

5G 关键技术系列丛书

# 面向5G时代的 移动通信再思考

Rethink Mobile Communications for the 5G Era

◆ 未来移动通信论坛 编著



5 G 关键技术系列丛书

# 面向5G时代的 移动通信再思考

Rethink Mobile Communications for the 5G Era

◆ 未来移动通信论坛 编著

人民邮电出版社

北京



## 图书在版编目 (C I P) 数据

面向5G时代的移动通信再思考 / 未来移动通信论坛  
编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2017.6

(5G关键技术系列)

ISBN 978-7-115-45721-9

I. ①面… II. ①未… 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166680号

### 内 容 提 要

本书从 7 个维度全面阐述了对通信系统设计的再思考。一是经典香农理论再思考, 将能效与谱效的折中关系从点对点扩展到端到端, 为无线通信系统开启绿色之旅; 二是蜂窝再思考, 颠覆蜂窝概念, 小区不再是唯一中心, 为无线通信系统开启“用户为中心”设计大门; 三是信令控制再思考, 重构网络“中枢神经”, 提升网络“智商”; 四是天线再思考, 小型化设计, 魔方式组合, 让基站隐形; 五是频谱空口再思考, 让无线信号针对场景和业务“量体裁衣”; 六是前传再思考, 打造射频与基带间最后一公里的高速路; 七是协议栈再思考, 提升用户与网络的平等地位。

本书聚焦用户为中心网络、软件定义空口和 5G 终端技术。重点关注的内容有: 5G 总体框架与目标、用户为中心网络架构与关键使能技术、软件定义空口与关键使能技术和 5G 智能终端技术。

本书适合通信技术人员和管理人员阅读, 也可作为高等院校通信专业硕士、博士研究生的参考书。

---

◆ 编 著 未来移动通信论坛

责任编辑 代晓丽

执行编辑 刘 琳

责任印制 沈 蓉 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>

三河市潮河印业有限公司印刷

◆ 开本: 880×1230 1/32

印张: 5.375

2017年6月第1版

字数: 144千字

2017年6月河北第1次印刷

---

定价: 59.00 元

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

反盗版热线: (010) 81055315

# 《面向 5G 时代的移动通信再思考》

## 主要执笔人

- 潘成康（中国移动）
- 张旭（英特尔）
- 周利萍（华为公司）
- 孟溪（中兴通讯）
- 滕勇（诺基亚贝尔）
- 关皓（诺基亚贝尔）
- 孙程君（三星电子）
- 王化磊（展讯通信）
- 王卫（爱立信）
- 朱剑驰（中国电信）
- 余小明（中国电信）
- 苏昕（大唐电信）
- 李俨（美国高通公司）
- 曹一卿（美国高通公司）
- 封翔（是德科技）
- 江晓根（诺基亚贝尔）
- 王森（中国移动）
- 陈亚迷（中国移动）
- 孙奇（中国移动）
- 孙军帅（中国移动）
- 袁雁南（中国移动）



## 序 言

投身通信产业的30多年来，我有幸参与并见证了移动通信从1G发展到5G的历程。我一直在思考：移动通信何以具备如此强大的生命力？它的力量源泉在哪里？寻找这一问题的答案是非常有意义且有趣的事，也是触发笔者撰写本书的动力。

众所周知，香农的信息论是移动通信的基石。但在该基石上建造不同风格和功能的“移动大厦”，还是需要新的理论和支柱的。《面向5G时代的移动通信再思考》是一本很有思想性的书，它并不是一本纯粹的新技术教科书，更多的是尝试从理论再思考的角度，多维度突破以前移动通信系统设计中各种显性和隐形的概念约束和理论限制，避免墨守成规，为5G设计提供一个方法论。笔者坚持顶层设计理念，从新需求出发，以新理论为蓝本，以重点新技术为支柱，尝试找到更合适、更科学的5G解决方案。

移动通信从1G发展到5G，除了社会经济发展内在的需求驱动外，移动通信理论、技术和器件的发展起到了关键作用。笔者发现，每一代通信系统较之前一代系统都有新的突破，但是从1G到4G的理论突破非常有限，基本停留在无线接入侧的技术更新上，“蜂窝”和“信令”等概念继续沿用。而4G到5G则在理论和技术上，从目前的研究进展来看，有着显著的突破和颠覆。明晰移动通信理论突破、更新和发展的路径，考验着我们对传统理论再思考的能力。

把握趋势，才能看清未来。笔者充分注意到了当前移动通信发展的两大主特征：一是2020后的移动通信场景与业务需求呈现海量爆发趋势，差异性极大，需要定制化解决方案；二是IT（信息技术）、CT（通信技术）和DT（大数据技术）深度融合，引发了一轮新技



术风暴,使得IT+CT+DT成为通信系统设计的基本原则和根本特征,虚拟化、可重构、大数据化成为系统设计和实现的手段。因此,本书明确以“柔性、绿色、极速”为5G网络总体技术愿景,以“七颗珍珠”新理论为设计理念,以软件定义空口和用户为中心网络两大技术主题为统领,遴选当前5G核心新技术。从香农理论再思考、蜂窝概念再思考、信令控制再思考、多天线再思考、频谱空口再思考、前传再思考到协议栈再思考等这一系列的理论再思考,定义了全新的5G蓝图,也是5G全局视图。

本书包含如下内容。

第2章介绍了5G总体目标与框架。这一章介绍了ITU和3GPP定义的5G场景、业务需求和关键能力指标,同时介绍了5G频谱需求和测试需求。作者以5G总体目标为读者展示了2020年后5G的业务与技术愿景,这些愿景将改变我们的生活与社会,是我们的理性需求,是我们愿意看到并愿获得的。

第3章介绍了用户中心网络。这一章基于用户为中心的思想,着重阐述了RAN重构、边缘提升、核心网与RAN功能再划分以及网络切片即服务等核心问题。以此为依托,对新协议栈架构MCD、超密集组网、C-RAN/下一代前传接口、SDN/NFV、网络能力开放、多连接多空口和D2D等使能技术进行详细介绍。这些技术将在UCN的框架下形成5G无线接入网的上层结构。

第4章介绍了软件定义空口。这一章以空口定制化为目标,阐述如何实现灵活的技术选择和参数配置,形成针对不同应用场景的空口技术方案。为此,本章分析了自适应帧结构、灵活双工、灵活多址、灵活波形、大规模天线灵活配置、灵活调制编码、灵活频谱使用和嵌入式空口等关键使能技术,以期实现对场景及业务的“量体裁衣”。这些技术以软件可重构的方式形成5G无线接入网的底层结构。

第5章介绍了5G终端技术。这一章介绍了未来典型的5G终端形态、业务需求和技术需求,是读者比较容易理解和体验到的。

本书作为5G系列丛书的总体部分,对该系列其他分册(《5G超

密集组网技术》、《5G新型多址技术》、《5G同频同时全双工技术》、《5G先进信道编码技术》、《5G移动边缘计算》、《5G大规模天线技术》、《5G波形设计》）起到很好的综述作用，让读者很好地理解分册介绍的支柱技术是如何合理地构造成5G“移动大厦”的。

本书的作者来自移动通信产业生态链各个环节单位，对移动通信在各自领域的发展有很强的洞察力和引导力。这也确保了本书是一本有营养的书。因此，这里必须感谢未来移动通信论坛5G工作组的所有专家辛勤工作和无私奉献！

论坛5G SIG主席  
易芝玲



## 前 言

在过去几十年中，移动通信技术及移动通信服务不断变化升级，逐渐渗透到人们日常生活的每个角落。为了进一步提供万物互联的大连接能力，满足各行业多样化的场景需求，近年来，全球掀起了第五代（5G）移动通信技术发展浪潮。

2015年6月，国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）正式确定了5G名称、场景和时间表。WRC15会议确定了可能用于5G的低频段新频率，并向WRC19推荐了高频候选频段。2015年年底，3GPP正式启动5G标准化工作，计划2018年完成第一个版本。中国IMT-2020（5G）推进组、欧盟5GPPP、日本5GMF、韩国5G论坛、美洲5G Americas等组织先后成立，推进各国和地区的5G需求、技术和频谱研究工作。

2016年年初，韩国KT和SK Telecom、日本NTT DoCoMo以及美国Verizon宣布共同组成了一个全球5G试验规范联盟。Verizon于2016年7月宣布完成V5G无线标准的制定。同时，美国FCC全球首次划定28 GHz及以上约11 GHz高频段为5G频谱资源，白宫宣布将投入4亿美元用于支持5G无线技术研究和网络测试。2016年9月，日本运营商软银（SoftBank）和旗下的Wireless City Planning召开新闻发布会，宣布面向下一代高速通信标准5G的项目“5G Project”正式启动。2016年9月14日，欧盟委员会正式公布了“5G行动计划”：2017年3月公布具体的测试计划，并开始测试，2017年年底之前制定出完整的5G部署路线图；2018年开始预商用测试；2020年各个成员国至少选择一个城市提供5G服务；2025年各个成员国在城区和主要公路、铁路沿线提供5G服务。2016年9月22日，



中国 IMT-2020 (5G) 推进组发布了 5G 第一阶段测试结果, 包括华为、中兴通讯、大唐电信、爱立信、诺基亚上海贝尔、英特尔和三星等厂商参与了测试, 第二阶段将重点开展面向移动互联网、低时延高可靠和低功耗大连接三大 5G 典型场景的无线空口和网络技术方案的研发与试验, 并计划在 2017 年年底前完成。中国移动计划在全国 20 个省的 100 个城市推出潜在 5G 网络, 在 2020 年 5G 网络的标准完成后开始部署。

可以看出全球加快了 5G 研发、测试和部署节奏。虽然各个国家和地区发布的 5G 计划不尽相同, 但促进 5G 全球唯一标准化已成共识。

读者将从这本书中了解到 5G 新技术出现的背景和驱动力, 理解到 5G 研发新理念和新技术基本原理, 体会到全球通信业工作者为推动 5G 发展所做出的努力。

作者  
2017年3月



# 目 录

第 1 章 引言	1
参考文献	3
第 2 章 5G 总体目标与框架	5
2.1 5G 总体需求	6
2.2 设计框架	10
2.3 频谱策略	16
2.4 测试需求	20
参考文献	24
第 3 章 用户中心网络	25
3.1 用户中心网络总体目标	26
3.1.1 端到端总体架构与目标	26
3.1.2 无线接入网总体目标	30
3.2 无线接入网框架	30
3.2.1 RAN 重构	32
3.2.2 边缘提升	33
3.2.3 核心网与接入网再划分	38
3.2.4 网络切片即服务	38
3.3 MCD 协议栈架构	39
3.3.1 MCD 总体目标	39
3.3.2 MCD 总体框架	40

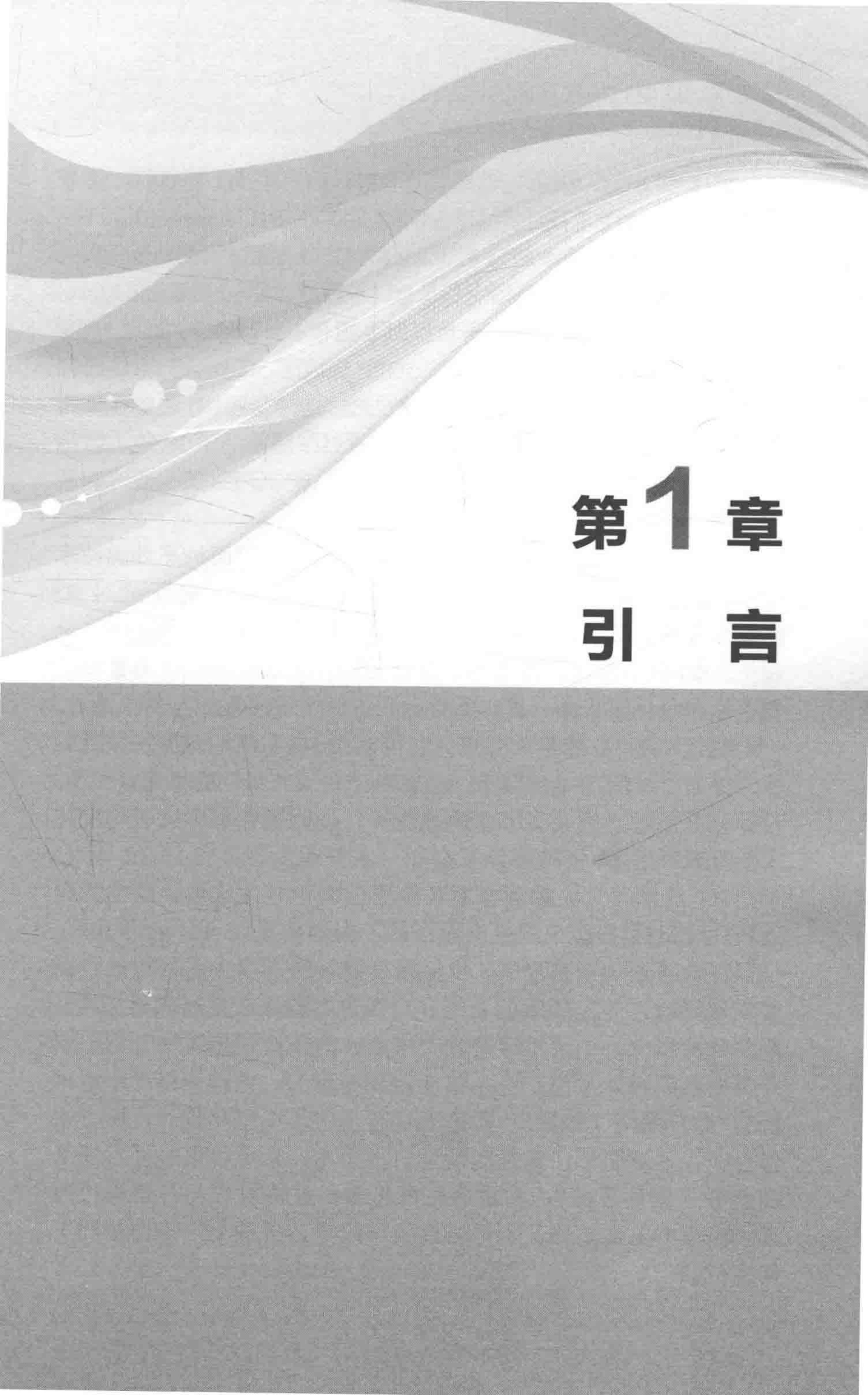


3.3.3	MCD 关键使能技术 .....	44
3.4	关键使能技术 .....	48
3.4.1	超密集组网 .....	48
3.4.2	C-RAN/NGFI .....	54
3.4.3	SDN/NFV .....	60
3.4.4	网络能力开放 .....	69
3.4.5	多连接与多空口 .....	74
3.4.6	D2D 通信 .....	80
	参考文献 .....	83
<b>第 4 章</b>	<b>软件定义空口 .....</b>	<b>85</b>
4.1	SDAI 总体目标 .....	86
4.2	SDAI 总体框架 .....	87
4.3	关键使能技术 .....	90
4.3.1	统一自适应帧结构 .....	90
4.3.2	灵活双工 .....	93
4.3.3	灵活多址 .....	97
4.3.4	灵活波形 .....	100
4.3.5	大规模多天线 .....	111
4.3.6	天线集成 .....	115
4.3.7	嵌入式空口 .....	118
4.3.8	多 Numerology .....	121
4.3.9	灵活的调制编码技术 .....	123
4.3.10	灵活频谱使用 .....	134
<b>第 5 章</b>	<b>5G 智能终端技术 .....</b>	<b>137</b>
5.1	5G 智能终端通信需求 .....	139
5.2	5G 智能终端通信能力 .....	140
5.2.1	个人信息中心 .....	140
5.2.2	可穿戴设备 .....	142



5.2.3 智能机器设备 .....	148
5.2.4 微型传感器 .....	152
名词索引 .....	157





# 第1章

## 引言



2015 年 6 月，国际电信联盟（ITU）确定了 5G 的名称、愿景和时间表。在 ITU 的愿景中，5G 明确支持 eMBB（enhanced Mobile Broadband，增强型移动宽带）、mMTC（massive Machine Type Communications，海量机器通信）和 URLLC（Ultra Reliable Lower Latency Communications，高可靠低时延通信）三大场景。随后 3GPP 正式启动 5G 标准化工作。目前，3GPP 完成了 5G 业务与市场研究工作（SMARTER），定义了 74 个用例，同时开展 5G 关键性能指标、场景与需求研究工作<sup>[1]</sup>，明确定义了 5G 网络的 19 个能力指标和 14 项运营需求。随后 5G 技术研究立项，包括网络架构研究和新空口技术研究。

可以看出，5G 面临的最大挑战在于设计一套简洁高效的技术体系，满足多样化的场景与业务。从目前已有的共识看，应对 5G 如此多样化差异化的业务与能力需求，最佳的解决方案是网络定制化。5G 网络将在计算资源、存储资源和无线资源等核心资源的集中化虚拟化进程中，逐步柔性化，从而实现网络的定制化能力。

“定制化”是 5G 的最大亮点，它可以让 5G 网络运营更加精准有效，更加“绿色”。但要实现 5G 这种“内柔外绿”的愿景，在 5G 设计一开始就必须具备革新的意志力，以颠覆性思维突破传统技术的束缚<sup>[2]</sup>。

5G 的颠覆首先体现在对传统通信理论和系统设计理念的再思考。文献[3]从 7 个维度全面阐述了对通信系统设计的再思考：一是经典香农理论再思考，将能效与谱效的折中关系从点对点扩展到端到端，为无线通信系统开启绿色之旅；二是蜂窝再思考，颠覆蜂窝概念，小区不再是唯一中心，为无线通信系统开启“用户为中心”设计大门；三是信令控制再思考，重构网络“中枢神经”，提升网络“智商”；四是天线再思考，小型化设计，魔方式组合，让基站隐形；五是频谱空口再思考，让无线信号针对场景和业务“量体裁衣”；六是前传再思考，打造射频与基带间“最后一公里”的高速路；七是协议栈再思考，提升用户与网络的平等地位。



上述 5G 研发理念为 5G 技术设计提供了指导思想。随着 5G 标准化工作的全面开展,迫切需要给出 5G 端到端系统设计框架以及面向标准化的系统解决方案。本书聚焦 UCN(User Centric Network, 用户为中心网络)和 SDAI(Software Defined Air Interface, 软件定义空口)和 5G 终端技术,重点关注如下内容。

- ① 5G 总体框架与目标;
- ② UCN 架构与关键使能技术;
- ③ SDAI 与关键使能技术;
- ④ 5G 智能终端技术。

SDN(Software Defined Networks, 软件定义网络)/NFV(Network Function Virtualization, 网络功能虚拟化)、C-RAN、NGFI(Next General Fronthual Interface, 下一代前传接口)、UDN(Ultra Density Networks, 超密集网络)、Multi-RAT/RIT(Multi-Radio Access Technology/Radio Interface Technology, 多连接/多空口技术)、D2D 通信(Device to Device Communications)和灵活网络切片是 UCN 的核心技术。大数据分析也是 UCN 动态特性不可缺少的部分。统一自适应帧结构、灵活双工、灵活多址、灵活波形、大规模天线、新型调制编码以及灵活频谱使用被认为是目前 SDAI 的关键使能技术,而协议栈重构对 SDAI 同样是不可缺少的。

无线接入安全、数据与信息安全、终端安全、应用层安全和物理层安全是安全技术的关键关注领域。5G 终端类型将极大丰富和多样化,汽车、无人机、机器人、可穿戴式设备、微型传感器等都将联网,这些智能终端技术对 5G 而言同样重要。

## 参考文献

- [1] 3GPP TR 38.913 V14.1.0. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies[S].



- [2] CHIHLIN I, ROWELL C, HAN S F, et al. Towards green & soft: a 5G perspective[J]. IEEE commu., 2014, 52(2).
- [3] CHIHLIN I, YUAN Y N, HUANG J R, et al. Rethink fronthaul for soft RAN[J]. IEEE commun., 2015, 53(9).



# 第 2 章

## 5G 总体目标与框架

- 2.1 5G 总体需求
- 2.2 设计框架
- 2.3 频谱策略
- 2.4 测试需求