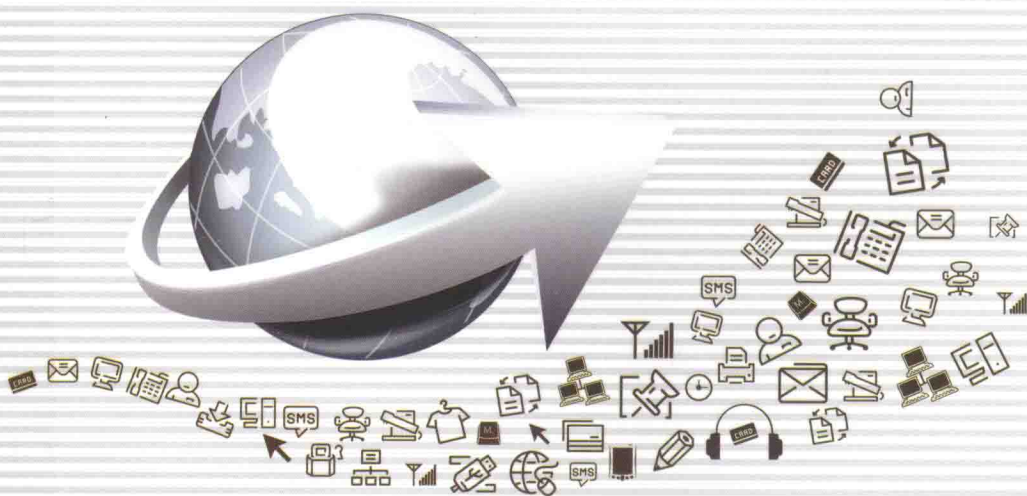


Innovative Research

中国联通研究院创新研究系列丛书

网络功能虚拟化 技术与应用

徐雷 郭志斌 李素粉 房秉毅 王志军 等 编著



中国工信出版集团



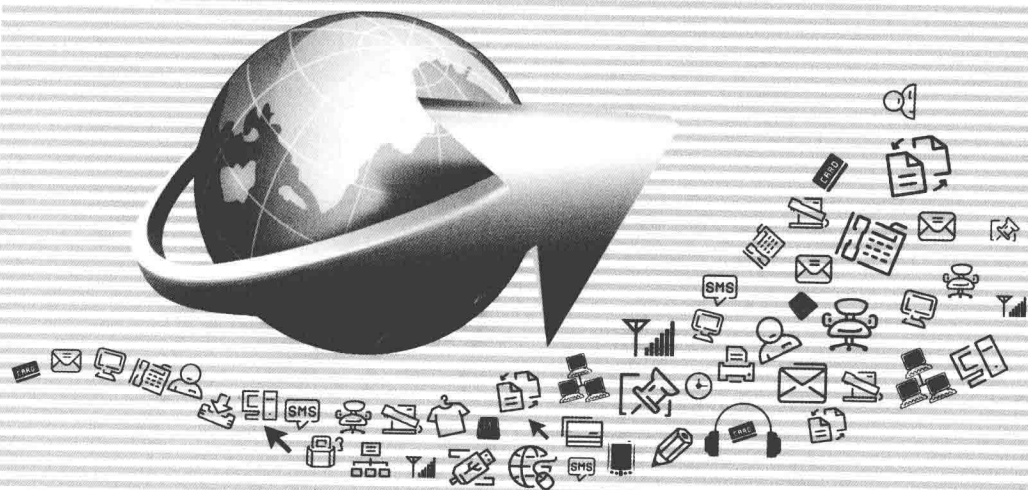
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Innovative Research

中国联通研究院创新研究系列丛书

网络功能虚拟化 技术与应用

徐雷 郭志斌 李素粉 房秉毅 王志军 等 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

网络功能虚拟化技术与应用 / 徐雷等编著. — 北京:
人民邮电出版社, 2016. 7
(中国联通研究院创新研究系列丛书)
ISBN 978-7-115-41853-1

I. ①网… II. ①徐… III. ①通信网—研究 IV.
①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第068243号

内 容 提 要

本书从电信网络的现状说起,结合电信运营商的网络IT化趋势特征和需求,引出网络功能虚拟化的概念、架构和特性,并分析了网络功能虚拟化相关的关键技术、标准现状、开源技术、NFV生态环境等,最后,结合电信网络的发展趋势,介绍了NFV的应用前景。本书适合IT技术人员、网络架构师、通信行业从业人员阅读。

-
- ◆ 编 著 徐 雷 郭志斌 李素粉 房秉毅 王志军 等
责任编辑 邢建春
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>
固安县铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 11.25 2016年7月第1版
字数: 273千字 2016年7月河北第1次印刷

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316
反盗版热线: (010) 81055315

丛书编委会

主任委员：陈赤航 孙海滨 张云勇

委 员：冯立华 胡庆东 李仲侠

孙兆欣 吴 钢 魏进武

王志军 严斌峰 赵春晓

本书编写组

主编：徐 雷 郭志斌 李素粉 房秉毅 王志军

编著：毋 涛 张云勇 杨绍光 贾智宇 郭玉华

刘 露 马书惠 熊 微 殷 波 汤雅妃

冯伟斌 张 园 雷 磊 贾宝军 王淑玲

李伟杰 王智明 陈 冰 邓 瑞 李三舸

王 翔



序

随着网络通信技术和计算机技术的发展，互联网+、三网融合、云计算服务等新兴产业对互联网在可扩展性、安全性、可控可管等方面需求激增。全球运营商现有网络面临的挑战主要表现在 3 个方面：首先，传统网络架构不灵活，导致网络难以适应不断涌现的新业务对网络资源灵活配置的需求；其次，伴随互联网流量飞速发展，信息冗余传输严重，网络难以适应未来信息海量增长的需求；最后，信息网络和传统行业深度融合发展具有巨大空间，但现阶段信息网络在实时性、安全性、灵活性等方面无法满足需求。

针对现有网络构架已不能很好支撑未来网络发展的问题，软件定义网络（Software-Defined Networking, SDN）和网络功能虚拟化（Network Functions Virtualization, NFV）作为一种新型的网络架构，其倡导的软件化和虚拟化能全面突破现有网络困境，为运营商网络及业务变革提供了有力工具。作为全球顶级运营商，AT&T 自 2013 年 9 月起推进 Domain2.0 网络变革，以 SDN/NFV 对网络进行重构为依托，以行业应用中的网络服务为切入，推动原有的网络服务逐步迁移到 SDN 网络，并期望到 2020 年实现其网络软件化的目标，彻底转型为一家软件公司。

SDN/NFV 已成为未来网络变革和发展演进的重要趋势和特征，相关技术及协





议将被用来构建未来网络基础设施。面向“互联网+”的大潮，电信运营商应开展在未来网络领域的研究和规划，积极探索新的技术架构，以满足互联网发展的需求。同时，还应采用新的网络技术解决方案，紧密跟踪网络技术的发展趋势，共同努力，抓住网络变革机遇，用新的网络架构与技术，将电信网络设计成为网络资源和信息资源，能够灵活调度、融合多业务的新平台。

在此背景下，基于多年的网络运营实践经验，中国联通研究院撰写了国内第一部 NFV 领域的专著《网络功能虚拟化技术与应用》。本书的出版恰逢其时，书中内容兼顾理论与实践，对 NFV 的趋势、架构、关键技术、开源实践、生态环境等多维度包容并叙，值得向大家推荐。

中国工程院院士，中国联通科技委主任
中国（南京）未来网络产业创新中心主任

A handwritten signature in black ink, appearing to be the name of the author or endorser.



序 言

信息产业的飞速发展使现有网络在网络架构和网络能力方面存在的一系列问题日益凸显，如对资源调度和配置的灵活性不足、对新业务/应用的开通部署慢、对网络运营维护的要求高等，因此需要引入新的技术和架构以保持通信网络持续发展的动力，适应电信网络 IT 化、设备软件化、硬件标准化趋势，这使以 SDN 和 NFV 为代表的新型网络技术得到广泛的关注。

NFV 将云计算技术引入到电信网络中，能够大幅提升网络的灵活性，有利于新业务的开发和部署，提升网络的管理和维护效率。2012 年 10 月在欧洲电信标准协会（ETSI）由 13 个运营商发起并成立了一个新的网络功能虚拟化标准工作组 NFV ISG（Network Functions Virtualization Industry Specification Group），发布了 NFV 白皮书，提出了 NFV 的目标、行动计划及电信网络与云计算技术结合的构想和要求，使 NFV 成为电信领域的研究热点。目前，经过三年多的研究，NFV 已经成为电信网络的发展方向，业界的主流设备制造商也开发出了相关的设备，主流运营商都已经开展了相关的测试和试点验证工作。

网络功能虚拟化在引入虚拟化层之后，使虚拟功能网元（Virtual Network Function，VNF）与硬件完全解耦，虚拟功能网元可以部署在虚拟机上，进而允许运营商对电信系统的硬件资源实行统一管理和调度，能够大幅提升电信网络的



灵活性，缩短业务的部署和推出时间，提升资源的使用效率。同时，网络功能虚拟化之后，电信设备演进为虚拟功能网元，这些网元的开发和实现将不再依赖于特定的硬件平台，可以降低电信设备的开发门槛，促进电信设备制造产业链的开放，加速新业务的推出。

本书从电信网络的现状说起，其中既包括对 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，又包括丰富的 NFV 生态环境和应用场景介绍，这些工作是笔者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。



Preface 前言

中国联通研究院创新研究系列丛书《软件定义网络技术与应用》（2013年10月）出版后受到了业界的广泛好评和读者的肯定。本书作为该系列丛书后续的重要编著之一，以NFV技术的产生、发展和应用为主线，对NFV的架构、标准和业务场景进行了重点全面介绍。

众所周知，电信运营商的网络通常采用大量的专用硬件设备，为了适应新的业务需求，增加网络服务能力，运营商需要不断地增加新的专用硬件设备。一方面设备的类型不同，增加了专用硬件设备的集成难度和操作的复杂性。另一方面，能源成本的增加也使专用设备的电力供应的成本投入增长。此外，增加专用硬件设备，需要不断经历规划、设计、开发、整合、部署的过程，周期漫长。因此，该业务建设模式在需求及时响应、业务快速部署的新形势和大趋势下并不能为运营上的业务带来明显收益。通信领域的技术和创新的需求不断地影响着新的电信网络业务的运营收益，也限制了在一个越来越依靠网络连通世界的新业务格局下的通信技术创新。

NFV是近几年来随着云计算兴起，应电信IT化的趋势而由通信运营商提出的一种新型的网络架构，它通过硬件最小化来减少依赖硬件，其实质是将网络功能从专用硬件设备中剥离出来，实现软件和硬件解耦后的各自独立，基于通用的





计算、存储、网络设备并根据需要实现网络功能及其动态灵活的部署。

NFV 作为一种创新性的网络架构，集中反映了电信运营商对于降低网络成本，提升业务创新速度的诉求。它的出现适应了网络 IT 化、设备软件化、硬件标准化、功能模块化和流程自动化的趋势。尤其是在 NFV 迅速发展的浪潮中，开放和开源逐渐成为产业的热点，开源项目在推动产业发展和技术创新上发挥着巨大的作用，促进着产业生态的开放。NFV 是目前业界关注的热点，许多技术也还在发展和探讨之中，NFV 是否是未来移动通信网络改革创新的一种思路？NFV 能否为电信运营商提升网络部署的灵活性、有效性、缩短部署时间？是否能提高网络对业务的开放程度？网络功能虚拟化之后，对于硬件资源、虚拟资源、虚拟功能网元如何进行有效管理？等等一系列问题都值得业内人士思考。

本书以此为背景，从电信网络的现状说起，结合电信运营商的网络 IT 化趋势的特征和需求，引出网络功能虚拟化的概念、架构和特性，并分析了网络功能虚拟化相关的关键技术、标准现状、开源技术、NFV 生态环境等，最后，结合电信网络的发展趋势，介绍了 NFV 的应用场景。

本书的结构如下。

第 1 章：网络功能虚拟化，重点介绍虚拟化技术，NFV 技术产生的背景，NFV 的起源、发展、内涵和架构特点等。

第 2 章：NFV 基础设施与虚拟网络功能，参考 ETSI NFV 规范对相关必要功能模块和接口，介绍了 NFVI 的计算域、Hypervisor 域、网络域的功能模块和接口等。

第 3 章：NFV 管理与编排，参考 ETSI NFV 规范对相关必要的功能模块和接口进行描述。

第 4 章：NFV 关键技术，从服务质量、弹性、业务可用性和 NFV 故障 4 个





方面对 NFV 关键技术进行详细剖析。

第 5 章：NFV 安全技术，介绍了安全参考架构、潜在的关注领域及安全方面存在的通用问题。

第 6 章：NFV 标准现状与开源技术，重点介绍了 ETSI 等标准组织和 OPNFV 等开源组织对 NFV 的研究成果和贡献，ETSI PoC 项目及相关测试技术。

第 7 章：NFV 生态系统，重点介绍了国内外运营商、设备商、初创公司在 NFV 领域的投入和产业培育情况。

第 8 章：NFV 典型应用场景，从移动核心网、固定接入网、移动基站系统、服务链系统、用户终端设备系统等探讨了 NFV 应用场景与价值。

目标读者：本书适合 IT 技术人员、网络架构师、通信行业从业人员。

本书由徐雷、郭志斌、李素粉、房秉毅、王志军等负责策划和统稿。第 1 章由徐雷、房秉毅编写，第 2 章由熊微、李素粉、殷波编写，第 3 章由李素粉、王志军编写，第 4 章由郭玉华编写，第 5 章由郭志斌、刘露编写，第 6 章由马书惠、毋涛编写，第 7 章由贾智宇编写，第 8 章由杨绍光编写。

参加研究和写作的成员还有：冯伟斌、张园、张云勇、贾宝军、汤雅妃、雷磊、李伟杰、王淑玲、王智明、陈冰、王翔、李三舸和邓瑞。

本书能够顺利出版，需要感谢中国联通集团技术部张忠平总经理，联通宽带在线有限公司马彦总经理，中国联通集团产品创新部陈扬帆副总经理，中国联通集团信息化和电子商务事业部总架构师范济安副总经理，中国联通集团音乐中心李海鸥总经理，中国联通集团技术部裴小燕经理和北京邮电大学的黄韬教授在本书写作过程中提供的支持与帮助，他们在评审本书时给出了很多宝贵的意见和建议。

本书的内容是作者长期的网络运营实践经验及研究成果的总结，仅代表个人



观点，与任何机构的立场无关。希望本书中展现的成果能为读者全面的呈现 NFV，帮助大家理解和领悟 NFV 的真谛，并为网络创新发展，NFV 的应用与推广贡献一份力量。NFV 方兴未艾，当前仍处于快速发展之中，因此书中内容难免存在纰漏之处，敬请各位专家、学者批评指正，以便进一步修改完善。

作者

2015 年 12 月于北京



目录 Contents

第 1 章 网络功能虚拟化概述	1
1.1 网络功能虚拟化的起源和发展	2
1.1.1 NFV 的起源	2
1.1.2 NFV 持续发展	3
1.2 NFV 的内涵	5
1.2.1 NFV 的定义和场景	5
1.2.2 NFV 与其他技术的关系	6
1.2.3 NFV 带来的冲击	10
1.3 NFV 参考架构	11
1.4 小结	13
第 2 章 NFV 基础设施与虚拟网络功能	15
2.1 NFVI 框架	15
2.1.1 ETSI NFVI 框架	15
2.1.2 NFVI 域间接口	17





2.2	计算域	20
2.2.1	总体描述	20
2.2.2	计算域元素	20
2.2.3	内部接口	21
2.2.4	外部接口	22
2.3	Hypervisor 域	23
2.3.1	总体描述	23
2.3.2	功能架构	24
2.3.3	接口	25
2.4	网络域	26
2.4.1	总体描述	26
2.4.2	功能模块	28
2.4.3	内部接口	29
2.4.4	外部接口	30
2.5	虚拟网络功能	31
2.5.1	VNF 总体描述	31
2.5.2	VNF 功能架构	32
2.5.3	VNF 接口	33
第 3 章	NFV 管理与编排	38
3.1	MANO 架构原则与特点	38
3.2	MANO 架构框架	39
3.2.1	ETSI MANO 框架	39
3.2.2	NFV-MANO 系统实现方案	42



3.3	网络服务编排管理模块	43
3.3.1	NFVO 总体功能描述	43
3.3.2	NS 模板管理	44
3.3.3	NS 生命周期管理	44
3.3.4	网络功能编排	46
3.4	虚拟化网络功能管理模块	46
3.4.1	VNFM 总体功能描述	46
3.4.2	VNF 模板管理	48
3.4.3	VNF 生命周期管理	48
3.4.4	VNF 状态监控	48
3.5	虚拟资源管理模块	49
3.5.1	VIM 总体功能描述	49
3.5.2	虚拟云主机管理	50
3.5.3	虚拟网络资源管理	50
3.6	视图管理	51
3.7	其他功能	52
3.7.1	NS 目录	52
3.7.2	VNF 目录	52
3.7.3	NFV 实例仓库	52
3.7.4	NFVI 资源仓库	52
3.8	接口管理	53
3.8.1	接口参考点	53
3.8.2	网络服务相关接口	55



3.8.3	虚拟网络功能 VNF 相关接口	56
3.8.4	虚拟资源相关接口	58
3.8.5	其他接口	59
第 4 章	NFV 关键技术	61
4.1	服务质量	61
4.1.1	NFV 服务质量指标分类	62
4.1.2	虚拟机服务质量指标	62
4.1.3	虚拟网络服务质量指标	63
4.1.4	技术组件服务质量指标	64
4.1.5	编排器服务质量指标	64
4.1.6	服务质量标准用例	65
4.2	弹性	66
4.2.1	弹性问题描述和目标	66
4.2.2	弹性用例分析	67
4.2.3	NFV 环境中的弹性原则	70
4.3	业务可用性	71
4.3.1	NFV 业务可用性	71
4.3.2	业务可用水平分类	74
4.3.3	业务可用性示例	74
4.4	NFV 故障	75
4.4.1	故障管理	75
4.4.2	故障预防	76
4.4.3	故障检测和修复	77

