

Network Function Virtualization

Architecture, Development, Testing and Application

网络功能虚拟化

NFV架构、开发、测试及应用

/ 李素游 寿国础◎编著

- OPNFV与NFV测试的第一手资料
- 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
- NFV架构、关键技术、开发平台、测试以及应用实例



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Network Function Virtualization
Architecture, Development, Testing and Application

网络功能虚拟化

NFV架构、开发、测试及应用

/ 李素游 寿国础◎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 : NFV架构、开发、测试及应用 /
李素游, 寿国础编著. — 北京 : 人民邮电出版社,
2017.3

ISBN 978-7-115-44170-6

I. ①网… II. ①李… ②寿… III. ①通信网—研究
IV. ①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第280858号

◆ 编 著 李素游 寿国础

责任编辑 李 强

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>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.25

2017 年 3 月第 1 版

字数: 346 千字

2017 年 3 月北京第 1 次印刷

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前言

近年来,随着云计算、大数据以及移动互联网时代的到来,传统电信运营商面临着海量数据和多样业务的需求;在实力强大的互联网企业的竞争压力下,电信运营商面临着“管道化”的挑战,传统网络亟须改革。因此,ICT(Information and Communications Technology)融合是未来发展的必然趋势。电信运营商积极拥抱以NFV(Network Function Virtualization,网络功能虚拟化)为代表的ICT发展趋势,努力实现运营商的转型。NFV是利用IT虚拟化技术将现有的网络设备功能整合进标准的服务器、存储和交换机等设备,以软件的形式实现网络功能,以此取代目前网络中私有、专用和封闭的网元设备。电信网络将借助NFV技术提高网络设备的利用率,降低运营商OPEX/CAPEX支出,加快业务创新的步伐,为用户带来更佳的业务使用体验,以此构造一个有竞争力的、创新的开放生态系统。

2012年10月22日,全球13家网络运营商(AT&T、BT、CenturyLink、中国移动、Colt、Deutsche Telekom、KDDI、NTT、Orange、Telecom Italia、Telefonica、Telstra、Verizon)在软件定义网络(SDN)和OpenFlow世界大会上发布了NFV的第一份白皮书。随之而来的是,全球主要运营商、设备商以及IT厂商积极参与到NFV项目中,以推进NFV的发展。目前,NFV已经开始逐步融入电信行业,研发、试验与部署进入快车道。2013年AT&T首先推出了Domain 2.0计划(也称为用户定义网络云项目);2014年Telefonica推出UNICA Infrastructure项目;典型的设备供应商,如爱立信、诺基亚、阿尔卡特朗讯以及华为也在不断向NFV转型。2014年10月,由AT&T、NTT、中国移动、Redhat、爱立信等厂商发起的OPNFV(Open Platform of NFV)开源社区正式成立。OPNFV为NFV提供一个统一、开源的基础平台,此平台集成OpenStack、OpenDaylight、OVS、CEPH等上游社区的成果,并且推动上游社区加速接纳NFV相关需求。2015年1月华为成立NFV开放实验室(NFV Open Lab)。NFV开放实验室针对各典型业务场景,构建了多厂商集成验证平台,同时以大数据平台为基础,与行业组织、运营商、合作伙伴进行联合解决方案开发,并进行相互认证和授权。另外,IT公司也在开发符合电信级要求的软件,例如Wind River, 6wind, Qosmos等。NFV技术日趋成熟,进入了快速发展期。

随着NFV技术的火热,广大读者和专业ICT行业技术人员对于NFV技术的学习和研究也产生了极大兴趣。因为市面上关于NFV的书籍甚少,而网上的资料晦涩且不系统,且其中大部分资料是英文的,这对于想快速入门的读者来说是个不小的障碍。本书较系统全面地介绍了NFV的架构、关键技术、测试、应用以及NFV与5G、SDN、MEC等

新兴技术的联系和结合。希望本书能成为您学习的向导、工具和良师益友。

本书共 11 章。第 1 章为 NFV 概述，包含背景、技术基础以及优势与挑战等描述；第 2 章为 NFV 体系架构，结合标准化组织定义的 NFV 功能模块、参考架构、管理与编排等相关内容；第 3～4 章介绍 NFV 中的两项基本技术 SDN/OpenDaylight 和 OpenStack 以及讨论两项技术与 NFV 的相互关系；第 5 章介绍开源平台 OPNFV；第 6 章为 NFV 的测试；第 7 章为 NFV 应用场景的一般描述；第 8～11 章为结合应用的描述，包括 5G 与 NFV 以及 NFV 在移动核心网、移动边缘计算（MEC）中的应用等。

本书主要由李素游和寿国础编著，参加编写工作的还有廖春晓、王江龙、熊福荣、石黎云、柴瑶琳、薛俊礼、胡浩、杨健以及李洪星等。本书在编写过程中，得到郭志刚、胡怡红的大力支持，借此机会向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，不足和疏漏之处在所难免，恳请大家不吝指正，谨此致谢！

编著者

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 (NFVlaaS)	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



| 第 1 章 |

NFV 概述

1.1 NFV 概况

1.1.1 NFV 的发展背景

据思科 Cisco Visual Networking Index (VNI) 第 10 次年度预测, 到 2019 年, 全球年度 IP 流量将达到创纪录的 2 ZB, 即 2019 年全球 IP 流量将达到每月 168 EB, 相比 2014 年的每月 59.9 EB 约增加 3 倍。2019 年, 全球 IP 网络传送的流量几乎与之前所有“互联网年”传送的流量总和 (从 1984 年到 2013 年年底) 一样多。推动流量增长的因素包括全球互联网用户、移动智能设备和物联网或者机器对机器 (M2M) 连接的增加, 更快的宽带接入速度, 以及高清视频服务的推广等。这些变化预计将创造 23% 的全球 IP 流量复合年增长率 (CAGR)。近年来, 新型网络服务还在不断产生, 例如虚拟现实、增强现实、智能可穿戴设备等概念的流行和实现, 将带来新一轮的移动数据流量的爆发式增长。

由于面临众多新型的网络业务与极大的流量压力, 网络运营商不得不部署大量昂贵的专用网络设备以满足服务需求。然而, 这些网络设备软硬件一体化, 扩展性受限, 而且现在的通信系统架构较为封闭, 缺乏对这些设备的高效管理。同时, 当运营商需要提供新增的网络服务时, 就必须开发新设备, 专有的硬件设备存在生命周期限制, 需要不断地经历规划—设计开发—整合—部署的过程, 而这个漫长的过程越来越难以为整个业务带来收益。另外, 运营商需要给这些新增的设备提供机房空间、电力支持以及后

期维护，所以近年来运营商的业务量增幅和业务收入增幅间就出现了“剪刀差”的现象。传统的网络不仅使得运营商的 CAPEX (Capital Expenditure, 资本性支出) 和 OPEX (Operating Expense, 运营成本) 不断上升，还阻止了新业务和新应用的开发，限制了竞争力和盈利水平。

同时，面对互联网 OTT (Over The Top) 业务的大规模开展，运营商网络逐渐沦为廉价管道，网络运营商面临着极大的挑战。Ovum 咨询公司的报告显示，2013 年 OTT 社交通信应用让电信运营商短信收入减少 325 亿美元，预计到 2018 年，OTT 网络电话将让全球电信行业减少 630 亿美元的收入。而且，运营商的网络资源利用率较低，例如 IP 网的利用率通常低于 50%，服务器的利用率则低于 40%，光承载网为提高可靠性还提供预留的保护资源，甚至采用 1+1 保护方式。相较而言，典型的互联网公司则更注重提高资源利用率，例如 Google 数据中心间带宽利用率高于 80%；百度前台服务器利用率高于 40%，后台服务器利用率则高于 75%。

由于传统网络存在封闭、专用、不能灵活调度、缺乏高效管理、运营成本高、利用率低等问题，因此网络运营商必须对网络架构进行改革，以此获取一种低成本、高收入的运营方式。在这样的背景下，网络运营商牵头提出了网络功能虚拟化 (Network Functions Virtualization, NFV)。

NFV 是利用 IT 虚拟化技术将现有的网络设备功能整合进标准的服务器、存储器和交换机等设备，以软件的形式实现网络功能，以此取代目前网络中私有、专用和封闭的网元设备。这些标准设备可以位于数据中心、网络节点和用户驻地网。

NFV 的愿景如图 1-1 所示。传统网络节点的设备包括消息路由器 (Message Router)、边缘路由器 (PE Router)、内容分发网络 (CDN) 设备、会话边界控制器 (Session Border Controller, SBC)、WAN 加速器 (WAN Acceleration)、深度包检测 (DPI) 设备、防火墙 (Firewall)、服务 GPRS 支持节点 (Serving GPRS Support

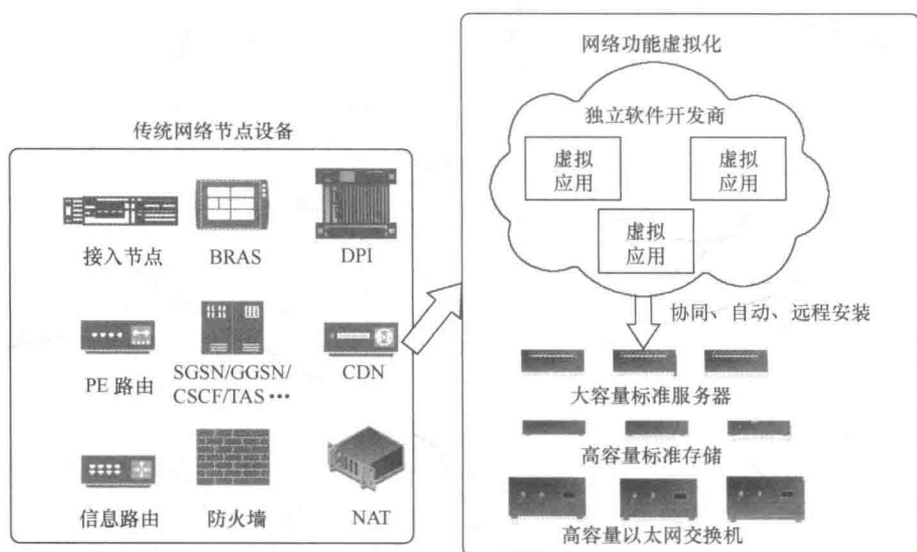


图 1-1 网络功能虚拟化的愿景

Node, SGSN)、网关GPRS支持节点 (Gateway GPRS Support Node, GGSN)、宽带远程接入服务器 (Broadband Remote Access Server, BRAS)、无线接入网节点 (Radio Access Network Nodes) 等。这些传统网络节点是分离、功能单一的, 节点中的每个功能都需要部署一台专用的物理设备。在NFV中, 独立的软件开发商能够基于大容量的标准服务器、大容量的标准存储器、大容量的以太网交换机等工业标准设备, 开发支持协同、自动、远程安装的网络功能软件。以此构造了一个有竞争力的、创新的开放生态系统。

1.1.2 NFV 的优势

与运营商的传统网络不同, NFV 将网络功能从硬件中解耦出来, 提供灵活的网络功能部署以及动态的缩容/扩容。NFV 基于“工业标准硬件及网络功能软件”的实现方式带来的好处包括以下几点。

1. 工业标准硬件

- (1) 这些设备不需要特殊指定, 降低了因为定制硬件而造成的较长的设备更新周期。
- (2) 标准的硬件设备价格相对较低, 能够降低设备的硬件成本。
- (3) 保证通信系统网络结构不被泄露。
- (4) 工业标准的硬件相对于专用设备更易于维护。
- (5) 直接降低 OPEX/CAPEX。

2. 网络功能软件

- (1) 开发一个新应用的周期更短。
- (2) 试验阶段成本较硬件设置成本价格会低廉很多。
- (3) 对于新业务、新应用失败的容忍度比较高, 而传统的网络失败容忍度为零。
- (4) 虚拟资源代替物理设备, 减少能源、空间等资源消耗。
- (5) 在传统网元业务生命周期管理模式下, 管理操作通常依靠运维管理人员手动完成, 而 NFV 可实现自动化的管理操作, 降低了运维管理成本和故障导致的开销。
- (6) 通信运维人员专注于业务管理, 资源池维护人员聚焦于通用硬件管理, 实现专业化运维和管理, 大幅度提升管理效率。
- (7) 利用 IT 虚拟化技术实现软硬件的解耦, 虚拟网络功能能够动态、灵活地部署, 不受物理网络的限制, 提升电信网络的灵活性的同时缩短传统运营商的创新周期, 加快业务推向市场的速度。
- (8) 根据网络流量的增/减, 系统能够自动地对硬件资源、虚拟资源进行垂直伸缩/水平伸缩, 提升资源利用率。
- (9) 容许不同的应用程序、用户、租户使用统一平台登录不同版本或不同租户的网络设备, 这种能力能够使网络运营商在不同的服务和不同的客户侧共享资源。
- (10) 系统能够根据具体需求 (基于地理位置或者客户群的针对性服务) 来快速地扩展或者降低网络服务能力。

综合各方面, NFV 为运营商带来的直接优势是降低了 OPEX 和 CAPEX, 同时加速了创新的步伐。NFV 提供的这些优势引起了电信行业、IT 行业以及学术界的广泛关注。

1.1.3 NFV 组织

NFV 的工作开展涉及标准化和开源两条线，通过多组织的协作，促进 NFV 的成熟。其中，标准化线中 3GPP SA5、TMF 等组织负责 NFV 流程与接口的设计，ETSI NFV ISG 以及 ITU-T 等组织负责 NFV 的需求和框架，并为流程和接口提供管理功能。而开源线中包括开源集成软件 OPNFV (Open Platform for NFV, NFV 开放平台项目) (具体内容见第 5 章) 以及相应的开源组件 (OpenStack、KVM 等)。

1. 标准组织

(1) ETSI

2012 年 10 月 22 ~ 24 日，全球 13 家网络运营商 (AT&T、BT、CenturyLink、中国移动、Colt、Deutsche Telecom、KDDI、NTT、Orange、Telecom Italia、Telefonica、Telstra、Verizon) 在软件定义网络 (SDN) 和 OpenFlow 世界大会上发布了 NFV 的第一份白皮书，提出了 NFV 的目标和行动计划，希望获得行业和研究机构对 NFV 的关注。2012 年 11 月，在欧洲电信标准化协会 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) 的支持下，AT&T、BT、Deutsche Telecom、Orange、Telecom Italia、Telefonica 以及 Verizon 7 家运营商牵头成立了一个新的拥有开放成员的网络功能虚拟化行业规范组织 (NFV ISG)。其中工作组主席、副主席、技术主管由 AT&T、Orange、Telefonica、Docomo、Deutsche Telecom 等运营商专家担任，可见其标准化的目标也是考虑运营商的需求。

在技术指导委员会 (Technical Steering Committee, TSC) 下，NFV 设立了 6 个工作组，包括接口与架构工作组 (Interfaces and Architecture, IFA)、演进与生态系统工作组 (Evolution and Ecosystem, EVE)、可靠性可用性保证工作组 (Reliability Availability and Assurance, REL)、测试实现与开源工作组 (Testing, Experimentation and Open Source, TST)、解决方案工作组 (Solutions, SOL)、安全工作组 (Security, SEC)。各工作组相关信息可以参考：<https://portal.etsi.org/TBSiteMap/NFV/NFVWGgsToR.aspx>。

NFV ISG 的主要目标是在 NFV 业务和技术上达成行业共识，加快 NFV 的产业化进程。尽管是由 ETSI 来组织管理，但 ISG 自身将不会是一个标准开发组织 (Standards Development Organization, SDO)，它将会借助现有可用的 SDOs 组织工作能力。在需求和现有工作之间有差距的情况下，它将会鼓励成员中的 SDOs 组织考虑 ISG 所提到的建议 (例如，对现有标准提出新的更新需求，或者如果需求合适则建立新的标准)。截至 2016 年 4 月 22 日，NFV ISG 的成员已经发展至 118 个，参与者已经达到 173 个，包括我国三大运营商中国移动、中国联通、中国电信以及设备商华为、中兴。

ETSI 成立至今 (2016 年 4 月)，实际的组织工作如下：

2014 年 11 月，NFV ISG 对第一阶段的工作进行了终结，同时启动了 NFV 第二阶段，包括组织架构的确认。2015 年 1 月，NFV 第一阶段的工作正式完成。第八次全会后，NFV 进入第二阶段工作，期限两年。第二阶段工作重点是架构演进和接口标准化，并且推进 NFV 实现落地。第二阶段中，参与最广泛并且进展最快的是 IFA 工作组，IFA 共计

完成 15 个项目的立项。项目 IFA001—004 关注加速资源的抽象和接口的标准化。NFV ISG 组织认为,除了 X86 通用硬件外,电信环境下各类加速硬件仍然会被广泛使用,例如 VPN 中各种加解密卡。NFV 将这类加速硬件作为资源统一管理,并且标准化其接口。项目 IFA009/010/011/014 研究架构演进,例如将 NFVO 分解为 SO 和 RO,将虚拟化网络功能管理器 (Virtualized Network Function Manager, VNFM) 分为通用 VNFM 和专用 VNFM、VNF 网元模板 (VNFD) 重构等。其余项目 (IFA005—008/012—013) 标准化 Or-Vi/Vi-Vnfm/Or-Vnfm/Ve-Vnfm/Os-Ma-nfvo 等参考点包含的接口、需求和信息元定义,IFA015 研究 NFV 接口、模板相关的信息模型。

NFV ETSI 共发布了三份白皮书。2012 年 10 月发布了第一份白皮书,提出运营商对网络功能虚拟化的需求,同时引导和规范 NFV 产业链的发展;介绍了 NFV 的概念、益处、推动者、挑战、行动呼吁以及宣布 NFV ISG 组织的成立。2013 年 10 月发布了第二份白皮书,这是在第一份白皮书的基础上进行补充和深入的阐述,对使用场景标准、需求标准、架构标准、NFV 术语标准以及 NFV 概念验证标准进行概述,并提出开源和标准化展望以及 NFV 对运营支撑系统的影响。基于 NFV 行业的发展,NFV ISG 在 2014 年 10 月发表了第三份白皮书,此白皮书对 NFV 基础设施概述标准、NFV 计算域标准、NFV 基础设施监管域标准、NFV 基础设施网络域标准、NFV 管理和编排标准、NFV 软件架构标准、NFV 弹性需求标准、NFV 安全标准等进行了概述。

NFV ISG 从成立到 2016 年初,共发表了 28 篇标准,包括 NFV 应用场景标准、虚拟化需求标准、体系架构标准、术语标准、PoC 标准、预部署测试标准、编排和管理标准,以及 5 篇 NFV 安全标准、3 篇性能要求标准、6 篇 NFVI 基础设施标准、3 篇加速技术标准、3 篇 NFV 生态系统标准 (包括 SDN、虚拟化技术)。发布的标准规范信息见表 1-1。

表 1-1 ETSI 发布的 NFV 规范

编号	标题	描述	标准号	发布时间
1	Network Functions VirtualiSation (NFV); Use Cases	NFV 用例	gs_NFV001v010101p	2013 年 10 月
2	Network Functions VirtualiSation (NFV); VirtualiSation Requirement	NFV 虚拟化需求	gs_NFV004v010101p	2013 年 10 月
3	Network Functions VirtualiSation (NFV); Architecture Framework	NFV 架构	gs_NFV002v010201p	2014 年 12 月
4	Network Functions VirtualiSation (NFV); Terminology	NFV 术语	gs_NFV003v010201p	2014 年 12 月
5	Network Functions VirtualiSation (NFV); Virtual Network Functions Architecture	虚拟化网络功能架构	gs_NFV-SWA001v010101p	2014 年 12 月
6	Network Functions VirtualiSation (NFV); NFV Security;Privacy and Regulation;Report on Lawful Interception Implications	NFV 安全	gs_NFV-SEC004v010101p	2015 年 9 月
7	Network Functions VirtualiSation (NFV); NFV Security; Report on Use Cases and Technical Approaches for Multi-Layer Host Administration	NFV 安全	gs_NFV-SEC009v010101p	2015 年 12 月