史上最全最强大的物联网书单——涵盖入门、协议、架构、设计、安全、云计算、边缘计算

https://zhuanlan.zhihu.com/p/60937359

# 网络功能虚拟化技术与应用-2016年7月1日



**作者介绍：**

徐雷：博士，中国联通研究院高级工程师，主要研究方向为云计算与IT规划 。 郭志斌：硕士，中国联通对口世界电信管理论坛标准专家，主要研究方向为云计算与IT规划 。

**内容介绍：**

书从电信网络的现状说起，其中既包括了对NFV架构和关键技术的详细解读，基于开源软件的典型NFV环境搭建，还包括了丰富的NFV生态环境和应用场景介绍，这些工作是我们在多年研究的基础上对NFV进行的总结和梳理。以SDN/NFV 为代表和核心的云化网络代表着未来信息发展的重要趋势，特别是网络软件化和虚拟化已经开始影响整个网络世界的格局，我们应该抓住机遇，迎接挑战，拥抱未来。

# 边缘计算原理与实践–2019年1月1日

**编辑推荐**

1.本书主要由北京邮电大学未来网络理论与应用实验室的老师和同学们完成，是目前国内少有的专注这一领域的成果。这个团队隶属于北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室，长期从事电信网、互联网及其演进的未来网络技术领域的创新研究，在网络、计算、存储一体化，边缘计算等领域的研究具有多年经验，并取得了一些研究成果。

2.这本书也是他们的研究心得与成果总结，很好地将边缘计算领域学术研究与产业应用和实践进行了结合，令读者既可以获取理论上的理解又可根据书中提供的应用场景与实验案例获得实践能力提升，对其他从事该方向的研究人员具有重要的参考借鉴意义。

**作者简介**

谢人超，男，副教授，硕士生导师。2012年7月毕业于北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室，获工学博士学位，2013年获北京邮电大学校级优秀博士毕业论文奖。曾于2010年至2011年期间获国家留学基金委资助赴加拿大卡尔顿大学公派留学访问一年，2012年至2014年在中国联合网络通信集团有限公司做博士后从事网络研究相关工作。主要研究方向包括：未来网络体系架构设计、信息中心网络、移动网络内容分发等。目前作为项目负责人正在主持的国家级、省部级项目2项，曾作为研究骨干参与国家自然科学基金重点项目、 973、国家重大专项等纵向科研课题多项。目前，已在国内外期刊和国际学术会议上发表学术论文20余篇，发表SCI检索论文6篇， EI检索论文10余篇，申请技术发明专利3项，已授权1项。

**目　录**

第　1章 边缘计算概述　1

第　2章 边缘计算架构　7

2.1　概述　7

2.2　多接入边缘计算　8

2.3　微云　14

2.4　雾计算　18

2.5　云接入网　24

2.6　　28

2.7　本章小结　29

参考文献　29

第3章　边缘计算卸载技术　31

3.1　概述　31

3.2　关键技术　33

3.2.1　计算卸载执行框架　33

3.2.2　计算卸载决策　37

3.2.3　计算卸载资源分配　40

3.3　主要挑战　41

3.4　本章小结　44

参考文献　45

第4章　边缘计算资源管理技术　46

4.1　概述　46

4.2　关键技术　47

4.2.1　面向QoE优化的资源管理　47

4.2.2　面向能效优化的资源管理　51

4.2.3　面向协作机制的资源管理　56

4.3　主要挑战　58

4.4　本章小结　60

参考文献　60

第5章　边缘计算移动性管理　62

5.1　概述　62

5.2　关键技术　64

5.2.1　迁移决策　66

5.2.2　迁移执行　67

5.2.3　更新流量规则　69

5.2.4　终止应用程序　70

5.3　主要挑战　72

5.3.1　迁移决定策略　72

5.3.2　预迁移　73

5.3.3　迁移组　75

5.4　本章小结　76

参考文献　76

第6章　边缘计算安全与隐私保护技术　77

6.1　概述　77

6.2　关键技术　80

6.3　主要挑战　82

6.4　本章小结　84

参考文献　84

第7章　边缘计算部署方案　85

7.1　概述　85

7.2　4G架构下的MEC部署　85

7.3　5G架构下的MEC部署　90

7.4　本章小结　93

参考文献　93

第8章　边缘计算使能技术　94

8.1　概述　94

8.2　软件定义网络　94

8.3　网络功能虚拟化　101

8.4　信息中心网络　107

8.5　网络人工智能　112

8.6　云计算与数据中心网络　118

8.7　大数据　123

8.8　区块链　128

8.9　本章小结　134

参考文献　134

第9章　边缘计算应用场景与实例　136

9.1　概述　136

9.2　视频业务　136

9.2.1　视频分析　136

9.2.2　智能视频加速　138

9.2.3　内容缓存与分发　139

9.3　增强现实/虚拟现实　142

9.4　物联网　144

9.5　车联网　146

9.6　智慧城市　148

9.7　工业互联网　152

9.8　本章小结　155

参考文献　155

第　10章 边缘计算开源平台实践　157

10.1　概述　157

10.2　微云elijah项目　158

10.2.1　平台原理与架构设计　158

10.2.2　平台安装与配置　162

10.3　EdgeX Foundry　174

10.3.1　平台原理与架构设计　174

10.3.2　平台安装与配置　176

10.4　M-CORD项目　181

10.4.1　平台原理与架构设计　181

10.4.2　平台安装与配置　188

10.5　Akraino项目　201

10.6　本章小结　203

参考文献　203

缩略语　204

# 边缘计算–2018年1月1日



**编辑推荐**

《边缘计算》非常适合作为高等院校计算机、通信、物联网、信息安全、电子机械相关专业的教学参考书，也可以作为从事边缘计算的开发人员和科研人员的参考资料。

**作者简介**

施巍松，EEE Fellow，美国韦恩州立大学Charles H.Gershenson杰出教授，美国国家科学基金会杰出青年教授奖获得者（NSF CAREER Award），全国百篇优秀博士论文获得者。2013～2015年间任美国国家科学基金会（NSF）项目主任，2012～2016年间担任EEE计算机协会Internet专业技术委员会主席。中国科学院海外评审专家，中国自动化学会边缘计算专业委员会副主任委员，是边缘计算这一研究领域的早期提出者之一，并积于边缘计算的推广。

刘芳，博士，国防科技大学计算机学院副教授，主要从事计算机体系结构、新型存储和分布式计算等领域的研究。主持国家自然科学基金和科技部课题共5项，参与国家／军队重大科研任务10余项。发表论文80余篇，授权国家发明专利10余项，获军队科技进步二等奖、国家教学比赛一等奖、省级教学比赛等奖，省部级教学成果一等奖、军队院校育才银奖、荣立三等功。

孙辉，博士，安徽大学计算机科学与技术学院讲师。主要从事新型计算机系统结构、新型存储系统、边缘计算等领域的研究，现主要从事面向公共安全领域内视频监控系统的边缘计算、存储等框架及关键技术的研究工作。主持国家及省部级项目4项。在IEEE TC、MASCOTS、SEC、IGSC等重要期刊和会议上发表学术论文近10篇，申请发明专利9项，登记软件著作权1项。

裴庆祺，博士，西安电子科技大学教授、博士生导师，IEEE、中国电子学会、中国计算机学会高级会员，中国自动化学会边缘计算专业委员会委员，全国音视频及多媒体系统与设备标准化技术委员会委员，2011年入选教育部新世纪优秀人才支持计划。

目录

第1章边缘计算的需求与意义

1.1什么是边缘计算

1.2边缘计算的产生背景

1.3边缘计算的发展历史

1.3.1分布式数据库模型

1.3.2对等网络

1.3.3内容分发网络

1.3.4移动边缘计算

1.3.5雾计算

1.3.6海云计算

1.3.7边缘计算的发展现状

本章小结

参考文献

第2章边缘计算基础

2.1分布式计算

2.2边缘计算的基本概念

2.3边缘计算的关键技术

2.3.1计算迁移

2.3.25G通信技术

2.3.3新型存储系统

2.3.4轻量级函数库和内核

2.3.5边缘计算编程模型

2.4边缘计算与云计算

2.4.1云计算的概念

2.4.2云计算特点

2.4.3边缘计算与云计算

2.5边缘计算与大数据

2.6边缘计算的优势与挑战

本章小结

参考文献

第3章边缘计算典型应用

3.1智慧城市

3.2智能制造

3.3智能交通

3.4智能家居

3.5协同边缘

3.6云计算任务前置

3.7边缘计算视频监控系统

3.8基于边缘计算的灾难救援

本章小结

参考文献

第4章边缘计算系统平台

4.1面向智慧城市的边缘计算系统

4.1.1面向智慧城市的边缘计算系统框架

4.1.2智慧城市中边缘计算任务迁移及调度

4.2面向智能汽车的边缘计算系统

4.2.1为什么需要EdgeOSy

4.2.2车载应用的划分

4.2.3OpenVDAP

4.2.4OpenVDAP结构

4.2.5第三方服务举例

4.2.6相关研究

4.2.7面临的问题

4.3面向智能家居的边缘计算系统

4.3.1为什么需要EdgeOSH

4.3.2EdgeOSH架构

4.3.3EdgeOSH的功能性问题

4.3.4面临的问题

4.4面向个人计算的边缘计算系统

4.4.1EdgeOSp整体架构

4.4.2EdgeOSp的软件结构

4.4.3EdgeOSP的典型应用实例

4.4.4面临的问题

4.5协同平台

4.5.1协同平台背景模型

4.5.2协同平台的典型应用举例

4.5.3面临的问题

本章小结

参考文献

第5章边缘计算的挑战

5.1可编程性

5.2程序自动划分

5.3命名规则

5.4数据抽象

5.5调度策略

5.6服务管理

5.7隐私保护及安全

5.8优化指标

5.9理论基础

5.10商业模式

本章小结

参考文献

第6章边缘计算系统实例

6.1边缘计算系统概览

6.1.1Cloudlet

6.1.2PCloud

6.1.3ParaDrop

6.1.4Cachier与Prccog

6.1.5FocusStack

6.1.6SpanEdge

6.1.7AirBox

6.1.8CloudPath

6.1.9Firework

6.1.10海云计算

6.1.11边缘计算开源系统一

6.1.12边缘计算代表性商业系统

6.1.13边缘计算系统的比较

6.2ClOudlet

6.2.1计算迁移

6.2.2资源发现与选择

6.2.3动态VM合成

6.3PamDrop

6.3.1整体架构

6.3.2服务降落伞

6.3.3ParaDrop工作流

6.3.4系统分析

6.4Firework

6.4.1Firework概念

6.4.2整体架构

6.4.3可编程性

6.4.4范例分析

本章小结

参考文献

第7章边缘计算安全与隐私保护

7.1安全概述、基础和目标

7.2安全威胁及挑战

7.2.1物理安全

7.2.2网络安全

7.2.3数据安全

7.2.4应用安全

7.3主要安全技术

7.3.1身份认证

7.3.2访问控制

7.3.3入侵检测

7.3.4隐私保护

7.3.5可信执行

7.3.6安全多方计算

7.4边缘计算为物联网安全带来的机遇

7.4.1隐私保护

7.4.2态势感知

7.4.3设备更新

7.4.4安全协议

7.5边缘计算安全实例

7.5.1边缘计算的数据保护模型

7.5.2海豚攻击：听不见的声音命令

7.5.3ContexIoT：基于边缘计算的权限访问系统

7.5.4Octopus：基于边缘计算的物联网安全认证

本章小结

参考文献

第8章结束语

# 5G移动边缘计算–2017年6月1日

**编辑推荐**

本书具有如下特点：

1.理论基础和新技术成果的综合体；

2.科研工作的理想参考书；

3.几位作者在无线网络领域有着多年研究开发经验和多个研究成果。

本书内容对于开始研究移动边缘计算的学者与研究生来说是很好的入门参考书目，对相关内容具有一定深入的研究，对于准备撰写论文的众多学者与研究生也具有吸引力。

**作者简介**

俞一帆，男，1979年1月出生，于2006年在北京邮电大学获工学博士学位，高-级工程师。长期从事通信与计算机网络的理论与技术研究、设备开发工作。

**目录**

第1章概述

1.1移动边缘计算的起源

1.2SG网络发展与运营商转型

参考文献

第2章MEC总览

2.1系统整体架构

2.1.1系统基本构成

2系统基础环境

2.2系统组件详解

2.2.1路由子系统

2.2.2能力开放子系统

2.2.3平台管理子系统

2.2.4边缘云基础设施

2.3对5G网络演进的影响

2.3.1本地数据分流

2.3.2本地策略控制

2.3.3本地计费

参考文献

第3章边缘路由技术

3.1本地数据分流概述

3.1.1流量卸载

3.1.2LIPA／SIPTO

3.1.3分组过滤器

3.2移动性支持

3.2.1协调式SIPTO

3.2.2IP流移动性

3.2.3分布式移动性管理

参考文献

第4章无线网络能力开放

4.1能力开放架构

4.1.13GPPSCEF架构

4.1.2ETSIMEC能力开放架构

4.1.3IMT—2020能力开放架构

4.2能力开放实现

4.2.1开放接口

4.2.2开放方式

4.3能力开放内容

参考文献

第5章边缘计算平台及计算技术

5.1硬件基础环境

5.1.1服务器

5.1.2网络适配器

5.1.3存储器

5.2软件基础环境

5.2.1云平台管理

5.2.2主机虚拟化

5.2.3交换虚拟化

5.3边缘计算技术

5.3.1微云

5.3.2薄云

5.3.3雾计算

5.3.4计算卸载

参考文献

第6章部署场景及应用实例

6.1场景1：基于LTE基站部署

6.2场景2：基于基站汇聚点部署

6.3场景3：基于无线网络控制器部署

6.4应用实例

6.4.1位置服务

6.4.2增强现实

6.4.3视频编排及分析

6.4.4基于无线感知的内容加速

6.4.5基于应用感知的性能优化

6.4.6物联网网关

6.4.7边缘CDN

6.4.8企业网应用

6.4.9车联网

6.4.10计算辅助

参考文献

第7章标准及产业发展情况

7.1标准发展情况

7.1.1ETSI

7.1.23GPP

7.1.3CCSA

7.1.4NGMN

7.1.5IMT—2020

7.1.6国家科技重大专项

7.2电信厂商

7.3IT厂商

参考文献

第8章英特尔网络边缘虚拟化开发套件

8.1套件概述

8.2套件架构

8.2.1架构总览

8.2.2功能模块详解

8.2.3应用编程接口

参考文献

名词索引

# 多接入边缘计算（MEC）及关键技术–2019年1月1日（国之重器出版工程）



**作者简介**

张建敏，男，博士，中国电信股份有限公司技术创新中心高级研究员，国家科技专家库入库专家。国家科技重大专项“5G网络边缘计算技术研发、标准化与验证”课题组组长，先后牵头承担或参与国家科技重大专项7项，目前重点针对5G网络架构、多接入边缘计算（MEC）等技术开展研究创新、测试验证及落地试点等工作，发表SCI、EI等论文20余篇，申请发明专利20余项，出版5G相关学术专著2部。

杨峰义，男，中国电信股份有限公司技术创新中心副主任、教授级高级工程师，“新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项总体专家组专家，国家高技术研究发展计划（“863”计划）5G专家组专家，中国通信标准化协会无线技术委员会副主席，中国通信学会无线及移动通信委员会委员，长期工作在移动通信领域，数次获得国家级和省部级科学技术进步奖，发表学术论文数十篇，出版学术专著6部、译著1部。

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

第3章　MEC系统架构及部署组网策略　073

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

第4章　基于MEC的本地分流技术　101

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

第5章　基于MEC的缓存加速　131

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

第6章　基于MEC的无线网络能力开放　159

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

第9章　基于MEC的计算卸载　263

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

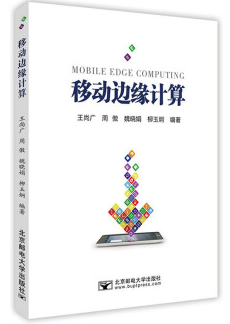
9.2.3　移动性管理　277

9.3　未来研究的方向　281

9.4　小结　283

参考文献　284

# 移动边缘计算-2017年8月1日



**编辑推荐**

《移动边缘计算》可作为政府与企业人员、咨询公司、一般技术人员、工程研究人员以及博士生、研究生、本科生等快速了解和熟悉移动边缘计算技术的科普类参考书。

目录

第1章基本概述

1.1移动边缘计算的由来

1.2相似解决方案

1.3移动边缘计算与5G

1.4研究问题划分

本章参考文献

第2章关键技术

2.1边缘云放置技术

2.1.1国外研究进展

2.1.2国内研究进展

2.2汁算卸载技术

2.2.1国外研究进展

2.2.2国内研究进展

2.3服务迁移技术

2.3.1欧洲研究进展

2.3.2美洲研究进展

2.4群智协同技术

2.4.1国外研究进展

2.4.2国内研究进展

本章参考文献

第3章典型应用场景

3.1车联网

3.2增强现实

3.3智能家居

3.4医疗服务

3.5公共安全

本章参考文献

第4章工具与实验平台

4.1iFogSim

4.2JADE

4.2.1JADE架构

4.2.2JADE特点

4.2.3JADE通信机制

4.2.4Agent迁移

4.3OAI

4.3.1OAI内部流传送架构

4.3.2OAI软件架构

4.4OpenStack

4.5Docker

4.6OpenLTE

本章参考文献

第5章未来挑战

5.1系统架构

5.2服务与应用

5.3安全与隐私

本章参考文献

# 雾计算:技术、架构及应用–2018年1月1日

编辑推荐

《雾计算:技术、架构及应用》适合云计算、雾计算、5G、物联网等领域的人士阅读。

作者简介

Chiang Mung，普渡大学工程学院院长、教授，之前曾任普林斯顿大学电子工程专业教授。2013年4月美国自然科学基金委(NSF)宣布，Chiang Mung因在无线网络创新理论和实际应用融合方面取得的丰硕成果获得NSF艾伦·沃特曼奖。作为EDGE实验室创办人，ChiangMung和他的研究团队致力于研究和开发可有效分析无线局域网网层间复杂信息交互情况的新方法，已完成网层间信息交互脉络特性图绘制，并以此为基础进行开发频谱资源优化、互联网拥塞控制、云计算资源公平分布等领域的更优技术方案制定。

目录

译者序

前言

第一部分雾的通信与管理

第1章ParaDrop：家用网关的边缘计算平台2

1.1引言2

1.1.1通过ParaDrop实现无线网关的多重任务管理及相关应用3

1.1.2ParaDrop平台的性能4

1.2在ParaDrop平台上实现服务5

1.3为ParaDrop平台开发服务7

1.3.1依托ParaDrop平台实现监控摄像头业务7

1.3.2依托ParaDrop平台实现环境传感器业务10

参考文献10

第2章管理带宽11

2.1引言11

2.1.1利用雾12

2.1.2家庭问题的解决方案12

2.2相关研究14

2.3信用分配和最优信用支出15

2.3.1信用分配15

2.3.2最优信用支出17

2.4在线带宽分配算法18

2.4.1估计其他网关的支出18

2.4.2在线信用支出决策和应用优先级设置20

2.5设计与实现20

2.5.1流量和设备分类22

2.5.2速率限制引擎22

2.5.3流量优先级设置引擎23

2.6实验结果24

2.6.1速率限制24

2.6.2流量优先级设置25

2.7网关共享结果26

2.8结论29

致谢30

附录2.A30

参考文献33

第3章面向雾网络的社交感知协作D2D与D4D通信35

3.1引言35

3.1.1从社交信任和社交互惠到D2D协作36

3.1.2智能电网：社交感知协作的D2D和D4D通信的物联网案例37

3.1.3主要结论39

3.2相关研究39

3.3系统模型40

3.3.1物理（通信）图模型40

3.3.2社交图模型42

3.4面向雾网络的社交感知协作D2D和D4D通信概述42

3.4.1基于社交信任的中继选择43

3.4.2基于社交互惠的中继选择43

3.4.3基于社交信任和社交互惠的中继选择47

3.5网络辅助中继选择机制48

3.5.1互惠中继选择循环发现48

3.5.2NARS机制49

3.5.3NARS机制的特性51

3.6仿真53

3.6.1ER社交图53

3.6.2基于实际追踪的社交图56

3.7结论58

致谢59

参考文献59

第4章你值得拥有更好的性能（来自你的智能设备）62

4.1为什么需要提供更好的性能62

4.2需要在哪里提供更好的性能63

4.3需要提供什么性能并且怎样提供64

4.3.1透明度64

4.3.2可预测性能68

4.3.3开放性73

4.4结论74

致谢75

参考文献75

第二部分雾的存储与计算

第5章提高通信效率的分布式缓存80

5.1引言80

5.2微微缓存81

5.2.1系统模型81

5.2.2来自帮助者节点的

自适应流84

5.3用户缓存85

5.3.1基于簇的缓存和D2D通信85

5.3.2基于ITLinQ的缓存和通信…88

5.3.3编码组播93

5.4结论和展望96

参考文献96

第6章无线视频雾网络：错误可恢复的实时协作数据流99

6.1引言99

6.2相关研究102

6.3系统运行和网络模型103

6.4问题建模和复杂度105

6.4.1NC数据包选择优化106

6.4.2广播者选择优化107

6.4.3复杂度分析108

6.5VBCR：一种用于实时视频且能实现协作恢复的分布启发式算法108

6.5.1初始信息交换108

6.5.2协作恢复109

6.5.3更新信息交换111

6.5.4视频数据包转发112

6.6仿真结果113

6.7结论116

参考文献117

第7章弹性移动终端云：借助移动终端提供边缘的云计算服务119

7.1引言119

7.2设计领域及实例121

7.2.1Mont—Blanc121

7.2.2计算与充电并行处理122

7.2.3FemtoCloud123

7.2.4Serendipity125

7.3FemtoCloud性能评估126

7.3.1实验设置126

7.3.2FemtoCloud仿真结果127

7.3.3FemtoCloud原型评估130

7.4Serendipity性能评估131

7.4.1实验设置131

7.4.2Serendipity性能增益132

7.4.3网络环境的影响132

7.4.4工作属性的影响136

7.5挑战137

参考文献138

第三部分雾的应用

第8章雾计算在未来汽车行业中的作用142

8.1引言142

8.2当前的汽车电子架构143

8.3汽车E／E架构的未来挑战及解决策略145

8.4未来汽车——车轮上的雾节点149

8.5凭借实时计算和时间触发技术实现车轮上的确定性雾节点150

8.5.1通过虚拟化解决可扩展性挑战的确定性雾节点151

8.5.2解决连接和安全挑战的确定性雾节点152

8.5.3汽车应用中确定性雾节点的新用例——全车虚拟化154

8.6结论155

参考文献155

第9章现场网络的位置寻址156

9.1引言156

9.1.1现场网络156

9.1.2现场网络面临的挑战157

9.2位置寻址158

9.3SAGP：现场的无线位置寻址160

9.3.1SAGP处理流程160

9.3.2SAGP重传启发式算法161

9.3.3SAGP数据包传播示例162

9.3.4跟随发送：有效的SAGP数据流动163

9.3.5迎接挑战164

9.4地理路由：将GA延伸到云端165

9.5SGAF：大规模GA的一种多层架构166

9.5.1不同层之间的桥接167

9.5.2混合安全架构168

9.6AT&T实验室的位置辅助多播架构169

9.7两个GA应用实例170

9.7.1PSCommander170

9.7.2位置辅助多播游戏172

9.8结论174

参考文献174

第10章面向智慧星球的分布式在线学习和流处理175

10.1引言：智慧星球175

10.2实例问题：交通运输177

10.3流处理特征178

10.4分布式流处理系统179

10.4.1研究现状179

10.4.2流处理系统180

10.5分布式在线学习框架183

10.5.1研究现状183

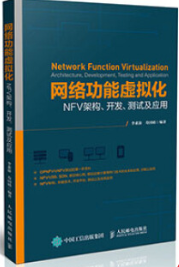
10.5.2在线分布式集成学习的系统框架185

10.5.3聚合权重的在线学习188

10.5.4碰撞检测应用190

10.6前景193

# 网络功能虚拟化 NFV架构 开发 测试及应用–2017年1月1日



编辑推荐

1.OPNFV与NFV测试的资料属于手资料，网上相关资料比较缺乏；

2.本书介绍了NFV与5G、SDN、移动核心网、移动边缘计算等热门技术的关系和应用，并配以实例。

3.本书较为全面地涵盖了NFV架构、关键技术、开发平台、测试以及应用实例等，内容丰富，受众面广。

作者简介

李素游，北京邮电大学信息与通信工程学院研究生，主要从事NFV、SDN、MEC相关技术与应用研究。

寿国础，北京邮电大学信息与通信工程学院教授、博导，主要研究方向为下一代接入网与移动互联网。

目录

第 1章 NFV概述 1

1.1 NFV概况 1

1.1.1 NFV的发展背景 1

1.1.2 NFV的优势 3

1.1.3 NFV组织 4

1.1.4 NFV行业发展概况 8

1.2 NFV特性 9

1.2.1 可移植性 9

1.2.2 性能 9

1.2.3 伸缩 10

1.2.4 弹性和稳定性 10

1.2.5 安全 11

1.2.6 服务持续性 11

1.2.7 管理和编排 12

1.2.8 多厂商间的互操作性 12

1.2.9 可操作性 12

1.2.10 能源效率 12

1.2.11 兼容性 12

1.3 NFV技术基础 12

1.3.1 标准服务器 12

1.3.2 虚拟化技术 13

1.3.3 云计算 14

1.3.4 软件定义网络（SDN） 15

1.3.5 开源软件 16

1.4 NFV挑战 17

1.4.1 性能问题 17

1.4.2 虚拟网络功能间的连接问题 17

1.4.3 网络安全问题 18

1.4.4 NFV的标准问题 18

1.4.5 系统集成问题 19

1.4.6 运营商业务引入NFV问题 19

第 2章 NFV体系架构 20

2.1 NFV设计目标 20

2.2 NFV系统结构 22

2.3 NFV参考架构 23

2.3.1 NFVI 23

2.3.2 VNF 24

2.3.3 NFV MANO 26

2.3.4 服务、VNF以及基础设施描述符 29

2.3.5 EM 29

2.3.6 OSS/BSS 30

2.3.7 参考点 30

2.4 网络功能虚拟化 33

2.4.1 网络功能虚拟化的实现 33

2.4.2 VFBs映射到HFBs的功能块方法 35

2.5 NFV域 37

2.6 NFVI域 39

2.6.1 NFVI目标 39

2.6.2 NFVI域 40

2.7 NFVI和云计算 43

2.7.1 云计算的基本特征应用于NFVI 43

2.7.2 云计算的服务模式应用于NFVI 45

2.7.3 云部署模型应用于NFVI 45

第3章 SDN与OpenDaylight 47

3.1 SDN架构 47

3.1.1 数据转发层 48

3.1.2 控制层 49

3.1.3 应用层 50

3.2 SDN控制器 51

3.2.1 NOX/POX 51

3.2.2 Floodlight 52

3.2.3 Ryu 52

3.2.4 OpenContrail 52

3.2.5 OpenDaylight 52

3.2.6 ONOS 53

3.2.7 其他类型控制器 53

3.2.8 多控制器模型 53

3.3 SDN南北向接口 55

3.3.1 SDN北向REST接口 55

3.3.2 SDN南向接口与协议 58

3.4 OpenDaylight控制器 60

3.4.1 OpenDaylight架构 60

3.4.2 OpenDaylight工作流程分析 61

3.4.3 OpenDaylight版本 62

3.4.4 OpenDaylight与OpenStack 63

3.5 OpenDaylight中部分重点项目 64

3.5.1 数据建模语言YANG 64

3.5.2 L2Switch项目 67

3.5.3 功能服务链项目 69

3.6 SDN与NFV 72

3.6.1 SDN与NFV的关系 72

3.6.2 IEEE SDN/NFV的标准化 73

3.6.3 NFV架构中的SDN 74

第4章 云管理平台OpenStack 76

4.1 云管理平台 76

4.1.1 云管理平台功能 76

4.1.2 主流的云管理平台 77

4.2 OpenStack发展历程 77

4.3 OpenStack架构 79

4.4 OpenStack核心组件 80

4.4.1 计算（Nova） 82

4.4.2 网络（Neutron） 84

4.4.3 对象存储（Swift） 85

4.4.4 块存储（Cinder） 88

4.4.5 认证（Keystone） 89

4.4.6 镜像服务（Glance） 91

4.4.7 界面（Horizon） 91

4.5 OpenStack与NFV 92

第5章 OPNFV 96

5.1 OPNFV简介 96

5.2 OPNFV与NFV产业 97

5.2.1 OPNFV目标 97

5.2.2 OPNFV对NFV产业的推进作用 97

5.3 OPNFV架构 98

5.3.1 OPNFV架构 98

5.3.2 OPNFV其他组件 99

5.3.3 OPNFV模块交互接口 102

5.3.4 Arno版本 103

5.3.5 Brahmaputra版本 104

5.3.6 Colorado版本 106

5.4 OPNFV安装 107

5.4.1 安装方式 107

5.4.2 安装过程介绍 107

第6章 NFV系统测试 111

6.1 NFV系统测试原理和方法 111

6.1.1 测试需求分析 111

6.1.2 测试方法 113

6.1.3 平台测试 114

6.1.4 业务测试 119

6.1.5 系统可用性测试 122

6.2 NFV系统测试分析 125

6.2.1 平台测试方案 125

6.2.2 平台测试结果分析 128

6.2.3 业务测试方案 130

6.2.4 业务测试结果分析 132

6.3 OPNFV Functest测试 134

6.3.1 Functest配置引导 135

6.3.2 Functest使用引导 139

6.3.3 执行Functest测试 144

第7章 NFV应用场景 146

7.1 网络功能虚拟化基础设施即服务（NFVIaaS） 146

7.1.1 概述 147

7.1.2 虚拟化目标 149

7.1.3 虚拟化网络功能的共存 150

7.2 虚拟网络功能即服务（VNFaaS） 150

7.2.1 动机 150

7.2.2 描述 151

7.2.3 vE-CPE 151

7.2.4 虚拟化目标 152

7.3 虚拟网络平台即服务（VNPaaS） 153

7.4 VNF转发图（VNF-FG） 154

7.4.1 动机 154

7.4.2 描述 155

7.4.3 虚拟化目标 157

7.5 移动核心网虚拟化 158

7.5.1 动机 158

7.5.2 描述 159

7.5.3 虚拟化目标 159

7.5.4 物理和虚拟化网络功能的共存 160

7.6 移动基站虚拟化 162

7.6.1 动机 162

7.6.2 描述 162

7.6.3 虚拟化目标 163

7.6.4 物理和虚拟化网络功能的共存 164

7.7 家庭网络虚拟化 164

7.7.1 动机 165

7.7.2 描述 165

7.7.3 物理和虚拟化网络功能的共存 166

7.8 虚拟化内容分发网络（vCDN） 168

7.8.1 动机 169

7.8.2 描述 169

7.8.3 虚拟化目标 170

7.8.4 物理和虚拟化网络功能的共存 170

7.9 固定接入网络功能虚拟化 171

7.9.1 动机 171

7.9.2 描述 171

7.9.3 挑战 172

7.9.4 虚拟化目标 173

7.9.5 物理和虚拟化网络功能的共存 173

第8章 5G中的NFV/SDN 175

8.1 5G发展背景 175

8.2 5G研发进展 176

8.2.1 5G的标准组织 176

8.2.2 各国政府及组织对5G的支持 178

8.3 5G网络的需求和挑战 179

8.4 基于NFV/SDN的5G网络架构设想 181

8.4.1 NFV/SDN在5G中的优势 181

8.4.2 基于NFV/SDN的5G网络架构设计 182

8.5 5G网络架构 183

8.5.1 NGMN 5G网络架构 183

8.5.2 IMT-2020 5G推进组网络架构 184

8.5.3 移动5G网络架构 187

8.5.4 联通5G网络架构 189

8.5.5 电信5G网络架构 189

第9章 NFV与移动核心网 192

9.1 基于NFV的核心网演进 193

9.2 IMS网络虚拟化系统架构研究（中国移动） 194

9.2.1 虚拟化IMS网络系统架构 194

9.2.2 虚拟化IMS网络主要接口 195

9.2.3 虚拟化IMS网络主要设备及设备形态研究 195

9.3 EPS业务链虚拟化方案研究（华为） 196

9.3.1 业务链架构 196

9.3.2 业务链关键功能模块与接口 197

9.4 NFV开源软件 198

9.4.1 EPC/IMS开源软件 198

9.4.2 虚拟路由和交换 199

9.4.3 其他开源网络设备 200

9.5 NFV开启现网试点 200

9.5.1 AT&T 200

9.5.2 中国移动 200

9.5.3 中国联通 201

9.5.4 中国电信 201

9.5.5 相关报道 202

第 10章 NFV与移动边缘计算（MEC） 203

10.1 背景 203

10.2 MEC工作原理及优势 204

10.3 MEC关键技术 205

10.3.1 虚拟化技术 205

10.3.2 无线接入技术 205

10.4 MEC特点 206

10.5 ISG MEC工作组工作 207

10.5.1 ISG MEC的基本理念与目标 207

10.5.2 MEC服务器部署方案 207

10.5.3 MEC体系架构 208

10.6 应用 210

10.6.1 应用分类 210

10.6.2 应用例 211

10.6.3 5G中的MEC应用 216

10.7 MEC与触感互联网 217

10.8 MEC的挑战 218

10.8.1 安全问题 218

10.8.2 平台管理和应用可移植性 219

10.8.3 顽健性和弹性 219

10.8.4 用户隐私和计费挑战 220

10.8.5 网络整合和服务器部署 220

10.8.6 能源效率 220

第 11章 MEC应用实例——WiCloud 221

11.1 WiCloud架构 221

11.2 WiCloud应用 223

11.2.1 商铺客流分析服务 224

11.2.2 智能客户分析服务 226

11.2.3 个性化定制服务 227

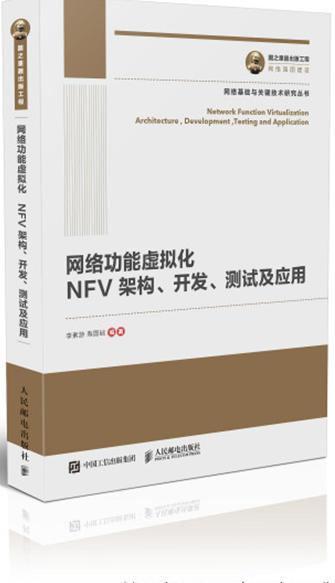
11.2.4 公共场所人员空间分析服务 228

11.2.5 无线网络质量分析与优化服务 229

主要概念术语 231

参考文献 241

# 网络功能虚拟化：NFV架构、开发、测试及应用–2018年12月1日(国之重器出版工程)

. 

编辑推荐

1.OPNFV与NFV测试的资料属于一手资料，网上相关资料比较缺乏；

2.本书介绍了NFV与5G、SDN、移动核心网、移动边缘计算等热门技术的关系和应用，并配以实例。

3.本书较为全面地涵盖了NFV架构、关键技术、开发平台、测试以及应用实例等，内容丰富，受众面广。

作者简介

李素游，北京邮电大学信息与通信工程学院研究生，主要从事NFV、SDN、MEC相关技术与应用研究。

寿国础，北京邮电大学信息与通信工程学院教授、博导，主要研究方向为下一代接入网与移动互联网。

目录

第 1章　NFV概述 1

1.1　NFV概况　1

1.1.1　NFV的发展背景　1

1.1.2　NFV的优势　3

1.1.3　NFV组织　4

1.1.4　NFV行业发展概况　8

1.2　NFV特性　9

1.2.1　可移植性　9

1.2.2　性能　9

1.2.3　伸缩　10

1.2.4　弹性和稳定性　10

1.2.5　安全　11

1.2.6　服务持续性　11

1.2.7　管理和编排　12

1.2.8　多厂商间的互操作性　12

1.2.9　可操作性　12

1.2.10　能源效率　12

1.2.11　兼容性　12

1.3　NFV技术基础　12

1.3.1　标准服务器　12

1.3.2　虚拟化技术　13

1.3.3　云计算　14

1.3.4　软件定义网络（SDN）　15

1.3.5　开源软件　16

1.4　NFV挑战　17

1.4.1　性能问题　17

1.4.2　虚拟网络功能间的连接问题　17

1.4.3　网络安全问题　18

1.4.4　NFV的标准问题　18

1.4.5　系统集成问题　19

1.4.6　运营商业务引入NFV问题　19

第　2章 NFV体系架构　20

2.1　NFV设计目标　20

2.2　NFV系统结构　22

2.3　NFV参考架构　23

2.3.1　NFVI　23

2.3.2　VNF　24

2.3.3　NFV MANO　26

2.3.4　服务、VNF以及基础设施描述符　29

2.3.5　EM　29

2.3.6　OSS/BSS　30

2.3.7　参考点　30

2.4　网络功能虚拟化　33

2.4.1　网络功能虚拟化的实现　33

2.4.2　VFBs映射到HFBs的功能块方法　35

2.5　NFV域　37

2.6　NFVI域　39

2.6.1　NFVI目标　39

2.6.2　NFVI域　40

2.7　NFVI和云计算　43

2.7.1　云计算的基本特征应用于NFVI　43

2.7.2　云计算的服务模式应用于NFVI　45

2.7.3　云部署模型应用于NFVI　45

第3章　SDN与OpenDaylight　47

3.1　SDN架构　47

3.1.1　数据转发层　48

3.1.2　控制层　49

3.1.3　应用层　50

3.2　SDN控制器　51

3.2.1　NOX/POX　51

3.2.2　Floodlight　52

3.2.3　Ryu　52

3.2.4　OpenContrail　52

3.2.5　OpenDaylight　52

3.2.6　ONOS　53

3.2.7　其他类型控制器　53

3.2.8　多控制器模型　53

3.3　SDN南北向接口　55

3.3.1　SDN北向REST接口　55

3.3.2　SDN南向接口与协议　58

3.4　OpenDaylight控制器　60

3.4.1　OpenDaylight架构　60

3.4.2　OpenDaylight工作流程分析　61

3.4.3　OpenDaylight版本　62

3.4.4　OpenDaylight与OpenStack　63

3.5　OpenDaylight中部分重点项目　64

3.5.1　数据建模语言YANG　64

3.5.2　L2Switch项目　67

3.5.3　功能服务链项目　69

3.6　SDN与NFV　72

3.6.1　SDN与NFV的关系　72

3.6.2　IEEE SDN/NFV的标准化　73

3.6.3　NFV架构中的SDN　74

第4章　云管理平台OpenStack　76

4.1　云管理平台　76

4.1.1　云管理平台功能　76

4.1.2　主流的云管理平台　77

4.2　OpenStack发展历程　77

4.3　OpenStack架构　79

4.4　OpenStack核心组件　80

4.4.1　计算（Nova）　82

4.4.2　网络（Neutron）　84

4.4.3　对象存储（Swift）　85

4.4.4　块存储（Cinder）　88

4.4.5　认证（Keystone）　89

4.4.6　镜像服务（Glance）　91

4.4.7　界面（Horizon）　91

4.5　OpenStack与NFV　92

第5章　OPNFV　96

5.1　OPNFV简介　96

5.2　OPNFV与NFV产业　97

5.2.1　OPNFV目标　97

5.2.2　OPNFV对NFV产业的推进作用　97

5.3　OPNFV架构　98

5.3.1　OPNFV架构　98

5.3.2　OPNFV其他组件　99

5.3.3　OPNFV模块交互接口　102

5.3.4　Arno版本　103

5.3.5　Brahmaputra版本　104

5.3.6　Colorado版本　106

5.4　OPNFV安装　107

5.4.1　安装方式　107

5.4.2　安装过程介绍　107

第6章　NFV系统测试　111

6.1　NFV系统测试原理和方法　111

6.1.1　测试需求分析　111

6.1.2　测试方法　113

6.1.3　平台测试　114

6.1.4　业务测试　119

6.1.5　系统可用性测试　122

6.2　NFV系统测试分析　125

6.2.1　平台测试方案　125

6.2.2　平台测试结果分析　128

6.2.3　业务测试方案　130

6.2.4　业务测试结果分析　132

6.3　OPNFV Functest测试　134

6.3.1　Functest配置引导　135

6.3.2　Functest使用引导　139

6.3.3　执行Functest测试　144

第7章　NFV应用场景　146

7.1　网络功能虚拟化基础设施即服务（NFVIaaS）　146

7.1.1　概述　147

7.1.2　虚拟化目标　149

7.1.3　虚拟化网络功能的共存　150

7.2　虚拟网络功能即服务（VNFaaS）　150

7.2.1　动机　150

7.2.2　描述　151

7.2.3　vE-CPE　151

7.2.4　虚拟化目标　152

7.3　虚拟网络平台即服务（VNPaaS）　153

7.4　VNF转发图（VNF-FG）　154

7.4.1　动机　154

7.4.2　描述　155

7.4.3　虚拟化目标　157

7.5　移动核心网虚拟化　158

7.5.1　动机　158

7.5.2　描述　159

7.5.3　虚拟化目标　159

7.5.4　物理和虚拟化网络功能的共存　160

7.6　移动基站虚拟化　162

7.6.1　动机　162

7.6.2　描述　162

7.6.3　虚拟化目标　163

7.6.4　物理和虚拟化网络功能的共存　164

7.7　家庭网络虚拟化　164

7.7.1　动机　165

7.7.2　描述　165

7.7.3　物理和虚拟化网络功能的共存　166

7.8　虚拟化内容分发网络（vCDN）　168

7.8.1　动机　169

7.8.2　描述　169

7.8.3　虚拟化目标　170

7.8.4　物理和虚拟化网络功能的共存　170

7.9　固定接入网络功能虚拟化　171

7.9.1　动机　171

7.9.2　描述　171

7.9.3　挑战　172

7.9.4　虚拟化目标　173

7.9.5　物理和虚拟化网络功能的共存　173

第8章　5G中的NFV/SDN　175

8.1　5G发展背景　175

8.2　5G研发进展　176

8.2.1　5G的标准组织　176

8.2.2　各国政府及组织对5G的支持　178

8.3　5G网络的需求和挑战　179

8.4　基于NFV/SDN的5G网络架构设想　181

8.4.1　NFV/SDN在5G中的优势　181

8.4.2　基于NFV/SDN的5G网络架构设计　182

8.5　5G网络架构　183

8.5.1　NGMN 5G网络架构　183

8.5.2　IMT-2020 5G推进组网络架构　184

8.5.3　移动5G网络架构　187

8.5.4　联通5G网络架构　189

8.5.5　电信5G网络架构　189

第9章　NFV与移动核心网　192

9.1　基于NFV的核心网演进　193

9.2　IMS网络虚拟化系统架构研究（中国移动）　194

9.2.1　虚拟化IMS网络系统架构　194

9.2.2　虚拟化IMS网络主要接口　195

9.2.3　虚拟化IMS网络主要设备及设备形态研究　195

9.3　EPS业务链虚拟化方案研究（华为）　196

9.3.1　业务链架构　196

9.3.2　业务链关键功能模块与接口　197

9.4　NFV开源软件　198

9.4.1　EPC/IMS开源软件　198

9.4.2　虚拟路由和交换　199

9.4.3　其他开源网络设备　200

9.5　NFV开启现网试点　200

9.5.1　AT&T　200

9.5.2　中国移动　200

9.5.3　中国联通　201

9.5.4　中国电信　201

9.5.5　相关报道　202

第　10章 NFV与移动边缘计算（MEC）　203

10.1　背景　203

10.2　MEC工作原理及优势　204

10.3　MEC关键技术　205

10.3.1　虚拟化技术　205

10.3.2　无线接入技术　205

10.4　MEC特点　206

10.5　ISG MEC工作组工作　207

10.5.1　ISG MEC的基本理念与目标　207

10.5.2　MEC服务器部署方案　207

10.5.3　MEC体系架构　208

10.6　应用　210

10.6.1　应用分类　210

10.6.2　应用例　211

10.6.3　5G中的MEC应用　216

10.7　MEC与触感互联网　217

10.8　MEC的挑战　218

10.8.1　安全问题　218

10.8.2　平台管理和应用可移植性　219

10.8.3　顽健性和弹性　219

10.8.4　用户隐私和计费挑战　220

10.8.5　网络整合和服务器部署　220

10.8.6　能源效率　220

第　11章 MEC应用实例——WiCloud　221

11.1　WiCloud架构　221

11.2　WiCloud应用　223

11.2.1　商铺客流分析服务　224

11.2.2　智能客户分析服务　226

11.2.3　个性化定制服务　227

11.2.4　公共场所人员空间分析服务　228

11.2.5　无线网络质量分析与优化服务　229

主要概念术语　231

参考文献　241

# 5G无线接入网架构及关键技术–2018年8月1日(国之重器出版工程)

编辑推荐

1. 5G属前沿技术，本书内容领先业界。

2. 本书集合业界领先通信企业在5G方面的最新研究成果，内容深入、丰富。

3. 本书作者长期从事移动通信研究，此前出版过3本移动通信相关图书。

作者简介

杨峰义，男，中国电信股份有限公司技术创新中心副主任、教授级高级工程师，“新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项总体专家组专家，国家高技术研究发展计划（“863”计划）5G专家组专家，中国通信标准化协会无线技术委员会副主席，中国通信学会无线及移动通信委员会委员，长期工作在移动通信领域，数次获得国家级和省部级科技进步奖，发表学术论文数10篇，学术专著6部，译著1部。

谢伟良，男，博士，中国电信股份有限公司技术创新中心无线网络总监、教授级高级工程师，中国电信集团无线与移动专业专家及5G技术创新组委员，北京市中关村高端领军人才，国家科技重大专项三核心专家和评审专家，国家科技专家库入库专家，中国通信学会青年工作委员会委员，主要研究方向为无线通信及移动网络，共发表24篇SCI论文，有35篇国际标准文稿被采纳，获25件中国、美国、日本发明专利授权。

张建敏，男，博士，中国电信股份有限公司技术创新中心高级研究员、高级工程师，国家科技专家库入库专家，目前重点针对5G网络架构、移动边缘计算（MEC）等技术开展技术研究验证及落地试点等工作，先后牵头承担或参与国家重大专项7项，发表SCI、EI等论文13篇，申请发明专利6项。

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

9.4.3　功率控制　360

9.5　授权的频谱共享　361

9.5.1　LSA　361

9.5.2　LSA技术实现方式　364

9.6　LTE-U/LAA　366

9.6.1　LTE-U　366

9.6.2　LAA　369

9.6.3　LTE-U/LAA关键技术　370

9.6.4　LTE-U/LAA部署场景　378

参考文献　380

# 5G时代的承载网–2019年2月1日(国之重器出版工程)

编辑推荐

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。

作者简介

万芬

湖北邮电规划设计有限公司高级工程师，北京邮电大学通信工程学士，武汉大学工商管理硕士。19年来深耕于通信传输网络建设，历年省级运营商光传输规划设计专业负责人，获两项发明专利，一项实用新型专利，在核心刊物发表论文十多篇。

余蕾

华中科技大学本科毕业，2006年加入湖北邮电规划设计有限公司，从事通信承载网的咨询规划及设计工作，专业方向为SDN、NFV等技术向运营商网络的引入和落地。

况璟

华中科技大学硕士毕业，2012—2018年在湖北邮电规划设计有限公司主要负责运营商及政企客户光通信传输网络建设规划与设计工作，专业方向为5G前传接入、Mesh网络等。

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

# 5G无线接入网络 雾计算和云计算–2018年8月1日(国之重器出版工程)

编辑推荐

云无线接入网（cloud radio access network，C-RAN）被认为是有望解决第五代移动通信（5G）技术服务需求问题的核心技术方案之一，已有研究表明C-RAN具有显著的技术优势，能有效提升网络的谱效率和能效率。 本书作者长期从事无线通信研究，此前出版过5本无线通信相关图书。本书属于国之重器出版工程系列丛书，是代表国家水平的高品质、系列化的学术专著。

作者简介

彭木根（1978-），男，北京邮电大学教授、博士生导师，教师发展中心主任。教育部重点实验室研究中心主任、IET 会士、中国电子学会青年科学家俱乐部副zhu席、北京科技人才研究会副秘书长。获得第三十届北京五四青年奖章， 入选首届国家自然科学基金you秀青年基金、首届长江学者奖励计划青年学者、国家万人计划—青年拔尖人才项目等。发表本领域ding级期刊论文40 余篇，其中7 篇论文入选ESI 高被引论文数据库，Google 学术引用3 200 余次。担任IEEECommunication Magazine、IEEE Access、IET Communications等期刊编委，在国际学术会议上做特邀报告7 次，7 次获得国际学术会议zui佳论文奖。出版专著译著12 部，包括英文专著1 部， 获得中华you秀出版物图书奖。获得国内外shou权技术发明专利59 项，其中转让28 项。曾获得高等学校科学研究you秀成果奖（科学技术）技术发明奖一等奖（排名D二）和自然科学奖二等奖（pai名D一）、中国通信学会技术发明奖一等奖（pai名D一）、茅以升科技奖北京青年科技奖、国际电气和电子工程师协会亚太区杰出青年科学家奖等。?

目录

第1章 无线接入网络演进 001

1.1 云无线接入网络 005

1.1.1 C-RAN历史发展 007

1.1.2 C-RAN优缺点 008

1.1.3 C-RAN挑战 009

1.2 异构云无线接入网络 010

1.3 雾无线接入网络 015

1.3.1 F-RAN系统架构 016

1.3.2 F-RAN关键技术 018

1.3.3 F-RAN技术挑战 024

1.4 F-RAN网络切片架构 025

1.4.1 基于边缘计算的接入网络切片 026

1.4.2 F-RAN接入网络切片关键技术 029

1.4.3 F-RAN接入网络切片挑战 033

参考文献 034

第2章 云无线接入网络性能 039

2.1 基于空间点过程的节点位置分布模型 041

2.1.1 泊松点过程 041

2.1.2 泊松—费列罗里模型 042

2.1.3 用户距离分布 043

2.2 不同场景信道特征研究 044

2.3 有用信号分布 046

2.3.1 系统模型 046

2.3.2 信号源为单天线RRH 047

2.3.3 信号源为多天线RRH 048

2.4 数值仿真分析 048

2.5 C-RAN上行场景性能分析 052

2.5.1 系统模型 052

2.5.2 用户接入策略 053

2.5.3 系统性能分析 054

2.5.4 数值仿真分析 065

2.6 C-RAN下行场景性能分析 067

2.6.1 系统模型 068

2.6.2 用户接入策略 069

2.6.3 系统性能分析 070

2.6.4 数值仿真分析 073

2.7 C-RAN室内场景性能分析 074

2.7.1 系统模型 074

2.7.2 用户接入策略 076

2.7.3 性能分析 077

2.7.4 数值仿真分析 081

2.8 小结 083

参考文献 084

第3章 异构云无线接入网络理论性能 087

3.1 基于用户接入的H-CRAN理论性能 089

3.1.1 用户接入策略 091

3.1.2 系统性能分析 093

3.1.3 数值仿真分析 105

3.2 基于预编码策略的中断概率性能 109

3.2.1 预编码技术 109

3.2.2 系统模型 110

3.2.3 不同预编码下用户SINR分布 112

3.2.4 两种预编码策略下的系统中断概率 114

3.2.5 仿真结果分析 118

3.3 基于预编码策略的容量和误比特率性能 119

3.3.1 两种预编码的系统容量 121

3.3.2 两种预编码的平均误比特率 125

3.3.3 性能分析 126

参考文献 128

第4章 雾无线接入网络理论性能 129

4.1 基于随机几何的F-RAN理论传输性能 130

4.1.1 典型用户接入特定RRH的有效容量 136

4.1.2 典型用户接入RRH协作簇的平均有效容量 138

4.1.3 典型用户接入RRH协作簇的能量效率 140

4.1.4 基于博弈理论的传输性能优化 141

4.1.5 仿真结果与分析 150

4.2 F-RAN中基于内容缓存的传输方法 154

4.2.1 基于F-AP的内容传输 157

4.2.2 基于RRH协作簇的内容传输 158

4.2.3 内容接入策略和缓存部署方法 159

4.2.4 服务簇的传输需求量 160

4.2.5 内容传输的平均遍历速率 161

4.2.6 传输的等待时延和时延比率 165

4.2.7 面向时延性能的传输方法分析 170

4.3 仿真结果与分析 172

4.3.1 推论4-2和推论4-3的平均遍历速率的准确性验证 172

4.3.2 用户请求单个内容对象的等待时延 173

4.3.3 用户请求多个内容对象的等待时延 174

参考文献 175

第5章 云无线接入网络信道估计技术 177

5.1 信道估计技术概述 178

5.1.1 导频辅助的信道估计 179

5.1.2 基于叠加导频的信道估计 180

5.1.3 盲或半盲信道估计 182

5.2 分段导频传输方案和信道估计算法研究 184

5.2.1 系统建模 185

5.2.2 信道建模 187

5.2.3 分段导频传输 189

5.2.4 数据信号传输 191

5.2.5 信道估计算法设计 192

5.2.6 克拉美罗界 196

5.3 数据接收检测方案和导频优化设计研究 202

5.3.1 数据检测和导频结构设计 204

5.3.2 系统模型与信道建模 204

5.3.3 上行数据信号检测矩阵 205

5.3.4 前传链路导频结构设计 207

5.3.5 接入链路导频结构设计 210

5.3.6 联合MRC-ZF接收检测 216

5.3.7 基于频谱效率的导频设计 221

5.4 仿真评估与性能验证 223

5.4.1 仿真场景设置 224

5.4.2 信道估计算法的仿真实现与性能验证 225

5.4.3 导频结构优化设计的仿真实现与性能验证 229

参考文献 233

第6章 云无线接入网络的半盲信道估计 237

6.1 理想前传链路下的半盲信道估计 239

6.1.1 C-RAN传输方法 239

6.1.2 C-RAN半盲信道估计算法 240

6.1.3 仿真结果与分析 242

6.2 非理想无线前传链路下的半盲信道估计 244

6.2.1 系统模型与传输方法 244

6.2.2 半盲信道估计优化算法 247

6.2.3 仿真结果与分析 257

6.3 非理想无线前传链路下的低复杂度半盲信道估计 260

6.3.1 效益函数中容量的下界分析 260

6.3.2 效益函数中信道估计精度的上界分析 262

6.3.3 仿真结果与分析 267

参考文献 271

第7章 云无线接入网络的资源分配 273

7.1 基于业务队列的协作多点传输下的动态无线资源分配 274

7.1.1 系统模型 276

7.1.2 混合多点协作传输方案 277

7.1.3 基于马尔可夫决策过程的问题建模 281

7.1.4 低复杂度功率和速率分配策略 284

7.1.5 仿真验证与结果分析 288

7.2 基于业务队列的面向预编码优化的动态无线资源优化 292

7.2.1 系统模型 293

7.2.2 基于马尔可夫决策过程的问题建模 295

7.2.3 低复杂度协作预编码策略 297

7.2.4 性能仿真验证 302

7.3 基于业务队列的联合节点选择的动态无线资源优化 305

7.3.1 系统模型和问题建模 306

7.3.2 基于李雅普诺夫优化的问题转化 309

7.3.3 基于组稀疏波束成形的等效算法 312

7.3.4 基于松弛整数规划的等效算法 318

7.3.5 仿真验证与结果分析 322

参考文献 328

第8章 异构云无线接入网络的资源分配 333

8.1 基于业务队列的联合拥塞控制的动态无线资源优化 334

8.1.1 系统模型 336

8.1.2 准入控制模型 339

8.1.3 问题建模 340

8.2 基于李雅普诺夫优化的问题转化和分解 342

8.2.1 虚拟性能队列的引入 342

8.2.2 随机优化问题的转化 344

8.2.3 等效优化问题的分解 345

8.3 低复杂度资源分配优化算法 346

8.3.1 连续性放松 347

8.3.2 拉格朗日对偶分解 348

8.4 算法性能界分析 351

8.4.1 瞬时队列长度界 351

8.4.2 吞吐量效益性能 352

8.5 仿真验证与结果分析 354

8.5.1 仿真场景与参数设置 354

8.5.2 仿真结果与分析 354

参考文献 360

第9章 雾无线接入网络的资源分配 363

9.1 传统性能评估指标及挑战 364

9.1.1 传统性能指标 366

9.1.2 新的性能指标 367

9.2 基于经济频谱效率的资源分配 371

9.2.1 谱效模型 371

9.2.2 前传链路成本模型 373

9.2.3 经济有效的频谱效率模型 373

9.2.4 系统问题描述 374

9.2.5 系统问题建模分析 375

9.2.6 算法仿真结果分析 384

9.3 F-RAN系统联合D2D的资源分配优化 390

9.3.1 D2D模型 390

9.3.2 成本模型 392

9.3.3 系统问题描述 393

9.3.4 优化问题解决 394

9.3.5 优化问题算法仿真 402

参考文献 406

# 软件定义网络核心原理与应用实践 第三版–2018年8月1日(国之重器出版工程)

编辑推荐

1. 内容新颖、技术思想凝练。

2. 本书上一版是国内第 一本系统介绍软件定义网络的书籍，几乎涵盖了所有相关软件定义网络的重要内容，第二版基于上一版之后SDN领域又涌现出的新思想新技术，对上一版进行内容的补充和更新。

3. 本书作者长期在网络领域从事研究，精通传统IP网络、覆盖网以及未来新型网络，对软件定义网络有着国内前沿的研究，在此基础上对该书编写投入巨大精力，使得本书语言精练、思想深刻，便于读者在较短时间内对软件定义网络有一个全面把握。

作者简介

黄韬，北京邮电大学副教授，江苏省未来网络创新研究院院长助理。目前主要研究方向为未来网络体系架构、软件定义网络、网络融合与演进。

刘韵洁，通信与信息系统专家、中国工程院院士。现任中国联合通信有限公司科技委主任、教授级高工。曾主持了我国公用数据网、计算机互联网、高速宽带网的设计、建设与经营工作，为我国信息化发展打下重要基础。

目录

目录

上册

第1章　SDN概述 001

第2章　SDN基本原理 011

2.1　SDN定义与架构 012

2.1.1　SDN定义 012

2.1.2　SDN架构 014

2.2　数据控制分离 019

2.2.1　基本概念 019

2.2.2　数据控制分离历史 022

2.2.3　SDN数据控制分离 026

2.3　网络可编程 030

2.3.1　基本概念 030

2.3.2　网络可编程历史 031

2.3.3　SDN可编程 034

2.4　本章小结 040

参考文献 040

第3章　SDN接口协议 043

3.1　OpenFlow协议 044

3.1.1　OpenFlow v1.0协议 045

3.1.2　OpenFlow协议的演进 056

3.1.3　OpenFlow协议面临的问题 067

3.2　OF-CONFIG协议 068

3.2.1　协议框架 069

3.2.2　设计需求 070

3.2.3　数据模型 072

3.2.4　协议演进 074

3.3　其他SDN南向协议 074

3.3.1　XMPP 075

3.3.2　PCEP 076

3.3.3　I2RS 078

3.3.4　OpFlex 079

3.3.5　OVSDB Mgmt 080

3.3.6　POF 081

3.3.7　P4 086

3.4　SDN北向接口 090

3.4.1　ONF北向接口 091

3.4.2　SDN其他北向接口 093

3.4.3　北向接口的趋势与前景 094

3.5　SDN东西向接口协议 096

3.6　本章小结 100

参考文献 100

第4章　SDN数据平面 103

4.1　数据平面架构 104

4.2　SDN芯片 108

4.3　SDN硬件交换机 112

4.3.1　基于ASIC芯片的SDN品牌交换机 113

4.3.2　基于ASIC芯片的SDN白盒交换机 121

4.3.3　基于NP的SDN交换机 125

4.3.4　基于NetFPGA的SDN交换机 127

4.4　SDN软件交换机 129

4.4.1　Open vSwitch 129

4.4.2　Pantou 130

4.4.3　Indigo 131

4.4.4　LINC 131

4.4.5　OpenFlowClick 133

4.4.6　OF13SoftSwitch 133

4.4.7　P4 BMv2与P4 Runtime 134

4.5　其他SDN业界相关进展 135

4.5.1　DPDK 135

4.5.2　FD.io 137

4.5.3　SONiC 140

4.6　本章小结 142

参考文献 143

第5章　SDN控制平面 145

5.1　SDN控制器 146

5.1.1　SDN控制器体系架构 146

5.1.2　SDN控制器评估要素 150

5.2　开源控制器 153

5.2.1　NOX/POX 153

5.2.2　Ryu 155

5.2.3　Floodlight 157

5.2.4　OpenDaylight 159

5.2.5　ONOS 163

5.2.6　OpenContrail 165

5.2.7　其他开源控制器 169

5.3　商用控制器 170

5.3.1　Big Network Controller 171

5.3.2　XNC 172

5.3.3　SDN Contrail 174

5.3.4　Agile Controller 175

5.3.5　ZENIC 177

5.4　本章小结 178

参考文献 179

第6章　SDN应用案例 181

6.1　SDN在网络试验平台中的应用 182

6.1.1　GENI OpenFlow 183

6.1.2　OFELIA 186

6.1.3　RISE 188

6.1.4　TWAREN 189

6.1.5　FINE 191

6.1.6　C-Lab 193

6.2　SDN在网络虚拟化中的应用 196

6.2.1　基于SDN的网络虚拟化 197

6.2.2　网络虚拟化平台FlowVisor 200

6.2.3　网络虚拟化平台OpenVirteX 204

6.2.4　网络虚拟化平台CNVP 208

6.3　SDN在流量工程中的应用 212

6.3.1　B4概述 213

6.3.2　B4设计思路 214

6.3.3　B4核心网络功能 217

6.3.4　基于SDN的流量工程实现 221

6.3.5　B4的部署与成效 224

6.4　本章小结 228

参考文献 229

第7章　SDN标准化与学术进展 231

7.1　SDN标准化进展 232

7.1.1　开放网络基金会 232

7.1.2　互联网工程任务组 236

7.1.3　国际电信联盟 239

7.1.4　欧洲电信标准化协会 242

7.1.5　中国通信标准化协会 246

7.2　SDN学术进展 249

7.2.1　控制平面可扩展性 249

7.2.2　交换机/数据平面设计 252

7.2.3　SDN编程语言 254

7.2.4　测试、调试及管理 256

7.2.5　数据中心应用 258

7.2.6　校园网应用 259

7.2.7　Peering应用 260

7.2.8　其他 261

7.3　本章小结 262

参考文献 263

缩略语 269

名词索引 275

下册

第1章　Open vSwitch应用实践 001

1.1　OVS系统架构 002

1.2　OVS代码解读 005

1.2.1　代码结构 005

1.2.2　代码解析 006

1.3　OVS安装使用 013

1.3.1　软件安装 013

1.3.2　使用说明 016

1.4　OVS应用实例 018

1.4.1　实例介绍 018

1.4.2　实例开发 019

1.4.3　实验结果 022

1.5　本章小结 023

参考文献 024

第2章　Mininet应用实践 025

2.1　Mininet系统架构 026

2.2　Mininet代码解读 028

2.2.1　代码结构 029

2.2.2　代码解析 030

2.3　Mininet安装使用 033

2.3.1　软件安装 033

2.3.2　使用说明 035

2.4　Mininet应用实例 038

2.4.1　实例介绍 038

2.4.2　实例开发 040

2.4.3　实验结果 043

2.5　本章小结 044

参考文献 044

第3章　POX应用实践 045

3.1　POX代码解读 046

3.1.1　代码结构 046

3.1.2　代码解析 047

3.2　POX安装配置 060

3.2.1　软件安装 060

3.2.2　系统配置 061

3.3　POX应用实例 063

3.3.1　实例介绍 063

3.3.2　实例开发 064

3.3.3　实验结果 073

3.4　本章小结 073

参考文献 074

第4章　Ryu应用实践 075

4.1　Ryu代码解读 076

4.1.1　代码结构 076

4.1.2　代码解析 077

4.2　Ryu安装配置 081

4.2.1　软件安装 081

4.2.2　GUI配置 081

4.3　Ryu应用实例 083

4.3.1　实例介绍 083

4.3.2　实例开发 087

4.3.3　实验结果 095

4.4　本章小结 097

第5章　Floodlight应用实践 099

5.1　Floodlight代码解读 100

5.1.1　代码结构 100

5.1.2　代码解析 101

5.2　Floodlight安装配置 107

5.2.1　软件安装 108

5.2.2　参数配置 109

5.3　Floodlight应用实例 109

5.3.1　实例介绍 109

5.3.2　实例开发 110

5.3.3　实验结果 114

5.4　本章小结 115

第6章　OpenDaylight应用实践（一） 117

6.1　OpenDaylight项目 118

6.1.1　项目介绍 118

6.1.2　系统架构 122

6.1.3　关键技术 126

6.2　OpenDaylight代码解读 136

6.2.1　代码结构 136

6.2.2　代码解析 137

6.3　OpenDaylight安装配置 149

6.3.1　软件安装 149

6.3.2　系统配置 153

6.4　本章小结 155

第7章　OpenDaylight应用实践（二） 157

7.1　基于OpenDaylight的二层转发应用 158

7.1.1　项目介绍 158

7.1.2　代码解析 160

7.1.3　实例开发 164

7.2　基于OpenDaylight的OVSDB应用 169

7.2.1　项目介绍 169

7.2.2　代码解析 169

7.2.3　实例开发 175

7.3　基于OpenDaylight的云网络应用 189

7.3.1　项目介绍 189

7.3.2　环境搭建 194

7.3.3　实例开发 199

7.4　本章小结 204

第8章　ONOS应用实践（一） 205

8.1　ONOS项目 206

8.1.1　项目介绍 206

8.1.2　系统架构 207

8.2　ONOS代码解读 211

8.2.1　代码结构 211

8.2.2　代码解析 212

8.3　ONOS安装配置 218

8.3.1　软件安装 218

8.3.2　系统配置 219

8.4　本章小结 221

第9章　ONOS应用实践（二） 223

9.1　基于ONOS的HelloONOS应用 224

9.1.1　项目介绍 224

9.1.2　代码解析 224

9.1.3　实例开发 227

9.2　基于ONOS的三层转发应用 232

9.2.1　项目介绍 232

9.2.2　代码解析 232

9.2.3　实例开发 235

9.3　基于ONOS的命令行与服务应用 246

9.3.1　项目介绍 246

9.3.2　代码解析 247

9.3.3　实例开发 249

9.4　基于ONOS的网络故障检测应用 256

9.4.1　项目介绍 256

9.4.2　代码解析 257

9.4.3　实例开发 259

9.5　本章小结 270

第10章　FlowVisor应用实践 273

10.1　FlowVisor代码解读 274

10.1.1　代码结构 274

10.1.2　代码解析 275

10.2　FlowVisor安装使用 285

10.2.1　软件安装 285

10.2.2　使用说明 286

10.3　基于交换机的虚拟网划分应用实例 287

10.3.1　实例介绍 287

10.3.2　实验流程 288

10.3.3　实验结果 289

10.4　基于传输层的虚拟网划分应用实例 290

10.4.1　实例介绍 290

10.4.2　实验流程 291

10.4.3　实验结果 292

10.5　本章小结 293

第11章　OpenVirteX应用实践 295

11.1　OpenVirteX代码解读 296

11.1.1　代码结构 296

11.1.2　代码解析 297

11.2　OpenVirteX安装使用 304

11.2.1　软件安装 305

11.2.2　使用说明 305

11.3　OpenVirteX应用实例 307

11.3.1　实例介绍 307

11.3.2　实验流程 308

11.3.3　实验结果 312

11.4　本章小结 313

参考文献 313

第12章　扩展实验工具 315

12.1　功能测试工具OFTest 316

12.1.1　工具介绍 316

12.1.2　软件安装 317

12.1.3　应用实例 318

12.2　性能测试工具Cbench 320

12.2.1 工具介绍 320

12.2.2　软件安装 321

12.2.3　应用实例 323

12.3　拓扑生成工具VND 325

12.3.1　工具介绍 325

12.3.2　应用实例 326

12.4　报文分析工具Wireshark 327

12.4.1　工具介绍 327

12.4.2　软件安装 328

12.4.3　应用实例 329

12.5　流量监控工具sFlow 331

12.5.1　工具介绍 331

12.5.2　软件安装 332

12.5.3　应用实例 334

12.6　本章小结 336

缩略语 337

名词索引 341

# 边缘计算方法与工程实践



**内容简介**

　　《边缘计算方法与工程实践》以工程实践为导向，详细阐述和分析了边缘计算的整体技术细节。本书对边缘计算的概念、原理、基础架构、软件架构、安全管理等方面都进行了深入剖析，并对业界的发展现状进行了全面介绍。通过大量的工程应用实例，将边缘计算从抽象的概念联系到实际应用，加深读者对边缘计算的理解，并进一步掌握边缘计算架构设计的方法和理念。同时，本书对边缘计算的前景、发展趋势以及面临的挑战也进行了阐述和探讨，通过抛砖引玉，希望触发业界深入思考如何推进边缘计算大规模商用开发部署。 《边缘计算方法与工程实践》适合有一定理论基础的从业者、研究者或高校师生阅读，尤其适合在行业内进行边缘计算应用的开发工程师学习，也适合相关领域的开发人员和科研人员参考。

**作者简介**

张骏 英特尔平台系统架构师，从事通信系统、数据中心云架构系统设计15余年。近年来主导推动边缘计算系统创新架构在国内互联网厂商的开发和部署，解决新型业务需求挑战。

祝鲲业 英特尔数据中心部门云计算中国区总监，拥有多年服务器研发经验。

陆科进 英特尔系统软件架构师，目前致力于机器人操作系统生态和边缘计算云原生开源软件栈及操作系统研发。

问治国 英特尔数据中心部门硬件架构师，长期从事物联网与云边缘计算产品开发和设计工作。

周超 英特尔数据中心网络部门平台构架师，长期从事x86服务器和网络系统设计和开发，专注uCPE、边缘计算和云等新技术领域。

刘敬 英特尔数据中心部门服务器系统集成研发经理，拥有多年商用服务器系统研发经验。

吴敏 从事英特尔x86服务器主板及系统设计，目前致力于物联网服务器应用。

**图书目录**

第1章 边缘计算综述  
1.1 边缘计算概述和定义  
1.1.1 边缘计算简介  
1.1.2 边缘计算发展历史  
1.1.3 边缘计算发展契机  
1.1.4 边缘计算发展现状  
1.1.5 边缘计算定义   
1.2 边缘计算原理  
1.2.1 边缘计算基本结构和特点  
1.2.2 业界新技术一览  
参考文献  
  
第2章 边缘计算基础资源架构技术  
2.1 边缘计算与前沿技术的关联和融合  
2.1.1 边缘计算和云计算  
2.1.2 边缘计算和大数据  
2.1.3 边缘计算和人工智能  
2.1.4 边缘计算和5G  
2.1.5 边缘计算和物联网  
2.2 边缘计算优势、覆盖范围和基础资源架构准则  
2.2.1 边缘计算优势  
2.2.2 边缘计算覆盖范围  
2.2.3 边缘计算基础资源架构准则  
2.3 边缘计算架构  
2.3.1 边缘计算架构的组成  
2.3.2 边缘计算平台架构  
2.3.3 边缘计算平台架构选型  
2.3.4 机器学习在边缘计算架构中的演进  
2.4 边缘计算相关网络  
2.4.1 通信网络  
2.4.2 边缘计算网络需求  
2.4.3 边缘计算网络发展趋势  
2.4.4 国内运营商网络演进  
2.4.5 小 结  
2.5 边缘存储架构  
2.5.1 什么是边缘存储  
2.5.2 边缘存储的优势  
2.5.3 边缘数据和存储类型  
2.5.4 边缘分布式存储  
参考文献  
  
第3章 边缘计算软件架构  
3.1 云原生  
3.1.1 边缘计算的诞生  
3.1.2 单体架构和基于微服务的云原生架构  
3.2 微服务  
3.2.1 微服务的架构组成  
3.2.2 边缘计算中的微服务  
3.3 边缘计算的软件系统  
3.3.1 边缘的硬件基础设施  
3.3.2 容器技术  
3.3.3 容器虚拟化  
3.3.4 容器管理编排和Kubernetes  
3.3.5 边缘平台操作系统  
3.3.6 基于StarlingX的边缘云平台  
参考文献  
  
第4章 边缘计算安全管理  
4.1 信息系统安全概述  
4.1.1 安全目标  
4.1.2 平台安全  
4.2 边缘计算安全  
4.2.1 核心设施安全  
4.2.2 边缘服务器安全  
4.2.3 边缘网络安全  
4.2.4 边缘设备安全  
4.3 边缘计算安全技术分析  
4.3.1 数据保密  
4.3.2 数据完整性  
4.3.3 安全数据计算  
4.3.4 身份认证  
4.3.5 访问控制  
4.3.6 隐私保护  
4.4 边缘计算安全威胁现状与发展  
4.5 边缘计算轻量级可信计算硬件发展  
4.5.1 基于加密体制的身份认证硬件设计  
4.5.2 物理不可克隆的硬件设计  
4.5.3 数据安全硬件设计  
4.6 边缘计算安全技术应用方案  
4.6.1 雾计算中边缘数据中心的安全认证  
4.6.2 雾计算系统在无人机安全领域的应用  
4.6.3 边缘计算中区块链安全技术在车辆自组织架构中的应用  
参考文献  
  
第5章 边缘计算应用案例  
5.1 智慧城市和无人零售  
5.1.1 智慧城市的边缘云计算应用  
5.1.2 新零售中的边缘云计算应用  
5.1.3 边缘计算在无人零售中的应用  
5.1.4 边缘计算在无界零售中的应用  
5.2 自动驾驶  
5.2.1 边缘计算在自动驾驶中的应用场景  
5.2.2 自动驾驶的边缘计算架构  
5.2.3 案例分析  
5.3 智能电网  
5.4 智慧医疗  
5.4.1 智慧医疗背景  
5.4.2 智慧医疗发展情况  
5.4.3 边缘计算加速智慧医疗落地  
5.4.4 边缘计算在智慧医疗中的应用场景  
5.4.5 智慧医疗的边缘计算架构  
5.4.6 案例分析  
5.5 智能家居  
5.5.1 智能家居应用场景  
5.5.2 智能家居发展现状  
5.5.3 智能家居的边缘计算架构  
5.5.4 案例分析  
5.6 智能工厂  
5.6.1 边缘计算在智能工厂中的应用场景  
5.6.2 智能制造的边缘计算架构  
5.6.3 案例分析  
5.7 边缘CDN运用  
5.7.1 边缘CDN技术演进  
5.7.2 边缘CDN市场背景  
5.7.3 边缘CDN商业应用实例  
5.8 uCPE通用客户端边缘设备  
5.8.1 uCPE主要支持业务  
5.8.2 uCPE一站式开放架构和参考方案  
5.8.3 uCPE硬件白盒方案  
5.8.4 uCPE软件参考SDK  
5.8.5 案例分析  
5.9 Kata Containers百度边缘网络计算应用  
5.9.1 百度边缘网络计算架构  
5.9.2 百度计算容器框架  
5.9.3 Kata Containers应用在边缘反爬取安全案例  
5.9.4 Kata Containers百度边缘网络安全技术迭代方向  
参考文献  
  
第6章 边缘计算发展展望  
6.1 边缘计算规模商用部署面临的挑战  
6.2 边缘计算核心技术走势  
6.2.1 SDN发展趋势  
6.2.2 信息中心网络  
6.2.3 服务管理  
6.2.4 算法执行框架  
6.2.5 区块链  
6.3 边缘计算未来发展典型场景探讨  
6.3.1 智能家居发展趋势  
6.3.2 智慧医疗未来场景  
6.3.3 智能制造发展趋势  
6.3.4 边缘计算赋能视频行业  
6.4 边缘计算前沿整体方案展望和探讨  
6.4.1 OTE标准参考架构  
6.4.2 应用案例：OTE边缘加密  
6.4.3 OTE展望和探讨  
参考文献