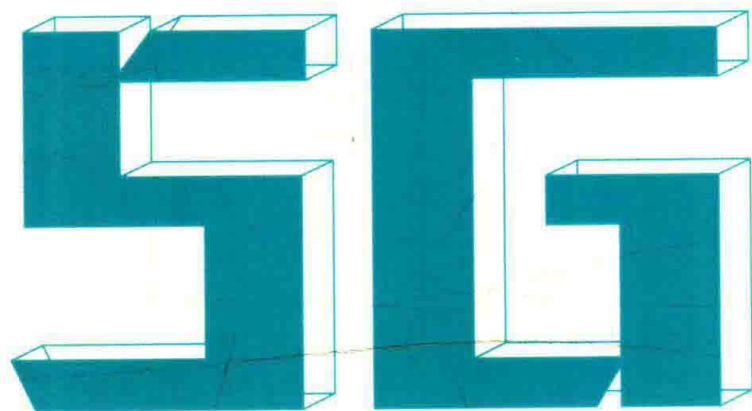


迈向

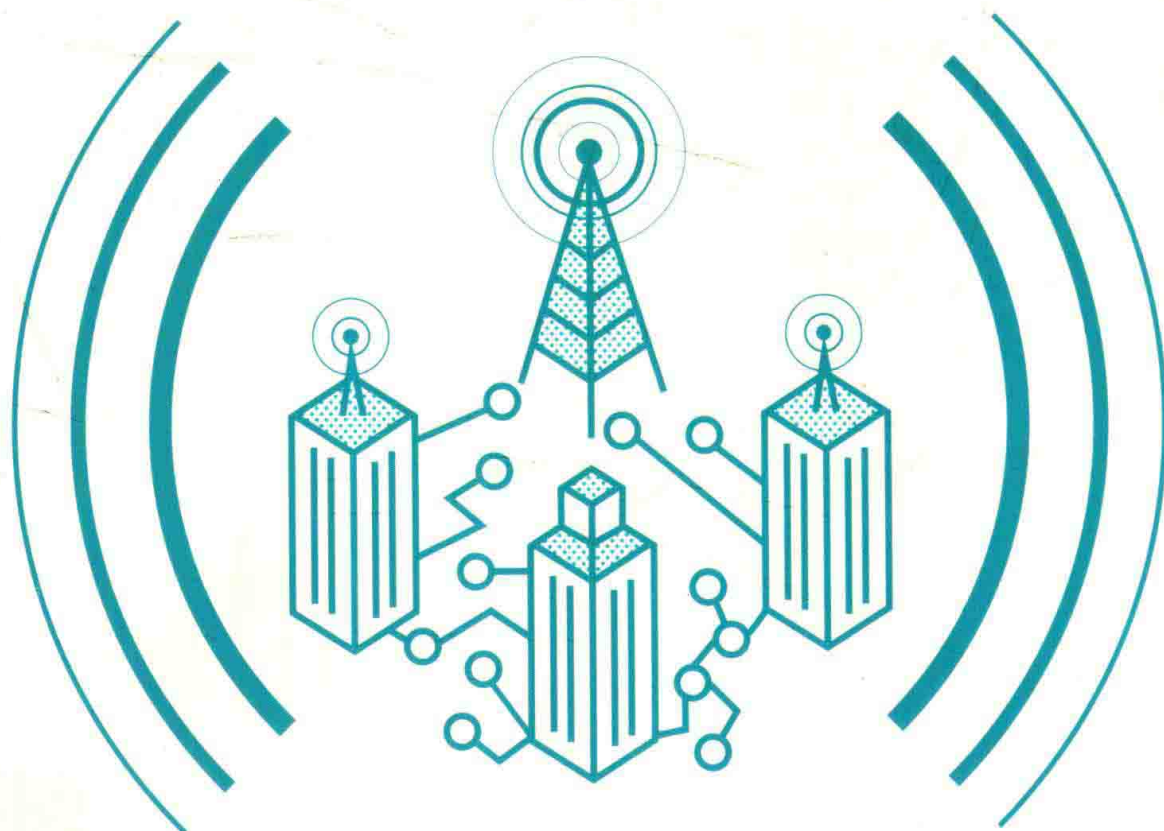


从关键技术到网络部署

THE ROAD LEADING TO 5G

KEY TECHNOLOGIES AND NETWORK DEPLOYMENT

中睿通信规划设计有限公司 主编
黄劲安 曾哲君 蔡子华 梁广智 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

迈向 5G

从关键技术到网络部署

THE ROAD LEADING TO 5G
KEY TECHNOLOGIES AND NETWORK DEPLOYMENT

中睿通信规划设计有限公司 主编
黄劲安 曾哲君 蔡子华 梁广智 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

迈向5G：从关键技术到网络部署 / 中睿通信规划设计有限公司主编；黄劲安等编著. — 北京：人民邮电出版社，2018.6

ISBN 978-7-115-48414-7

I. ①迈… II. ①中… ②黄… 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(2018)第084665号

-
- ◆ 主 编 中睿通信规划设计有限公司
编 著 黄劲安 曾哲君 蔡子华 梁广智
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 <http://www.ptpress.com.cn>
固安县铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：800×1000 1/16 拉页：1
印张：22.5 2018年6月第1版
字数：375千字 2018年6月河北第1次印刷
-

定价：118.00 元

读者服务热线：(010)81055488 印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315

编 委 会

主任：董 力

委员：郑锐生 陈志成 蒋绍杰 宋永胜 钟志成

编辑：陈 漩 韩钰昕 梁雅菁 张紫璇 陈 超
冯志勇 潘柿辉 刘杰勇 文桥安 高远智
李文锋 江瑞仪 池翰贞 张振宇 吴佩霞

序

早在 2017 年年初，各大运营商就开始基于 CA、NB-IoT、eMTC 等成熟的新型通信技术（4G+）对现网进行升级演进。预计到 2018 年年底，各大运营商将部署成熟的、有经济效益的 5G 技术，如高频应用、多阶 MIMO 等。根据 3GPP 推进组计划，5G 的空口标准化工作将会在 2017 年年底完成，此举标志 5G 的第一个技术标准将确立；2019 年，5G 概念将完成落地工作，新一代移动通信技术的标准冻结，主体关键技术可成熟商用。按照中国移动公布的计划，完整的 5G 试验网也将于 2018 年年底完成部署。

由此可见，5G 离我们越来越近了。全民 5G 的日子可能也会在不久的将来实现。在广大通信同行满怀憧憬的同时，如何能简单高效地了解 5G 的关键技术并掌握其基本原理，如何在了解基础理论后，将新思路应用于 5G 网络建设的实践当中，是每个通信达人最热切希望做的事情。更深入地，如果能把 5G 基本理论和来自不同渠道的 5G 信息梳理归纳清楚，将其浅显化、通俗化地传播到行业内每个角落，则能在推动 5G 网络建设的进程上贡献自身的一份力量。

《迈向 5G——从关键技术到网络部署》这本书，从探究 5G 背后的驱动力开始，讲述了香农路径再思考，引出 5G 未来可能的演进道路，从而推论 5G 空中接口的设计思路，归纳 5G 新空口将用到的一组关键技术，再展开讨论具有控制转发分离、服务化架构、网络切片和固移融合四大典型特征的 5G 网络架构，最后提出对 5G 网络实践部署乃至工程建设方面的思考。

本书作者均为中睿通信规划设计有限公司从事无线网络规划设计工作多年的技术精英，横跨 2G 到 5G 的通信时代，他们多次担任多项重大项目的负责人，拥有丰富的无线网络规划和工程建设实践经验。作者将 5G 理论和网络建设实际有机结合，用深入浅出的语言文字，配以精细清晰的插图，使用通俗的类比手法，讲述了深奥、复杂的 5G 通信原理，这将为涉及通信行业的工程建设、规划设计、优化维护等专业的广大读者带来前所未有的阅读体验。

作为 5G 技术原理研究和科普的早期图书，本书基于作者对 5G 相关技术原理的理解，内容浅显易懂，逻辑架构完整清晰，内容前后连贯通畅，节奏平稳渐进。作者在论述中还穿

插引入了多个通俗有趣的例子，这有助于读者理解原本枯燥无味、晦涩难懂的技术原理。更重要的是，作者长期服务于通信一线，对无线网络工程建设的认知有着天然的优势，这使本书的内容更贴合实际，更容易引起业内读者的共鸣。在本书中，读者能够更加轻松愉快、毫不费力地了解 and 掌握 5G 通信技术原理。期望广大读者能从本书得到启发，共同为 5G 时代的来临做好准备。

中睿通信规划设计有限公司 总经理



前 言

2017年6月,国际移动通信标准组织3GPP正式确认采用由中国移动牵头联合26家公司所提出的基于服务的网络架构(SBA, Service-Based Architecture)作为5G核心网统一的基础架构。这标志着我国在5G标准制定话语权上的进一步巩固,消息振奋人心。

回首我国移动通信产业的发展历程,从1987年第一部模拟移动电话开通,到1998年1月数位有识之士齐聚北京香山并决议向国际电联提交TD-SCDMA标准,到2016年建成全球规模最大的LTE网络,再到当前有条不紊地推动全球统一5G标准的形成。短短30年,我们实现了从“2G跟随、3G突破、4G同步”到“5G领跑”的伟大跨越,这无疑是对全体满怀拳拳赤诚之心、筚路蓝缕、艰苦奋斗的中国通信人的最大肯定。

5G面向的主要场景是增强移动宽带、海量机器类通信、超可靠低时延通信,几乎囊括了我们当前所能想象到的全部应用案例。值得注意的是,5G的提出并非是“唯技术论”的,而是带着极强的目的性,是为了把人与人的通信拓展到人与物,甚至物与物的通信,从而实现“万物互联”的核心愿景。5G将为移动通信提供比以往任何时候都高的用户体验速率,而且把广域覆盖、无缝移动性支持、超低时延等对立的性能诉求有机统一起来而不必考虑传输的具体数据类型。

为了达到5G极致的性能指标要求,5G系统的复杂度不可避免地要超出现有的移动通信系统。因此,5G需要引入一组关键的解析方法来实现新的空口,同时在网络架构方面也做出必要的革新,才能提供上述水平的功能和灵活性。5G技术的最终选择,通常取决于性能与成本、理论可能性与现实约束条件的权衡。

鉴于当前5G仍处于标准化过程及5G研究所涉及领域的广度和深度,本书的技术结论只选取来自3GPP组织成员的相关研究成果,并在一定程度上倾向于国内的主流观点。对于尚无定论且存在多种备选方案的技术领域,本书则力求展现技术选择背后所特有的评估和权衡过程。

全书共分为4篇9章。(1)5G初探篇,勾勒5G的初印象。第1章主要描述5G的驱动力以及5G的应用场景和关键指标;第2章指出5G所面临的性能、技术、频谱资源等方面

的挑战，并通过回顾历代移动通信系统演进，提出 5G 的发展路径。(2)5G 空中接口篇，着重介绍 5G 空口及其无线关键技术。第 3 章以程序设计的方式介绍 5G 场景技术需求、5G 空口技术框架及其设计理念；第 4 章介绍大规模 MIMO、新型多载波、新型多址、全双工通信等 5G 使能技术。(3)5G 网络架构篇，关注 5G 逻辑架构及其网络关键技术。第 5 章通过梳理移动网络的演进趋势，逐步重构 5G 的新型网络架构，重点讨论其技术基础和关键特征；第 6 章介绍网络切片、移动边缘计算、D2D 通信等网络技术。(4)5G 实践部署篇，结合现网工程建设探讨 5G 引入的影响和应对措施。第 7 章提出在当前阶段，“5G 技术 4G 化”理念的重要意义，并逐一探讨 5G 网络引入对架构组网、资源配置方面的影响；第 8 章与工程实际的结合最深，分别从规划设计、建设要点、建设模式等角度进行讨论；第 9 章描述广播与宽带融合的趋势，以及 5G 网络面临的安全挑战。

本书作者是中睿通信规划设计有限公司从事移动通信网络研究的专业技术人员。中睿通信规划设计有限公司自 2G 时代开始，一直受益于我国移动通信产业的发展。编写本书，旨在与业内有志于从事 5G 通信系统研究的专业人士共同探讨，以收抛砖引玉之效。

由于作者水平有限及写作时间仓促，书中难免存在疏漏及不当之处，敬请读者和同行专家批评指正。

作者

2017 年 11 月于广州

从无到有设计5G新空口

以程序设计的方式介绍5G场景技术需求、5G空口技术框架及其设计理念

香农路径再思考
从理论上推导5G演进的方向

5G空中接口篇

着重介绍5G空中接口及其无线关键技术

迈向5G之路

探索5G驱动力，揭开5G应用场景和关键指标

起点

5G初探篇

勾勒5G初印象，具体介绍5G起源及驱动力，并对5G发展做出方向性的推导

5G无线使能技术

介绍用于构建5G系统的热点技术

5G网络架构篇

重点阐述5G的网络架构演进思路及具体的组网技术

5G网络架构变迁记

梳理移动网络的演进趋势，逐步重构5G的新型网络架构，重点讨论其技术基础和关键特征

5G实践部署篇

结合现网，阐述引入5G网络的挑战和应对措施，具体包括规划建设思路、安全性能等实际部署问题

5G网络关键技术

介绍网络切片、移动边缘计算等5G网络关键技术

网络融合与安全挑战

围绕5G网络安全性能及与广电网的融合进行讨论

5G网络部署初探

介绍5G网络在工程建设中的规划及部署要点

5G技术4G化

探讨5G网络引入对架构组网、资源配置、承载网络等方面的影响

目 录

5G 初探篇

第 1 章 迈向 5G 之路	3
1.1 十年的契约——探索 5G 起点	3
1.2 站在风口上——5G 原生动力	4
1.2.1 需求决定供给——5G 业务融合	5
1.2.2 开创“新经济”——5G 数字红利	6
1.2.3 第一生产力——5G 技术创新	10
1.2.4 “中国流”布局——5G 国家战略	11
1.3 5G 初印象——如何定义 5G	12
1.3.1 揭开神秘面纱——三大典型场景	13
1.3.2 审美的标准——八大关键指标	17
1.4 路还有多远——5G 商用预判	21
1.5 小结	23
参考文献	24
第 2 章 香农路径再思考	25
2.1 5G 探索方向——敢问路在何方	25
2.1.1 1G 到 4G 的先导——回顾历代系统发展历史	26
2.1.2 香农路径——总结通信技术发展规律	33
2.1.3 5G 的演进方向——站在香农路径的尽头	37
2.2 5G 主要挑战——发散的演进道路	39
2.2.1 性能挑战——全方位、大幅度提升需求	40



2.2.2	技术挑战——多种技术组合与统一	41
2.2.3	频谱资源——演进路径上的最大难题	41
2.2.4	产业联动——网络升级的核心动力	42
2.3	5G 大门的打开方式——革命还是演进	43
2.3.1	新空口革命方式——一步到位的解决方案	44
2.3.2	渐进式演进方式——兼顾技术先进性与经济效益	44
2.4	小结	49
	参考文献	49

5G 空中接口篇

第 3 章	从无到有设计 5G 新空口	53
3.1	需求分析——5G 场景技术需求	53
3.2	发散思维——5G 技术路线	54
3.3	技术遴选——5G 无线使能技术	55
3.3.1	提升空间复用度	55
3.3.2	提高频谱效率	56
3.3.3	增加系统带宽	58
3.4	实施方案——5G 空口设计	59
3.4.1	空口设计理念	59
3.4.2	5G 低频新空口	60
3.4.3	5G 高频新空口	61
3.5	小结	62
	参考文献	62

第 4 章	5G 无线使能技术	65
4.1	大规模 MIMO—多并行信道传输	65
4.1.1	MIMO 系统模型	67
4.1.2	信道预处理	72
4.1.3	自适应波束赋形	76
4.1.4	导频污染	80

4.1.5	三维信道建模	81
4.1.6	大规模 MIMO 天线	83
4.2	超密集组网——以空间换性能	85
4.2.1	小小区	85
4.2.2	干扰消除 / 协调技术	87
4.3	新型多载波——滤波器组技术的赋能	91
4.3.1	FBMC	94
4.3.2	UFMC	99
4.3.3	GFDM	101
4.3.4	F-OFDM	103
4.4	新型多址——非正交带来的增益	104
4.4.1	PD-NOMA	106
4.4.2	SCMA	108
4.4.3	MUSA	111
4.4.4	PDMA	112
4.4.5	NOMA 技术的性能比较	115
4.5	先进调制编码——无线信道安全卫士	117
4.5.1	Turbo 码	118
4.5.2	LDPC 码	121
4.5.3	Polar 码	123
4.6	全双工通信——同时同频复用	127
4.6.1	自干扰消除技术	129
4.6.2	全双工组网技术	136
4.7	灵活双工通信——时频资源灵活复用	138
4.8	全频谱接入——多频段混合组网	140
4.8.1	认知无线电	141
4.8.2	毫米波通信	145
4.8.3	可见光通信	150
4.9	频谱共享——有限资源的局部共用	153
4.9.1	授权频谱共享	153
4.9.2	非授权频谱共享	154
4.10	小结	157
	参考文献	157

5G 网络架构篇

第 5 章 5G 网络架构变形记	163
5.1 移动通信网络演进趋势	163
5.1.1 代际更迭启示	164
5.1.2 5G 架构设计挑战	165
5.1.3 5G 架构设计思路	168
5.2 5G 架构设计技术基础——网络重构的先决条件	168
5.2.1 SDN——控制与转发分离	169
5.2.2 NFV——软件与硬件解耦	180
5.2.3 SDN 与 NFV 的关系	189
5.3 5G 网络架构解析——5G 的内核	192
5.3.1 5G 逻辑网络架构——网络重构五步走	193
5.3.2 5G 架构关键特征——还 5G 本来面目	199
5.4 小结	203
参考文献	203
第 6 章 5G 网络关键技术	205
6.1 网络切片——灵活自适应的网络形态	205
6.1.1 网络切片系统架构	206
6.1.2 网络切片主要优点	209
6.1.3 接入网切片设计	209
6.1.4 网络切片实现方案	211
6.1.5 网络切片创建流程	213
6.2 移动边缘计算——业务本地化的利器	214
6.2.1 MEC 平台架构	215
6.2.2 MEC 关键技术	216
6.2.3 MEC 与网络切片异同	217
6.2.4 MEC 应用场景	218
6.3 无线 Mesh 网络——新型宽带多跳无线网络	221

6.3.1	Mesh 网络架构	222
6.3.2	Mesh 网络的特点及优势	224
6.3.3	Mesh 应用方向	226
6.4	动态自组织网络——智能组网	226
6.4.1	控制面设计	227
6.4.2	用户面设计	229
6.5	D2D 通信——实现海量机器类通信的秘诀	230
6.5.1	D2D 关键技术	231
6.5.2	D2D 主要优势	234
6.5.3	D2D 应用场景	235
6.6	C-RAN——无线接入网架构优化	236
6.6.1	C-RAN 架构演进	237
6.6.2	CU-DU 切分方案	238
6.6.3	CU-DU 灵活部署	241
6.6.4	C-RAN 架构优势	242
6.7	小结	243
	参考文献	243

5G 实践部署篇

第 7 章	5G 技术 4G 化	247
7.1	5G 标准化时间表	248
7.2	4G 发展现状	249
7.3	5G 演进影响	250
7.4	架构组网探讨	252
7.4.1	组网演进策略	252
7.4.2	C-RAN 池化部署	257
7.4.3	微小站部署	260
7.5	资源配置探讨	264
7.5.1	MEC 部署	265
7.5.2	微小站开关	267

7.6 承载网络探讨	268
7.6.1 5G 承载网络的需求	269
7.6.2 C-RAN 承载方案	272
7.6.3 中传 / 回传承载方案	276
7.6.4 5G 承载候选技术	278
7.6.5 承载网发展建议	281
7.7 小结	281
参考文献	282
第 8 章 5G 网络部署初探	285
8.1 5G 设计要点	285
8.1.1 毫米波信道建模	286
8.1.2 云化多维评估	297
8.1.3 无人机辅助设计	300
8.2 5G 站址规划	302
8.2.1 频率使用	303
8.2.2 容量需求	304
8.2.3 环境因素	305
8.2.4 规划小结	306
8.3 5G 工建要点	307
8.3.1 5G 站址储备	307
8.3.2 供电方式革新	310
8.3.3 工参远程获取	311
8.4 5G 建设模式	314
8.4.1 铁塔共享模式	314
8.4.2 基站共享模式	320
8.4.3 小站众包模式	324
8.5 小结	324
参考文献	325
第 9 章 网络融合与安全挑战	327
9.1 广播—宽带融合趋势	327
9.2 5G 网络安全挑战	329

9.2.1 移动通信安全的发展	330
9.2.2 5G 网络安全需求	332
9.2.3 5G 网络安全架构	333
9.3 小结	335
参考文献	335
缩略语	337



5G

初探篇

“

4G 网络还在遍地开花，5G 标准却已渐行渐近。尽管移动通信新技术和新理论层出不穷、日新月异的印象已深入人心，但理性的人们还是不禁思考：5G 概念是否过热？推动 5G 于 2020 年前后商用的举措是否过于激进？带着疑问，我们一同探索 5G 的原始驱动力、5G 的定义以及 5G 的正确“打开”方式。

”