

★ ★ ★ ★ ★  
“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

Multi-access Edge Computing  
(MEC) and Key Technologies

# 多接入边缘计算 (MEC) 及关键技术

张建敏 杨峰义 武洲云 张郑锟 王煜炜 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

★ ★ ★ ★  
★ “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

# 多接入边缘计算 ( MEC ) 及关键技术

Multi-access Edge Computing  
(MEC) and Key Technologies

张建敏 杨峰义 武洲云 张郑锟 王煜炜 编 著

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

多接入边缘计算 (MEC) 及关键技术 / 张建敏等编著

— 北京: 人民邮电出版社, 2019. 1

(5G丛书)

国之重器出版工程

ISBN 978-7-115-50235-3

I. ①多… II. ①张… III. ①无线电通信—移动通信—计算 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第265567号

## 内 容 提 要

本书结合未来 5G 网络演进趋势全面讨论了 5G 多接入边缘计算 (MEC) 及关键技术, 内容涵盖 5G 网络需求及架构、MEC 概念应用场景及需求分析、MEC 系统架构及部署组网策略以及 MEC 系列关键技术, 包括本地分流技术、缓存加速、网络能力开放、移动性管理、固移融合、计算卸载等不同层面。

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, 也可作为高等院校相关专业师生的参考读物。

---

◆ 编 著 张建敏 杨峰义 武洲云 张郑锟 王煜炜

责任编辑 吴娜达

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: 19

字数: 351 千字

2019 年 1 月第 1 版

2019 年 1 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



# 前 言

从 2012 年欧盟第一个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)课题开始,经过近几年全球业界的共同努力,5G 新空口非独立组网标准以及独立组网标准已分别在 2017 年 12 月以及 2018 年 6 月冻结,为未来 5G 网络的商用部署做好了准备。

根据 2015 年 6 月召开的 ITU-R WP5D 第 22 次会议,ITU 正式命名 5G 为 IMT-2020,并确定了其典型应用场景,主要包括增强移动宽带(eMBB)、高可靠低时延通信(uRLLC)、大规模机器类通信(mMTC),其场景特征与性能介绍如下。

- 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,提高无缝的用户体验。该应用场景主要包括有着不同要求的广域覆盖和热点覆盖。对热点地区,需要支持高用户密度、高业务容量,用户的移动速度较低,且用户的数据速率要求高于广域覆盖。对于广域覆盖,期望无缝覆盖和较高的移动性,同时与现有数据速率相比,希望用户数据速率明显提高。

- 高可靠低时延通信

该应用场景对吞吐量、时延和可用性等性能的要求十分严格,其应用领域主要包括工业制造或生产流程的无线控制、远程手术、智能电网配电自动化以及运输安全等。





- 大规模机器类通信

该应用场景的特点是连接设备数量庞大，且此类设备通常传输相对少量的非延迟敏感数据；同时需要降低设备成本，延长电池续航时间。ITU 定义的 5G 关键特性见表 1。

表 1 ITU 定义的 5G 关键特性

| 名称     | 定义  | ITU 指标                      |
|--------|---|-----------------------------|
| 峰值速率   | 理想条件下，用户能够达到的最大速率                             | 20 Gbit/s                   |
| 用户体验速率 | 覆盖范围内泛在可达的最低速率                                | 100 Mbit/s                  |
| 连接密度   | 单位面积上处于连接状态或者可接入的设备数量                         | $10^6$ 设备/km <sup>2</sup>   |
| 流量密度   | 单位地理面积上的总数据吞吐量                                | 10 Mbit/(s·m <sup>2</sup> ) |
| 能效     | 网络单位能耗所能传输或接收的信息比特数<br>手持终端设备/无线传感器单位能耗的信息比特数 | 100 倍                       |
| 频谱效率   | 单位频谱资源上的数据吞吐量                                 | 3 倍                         |
| 时延     | 数据源开始传送数据分组到目的地接收到数据分组的时间                     | 1 ms                        |
| 移动性    | 满足给定 QoS 和无缝切换要求下的最大移动速度                      | 500 km/h                    |

为了应对上述 5G 网络业务发展的需求，需要从无线频谱、无线接入技术以及网络架构等多个层面综合考虑，其中 5G 网络架构需要具备如下特征：

- 控制面/用户面分离、控制面集中化；
- 网络功能软件化、模块化、功能重构；
- 用户面灵活高效、分布式、按需部署；
- 业务应用本地化、近距离部署；
- 网络能力开放等。

为了实现用户面灵活高效的分布式按需部署、业务应用的本地化近距离部署以及无线接入网能力开放等，5G 网络需要将计算存储能力与业务服务能力向网络边缘迁移。通过移动/多接入边缘计算 (Mobile/Multi-access Edge Computing, MEC) 技术使应用、服务和内容可以实现本地化、近距离、分布式部署，从而一定程度地解决了 5G 网络热点高容量、低功耗大连接以及低时延高可靠等技术场景的业务需求；同时 MEC 技术可以通过充分挖掘移动网络数据和信息，实现移动网络上下文信息的感知和分析并开放给第三方业务应用，有效提升了移动网络的智能化水平，促进网络和业务的深度融合。

对于 eMBB 场景，可以基于 MEC 的业务应用本地化、缓存加速和本地分流、



灵活路由等实现 5G 网络业务应用近距离部署/访问、用户面灵活高效分布式按需部署，为用户提供低时延高带宽的传输能力，打造虚拟的 RAN。对于 uRLLC 场景，可基于 MEC 的业务应用本地化、缓存加速等功能有效降低或者消除回传带来的时延影响，一定程度上满足 5G 网络对于网络时延的要求。除此之外，基于 MEC 的边缘计算、存储能力，通过将高能耗计算任务迁移以及信令与数据的汇聚处理，可有效降低 MTC 终端设备要求、能耗以及网络负荷。

因此，MEC 成为 5G 网络关键技术之一，受到了国内外学术界和产业界的广泛关注，其中 IMT-2020 (5G) 推进组、3GPP、CCSA 等国内外研究及标准推进组织也开展了 MEC 的研究推进工作。其中，3GPP 已经完成的下一代网络架构研究项目 (TR23.799) 以及正在进行制订的 5G 系统架构标准 (TS23.501) 均将 MEC 作为 5G 网络架构的主要目标予以支持，同时 CCSA 也于 2017 年 8 月开始了《5G 边缘计算核心网关键技术研究》以及《5G 边缘计算平台能力开放技术研究》课题的立项研究。

本书主要关注 5G 多接入边缘计算及与其相关的关键技术。

全书共分 9 章，基本涵盖了 5G 多接入边缘计算部分的主要内容。第 1 章 5G 网络需求及架构，主要介绍了 5G 网络研究现状、业务需求、网络架构特征以及标准化进展。第 2 章 MEC 概念、应用场景及需求分析，详细分析讨论 MEC 概念、MEC 对 5G 网络的价值、MEC 典型应用场景，并给出了 MEC 的技术需求以及 MEC 在 ETSI 以及 3GPP 的国际标准进展情况。第 3 章 MEC 系统架构及部署组网策略，描述了 MEC 系统架构以及 3GPP 5G 网络架构对于 MEC 的支持，重点讨论了 5G MEC 融合架构及总体部署策略，并给出了 MEC 实际应用中面临的问题与挑战。第 4 章基于 MEC 的本地分流技术，介绍了本地分流技术的需求与概念、5G MEC 的本地分流技术方案，讨论分析了其在 4G 网络中应用的可行性，并给出了基于 MEC 本地分流技术的初步验证结果。第 5 章基于 MEC 的缓存加速，给出了基于 MEC 的缓存加速方案以及基于 MEC 缓存加速的传输链路优化方案，并分析讨论了实验室测试验证结果。第 6 章基于 MEC 的无线网络能力开放，介绍了基于 MEC 的网络能力开放架构，并结合无线网络信息服务、位置信息服务、带宽管理服务等详细介绍了相关开放接口。第 7 章 MEC 场景下的移动性管理，梳理总结了 MEC 场景下典型的移动性问题，并针对其涉及的基站间切换、边缘 UPF 切换、集中 UPF 重选以及 MEC 应用迁移等问题以及可能面临的挑战进行了详细分析讨论。第 8 章基于 MEC 的固移融合，介绍了固移融合国际标准进展，并分别针对基于 MEC 的多网络融合以及



基于 MEC 的内容智能分发方案进行了详细讨论。第 9 章基于 MEC 的计算卸载, 详细介绍了计算卸载的概念以及卸载决策、资源分配等关键技术, 并梳理了其未来可能的研究方向, 供读者参考。

本书由张建敏、杨峰义、武洲云、张郑锟、王煜炜等组织编写并统稿。第 1 章由杨峰义、张建敏执笔, 第 2~4 章由张建敏执笔, 第 5 章由王煜炜、张郑锟、武洲云执笔, 第 6 章由张郑锟、吴鹏程执笔, 第 7 章由张建敏执笔, 第 8、9 章由武洲云执笔。

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“新一代宽带无线移动通信网”国家重大专项以及中国电信 5G MEC 重点研究课题等科研项目中的部分研究成果。由于 5G 还未真正商用部署, 国内外 MEC 的研究尚处于标准化阶段, 技术观点处于发散阶段, 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 9 月于北京未来科技城



# 目 录

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第 1 章 5G 网络需求及架构       | 001 |
| 1.1 5G 研究进展及愿景         | 002 |
| 1.1.1 国内外研究进展          | 003 |
| 1.1.2 5G 愿景            | 004 |
| 1.2 5G 应用场景及性能要求       | 006 |
| 1.2.1 ITU              | 006 |
| 1.2.2 3GPP             | 011 |
| 1.3 5G 网络架构技术特征        | 014 |
| 1.3.1 网络架构特征分析         | 014 |
| 1.3.2 网络架构特征总结         | 021 |
| 1.4 5G 网络总体架构          | 022 |
| 1.4.1 5G 网络概念架构        | 022 |
| 1.4.2 5G 网络架构          | 028 |
| 1.5 小结                 | 034 |
| 参考文献                   | 035 |
| 第 2 章 MEC 概念、应用场景及需求分析 | 039 |
| 2.1 MEC 概念             | 040 |
| 2.1.1 移动云计算 (MCC)      | 040 |
| 2.1.2 雾计算              | 043 |
| 2.1.3 移动边缘计算 (MEC)     | 046 |
| 2.1.4 区别与联系            | 047 |
| 2.2 MEC 价值             | 048 |
| 2.2.1 增强移动宽带场景         | 049 |
| 2.2.2 高可靠低时延场景         | 050 |
| 2.2.3 大规模 MTC 终端连接场景   | 050 |
| 2.2.4 QoE 优化           | 051 |
| 2.3 MEC 典型应用场景与需求分析    | 051 |
| 2.3.1 MEC 典型应用场景       | 052 |



|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 2.3.2 MEC 技术需求分析               | 057        |
| 2.4 MEC 标准研究进展                 | 065        |
| 2.4.1 ETSI MEC                 | 065        |
| 2.4.2 3GPP MEC                 | 067        |
| 2.5 小结                         | 068        |
| 参考文献                           | 068        |
| <b>第 3 章 MEC 系统架构及部署组网策略</b>   | <b>073</b> |
| 3.1 MEC 系统架构                   | 074        |
| 3.1.1 MEC 系统框架                 | 074        |
| 3.1.2 MEC 系统架构                 | 075        |
| 3.1.3 基于 NFV 的 MEC 系统架构        | 080        |
| 3.2 5G MEC 系统架构                | 082        |
| 3.2.1 3GPP 对于 MEC 的支持          | 082        |
| 3.2.2 5G MEC 融合架构              | 088        |
| 3.3 5G MEC 部署组网策略              | 090        |
| 3.3.1 5G 网络部署策略                | 090        |
| 3.3.2 5G MEC 总体部署策略            | 091        |
| 3.3.3 不同场景下的 MEC 部署方案          | 093        |
| 3.4 5G MEC 面临的问题与挑战            | 095        |
| 3.5 小结                         | 099        |
| 参考文献                           | 099        |
| <b>第 4 章 基于 MEC 的本地分流技术</b>    | <b>101</b> |
| 4.1 本地分流技术介绍                   | 102        |
| 4.1.1 需求分析                     | 102        |
| 4.1.2 LIPA/SIPTO 技术介绍          | 104        |
| 4.2 5G MEC 本地分流技术方案            | 107        |
| 4.2.1 应用功能影响数据路由流程             | 108        |
| 4.2.2 UL/CL 和 BP 分支点的添加和删除     | 110        |
| 4.3 基于 MEC 的本地分流技术在 4G 中的应用    | 115        |
| 4.3.1 设计目标                     | 115        |
| 4.3.2 基于 MEC 的 LTE 本地分流方案      | 116        |
| 4.3.3 基于 MEC 的 LTE 本地分流方案可行性分析 | 117        |



|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 4.3.4 基于 MEC 的 LTE 本地分流技术的挑战 .....  | 124        |
| 4.4 基于 MEC 的本地分流技术概念验证 .....        | 125        |
| 4.4.1 概念验证环境 .....                  | 125        |
| 4.4.2 评估步骤及分析结果 .....               | 126        |
| 4.5 小结 .....                        | 128        |
| 参考文献 .....                          | 129        |
| <b>第 5 章 基于 MEC 的缓存加速 .....</b>     | <b>131</b> |
| 5.1 缓存与加速技术介绍 .....                 | 132        |
| 5.1.1 传统缓存加速策略 .....                | 133        |
| 5.1.2 基于用户偏好的缓存加速策略 .....           | 136        |
| 5.1.3 基于学习的缓存加速策略 .....             | 138        |
| 5.1.4 非协作式缓存加速策略 .....              | 140        |
| 5.1.5 协作式缓存加速策略 .....               | 141        |
| 5.2 基于 MEC 的缓存加速方案 .....            | 146        |
| 5.2.1 业务缓存模式 .....                  | 147        |
| 5.2.2 高效业务缓存机制 .....                | 148        |
| 5.2.3 业务缓存通道选择 .....                | 149        |
| 5.2.4 缓存内容再生 .....                  | 150        |
| 5.2.5 缓存服务部署 .....                  | 150        |
| 5.3 基于 MEC 缓存加速的传输链路优化 .....        | 152        |
| 5.3.1 业务场景 .....                    | 152        |
| 5.3.2 基于 MEC 缓存加速的网盘上传加速方案 .....    | 154        |
| 5.4 基于 MEC 的缓存加速概念验证 .....          | 155        |
| 5.5 小结 .....                        | 156        |
| 参考文献 .....                          | 157        |
| <b>第 6 章 基于 MEC 的无线网络能力开放 .....</b> | <b>159</b> |
| 6.1 基于 MEC 无线网络能力开放架构及关键技术 .....    | 160        |
| 6.1.1 能力开放架构 .....                  | 160        |
| 6.1.2 关键技术介绍 .....                  | 162        |
| 6.2 无线网络信息服务 .....                  | 164        |
| 6.2.1 无线网络信息服务 API .....            | 165        |
| 6.2.2 API 资源及格式定义 .....             | 165        |



|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 6.2.3 | 无线信息查询 API             | 167 |
| 6.2.4 | 订阅、注销订阅 RNI 事件 API     | 172 |
| 6.2.5 | 基于 RNIS 的典型服务过程        | 185 |
| 6.3   | 位置信息服务                 | 186 |
| 6.3.1 | 位置信息服务类型               | 186 |
| 6.3.2 | 获取某个特定 UE 的位置信息 API    | 187 |
| 6.3.3 | 获取某个位置下 UE 所有信息 API    | 188 |
| 6.3.4 | UE 位置订阅 API            | 190 |
| 6.4   | 带宽管理服务                 | 191 |
| 6.4.1 | 注册和去注册带宽管理服务           | 191 |
| 6.4.2 | 更新所请求的带宽信息             | 192 |
| 6.4.3 | 获取所配置的带宽分配信息           | 192 |
| 6.5   | 小结                     | 193 |
|       | 参考文献                   | 194 |
| 第 7 章 | MEC 场景下的移动性管理          | 195 |
| 7.1   | 移动性问题描述                | 196 |
| 7.2   | 基站间切换 ( 无集中 UPF 重选 )   | 198 |
| 7.3   | UL CL 或 BP 分支点功能的添加与删除 | 200 |
| 7.3.1 | UL CL 或 BP 分支点功能添加     | 200 |
| 7.3.2 | UL CL 和 BP 分支点功能删除     | 204 |
| 7.4   | 边缘 UPF 间切换             | 207 |
| 7.5   | 集中 UPF 重选              | 208 |
| 7.6   | MEC 应用连续性              | 209 |
| 7.6.1 | MEC 应用迁移分类             | 210 |
| 7.6.2 | MEC 应用连续性              | 211 |
| 7.6.3 | MEC 应用连续性面临的挑战         | 218 |
| 7.7   | 小结                     | 219 |
|       | 参考文献                   | 220 |
| 第 8 章 | 基于 MEC 的固移融合           | 221 |
| 8.1   | 固移融合的目标                | 222 |
| 8.2   | 融合核心网                  | 223 |
| 8.2.1 | 5G 融合核心网标准化工作的框架       | 225 |



|              |                     |            |
|--------------|---------------------|------------|
| 8.2.2        | 3GPP 固移融合网络架构       | 228        |
| 8.2.3        | BBF 固移融合网络架构        | 234        |
| 8.2.4        | 基于 MEC 的 5G 融合核心网   | 241        |
| 8.3          | 多网协同管理              | 242        |
| 8.3.1        | 技术路线                | 242        |
| 8.3.2        | 多接入管理服务 MAMS        | 244        |
| 8.3.3        | 基于 MEC 的多网协同管理      | 250        |
| 8.3.4        | MEC 的 TCP 切换        | 252        |
| 8.4          | 内容智能分发              | 256        |
| 8.4.1        | CDN 与边缘计算结合的必然性     | 256        |
| 8.4.2        | 共享 CDN              | 257        |
| 8.4.3        | 合作 CDN              | 258        |
| 8.5          | 小结                  | 260        |
|              | 参考文献                | 260        |
| <b>第 9 章</b> | <b>基于 MEC 的计算卸载</b> | <b>263</b> |
| 9.1          | 基于 MEC 的计算卸载简介      | 264        |
| 9.1.1        | 计算卸载的概念和特征          | 264        |
| 9.1.2        | 基于 MEC 的计算卸载步骤      | 266        |
| 9.1.3        | 基于 MEC 的计算卸载系统分类    | 268        |
| 9.2          | 基于 MEC 的计算卸载的关键技术   | 269        |
| 9.2.1        | 卸载决策                | 269        |
| 9.2.2        | 计算资源分配              | 274        |
| 9.2.3        | 移动性管理               | 277        |
| 9.3          | 未来研究的方向             | 281        |
| 9.4          | 小结                  | 283        |
|              | 参考文献                | 284        |





## 第1章

# 5G 网络需求及架构

**移**动互联网和物联网的发展为 5G 网络提供了广阔的应用前景，其中移动数据流量的高速增长、海量的设备连接以及差异化新型业务的不断涌现给 5G 网络架构的设计带来了极大的挑战。本章将从 5G 愿景、5G 典型业务应用场景及需求出发，分析讨论 5G 网络的架构特征与关键技术，并简要介绍了 3GPP 5G 总体网络架构，为后续章节内容提供参考。