

网络功能虚拟化资源配置及优化研究综述*

邵维专, 吕光宏

(四川大学 计算机学院, 成都 610065)

摘要: 网络功能虚拟化(network functions virtualization, NFV)利用虚拟化技术将网络功能从专用硬件中分离形成虚拟网络功能,然后把虚拟网络功能映射到通用服务器、交换机或者存储器中,能有效地降低网络投资成本和运营成本,并提高网络服务部署的灵活性。网络功能虚拟化资源配置是实施NFV需要解决的一个关键问题。为深入剖析网络功能虚拟化资源配置,介绍了NFV的体系结构,重点阐述了资源配置的三个阶段及资源配置的优化,最后对高效资源配置面临的挑战和有价值的研究方向进行了思考,为NFV的研究提供参考。

关键词: 网络功能虚拟化; 虚拟网络功能; 软件定义网络; 资源配置; 优化

中图分类号: TP393.07 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2018)02-0321-06

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2018.02.001

Survey on NFV resource allocation and optimization

Shao Weizhuan, Lyu Guanghong

(College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Network functions virtualization(NFV) utilizes virtualization technology to separate network functions from dedicated hardware into virtual network functions, and then maps virtual network functions to general-purpose servers, switches or storage. NFV has the potential to lead to significant reductions in capital expenditure(CAPEX) and operating expense(OPEX) and improve the flexibility of the deployment of network services. One of the key problems that need to be addressed to implement NFV is NFV resource allocation. In order to deeply analyze NFV resource allocation, this paper introduced the architecture of NFV, focused on the three stages of resource allocation and optimization of resource allocation. Finally, the challenges and the valuable directions of efficient resource allocation were also thought as references for the research of NFV.

Key words: network functions virtualization; virtual network function; software-defined networking; resource allocation; optimization

0 引言

传统网络中,企业网络和电信运营商为了提供多种服务,需要部署大量的QoS监视器、负载均衡器、防火墙、入侵检测系统等需要物理部署的特定设备来实现特殊的网络功能(network function, NF),这些设备被称为中间盒或者中间件(middle-box)。网络数据流需要穿过的这组有序NFs被称为网络功能链(网络服务链或服务功能链)。资料显示,企业网络中使用的中间盒数量已经与L2/L3使用的转发设备相当^[1]。各网络功能组成了严格而僵硬的网络功能链,这种缺陷体现在网络拓扑和服务提供元件的位置固定上,要修改网络功能链就意味着修改网络拓扑或者改变中间盒的连接。在提供新服务时,面临着部署和升级物理基础设施带来的巨大投资成本和运营成本^[2]。因此,产业界就希望能设计一种支持动态建立、具备服务感知功能的新型网络架构,以提升网络服务的灵活性,降低网络的投资成本和运营成本。网络功能虚拟化(NFV)作为一种源于工业的网络体系结构,利用虚拟化技术^[3]为未来网络设计提供了一种新的网络设计思路,其主要思想是将网络功能的软件实现部分从底层的硬件中解耦并迁移到虚拟平台上,通过软件运行在符合工业标准的服务器、存储器、交换机等通用

硬件设备上实现传统网络专用硬件设备的功能^[4]。如图1所示,虚拟设备可以根据需求动态进行实体化,而不需要加装具体的物理设备。总的来说,使用NFV技术提供网络服务与现存高度依赖硬件设备的网络服务方式相比有以下优势:分离软件和硬件,实现软硬件独立发展;提供灵活的网络功能部署,实现服务快速提供;具有动态可扩展性,实现流量细粒度控制和高效节能。

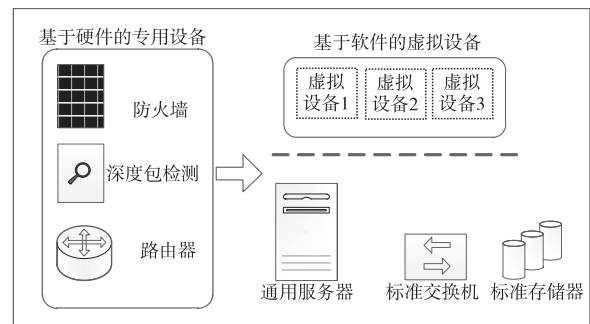


图1 网络功能虚拟化示意图

软件定义网络(software-defined networking, SDN)是另一项为解决传统网络僵化问题,满足多样化、动态的网络服务需求而产生,近些年来持续受到工业和学术界关注的技术。SDN的核心思想是将网络的控制与转发功能分离,实现逻辑集中且

收稿日期: 2017-01-08; 修回日期: 2017-03-10 基金项目: 国家“863”计划资助项目(2008AA01Z105)

作者简介: 邵维专(1988-),男,硕士研究生,主要研究方向为网络虚拟化、软件定义网络(623889227@qq.com); 吕光宏(1963-),男,教授,博士(后),主要研究方向为软件定义网络、网络虚拟化、网络性能分析。

可编程的网络控制^[5]。SDN 体系结构的关键组件包括由网络资源组成的负责数据转发的数据平面,它由一个或者多个 SDN 控制器(controller)组成,提供网络资源逻辑集中控制的控制平面以及对网络进行编程操作的应用平面。这种控制与转发解耦的架构使网络控制简化而加强、网络管理灵活而高效,极大地提高了网络服务性能。NFV 与 SDN 具有相同的目标、相似的理念,都具有促进网络创新、创造、开放、竞争等特色,不互相依赖但能在技术上实现互补^[6,7]。在未来网络中融合 SDN 和 NFV 将催生兼具两种技术优势的创新型网络设计,这方面的研究正得到了广泛关注。标准化组织正在致力于将 NFV/SDN 引入到 5G 网络中,下一代移动网络(next generation mobile networks, NGMN)设想将 NFV/SDN 应用于虚拟移动核心网络,实现高效的网络管理^[8]。

1 网络功能虚拟化体系结构设计

2012 年由包括中国移动在内的七大世界领先电信网络运营商发起,由欧洲电信标准协会(ETSI)成立的 NFV 行业规范工作组(ISC)引领了 NFV 的标准化工作。NFV ISC 宣称 NFV 技术能为网络运营商和客户带来以下好处:a)通过减少设备开支和降低能耗来降低运营商的投资成本和运营成本;b)缩短新的网络技术的上市时间;c)提升新网络服务的投资回报;d)增强网络的伸缩性;e)提供开放的虚拟设备市场和软件市场;f)提供在较低风险下实验和部署新服务的机会。ETSI NFV 体系结构包括三个关键元素:网络功能虚拟化基础设施(network functions virtualization infrastructure, NFVI)、虚拟网络功能及服务(VNF and services)和网络功能虚拟化管理和编排(NFV-MANO)^[9,10],如图 2 所示。

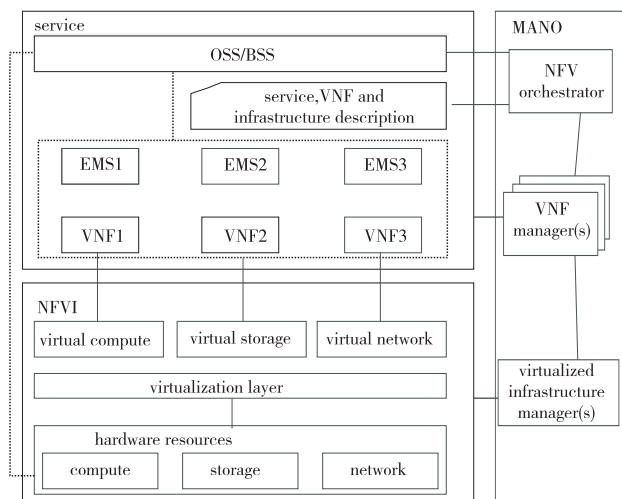


图2 网络功能虚拟化体系结构

1.1 网络功能虚拟化基础设施

NFVI 包括硬件和软件资源,构成了虚拟网络功能部署的支撑环境。硬件资源包括商用计算硬件、存储器和网络(由节点和链路构成),分别为虚拟网络功能提供处理、存储和连接功能。而虚拟资源是通过利用虚拟化层实现对硬件资源的抽象,确保 VNF 的生命周期独立于底层物理平台。虚拟化层功能通常使用 VM 和 hypervisor 来实现,并且可把 hypervisor 部署于数据中心、网络节点或者用户终端^[11]。

1.2 虚拟网络功能及服务

NF 是指网络实体实现的特定功能,而 VNF 是网络功能在

虚拟资源(如虚拟机)上的网络功能的实现。它通常由单元管理系统(EMS)管理,负责虚拟网络功能的创建、配置、监视、性能、安全等工作。单个 VNF 可能由多个内部组件构成,因此这些内部组件可能分布于多个虚拟机上。服务是多个 VNF 的有序集合,可以通过一个或者多个虚拟机来实现。但是从用户的角度看,这些服务性能与使用专用硬件设备所提供的一样。

VNF 可以修改经过它的网络数据流。例如,负载均衡器能分离进入的数据流,视频转码器能对视频进行编码形成更高或者更低的数据率,防火墙可以过滤掉部分数据包。图 3 呈现了一个由五个 VNF 组成的网络服务,经过它的网络数据流必须依次穿过防火墙、深度包检测、加密、网络监视和解密功能单元。

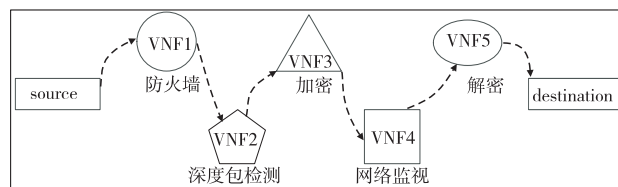


图3 多个虚拟网络功能组成的服务链

1.3 网络功能虚拟化管理和编排

NFV-MANO 在 NFV 体系结构中扮演了十分重要的角色,是保证网络功能虚拟化基础设施资源(NFVI)和虚拟网络功能正确操作的关键。它由网络功能虚拟化编排器(NFV orchestrator)、虚拟网络功能管理器(VNF manager)和虚拟化基础设施管理器(virtualized infrastructure manager, VIM)组成^[12]。NFV orchestrator 负责网络服务和虚拟网络功能包的形成、网络服务生命周期管理、全局资源的管理、NFVI 请求的认证与授权等;VNF manager 负责虚拟网络功能实例的生命周期管理、NFVI 与 EMS 之间的协调;VIM 负责 NFVI 计算资源、存储资源和网络资源的控制与管理。文献[10]中提到,OpenMANO 是一个遵循 ETSI 标准的开源 MANO 架构,它由三个主要构件组成:openmano, openvim 和 GUI。Openmano 基于 REST 的北向接口(OpenMANO API)提供虚拟网络功能模板、实例及网络服务模板、实例的创建与删除服务;Openvim 负责与 NFVI 中的计算和存储节点交互,同时通过与 OpenFlow^[13]控制器交互创建底层网络拓扑;GUI 以图形和用户友好的方式与 OpenMANO API 进行交互,还为高级用户提供了命令行界面。

1.4 支持 SDN 的 NFV 架构研究

目前,很多研究都在致力于 NFV 和 SDN 的协同,渴望设计集成两者的架构。文献[14]用分类法阐述了 NFV 与 SDN 关系的发展历程,并用 FlowNAC 例证了支持 SDN 的 NFV 架构的可用性。文献[15]呈现了爱立信云实验室遵循 ETSI NFV 标准且集成了 NFV 和 SDN 的 NFV 架构,展示了博洛尼亚大学利用爱立信云实验室环境(the Ericsson cloud lab environment)进行了 SDN 控制下的 NFV 动态部署实验。文献[16]中提出了通过集成 NFV 和 SDN 实现移动网络的灾难快速恢复,提高快速应对网络改变的能力。文献[6,7]都提出了集成 NFV 和 SDN 的架构设计。

2 网络功能虚拟化的资源配置

尽管 NFV 被寄予厚望,如何进行快速、高效和可扩展的资源配置以满足网络服务需求,是 NFV 部署所面对的主要挑战

之一,称做 NFV 资源配置(NFV resource allocation, NFV-RA)。本章内容分成两部分,首先回顾已得到充分研究的虚拟网络映射(virtual network embedding, VNE)^[17]问题,阐述 VNE 与 NFV-RA 之间存在的区别;然后重点呈现 NFV-RA 的三个阶段。

2.1 虚拟网络映射问题

受虚拟化技术在计算领域取得成就的启示,虚拟化在通信网络中的应用已成为一个研究热点。网络虚拟化允许在共享底层网络资源的基础上建立多个独立、异构的虚拟网络,使服务提供商(service provider, SP)能够根据用户需求提供可定制的个性化服务。根据基础设施提供商(infrastructure provider, InP)当前资源情况,通过映射算法在虚拟网络构建需求与底层网络之间进行匹配,为带有节点和链路约束的虚拟网络请求分配合理的底层节点和链路资源被称为虚拟网络映射。将虚拟网络映射到底层网络是网络虚拟化资源配置需要解决的一个主要问题,它是一个 NP-hard 问题^[18,19]。虚拟网络映射问题的解决通常着眼于启发式算法或者元启发式算法的设计,并且在求解混合整数线性规划时最小化网络复杂度。文献[20~22]较为系统地综述了虚拟网络映射问题,其内容及研究方法对研究 NFV-RA 提供了很好的参考。

VNE 问题与 NFV-RA 问题属于同一领域,都是为了实现虚拟资源请求在底层物理网络基础设施上的高效配置。然而,它们之间也存在以下不同点:a) VNE 的虚拟网络拓扑是静态的,节点是固定的,且各节点顺序是提前设定好的,而 NFV-RA 的网络拓扑根据虚拟服务请求(virtual network functions requests, VNFR)而定;b) VNE 的带宽、计算资源等需求是静态不变的,但 NFV-RA 的资源需求根据业务流量负载而定;c) VNE 中的一个虚拟节点代表底层网络中的一个独立的虚拟机,但在 NFV-RA 时,多个相同类型的 VNF 可共享一个虚拟机;d) VNE 仅仅是网络设备的映射,而 NFV-RA 过程中的映射问题涵盖了网络、计算、存储设备的映射。

2.2 网络功能虚拟化资源配置

文献[9]提出, NFV 架构中编排器进行资源配置包括三个阶段,即虚拟网络功能链的构建(VNF chain composition, VNF-CC)、虚拟网络转发图的映射(VNF forwarding graph embedding, VNF-FGE)和虚拟网络功能调度(VNF scheduling, VNF-SCH)。

2.2.1 虚拟网络功能链的构成

在 NFV 架构中,由若干个虚拟网络功能组成的一个端到端的网络服务链叫做虚拟网络功能转发图(virtual network function forwarding graph, VNF-FG),建立这种虚拟网络服务链的过程叫做 VNF-CC。这个阶段主要解决的问题是确定所需 VNF 的数量和它们之间的顺序。该部分将描述虚拟网络功能链的构成过程涉及的几个重要方面,所使用的标记及注释如表 1 所示。

表 1 标记注释

标记名	注释
$VNFR^i$	表示第 i 个 VNFR
$type_i^j$	表示节点的类型,属性为计算、存储、网络
$VNF-FG^{i,j}(V^{i,j}, L^{i,j})$	表示 $VNFR^i$ 的第 j 个 VNF-FG, 因为一个 VNFR 可能形成多个 VNF-FG, 而 VNF-FG 由 $V^{i,j}$ 和 $L^{i,j}$ 组成
L_{in}^i	表示流入某个 VNF 的第 i 条 VNF 链, 即流入数据可能由多条子链路汇合而成

续表 1

标记名	注释
l_{out}^i	表示流出某个 VNF 的第 i 条 VNF 链, 即流出数据可能经多条子链路离开
r_{init}^i	表示网络初始数据率
r_{rel}^i	表示第 i 条链路相对于总流出数据量的占比, 以百分比表示
n_{init}	表示数据流的起点
n_{term}	表示数据流的终点

a) 图 4 描述了一个 VNFR 和两种可能的 VNF-FG, 其初始数据率、数据流的起点 n_{init} 和终点 n_{term} 是确定的。 r_{init}^i 可由虚拟网络功能汇聚多个 L_{in}^i , 也可分成多个 L_{out}^i 。例如, VNF1 是一个虚拟负载均衡器, 流入它的数据率被分成两部分, 分别以 40% 和 60% 的占比经两条子链路流出。

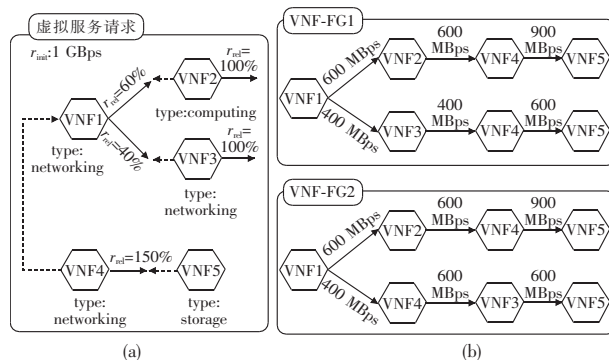


图 4 虚拟网络功能链的构建

b) VNF-FG 中的链路的带宽需求和节点的性能需求都不是静态的,而是取决于各 VNF 的顺序安排。通常情况下, VNF 的顺序是灵活的,但部分 VNF 存在依赖关系。如图 4(a) 所示, VNF4 到 VNF1 的虚线表示 VNF4 依赖于 VNF1, VNF4 必须在 VNF1 之后执行。基于依赖关系的原则,一个 VNFR 可以导出若干有效的 VNF-FG, 图 4(b) 呈现了与 VNFR 相对应的两个有效 VNF-FG。但相同的 VNF 位置不同将会对网络服务性能产生影响,所以选择高效的 VNF-FG 至关重要。

c) 如果数据流被分离,且每一子链路都需要相同功能的 VNF 处理数据,则需要在一个 VNF-FG 中创建多个相同的 VNF。在图 4(b) 中,每个 VNF-FG 都具有两个 VNF4。

2.2.2 虚拟网络功能转发图的映射

该阶段要解决的问题是如何在保证服务需求和网络开销尽可能优化的情况下,将 VNF 放置到底层网络基础设施上,即虚拟网络功能转发图的映射。虚拟网络功能转发图的映射是广义的虚拟网络映射问题,是一个 NP-hard 问题。它是 NFV-RA 面临的又一挑战,只有所请求的虚拟资源都实现到底层物理基础设施的映射才能对底层资源进行分配。这个阶段涉及以下几个重要方面:

a) VNF-FGE 包括虚拟节点映射和虚拟链路映射。如图 5 所示,考虑该场景提供的是支持 NFV 的两个底层网络节点间的端到端网络服务。该服务链的网络功能依次包括防火墙—深度包检测—数据加密—网络监视—解密。物理资源中的实线表示物理链路,而带方向的虚线表示虚拟链路,也即数据在底层网络中的实际路径。虚拟节点映射阶段, VNF1 映射到 HVS1 上, VNF2 映射到 HVS5 上, VNF3 和 VNF5 都映射到 HVS2 上, VNF4 映射到 HVS3 上。一条虚拟链路映射到底层网络时可能被分成多段相连的物理链路, VNF4 与 VNF5 之间的虚拟链路对应于物理路径 HVS3—HVS4—HVS2。

b)映射过程需要考虑一些约束,最优的映射既要满足底层网络节点和链路的资源约束,又要满足所给的优化目标:(a)要根据每个 VNF 属性,将其放置于特定的网络、计算、存储物理节点上;(b)要考虑底层网络物理节点的性能限制,决定可以在一个物理节点上部署多少个 VM。

c)在运行过程中,编排器可能会把一个 VNF 从一个大容量服务器(high volume server,HVS)迁移到另一个 HVS 上,以实现优化目标。

d) VNF 的部署到底层网络节点上可以选择多种架构。文献[9]呈现了三种不同的架构选择:在 hosted 架构中,用 hypervisor 对基于它之上的虚拟机之间的网络连接进行管理;在 bare-metal 架构中,虚拟网络功能不使用 hypervisor 直接访问物理资源;在 container 架构中,container 比虚拟机高效,可以在云环境中运行各种虚拟网络功能和其他应用程序。

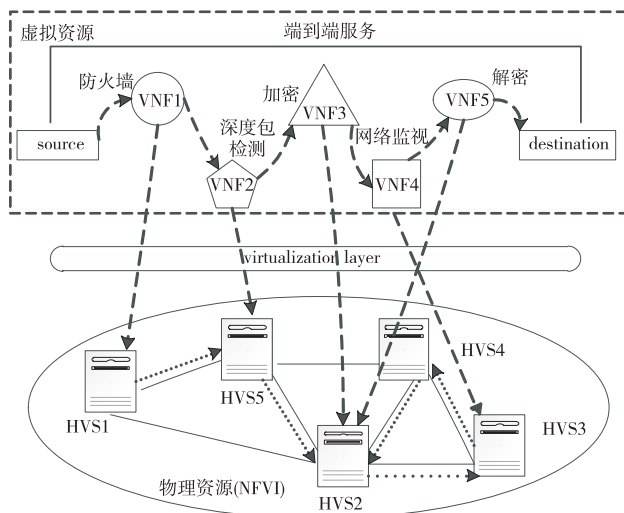


图5 虚拟网络功能转发图映射

2.2.3 虚拟网络功能的调度

该阶段的目标是在不降低服务性能,并考虑组成网络服务的各虚拟网络功能间的优先级和依赖关系的条件下实现网络服务总执行时间的最小化。由于 NFVI 由多个不同的 HVS 组成,所以合适的 VNF 执行调度能有效提高服务性能。如图 6 所示,三个网络服务分别由三组虚拟网络功能构成,通过在五个有限的大容量服务器上进行调度,实现总执行时间的最小化。 S_x 由四个虚拟网络功能组成,VNF1 运行在 HVS3 上需要消耗 4 个单位时间,VNF2 运行在 HVS4 上需要消耗 1 个单位时间,VNF3 运行在 HVS2 上需要消耗 4 个单位时间,VNF4 运行在 HVS1 上需要消耗 1 个单位时间,则总的运行时间为 10 个单位时间。

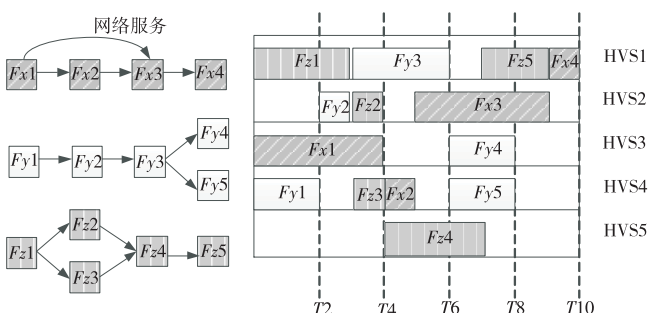


图6 虚拟网络功能调度

表 2 呈现了 S_y 和 S_z 分别共运行 8 个和 9 个单位时间。

表 2 服务运行时间

service	VNF	HVS	runtime(time units)
S_x	4	4	10
S_y	5	4	8
S_z	5	4	9

2.3 NFV-RA 的研究典例

由于 NFV 的研究还处于初期,现存的方法多数只解决 NFV-RA 的一个或者两个阶段的问题,且以研究 VNF-FGE 居多。文献[23]设计了一种环境无关语言形式化建链请求,研究了 VNF-CC 和 VNF-FGE 两个阶段,用启发式算法将 VNF 按照输出与输入数据率之比升序排列,并首先链接降低流数据率最多的虚拟网络功能,以此来生成总数据率最小的 VNF-CC。当 VNF-CC 构成后,利用混合整数二次约束规划针对不同的优化目标进行映射。由于两个阶段独立解决,不能保证第一阶段产生的转发图能用于第二阶段的映射。文献[24]提出一种可扩展的递归启发式算法 CoordVNF, VNF-CC 与 VNF-FGE 同步进行,该方法逐个递归映射虚拟网络功能,并且当映射不能推进时,对最后一步成功映射执行 undo 操作,再寻找不同的映射备选以便快速找到可行的解决方案。文献[25,26]第一次给出了 VNF-SCH 的形式化定义,最终目标是确定一种具有最少完成时间的可行调度。文献[27]提出了用贪婪算法和禁忌搜索算法在线解决 VNF-FGE 和 VNF-SCH 问题,降低了流执行时间。

综合考虑三个阶段相协调的研究还比较少,文献[28]进行了这方面的尝试,提出了一种协调的启发式方法 JoraNFV,对 NFV-RA 的三个阶段共同进行优化,并建立了一种包含投资开销、运营开销和链路开销的综合开销模型。为了使 NFV-RA 更易处理,当部署 VNF 时 JoraNFV 执行 one-hop 调度,而不是当所有 VNF 都部署完才执行流量调度。同时,为了避免陷入局部最优,作者采用了多路径贪婪算法对多条备选路径同时进行搜索和更新,以解决 VNF-CC 和 VNF-FGE 问题。

3 网络功能虚拟化的优化

3.1 优化目标

解决 NFV-RA 问题需要根据网络场景、自定义的服务需求明确优化目标,如服务质量、利益最大化、容错、负载均衡、节能等是主要的优化目标。不同的优化目标需要使用不同的 NFV-RA 方法。例如,要提供基于 IP 服务的语音服务,则需要有适中的带宽和较低的时延;从电信服务提供商的角度,首先得考虑最大化经济利益(最大化收入的同时,最小化支出),它也直接导致需要最大化服务请求接收率(被接收的虚拟服务数与请求数之比)。文献[29]的优化目标是在可接受的延时范围内,最小化映射到底层网络的虚拟网络功能实例的数量,防止资源提供不足或过量。文献[30]研究了在多路径路由实现负载均衡的模型中,通过优化实现数据流网络时延的最小化。文献[31]则在云数据中心通过优化降低 VNF 的调度完成时间,使云服务提供商为更多的客户服务,同时满足严格的时延需求,以增加服务提供商的收益。

3.2 评价指标

评价指标是衡量 NFV-RA 算法性能的度量,是资源配置问题的一个重要方面,被用来比较不同的策略以确定较好的选择。根据优化目标函数的不同,评价指标常有以下选择:服务

请求映射成功率、服务总的处理时间、支出与收益、资源利用率、函数计算时间等。

3.3 优化策略

NFV-RA 的优化可使用三种策略:精确算法策略、启发式算法策略和元启发式算法策略。

a) 当问题规模较小时,可以用精确算法得到最优解。文献[32]采用了精确算法策略,考虑在支持 NFV 的专用和通用硬件设备共存的环境中,利用整数线性规划(ILP)求解 VNF-FGE 问题,优化目标是 최소화物理节点使用数。文献[33]同样采用了精确算法策略,利用 ILP 求解 VNF-FGE 问题,而其优化目标是 최소화底层网络的带宽利用。

b) 动态在线的环境中,虚拟服务请求具有不可预知性,为避免延时超出可容忍的范围,NFV-RA 的执行时间需要尽可能小。基于启发式的算法虽然不能总是找到总体最优解,但可以满足此需求。文献[34]提出在支持 NFV 的企业无线局域网中,用递归启发式算法实现转发图的映射来达到全网负载均衡的目标。

c) 启发式算法常会陷入远离真正最优的局部最优,而元启发式算法可以避免这一问题。NFV-RA 可以被看做是离散搜索空间中的组合优化问题,当很难找到最优解时,使用元启发式算法能得到近似最优解,该策略在文献[27]中得到应用。

表3总结了目前解决 NFV-RA 问题的一些主要研究具有的特点,多阶段协调条件下的最优化是 NFV-RA 追求的目标。

表3 现有主要研究的特点

参考文献	研究阶段	优化算法	优化目标	阶段间协调性
[23]	VNF-CC VNF-FGE	精确 启发式	a) 最大化剩余数据率; b) 最小化使用底层网络节点数量; c) 最小化所有路径的总延时	否
[24]	VNF-CC VNF-FGE	启发式	最小化带宽利用率	是
[25]	VNF-SCH	—	最小化调度完成时间	—
[27]	VNF-FGE VNF-SCH	启发式 元启发式	最小化流执行时间	是
[28]	VNF-CC VNF-FGE VNF-SCH	精确 启发式	最小化投资开销、运营开销和链路开销构成的总开销	是
[29]	VNF-FGE	精确 启发式	最小化 VNF 实例数量	—
[30]	VNF-CC VNF-FGE	启发式	最小化网络延时	是
[31]	VNF-FGE VNF-SCH	启发式	最小化调度完成时间	是
[32]	VNF-FGE	精确	最小化大容量服务器使用数量	—
[33]	VNF-CC VNF-FGE	精确	减少网络物理资源消耗	否

3.4 仿真工具

为了评估 NFV-RA 方案,使用仿真工具进行实验是必不可少的。通过仿真分析比较使用虚拟设备与专用设备对网络性能产生的影响、不同映射算法的优劣等,避免了反复实际部署带来的成本开销。为尽可能地提高仿真的可信度,应根据算法运行环境和优化目标的不同,合理设置物理资源和虚拟资源参数。文献[22]将虚拟网络映射参数分为主要参数、次要参数、间接参数的方法同样可以应用于 NFV-RA 场景。ALEVIN(algorithms for embedding of virtual networks)^[22,35]是一款基于 Java 的功能比较全面的仿真工具,起初主要用于网络虚拟化映射算法的开发、比较和分析,新发布的版本已经支持 NFV-RA 研究。

4 资源配置面临的挑战

NFV 研究还处于起步阶段,要实现资源的高效配置和管理还需要学术界和工业界进行广泛而深入的研究。本章将探讨未来研究需要面对的一些挑战,也是实施 NFV 无法回避的问题和有价值的研究方向。

a) 资源配置三个阶段的协调问题。NFV-RA 的三个阶段联系紧密,相互依赖、相互影响,如何有效协调三个阶段的问题,是解决资源配置问题面临的一个主要挑战。

b) 动态资源配置问题。在实际场景中,网络服务请求到达具有不可预知性,NFV-RA 算法必须及时处理任意时刻到达的请求;也有可能因为虚拟网络功能的增加和减少,需要进行功能链的重构、转发图的重新映射、网络功能的重新调度,显然静态的 NFV-RA 方法不能满足这种动态服务需求。

c) 强容错能力提供可靠服务。稳定的虚拟网络服务需要强容错能力提供支撑,因此网络运营商需要具有及时获取来自计算、存储、网络资源的准确差错信息,并作出有效反应的措施,使网络具有自我恢复和容错能力,为用户提供连续、安全的服务。

d) 有效的节能机制。网络高能耗问题已经引起了广泛关注,如何提高能源效力、降低能耗,节约运营成本,已经成为一个热点研究问题。融合网络功能虚拟化与云计算技术,把虚拟网络功能的存储和处理置于云端,将能显著地降低能耗。研究能量感知的 NFV-RA 方法是有必要的。

e) 负载均衡问题。由于底层网络物理节点都有一定的性能极限,容纳过多的 VNF 将增大物理节点负担,影响网络性能。所以,需要采用合适的负载均衡机制,采取必要的措施感知网络流量,动态地对 VNF 进行迁移。

f) 安全性问题。NFV 为网络带来好处的同时,也带来了新的安全问题。针对 NFV 动态、可共享的特性,需要采取安全的技术、策略、操作,保证不同的服务或功能相互隔离,避免相互影响。

5 结束语

传统网络设备和网络架构支撑了过去几十年的网络的发展与应用,封闭而僵硬的网络已经不能适应发展的需求,正面临着越来越多的问题和挑战。特别是,随着移动计算的不断发展,种类繁多、数量呈指数增长的移动设备访问计算云无处不在,移动用户期待得到可靠、随时随地的无线连接和服务。高速率、低延时、支持更广泛的网络和多媒体服务与应用的需要成为未来网络的关键设计要求。NFV/SDN 是网络发展演进的新方向,是学术界和工业界值得不断探索的新技术。NFV/SDN 技术的引入,将有效促进未来网络部署能力的提升、网络部署成本的降低和运营能力的增强。

本文介绍了基于 ETSI 标准的 NFV 体系结构,详述了 NFV 实施需要解决 NFV-RA 这一关键问题,而多阶段协调条件下的优化算法设计是研究的重点和难点。资源配置过程自动化对于 NFV 的实施至关重要,这就要求整个过程以在线和动态的方式进行。需要强调的是在 NFV 研究和部署过程中,不能因为使用 VNF 代替专用硬件设备而严重影响网络延时、吞吐量等重要网络性能指标。针对 NFV 的研究方兴未艾,随着研究的不断深入,NFV 将从实验室和概念验证进入实验性商业部

署,越来越多的设备商将投入可观的资源发展 NFV,因此在大规模部署之前应该加速技术标准化的进程。

参考文献:

- [1] Xu Zhifeng, Liu Fangming, Wang Tao, *et al.* Demystifying the energy efficiency of network function virtualization [C]//Proc of the 24th International Symposium on Quality of Service. [S. l.]: IEEE Press, 2016:1-10.
- [2] Wu Jun, Zhang Zhifeng, Hong Yu, *et al.* Cloud radio access network (C-RAN): a primer [J]. *IEEE Network*, 2015, 29(1): 35-41.
- [3] Uhlig R, Neiger G, Rodgers D, *et al.* Intel virtualization technology [J]. *Computer*, 2005, 38(5): 48-56.
- [4] Han Bo, Gopalakrishnan V, Ji Lusheng, *et al.* Network function virtualization: challenges and opportunities for innovations [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53(2): 90-97.
- [5] Kreutz D, Ramos F M V, Verissimo P E, *et al.* Software-defined networking: a comprehensive survey [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2015, 103(1): 14-76.
- [6] Wood T, Ramakrishnan K K, Hwang J, *et al.* Toward a software-based network: integrating software defined networking and network function virtualization [J]. *IEEE Network*, 2015, 29(3): 36-41.
- [7] Duan Qiang, Ansari N, Toy M. Software-defined network virtualization: an architectural framework for integrating SDN and NFV for service provisioning in future networks [J]. *IEEE Network*, 2016, 30(5): 10-16.
- [8] NGMN. 5G white paper [EB/OL]. [2016-12-30]. <http://www.ngmn.org/5g-white-paper.html>.
- [9] Herrera J G, Botero J F. Resource allocation in NFV: a comprehensive survey [J]. *IEEE Trans on Network and Service Management*, 2016, 13(3): 518-532.
- [10] Mijumbi R, Serrat J, Gorricho J L, *et al.* Network function virtualization: state-of-the-art and research challenges [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2016, 18(1): 10-16.
- [11] Soares J, Goncalves C, Parreira B, *et al.* Toward a telco cloud environment for service functions [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53(2): 98-106.
- [12] SdxCentral. What is NFV MANO [EB/OL]. [2016-12-29]. <https://www.sdxcentral.com/nfv/definitions/nfv-mano/>.
- [13] 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.
- [14] Matias J, Garay J, Toledo N, *et al.* Toward an SDN-enabled NFV architecture [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53(4): 187-193.
- [15] Callegati F, Cerroni W, Contoli C, *et al.* SDN for dynamic NFV deployment [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2016, 54(10): 89-95.
- [16] Volvach L, Globa L. Mobile networks disaster recovery using SDN-NFV [C]//Proc of International Conference Radio Electronics & Info Communications. [S. l.]: IEEE Press, 2016: 1-3.
- [17] Fischer A, Botero J F, Beck M T, *et al.* Virtual network embedding: a survey [J]. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2013, 15(4): 1888-1906.
- [18] Chowdhury M, Rahman M R, Boutaba R. ViNEYard: virtual network embedding algorithms with coordinated node and link mapping [J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 2012, 20(1): 206-219.
- [19] 谢政. 网络最优化 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [20] 程祥, 张忠宝, 苏森, 等. 虚拟网络映射问题研究综述 [J]. *通信学报*, 2011, 32(10): 143-151.
- [21] 李小玲, 王怀民, 丁博, 等. 虚拟网络映射问题研究及其进展 [J]. *软件学报*, 2012, 23(11): 3009-3028.
- [22] Fischer A, Botero J F, Duelli M, *et al.* ALEVIN: a framework to develop, compare, and analyze virtual network embedding algorithms [J]. *Electronic Communications of the EASST*, 2011, 37(1): 1-12.
- [23] Mehraghdam S, Keller M, Karl H. Specifying and placing chains of virtual network functions [C]//Proc of the 3rd IEEE International Conference on Cloud Networking. [S. l.]: IEEE Press, 2014: 7-13.
- [24] Beck M T, Botero J F. Coordinated allocation of service function chains [C]//Proc of IEEE Global Communications Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2015: 1-6.
- [25] Riera J F, Hesselbach X, Escalona E, *et al.* On the complex scheduling formulation of virtual network functions over optical networks [C]//Proc of the 16th International Conference on Transparent Optical Networks. [S. l.]: IEEE Press, 2014: 1-5.
- [26] Riera J F, Escalona E, Batalle J, *et al.* Virtual network function scheduling: concept and challenges [C]//Proc of International Conference on Smart Communications in Network Technologies. [S. l.]: IEEE Press, 2014: 1-5.
- [27] Mijumbi R, Serrat J, Corricho J L, *et al.* Design and evaluation of algorithms for mapping and scheduling of virtual network functions [C]//Proc of the 1st IEEE Conference on Network Softwarization. [S. l.]: IEEE Press, 2015: 1-9.
- [28] Wang Luhan, Lu Zhaoming, Wen Xiangming, *et al.* Joint optimization of service function chaining and resource allocation in network function virtualization [J]. *IEEE Access*, 2016, 4(99): 8080-8094.
- [29] Luizelli M C, Bays L R, Buriol L S, *et al.* Piecing together the NFV provisioning puzzle: efficient placement and chaining of virtual network functions [C]//Proc of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management. [S. l.]: IEEE Press, 2015: 98-106.
- [30] Pham T M, Pham L M. Load balancing using multipath routing in network functions virtualization [C]//Proc of IEEE RIVF International Conference on Computing & Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future. [S. l.]: IEEE Press, 2016: 85-90.
- [31] Qu Long, Assi C, Shaban K. Delay-aware scheduling and resource optimization with network function virtualization [J]. *IEEE Trans on Communications*, 2016, 64(9): 3746-3758.
- [32] Moens H, Turck F D. VNF-P: a model for efficient placement of virtualized network functions [C]//Proc of the 10th International Conference on Network and Service Management and Workshop. [S. l.]: IEEE Press, 2014: 418-423.
- [33] Gupta A, Habib M F, Chowdhury P, *et al.* On service chaining using virtual network functions in network enabled cloud systems [C]//Proc of IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2015: 1-3.
- [34] Riggio R, Rasheed T, Narayanan R. Virtual network functions orchestration in enterprise WLANs [C]//Proc of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management. [S. l.]: IEEE Press, 2015: 1220-1225.
- [35] VNREAL. ALEVIN-algorithms for embedding virtual networks [EB/OL]. [2016-12-30]. <https://sourceforge.net/p/alevin/wiki/home/>.