

SDN

江苏省邮电规划设计院有限责任公司专家团队 **精品力作**

SDN/NFV

重构网络架构 建设未来网络

SDN/NFV: RECONSTRUCT NETWORK ARCHITECTURE TO BUILD FUTURE NETWORK

鞠卫国 张云帆 乔爱锋 等 编著
梁雪梅 卢林林 储轶钢



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

江苏省邮电规划设计院有限责任公司专家团队 精品力作

SDN/NFV

重构网络架构 建设未来网络

SDN/NFV: RECONSTRUCT NETWORK ARCHITECTURE TO BUILD FUTURE NETWORK

鞠卫国 张云帆 乔爱锋 等 编著
梁雪梅 卢林林 储轶钢

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

SDN/NFV : 重构网络架构 建设未来网络 / 鞠卫国
等编著. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-115-47217-5

I. ①S… II. ①鞠… III. ①计算机网络—网络结构
IV. ①TP393.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第272341号

内 容 提 要

本书首先解读了网络重构的驱动力、内涵与愿景, 然后对 SDN、NFV 和云计算等网络重构的三大支柱技术进行了讲解, 并对编排器的作用进行了说明。在此基础上, 介绍了国外主流运营商网络重构的内容, 重点分析了国内三大运营商网络重构的整体战略、演进路径、具体举措, 以及网络重构对于运营重构、管理重构产生的影响, 最后阐述了 SDN/NFV 技术在各个专业网络中的应用, 希望能够为读者在思考“如何重构网络架构, 如何建设未来网络”时提供一定的借鉴和思路。

本书的主要读者对象为电信运营商、电信设备提供商、电信咨询业的从业人员和科研院所高校师生, 以及关注通信行业技术发展的相关人士。

◆ 编 著 鞠卫国 张云帆 乔爱锋 梁雪梅 卢林林
储铁钢 等

责任编辑 杨 凌

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: 14.5

2017 年 12 月第 1 版

字数: 332 千字

2017 年 12 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

序 一

从广义角度来说，未来网络是指能够满足未来用户不断变化的信息通信需要、生产需要和娱乐消费需要的网络。未来网络应该是网络质量足够好、响应速度足够快、组网足够灵活敏捷、覆盖足够广、能够连接人和万物、性价比足够好的庞大基础设施。要满足上述复杂多变的要求，首先必须打破现在刚性网络架构的制约，构筑一个简洁、开放、敏捷和集约的新型网络架构。

现有的网络架构是在电话网时代建立的，是以本地电话网为基础、按行政区划构建的联邦式的分层分域管理体系。在互联网时代，上述前提及其一系列建网准则都不复存在或已失效。与此同时，一直以来不断出现的旨在解决具体问题的短期解决方案，不仅不兼容，而且长期累积后形成了一个十分复杂的僵硬网络，与网络架构的长期演进目标矛盾。这么多年来积累的问题已经使得今天的互联网患上“动脉硬化症”，网络架构必须重新审视，重新定义，重新设计，重新架构。

网络架构的重构具有丰富的内涵，包括网络层级的减少、网络核心节点的转移、网络的可编程和虚拟化等等。SDN、NFV 和云计算是网络重构的三大技术支柱。SDN 打破了控制与转发一体的封闭网络架构，实现了网络软件可编程；NFV 打破了软硬件一体的封闭网元架构，实现了网络资源虚拟化；云计算打破了网络与 IT 资源分离的局面，构筑了统一云化的虚拟资源池。

基于 SDN/NFV，以网络控制转发分离与网元软硬件双解耦为基本特征的新架构是网络重构的主线。有了 SDN/NFV，网络将走向软件化、IT 化和云化。

重构网络架构是一项需要运营商远见卓识的顶层设计。

重构网络架构是一项需要运营商脚踏实地的战略工程。

重构网络架构是一条运营商建设未来网络的必由之路。

工业和信息化部科技委常务副主任
中国电信科技委主任



序 二

网络重构是指希望通过未来 5~10 年的时间，给现有的运营商网络不断注入新的活力，实现网络资源灵活调度、业务部署快速上线、网络运维能力自动化，主动满足物联网、“互联网+”、人工智能等对网络的需求，实现网络即服务（NaaS）。

网络重构的战略目标致力于实现根本性的转变：一是从互联网/“互联网+”被动地适应网络转变为网络主动、快速、灵活地适应网络应用；二是从传统的“烟囱式”分省、分专业的网络转变为“水平整合”的扁平化网络；三是从分层次、分专业基于中心端局（CO）的组网模式转变为以数据中心（DC）为核心的组网模式。

网络重构也面临诸多挑战，主要涉及网络层面和运营层面。在网络层面，主要包括 SDN 和 NFV。SDN 面临开放性、南向和北向接口的标准统一以及多层级控制器的编排等挑战；NFV 面临多维解耦、性能、MANO、DC 架构以及资源池优化等问题。在运营层面，OSS 演进及自动配置、业务属性抽象和端到端跨域尚需进一步研究。

网络是电信运营商的基石，是形成连接的基础，也是构成电信级平台和业务的前提。网络重构工作的成效将决定着电信运营商今后的竞争力和发展潜力，也是影响整个社会信息基础设施和国家信息战略实施的关键举措。

本书对网络重构中的关键技术进行了讲解，从基本概念、技术要点和发展趋势等各方面进行了细致的解读，同时剖析了主流运营商的重构案例，有助于解答面对网络重构时大家关注的问题，很有参考价值，特推荐给关心网络重构的各位同仁。

国际标准组织 MEF 顾问董事
工业和信息化部科技委委员

封彦

前 言

随着云计算、大数据、“互联网+”、物联网、虚拟现实、人工智能等新技术与新业务的出现与加速发展，网络应用由消费型向生产型扩展，网络的连接也由人人互联向万物互联延伸，信息通信业面临新的机遇和挑战，开放、创新、融合成为重要趋势。传统电信网络僵化的业务流程、烟囱式的网络架构在面对全新业务时变得越来越力不从心，网络转型升级和架构重构成为全球主流运营商的共同追求。

国内三大运营商——中国电信、中国移动和中国联通分别提出了网络重构的战略目标——CTNet2025、NovoNet 2020、CUBE-Net 2.0，核心是构建能够主动适应新业务发展需求的智能化柔性网络，实现网络基础设施巨大价值的重新释放。SDN、NFV、云计算作为网络重构的技术抓手，成为业界普遍关注的焦点。本书抓住网络重构这一主题，深入解析 SDN、NFV、云计算等关键技术，对网络重构进行多方面的解读。本书按照重构内涵解读、关键技术介绍、运营商网络重构策略与实践剖析的整体思路来编写，希望能够帮助读者全面了解网络演进的历史及未来发展趋势，深入理解网络重构这一 ICT 产业的重大技术革命，明确从现网至目标架构的演进路径，以及各阶段的里程碑、重点工作及注意事项，从而对今后的工作及学习有所帮助。

本书以网络发展的历史趋势为切入点，解读网络重构的驱动力、愿景与关键技术，使读者对网络重构有基本的认识。在此基础上，对 SDN、NFV 和云计算等网络重构的三大支柱技术进行了讲解，从技术要点、产业及标准化进展、适用场景、发展趋势、存在问题等各方面进行了全面细致的解读，希望读者通过对关键技术的掌握，能够更好地理解其在现网的应用模式及部署方案。第 1 章讲解了网络的发展趋势与网络重构的内涵；第 2 章介绍了 SDN 的整体架构；第 3 章着重介绍了 SDN 控制器的关键技术；第 4 章概述了 NFV 技术，并细致阐述了转发性能、分层解耦以及 MANO 等 NFV 关键问题；第 5 章对编排器技术进行了描述；第 6 章对云计算技术进行了简要的说明；第 7 章首先介绍了 AT&T、Verizon 等国外主流运营商网络重构的思路，然后重点分析讲解了国内三大运营商网络重构的整体战略、演进路径、具体举措，以及企业组织、管理运营等各方面的重构，以帮助读者全面了解全球主流运营商的网络重构战略；第 8 章以各场景的具体实施方案为主，首先介绍了以多级 DC 为核心的新一代网络架构，并分析了 SDN/NFV 在随选网络、云网协同以及云数据中心中的应用，然后分专业描述了广域网、城域网、传送网、接入网、核心网以及 5G

网络中的网络重构实施方案，希望能够为读者在思考“如何重构网络架构，如何建设未来网络”时提供一定的借鉴和思路。

本书作者团队是江苏省邮电规划设计院有限责任公司一群长期从事网络技术研究，有着丰富工程建设实践经验的技术人员。本书由鞠卫国策划和主编，张云帆和梁雪梅对全书的结构和内容进行了修订，鞠卫国、张云帆、乔爱锋、梁雪梅、卢林林、储铁钢、乔长兵、朱涛、方晓农等参与了全书内容的编写和校审工作。在本书编写的过程中，得到了李忠超、郭经红等专家的悉心指导，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，在书籍内容的编写上难免有疏漏或表达不当之处，恳请读者批评指正。

作 者

2017年9月于南京

目 录

第 1 章 网络重构解读	1
1.1 网络发展的历史趋势	1
1.1.1 网络变革的历史	1
1.1.2 网络演进的趋势	3
1.2 网络重构的驱动力	4
1.2.1 运营商面临的挑战	4
1.2.2 IT 架构发展的经验	4
1.2.3 新兴业务的驱动	5
1.3 网络重构愿景	6
1.3.1 新一代网络关键特征	6
1.3.2 新一代网络参考架构	6
1.4 网络重构的关键技术	8
1.4.1 SDN	8
1.4.2 NFV	10
1.4.3 云计算	11
1.4.4 SDN 与 NFV 的关系	12
1.4.5 部署面临问题	13
1.5 网络重构小结	15
1.5.1 网络重构成为发展主题	15
1.5.2 推进网络重构的策略	16
第 2 章 SDN 技术概述	19
2.1 SDN 的概念与发展	19
2.1.1 SDN 的起源	19
2.1.2 SDN 的概念	21
2.1.3 SDN 的优势	22
2.2 SDN 架构解读	23
2.3 SDN 产业生态	24

2.4	SDN 相关组织	26
2.4.1	开源与标准	26
2.4.2	开源组织	27
2.4.3	标准化组织	29
2.5	SDN 发展中的挑战	32
第 3 章 SDN 控制器解析		34
3.1	SDN 控制器主要功能	34
3.2	SDN 控制器性能指标	35
3.3	SDN 控制器接口协议	36
3.3.1	南向接口	36
3.3.2	南向接口总结比较	43
3.3.3	北向接口	44
3.3.4	东西向接口	46
3.4	主流 SDN 控制器	47
3.4.1	ODL	47
3.4.2	ONOS	50
3.4.3	ODL 与 ONOS 的比较	53
3.4.4	其他开源控制器	54
3.5	SDN 控制器与传统网管的区别	56
3.5.1	传统网管技术特征	56
3.5.2	SDN 控制器与网管的融合发展	57
第 4 章 NFV 技术概述		59
4.1	NFV 的概念与影响	59
4.1.1	产生的背景	59
4.1.2	NFV 的概念	60
4.1.3	NFV 的影响	61
4.2	NFV 的参考架构	62
4.2.1	主要模块	62
4.2.2	主要接口	63
4.2.3	部署方式	64
4.3	NFV 转发性能提升	65
4.3.1	影响因素	66
4.3.2	优化方法	68
4.3.3	提升建议	70
4.4	NFV 分层解耦与集成	71
4.4.1	NFV 解耦现状	71
4.4.2	技术挑战	72

4.4.3 实施建议	72
4.5 NFV MANO	73
4.5.1 系统架构	73
4.5.2 管理模式	74
4.5.3 VNFM 类型	76
4.5.4 NFVO 部署	78
4.6 NFV 组织与项目	79
4.6.1 ETSI	79
4.6.2 3GPP	80
4.6.3 ITU-T	81
4.6.4 IETF	81
4.6.5 CCSA	81
4.6.6 OPNFV	81
4.6.7 OSM	84
4.6.8 OpenStack	84
4.7 NFV 发展展望	85
第 5 章 编排器技术概述	86
5.1 编排器概述	86
5.1.1 编排器的概念	86
5.1.2 编排器的作用	87
5.2 编排器的类型	88
5.2.1 SDN 编排器	88
5.2.2 NFV 编排器	89
5.2.3 协同/业务编排器	89
5.3 主流编排器项目	89
5.3.1 OPEN-O	90
5.3.2 ECOMP	92
5.3.3 ONAP	94
5.3.4 LSO	94
5.4 编排器发展展望	95
5.4.1 编排器的关键技术	95
5.4.2 编排器标准与开源的关系	96
5.4.3 编排器与 OSS 的关系	96
第 6 章 云计算技术概述	98
6.1 云计算概述	98
6.1.1 起源与发展	98
6.1.2 概念与特点	99

6.1.3	服务模型与架构	100
6.1.4	部署模式	101
6.1.5	发展现状	102
6.2	云计算与网络重构	103
6.2.1	云计算是网络重构的关键驱动力	103
6.2.2	云计算是网络重构的基础	104
6.2.3	云计算应对网络重构不断演进	104
6.2.4	云计算和网络一体化发展	105
6.2.5	云计算和网络密切协同	105
6.3	云计算关键技术	106
6.3.1	分布式计算	106
6.3.2	服务器虚拟化	107
6.3.3	云存储	107
6.3.4	云数据中心网络	108
6.3.5	云管理平台	110
6.3.6	云安全	110
6.4	云计算标准化与开源技术	112
6.4.1	云计算标准化	112
6.4.2	云计算开源技术	114
6.5	云计算发展趋势	117
第 7 章	运营商网络重构策略	119
7.1	概述	119
7.2	国外运营商网络重构	120
7.2.1	北美	120
7.2.2	欧洲	121
7.2.3	日本	122
7.3	国内运营商网络重构	123
7.3.1	中国电信 CTNet2025	123
7.3.2	中国移动 NovoNet 2020	126
7.3.3	中国联通 CUBE-Net 2.0	129
7.4	网络重构的切入点	132
7.4.1	构建泛在、高速、智能的基础网络	132
7.4.2	借中心机房 DC 化推进云计算基础设施建设	135
7.4.3	建立网络与 IT 融合的新一代运营支撑系统	136
7.4.4	推出云网协同的新型信息基础设施服务	136
7.5	网络重构的演进路径	137
7.5.1	近期（起步阶段）	137
7.5.2	中远期（深化阶段）	138

7.6 国内运营商网络重构举措和场景	138
7.6.1 中国电信网络重构	138
7.6.2 中国移动网络重构	139
7.6.3 中国联通网络重构	142
7.7 网络重构对运营商转型升级的影响	145
7.7.1 业务重构	145
7.7.2 运营重构	149
7.7.3 管理重构	149
7.7.4 开发运营一体化	150
7.7.5 标准和开源并存	150
7.7.6 采购模式的转变	151
第 8 章 运营商网络重构实践	152
8.1 网络中心从 CO 向 DC 转变	152
8.1.1 多级 DC 网络架构与 CO 重构	152
8.1.2 开源网络重构项目 CORD	153
8.1.3 中国电信的演进方案	155
8.1.4 中国移动的演进方案	158
8.1.5 中国联通的演进方案	159
8.2 SDN/NFV 在随选网络中的应用	161
8.2.1 随选网络产生的背景	161
8.2.2 随选网络的特征与价值	162
8.2.3 随选网络的核心功能	162
8.2.4 随选网络的应用案例	164
8.2.5 随选网络技术小结	165
8.3 SDN/NFV 在云网协同中的应用	166
8.3.1 云服务的价值依赖于网络	166
8.3.2 云网协同的含义	166
8.3.3 SDN/NFV 是云网协同的关键手段	167
8.3.4 面向企业用户的典型云网协同场景	168
8.4 SDN/NFV 在云数据中心的应用	169
8.4.1 在云数据中心内部的应用	169
8.4.2 利用 SDN+VxLAN 技术构建 vDC	171
8.4.3 利用 SDN 进行 DC 之间的流量调优	173
8.5 SDN/NFV 在广域网的应用	174
8.5.1 SD-WAN 概述	174
8.5.2 SD-WAN 应用场景	175
8.5.3 SD-WAN 发展展望	177
8.6 SDN/NFV 在城域网的应用	177

8.6.1	城域网发展面临的挑战	177
8.6.2	vBRAS 的发展	179
8.6.3	vBRAS 技术架构	181
8.6.4	vBRAS 的实现方式	183
8.6.5	vBRAS 典型部署场景分析	184
8.6.6	vBRAS 未来发展分析	186
8.7	SDN/NFV 在传送网的应用	187
8.7.1	传送网引入 SDN 的需求	187
8.7.2	传送网引入 SDN 的优势与挑战	187
8.7.3	软件定义传送网的典型场景	188
8.7.4	传送网重构实践	190
8.8	SDN/NFV 在接入网的应用	192
8.8.1	接入网面临的问题	192
8.8.2	应用场景分析	193
8.8.3	接入网的重构目标架构	194
8.8.4	关键技术	195
8.9	SDN/NFV 在核心网的应用	196
8.9.1	核心网的重构目标架构	197
8.9.2	核心网重构策略	197
8.10	SDN/NFV 在 5G 网络的应用	201
8.10.1	5G 网络架构	201
8.10.2	切片的概念	202
8.10.3	切片的特点	203
8.10.4	切片的分类与部署	204
8.10.5	切片的全生命周期管理	204
8.10.6	切片的技术基础	205
8.10.7	切片后续需研究的关键技术	205
总结与展望		206
缩略语		207
参考文献		216

第 1 章

网络重构解读

“互联网+”“人工智能”“物联网”“云计算”“大数据”“智慧城市”等新兴技术及应用已经深入人们工作、生活的方方面面，带来便利的同时，也对网络提出了更高的要求，驱动着网络和信息服务基础设施开始新一轮的大变革。注意：我们特意用了“变革”，而不是以往的“演进”，意味着这是一场从零开始的网络革命，而非在现有基础上简单的修修补补。

网络作为运营商的核心资源，也是实现运营商战略转型的主要抓手；网络架构作为网络的灵魂所在，决定了网络的竞争力和发展潜力，因此，网络重构成为运营商的根本性、战略性创新。运营商需要重新思考自己的定位，通过新技术、新模式的引入，在提供高带宽、低时延以及高可靠的网络连接服务的同时，更加注重用户体验和服务创新，以更加开放的姿态实现与产业链各方的合作共赢，迎接新兴网络服务时代的来临。

本章首先回顾了通信网络的发展历程，然后结合现有网络面临的挑战以及新兴业务对网络的需求，借鉴 IT 架构发展的经验，提出了新一代网络的关键特征及参考架构，最后对网络重构的关键技术进行了深入解析，同时为了更好地推进网络重构，对电信业的组织架构、经营模式等非技术领域的变革也提出了相关的建议。

1.1 网络发展的历史趋势

1.1.1 网络变革的历史

在网络研究上，移动通信技术的研究给出了很好的范例。移动通信网的研究从一开始就采用分代研究，平均以十年一代的速度迅速推进，至今已发展到了第五代（5G），每一代任务具体、目标明确、进展顺利。借鉴移动通信技术的研究方法，我们采用分代研究的策略，从网络基础理论出发对网络分代，开展任务具体、目标明确的研究。

从整个电信网络的历史沿革来看，可以划分为四个大的阶段：模拟通信、数字通信、互联网通信、软件定义网络。

1. 模拟通信

从电信网诞生到 20 世纪 70 年代，电信网基本都处于模拟通信时代，这一阶段的主要技术特征是基于模拟电路的专用通信系统，代表性技术有载波通信（包括明线载波、电缆载波、模拟微波通信等）和模拟蜂窝移动通信。

模拟通信的早期是端到端的金属实线连接，用于电话和电报。随着用户的增加，所有用户之间都用实线连接是极不经济的，而且网络也将极为复杂，交换技术的引入有效解决了这个问题。随着通信网越来越大、通信距离越来越长，完全采用实线连接代价太高，于是引进了 FDM（Frequency Division Multiplexing，频分复用）技术。FDM 采用载波调制技术，通过不同载波携带各自的有效信息来实现复用，在一条实线上，携带数路、数十路甚至数千路模拟信息，从而有效地提供传输效率，这就是第一代网络技术。第一代网络技术的基础是 FDM+交换（通过人工或自动交换设备）。

2. 数字通信

20 世纪 80 年代全球开始进入数字通信时代，这一阶段的主要技术特征是语音和数据的数字化，基础是 PCM（Pulse Code Modulation，脉冲编码调制）、TDM（Time Division Multiplexing，时分复用）和分组通信，代表性技术是 PDH（Plesiochronous Digital Hierarchy，准同步数字体系）传输、SDH（Synchronous Digital Hierarchy，同步数字体系）传输、X.25 分组通信、ATM（Asynchronous Transfer Mode，异步传输模式）、程控数字交换和数字蜂窝移动通信等。

由于模拟通信技术的中继噪声倍增，且单位赫兹的传输效率低下，因此第二代网络技术就采用了数字通信。第二代网络采用的 TDM 技术，通过用不同的时隙承载不同的用户通信信息，从而实现用户间通信的复用。TDM 技术在程控电话交换系统和 SDH 中得到了极为成功的应用，迄今为止 SDH 仍在广泛使用，提供点到点的同步数据专线。作为 TDM 技术的用户接入技术，ISDN（Integrated Services Digital Network，综合业务数字网）和 DDN（Digital Data Network，数字数据网）也曾广泛使用。基于 TDM 的数字通信技术设计严谨，体系完整，完成了作为一代通信技术的使命。

3. 互联网通信

20 世纪 90 年代全球陆续进入互联网通信时代，这一阶段的主要技术特征是全 IP 化，最典型的表述是 IP over Everything 和 Everything over IP，IP 作为互联网通信的基础性技术成为业界共识，代表性技术是 TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol，传输控制协议/互联网协议），代表性业务是万维网、电子邮件、搜索和即时消息等。

第三代网络是基于统计复用的分组数据通信技术。以往的 TDM 技术只能用于面向连接的场合，一旦连接建立，在通信的两侧用户之间就建立起了一条交换性虚电路，在连接存在期间，通信资源是独占的。TDM 技术对通信资源的利用率较低，而基于统计复用的分组数据通信技术是为提高通信网资源的利用率而提出的。

在分组通信数据网中，通信信息将被打成一个一个的数据包（分组），数据包是分组通信数据网中传送的基本单元，通过数据包的传送实现通信。数据包在通信信道上传送就占用通信网资源，数据包不在通信信道上传送就不占用通信网资源。只要网络的通信资源从统计意义上能满足通信业务的资源要求，就能保证业务的服务质量，基于统计复用的分组数据通信技术可以提高网络通信资源的利用率。

发展第三代网络技术的一个推手是电信业务的发展，我们期望通过使用统计复用的分组数据通信技术，大幅度提高网络通信资源的利用率。典型的第三代技术有 X.25、FR（Frame Relay，帧中继）和 ATM。发展第三代网络技术的另一个推手是计算机网络，其动力是为

解决异机种计算机之间的互联。异机种计算机间互联的要求是能够实现联网计算机间随时随地的进程通信,为此要求计算机端到端处于长连接状态。异机种计算机之间互联的这一要求,开拓了分组数据通信网不面向连接的工作模式的应用。TCP/IP 提供了进程通信能力以及从未有过的网络连接能力,并且连接数没有限制。TCP/IP 是网络技术的重大突破和创新,原有的通信技术完全无法和它抗衡。

4. 软件定义网络

目前全球通信产业已经开始进入第四个历史阶段,即软件定义网络阶段,这一阶段的主要技术特征是网络架构的变革,即从垂直封闭架构转向水平开放架构,体现在网络控制与转发分离、网元软硬件的解耦和虚拟化、网络的云化和 IT 化等多个方面,代表性技术有 SDN(Software-Defined Networking, 软件定义网络)、NFV(Network Functions Virtualization, 网络功能虚拟化)和云计算(Cloud Computing)。这一阶段的来临为电信网络的深化转型提供了强大的武器,不仅带来了历史性的发展机遇,而且还带来了前所未有的严峻挑战。

1.1.2 网络演进的趋势

网络演进具有以下几个趋势特征。

(1) 网络以 DC(Data Center, 数据中心)为中心

随着互联网,特别是云计算、大数据等新技术的快速应用,网络的流量、流向已经发生了巨大的变化。未来 80% 以上的应用将部署在云上,DC 正逐渐成为网络流量的中心。而传统的网络一般是以行政区域和地理位置的划分来组织的,在这种逐级收敛的树状架构中,DC 仅仅作为一种普通的接入节点。现在网络必须调整为以 DC 为中心的新型架构,以适应网络流量及流向变化的新趋势。

(2) 网络和云深度融合

云计算的不断发展对网络带宽提出了越来越高的要求,用户需求的不断升级使得云网融合成为必然趋势。业务、IT 和网络都可以基于云化技术实现和部署,但是当前云与网之间缺乏灵活互动的机制。在未来网络中,云化的网络资源池在提供计算、存储等虚拟化资源的同时,网络资源也可以随云资源池的需求而按需变动,支持计算、存储和网络资源的统一动态分配和调度,通过 SDN 和 NFV 的跨域协同,真正实现云与网的深度协同。

(3) 网络功能软件化

传统的网络以专用硬件设备为主,网络调整以及功能升级的周期很长,且成本较高,完全无法适应新兴业务快速、灵活的特点。

未来的网络将软件与硬件进行解耦,利用通用的硬件平台为功能网元提供统一的虚拟化运行环境,上层的功能网元完全通过软件来实现,软件的升级更新不再与硬件绑定。这样一方面能够实现网络容量的按需动态伸缩;另一方面,也有利于实现业务的快速部署和升级,面向不同的业务需求进行灵活定制。

(4) 集中管控、灵活智能

受以行政区域和地理位置划分的网络架构影响,传统网络的管理也是分段、分级进行,

一个跨省链路的开通往往要经过十几个系统，历经多级流程的审批、确认，导致网络服务存在响应慢、资源利用率低下、端到端体验差等弊端。

网络功能软件化后，网络的控制与调度均可通过软件来完成，通过控制与转发分离等方式，使得网络的集中控制成为可能，从而可以更好地实现网络的敏捷部署及灵活调整，提供端到端的业务保障，满足客户全网一致性的体验需求。

1.2 网络重构的驱动力

1.2.1 运营商面临的挑战

近些年，随着网络承载业务的丰富，以及 CT（Communication Technology，通信技术）与 IT（Information Technology，信息技术）的深度融合，运营商在当前网络运营中面临一系列挑战。

（1）网络连接数和流量增长推动网络规模快速膨胀

未来十年，将有海量的设备连入网络，连接将变得无处不在。宽带从连接 50 亿人增加到连接 500 亿物，同时宽带流量将有 10 倍的增长。家庭千兆以及个人百兆接入成为普遍服务，而一些新业务（如 4K/8K 视频、虚拟现实游戏、汽车无人驾驶等）对网络丢包率、时延等的 QoS（Quality of Service，服务质量）要求更苛刻。

（2）业务云化和终端虚拟化颠覆网络全局流量模型

随着云计算的发展和大规模移动网络的建设，用户对宽带的需求已从基于覆盖的连接，转向基于内容和社交体验的连接。传统电信业务流量主要服务于网络终端节点之间的通信，符合泊松分布模型；而互联网流量和流向则由热点内容牵引，难以准确预测。数据中心成为主要的流量生产和分发中心，呈现无尺度分布的特征，且与现有电信网络部署架构不匹配。

（3）专用网络和专用设备极大增加网络经营压力

随着固定和移动网络覆盖范围的扩大，网络规模日趋庞大。网络服务需要由具有不同功能属性的多个专业网络组合提供，各专业网络彼此之间条块化分割，能力参差不齐，业务的端到端部署和优化困难。同时，传统设备研发和部署体系封闭，网元功能单一、受限，功能扩展和性能提升困难，导致新业务的创新乏力以及响应滞后，无法满足互联网应用对服务的动态请求。

（4）互联网业务创新加快驱动网络智能化转型

互联网业务创新需要更加智能、弹性的网络服务，网络需要及时洞察用户需求，实时响应用户需求。今天运营商的网络难以满足互联网业务创新对网络的灵活性、扩展性、智能化、低成本等要求。

1.2.2 IT 架构发展的经验

摩尔定律揭示了两个发展方向：高性能和低成本。电信业重视前者，代表性的门槛就是电信级的质量；而 IT 业重视后者，采用适度的性能要求、宽松的可靠性要求、通用工业