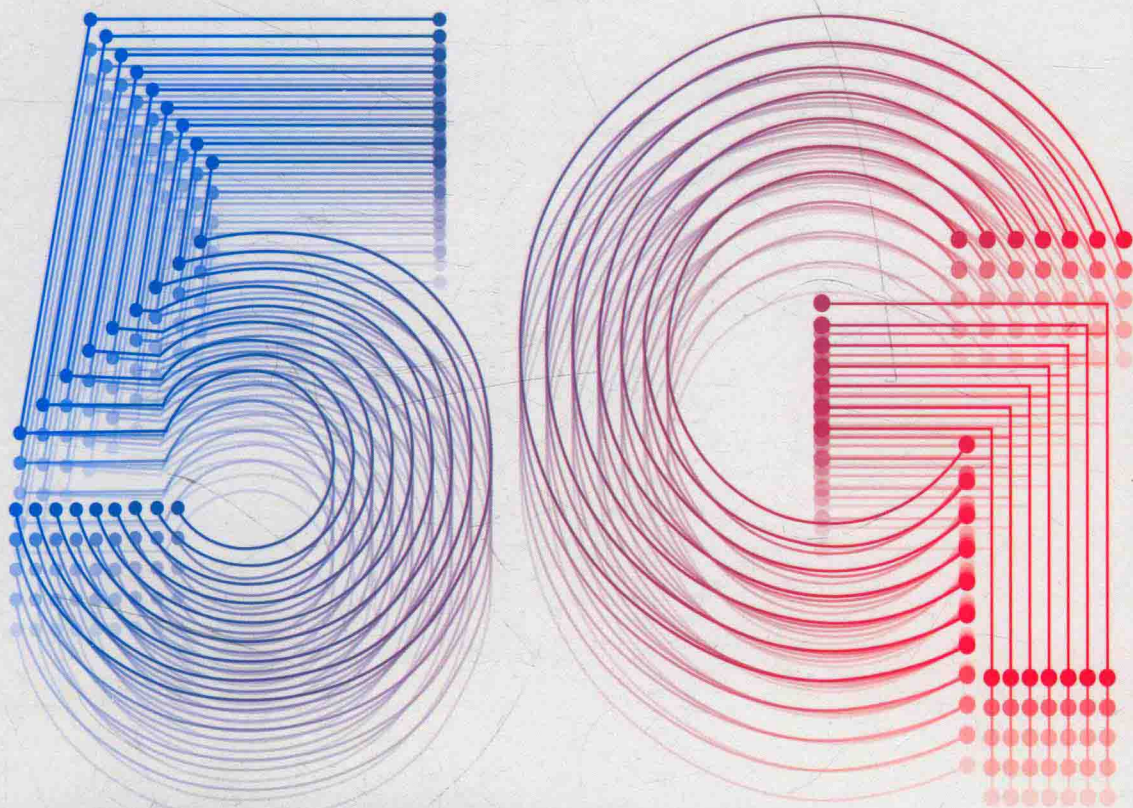


华信咨询设计研究院专家团队



无线网络技术与规划设计

汪丁鼎 许光斌 丁巍 汪伟 徐辉◎编著

邬贺铨 院士 / 推荐

一本以5G技术和通信协议为基础，从理论分析到规划设计建设实践的工具书

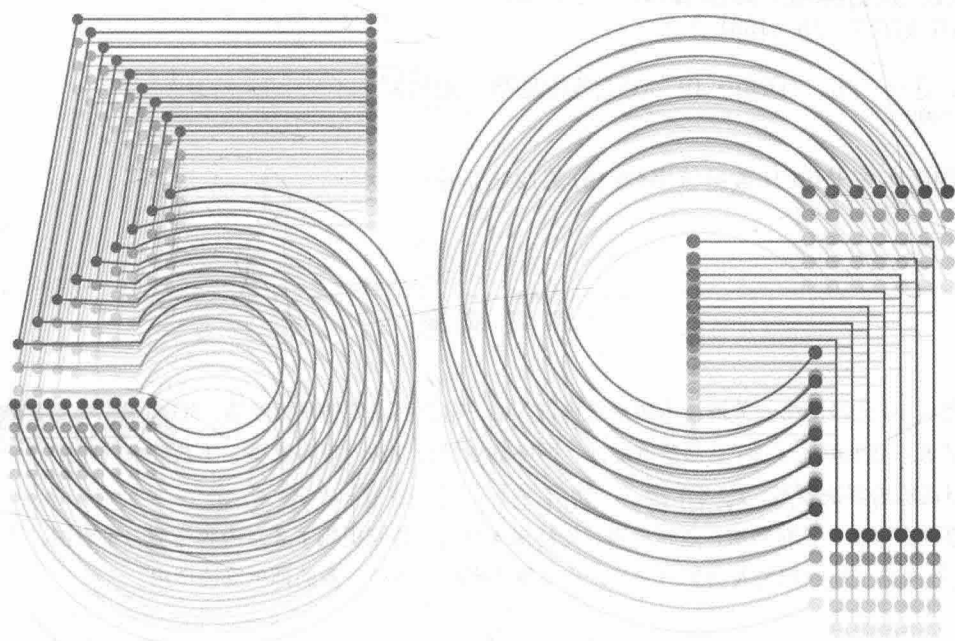
5G无线网关键技术、空口物理层协议，基站覆盖、容量基本能力分析

基站设备发展演进，无线网络规划、设计，室内覆盖系统方案

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

华信咨询设计研究院专家团队



无线网络技术与规划设计



汪丁鼎 许光斌 丁巍 汪伟 徐辉◎编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

5G无线网络技术与规划设计 / 汪丁鼎等编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2019.8 (2019.9重印)
ISBN 978-7-115-51551-3

I. ①5… II. ①汪… III. ①无线电通信—通信网
IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第121535号

内 容 提 要

本书从5G无线网络的关键技术和系统协议入手,结合网络规划分析经验、5G试验网数据和5G典型业务需求,着重阐述了5G基站基本能力、网络规划设计方法、设备演进、工艺要求,并提出了室内覆盖场景的综合解决方案。

本书内容丰富,资料翔实,逻辑严谨、论述深入浅出,特别提炼了8章内容概要一览彩图,适合从事5G无线网络工程的相关人员参考学习,也可供大专院校通信专业的师生阅读使用。

◆ 编 著 汪丁鼎 许光斌 丁 巍 汪 伟 徐 辉

责任编辑 赵 娟 王建军

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>

三河市中晟雅豪印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16 拉页: 8

印张: 27 2019年8月第1版

字数: 635千字 2019年9月河北第2次印刷

定价: 168.00元

读者服务热线: (010)81055493 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

丛书策划

余征然 朱东照 汪丁鼎 肖清华 彭 宇

丛书编委

(按姓氏笔画排序)

丁 巍 许光斌 汪丁鼎 张子扬 汪 伟
吴成林 张建国 肖清华 李燕春 杨东来
单 刚 周 悦 赵迎升 徐伟杰 徐 辉
黄小光 陶伟宜 景建新

序 PREFACE

当前，第五代移动通信（5G）技术已日臻成熟，国内外各大主流运营商均在积极准备 5G 网络的演进升级。促进 5G 产业发展已经成为国家战略，我国政府连续出台相关文件，加快推进 5G 技术商用，加速 5G 网络发展建设进程。本月初，工信部发放 5G 商用牌照，标志着中国正式进入 5G 时代。4G 改变生活，5G 改变社会。新的网络技术带动了多场景服务的优化，也带动了互联网技术的演进，也将引发网络技术的大变革。5G 不仅仅是移动通信技术的升级换代，更是未来数字世界的驱动平台和物联网发展的基础设施，将对国民经济方方面面带来广泛而深远的影响。5G 和人工智能、大数据、物联网及云计算等的协同融合点燃了信息化新时代的引擎，为消费互联网向纵深发展注入后劲，为工业互联网的兴起提供新动能。

作为信息社会通用基础设施，当前国内 5G 产业建设以及发展如火如荼。在 5G 产业上虽然中国有些企业已经走到了世界的前面，但并不意味着在所有方面都处于领先地位，还应该加强自主创新能力。我国 5G 牌照虽已发放，但是 5G 技术仍在不断的发展中。在网络建设方面，5G 带来的新变化、新问题也需要不断的探索和实践，尽快找出分析解决办法。在此背景下，在工程技术应用领域，亟需加强针对 5G 网络技术、网络规划和设计等方面的研究，为已经来临的 5G 大规模建设

做好技术支持。“九层之台，起于累土”，规划建设是网络发展之本，为抓住机遇，迎接挑战，做好 5G 建设准备工作，作者编写了系列丛书，为 5G 网络规划建设提供参考和借鉴。

本书作者工作于华信咨询设计研究院有限公司，长期跟踪移动通信技术的发展和演进，一直从事移动通信网络规划设计工作。作者已经出版过有关 3G、4G 网络规划、设计和优化的书籍，也见证了 5G 移动通信标准诞生、萌芽、发展的历程，参与了 5G 试验网的规划设计，积累了 5G 技术和工程建设方面的丰富经验。

在这一系列著作中，作者依托其在网络规划和工程设计方面的深厚技术背景，系统地介绍了 5G 无线网络技术、蜂窝网络技术、5G 核心网技术以及网络规划设计的内容和方法，系统全面地提供了从 5G 理论技术到建设实践的方法和经验。本系列书籍将有助于工程设计人员更深入地了解 5G 网络，更好地进行 5G 网络规划和工程建设。本系列书籍的出版适逢 5G 牌照发放，对将要进行的 5G 规模化商用网络部署将会有重要的参考价值和指导意义。

郭智强

2019.6.26

前言 FOREWORD

自我国开展 3G 商用，启动移动互联网时代以来，移动通信进入了快速发展的阶段，特别是经历了 4G 大发展时代，用户使用移动互联网已经成为一种习惯和刚性需求。移动互联网、物联网的结合，给未来信息化发展提供了非常广阔的空间。据估计，未来 5 年，移动互联网业务量每年复合增长率将达到 80% 以上。未来 10 年，移动互联网数据流量将增长 500 倍以上，4G 技术难以满足未来更高速率的数据业务和低时延、高可靠性业务的需求。为此，5G 技术应运而生，发展 5G 成为我国当前信息化发展的重要任务。

2017 年 10 月，国务院出台了《关于进一步扩大和升级信息消费持续释放内需潜力的指导意见》（以下简称《意见》），部署进一步扩大和升级信息消费，充分释放内需潜力，壮大经济发展内生动力；指出要加快第五代移动通信（5G）标准研究、技术试验和产业推进，力争 2020 年启动商用。2018 年 10 月，国务院印发《完善促进消费体制机制实施方案（2018—2020 年）》，要求加快推进第五代移动通信（5G）技术商用。两个文件对信息通信行业产生了深远影响，把握全球移动互联网发展机遇，促进 5G 产业快速发展成为国家战略。由此，各地 5G 试验网的建设和测试如火如荼，呈现多地开花的态势。2019 年 6 月 6 日，工信部正式发放 5G 商用牌照，标志着中国正式进入 5G 时代，同时也吹响了 5G 大规模建设的号角。

在此背景下，在工程技术应用领域，需要加强针对 5G 网络技术、网络规划和设计等方面的研究，为 5G 大规模建设做好技术指引和参考。

本书作者均是华信咨询设计研究院从事移动通信的专业技术人员，长期跟踪研究 5G 通信系统标准、规范与组网技术，参与国内 5G 试验网规划、设计和测试，对 5G 无线网络技术有较深刻的理解。本书在编写过程中融入了作者在长期从事移动通信网络规划和优化工作中积累的经验和心得，可以使读者较为全面地理解 5G 系统技术和网络规划、设计等内容。

本书第一章 5G 无线技术与系统概要介绍了 5G 系统的发展、系统架构、物理层协议和 5G 无线网关键技术。第二章 5G 业务与场景介绍了各类 5G 典型业务模型，以及不同场景下的业务模型的分析方法。第三章基站覆盖能力分析介绍了 5G 网络覆盖影响因素、链路预算、5G 频段传播模型及覆盖的平衡和优化等内容。第四章基站容量能力分析介绍了 5G 网络容量影响因素、基站容量分析、容量优化等内容。第五章 5G 无线网络规划介绍了无线网络规划的内容和方法，包括覆盖、容量、参数规划、组网技术以及 5G 与其他系统的干扰协调和规划仿真。第六章 5G 无线网络设备介绍了 5G 对设备系统的新需求，从网络架构演进和网络性能两个方面介绍了 5G 无线网络设备的变化。第七章 5G 无线网络设计介绍了 5G 无线网设计的内容和要求，包括基站的选址、勘察、主设备及配套设计等内容，对基础设施共建共享提出了建议。第八章 5G 室内覆盖系统设计从信号模型、系统分类、设计流程、典型解决方案等方面介绍了 5G 室内覆盖场景的设计方法和方案。

全书由华信咨询设计研究院有限公司总工程师朱东照统稿，许光斌编写了第一章，徐辉编写了第二章，汪丁鼎编写了第三、四、五章，丁巍编写了第六、八章，汪伟编写了第七章。华信设计院是国内最早从事移动通信网络规划、设计与优化的设计院之一，在 5G 网络规划、设计和优化方面具备雄厚的技术实力和丰富的实践

经验。在本书的编写过程中，得到了华信多位领导和同事的大力支持，特别是公司余征然总经理的大力支持，在此表示衷心感谢！同时，在这里也向肖清华、黄小光、李斌江等同仁表示感谢！在本书的编写过程中，还得到了中国电信北京研究院、华为等公司的支持和帮助，参考了许多学者的专著和学术论文，在此一并致谢！

本书适用于从事 5G 移动通信系统规划、设计、网络优化和维护的工程技术人员与管理人员参考使用，也可作为高等院校移动通信相关专业师生的参考书。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏与不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2019 年 6 月于杭州

5G 无线技术与系统

Chapter 1

第一章



5G 无线网络技术主要集中在物理层，包括物理层协议及相关技术。本章阐述了 5G 发展的演进情况及系统架构，重点介绍了 5G 帧结构以及上下行物理信道和信号，然后简要介绍了 5G 无线网络的 MAC、RLC、PDCP、RRC 等协议。5G 关键技术众多，皆为满足 5G 业务特性需求而来。Massive MIMO 天线技术是通过大幅增加收发端的天线数，以增加系统内可利用的自由度，从而形成高的速率和增益。NOMA 是一种功分多址方案，将不同信道增益的多个用户在功率域上叠加而获得复用增益。高频毫米波通信技术是充分利用高频波长短、设备集成度高及频谱资源支持极高速短距离的通信技术。超密集组网技术主要解决密集组网的干扰控制和切换问题，提升单位面积速率。网络切片技术是将物理网络进行层化逻辑切分，以更好地满足不同业务的特性需求。时频全双工技术本质是上下行同时、同频并解决收发自干扰，以提升系统容量的技术。MEC 技术是将内容与计算能力下沉，提供智能化的流量调度。这些关键技术解决了 5G 中相应的技术问题，但是也带来了不少挑战，在应用中需要认真分析。

目录 CONTENTS

第一章 5G无线技术与系统

1.1 5G系统概述 / 1	1.5.4 RRC协议 / 29
1.2 5G帧结构和物理资源 / 2	1.6 Massive MIMO天线技术 / 31
1.2.1 帧结构 / 2	1.6.1 Massive MIMO特性 / 31
1.2.2 资源单元及资源块 / 4	1.6.2 Massive MIMO的优势和挑战 / 33
1.3 上行物理信道及信号 / 5	1.7 NOMA技术 / 37
1.3.1 PUCCH信道 / 6	1.7.1 概述 / 37
1.3.2 PUSCH信道 / 7	1.7.2 NOMA原理 / 38
1.3.3 PRACH信道 / 8	1.8 高频通信毫米波技术 / 40
1.3.4 上行SRS信号 / 9	1.8.1 毫米波通信优劣 / 40
1.3.5 上行DMRS信号 / 10	1.8.2 毫米波大气损耗衰减率 / 41
1.3.6 上行PTRS信号 / 11	1.9 超密集组网技术 / 46
1.4 下行物理信道及信号 / 12	1.10 网络切片技术 / 50
1.4.1 PDCCH信道 / 14	1.10.1 网络切片概述 / 50
1.4.2 PDSCH信道 / 15	1.10.2 网络切片按需定制的实现 / 53
1.4.3 PBCH信道 / 17	1.11 同时同频全双工技术 / 54
1.4.4 下行DMRS信号 / 19	1.11.1 概述 / 54
1.4.5 下行PTRS信号 / 21	1.11.2 同时同频全双工技术优劣 / 55
1.4.6 下行CSI-RS信号 / 22	1.12 MEC技术 / 56
1.5 5G系统主要协议 / 24	1.12.1 特征 / 56
1.5.1 MAC协议 / 24	1.12.2 资源的联合管理 / 64
1.5.2 RLC协议 / 26	参考文献 / 65
1.5.3 PDCP协议 / 28	

第二章 5G业务与场景

2.1 移动通信业务发展历程 / 67	组场景划分 / 80
2.2 5G业务解析 / 69	2.3.3 5G场景划分对比分析 / 83
2.2.1 5G业务分类 / 70	2.4 5G场景业务模型 / 85
2.2.2 5G典型业务解析 / 73	2.4.1 业务模型关键指标 / 85
2.3 5G场景解析 / 76	2.4.2 场景业务模型建模 / 86
2.3.1 3GPP场景划分 / 76	参考文献 / 94
2.3.2 中国IMT-2020 (5G) 推进	

第三章 基站覆盖能力分析

3.1 概述 / 97	3.4.2 链路预算分析 / 122
3.2 5G频率 / 97	3.5 5G频段电波传播模型 / 126
3.2.1 ITU和国内移动通信频率资源划分 / 97	3.5.1 常用传播模型 / 126
3.2.2 5G频率资源及分配 / 100	3.5.2 校正后的传播模型 / 129
3.3 5G网络覆盖影响因素 / 103	3.6 5G基站覆盖能力 / 131
3.3.1 覆盖影响因素 / 103	3.7 5G覆盖的上下行平衡和优化 / 132
3.3.2 链路预算参数 / 105	3.7.1 上下行链路平衡 / 132
3.4 5G链路预算 / 120	3.7.2 覆盖和容量的相互影响和制约 / 133
3.4.1 链路预算 / 120	3.7.3 链路预算的平衡与优化 / 134
	参考文献 / 135

第四章 基站容量能力分析

4.1 概述 / 137	4.3.3 MCS映射 / 145
4.2 5G基站容量影响因素 / 138	4.3.4 瀑布曲线 / 148
4.2.1 载频带宽 / 138	4.3.5 链路开销 / 149
4.2.2 业务类型和质量要求 / 138	4.3.6 传输块的大小 / 155
4.2.3 网络覆盖质量 / 139	4.3.7 容量计算举例 / 158
4.3 从资源到容量 / 140	4.4 基站容量能力分析 / 158
4.3.1 资源 / 140	4.4.1 单小区理论峰值容量 / 159
4.3.2 CQI / 143	4.4.2 单小区平均吞吐量 / 160

- 4.5 场景容量能力分析 / 162
 - 4.5.1 eMBB / 162
 - 4.5.2 mMTC / 163
 - 4.5.3 uRLLC / 163
- 4.5.4 网络切片容量 / 164
- 4.6 小区容量的优化 / 164
- 参考文献 / 167

第五章 5G无线网络规划

- 5.1 概述 / 169
 - 5.1.1 规划原则 / 169
 - 5.1.2 无线网络规划内容 / 171
 - 5.1.3 无线网络规划流程 / 172
 - 5.1.4 5G无线网络规划新特性 / 174
- 5.2 5G网络规划方法 / 175
 - 5.2.1 网络定位和建设策略 / 175
 - 5.2.2 业务需求和网络规划目标的衔接 / 175
 - 5.2.3 网络规划目标 / 176
 - 5.2.4 规划目标的实施 / 179
- 5.3 5G覆盖规划 / 180
 - 5.3.1 频率规划 / 180
 - 5.3.2 覆盖区域划分 / 181
 - 5.3.3 面、线、点覆盖规划 / 183
 - 5.3.4 基于大数据的网络覆盖规划 / 185
- 5.4 5G容量规划 / 188
 - 5.4.1 容量规划概述 / 188
 - 5.4.2 容量评估和资源利用率评价 / 190
 - 5.4.3 容量规划扩容 / 192
- 5.4.4 基于感知的网络容量规划 / 193
- 5.5 5G组网技术 / 199
 - 5.5.1 组网技术 / 199
 - 5.5.2 CU+DU+AAU组网 / 200
 - 5.5.3 宏微结合超密集组网 / 202
- 5.6 5G基站参数规划 / 203
 - 5.6.1 PCI规划 / 203
 - 5.6.2 TA规划 / 205
 - 5.6.3 邻区规划 / 206
 - 5.6.4 传输带宽需求测算 / 207
- 5.7 5G基站与其他系统的干扰协调 / 211
 - 5.7.1 通信系统间的干扰 / 211
 - 5.7.2 干扰分析 / 212
 - 5.7.3 5G系统与其他系统的隔离距离 / 216
 - 5.7.4 系统间的干扰抑制 / 219
- 5.8 无线网络规划仿真 / 220
 - 5.8.1 5G关键技术对仿真的影响 / 220
 - 5.8.2 SS-RSRP覆盖预测的仿真配置 / 221
 - 5.8.3 SS-RSRP覆盖仿真准确性验证案例 / 223
 - 5.8.4 仿真规划案例 / 225
- 参考文献 / 229

第六章 5G无线网络设备

- 6.1 5G移动通信系统的需求 / 231
 - 6.1.1 5G的业务需求 / 231

- 6.1.2 5G的运营需求 / 232
- 6.1.3 5G的指标需求 / 233
- 6.2 网络架构演进对设备影响 / 234
 - 6.2.1 5G网络架构 / 234
 - 6.2.2 5G无线网设备演进方向 / 250
- 6.3 性能指标要求对设备的影响 / 267
 - 6.3.1 高频通信设备 / 267
 - 6.3.2 大规模天线 / 275
- 6.4 目前5G无线网络设备典型产品 / 285
- 参考文献 / 286

第七章 5G无线网络设计

- 7.1 总体要求 / 289
 - 7.1.1 总体原则 / 289
 - 7.1.2 设计内容 / 290
- 7.2 基站选址与勘察 / 291
 - 7.2.1 选址总体原则 / 291
 - 7.2.2 SSUP选址办法 / 293
 - 7.2.3 基站勘察 / 296
 - 7.2.4 基站选址 / 301
- 7.3 基站系统设计 / 302
 - 7.3.1 基站主设备及机房设计 / 302
 - 7.3.2 基站配套改造设计 / 306
- 7.4 C-RAN组网接入汇聚机房和前传承载网设计 / 311
 - 7.4.1 C-RAN组网设计 / 311
 - 7.4.2 接入汇聚机房 / 312
 - 7.4.3 前传承载网 / 314
- 7.5 共建共享 / 315
 - 7.5.1 共建共享原则 / 315
 - 7.5.2 通信基础资源共建共享 / 316
 - 7.5.3 社会资源共建共享 / 319
- 参考文献 / 323

第八章 5G室内覆盖系统设计

- 8.1 室内覆盖系统概述 / 325
 - 8.1.1 室内覆盖系统概念 / 325
 - 8.1.2 分布系统的分类 / 326
 - 8.1.3 分布系统的结构 / 328
- 8.2 5G室内覆盖系统解决方案 / 335
 - 8.2.1 室内信号传播模型 / 335
 - 8.2.2 室内传播模型的校正 / 341
 - 8.2.3 5G室内覆盖系统使用的频率 / 344
 - 8.2.4 5G室内覆盖系统方案选择原则 / 344
 - 8.2.5 5G室内覆盖系统解决方案分析 / 345
- 8.3 室内覆盖系统设计流程 / 351
 - 8.3.1 总体流程 / 351
 - 8.3.2 设计准备工作 / 352
 - 8.3.3 设计工作 / 358
 - 8.3.4 单站设计流程 / 364
 - 8.3.5 站点现场勘察 / 366
 - 8.3.6 室内模拟测试 / 367
- 参考文献 / 371

缩略语 / 372

附 录

附录（一）：5G系统架构 / 376

附录（二）：5种5G帧结构 / 383

附录（三）：时隙格式 / 384

附录（四）：前导格式 / 386

附录（五）：PDSCH的MCS索引 / 389

附录（六）：空间复用码字映射 / 392

附录（七）：物理过程 / 394

附录（八）：Massive MIMO天线阵列及部署 / 402

附录（九）：NOMA应用场景 / 403

附录（十）：无线电波衰减率 / 404

附录（十一）：超密集网络的干扰控制 / 407

附录（十二）：网络切片实现问题和挑战 / 408

附录（十三）：同时同频全双工技术自干扰抑制抵消 / 410

附录（十四）：MEC技术面临的问题和应用 / 412

●●1.1 5G 系统概述

从 1G 到 4G 的发展路线可以看出,移动通信系统的每次演进、更新换代都是为了解决当时最主要也是最迫切的通信需求。目前,随着智能手机的大规模普及,越来越多新的业务不停地出现,各个维度的业务需求也在不断提高。此外,移动互联网正在向“万物互联”的移动物联网发展。除了手机之外,数以亿计的智能终端将接入网络,相互连接、相互交互信息,使业务和应用更加多样化和多元化。以人为中心的通信与以机器为中心的通信将相互共存,相互融合,这将对移动通信系统带来前所未有的挑战。根据移动通信的发展,第五代移动通信系统(5th Generation Mobile Communication System, 5G),将在 2020 年左右商用,5G 已经成为当前最为热门的研究方向和研究领域,全球各国政府、标准组织、相关企业院校纷纷开始了针对 5G 的研究工作。5G 将以用户为中心、构建全方位的信息生态系统,通过无缝融合的方式,实现人与万物的智能互联,最终实现“信息随心至,万物触手及”的总体愿景。

根据 IMT-2020 推进组《5G 需求与愿景白皮书》的要求,5G 需要支持 0.1~1Gbit/s 的用户体验速率,每平方千米 100 万的连接数密度,毫秒级的端到端时延,每平方千米数十 Tbit/s 的流量密度,每小时 500 千米以上的移动性和数十 Gbit/s 的峰值速率。同时,5G 还需要大幅提高网络部署和运营的效率,与 4G 相比,频谱效率提升 5~15 倍,能量效率和成本效率提升百倍以上。为了达到这些性能指标和要求,研究学者们对 5G 的核心技术进行了深入的研究。从增加覆盖、增加信道、增加带宽、增加信噪比等几个方面出发,相关技术包括增强覆盖技术、频谱提升技术、频谱扩展技术、能效提升技术,以及多址技术、用户调度、资源分配、用户/网络协作等。随着研究的深入,研究学者们认为,5G 的核心技术既包含新的无线接入技术,也包含一些传统无线技术的增强技术。

在世界范围内,各个国家各个地区都有组织地对 5G 开展积极的研究工作。例如,欧盟的 METIS[Mobile and Wireless Communications Enablers for Twenty-Two(2020) Information Society]、中国的 IMT2020(5G)推进组、韩国的 SG Forum 论坛、由运营商主导的 NGMN(Next Generation Mobile Networks)等。当前,制定全球统一的 5G 标准已经成为业界共同的呼声。国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)已经启动了面向 5G 标准的研究工作,并且明确了 IMT2020(5G)的工作计划:2015 年年中完成 IMT2020 国际标准前期研究(包括愿景、技术趋势和频谱);2016 年开展 5G 技术性能需求和评估方法研究;2017 年年底 2018 年年初开始 5G 候选技术方案的征集;在 2020 年年底之前完成

5G 标准方案的评估和制定，开始进入全面商用。

5G 移动宽带系统将成为面向 2020 年以后人类信息社会需求的无线移动通信系统。5G 不再仅仅是更高速率、更大带宽、更强能力的空中接口技术，而是面向业务应用和用户体 验的智能网络。它是一个多业务、多技术融合的网络，通过技术的演进和创新，满足未来 包含广泛数据连接的各种业务的快速发展需要，提升用户体验。

3GPP 的 5G Release 15 版本已经标准化，在 2018 年 3 月完成非独立版本的 5G 标准。 最初的 5G 国家安全部署可能会在 2019 年年底或 2020 年年初进行。3GPP 在 2018 年 9 月 完成全部发布 Release 15 版本，并在 2020 年部署。Release 16 版，即 5G 的第二阶段，将在 2019 年年底完成，并将在 2021 年发布 Release 16 部署。在 2020 年，3GPP 将在 Release 17 版开始工作，图 1-1 所示的是 5G 开发和部署进度，图中显示了 5G 开发和部署的当前进度， 其中 5G 系统架构见附录（一）。

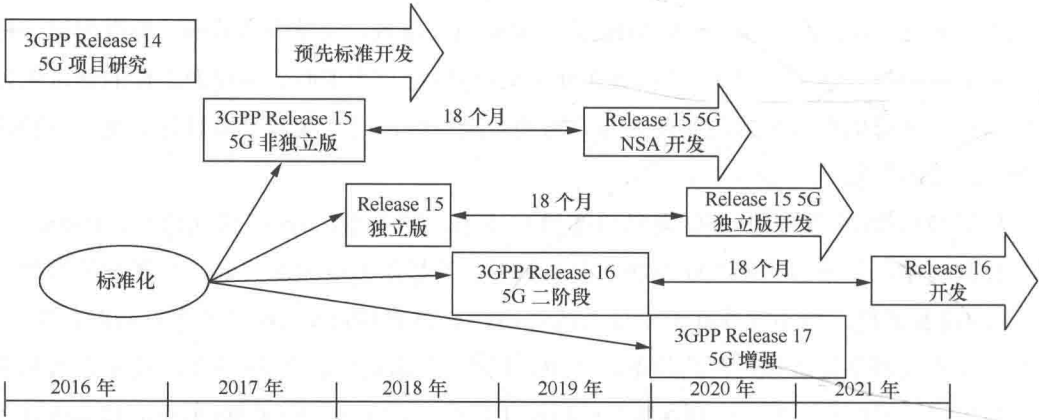


图 1-1 5G 开发和部署进度

●●1.2 5G 帧结构和物理资源

1.2.1 帧结构

5G 物理层是在基于资源块的带宽不可知的方式下定义的，允许它适应不同的频谱分配，并且使它非常灵活。

每个资源块包含 12 个特定间隔的子载波。NR 的基本时间单位为 T_c ， $T_c = 1/(\Delta f_{\max} \cdot N_f)$ ，其中， $\Delta f_{\max} = 480 \times 10^3 \text{Hz}$ ， $N_f = 4096$ ，常量 $\kappa = T_s/T_c = 64$ ， $T_s = 1/(\Delta f_{\text{ref}} \cdot N_{f, \text{ref}})$ ， T_s 为基本时间单位， $\Delta f_{\text{ref}} = 15 \times 10^3 \text{Hz}$ ， $N_{f, \text{ref}} = 2048$ 。5G 支持多个 OFDM 的参数集，见表 1-1，子载波带宽指数 μ 和循环前缀宽度是由高层参数 DL-BWP- μ 、DL-BWP-cp、UL-BWP- μ 和 UL-BWP-cp 给出的，用于上下行链路。