

## 基于 SDN-NFV 的移动核心网联动机制研究

谢 凡,李 勇,柳嘉强,苏 厉,金德鹏

(清华大学 电子工程系,北京 100084)

**摘 要:** 针对当前移动核心网中业务复杂僵化的问题,提出一种基于网络功能虚拟化及软件定义网络的联动机制,通过整合控制面信息,完成复杂业务的部署以及业务链与匹配策略的动态更新,实现从逻辑规则到转发流表的物理映射,保障基于业务链的通信模式,满足服务质量的需求。实验结果表明,该联动机制可以实现高效快速的业务链部署,有效满足移动网络对灵活性及可扩展性的要求。

**关键词:** 移动核心网;软件定义网络;网络功能虚拟化;业务链;联动机制

**中文引用格式:**谢 凡,李 勇,柳嘉强,等. 基于 SDN-NFV 的移动核心网联动机制研究[J]. 计算机工程,2017,43(2):144-149.

**英文引用格式:**Xie Fan, Li Yong, Liu Jiaqiang, et al. Research on Interaction Mechanism of Mobile Core Network Based on SDN-NFV[J]. Computer Engineering, 2017, 43(2):144-149.

### Research on Interaction Mechanism of Mobile Core Network Based on SDN-NFV

XIE Fan, LI Yong, LIU Jiaqiang, SU Li, JIN Depeng

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**[Abstract]** Aiming at the problem that present services are complicated and ragescent in the mobile network, this paper proposes an interaction mechanism based on Network Function Virtualization (NFV) and Software Defined Network (SDN). The system can achieve the complex services' deployment and dynamic updates of the service chain and matched policy by integrating the information get from the control plane, completing the physical mapping from logic rules to forwarding flows. It meets the demand for Quality of Service (QoS) based on the communication mode of service chain. Experimental result shows that the interaction mechanism proposed can achieve the efficient and rapid deployment of service chain which satisfies the mobile network requirements of flexibility and scalability.

**[Key words]** mobile core network; Software Defined Network (SDN); Network Function Virtualization (NFV); business chain; interaction mechanism

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.02.024

### 0 概述

经过三十多年的演进,移动通信已经成为人们生活中不可分割的一部分<sup>[1]</sup>。近年来随着 4G LTE 网络的全面部署,移动网络的发展尤其迅速。然而,由于用户数量的爆炸式增加及其对于服务质量要求的不断提高,导致当前移动网络中的业务模式变得十分复杂。如何对业务需求的变化作出动态的调整和部署是当前面临的一大难点。此外,对多元化的网络信息进行高效整合,实现联动策略的执行也是亟待解决的问题。这些都对移动核心网的发展提出

了严峻的挑战。

软件定义网络<sup>[2]</sup> (Software Defined Network, SDN) 是一种新兴的网络架构体系。其将数据平面和控制平面解耦合的概念以及逻辑集中式控制的思想,极大提升了网络的灵活性和可编程性。在 SDN 架构下,控制器可以直接获取数据面网络资源的状态,从而对底层变化做出动态响应。此外,由于转发规则可受控制器编程控制,因此可以根据不同的业务需求配置对应的转发规则,使得网络更加灵活。

网络功能虚拟化<sup>[3]</sup> (Network Function Virtualization,

**基金项目:** 国家“973”计划项目“智慧协同网络基础理论研究”(2013CB329105)。

**作者简介:** 谢 凡(1991—),男,硕士研究生,主研方向为软件定义网络、网络功能虚拟化;李 勇,助理教授、博士;柳嘉强,博士研究生;苏 厉,副教授、博士;金德鹏,教授、博士。

**收稿日期:** 2016-01-22 **修回日期:** 2016-03-09 **E-mail:** xiefan19910511@163.com

NFV)旨在通过利用标准的 IT 虚拟化技术将各类网络功能(Network Function, NF)放置到通用的商业网络硬件中。通过这项技术,使得在网络的特定位置部署相应 NF 变得更加高效快速<sup>[4]</sup>。以 NFV 技术为基础,结合 SDN 网络架构及 NF 数控分离的方案,提升了网络的智能控制能力。

本文针对移动网络中当前面临的主要挑战,提出一种基于 SDN-NFV 的移动核心网联动机制。通过对网络资源、计算资源及 NF 资源的信息联动,完成业务链(Service Chain)的生成及匹配策略的制定,实现从逻辑规则到转发流表的物理映射。通过实现以上联动机制,解决当前移动核心网中复杂业务动态调整的问题,完成原型系统搭建与部署,并对其联动机制的功能和性能进行了测试。

## 1 面临挑战及研究现状

### 1.1 面临的挑战

随着移动网络用户的不断增加以及服务质量要求的不断提高,导致当前移动核心网中业务数量巨大、业务模式繁杂<sup>[5]</sup>,同时呈现出时空不均匀的特性<sup>[6]</sup>。然而,当前的移动网络架构过于僵硬固化,无法进行高效灵活的业务部署和调整<sup>[7]</sup>。NFV 及 SDN 技术的引入,提升了网络的灵活性和可扩展性。

然而,新的架构带来了新的挑战,如何设计合理的系统结构、整合各项资源以完成联动机制、实现复杂业务的部署就成为目前亟待解决的问题。此外,当前提供的服务存在业务驱动和用户驱动 2 种模式,根据不同的模式需要匹配不同的策略。如何更好地制定联动机制,将流分类策略与业务链结合起来以实现网络的动态部署和调整也是当前面临的挑战。

### 1.2 研究现状

目前,研究人员将 NFV 及 SDN 技术引入移动核心网中,因此学术界更加关注架构方面的研究。文献[8]在 NFV 和 SDN 的基础上研究核心网结构的演进及应用领域;文献[9]探讨了将 NFV 架构引入下一代移动网络所带来的挑战和需求,提出了虚拟 EPC(vEPC)的概念;文献[10]分析了将 SDN 及 NFV 技术引入当前通用的移动网络所带来的架构变化;文献[11]提出了基于软件定义移动网络(SDMN)的移动核心网和承载网结构。

还有一些研究者致力于分析具体的应用技术。文献[12]提出基于 SDN 的多种部署架构以实现 LTE 网中 EPC 功能的虚拟化;文献[13]以核心网中业务为导向,研究动态 Service Chaining

的关键技术,并分析了对应挑战。该文献介绍了动态业务链的总体架构、控制面逻辑业务链的生成及数据面业务链的转发方案,但并未对控制面具体的联动模式以及数据面对应的操作进行深入的讨论和研究。

## 2 平台设计与架构

为应对上述挑战,本文设计并实现了基于 SDN-NFV 的具有联动机制的移动核心网平台。下面分别对设计目标、控制平面整体结构以及各模块基本功能、数据平面的基本结构进行介绍。

### 2.1 目标设计

平台设计的总体目标是通过 SDN 及 NFV 技术的引入以实现网络联动机制,完成对移动核心网复杂业务链的支持,同时满足其动态性和可扩展性。具体目标如下:

1)整合控制面资源,实现联动机制。SDN 及 NFV 的引入为控制面进行决策提供了更多的信息参考及资源支持。如 NF 数控分离实现后 NF 控制器获取的对应数据面信息,SDN 控制器获取的网络资源信息以及计算资源管理器获取的计算资源信息。需要整合这些资源信息,完成控制面模块高效联动,实现对计算资源和传输资源的控制。

2)完成基于业务链的通信模式。在移动核心网中,基于业务链的通信模式已经成为其中一项必要功能。通过有效的联动机制可以完成逻辑业务链及匹配策略到物理转发路径的映射,引导特定的数据流经过必要的网络功能组件(即 NF)以保障服务质量,完成基本的业务链通信。

### 2.2 平面结构控制

控制平面负责实现联动机制的策略制定,满足设计目标的控制平面结构如图 1 所示,主要包含 NF 控制器、SDN 控制器、计算资源管理器以及策略生成器等模块。

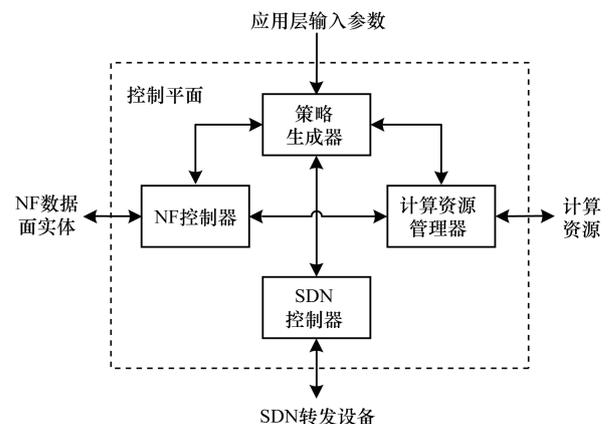


图 1 平台控制平面结构

### 2.2.1 NF 控制器

在本文提出的平台中,为适应 SDN 数据平面与控制平面解耦合的架构,引入了 NF 数控分离的概念。通过将 NF 的控制功能抽象分离出来,形成逻辑统一的控制器,负责规则的制定以及对相关数据面的管理和工作状态的感知;底层的 NF 设备接受对应 NF 控制器的控制和管理,通过收到的规则完成必要的操作。在控制平面中,各 NF 控制器将必要的 NF 数据面信息通过 RestAPI 传递给策略生成器,为业务链和匹配策略的产生提供必要信息。NF 控制器也可以经由 RestAPI 向计算资源管理器发出请求,如增/删 NF 数据面实体,以达到动态调控对应 NF 数据面的目的。

### 2.2.2 SDN 控制器

SDN 控制器负责管理和控制底层的网络资源。通过特定的南向接口(如 OpenFlow<sup>[14]</sup>)与数据面的转发设备通信,获取当前的网络拓扑;同时生成和下发转发规则,引导数据流的转发。因此,SDN 控制器在平台中负责接收策略生成器所产生的逻辑业务链及匹配策略,并将其转化为对应流表,实现到物理转发路径的映射。

### 2.2.3 计算资源管理器

计算资源管理器直接负责底层计算资源的管理,所有对于计算资源如虚拟 NF 数据面的操作都需要交由该模块来执行。基于其主要特性,策略生成器可以通过相关接口获取必要的计算资源信息以辅助联动策略的制定。

### 2.2.4 策略生成器

策略生成器作为控制平面结构中最最重要的一个模块,负责具体业务链的产生以及匹配策略的制定。策略生成器本身具有静态配置业务链及匹配策略的功能,可以进行预先的设置。更重要的是,通过整合控制平面其他模块中的信息,可以实现网络联动机制,进行即时业务链的生成以及策略的动态匹配。

策略生成器与控制平面其他各个模块均有信息交互:通过 NF 控制器获取 NF 数据面实体的工作状态;通过 SDN 控制器获取当前网络状态;通过计算资源管理器获取计算资源的使用情况。此外,策略生成器还向上层应用提供接口,以获取其他必要的输入参数。通过这些信息输入,策略生成器可以满足当前网络、计算资源以及服务质量的前提下,实现最优的 NF 联动策略以及业务链的动态调控。

## 2.3 数据平面结构

在 SDN 及 NFV 的思想下,数据平面的结构较为简单,主要分为网络资源、计算资源及 NF 数据面实体 3 个部分。网络资源中主要是网络转发设备,负责实现数据转发和网络状态汇报;NF 数据面实体作为网络功能中间件,实现 NF 的具体功能;计算资源作为底层设备的承载容器,提供 CPU、存储等必要的计算资源。这里网络转发设备及 NF 数据面实体既可以依托物理硬件实现,也可以通过虚拟化技术实现。在典型的数据中心架构下,转发设备及 NF 数据面实体均可以虚拟化的形式由计算资源提供。图 2 是集成虚拟化功能的数据平面结构。

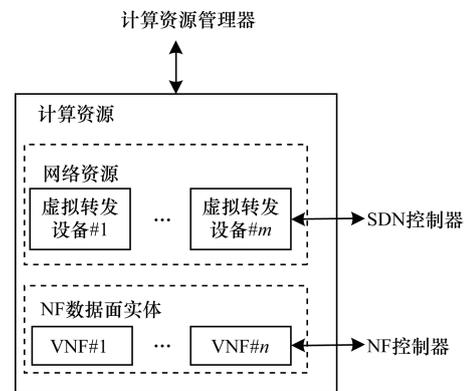


图 2 平台计算平面结构

## 3 原型系统

按照上述架构设计方案,本文搭建了对应的原型系统。下面将从系统整体的结构、网络控制系统、计算资源平台以及原型系统验证等方面进行介绍。

### 3.1 系统结构

平台原型系统的整体结构如图 3 所示。在控制平面中,SDN 控制器以开源项目 OpenDaylight<sup>[15]</sup>为主体,计算资源管理器则由开源云平台 OpenStack<sup>[16]</sup>中的管理节点负责,策略生成器依托 OpenDaylight 进行开发,而各 NF 控制器则根据功能要求进行单独的开发设计。在整个系统中,有一台服务器作为 OpenStack 管理节点,一台服务器作为 OpenDaylight 控制器及策略生成器,各 NF 控制器可与 OpenDaylight 控制器在一台服务器中实现,也可以在其他服务器中单独启动。数据平面整体依托 OpenStack 搭建底层网络:OpenStack 计算节点负责计算资源的承载和规划,各 NF 数据实例以虚拟机的形式在 OpenStack 中运行,网络转发设备也在 OpenStack 中作为 Open vSwitch<sup>[16]</sup>虚拟化实现。其中,每一个计算节点均运行在一台服务器中。

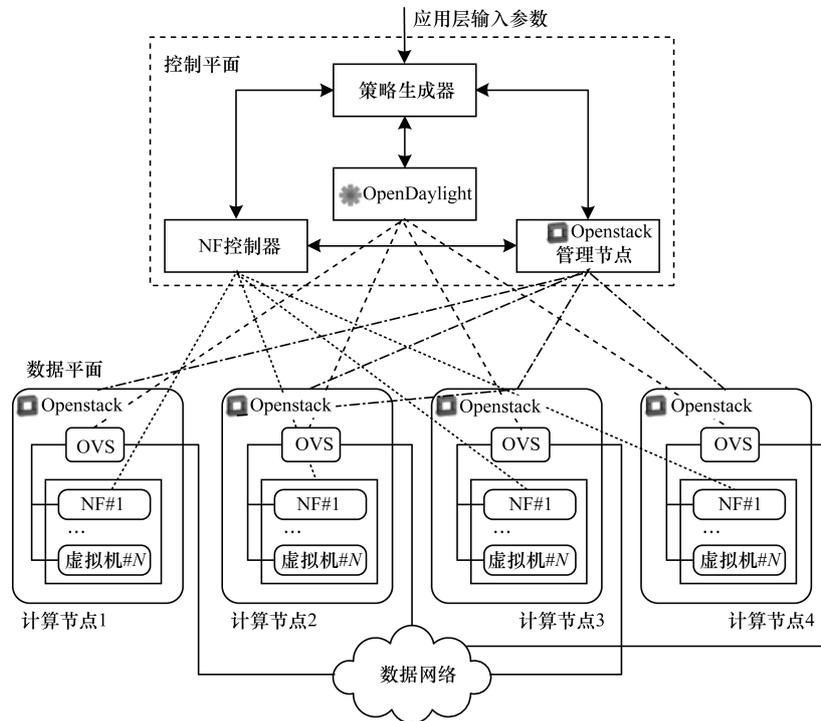


图 3 原型系统结构

### 3.2 网络控制系统

网络控制系统的核心是 OpenDaylight 控制器，它通过控制网络与各虚拟转发设备连接，从而获取当前网络状态，并对转发策略进行配置。在实现的原型系统中，OpenDaylight 控制器最重要的作用是完成业务链以及匹配策略所映射的流表的生成和下发。为适应平台环境，对 OpenDaylight 控制器进行了一定程度的裁剪和开发。

### 3.3 计算资源平台

在计算资源平台方面，以开源 OpenStack 系统中计算节点作为主体。计算节点负责部署虚拟机运行的相关组件，这里包括了虚拟转发设备 OpenvSwitch。计算节点之间通过物理交换机进行数据通信，所有的计算节点均接受计算资源管理器，即管理节点的控制管理。

### 3.4 原型系统验证

#### 3.4.1 业务链的建立

为实现对原型系统功能和性能的验证，本文设计基于用户驱动的服务案例，有 2 个用户 A 和 B。用户 A 需要经过防火墙、NAT、计费、包检测等功能组件，而用户 B 仅需要最基本的通信服务。将这些需求作为参数输入到原型系统中，控制平面下的策略生成器会首先完成业务链的配置，对应的设定如表 1 所示。

表 1 业务链设定

用户	需求(需要经过的 NF)	业务链
A	DPI, Firewall, Meter, NAT	Chain1
B	DPI, Meter	Chain2

在用户驱动的模式下，用户 A 的所有流量依次经过虚拟的网络功能中间件 DPI（深度包检测）、Firewall（防火墙）、Meter（计费）和 NAT（网络地址转换）；同理，用户 B 的所有流量必须依次经过 DPI 和 Meter。

在完成业务链配置后，策略生成器通过 NF 控制器及计算资源管理器掌握对应 NF 数据面实例的部署情况。若对应 NF 已经部署且当前可用，则选定该实例；若需要的 NF 尚未部署或当前不可用，则通知 OpenStack 创建新的实例并启动。在本文案例中，系统首先处理用户 A 的业务链 Chain1，完成 DPI、防火墙、计费以及 NAT 的部署和配置；随后选定已有的 DPI 和计费，作为用户 B 的业务链 Chain2，由此完成所有业务链的部署和映射。

图 4 描述了在 OpenStack 下用户、服务器及虚拟网络功能中间件实际部署的情况。基于此网络拓扑，得到业务链的平均部署时间如表 2 所示。可以看到，由于业务链之间包含的 NF 种类及数量不同，导致其实际部署时间也不尽相同。

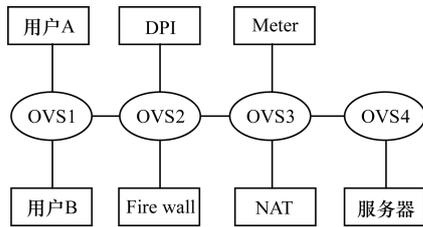


图4 原型系统验证测试网络拓扑

表2 业务链平均部署时间 ms

用户	业务链	平均部署时间
A	Chain1	390
B	Chain2	228

### 3.4.2 匹配策略建立

在业务链建立完成后,原型系统会根据需求生成对应的匹配策略。具体来说,策略生成器接收到必要的输入数据,结合已经生成的业务链以及当前网络的信息,生成对应流表并下发。通过匹配策略的设定,可以将满足要求的流全部导向对应业务链,以满足服务需求。在本文实验中,具体的匹配规则如表3所示,用户A的所有数据流将导向Chain1,同理,用户B的流将导向Chain2;而匹配策略的平均部署时间如表4所示,可以看到,由于不涉及复杂的算法与底层计算资源的调度,匹配策略的生成时间较短且相差不大。这样,结合表1及表3,可以实现完整的基于用户的业务链通信模式;而结合表2、表4,则可以获得业务链通信的部署时间。

表3 匹配策略设定

策略	匹配规则	匹配业务链
Policy1	source IP = A. IP or destination IP = A. IP	Chain1
Policy2	source IP = B. IP or destination IP = B. IP	Chain2

表4 匹配策略平均部署时间 ms

用户	匹配策略	平均部署时间
A	Policy1	95
B	Policy2	88

### 3.4.3 服务延时与带宽

为实际测试业务链的功能和性能,分别通过用户A和用户B向服务器发出数据请求,测试对应的平均延时和带宽。通过分析容易得出:由于用户A经过的业务链较长,对应的转发路径也较长,因此平均延时要更长;由于网络对于带宽没有限制,因此在原型系统中带宽与延时有一定的关系,对应业务链Chain2的带宽较高。最后的测试数据如

表5所示,可以看到,实际的数据与预测一致。在本文验证系统中,由于各NF尚未完成实际的功能,因此NF实例的处理延时可以忽略不计。在实际情况下,由于NF的功能不同,导致其对于网络有着不同程度的影响。所以,实际业务的延时与带宽不仅与链路的延时和带宽限制相关,还与业务链中NF的类型和数量有着紧密的联系。

表5 业务链平均延时与带宽

用户	业务链	平均延时 /ms	平均带宽 / $(\text{Mb} \cdot \text{s}^{-1})$
A	Chain1	11.050	29.86
B	Chain2	8.478	35.78

### 3.4.4 业务链切换

为进一步测试原型系统的性能,接下来对业务链的切换进行测试。假设用户B对其业务需求进行了升级,增加了防火墙功能。此时需要通过策略生成器生成和部署新的业务链,而用户B的业务中断时间即为业务链的切换时间,如图5所示,最后得到的平均切换时间为99.42 ms。

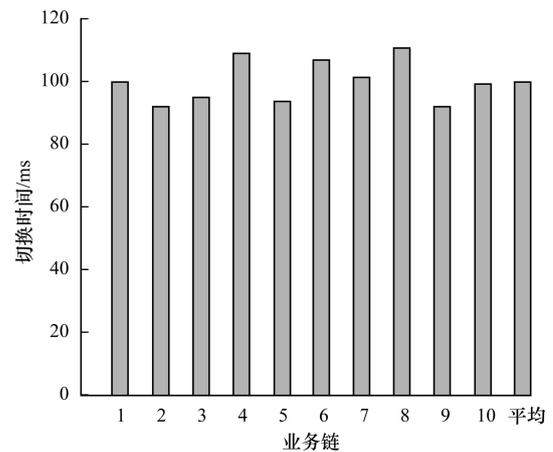


图5 业务链切换时间

在本文系统中,策略生成模块首先接收到业务链切换的请求及相关数据,得到新的业务链Chain3,其经过的NF分别为DPI,Firewall以及Meter;接着通过映射算法将其转化为对应流表并下发;随后修改用户B的匹配策略Policy2,使其指向新的业务链Chain3。由此,业务链的切换完成。相比于直接更改业务链的方案,这样做可以缩短由于业务链切换而造成的业务中断时间。业务链Chain2此时部署但未激活,可以视情况继续保留在系统中或将其删除。

业务链切换完成后,业务的延时与带宽如表6所示。将其与表5对比可以看到,由于切换前后用

户 A 对应的业务链及通信业务没有变化,同时对于网络和计算资源的利用率远远低于阈值,因此对应的平均延时与带宽基本不变;而由于转发路径以及服务 NF 的增加,导致用户 B 对应业务的平均延时有一定增加,对应的平均带宽则有一定程度的降低。

表 6 切换后业务链平均延时与带宽

用户	业务链	平均延时 /ms	平均带宽 /(Mb · s <sup>-1</sup> )
A	Chain1	11.473	29.13
B	Chain3	10.068	32.45

#### 4 结束语

针对当前移动核心网中业务复杂僵化的问题,本文提出一种基于 NFV 及 SDN 的联动机制整合控制面信息,通过策略更新及业务链部署的方式实现对数据平面的动态调控<sup>[17]</sup>。基于平台整体的架构设计,完成原型系统的搭建。实验结果表明,本文提出的联动机制可以进行高效快速的业务链部署,体现了系统的灵活性及可扩展性。随着用户需求的日益提高,下一步需要优化系统结构及相应算法,以实现更加快速的应用切换以及更高的服务质量。此外,为完善平台功能,需要对 NF 的数控分离实现做进一步的开发。

#### 参考文献

- [ 1 ] IMT-2020 (5G) Promotion Group. White Paper on 5G Concept [ EB/OL ]. ( 2015-02-11 ). <http://www.imt-2020.org.cn/zh/documents/download/25>.
- [ 2 ] Open Networking Foundation ( ONF ). Software-defined Networking; The New Norm for Networks [ EB/OL ]. ( 2012-04-13 ). <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-nenorm.pdf>.
- [ 3 ] Chiosi M, Clarke D, Willis P, et al. Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges and Call for Action [ EB/OL ]. ( 2012-10-20 ). <http://www.etsi.org>.
- [ 4 ] Basta A, Kellerer W, Hoffmann M, et al. Applying NFV and SDN to LTE Mobile Core Gateways, the Functions Placement Problem [ C ]//Proceedings of the 4th Workshop on All Things Cellular: Operations, Applications, & Challenges. New York, USA: ACM Press, 2014: 33-38.
- [ 5 ] Nguyen V G, Do T X, Kim Y H. SDN and Virtualization-

- based LTE Mobile Network Architectures; A Comprehensive Survey [ J ]. *Wireless Personal Communications*, 2016, 86(3): 1401-1438.
- [ 6 ] Yang M, Li Y, Jin D, et al. OpenRAN: A Software-defined Ran Architecture via Virtualization [ J ]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2013, 43(4): 549-550.
- [ 7 ] Yang M, Li Y, Jin D, et al. Software-defined and Virtualized Future Mobile and Wireless Networks: A Survey [ J ]. *Mobile Networks and Applications*, 2015, 20(1): 4-18.
- [ 8 ] 薛 森,符 刚,朱 斌,等.基于 SDN/NFV 的核心网演进关键技术研究 [ J ]. *邮电设计技术*, 2014 ( 3 ): 16-22.
- [ 9 ] Hawilo H, Shami A, Mirahmadi M, et al. NFV: State of the Art, Challenges, and Implementation in Next Generation Mobile Networks [ J ]. *IEEE Network*, 2014, 28(6): 18-26.
- [ 10 ] Costa-Requena J, Santos J L, Guasch V F, et al. SDN and NFV Integration in Generalized Mobile Network Architecture [ C ]//Proceedings of European Conference on Networks and Communications. Washington D. C. , USA: IEEE Press, 2015: 154-158.
- [ 11 ] Pentikousis K, Wang Y, Hu W. Mobileflow: Toward Software-defined Mobile Networks [ J ]. *IEEE Communications Magazine*, 2013, 51(7): 44-53.
- [ 12 ] Basta A, Kellerer W, Hoffmann M, et al. A Virtual SDN-enabled LTE EPC Architecture: A Case Study for S-/P-Gateways Functions [ C ]//Proceedings of 2013 IEEE SDN for Future Networks and Services. Washington D. C. , USA: IEEE Press, 2013: 1-7.
- [ 13 ] 薛 森,符 刚.基于 SDN/NFV 的 Service Chaining 关键技术研究 [ J ]. *邮电设计技术*, 2015 ( 2 ): 1-6.
- [ 14 ] McKeown N, Anderson T, Balakrishnan H, et al. OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks [ J ]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2008, 38(2): 69-74.
- [ 15 ] Medved J, Varga R, Tkacik A, et al. OpenDaylight: Towards a Model-driven SDN Controller Architecture [ C ]//Proceedings of the IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Washington D. C. , USA: IEEE Press, 2014: 1-6.
- [ 16 ] Sefraoui O, Aissaoui M, Eleuldj M. OpenStack: Toward an Open-source Solution for Cloud Computing [ J ]. *International Journal of Computer Applications*, 2012, 55(3).
- [ 17 ] 李鹤飞,黄新力,郑正奇.基于软件定义网络的 DDoS 攻击检测方法及其应用 [ J ]. *计算机工程*, 2016, 42(2): 118-123.