



国之重器出版工程

网络强国建设

学术中国·院士系列

未来网络创新技术研究系列

Heterogeneous Access and Convergence Control of Mobile Internet

移动互联网异构 接入与融合控制

刘千里 魏子忠 陈量 田永春 于全 编 著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



国之重器出版工程
网络强国建设

学术中国·院士系列
未来网络创新技术研究系列



移动互联网异构 接入与融合控制

Heterogeneous Access and
Convergence Control of Mobile Internet

刘千里 魏子忠 陈量 田永春 于全 编 著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目（C I P）数据

移动互联网异构接入与融合控制 / 刘千里等编著

— 北京：人民邮电出版社，2018.8

（学术中国·院士系列·未来网络创新技术研究系列）

国之重器出版工程

ISBN 978-7-115-48769-8

I. ①移… II. ①刘… III. ①移动通信—互联网络

IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第137096号

内 容 提 要

本书全面介绍了移动互联网的相关技术。

首先阐述了电信网和互联网两大主要阵营在网络体系结构方面的最新研究进展，系统地描述了一种具有普适性的移动互联网参考模型；其次介绍了蜂窝移动通信系统、无线局域网、移动自组织网络和无线传感器网络等各类异构的无线接入网络；然后重点对 SDN、NFV、网络虚拟化、云计算平台以及 4G/5G 移动网络控制等新兴的网络控制技术进行了阐述；随后分别对链路层垂直切换、名址分离、应用层移动业务支撑等移动性管理技术以及分层、跨层 QoS 保障技术进行总结分析；最后介绍了无线资源管理、接入策略管理、端到端重配置技术和融合业务管理等异构移动网络的融合管理技术。

本书取材新颖、内容丰富、实用性强，突出基本概念的分析和技术原理的阐述，反映了移动互联网领域网络技术研究的最新成果和发展趋势，适合从事移动、无线网络体系设计与研究开发的工程技术人员阅读，也可供高等院校相关专业本科生、研究生以及广大网络通信爱好者参考。

◆ 编 著 刘千里 魏子忠 陈 量 田永春 于 全

责任编辑 代晓丽

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：39

2018 年 8 月第 1 版

字数：721 千字

2018 年 8 月河北第 1 次印刷

定价：278.00 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

1969 年, ARPANET 诞生, 催生人类历史上继蒸汽技术革命、电力技术革命以来, 又一次影响全人类的伟大革命。经过几十年发展, 互联网 (Internet) 为全球经济发展、技术创新和日常生活带来了革命性的影响。而移动通信作为通信技术领域发展最快的一个分支, 应用越来越普及, 成为人们日常生活的必需品。近年来, 移动通信和互联网相互融合, 形成移动互联网, 催生了前所未有的产业革命、技术革新和应用创新, 全面改变了人类的生活方式, 成为社会生产生活中不可或缺的信息平台。

移动互联网依托各类不同频段、不同制式和组网协议的异构无线网络, 将人们从桌面固定式机器前解放出来, 为人类提供了前所未有的便利。与此同时, 也带来了通信手段、接入网络、核心网络、终端、业务以及运营商的异构性问题。目前, 存在众多的无线网络技术, 如小范围通信覆盖的 WLAN、ZigBee、蓝牙等, 大地域范围覆盖的 2G、3G、4G 移动通信系统和卫星通信、空基平台通信等, 中等覆盖范围的 WiMAX、WMAN 和移动自组织网络等。如何有效利用这些特性不一、能力差别巨大的异构无线网络, 为用户提供统一、可靠、体验良好的通信服务, 实现在任何地方自由地进行通信这一美好理想, 是业界广大从业人员不懈追求的目标。

作为基础和“底座”, 网络对于移动互联网的蓬勃发展至关重要, 本书力图对网络技术进行较全面的剖析和介绍。主要内容安排如下: 第 1 章从互联网、无线移动通信的起源与发展, 谈到移动互联网的兴起, 落脚到移动互联网网络的发展趋势和关键技术; 第 2 章在分析电信网和互联网领域网络体系结构发展的基础上, 提出移



移动互联网网络的主要特征、发展趋势和参考模型；第3章以无线接入网络为主题，对蜂窝移动通信系统、无线局域网、无线个域网、移动自组织网络、无线传感器网络和认知网络等进行全面介绍；第4章重点介绍移动互联网中新兴的网络控制技术，包括SDN、NFV、网络虚拟化、云计算平台、基于应用的网络控制技术以及4G/5G移动网络控制等；第5章介绍移动互联网从链路层到应用层对应的移动性管理技术，包括链路层垂直切换、网络层移动IPv6扩展技术和名址分离、运营商支持的用户移动模式、应用层移动业务支撑、移动定位及LBS等技术；第6章介绍服务质量保障技术，建立移动互联网的QoS保障框架，从网络分层和跨层角度阐述相应的服务质量保障技术，并提出移动互联网异构网络环境下的跨层QoS保障体系；第7章介绍移动互联网的网络融合管理技术，对网络管理体系架构、无线资源管理、接入策略管理、端到端重配置技术和融合业务管理等进行全面介绍；第8章对全书内容进行总结，并对移动互联网异构网络融合的未来发展进行展望。

本书是作者在总结多年无线网络科研工作的经验与成果，并且广泛学习吸收国内外无线网络领域相关成果的基础上编写的。本书不追求技术的面面俱到，但求综述网络技术领域的全面发展情况，呈现当前技术的最新研究成果。

中国工程院于全院士负责本书的整体筹划与审稿，刘千里高工编写了第1~3章，陈量高工编写了第4、5章，魏子忠高工编写了第6~8章，田永春研究员编写了第2、5、6章的部分内容。中国电科第54研究所石振芳研究员、王宏宇高工，中国电科第30研究所谢烨高工、刘杰博士，华为技术有限公司刘尚博士等参与了资料的收集和部分章节内容的编写，中国电子系统工程公司研究所向东蕾高工、汪李峰高工、王晓东博士、魏胜群博士等同志在书稿写作过程中给予了大量支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

移动互联网网络技术所涉及的范围较广，同时也是一个前沿研究领域，技术发展迅猛，加之由于作者理论水平和研究的局限性，书中难免有疏漏乃至错误之处，作为抛砖引玉之作，敬请读者对本书提出宝贵的意见和建议，以利于作者不断改进，并对推进该领域的研究和发展尽绵薄之力。

作者



目 录

第 1 章 引言	1
1.1 互联网的起源与发展	2
1.1.1 互联网的起源	3
1.1.2 互联网的发展演进	4
1.2 无线移动通信的发展	11
1.3 移动互联网的兴起	17
1.4 移动互联网网络的关键技术	21
1.4.1 移动互联网网络的发展趋势	21
1.4.2 移动互联网的关键技术领域	25
1.5 本书内容与章节安排	30
参考文献	31
第 2 章 网络体系结构	33
2.1 概述	34
2.2 电信网体系结构的发展	35
2.2.1 发展脉络	35
2.2.2 下一代网络	39
2.2.3 环境网络	47
2.2.4 未来网络	49
2.3 互联网体系结构的发展	63
2.3.1 发展脉络	63
2.3.2 面向服务网络架构	64
2.3.3 软件定义网络	67
2.3.4 命名化数据网络	72
2.3.5 移动性优先	81
2.3.6 一体化可信网络与普适服务体系	90
2.4 移动互联网的体系结构	92
2.4.1 网络体系结构的比较分析	92



2.4.2	移动互联网的主要特征	94
2.4.3	移动互联网的参考模型	96
2.4.4	移动互联网的融合途径	101
	参考文献	104
第3章 异构无线接入网络		109
3.1	概述	110
3.2	蜂窝移动通信系统	111
3.2.1	LTE 技术	113
3.2.2	5G 移动通信新技术	119
3.3	无线局域网	131
3.3.1	无线局域网的特点	132
3.3.2	无线局域网的协议标准	133
3.3.3	无线局域网的关键技术	135
3.3.4	无线局域网的应用	139
3.4	无线个域网	142
3.4.1	无线个域网的特点	143
3.4.2	无线个域网的关键技术	144
3.4.3	无线个域网的应用	150
3.5	移动自组织网络	151
3.5.1	移动自组织网络的特点	152
3.5.2	移动自组织网络的关键技术	154
3.5.3	移动自组织网络的应用	164
3.6	无线传感器网络	165
3.6.1	无线传感器网络的特点	166
3.6.2	无线传感器网络的关键技术	169
3.6.3	无线传感器网络的应用	181
3.7	认知网络	183
3.7.1	认知网络概述	183
3.7.2	认知无线网络	186
3.7.3	频谱感知技术	188
3.7.4	可用带宽的感知技术	190
	参考文献	192



第 4 章 网络融合控制 197

4.1 概述 198

4.2 融合控制的层次结构..... 200

4.3 SDN 的控制技术 201

4.3.1 SDN 的基本思想 201

4.3.2 SDN 的优势和挑战 204

4.3.3 OpenFlow 协议及其发展 206

4.3.4 SDN 控制器及网络服务 214

4.3.5 基于 SDN 思想设计的 Google B4 网络 222

4.3.6 基于分段路由实现 SDN 控制 230

4.4 NFV 网络控制技术..... 232

4.4.1 NFV 概述 232

4.4.2 NFV 的技术架构 235

4.4.3 NFV 的用例 239

4.5 网络虚拟化控制技术..... 243

4.5.1 概述 243

4.5.2 服务器网卡虚拟化 244

4.5.3 虚拟交换机 245

4.5.4 虚拟 Overlay 网络 248

4.5.5 虚拟网络转发实例 250

4.6 云计算/NFV/SDN 网络融合控制 254

4.6.1 云计算平台和网络控制 254

4.6.2 SDN 和 NFV 257

4.7 面向应用的网络控制技术..... 259

4.7.1 思科 SONA 259

4.7.2 统一通信 261

4.7.3 即时通信控制协议 262

4.8 移动网络控制技术..... 279

4.8.1 EPC 网络实体功能及选择控制 280

4.8.2 EPS 网络的主要参考点 284

4.8.3 5G 网络控制功能 289

4.8.4 IMS 网络控制及应用扩展 296

4.8.5 用户数据融合控制 302



参考文献	306
第 5 章 移动性管理	309
5.1 概述	310
5.2 移动性管理的层次结构	312
5.3 基于移动 IP 的移动性管理	313
5.3.1 移动 IP 的技术基础	313
5.3.2 移动 IPv6 协议扩展	322
5.3.3 移动 IP 在移动互联网中的应用	330
5.4 基于名址分离的移动性管理	332
5.4.1 名址分离技术	332
5.4.2 名址分离协议	333
5.4.3 一体化网络的名址分离	338
5.4.4 其他名址分离解决方案	342
5.5 移动链路切换管理	344
5.5.1 网络切换概述	344
5.5.2 异构网络选择切换算法	347
5.6 运营商网络切换管理	355
5.6.1 2G/3G 移动网络和 WLAN 移动切换	355
5.6.2 LTE 接入和 WLAN 移动切换	363
5.7 应用层移动支持管理	374
5.7.1 运营商业务的移动支持	374
5.7.2 互联网应用的移动支持	380
5.7.3 基于终端应用的接入切换	382
5.8 移动位置管理	384
5.8.1 运营商移动位置管理	384
5.8.2 3GPP 网络位置服务	385
5.8.3 移动互联网位置服务	388
参考文献	395
第 6 章 服务质量保障	399
6.1 概述	400
6.2 QoS 保障体系	402
6.2.1 影响 QoS 性能的基本参数	402



6.2.2	QoS 等级分类	403
6.2.3	移动互联网 QoS	407
6.3	物理层 QoS 保障机制	409
6.3.1	拥塞控制机制	409
6.3.2	差错控制机制	410
6.3.3	功率控制机制	412
6.4	链路层 QoS 保障机制	415
6.4.1	MAC 协议的 QoS 保障	415
6.4.2	ARQ 技术	416
6.5	网络层 QoS 保障机制	427
6.5.1	MPLS 的网络体系结构	428
6.5.2	MPLS 的技术原理	429
6.5.3	MPLS 与 DiffServ 结合的 QoS 机制研究	432
6.6	传输层 QoS 保障机制	435
6.6.1	RSVP	435
6.6.2	NSIS 协议	436
6.6.3	NSIS 协议和 RSVP 协议的对比	438
6.7	应用层 QoS 保障机制	439
6.7.1	3GPP PCC	439
6.7.2	区分用户和业务的 QoS 控制策略	441
6.7.3	基于 DUS 策略进行的 QoS 管控	446
6.8	跨层 QoS 保障技术	449
6.8.1	同一网络中的 QoS 映射分析	450
6.8.2	异构网络中的 QoS 映射分析	452
6.8.3	异构无线网络通用的 QoS 映射方法	456
6.8.4	仿真验证	463
	参考文献	465
第 7 章	网络融合管理	469
7.1	概述	470
7.2	网络管理体系与协议	472
7.2.1	网络管理概述	472
7.2.2	OSI 网络管理体系	473
7.2.3	IETF 网络管理体系	477



7.2.4	TMN 体系	480
7.2.5	NGOSS 管理体系	486
7.2.6	网络融合管理模式	496
7.3	无线资源管理	498
7.3.1	无线资源管理概述	498
7.3.2	公共无线资源管理	499
7.3.3	联合无线资源管理	500
7.3.4	Multi-Radio 无线资源管理	506
7.3.5	异构无线资源管理	509
7.4	接入策略管理	514
7.4.1	接入网络选择	514
7.4.2	静态接入选择策略	515
7.4.3	动态接入选择策略	525
7.5	重配置管理	529
7.5.1	端到端重配置技术概述	529
7.5.2	端到端重配置网络架构	531
7.5.3	端到端重配置管理	533
7.6	融合业务管理	538
7.6.1	异构网络业务发展概述	538
7.6.2	异构网络业务管理平台	552
7.6.3	业务质量指标体系与评价	557
7.6.4	业务的用户体验管理	564
7.7	网络管理系统方案	577
7.7.1	系统整体架构	577
7.7.2	网络规划与评估	580
7.7.3	网络开通与配置	584
7.7.4	网络监控与管理	585
	参考文献	588
第 8 章	结束语	591
	参考文献	594
	缩略语	595
	名词索引	607



第1章 引言

近几年，全球范围内掀起了一轮又一轮的移动互联网（Mobile Internet）热潮，智能手机、支付宝、微信、“互联网+”扑面而来，融入人们的生活；苹果、脸谱（Facebook）、谷歌（Google）、阿里巴巴、百度、腾讯、小米等国际巨头崛起，刮起了一阵阵改变人类生产、生活的科技革命旋风。移动互联网已经成为人类社会生产、生活中不可或缺的信息平台，发展前景十分广阔^[1,2]。作为基础和“底座”，网络是移动互联网不断蓬勃发展的前提。网络强，移动互联网弱不了；网络弱，移动互联网强不了。正是因为网络的极度重要性，网络一直是业界关注的重点技术领域，也是本书的主要议题。

本章首先简要介绍互联网的起源与几十年来的发展情况，对无线移动通信的发展也进行了回顾，然后介绍移动互联网的兴起与发展，并进一步引出移动互联网网络未来的发展趋势和关键技术领域，最后简要介绍全书的内容和章节安排。



| 1.1 互联网的起源与发展 |

人类进入文明社会以来，经历了三次工业革命。第一次工业革命又叫产业革命，18 世纪 60 年代首先发生在英国，是指资本主义由工场手工业过渡到大机器生产，在生产领域和社会关系上引起了根本性变化，其标志是蒸汽机的广泛应用，因此也称为蒸汽技术革命。第二次工业革命，自 19 世纪 70 年代开始，几乎同时发生在德国、美国、英国、法国等国家，出现了新兴工业，如电力工业、化学工业、石油工业和汽车工业等，推动了生产力的迅猛发展，其最显著的标志是电器的广泛应用，因此也称为电力技术革命。第三次工业革命，是人类文明史上继蒸汽技术革命和电力技术革命之后科技领域里的又一次重大飞跃，自 20 世纪 40 年代以来，以美国、苏联为首的国家引领了科学技术的发展，这是一次以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程的发明和应用为主要标志，涉及信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术等诸多领域的一场信息控制技术革命。

第三次工业革命的重大突破之一是电子计算机技术的发明和应用，逐步推动了互联网的产生和发展。有人认为，互联网是第三次工业革命的重大发明之一，也有观点认为，第三次工业革命就是“互联网+行业”。不管怎么说，互联网这一举世瞩目的重大技术发明，通过改变人的思维方式、人的生活方式、人与人之间