



专题：智能通信技术的应用

人工智能在 NFV 中的应用

刘增义, 雷波, 杨明川

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 102209)

摘 要: 如何解决网络功能虚拟化 (NFV) 后复杂的管理问题、如何对网络进行灵活调度, 是 NFV 发展亟需解决的问题。人工智能技术的兴起, 为 NFV 系统内的管理和编排提供了新的解决方案。对 NFV 及人工智能的发展现状进行了总结性介绍, 通过剖析 NFV 落地面临的问题, 讨论了人工智能在 NFV 领域的应用场景, 最后通过实验论证, 提出了基于机器学习的智能 VNF 生命周期管理方案, 为人工智能在 NFV 中的应用提供参考。

关键词: 人工智能; 网络功能虚拟化; 生命周期; 管理和编排

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019094

Application of artificial intelligence in NFV

LIU Zengyi, LEI Bo, YANG Mingchuan

Beijing Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: How to deal with the complicated management problem after network function virtualization, how to flexibly schedule the network, all these problems need to be solved in order to develop the NFV. The rise of artificial intelligence provides a new solution for the management and orchestration in the NFV system. The present situations of NFV and artificial intelligence were summarily introduced, and use-cases of artificial intelligence in NFV were discussed. In addition, a solution for the management of VNF lifecycle management based on machine learning was proposed to provide reference for artificial intelligence technology in the application of NFV.

Key words: artificial intelligence, network function virtualization, lifecycle, management and orchestration

1 引言

NFV (网络功能虚拟化), 是将传统电信设备功能, 通过软件的形式部署在通用服务器上, 实现网络功能和硬件设备的解耦, 便于网络功能的快速迭代。此外, NFV 结合了 IT 虚拟化技术, 使用虚拟化的方式统一管理底层硬件资源, 再将

抽象后的资源交付给上层网络功能使用, 以达到业务灵活部署和整体降低成本的目的。

ETSI 于 2012 年 10 月在德国 SDN 和 OpenFlow 世界大会上发布了白皮书《网络功能虚拟化》, 正式将 NFV 引入世界。此后 ETSI NFV 工作组以两年为一个阶段, 开始逐步制定 NFV 相关的国际标准规范, 目前已逐渐进入了第四阶段,

收稿日期: 2019-03-09; 修回日期: 2019-05-07

开始注重 NFV 商用落地的研究。尽管 NFV 的引入可以在理论上为网络带来极大的敏捷性,但是在落地部署过程中还存在很多问题,主要表现在以下 3 个方面。

(1) 网络架构动态变化带来的复杂性

传统网络架构采用自顶向下的设计模式,针对各类业务部署独立系统,采用专用硬件设备承载网络功能,因此网络架构比较固定,网元位置和功能明确,整个网络的设计和部署周期很长,变化周期长达数年。而当网络向 NFV 演进后,网元基于云化基础设施进行部署,业务功能和网络功能原子化,网络架构的设计模式变为自底向上的组合编排,并且网络架构不再固定,需要面向业务场景随时可变,对网络提出了极大的灵活性要求。

(2) 分层解耦后的故障定位带来的复杂性

由于传统网络的架构相对固定,且硬件网元设备的发展较为成熟,所以传统网络中有功能完善的 OSS 系统进行全局网络的故障管理。在 NFV 系统中,网络的灵活性要求架构中的各系统进行解耦,支持多厂商的接入和适配,以保证虚拟网元的快速上线和切换。分层解耦后,NFV 架构中存在多个管理平面,并且由于多厂商的接入,引入了更多可能的故障点,将使运营商面临更为复杂的故障定位根因分析和责任划定。

(3) 网络资源实时调整带来的复杂性

传统网络的资源规划形式单一,通过逐级统计各专业网络资源的利用情况,结合下一年的业务需求和冗余规划,再进行人工的规划配置。在 NFV 网络中,网络的运行状态需要根据网络资源状况进行自适应实时调整,根据预定义的策略自动处理网络中的业务请求和突发情况。NFV 虽然提供了资源灵活调动的能力,但是网络状态自适应调度的策略仍需要人工进行设计,并且随着应用场景和业务类型的增加,策略设计将会变得更加复杂。

针对网络功能虚拟化后复杂的规划和管理问题,可以借助已广泛应用于各领域的人工智能方案,将复杂的问题交由机器进行处理。

2 人工智能与 NFV

人工智能(AI)亦称机器智能,是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门技术科学。人工智能的概念自从 19 世纪 50 年代后,已经经历 3 次发展热潮,其研究领域非常广泛,包含很多分支,包括专家系统、机器学习、进化计算、模糊逻辑、计算机视觉、自然语言处理等。其中,深度学习是机器学习中一种对数据进行表征学习的方法,它试图使用包含复杂结构或由多重非线性变换构成的多个处理层对数据进行高层抽象。在强大算力的支持下,将大数据输入深度学习模型进行训练,机器可以比人类专家更快得到更优的模型,使人工智能的广泛应用成为可能。随着网络架构的演进,人工智能和 NFV 的结合将成为未来网络发展的一个趋势。

2.1 基于 AI 的智能网络业务编排

在 NFV 体系架构中,MANO 系统负责所有虚拟资源的管理和编排。当收到新的业务请求时,MANO 先分配各个虚拟网元所需的资源,创建独立的虚拟网元,然后再按照一定的规则连接各个网元,实现业务所需功能。由于不同业务的资源需求具有很大的差异性,并且多种网元需求可能需要同时编排,所以很难人工设计编排策略处理业务需求。基于 AI 的智能网络业务编排结合人工智能和自动化技术,通过对各种网络业务的预测和模拟进行编排策略的设计,具体流程如下。

(1) 利用 AI 算法,使用 MANO 收集的流量信息,预测所管理的各虚拟网络资源的业务量,进一步预测网络资源的需求。

(2) 利用自动化技术,对多个虚拟网络的预测结果做叠加测试,给出最优的网络资源编排策略。



(3) 将编排策略下发, 当网络状态触发策略边界时, 根据预设的分配策略进行资源分配, 包括配置虚拟网元位置、虚拟网元数量、扩/缩容策略等。

(4) 利用 MANO 收集调整后的网络资源信息, 对调整策略进行评估反馈。

2.2 基于 AI 的网络容量预备

随着直播、电竞比赛、电商活动等新型网络应用的发展, 运营商网络中的流量呈现出越来越多的突发性, 这些活动的流量具有小概率、低频率、大破坏、难预测的特点, 对全局网络的影响难以统筹监控和调度。针对这些会引起网络突发流量的事件, 如果对相应的网络设备提前进行扩容, 可以在很大程度上降低突发流量对网络稳定性的影响, 因此需要结合人工智能学习算法, 根据历史流量数据和实时流量数据对可能的突发流量进行预测, 并提前进行设备扩容, 智能应对未来的网络状态变化。处理流程如下。

(1) 利用 MANO 和 OSS 系统收集网络状态和业务状态信息, 包括历史流量数据、业务突发地点、投诉率等, 手动收集热点事件信息。

(2) 根据收集的信息对 AI 算法进行模型配置和训练, 关联时间、地点、事件、投诉率等和流量变化的关系, 并根据实时数据预测未来某一阶段的峰值流量和用户体验。

(3) 基于 AI 算法的预测信息, 制定相应的扩容策略, 比如, 当峰值流量超过网络容量的 90% 时, 就使用移动基站或对网络设备进行扩容。

2.3 基于 AI 的网络故障预测

目前的网络故障修复模式大部分是使用事后纠正的办法, 即上层管理系统感知设备故障或业务波动后, 再进行设备维护和切换, 这种方式无疑会在一定时间内影响网络的稳定性。通过对网络故障的观察发现, 各种网络设备出现故障前的指标有一定的规律可循, 但是由于指标纬度过多, 且不同设备故障前的表现不同, 因此需要结合 AI 算法进行准确的故障预测, 在设备故障之前发出

告警信息, 进行提前的备份和倒换。具体流程如下。

(1) 应用 AI 算法, 针对不同网络设备的故障指标进行建模, 用于预测设备故障的可能性。

(2) 利用 MANO 收集设备各项指标的历史数据和实时数据, 输入 AI 算法进行模型调优。

(3) 根据算法的预测结果向 MANO 提供告警信息, MANO 根据告警信息制定策略, 当故障发生时及时进行故障的自动修复。

2.4 基于 AI 的网络节能调度

NFV 部署落地后, 网络功能将以软件的形式部署在通用服务器上, 而这些实体服务器通常以资源池的方式集中部署在数据中心中, 且大部分时间保持开机状态, 以保证业务的灵活上线。研究表明, 工作状态的服务器耗能是休眠状态的 10 倍以上, 如果能对资源池的使用进行更加合理的规划, 在非峰值期间触发负载迁移, 将部分资源池内的流量迁移到其他资源池中, 实现设备休眠, 可以达到很好的绿色节能效果。基于 AI 的网络节能调度算法流程如下。

(1) MANO 将网络流量的历史信息和实时信息反馈至 AI 算法模块, 并传递当前所有资源池的利用率信息。

(2) AI 算法根据流量的历史信息进行模型训练, 区分有节能潜质的时间段, 并根据流量多少给出资源池调度方案。

(3) MANO 根据 AI 算法提供的方案, 进行资源池的节能调度, 并设置利用率门限, 当资源池利用率超过门限值时, 再次触发激活资源池的调度算法。

2.5 基于 AI 的故障关联定位

底层硬件资源的虚拟化可以为虚拟网元的部署提供灵活的资源调度, 但这样的灵活性也给网络的运维带来了极大的挑战。在 NFV 的管理系统中, NFVO 负责整体的虚拟资源调度, VNFM 和 EMS 负责具体虚拟网元的业务和状态管理, VIM 负责虚拟层的资源状态管理。当出现网络故障时, 各个管理系统都会收到相应的故障信息, 但是如何综合这些信息进行具体的故障定位仍然十分困

难。相比于人工的故障判断,人工智能算法更擅长对网络故障后的状态信息进行判断和分类,是一种有效解决故障关联定位的方法。具体流程如下。

(1) MANO 中的各管理系统将历史故障点前后的网络状态信息发送到 AI 算法模块。

(2) AI 算法模块根据故障点前后的信息提取各类故障的特征,进行模型训练,给出故障分类。

(3) 出现网络故障时,根据 AI 算法模块的分类进行故障定位,并将处理结果反馈至 AI 模块进行进一步调优。

3 AI 在 NFVO 中的应用实践

3.1 NFVO 功能介绍

NFV 的整体架构如图 1 所示,其中管理平面有两个,即 OSS 和 MANO。OSS 负责业务层面的管理和编排,将用户对虚拟资源的需求发送给 MANO 进行处理,再经由 EMS 等底层业务管理平面对虚拟网元进行业务配置;MANO 负责所有虚拟资源的管理,包括底层虚拟计算、存储、网络资源的管理,VNF 生命周期管理以及虚拟资源的编排。在 MANO 中,NFVO 是整体的编排器,通过与 VNFM 和 VIM 的交互实现 VNF 生命周期的管理,包括 VNF 的创建、实例化、扩/缩容、治愈、终止、删除等;同时,NFVO 还从 VNFM 和 VIM 中收集与 VNF 相关的资源信息和性能信息,具有整合全局资源的能力。

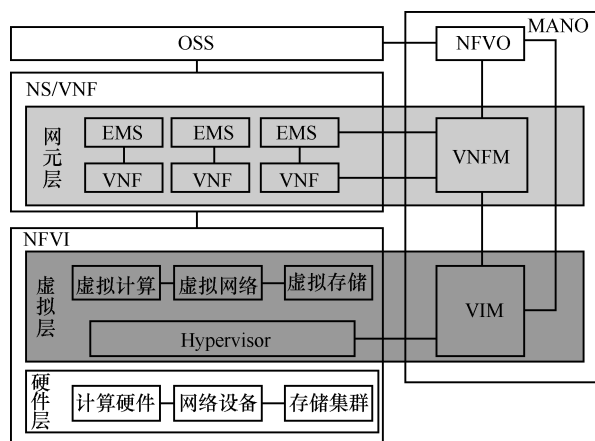


图 1 NFV 参考框架

3.2 基于机器学习的智能 VNF 生命周期管理

随着 5G、MEC、NFV/SDN 等网络技术应用的深入,新一代开放网络能够灵活实现电信运营商业务快速部署,传统的人工监控和调度方式已经不能满足新一代开放网络的需求,尤其是突发热点事件引起的流量突发。目前的解决方案是针对 VNF 设置自动扩/缩容策略,当 NFVO 监控的性能指标超过设置的阈值时,就自动执行 VNF 扩/缩容操作,以满足突发流量的需求。

然而,基于策略的扩/缩容方案在处理网络中的突发流量时存在一些问题:尽管 VNF 的部署相对专有硬件已经具有很高的灵活性,但是其部署时间仍然在分钟级,完成业务配置需要更多的时间;扩/缩容方案通常在一个资源池内部,缺少全局资源的调度,可能导致资源不足或资源分配不均衡。针对网络突发流量带来的问题,结合机器学习算法和 NFVO 的全局管控能力,本文提出了智能 VNF 生命周期管理方案。

3.2.1 流量预测模块

流量的历史数据是时间序列,本文采用 LSTM (long short-term memory, 长短期记忆) 算法对流量数据进行处理,根据历史数据和实时反馈的数据,预测下一阶段(实验中为 5 min)内的流量变化趋势,并反馈给 NFVO。处理流程如图 2 所示。

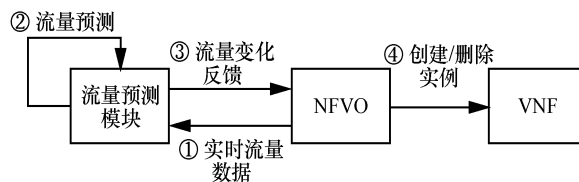


图 2 流量预测模块处理流程

(1) NFVO 收集 VNF 的实时流量数据,通过接口周期性地发送到流量预测模块,且发送周期远小于预测周期。

(2) 流量预测模块根据流量的历史数据和实时反馈的数据,对下一阶段的流量变化趋势进行预测。



(3) 流量预测模块将下一阶段的流量变化情况反馈到 NFVO。

(4) NFVO 根据下一阶段的流量变化情况进行决策。如果出现流量突发且超过单个 VNF 负载, 则创建新的 VNF 实例共同进行业务承载; 如果流量降低且已触发策略缩容条件, 则通知管理者是否进行缩容操作。

3.2.2 接口定义

流量预测模块与 NFVO 的交互流程采用 ETSI 标准中定义的 Os-Ma-Nfvo 接口流程, 本文在此之上对接口参数进行了进一步细化, 以实现流量预测模块与 VNF 生命周期管理流程的交互。与 VNF 生命周期管理相关的资源与对应的 HTTP 方法的映射关系见表 1。

表 1 VNF 生命周期管理资源与对应的 HTTP 方法的映射关系

资源名称	资源 URI	HTTP 方法	含义
VNF 实例	/vnf_instances/create	POST	创建 VNF 实例
	/vnf_instances/delete	POST	删除 VNF 实例

创建 VNF 实例的接口参数见表 2。

表 2 创建 VNF 实例的接口参数

参数名称	基数	含义
instanceName	1	VNF 实例名称
vnfdId	1	VNF 实例模板

删除 VNF 实例的接口参数见表 3。

表 3 删除 VNF 实例的接口参数

参数名称	基数	含义
instanceName	1	VNF 实例名称

4 实验与分析

4.1 流量数据与预测

为了测试本文使用的算法对流量变化趋势的预测能力, 本实验采用爬取的一段波动较大

的流量数据作为测试数据, 归一化的结果如图 3 所示。

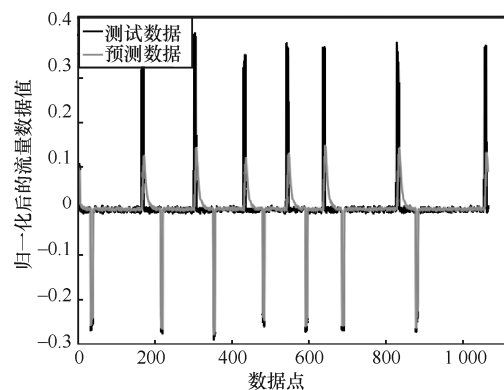


图 3 测试数据和预测数据对比

以 5 min 为一个数据点进行绘制。由图 3 可以看出, 预测数据在整体上对实际数据的预测都是较为精确的, 一些峰值点的预测值虽然存在较大偏差, 但是流量的变化趋势仍然符合时间变化情况, 因此根据预测流量数据的变化趋势指导 VNF 生命周期变化的方案是可行的。

4.2 流量预测模块与 NFVO 的结合

本实验中采用第 3 节内容定义的接口与中国电信股份有限公司北京研究院的 NFVO 系统 TeleNOS 进行联合实验。首先在 TeleNOS 中上传实验用的 VNF 模板, 如图 4 所示, 根据此模板创建一个 VNF, 监测其流量情况并反馈至流量预测模块, 由流量预测模块预测变化趋势, 当流量出现大幅度的增长时, 则针对实验中所监控的业务, 结合底层不同资源池的利用率情况, 利用创建 VNF 的接口选择利用率最低的资源池进行 VNF 实例的部署, 如图 5 所示。

VNF 实例的删除需要结合 TeleNOS 的 VNF 删除模块, 当流量预测模块预测到流量将大幅下降时, 会通知 TeleNOS 的 VNF 删除模块, 由 TeleNOS 监控实时流量, 在流量达到设定的阈值后再进行流量的迁移和 VNF 的删除, 以保证 VNF 实例删除流程的安全可靠, 在 TeleNOS 上的删除效果如图 6 所示。

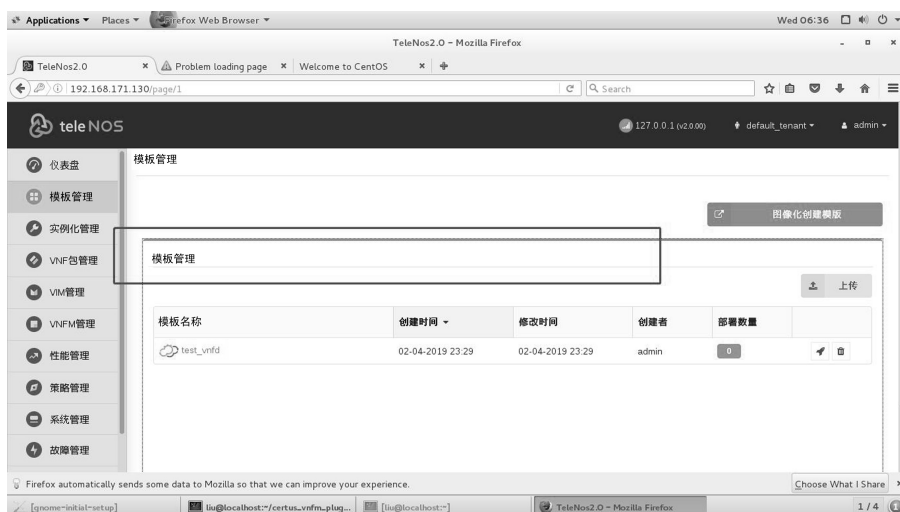


图4 实验所用的 TeleNOS 系统和 VNF 模板

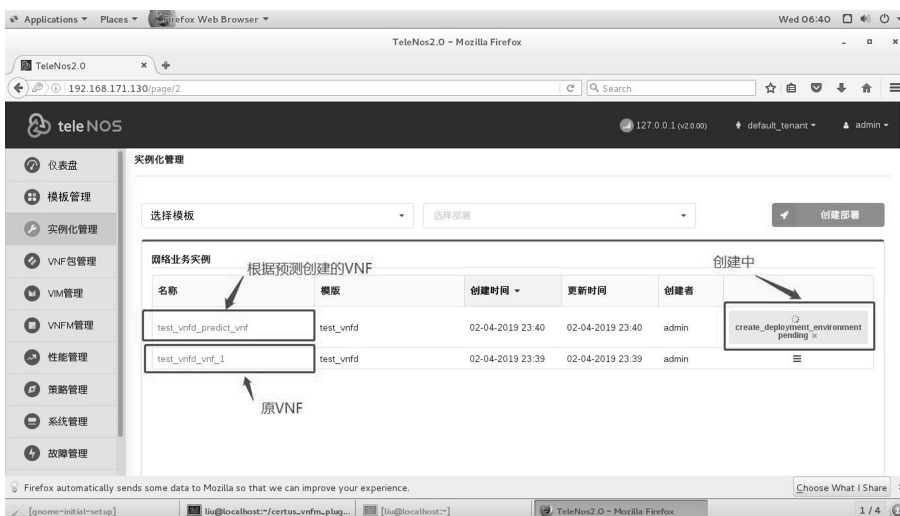


图5 根据流量预测模块自动创建的 VNF 实例示意图

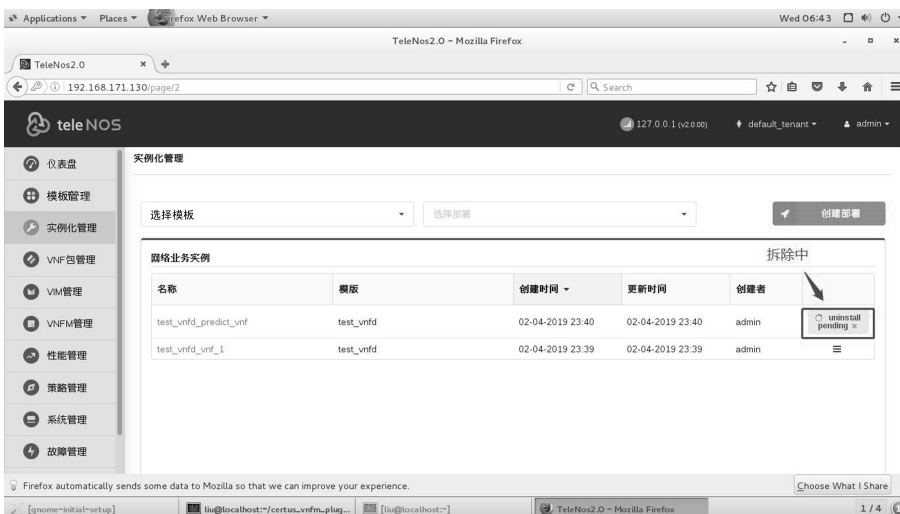


图6 根据流量预测模块自动删除的 VNF 实例示意图



5 结束语

与传统的设计方式相比,结合 AI 的 VNF 生命周期管理方案具有以下几点优势。

- 预测网络流量变化趋势,提前进行备用 VNF 的部署,有效缓解网络中的突发流量带来的冲击,提高了编排系统的敏捷性。
- 充分利用 NFVO 的全局视图,对底层虚拟化资源进行评估,避免网络突发流量导致的资源不足问题,同时提高资源利用率。
- 结合 NFVO 中基于策略的缩容技术,既可以提高资源的利用率,又有效避免缩容时的稳定性问题。

VNF 生命周期管理是 NFVO 的基本功能之一,随着 NFV 的逐渐落地,其管理和编排的业务也会越来越复杂,管理策略的设计也将更加困难。人工智能算法善于从海量数据中总结规律并预测发展,因此 AI 的应用是解决 NFV 复杂的管理问题的一个方向,可以让 NFV 更加敏捷化、智慧化。

参考文献:

- [1] ETSI. Protocols and data models; NFV descriptors based on TOSCA specification: network functions virtualization (NFV) Release 2[S]. 2017.
- [2] 王志宏, 杨震. 人工智能技术研究及未来智能化信息服务体系的思考[J]. 电信科学, 2017, 33(5): 1-11.
WANG Z H, YANG Z. Research on artificial intelligence technology and the future intelligent information service architecture[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(5): 1-11.
- [3] ETSI. Protocols and data models; RESTful protocols specification for the Os-Ma-nfvo reference point: network functions virtualization (NFV) Release 2[S]. 2017.
- [4] 马书惠, 毋涛. NFV 标准与开源技术现状[J]. 电信科学, 2016, 32(3): 43-47.
MA S H, WU T. Standards and open source technology of NFV[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(3): 43-47.
- [5] GREFF K, SRIVASTAVA R K, KOUTNÍK J, et al. LSTM: a search space odyssey[J]. IEEE Transactions on Neural Networks & Learning Systems, 2016, 28(10): 2222-2232.
- [6] 王海宁, 赵慧玲. NFVO 标准和实践[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 3-9.
WANG H N, ZHAO H L. NFVO standards and practice[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(4): 3-9.
- [7] FU Y, WANG S, WANG C X, et al. Artificial intelligence to manage network traffic of 5G wireless networks[J]. IEEE Network, 2018, 32(6): 58-64.
- [8] 赵慧玲, 史凡. SDN/NFV 的发展与挑战[J]. 电信科学, 2014, 30(8): 13-18.
ZHAO H L, SHI F. Development and challenge of SDN/NFV[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(8): 13-18.
- [9] 李晨, 段晓东, 陈炜, 等. SDN 和 NFV 的思考与实践[J]. 电信科学, 2014, 30(8): 23-27.
LI C, DUAN X D, CHEN W, et al. Thoughts and practices about SDN and NFV[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(8): 23-27.

[作者简介]



刘增义 (1992-), 男, 中国电信股份有限公司北京研究院新兴信息技术研究所 IP 与未来网络研究中心工程师, 主要研究方向为网络功能虚拟化、未来网络等。



雷波 (1980-), 男, 中国电信股份有限公司北京研究院新兴信息技术研究所 IP 与未来网络研究中心主任、高级工程师, CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会” 管理与运营组组长, 主要研究方向为未来网络架构、新型 IP 网络技术等。



杨明川 (1973-), 男, 中国电信股份有限公司北京研究院副总工程师、新兴信息技术研究所所长, 长期从事新技术、新产品的研发和管理工作, 主要研究方向为云计算、大数据和人工智能、区块链的研究与融合技术应用探索。