



专题：SDN/NFV

SDN/NFV 发展中的关键：编排器的发展与挑战

赵鹏，段晓东

(中国移动通信有限公司研究院，北京 100053)

摘 要：网络功能虚拟化（NFV）和软件定义网络（SDN）已被业界普遍认定为下一代电信网络发展的主要方向，编排器作为未来网络的“大脑”，成为运营商灵活管理网络、最大化发挥新技术优势的关键。首先阐述了编排器在下一代网络中的核心地位，并对编排器的技术架构进行介绍。而后从标准化和开源的角度对编排器产业发展情况进行介绍和分析。最后阐述了编排器产业发展中标准与开源的关系，编排器与网管运营支撑系统（OSS）的融合、编排器对 SDN 的支持以及依托编排器实现网络自动化智能化运营的理念。

关键词：编排器；网络功能虚拟化；软件定义网络；ETSI；Open-O；ECOMP；OSM；ONAP

中图分类号：TN91

文献标识码：A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017098

Key of SDN/NFV development: development and challenge of orchestrator

ZHAO Peng, DUAN Xiaodong

China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

Abstract: Network function virtualization (NFV) and software defined networking (SDN) have been widely recognized as the main direction of the development of the next generation telecom network, and as the brain of the future network, orchestrator is the key for the operators to manage the network flexibly and maximize the advantages of new technologies. Firstly, the core position of orchestrator in the next generation network was described, and the technical architecture of orchestrator was introduced. Then, the development of orchestrator in the perspective of standardization and open source were introduced and analyzed. Finally, the relationship between standardization and open source was elaborated, including the integration of orchestrator and OSS, the support of orchestrator for SDN and the idea to realize the intelligent and automatic network operation relying on orchestrator.

Key words: orchestrator, network function virtualization, software defined networking, ETSI, Open-O, ECOMP, OSM, ONAP

1 引言

2012 年 10 月，13 家运营商在 ETSI 成立了 NFV（network function virtualization，网络功能虚

拟化）工作组（ISG），开展网络功能虚拟化研究、标准制定和产业推动工作，致力于将虚拟化技术应用用于电信领域。

目前，NFV 已被业界普遍认定为下一代网络

收稿日期：2017-02-20；修回日期：2017-03-31

的主要方向,也是通信网络发展基础性的关键技术,可满足运营商低成本、灵活性和开放性的诉求。软/硬件解耦采用通用 COTS (commercial off-the-shelf) 设备替换原有电信专用设备,可以降低运营商设备采购成本,同时 NFV 带来的自动化运维可降低运营商运维支出,实现降本增效。在运营商和厂商的共同推动下,NFV 逐渐从一个抽象的概念变为现实,有了广泛的试点和一定的部署。运营商和厂商也在 NFV 的发展进程中逐步完成自身的转型。长期看来,引入 NFV,运营商将面临大量基础设施的改变和管理体系的重建,网络重构成为 NFV 发展过程中的热点。

NFV 系统中软件、虚拟层和网络功能分层解耦,打破了电信行业原有的“黑盒化”封闭系统,降低了电信准入门槛,有利于打造更具活力的生态系统,NFV 从根本上改变了 CT 的发展生态。一方面,充分解耦后的碎片化网络对运营商的管理和运维带来了巨大的挑战,这需要依赖于新型的管理系统;另一方面,NFV 给网络带来极大的灵活性和敏捷性,但是网络的灵活性和敏捷性的实现依赖于新的管理系统和自动化编排系统。NFV 体系中引入了全新的 MANO (management

and orchestration, 管理和编排) 系统,编排器 (orchestrator) 作为其中的核心部件,是网络灵活调整和资源动态调度的关键,毫无疑问成为下一代网络的“大脑”。

以编排器为核心的未来网络管理体系的创建,已成为运营商凭借 NFV 完成网络管理和运维转型的核心要求,也成为产业界研究和推动的热点。

2 编排器的技术架构

ETSI MANO 标准架构由 VIM (virtual infrastructure manager, 虚拟化基础设施管理)、VNFM (virtual network function manager, 虚拟网络功能管理) 和 NFVO (network function virtualization orchestrator, 网络功能虚拟化编排器) 组成,分别对网络服务、网络功能和虚拟资源进行管理。NFV 系统架构如图 1 所示。

VIM 主要负责基础设施层虚拟化资源、硬件资源的管理、监控和故障上报等,面向上层 VNFM 和 NFVO 提供虚拟化资源池,负责虚拟机和虚拟网络的创建和管理。同时,VIM 提供虚拟机镜像管理功能。VIM 通过 Nf-Vi 接口与 NFVI 进行交互,实现资源的管理;通过 Vi-Vnfm 和 Or-Vi 接

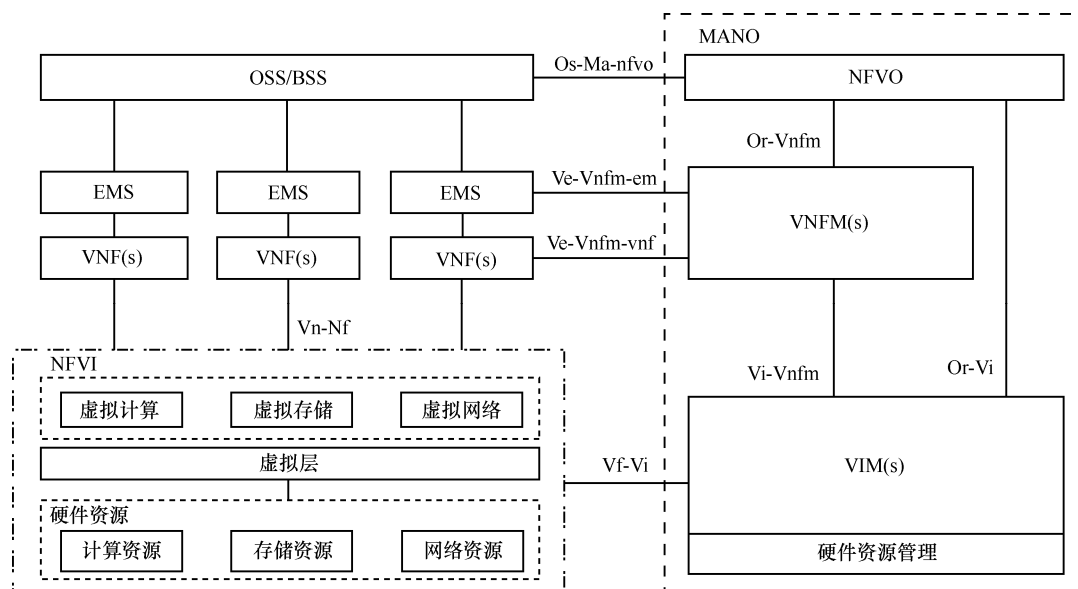


图 1 NFV 系统架构



口向上层提供虚拟层平台能力。目前，业界 VIM 多基于 OpenStack 社区进行产品化，且采用 OpenStack 标准 API 进行互通。

VNFM 负责 VNF 的生命周期管理，包括网元创建、扩缩容、升级、治愈、回滚、终止等。VNFM 通过 Or-Vnfm 接口将 VNF 的管理能力提供给 NFVO，通过 Vi-Vnfm 接口完成 VNF 生命周期所需的虚拟资源操作和监控，通过 Ve-Vnfm-vnf 接口完成对 VNF 相关的配置和管理，通过 Ve-Vnfm-em 接口向 EM 暴露网元生命周期管理能力。

NFVO 负责网络服务的生命周期管理和全局跨域资源调度。NFVO 通过 Or-Vnfm 接口控制 VNFM 完成网元的创建和生命周期管理，通过 Or-Vi 接口控制 VIM 完成虚拟资源的调度和调整。

作为运营商网络管理的“大脑”，业界编排器的设计借鉴了 NFVO 的基础架构，并结合实际网络管理需求和场景进行了不同程度的扩充和变种，并在模块实现层面呈现一定规律。在管理范畴上，在 ETSI 标准要求的基础上，重点考虑了与网元应用层管理的协同和 SDN 的支持；在模块设计上，多分为设计态和运行态两类。两类模块协同作用，实现整体网络的自动化智能化管控。

3 编排器的发展情况

编排器作为未来网络管理的“大脑”，已成为业界研究和推动的热点。一方面，ETSI 主导了包括编排器在内的 NFV 相关标准化工作，同时 3GPP SA5、IETF SFC、ITU-T SG13、CCSA 等也在进行相关研究和标准化工作；另一方面，Open-O、ECOMP、OSM (open source MANO)、Tacker (OpenStack)、OpenBaton、Clodify 等多个开源组织或项目在编排器领域进行开源实现。

3.1 ETSI 标准化进展

2013 年 1 月，ETSI NFV ISG 正式成立，开始 NFV 相关研究工作，重点侧重于可行性研究、概

念定义等，并于 2013 年底发布 NFV 架构框架，作为后续研究基础。

2014 年底，NFV ISG 正式发布了 R1 系列规范，完成了 NFV 及 MANO 架构定义、接口定义和模型定义。同时，开始 R2 工作。

R2 阶段，NFV ISG 的工作被划分到了 IFA (Interface and Architecture)、EVE、REL、SEC、TST 组中，IFA 工作组主要负责 MANO 相关接口和模型的具体定义。其中，IFA010 定义了 MANO 各接口的总体需求，IFA005、IFA006、IFA007、IFA008、IFA013 分别定义了 MANO 个接口信息模型，IFA011、IFA014 分别定义了 VNF 分组和 NSD，IFA001~IFA004 定义了硬件加速相关内容。R2 系列规范于 2016 年 9 月完成发布，R2 规范定义了 MANO 各接口和模板的信息模型，但尚未对接口协议和实现级别的数据模型进行定义，无法指导具体接口实现和异厂商设备互通。

2016 年，ETSI 陆续开展了 R3 相关工作，R3 工作分为两部分：第一部分是在原工作组发布的规范基础上做更进一步的数据模型，这部分工作主要是在 2016 年 5 月成立的 SOL (Solution) 工作组进行，截至 2017 年 3 月，SOL 主要针对 IFA007、IFA008、IFA011、IFA013、IFA014 对应的信息模型做数据模型定义，其中 VNF 分组、VNFD/NSD 相关工作借鉴了 OASIS TOSCA 模板内容；第二部分是面向未来的 NFV 新功能系列研究报告，这些工作主要在 IFA 和 EVE 工作组进行，包括 NFV 支持网络切片、MANO 自身管理、策略管理、NFVO 架构分离、计费 and 账单、多 VIM 管理、多域管理等，将探索 NFV 未来的功能扩展和发展方向。

3.2 OSM 进展

OSM 由 ETSI 主导发起，于 2016 年 4 月正式成立，基于 ETSI NFV ISG 相关规范进行开源实现。截至 2017 年 2 月，已有包括 7 家运营商在内的共 60 个会员单位参加。

OSM 的系统架构由设计态和运行态两类模块组成。设计态主要用于管理和设计 NS/VNF 以及统一 GUI; 运行态主要用于端到端的服务编排、NS/VNF 实例的管理、资源管理、传统网络支持, 同时支持对接多种 VIM、SDN 控制器和专用 VNFM。与其他开源项目相比, OSM 在架构上与 ETSI NFV 架构最为近似, 但也已超出了 ETSI R2 所定义的范畴。

OSM 于 2016 年 5 月发布了第一个版本 R0, 实现了简单的 on-boarding 能力和可读性较强的 VNFD 和 NSD, 南向支持对接 OpenStack 和 Open VIM, 并支持基于 SDN 的 underlay 网络配置和 Web 服务界面。同年 10 月, OSM 发布了第一个正式版本 R1, 主要基于 ETSI R2 规范进行实现, 同时在扩展性方面采用了更加开放的 plugin 方式, VIM 方面支持 OpenStack、Open VIM 和 VMware, SDN 方面支持 OpenDaylight 和 Floodlight。支持多站点 (multi-site), 并在安装部署和模板方面进行了进一步优化。同时, OSM 参加 ETSI 的 PlugTest 项目, 与多方 VNF 和 VIM 进行了对接测试, 实现了 VNF 和 NS 的 on-boarding 和 catalog 管理、NS 实例的创建和删除以及在运行的 NS 实例中添加和删除 VNF。

OSM OSG 与 NFV ISG 同样隶属于 ETSI 之下, 工作的开展和参与人员具有一定重合性, 为两者间的合作和互助奠定了基础。在 OSM 开发和 PlugTest 测试过程中, OSM 也发现了 ETSI R2 规范 100 多项相关问题, 对标准规范做了很好的实践、验证和补充。

3.3 Open-O 进展

Open-O 于 2016 年 2 月由 MWC 发起倡议, 于 2016 年 6 月在深圳正式成立, 成为隶属于 Linux 基金会的编排器开源项目, 目前已拥有 14 个会员单位。Open-O 致力于打造电信级开源协同器平台, 其最大的特点是在设计之初就将 NFV 和 SDN 放在了同等地位之上, 通过全局编排器

实现 NFV/SDN 协同的端到端业务编排和资源综合调度。

Open-O 于 2016 年 11 月在美国华盛顿发布了 R1 SUN 版本, 支持家庭场景和企业场景的 vCPE 业务编排, 并于 2016 年 12 月与 OPNFV Colorado 版本完成了 Plugfest 集成测试, 成为了首个与 OPNFV 成功对接的 MANO 开源软件。目前正在筹划 R2 Mercury 版本, 计划将支持 VoLTE 和增强版 vCPE 场景, 并在策略管理、通用 VNFM 支持、EMS 集成、告警管理、多 VIM 等方面进行增强。

Open-O 的系统架构由 GS-O、NFV-O、SDN-O、通用服务和统一 TOSCA 五大模块构成。各模块间采用了充分解耦的设计思路, 可作为服务单独使用, GS-O、NFV-O 和 SDN-O 对外均支持通过驱动方式接入外部系统, 最大化地实现了系统的开放性。

GS-O 由全局服务生命周期管理、服务分解、服务分析和北向接口构成, 通过全局服务模板定义端到端服务, 并将其分解为 NFV 服务和 SDN 服务, 交给 NFV-O 和 SDN-O 分别执行和处理。北向接口提供至 BSS/OSS 并接收其业务需求。NFV-O 基于 ETSI 的架构和信息模型, 包含网络服务生命周期管理、NFV 资源管理和 NFV 监控服务。北向提供 RESTful 接口至 GS-O, 南向通过驱动方式与 VNFM、SDN 控制器和 VIM 互通。同时, NFV-O 提供基础的告警监控和性能统计功能。SDN-O 提供跨 SDN 和传统网络的服务编排, 支持包括设计、开通和维护在内的全生命周期管理能力, 支持 underlay 网络 (L3 VPN 和 L2 VPN) 和 overlay 网络 (VxLAN、IPSec、VPC、业务链) 场景的业务开通。R1 版本聚焦于网络集成和业务自动开通, 后续版本将实现由动态模型驱动的服务设计。通用服务模块提供 Open-O 各组件运行所需要的通用能力, 即将多个模块都涉及的业务功能抽取出来统一实现后提供给其他模块共用, 包括微服务总线、高可用性、驱动管理器、日志



管理、认证管理、外部系统注册和协议栈支持。统一 TOSCA 提供 Open-O 的平台级功能，是所有微服务实现的基础，包括微服务总线、各微服务通用的 HA、日志记录和收集、通用的各种类型的驱动管理等。Open-O 通过统一的 GUI 门户界面对外提供交互，并考虑了整套系统匹配的测试验证环境。

3.4 ECOMP 进展

AT&T 于 2013 年 12 月发布了 Domain2.0 白皮书，并希望通过该计划打造下一代网络并实现公司的文化变迁，即将公司转型成所谓软件公司。而作为 AIC（AT&T Integrated Cloud）支柱之一的 ECOMP（Enhanced Control，Orchestration，Management & Policy），将成为其公司转型，并于 2020 年实现 75% 的网络虚拟化这一目标的关键。ECOMP 是一个编排器更大的体系，涵盖了 OSS 的大部分功能，希望实现自动化运行和编排。ECOMP 起初并非开源项目，2016 年 3 月，AT&T 发布了 ECOMP 架构白皮书，业界才对其内部有了一定了解。在业界环境的影响下，2016 年 7 月 AT&T 决定将 ECOMP 开源，并于 2017 年 2 月 1 日正式宣布开源，与 Open-O 一样隶属于 Linux 基金会旗下。

目前 Open-O 和 ECOMP 已经正式宣布两者将整合成为一个统一的社区——ONAP（Open Network Automation Platform），

3.5 ONAP

2017 年 2 月 23 日，Linux 基金会宣布 ONAP 正式成立，该项目由开源编排器领域最重要的两个项目——ECOMP 和 Open-O 合并而成，凝集了业界最具影响力的运营商和设备商参与。成立后已有包括中国移动、AT&T、华为、爱立信等在内的多家白金会员和银牌会员参与。

ECOMP 和 Open-O 均是面向 SDN/NFV 技术的网络协同器，定位接近。Open-O 由中国运营商和设备商主导发起，同时吸引了国际领先的 CT

和 IT 厂商参与；ECOMP 由 AT&T 联合厂商自主开发，起步较早且已经部分商用部署。两者在定位和技术架构上存在合并的可能性，在需求方面具有极强的互补性，ECOMP 于 2017 年 2 月选择在 Linux 基金会正式开源，也为其 Open-O 的合并创造了基础。

新的合并社区 ONAP 项目采用了中立的名字，基于两个项目的已有成果采用融合的开放技术架构和公平的管理架构，避免了少数成员垄断话语权，为后续进行技术融合与协同创新奠定了基础。目前项目内正在就管理架构和技术架构融合进行磨合和分析，相信强强联手的 ONAP 将会成为未来编排器领域最重要的开源力量。

4 编排器发展的关键问题

4.1 编排器中标准和开源的关系

NFV 概念诞生于 CT 领域，但却带有显著的 IT 烙印，NFV 尤其是编排器领域的产业发展也完全不同于传统 CT 国际标准化为主导的发展态势，带有 IT 基因的开源项目在编排器的产业发展中发挥了不可替代的作用。

ETSI 作为传统的标准化组织采用了标准制定中常用的分阶段方式，从概念和需求出发完成了 R1 规范的定义，而后继续进行 R2 的信息模型定义，为业界描述了清晰的系统架构和功能需求，引领了 NFV 其他相关组织的工作，并成为开源项目和厂商设备实现的基础。但需要注意的是，ETSI NFV 架构中的内容并不都是全新创造的技术领域，尤其在 NFVI 云平台 and 编排器方面都面临业界已有的成熟产品和开源项目的挑战。

NFVI 云平台的相关技术实质是虚拟化和云计算，这在 IT 领域已有超过 10 年的实践并诞生了诸如 AWS、VMware、OpenStack 等成功的产品和开源项目。以 OpenStack 为例，其在 2010 年由 NASA 和 Rackspace 将已有系统开源所形成，并在其后一年的时间内由 42 个组成成员的 95 名开发

者迅速发展到80个组织成员的1200多名开发者。早在ETSI R2规范完成之前,OpenStack已经具备了基本满足ETSI VIM的能力,并成为业界多数供应商VIM产品的实现基础,OpenStack API也大有取代ETSI IFA005、IFA006的定义而成为VIM北向接口事实标准的趋势,这也迫使ETSI成立特别工作组(STF)对ETSI标准和OpenStack进行分析,用以确定VIM北向接口R3规范的制定思路。STF的工作计划在2017年9月才会有初步结论,届时相信ETSI与OpenStack的合作和融合将会成为趋势。

另一个例子是ETSI标准中NSD、VNFD的定义,NS和VNF作为NFV最重要的管理对象,其表述模板的定义将对整个生命周期管理、NFVO/VNFM的设计以及对外暴露的API产生重要影响。在这方面,原在IT领域用于资源架构描述的OASIS社区TOSCA模板在2015年针对NFV需求进行了NSD和VNFD定义,这部分工作早于ETSI R3的相关工作。目前,ETSI已与OASIS展开密切合作,SOL工作组与VNF分组和NSD/VNFD相关的项目将采用与OASIS TOSCA一致的定义。

编排器领域更是如此,由于与运营商实际的运维管理需求密切相关,导致标准无法满足众多运营商的各异需求并解决其面临的实际问题;同时,编排器作为运营商自身网络的管理系统,不存在跨运营商互联互通的需求,因此开源项目在这个领域大方异彩,以IT的工作方式对标准工作和运营需求进行快速实现和验证。在实践的过程中,开源社区还将其挖掘出的新需求和标准修改建议反馈到标准组织中,对标准进行了补充和优化。

开源社区具有强者越强的特点,吸纳最广泛的参与者和最优秀的开发人员,保持社区活跃度和影响力是开源社区成功的关键。从这方面来讲,ONAP集合了Open-O与ECOMP两个旗帜项目

的优势资源,未来必将在开源编排器领域发挥其重要作用和影响力。

NFV涉及领域众多,标准和开源将以合作互补的关系共同发展。带有CT烙印的标准化将继续在整体逻辑架构和功能需求方面引导开源社区和供应商设备实现,并解决具有强互联互通特性的领域;而具备IT基因的开源项目则可针对需求逐点击破、快速实现,尤其在运营商个性化程度高的编排器领域具有明显优势,同时其实践成果也对标准进行有效的反馈和补充。标准和开源将在NFV领域相互协作,共同推动产业的发展与成熟。

4.2 编排器与网管OSS的关系

标准定义的编排器关注生命周期管理和资源调度,与VNF应用层管理无关。但在运营商实际运维中,网络的变化和资源的调整需求往往源于业务层面,同时业务的控制和分析也离不开对资源层面的了解,两者有着复杂的联系,往往难以通过一个互通接口完成系统整合。这就需要编排器与OSS/EMS进行深度的融合,形成统一的未来网络管理系统,ECOMP在设计之初就已将EMS功能纳入其中,体现了其业务与资源统筹管理的思路。

此外,编排器所提供的能力对于运营商传统OSS来说是全新的,通过原有OSS升级来支持传统网络和NFV网络的统一管理,实质上更像是将传统OSS和编排器生硬地堆积在了一起。同时,NFV网络中编排器与资源层的分层管理对运营商运维人员来说也需要全新的能力,从这个角度来看,初期在网管角度将传统网络和NFV网络分开,分别由OSS和编排器进行管理,在资源管理和大数据分析层面对两者汇总、统一分析和呈现,或将成为运营商NFV商用初期的选择。

4.3 编排器与SDN及控制器的关系

随着新技术的引入,电信网络将变为由新型数据中心的节点和高速网络连接的连线组成



的“星盘格”，其中数据中心将承载电信网络功能，以 NFV 技术为核心，实现网络功能的快速部署和灵活组成；高速网络连接将提供节点间的数据交换，以 SDN 技术为核心，自动化匹配业务调整所带来的链路调整需求。单独的 NFV 编排和 SDN 编排都无法实现运营商最终业务的快速上线和调整。

随着电信业务的发展和 5G 相关需求的提出，电信网络将面临更多的业务场景和网络切片，其中任何一点都需要 NFV 和 SDN 的协同进行实现。因此，编排器的定位应在 NFV 管理编排和 SDN 控制器之上，NFV 管理编排实现了网络功能和网络服务的部署和生命周期控制，而 SDN 控制器实现了上述对象对外暴露的端点之间的连接，并对数据的流量流向进行控制。编排器在 NFV/SDN 之上对端到端的业务场景负责，并将其拆解为 NFV 和 SDN 所理解的管理对象，控制两者协同完成端到端业务的部署和控制。在 NFV/SDN 协同方面，Open-O 提出的 GS-O 高层设计架构试图给出答案，值得业界关注和借鉴。

4.4 编排器成为网络自动化智能化运营的核心

随着电信网络的发展，运营商面对的是一个高度复杂的网络，由于低下的运维效率和为保障电信业务可靠性而带来的巨大运维开支，以专用电信设备为管理对象的“基于突发的故障”和“主观经验”运维模式已逐渐走向末路。NFV/SDN 将电信网络变为“软网络”，在技术层面为运营能力的提升创造了条件；同时，更加模块化的网络也对运营商的运营能力提出了更高的要求。从运营商网络运营体验角度出发，ETSI 也于 2017 年 2 月成立了 ENI（Experiential Networked Intelligence）ISG，聚焦于新技术下运营商自动化、智能化运营的探索。

未来网络自动化、智能化运营将以网络设计态和闭环控制为核心。网络设计态的重点是将现在运营商的业务技术方案和网络建设方案连同其

运维的方法用标准的形式化语言描述为模板和策略，编排器基于这些模板和策略，对技术方案和建设方案进行实现，大大增加部署和调整的效率，并且具备“可复制”的属性，彻底改变运营商现有的建设和运营流程，带来运营商能力的全面提升。这其中，模板和策略的定义和不断优化将会是一个持续的过程。

以大数据分析和机器学习为核心的自动调整和优化过程在互联网领域的实践已从量变发展到质变，深刻影响了现代人的生活，颠覆了很多原有的“常识性”认知，运营商也试图将其应用于网络运营领域。NFV 方面，编排器将获得虚拟功能所对应的物理资源、虚拟资源、业务应用层全量的统计数据；SDN 方面，作为流控制的核心，将获得关于网络连接和流量的全部数据，如果能将这些数据加以统一分析，闭环反馈至网络设计态系统，指导和不断优化当前模板和策略，将从排除主观经验的科学角度逐步最优化网络设计和运营。

编排器作为未来网络管理的“大脑”，将从网络设计态和闭环控制方面进行增强，成为未来网络自动化、智能化运营的核心。

5 结束语

加速向下一代网络发展是由业务需求和技术发展两方面共同驱动的必然。在发展下一代网络中，运营商的网络重构与转型已经初露端倪。编排器是 SDN 和 NFV 发展中的关键，也是网络重构与转型实现灵活性和敏捷性的基础。目前编排器处于技术发展的高峰期和应用的早期，大量技术问题需要解决，我国已经在这方面占有了先机。然而，编排器背后配套的组织管理变革和文化技能变革才是背后的决定性力量，任重而道远。

参考文献：

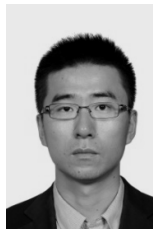
- [1] ETSI. Network functions virtualisation (NFV); management and orchestration[EB/OL]. [2017-02-20]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-

MAN001v010101p.pdf.

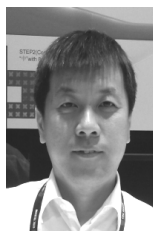
- [2] ETSI. Network functions virtualisation (NFV); architectural framework[EB/OL]. [2017-02-20]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.02.01_60/gs_NFV002v010201p.pdf.
- [3] ETSI. Network functions virtualisation (NFV); terminology for main concepts in NFV[EB/OL]. [2017-02-20]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/003/01.02.01_60/gs_NFV003v010201p.pdf.
- [4] ETSI. Network functions virtualisation (NFV); management and orchestration; functional requirements specification[EB/OL]. [2017-02-20]. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-IFA/001_099/010/02.02.01_60/gs_NFV-IFA010v020201p.pdf.
- [5] Open-O. Technology[EB/OL]. [2017-02-20]. <http://www.open-o.org/technology>.
- [6] AT&T. ECOMP (enhanced control, orchestration, management & policy) architecture white paper[S/OL]. [2017-02-20]. <http://about.att.com/content/dam/snrdocs/ecomp.pdf>.
- [7] ETSI. An ETSI OSM community white paper, OSM release one a technical overview[S/OL]. [2017-02-20]. <https://osm.etsi.org/images/>

OSM-Whitepaper-TechContent-ReleaseONE-FINAL.pdf.

[作者简介]



赵鹏（1987-），男，中国移动通信有限公司研究院中级工程师，主要研究方向为核心网、NFV等。



段晓东（1977-），男，中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所所长、高级工程师，主要研究方向为5G、下一代网络等。