



★ ★ ★ ★ ★
“十三五”

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 Radio Access Network Architecture and Key Technologies

5G无线接入网 架构及关键技术

杨峰义 谢伟良 张建敏 等 编 著



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



网络强国建设

5G 丛书

5G无线接入网 架构及关键技术

5G Radio Access Network
Architecture and Key Technologies

杨峰义 谢伟良



张建敏 等 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

5G无线接入网架构及关键技术 / 杨峰义等编著. --
北京 : 人民邮电出版社, 2019. 3
(5G丛书)
国之重器出版工程
ISBN 978-7-115-50488-3

I. ①5… II. ①杨… III. ①无线接入技术—接入网
IV. ①TN915.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第283850号

内 容 提 要

本书全面讨论了 5G 移动通信无线接入网络架构和相关关键技术,内容涵盖 5G 网络需求与架构特征、5G 网络总体架构、5G 无线接入网络架构、5G 无线接入网络控制承载分离技术、5G 无线接入网络多网协同与融合技术、5G 无线接入网网络资源管理、5G 无线接入网网络资源管理、5G 无线接入网络虚拟化、5G 频谱共享技术等不同层面。

本书可供具有一定移动通信技术基础的专业技术人员或管理人员阅读,也可作为通信院校相关专业师生的参考读物。

◆ 编 著 杨峰义 谢伟良 张建敏 等

责任编辑 吴娜达

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>

北京盛通印刷股份有限公司印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 27.5

2019 年 3 月第 1 版

字数: 509 千字

2019 年 3 月北京第 1 次印刷

定价: 209.00 元

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

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

《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



前言

2012年9月,欧盟在第七框架计划(FP7)下启动了面向第五代移动通信技术(以下简称5G)研究的5GNOW(5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for Asynchronous Signalling,异步信令的第五代非正交波形)研究课题,拉开了全球5G研究的序幕。同年11月,同样在FP7下,欧盟正式启动了名为METIS(Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-Twenty Information Society,2020信息社会的移动和无线通信推动者)的5G研究项目,并在2014年1月推出了5G PPP(5G Public-Private Partnership,5G公私伙伴关系)计划,旨在推动5G技术研究,促进5G在2020年前后投入商用。

2013年2月,由国家科学技术部、工业和信息化部、国家发展和改革委员会三部委联合组织成立了中国IMT-2020(5G)推进组,旨在打造聚合中国产学研用力量、推动中国5G技术研究和开展国际交流与合作的主要平台。与此同时,国家高技术研究发展计划(“863”计划)也于2013年6月启动了“5G关键技术研究”重大项目,前瞻性部署5G需求、技术、标准、频谱、知识产权等研究,建立5G国际合作推进平台。

2013年6月,韩国政府成立了5G技术论坛(5G Forum),提出了韩国5G国家战略和中长期发展计划,推动5G关键技术研究,计划在2018年平昌冬奥会上示范5G应用,2020年正式商用。

2013年10月,日本无线工业及商贸联合会(Association of Radio Industries and Businesses, ARIB)正式成立5G研究组“2020 and Beyond Ad Hoc”,旨在对5G服务、系统构成以及无线接入技术等进行研究,计划2020年东京奥运会前实现商用。

5G经过近几年全球业界的共同努力,目前已形成一致的5G目标。



在 2015 年 6 月召开的 ITU-R WP5D 第 22 次会议上,ITU 完成了 5G 发展史上的一个重要里程碑,ITU 正式命名 5G 为 IMT-2020,并确定了 5G 的愿景和时间表等关键内容。

ITU 确定 5G 的主要应用场景为增强移动宽带、高可靠低时延通信、大规模机器类通信。

增强移动宽带: 移动宽带强调的是以人为中心接入多媒体内容、业务和数据的应用场景。增强移动宽带应用场景将在现有移动宽带的基础上带来新的应用领域,同时也会进一步改进性能,提高无隙的用户体验。该应用场景主要包括广域覆盖和热点。对热点地区,需要有高用户密度、高业务容量,用户的移动速度较低,但是用户的数据速率高于广域覆盖。对广域覆盖,期望无隙覆盖和从中到高的移动性,同时与现有数据速率相比,期望明显提高用户数据速率,但是对数据速率的需求与热点地区相比可以适度放松。

高可靠低时延通信: 该场景对吞吐率、时延、可用性等能力有严格的要求。典型例子包括通过无线系统控制工业制造或生产过程、远程医疗、智能电网的自动配电、传输安全等。

大规模机器类通信: 该应用场景的特征是大量连接终端,每个终端发送小量的时延不敏感数据。终端需要低成本、超长的电池寿命。

同时,我们期待着今天没有预见到的其他应用场景的出现。因此,对未来的 IMT 系统,需要足够的灵活性以适配指标宽泛的新应用。

取决于应用环境和不同国家的不同需要,未来的 IMT 系统将具有很多不同的特征。未来 IMT 系统应该设计为高度模块化的形态,并非所有特征都需要同时体现在所有网络中。

5G 的主要能力指标见下表。

名称	定义	ITU 指标
峰值速率	网络中用户能够达到的最大数据速率	20 Gbit/s
用户体验速率	覆盖范围内泛在可达的最低数据速率	100 Mbit/s
连接密度	单位面积上处于连接状态的或者可接入的设备数目	10^6 设备/ km^2
流量密度	单位地理面积上的总业务吞吐量	10 Mbit/($\text{s}\cdot\text{m}^2$)
能效	网络单位能耗所能传输的信息量及手持终端设备和无线传感器所能延长的电池使用时间	100 倍
频谱效率	单位频谱资源上的数据吞吐量	3 倍
时延	数据进入网络中某点之后到用户可以获取之间的时间	1 ms
移动性	不同移动速度条件下达到某种 QoS 的能力	500 km/h



5G 标准化的主要时间点是 2017 年底，主要是为征集候选技术做准备，制订技术评估方法；到 2020 年，完成征集候选技术、技术评估、关键技术选择等工作，最终形成 5G 标准。

2015 年 9 月 17—18 日，5G 的主要标准化组织 3GPP RAN 在美国凤凰城召开 5G Workshop。

来自全球 80 余个通信组织及电信运营、设备、终端、芯片企业的代表就 5G 场景、需求、潜在技术方案、标准化工作计划进行了讨论。与会代表均认同 5G 应引入不考虑后向兼容的新空口，同时，作为 5G 的重要组成部分，LTE-Advanced 应继续保持演进。

在标准研究与标准定义的优先级方面，中国和部分欧洲公司倾向于 5G 应首先聚焦 6 GHz 以下的低频段新空口；日韩和部分美国公司倾向于首先完成高于 6 GHz 的高频段新空口，目标主要是增强移动宽带（eMBB）；部分欧洲运营商希望认真评估 6 GHz 以下新空口相比 LTE-Advanced 增强的实际增益。

会议最后以主席总结的形式给出 5G 标准化路标。

- 场景和业务：基本确定了 5G 的三大类场景，即增强移动宽带（eMBB）、大规模物联网（massive MTC）、低时延高可靠通信（ultra-reliable and low latency communication）。5G 技术需满足 3 类场景下的多种业务类型。
- 新空口和演进：5G 新空口和 LTE-Advanced 演进将在 3GPP R14 及后续版本中同时开展标准定义工作。2016 年 3 月将在各工作组开展具体技术方案的评估。
- 标准工作计划：5G 标准化工作分为 3 个版本完成，分别是 2016 年在 R14 阶段启动 5G 需求和技术方案的研究工作；2017 年 R15 版本作为 5G 的第一个阶段，满足市场上比较急迫的商用需求；2018 年启动 R16 作为 5G 标准的第二个阶段，在 2019 年底完成，满足 ITU IMT-2020 提出的要求，并在 2020 年作为 5G 标准提交 ITU-R。
- 5G 第一阶段的工作范围：在设计 5G 第一阶段标准协议（R15）时，应保证对第二阶段标准（R16）的前向兼容性。

5G 囊括了所有能够想象的应用场景和案例，这些应用场景和案例在很多时候提出的系统实现指标也是相互矛盾的。因此，在有新的空中接口技术和新的工作频段的同时，5G 也必须要有新的网络能力，能够将这些新的技术和相互矛盾的需求在一张网络上体现出来。这是以前的移动通信系统所不具备的。也就是说，5G 除了无线接入技术的创新以外，网络架构也必须创新。



本书主要关注 5G 无线接入网络架构及其相关的关键技术。

全书共分 9 章,基本涵盖了未来无线网络架构部分的主要内容。第 1 章 5G 网络需求与架构特征,主要描述国际上 5G 研究的现状和 5G 的业务需求、网络架构特征。第 2 章 5G 网络总体架构,描述了 4G 网络架构的弱势,给出了国际上 5G 网络架构的研究情况,重点讨论“三朵云”的 IMT-2020 网络架构以及网络架构如何“随需而变”的理念。第 3 章 5G 无线接入网络架构,描述了 5G 无线接入网络的功能与性能要求,重点讨论了称为智能无线接入网络的 5G 无线接入网络架构、设计理念、主要关键技术、特殊场景下的架构与演变等。第 4 章 5G 无线接入网控制承载分离技术,介绍了无线网控制与承载分离技术的概念,讨论了无线网控制与承载分离技术在 5G 宏微异构组网场景与微微组网场景下的应用。第 5 章 5G 无线接入网多网协同与融合技术,讨论了未来 5G 网络中多制式融合的理念、多制式协作与融合技术、移动网络与 WLAN 协作与融合技术等。第 6 章 5G 无线接入网网络资源管理,从“垂直功能”和“水平概念”两个维度梳理了 5G 接入网资源管理的主要范畴和内容,并重点讨论了 UDN、D2D、MMC、MN、Ad Hoc 等方面的资源管理技术与算法。第 7 章 5G 移动边缘计算技术,描述了 MEC 技术的概念、MEC 平台、技术基础以及挑战等;针对 5G 应用场景,讨论了 MEC 技术的潜在优势并给出了基于 LTE 系统的概念验证结果。第 8 章 5G 无线接入网虚拟化,介绍了虚拟化的概念和基本情况,讨论了实现无线网络虚拟化的主要技术和挑战。第 9 章 5G 频谱共享技术,描述了未来 5G 网络频谱共享技术的应用场景和需求,并提出相应的技术方案。

本书由杨峰义、谢伟良、张建敏等组织编写并统稿。第 1、7 章由张建敏执笔,第 2 章由杨峰义、王海宁执笔,第 3 章由王敏执笔,第 4 章由陆晓东、谢伟良执笔,第 5 章由武洲云、赵勇执笔,第 6 章由乔晓瑜、谢伟良执笔,第 8 章由许悠、杨涛执笔,第 9 章由王楠执笔。

本书的主要内容是中国电信股份有限公司技术创新中心在参加国家“863”计划信息领域重大项目、“新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项、中国电信“5G 关键技术研究”等科研项目中的部分研究成果。由于国际上 5G 目前尚处在标准化前期,技术观点尚处于发散阶段,限于作者认知水平,相关的观点和技术方向不一定准确,错误和遗漏在所难免,欢迎读者不吝赐教。

作者

2018 年 4 月于北京未来科技城



目 录

第 1 章 5G 网络需求与架构特征	001
1.1 5G 全球研究进展	002
1.1.1 移动通信发展情况	002
1.1.2 5G 全球研究进展	004
1.2 5G 应用场景与性能指标	006
1.2.1 5G 网络愿景	006
1.2.2 5G 应用场景与性能目标	008
1.3 5G 网络建设部署及运营维护需求	012
1.3.1 5G 网络建设部署需求	012
1.3.2 5G 网络运营维护需求	012
1.4 ITU 定义的 5G	013
1.5 3GPP 定义的 5G	015
1.6 5G 网络架构特征	016
1.6.1 更高数据流量和用户体验	016
1.6.2 更低时延	021
1.6.3 海量终端连接	023
1.6.4 更低成本	024
1.6.5 更高能效	025
1.6.6 5G 网络架构特征总结	026
参考文献	027
第 2 章 5G 网络总体架构	031
2.1 4G 网络总体架构	032
2.2 欧洲 METIS 5G 架构	034
2.2.1 网络功能架构	036
2.2.2 拓扑和功能部署架构	041
2.2.3 4G 和 5G 架构比较	046
2.3 日本 5G 架构	047



2.4 韩国 5G 架构	049
2.4.1 架构综述	051
2.4.2 数据面	051
2.4.3 控制面	051
2.5 北美 5G 生态系统架构	052
2.6 NGMN 5G 架构	054
2.6.1 5G 设计原则	054
2.6.2 5G 架构	057
2.6.3 网络切片	059
2.6.4 5G 系统组件	061
2.7 中国 IMT-2020 5G 网络架构	062
2.7.1 “三朵云”概念架构	062
2.7.2 系统参考架构	070
2.7.3 部署架构示例	072
参考文献	083
第 3 章 5G 无线接入网络架构	085
3.1 典型应用场景	086
3.1.1 室内热点场景	087
3.1.2 密集城区场景	088
3.1.3 城区宏覆盖场景	089
3.1.4 郊区场景	090
3.1.5 荒野场景（广覆盖和最小服务）	090
3.1.6 荒野场景（超广覆盖）	090
3.1.7 大规模连接城区覆盖场景	091
3.1.8 高速路场景	092
3.1.9 车联网场景	092
3.2 5G 无线接入网需求分析	093
3.2.1 性能要求	093
3.2.2 功能需求	096
3.3 5G 无线网络关键技术	101
3.3.1 无线控制承载分离	102
3.3.2 无线网络虚拟化	103
3.3.3 增强 C-RAN	109



3.3.4 移动边缘计算	112
3.3.5 多制式协作与融合	112
3.3.6 融合资源协同管理	116
3.3.7 灵活移动性	118
3.3.8 网络频谱共享	120
3.3.9 邻近服务	121
3.3.10 无线 mesh	121
3.4 5G 无线接入网设计原则与网络架构	124
3.4.1 5G 无线网络设计原则	124
3.4.2 5G 无线网络逻辑架构	125
3.4.3 5G 无线网络部署架构	130
3.5 典型场景下 5G 无线接入网部署策略	133
3.5.1 热点高容量场景下 5G 智能无线网络	133
3.5.2 低时延高可靠场景下 5G 智能无线网络	139
3.5.3 网络部署设计	145
参考文献	146
第 4 章 5G 无线接入网控制承载分离技术	147
4.1 背景介绍	148
4.2 控制承载分离技术	150
4.3 宏微异构组网场景	158
4.3.1 多连接技术	160
4.3.2 移动性管理	166
4.3.3 连接增强技术	174
4.4 微—微组网场景	180
4.4.1 虚拟分层技术	180
4.4.2 虚拟层覆盖扩展技术	184
4.4.3 多系统组网下控制与承载分离	187
参考文献	188
第 5 章 5G 无线接入网多网协同与融合技术	191
5.1 技术背景	192
5.2 移动网络与 WLAN 核心网侧互操作	195
5.2.1 技术方案	195



5.2.2 相关研究	201
5.3 移动网络与 WLAN 无线网侧互操作	202
5.3.1 网络场景	202
5.3.2 技术方案	203
5.3.3 相关研究	207
5.4 移动网络与 WLAN 无线网侧 PDCP 层融合	209
5.4.1 网络场景	209
5.4.2 共站部署技术方案	210
5.4.3 不共站部署技术方案	211
5.4.4 相关研究	219
5.5 基于 IPSec 隧道的 LTE/WLAN 无线集成	219
5.5.1 网络场景	219
5.5.2 技术方案	220
5.5.3 相关研究	223
5.6 基于 MP-TCP 的多连接技术	224
5.6.1 网络场景	224
5.6.2 技术方案	225
参考文献	228
第 6 章 5G 无线接入网网络资源管理	231
6.1 5G 无线接入网总体资源管理	232
6.1.1 资源管理与垂直功能	235
6.1.2 资源管理与水平概念	240
6.1.3 小结	244
6.2 UDN 资源管理	245
6.2.1 UDN 概述	245
6.2.2 干扰识别	246
6.2.3 干扰管理	247
6.2.4 回传资源管理	254
6.2.5 能耗管理	257
6.3 D2D 无线资源管理	261
6.3.1 D2D 技术概述	261
6.3.2 分簇化集中控制的 5G 网络 D2D 通信	263
6.3.3 集中控制的 5G 网络 D2D 通信无线资源管理研究	265



6.4	MMC 无线资源管理	272
6.4.1	降低碰撞风险的 MMC 高效接入方式	273
6.4.2	MMC 类型的 D2D 连接	275
6.4.3	降低信令负荷的 MMC 接入方式	275
6.5	MN 无线资源管理	276
6.5.1	基于 D2D 方式 V2V 通信中的资源分配和功率控制	279
6.5.2	基于网络辅助资源分配方式的直接 V2V 通信	279
6.6	Ad Hoc 网络	281
	参考文献	282
第 7 章	5G 移动边缘计算技术	289
7.1	MEC 应用场景与标准进展	290
7.1.1	MEC 技术应用场景	292
7.1.2	MEC 技术标准研究进展	296
7.2	MEC 部署策略与系统架构	296
7.2.1	MEC 平台部署策略	296
7.2.2	MEC 平台架构	298
7.3	MEC 技术基础与挑战	299
7.3.1	MEC 技术基础	299
7.3.2	MEC 技术挑战	300
7.4	MEC 在 5G 网络中的应用	303
7.4.1	增强无线宽带场景	303
7.4.2	低时延高可靠场景	305
7.4.3	大规模 MTC 终端连接场景	305
7.4.4	MEC 技术在 5G 网络中的其他应用	306
7.5	基于 MEC 技术的本地分流	306
7.5.1	基于 MEC 技术的本地分流方案	306
7.5.2	LIPA/SIPTO 本地分流方案	309
7.5.3	本地分流方案对比	311
7.5.4	基于 MEC 技术本地分流方案的挑战	311
	参考文献	312
第 8 章	5G 无线接入网虚拟化	315
8.1	网络虚拟化	316



8.1.1	网络虚拟化概念	316
8.1.2	NFV	317
8.2	无线接入网虚拟化	321
8.2.1	动机与触发点	322
8.2.2	虚拟化的维度与分类	324
8.2.3	无线网络虚拟化的若干层面	328
8.3	无线接入网平台虚拟化	331
8.3.1	x86 虚拟化技术	331
8.3.2	基于通用处理器平台的虚拟化基站架构	333
8.3.3	BBU 功能划分与硬件加速方案	334
8.4	无线接入网网络资源虚拟化	334
8.4.1	5G 网络切片	335
8.4.2	基站资源切片	336
8.4.3	无线资源切片	337
8.5	面临的挑战	345
8.5.1	挑战一：资源隔离	345
8.5.2	挑战二：控制信令与接口的标准化	345
8.5.3	挑战三：物理和虚拟资源的分配	346
8.5.4	挑战四：移动性管理	347
8.5.5	挑战五：网络管理	347
8.5.6	挑战六：安全性	348
	参考文献	348
第 9 章	5G 频谱共享技术	351
9.1	独占授权式频谱分配	352
9.2	动态式频谱分配	353
9.2.1	相邻动态频谱分配	353
9.2.2	分片动态频谱分配	354
9.3	频谱共享	354
9.3.1	共存式频谱共享	354
9.3.2	覆盖式频谱共享	355
9.4	认知无线电系统	356
9.4.1	频谱检测	356
9.4.2	频谱共享池	358