频谱利用——频谱扩展 / 165

1. 聊聊频谱的那些事儿 / 165
2. 原来频谱还可以这么用 / 167

六、5G 的回传要给力 / 170

1. 什么是回传？ / 170

- 2. 5G 的回传需求 / 173

第五章 硬的目标与软的实现——从理论到实践 / 178

一、动手玩——OSX 下配置基于 RTL 的 SDR / 179

- 1. 开场白 / 179
- 2. 硬件配置 / 182
- 3. GSM 广播信号抓取和处理 / 183
- 4. 软件安装 / 184
- 5. 开始实验 / 189

二、动手玩——基于 RTL-SDR 实现 FM 收音机 / 193

- 1. 开场白 / 193
- 2. 准备工作 / 193
- 3. 模块及参数配置 / 195
- 4. 实现效果 / 202

三、动手玩——这些无线信号你见过多少？ / 204

- 1. 开场白 / 204
- 2. 那些美丽的信号 / 204
- 3. 其他有趣的 SDR 项目 / 215

第六章 5G 真的来了 / 217

一、研究与标准进展：蓄势待发 / 218

- 1. 2015 年 5G 成绩单 / 218
- 2. 3GPP RAN 的 5G 标准化工作 / 222

二、全球预商用计划：群雄逐鹿 / 223

- 1. 最早什么时候能预商用？ / 224

2. 究竟什么技术会预商用? / 226

三、已席卷产业界的 5G 旋风 / 227

1. VR 体验大热刺激 5G 技术革新 / 228

2. 运营商需求明晰 / 229

3. 设备商 5G 展示 / 229

第七章 很有格调地再扯点啥 / 236

一、“囚徒困境”与通信江湖 / 237

二、那些创立通信理论的大师们 / 241

三、电信之后 / 245

参考文献 / 249



从 20 世纪 80 年代至今，移动通信经历了从 1G 到 4G 的发展，移动通信的每一次更换时代都解决了当时的最主要需求。如今，移动互联网和物联网的蓬勃发展使大家相信，到 2020 年，需要无线通信系统新的革新来满足业务量提升带来的巨大的数据传输需求。在 4G 之后，ITU-R 已经针对名为 IMT-2020 的 5G 系统开始征集意见并开展相关的研究工作。



大话5G
走进万物互联新时代

第一章

演进中的移动通信

一、移动通信的前世今生

1. 1G 到 4G 发展脉络

从美国贝尔实验室提出蜂窝小区的概念起，移动通信系统的发展可以划分为各个“时代”。到 20 世纪 80 年代，移动通信系统实现了大规模的商用，可以被认为是真正意义上的 1G（The first generation，第一代）移动通信系统。1G 由多个独立开发的系统组成，典型代表有美国的 AMPS（Advanced Mobile Phone System，高级移动电话系统）和后来应用于欧洲部分地区的 TACS（Total Access Communications System，全址接入通信系统），以及 NMT（Nordic 移动电话）等，其共同特征是采用 FDMA（Frequency Division Multiple Access，频分多址）技术，模拟调制语音信号。第一代系统在商业上取得了巨大的成功，但是模拟信号传输技术的弊端也日渐明显，包括频谱利用率低、业务种类有限、无高速数据业务、保密性差以及设备成本高等。为了解决模拟系统中存在的这些根本性技术缺陷，数字移动通信技术应运而生。

2G（The second generation，第二代）移动通信系统基于 TDMA（Time Division Multiple Access，时分多址）技术，以传输语音和低速数据业务为目的，因此又称为窄带数字通信系统，其典型代表是美国的 DAMPS（Digital AMPS，数字化高级移动电话系统）、IS-95 和欧洲的 GSM（Global System for Mobile Communication，全球移动通信）系统。数字移动通信网络相对于模拟移动通信，提高了频谱利用率，支持针对多种业务的服务。20 世纪

80 年代中期开始，欧洲首先推出了 GSM 体系，随后，美国和日本也制定了各自的数字移动通信体制。其中，GSM 使得全球范围的漫游首次成为可能，是一个可互操作的标准，从而被广为接受；进一步地，由于第二代移动通信以传输语音和低速数据业务为目的，从 1996 年开始，为了解决中速数据传输问题，又出现了 2.5 代的移动通信系统，如 GPRS（General Packet Radio Service，通用分组无线服务技术）、EDGE（Enhanced Data Rate for GSM Evolution，增强型数据速率 GSM 演进技术）和 IS-95B。这一阶段的移动通信主要提供的服务仍然是以语音和低速率数据业务为主，但由于网络的发展，数据和多媒体通信的发展势头很快，所以逐步出现了以移动宽带多媒体通信为目标的第三代移动通信。

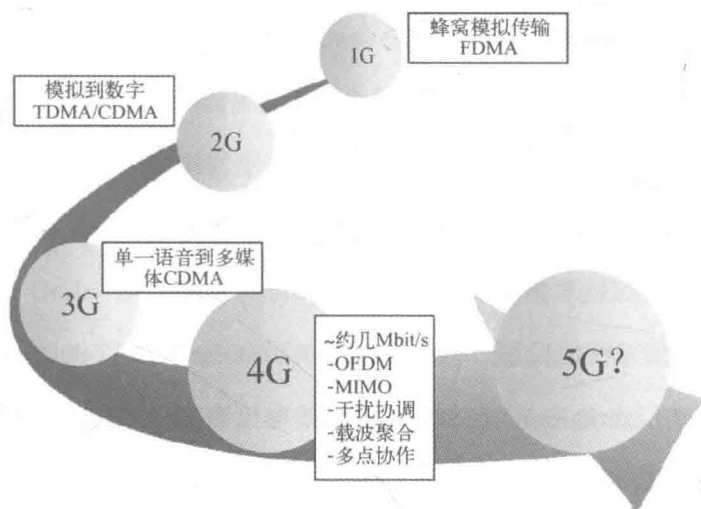
在 20 世纪 90 年代 2G 系统蓬勃发展的同时，在世界范围内已经开始了针对 3G（The third generation，第三代）移动通信系统的研究热潮。3G 最早由 ITU（国际电信联盟）于 1985 年提出，当时称为 FPLMTS（Future Public Land Mobile Telecommunication System，未来公众陆地移动通信系统），1996 年更名为 IMT-2000（International Mobile Telecommunication-2000），意即该系统工作在 2000MHz 频段，最高业务速率可达 2000kbit/s，预期在 2000 年左右得到商用。3G 的主要通信制式包括欧洲、日本等地区主导的 WCDMA（Wideband Code Division Multiple Access，宽带码分多址）、美国的 CDMA2000 和中国提出的 TD-SCDMA，影响范围最广的当属宽带码分多址（WCDMA）。针对 WCDMA 的研究工作开始是在多个国家和地区并行开展的，直到 1998 年年底 3GPP（3rd Generation Partnership Project，第三代合作伙伴计划）成立，WCDMA 才结束了各个地区标准独自发展的情况。WCDMA 面向后续系统演进出现了 HSDPA（High Speed Downlink Packet

Access, 高速下行分组接入) / HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, 高速上行分组接入) 系统架构, 其峰值速率可以达到下行 14.4Mbit/s, 而后再进一步发展的 HSPA+, 可以达到下行 42Mbit/s、上行 22Mbit/s 的峰值速率, 仍广泛应用于现有移动通信网络中。

作为目前对移动通信发展最有影响力的组织——3GPP, 在进行 WCDMA 系统的演进研究工作和标准化的同时, 继续承担了 LTE (Long Term Evaluation) / LTE-A (Long Term Evaluation-Advanced) 等系统的标准制定工作, 对移动通信标准的发展起到至关重要的作用。3GPP 的成员单位包括日本的 ARIB (Association of Radio Industries and Businesses, 日本无线工业及商贸联合会)、中国的 CCSA (China Communications Standards Association, 中国通信标准化协会)、欧洲的 ETSI (European Telecommunications Standards Institute, 欧洲电信标准化协会)、美国的 ATIS (The Alliance for Telecommunications Industry Solutions, 世界无线通讯解决方案联盟)、韩国的 TTA (Telecommunications Technology Association, 电信技术协会) 和日本的 TTC (Telecommunications Technology Committee, 电信技术委员会) 等。另外, 除了 3GPP 之外, 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2, 第三代合作伙伴计划 2) 和 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 电气和电子工程师协会) 也是目前国际上重要的移动通信技术标准制定组织。

在移动通信系统的发展过程中, ITU-R (International Telecommunications Union-Radio Communications Sector, 国际电信联盟无线通信委员会) 作为监管机构起到了至关重要的作用, ITU-R 的 WP5D (working party 5D) 定义了国际上包括 3G 和 4G (The fourth generation, 第四代) 移动通信系统的 IMT (International Mobile Telecommunications) 系统, 其中 2010 年 10

月确定的 4G 系统也称为 IMT-Advanced，包括了 LTE-Advanced (3GPP Release10) 以及 IEEE 802.16m 等。ITU-R WP5D 定义 4G 的过程与定义 3G 的过程相似，首先提出面向 IMT-Advanced 研究的备选技术、市场预期、标准准则、频谱需求和潜在频段，而后基于统一的评估方法，根据需求指标来评估备选技术方案。为满足 ITU 的需求指标，3GPP 提交的 4G 候选技术是 LTE-Advanced (Release 10)，而非 LTE (Release 8)，所以严格意义上说 LTE 并非 4G。从技术框架来看，LTE-Advanced 是 LTE 的演进系统，一脉相承地基于 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, 正交频分多址) 的多址方式，满足如下技术指标：100MHz 带宽；峰值速率：下行 1Gbit/s，上行 500Mbit/s；峰值频谱效率：下行 30bit/s/Hz，上行 15bit/s/Hz。在 LTE 的 OFDM/MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, 多入多出技术) 等关键技术基础上，LTE-Advanced 进一步包括载波聚合、中继、CoMP (Coordinated multiple point, 多点协作传输) 等。



图示

各阶段移动通信系统的发展