



国家重点图书出版规划项目



国之重器出版工程

网络强国建设

5G 丛书

The Optical Transmission
Network in 5G Era

5G 时代的承载网

万芬 余蕾 况璟 等  

海外借



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



国家重点图书出版规划项目



国之重器出版工程
网络强国建设

5G 丛书



5G 时代的承载网

The Optical Transmission
Network in 5G Era

万芬 余蕾 况璟 等 编著



人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

5G时代的承载网 / 万芬等编著. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2019.2

(5G丛书)

国之重器出版工程

ISBN 978-7-115-50643-6

I. ①5… II. ①万… III. ①无线电通信—移动网
IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第004312号

内 容 提 要

本书从5G概念入手,阐述5G的技术特点,罗列和展望5G技术与社会各行业的结合方式;从需求入手,阐明5G技术对承载网的要求。本书重点阐述和说明承载网的关键技术和发展方向,最后根据目前几大运营商的网络条件,结合各类技术演进情况,通过试点案例,对承载网的建设提出多种网络组织方案和规划思路,为5G时代的网络建设提供了有效的思路。

本书适合作为通信专业的大学生、研究生的入门教材;适合作为运营商的培训教程;适合作为从事通信规划设计行业的技术工作者的工作指南;适合作为行业分析师产业研究的基础说明材料;适合作为通信行业、物联网行业以及对5G有兴趣的广大读者朋友的专业阅读材料。

◆ 编 著 万 芬 余 蕾 况 璟 等

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: 710×1000 1/16

印张: 23.75

字数: 421千字

2019年2月第1版

2019年2月河北第1次印刷



定价: 128.00 元

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

反盗版热线: (010)81055315

《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	李 东	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



序 言

相对于 3G/4G 来说，5G 是革命性发展，它致力于应对未来爆炸性的移动数据流量增长、海量设备连接、不断涌现的各类新业务和应用场景，同时与行业深度融合，满足垂直行业终端互联的多样化需求，将传统的人与人的通信不断向人与物、物与物之间的通信进行扩展，立足创建“万物互联”的新世界。

5G 在带来革命性业务体验、新型商业应用模式的同时，对基础承载网络提出了多样化全新需求。5G 网络拟提供业务的主要特征包括大带宽、低时延和海量连接，从而对承载网在带宽、容量、时延和组网灵活性方面提出新的需求。各个运营商现有承载网在网络架构、技术性能和组网功能等方面难以完全满足 5G 网络新型业务及应用的需求，因此，面向 5G 的承载网技术演进与革新势在必行。

“5G 商用，承载先行”，5G 承载已成为业界关注的焦点。运营商 5G 真正实现商用，离不开对承载网络的提前布局。目前正处于标准制订和产业化培育的关键时期，ITU-T、IEEE、IETF、OIF、CPRI、CCSA 等国际和国内主要标准化组织和团体均已密集开展 5G 承载方面的标准化研究工作。

由于 5G 网络采用了 C-RAN 分布式架构和吉比特每秒以上的承载速率，另外，5G 将工作在 1.8GHz 以上的高频段，基站密度也会大大提高，因此，5G 网络的建设很大程度上取决于运营商的光纤密度与光承载网络能力。为了帮助业界更好地掌握 5G 时代的承载技术与组网方案，《5G 时代的承载网》一书从 5G 的基本概念与应用场景出发，分析 5G 时代承载网面临的挑战和需求，深入浅出地介绍了 5G 承载的几种关键技术，包括 OTN、IPRAN 和 PTN，并通过对几大运营商的 4G 承载网现状、5G 承载技术研究重点和现网试点案例的



分析，对将来 5G 网络架构演进和技术方向选择做出进一步的探讨。

本书由通信设计单位的一线资深专家联合编写，对运营商的网络现状、面临的问题，以及 5G 时代的承载网该如何规划进行了深入全面的分析和阐述。这本书是他们丰富工作经验的智慧结晶，相信他们的研究和总结会给广大读者带来深刻的思考和启迪。当然，5G 的规模建设和应用尚需时日，书中对 5G 承载技术的分析和判断还需要实践检验，但是本书至少能够成为读者全面了解和研究 5G 承载技术的重要参考资料。

中国通信学会光通信委员会副主任、中国通信标准化
协会传送与接入网技术委员会副主席、教授级高工

张成良

2018 年 11 月于北京



前言

德国著名哲学家亚瑟·叔本华说过：“人的本质就在于他的意志有所追求，一个追求满足了又重新追求，如此永远不息”。

通信行业一代代技术的更替正是如此，一个追求满足了又重新追求另一个，科技改变生活，为满足人类信息服务的追求，通信人的脚步永不停歇。

处于 5G 时代来临的时间节点，人与人的通信正在向人与物、物与物的通信扩展，万物互联的时代正在到来，作为通信网络建设的从业人员，在新的技术周期里，应该对 5G 时代的通信网有一个前瞻性的认识，特别是对投资巨大的承载网的发展方向和演变格局有科学的认知。

本书共分 4 篇。第 1 篇为 5G 时代的到来，共分 2 章，主要阐述移动通信的发展历程、5G 的基本概念，以及 5G 将来在各行业的应用、现阶段业内对 5G 的响应等。

第 2 篇为 5G 网络的演变。这一篇有 3 章，从 5G 网络架构入手，分别阐述了无线接入网、核心网的演变及关键技术，由无线架构的变化推演出 5G 基站接入网的前传、中传、回传的概念，并根据 5G 三大场景的业务需求提出了 5G 对承载的八大需求。

第 3 篇主要介绍几种主流的承载技术和承载网可能的组网方案，对目前运营商网络中广泛采用的 OTN、IPRAN、PTN 等主流技术，从原理、特点以及应用上进行了阐述和说明，旨在阐明目前承载网的现状和 5G 时代网络演变的基础条件。

第 4 篇主要阐述运营商的组网演变、5G 承载网多层级设备组网和光缆网的计算、规划思路、建设步骤以及 5G 网络建设基础设施的准备等。本篇主要



基于几大运营商的现网分析和目前的技术方向，罗列出多种可能的组网方式的备选方案，对运营商未来 5G 网络架构的演进和技术方向做出了进一步的探讨。通过对 4G 网络建设经验的分析，模拟计算 5G 设备组网的几种模型，并展望了 5G 承载建设设备和光缆两方面的建设要点。最后，以试点案例为附录，介绍一些 5G 网络建设中的具体问题。

万芬完成了全书架构和编整工作以及多个章节的编写。余蕾参与了本书第 1 章、第 3 章的编写工作。况璟参与了第 5 章、第 6 章以及附录编写工作。

衷心地感谢湖北邮电规划设计有限公司王庆总工及各级领导在本书编写过程中给予的支持与关注。感谢湖北邮电规划设计有限公司铁塔咨询设计院寿航涛副院长、信息网络咨询设计院胡建英副院长、信息咨询设计一院李维副总工在本书编写过程中提供的资料及给予的专业支持。

由于 5G 标准的制订尚未全面完成，编者的知识及视野也有一定的局限性，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。

万芬

2018 年 11 月



目 录

第 1 篇 5G 时代的到来

第 1 章 5G 的概念	003
1.1 移动通信发展历程	004
1.2 什么是 5G	006
1.3 5G 引发革新	007
1.4 关于 5G 的标准	010
1.4.1 ITU 和 3GPP	010
1.4.2 3GPP 的几个阶段性标准	011
1.4.3 解读 3GPP R15	013
1.5 业内对 5G 的响应	016
第 2 章 5G 的行业应用	021
2.1 物联网的概念与应用	022
2.1.1 物联网的概念和关键技术	022
2.1.2 关键应用领域	023
2.2 5G 时代的万物互联	025
2.2.1 万物互联与无线技术	025
2.2.2 R14、R15 定义的 5G 与物联网	026
2.2.3 5G 相对 4G 对物联网的革新发展	027



2.2.4 5G 时代的应用场景	028
2.2.5 物联网对 5G 的指标要求	030

第 2 篇 5G 网络的演变

第 3 章 5G 网络架构	039
---------------	-----

3.1 移动网络架构演变	040
3.2 5G 逻辑架构的重构	043
3.2.1 5G 架构设计需求分析	043
3.2.2 5G 网络架构解析	045
3.3 无线接入网架构	051
3.3.1 CU-DU 架构演进和功能划分	051
3.3.2 CU-DU 的设备实现方案	054
3.3.3 5G RAN 的部署方案	056
3.4 核心网架构	059
3.4.1 基于服务的核心网架构	059
3.4.2 5G 核心网的云化演进部署	062
3.5 5G 组网部署策略	065
3.6 5G 网络重构关键技术	074
3.6.1 SDN——控制与转发分离	075
3.6.2 NFV——软件与硬件解耦	078
3.6.3 移动边缘计算 (MEC) ——业务本地化	082
3.6.4 网络切片——灵活自适应的网络形态	087
3.6.5 C-RAN——无线接入网架构优化	092

第 4 章 5G 基站承载新结构	101
------------------	-----

4.1 基站承载各节点新接口	102
4.2 5G 承载新结构	104
4.2.1 5G 前传	104
4.2.2 5G 中传及回传	105

第 5 章 5G 承载网的需求	109
-----------------	-----

5.1 大带宽需求及模型计算	112
5.2 低时延需求	120



5.3	高可靠性需求	121
5.4	高精度时间同步需求	122
5.5	灵活组网的需求	123
5.6	网络切片需求	125
5.7	智能化需求	126
5.8	综合承载需求	128

第3篇 承载技术和组网分析

第6章	几种承载关键技术	133
6.1	OTN 概述	134
6.1.1	OTN 的产生背景	134
6.1.2	OTN 的概念	135
6.1.3	OTN 的主要功能	135
6.1.4	OTN 的优点	136
6.1.5	OTN 下一代关键技术	137
6.1.6	MS-OTN	146
6.2	IPRAN 技术	153
6.2.1	IPRAN 的产生背景	153
6.2.2	IPRAN 的概念	154
6.2.3	IPRAN 的关键技术	155
6.2.4	下一代 IPRAN	173
6.3	PTN 技术	177
6.3.1	PTN 的产生背景	177
6.3.2	PTN 的概念	178
6.3.3	PTN 的关键技术	179
6.3.4	PTN 的优缺点	184
6.4	SPN 技术	186
6.4.1	SPN 的产生背景	186
6.4.2	SPN 的技术架构	187
6.4.3	SPN 关键技术	188
6.4.4	SPN 的优缺点	192
6.5	PON 技术	193
6.5.1	PON 的产生背景	193



6.5.2	PON 的概念	194
6.5.3	PON 的功能和原理	194
6.5.4	PON 下一代关键技术	199
6.6	光纤直连承载技术	205
6.6.1	光纤直连技术应用	205
6.6.2	光纤新技术	206
第 7 章	5G 承载组网方案详解	209
7.1	5G 前传承载方案	211
7.1.1	5G 前传典型组网场景	211
7.1.2	光纤直连方案	212
7.1.3	无源 WDM 方案	213
7.1.4	有源 WDM-PON 方案	215
7.1.5	有源 WDM/OTN 方案	217
7.1.6	5G 前传方案比较分析	218
7.2	5G 中传承载方案	219
7.3	5G 回传承载方案	220
7.3.1	IPRAN 方案	221
7.3.2	分组增强型 OTN 方案	222
7.3.3	回传 PTN/SPN 承载方案	223
7.3.4	回传的 3 种方案比较分析	225
7.4	5G 全程端到端 OTN 方案	225
7.5	5G 云化数据中心互连方案	227
7.5.1	大型数据中心互连方案	227
7.5.2	中小型数据中心互连方案	227

第 4 篇 运营商的网络演变和我们的思考

第 8 章	运营商 5G 承载网络演进探讨	231
8.1	运营商的 5G 网络重构战略	232
8.2	国内运营商 A：基于 IPRAN 的承载网演进探讨	235
8.2.1	国内运营商 A 现有 4G 承载网	235
8.2.2	从 4G 到 5G 的演进思路	246
8.2.3	云网一体化 DC+IPRAN	246



8.3	国内运营商 B: 统一承载目标网 SPN	251
8.3.1	SPN 标准化和产业链发展	251
8.3.2	SPN 统一承载目标网	252
8.3.3	城域 5G 传输网可能的演进方向	257
8.4	国外运营商: 日本软银	261
8.4.1	运营商概况	261
8.4.2	5G 测试情况	262
8.5	国外运营商: 韩国 KT	264
8.5.1	运营商概况	264
8.5.2	5G 初商用情况	265
第 9 章	5G 基站承载组网分析	273
9.1	目的和任务	274
9.2	4G 承载网建设回顾	274
9.2.1	4G 无线基站需求	274
9.2.2	IPRAN 组网模式回顾	276
9.2.3	4G 基站承载网格化计算方法和步骤	279
9.3	5G 基站承载组网计算模型	283
9.3.1	5G 无线基站需求	283
9.3.2	5G 无线基站规划特点	286
9.3.3	5G 基站回传承载组网计算模型	295
9.4	传输设备组网规划思路	303
9.4.1	城市城域网发展思路	303
9.4.2	承载网多层次建设思路	304
9.5	传输与其他专业的协同	307
9.5.1	DC 的建设	307
9.5.2	综合业务接入区的建设	311
9.5.3	基础设施准备	314
第 10 章	5G 光缆网规划浅析	317
10.1	光缆网现状调研	318
10.2	光缆网现状问题分析	319
10.3	多专业需求协同分析	321
10.3.1	基站建设需求	321



10.3.2	新增驻地网需求	322
10.3.3	新增政企客户需求	322
10.3.4	网络升级改造需求	323
10.4	建设目标和规划方法	323
10.4.1	干线光缆目标网络结构	325
10.4.2	中继及接入光缆目标	325
10.5	建设思路及原则	327
10.5.1	干线光缆建设思路及原则	327
10.5.2	本地网光缆建设思路	328
10.5.3	接入网建设思路及原则	329
10.6	光缆网规划举措	331
10.7	基础光缆网的网格化精细管理	335
附录	5G 虚拟场景试点案例	337
参考文献		363