

★ ★ ★ ★ ★
“十三五”

国家重点出版物出版规划项目



国之重器出版工程

网络强国建设

5G 丛书

Networking and
Engineering Practice of 5G

5G 组网与工程实践

中国通信建设集团设计院有限公司

★ ★ ★ ★ ★
“十三五”

国家重点出版物出版规划项目



国之重器出版工程
网络强国建设

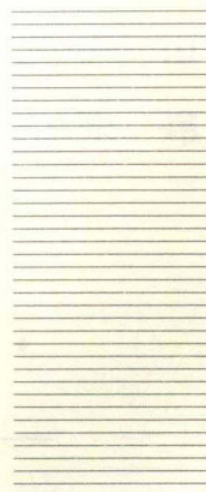
5G 丛书



5G 组网与工程实践

Networking and
Engineering Practice of 5G

中国通信建设集团设计院有限公司 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

5G组网与工程实践 / 中国通信建设集团设计院有限公司编著. -- 北京: 人民邮电出版社有限公司, 2019. 12
(5G丛书)
国之重器出版工程
ISBN 978-7-115-52509-3

I. ①5… II. ①中… 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(2019)第239535号

内 容 提 要

本书首先介绍了5G技术的发展背景和标准的最新进展情况,然后着重介绍了5G网络架构中的组网技术。接着在阐述5G原理的基础上,从5G网络的规划方面入手,着重介绍了网络覆盖和容量规划的需求与步骤,以及关键技术与帧结构、信道变化对容量和覆盖的影响。最后介绍了5G其他网络规划以及室内覆盖与工程实施。

本书适合广大的网络工程建设和优化从业人员,包括运营商、设备商、设计院等5G网络规划、建设和优化工程人员,同样也非常适合作为培训教材。

◆ 编 著 中国通信建设集团设计院有限公司

责任编辑 李 强

责任印制 杨林杰

◆ 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: 720×1000 1/16

印张: 26

2019年12月第1版

字数: 480千字

2019年12月河北第1次印刷

定价: 159.00元

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

反盗版热线: (010)81055315



李洪波

中国通信建设集团设计院有限公司，教授级高工，北京理工大学电磁场与微波技术专业学士，南京邮电大学电子与通信技术专业硕士。长期从事无线网络规划设计工作。



高峰

北京邮电大学电磁场与微波技术专业博士，主要研究方向为移动通信与宽带无线接入技术。出版图书10余本，负责及参与移动通信领域科研项目20余项，发表论文40余篇。

《国之重器出版工程》 编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	高延敏	何 琼	刁石京	谢少锋
闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生	赵永红
韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波	卢 山
徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁	张 炜
聂 宏	付梦印	季仲华		



专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

于全 中国工程院院士

王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授

王建民 清华大学软件学院院长

王哲荣 中国工程院院士

王越 中国科学院院士、中国工程院院士

尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授

邓宗全 中国工程院院士

甘晓华 中国工程院院士

叶培建 中国科学院院士

朱英富 中国工程院院士

朵英贤 中国工程院院士

邬贺铨 中国工程院院士

刘大响 中国工程院院士

刘怡昕 中国工程院院士

刘韵洁 中国工程院院士

孙逢春 中国工程院院士

苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
中国机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家
工程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原
机械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



- 屈贤明 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任
- 项昌乐 “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长
- 柳百成 中国工程院院士
- 闻雪友 中国工程院院士
- 徐德民 中国工程院院士
- 唐长红 中国工程院院士
- 黄卫东 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 黄先祥 中国工程院院士
- 黄 维 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长
- 董景辰 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员
- 焦宗夏 “长江学者奖励计划”特聘教授

本书编辑委员会

编者：

李洪波	高 峰	李盼星	张 博
李 磊	马哲锐	吴 迪	张亚飞
杨政伟	马迎庆	刘子群	刘海玲



前 言

随着各种智能终端的普及，预计 2020 年起，移动数据流量将呈现爆炸式增长。移动通信网络也正朝着多元化、宽带化、综合化、智能化的方向发展，越来越多的设备接入移动通信网络，新的服务和应用层出不穷。为了应对上述挑战，5G 移动通信网络应运而生。

5G 网络的优点之一是数据传输速率远远高于以前的蜂窝网络，最高可达 10 Gbit/s，比 LTE R8 版本的蜂窝网络快 100 倍；另一个优点是空口时延小于 1 ms，而 4G 为 30~70 ms。由于数据传输更快、时延更低，5G 网络将不仅仅为用户提供高速大带宽服务，更为广阔的垂直行业提供丰富的业务应用。

2019 年 6 月 6 日，工信部正式向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放 5G 商用牌照，我国正式进入 5G 商用元年，5G 工作的重心也由理论研究及实验网测试转入大规模商用网络建设层面。由于 5G 部署频段较高，为了保证网络覆盖效果，需要建设大量基站，网络建设人员往往对 5G 技术原理了解不够深入，对 5G 技术理解深刻的专家又通常不在工程一线，所以工程人员亟需一本网络工程建设方面的图书为日常工作提供支撑。

目前市场上讲解 5G 网络原理和规划的图书较多，但是大部分内容都是参照标准，理论难度较高，网络建设工程师不容易理解掌握。通常，网络建设工程师在实际工作中，只需要了解相关结论并掌握该结论如何使用，以及结论适用的场景和限制的条件即可，本书在组网和工程建设部分就是以满足这样的需求为原则编写的。

本书定位于工程读物，尽量减少原理部分的详细讲解，对必要结论的说明



力求简明扼要；语言力求平实明确。本书主要针对 5G 网络规划、勘察设计、工程建设、运营维护领域的工程技术人员；对于从事 5G 网络领域学习研究，立志投身 5G 网络部署和服务的高校师生，也有参考价值。

本书共 9 章，第 1 章为 5G 发展概述，介绍 5G 的发展背景及发展现状。第 2 章为 5G 组网技术，介绍组网过程中的关键技术，包括 5G 架构，网络架构选项、CU-DU 分离方案以及超密集组网、网络切片、移动边缘计算等。第 3 章为 5G 空口关键技术，为了实现相关的业务要求，5G 网络的空口技术采用了高频段大带宽、大规模天线阵列（Massive MIMO）、OFDM 载波技术、非正交多址技术以及更先进的信道编码和调制技术。第 4 章为 NR 帧结构和信道，主要从理论方面介绍 5G NR 的帧结构和信道相关概念。第 5 章为 5G 无线网规划，通过对 5G 工程场景的分析，进一步阐述了高频信道传播模型，对 5G 网络的覆盖能力、容量能力、系统间干扰及参数规划进行了分析。第 6 章为 5G 核心网方案，介绍了 5G 核心网的技术演进，并对 5G 核心网的部署和规划提出建议。第 7 章为 5G 承载网规划，论述了 5G 对承载网关键性能的要求，同时给出了 5G 承载网规划的建议。第 8 章为室内覆盖与微基站，从传统室内覆盖系统面临的挑战引出 5G 室内覆盖系统的发展趋势及解决方式，并对 5G 室内覆盖及微基站的规划建设进行了探讨。第 9 章为工程实施，介绍目前主流的 5G 无线设备，并对站址建设及基站的安装工艺要求进行了论述。

本书由李洪波主持编写，高峰、李盼星、张博、李磊、马哲锐、吴迪、张亚飞、杨政伟、马迎庆、刘子群、刘海玲具体负责各个章节内容的写作。

在本书编写过程中，中国通信建设集团设计院有限公司的童鑫、王磊、王文渊、陈千协助进行了全书的资料收集和整理工作，并完成对全书的文字校对工作，对其辛勤劳动我们表示衷心的感谢。

本书凝聚了中国通信建设集团设计院有限公司全体同事多年的研究与工程实践成果，并得到了公司同事和领导的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

感谢人民邮电出版社李强编辑为本书的出版所做的大量耐心、细致的工作。感谢本书中所参考和引用的诸多资料的有关机构提供方和作者。由于编者水平有限，以及编写时间仓促，书中还有诸多不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2019 年 10 月



目 录

第 1 章 概述	001
1.1 移动通信发展概述	002
1.1.1 第一代移动通信系统	003
1.1.2 第二代移动通信系统	004
1.1.3 第三代移动通信系统	004
1.1.4 第四代移动通信系统	005
1.2 移动通信标准化组织	007
1.2.1 ITU	007
1.2.2 3GPP	008
1.2.3 IMT-2020 (5G) 推进组	011
1.3 第五代移动通信的发展	012
1.3.1 5G 的能力要求	013
1.3.2 5G 的应用场景	014
1.4 5G 标准进展	015
1.5 5G 试验及部署情况	018
1.5.1 国际 5G 试验及部署进展	018
1.5.2 我国 5G 试验及部署进展	024
1.6 每章要点	027
参考文献	028



第 2 章	5G 组网技术	029
2.1	5G 系统架构	030
2.1.1	5GC 与 NG-RAN 的功能拆分	031
2.1.2	空中接口协议栈	033
2.1.3	网络接口协议栈	037
2.2	5G 网络架构与选项	040
2.2.1	多网络融合选项	040
2.2.2	各组网选项介绍	042
2.2.3	NSA 候选架构对比	049
2.2.4	SA 共存方案介绍	050
2.3	CU-DU 分离方案	052
2.3.1	CU-DU 架构	052
2.3.2	CU 云化 (Cloud RAN)	056
2.3.3	满足多种应用场景	057
2.4	超密集组网技术	057
2.4.1	5G 系统对超密集组网的技术需求	058
2.4.2	带来的挑战	059
2.4.3	干扰管理方案	060
2.5	网络切片	063
2.5.1	网络切片的驱动力	064
2.5.2	5G 网络切片整体架构及解决方案	064
2.6	移动边缘计算	066
2.6.1	概述	067
2.6.2	MEC 的标准发展	067
2.6.3	MEC 的典型应用	068
2.6.4	MEC 的部署方式	072
2.6.5	MEC 的平台系统	073
2.6.6	5G 边缘计算的本地分流实现	075
2.6.7	边缘计算的业务连续性保障	075
2.7	D2D 通信	076
2.8	无线 Mesh 网络	079
2.9	Wi-Fi 分流技术	080
	参考文献	080



第 3 章 5G 空口关键技术	083
3.1 高频段大带宽	084
3.1.1 5G NR 的频率范围	084
3.1.2 中国运营商的 5G 频谱分配	088
3.2 NR 载波技术——OFDM	089
3.2.1 OFDM 的基本原理	089
3.2.2 5G OFDM 参数介绍	091
3.3 Massive MIMO	094
3.3.1 MIMO 及 Massive MIMO	094
3.3.2 Massive MIMO 的标准演进	099
3.3.3 大规模天线的工程应用	103
3.4 5G 的多址方案	103
3.4.1 潜在多址方案	104
3.4.2 非正交多址技术	105
3.5 5G 无线信道的调制与编码	108
3.5.1 调制技术概述	109
3.5.2 数字调制的基本方式	110
3.5.3 从调制方式看 4G 到 5G 的演变	111
3.5.4 5G 信道编码	113
第 4 章 NR 帧结构和信道	123
4.1 NR 帧结构	124
4.1.1 NR 帧结构的组成	124
4.1.2 不同子载波间隔的时隙结构	126
4.1.3 5G 时隙的上下行配比	130
4.1.4 5G 帧结构的周期选项	133
4.2 物理层时频资源	135
4.2.1 时频资源粒度	136
4.2.2 频谱资源利用率	136
4.3 NR 物理层信号	138
4.3.1 物理层功能	138
4.3.2 物理信号	139
4.4 下行物理信道与同步信号	143



4.4.1	SSB 介绍	143
4.4.2	物理下行控制信道	147
4.4.3	物理下行共享信道	151
4.5	上行物理信道和信号	156
4.5.1	物理随机接入信道	156
4.5.2	物理上行控制信道	159
4.5.3	物理上行共享信道	165
第 5 章 5G 无线网规划		171
5.1	工程场景分析	172
5.1.1	场景分类	173
5.1.2	各场景性能需求	175
5.2	5G 网络规划面临的挑战	182
5.2.1	新频谱对网络规划的挑战	183
5.2.2	新空口对网络规划的挑战	183
5.2.3	新业务对网络规划的挑战	183
5.2.4	新架构对网络规划的挑战	184
5.3	业务规划	184
5.3.1	业务规划思路	184
5.3.2	5G 业务的网络需求	186
5.3.3	5G 业务的预测模型	188
5.4	无线传播模型	191
5.4.1	无线传播模型	191
5.4.2	高频信道传播模型	196
5.5	覆盖能力分析	215
5.5.1	覆盖规划简介	216
5.5.2	影响覆盖能力的因素	218
5.5.3	5G 覆盖能力分析	223
5.6	容量能力分析	229
5.6.1	容量规划的流程	229
5.6.2	影响容量能力的因素	230
5.6.3	容量评估指标	232
5.6.4	5G 速率性能测试	233



5.7	干扰分析	234
5.7.1	系统间干扰的分类	235
5.7.2	干扰隔离分析模型	236
5.7.3	互调干扰	241
5.7.4	邻频干扰	244
5.7.5	5G 与其他系统间隔离距离要求	246
5.7.6	系统间干扰控制方法	248
5.7.7	5G 2.6 GHz 频段的干扰分析	249
5.8	参数分析	251
5.8.1	PCI 规划	251
5.8.2	TA 规划	254
5.8.3	Massive MIMO 波束规划	257
5.8.4	PRACH 根序列规划	258
5.8.5	邻区规划	261
5.8.6	SSB 频域位置规划	262
5.8.7	上下行时隙配置 (NR TDD)	263
5.9	DC 的选择	265
5.9.1	DC 架构概述	265
5.9.2	影响 DC 规划的关键因素	266
5.9.3	DC 规划的思路	267
	参考文献	268
第 6 章	5G 核心网方案	271
6.1	5G 核心网的技术演进	272
6.1.1	5G 核心网的总体架构	272
6.1.2	5G 核心网的变革	277
6.2	5G 核心网的部署	281
6.2.1	网络架构设计	281
6.2.2	网络功能部署	286
6.2.3	云化平台部署	287
6.2.4	语音方案	289
6.3	5G 核心网的规划	290
6.3.1	规划思路	290
6.3.2	规划流程	291



6.3.3 规划算法	292
参考文献	296
第 7 章 5G 承载网规划	299
7.1 5G 对承载网的关键性能要求	300
7.1.1 大带宽需求	300
7.1.2 低时延需求	305
7.1.3 组网灵活化连接需求	306
7.1.4 多层次承载网络需求	306
7.1.5 其他关键性能需求	307
7.2 承载网建设规划	308
7.2.1 传送网技术选择	309
7.2.2 前传技术方案	309
7.2.3 中传/回传技术方案	314
7.2.4 云化数据中心互联	317
7.2.5 承载网络建设与现有网络衔接	318
参考文献	319
第 8 章 室内覆盖与微基站	321
8.1 传统 DAS 系统在 5G 网络中面临的挑战	322
8.2 5G 室内覆盖演变	323
8.2.1 5G 室内覆盖发展趋势	323
8.2.2 5G 室内覆盖解决方式	325
8.3 5G 室内覆盖规划与建设	330
8.3.1 5G 室内覆盖网络的设计要求	330
8.3.2 室内信号传播模型及链路预算	331
8.3.3 多系统干扰造成的影响	332
8.3.4 不同场景下室内覆盖解决方式	333
8.4 微基站的应用	339
8.4.1 微基站的概念与优势	339
8.4.2 微基站的应用场景	341
8.4.3 微基站的部署	342
参考文献	350