



网络虚拟化互通技术

马 塞¹, 黄 辉², 夏仕俊³, 金耀辉^{1,4}, 罗 萱⁴

- (1. 上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室 上海 200240;
2. 中国电力科学研究院 北京 100192; 3. 国网上海市电力公司信息通信公司 上海 200122;
4. 上海交通大学网络信息中心 上海 200240)

摘 要: 工业界和学术界提出了许多新的网络虚拟化技术来满足云计算环境对网络服务的需求。网络虚拟化技术的多样化使得云环境面临多种网络虚拟化技术共存的状况。然而, 网络虚拟化技术间的差异会导致网络资源被分割成相互间不可通信的“孤岛”。为了解决这个问题, 提出了网络虚拟化互通技术, 分析了该技术的实现难点, 并提出了基于软件定义网络的网络虚拟化互通架构 Omni-Bridge, 最后给出了 Omni-Bridge 的原型实现和功能验证。

关键词: 网络虚拟化; 软件定义网络; 互通技术; 云计算网络

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015092

Network Virtualization Interconnection Technology

Ma Sai¹, Huang Hui², Xia Shijun³, Jin Yaohui^{1,4}, Luo Xuan⁴

- (1. State Key Lab of Advanced Optical Communication Systems and Networks, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;
3. Shanghai State Grid Information & Telecommunication Company, Shanghai 200122, China;
4. Network & Information Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Industry and the Academia have carried out various kinds of network virtualization technologies to cope with the growing requirement of cloud network. The diversity in network virtualization technologies will lead to the co-existence of various kinds of technologies in cloud environment. However, the differences among network virtualization technologies separate the overall network resources into several isolated “islands”. In order to solve the problem, a solution called network virtualization interconnection technology was introduced. The key challenges of realizing the interconnection were discussed, then a novel software defined networking based interconnection architecture Omni-Bridge was proposed. Finally, a prototype of Omni-Bridge was introduced and a functional validation experiment was presented.

Key words: network virtualization, software defined networking, interconnection technology, cloud network

收稿日期: 2014-09-25; 修回日期: 2015-04-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61371084), 国家电网公司 2014 年科技项目“软件定义网络 (SDN) 体系及其电力应用关键技术研究”基金资助项目

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No. 61371084), 2014 SGCC Technology Project “Research on Key Technologies of SDN System and Power Application”

论文引用格式: 马塞, 黄辉, 夏仕俊等. 网络虚拟化互通技术. 电信科学, 2015092

Ma S, Huang H, Xia S J, *et al.* Network virtualization interconnection technology. Telecommunications Science, 2015092



1 引言

网络虚拟化通过将逻辑网络功能和物理网络设备解耦合,使得网络资源可以方便地整合与扩展,简化了网络管理,提升了网络安全性并且更易于实现带宽保证^[1]。这使得网络虚拟化技术不但成为 IT 技术领域的关注焦点之一,也给传统行业的发展带来了新动力。例如,国家电网公司提出了建设坚强智能电网的重大举措,电网公司的信息网络通常有较高冗余度且资源相对松散,网络拓扑复杂^[2],导致网络资源管理困难,难以实现网络资源的动态增减,资源利用率很低。通过网络虚拟化技术可以大大简化网络拓扑,提升管理灵活性,同时保证网络整体性能和可靠性。而在云计算环境中,运营商通过网络虚拟化技术将物理网络划分成多个相互隔离的虚拟网络,向租户提供虚拟网络服务,这保证了租户的隐私和安全,同时也便于更加灵活地添加、删除、修改用户的网络,以应对云计算中高动态性的特点^[3,4]。

为了实现网络虚拟化,工业界和学术界提出了许多协议标准。虚拟局域网(virtual local area network, VLAN)^[5]是使用最广泛的协议,但需要繁琐的人工配置,并且最多支持 4 096 个虚拟网络,无法满足大规模数据中心的需求。VxLAN^[6](virtual extensible LAN, 虚拟可扩展局域网)把基于 MAC 地址的二层以太网帧封装到三层 UDP 分组中,通过 24 bit 的 VNI (VxLAN network identifier, 虚拟可扩展局域网网络标签)来区分虚拟网络。NVGRE^[7](network virtualization using generic routing encapsulation, 通用路由封装网络虚拟化)与 VxLAN 类似,两者都使用封装策略来支持大规模的虚拟网络,NVGRE 使用通用路由封装来创建一个独立的虚拟二层网络。根据网络虚拟化的调研报告^[1],学术界提出了许多虚拟化技术实现网络虚拟化,这些技术都致力于解决数据中心网络某个特定方面的问题,例如可扩展性、带宽保证等,与此同时,没有一种网络虚拟化技术是最优的,运营商需要根据实际的场景来选择某一种网络虚拟化技术,或者同时采用多种技术实现网络虚拟化技术的互补。另外,网络虚拟化标准之争愈演愈烈,交换机设备厂商往往仅支持一种特定的技术,例如 VMware 推出的虚拟交换机往往支持由其主推的 VxLAN 技术,而微软的 Hyper-V 平台则支持 NVGRE 技术,很少有网络设备同时支持多种协议。

到目前为止,还没有一种网络虚拟化技术占据主导,而运营商的网络设备是在不同的时间,从不同的设备商,

根据具体业务类型的需求和成本购入,可能导致云环境中不同设备采用的网络虚拟化技术不同^[8]。多种网络虚拟化技术在不同数据中心甚至同一数据中心内共存是未来一段时间运营商需要面临的状况^[9]。而多种网络虚拟化技术的共存带来了新的问题:网络虚拟化技术间的差异会导致网络资源被分割成相互间不可通信的“孤岛”。通常,一种网络设备往往仅能支持一种网络虚拟化技术,由于网络虚拟化协议标准的差异,采用同种网络虚拟化技术的网络设备才具有二层、三层可达性,从而数据中心按照网络虚拟化技术被分割成多个区域,而属于不同区域的主机间无法进行网络通信,形成了网络资源的“孤岛”,给运营商带来了如下问题。

- 无法充分利用全部网络资源来提供网络服务。云计算环境中,租户需要具有二层、三层可达性的虚拟网络。由于网络虚拟化技术间的隔离,运营商只能利用属于一个“孤岛”的网络资源向租户提供网络服务,变相减小了网络服务的规模。
- 网络服务技术绑定,难以实现技术的平稳演进。网络虚拟化技术的升级往往涉及硬件、软件设备的更换,升级过程可能会中断虚拟网络服务,带来较大的损失,这使得运营商难以根据新的需求针对性地调整虚拟化技术。
- 网络服务的成本上升。运营商早期购买的网络设备通常不支持 VxLAN、NVGRE 等技术,如果没有合适的解决方案,只能全部替换,造成巨大浪费。因此,在多种虚拟化技术共存的云环境中,虚拟网络、网络虚拟化技术和网络设备相互绑定,导致运营商无法充分利用、调整现有的网络资源。

针对多种网络虚拟化技术共存所带来的新问题,本文提出了网络虚拟化互通技术。该技术的核心目的是将虚拟网络和具体的网络虚拟化技术解耦合,使得一个虚拟网络可以同时存在于多个不同虚拟化技术的设备上,同时保证该虚拟网络内部二层及三层可达性。本文设计了基于 SDN (software defined networking, 软件定义网络)的互通架构 Omni-Bridge, 该架构利用区域网关实现不同技术间的互联,并利用虚拟网络管理模块实现域间的消息同步,实现了网络资源的统一管理。

2 网络虚拟化互通技术及其应用场景

在多种网络虚拟化技术共存的场景下,整个环境因技术隔离实际上被分割成多个独立的部分,如图 1 所示。使

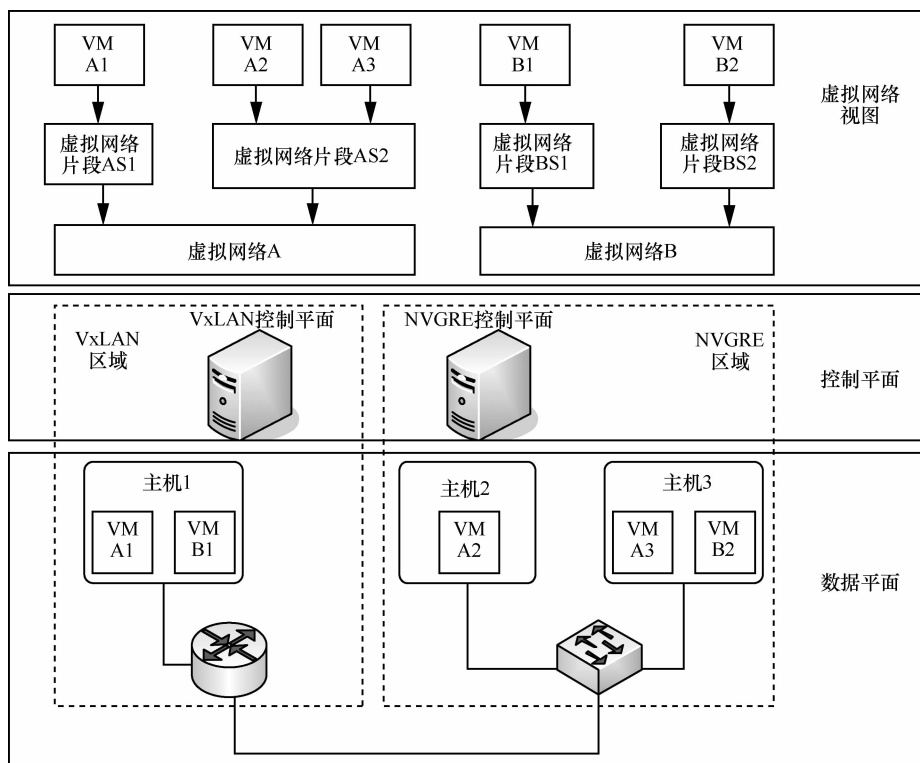


图 1 多种网络虚拟化技术共存的云环境

用一种网络虚拟化技术的控制软件、网络设备和主机的集合为一个区域。对于网络虚拟化技术互通的环境,属于一个虚拟网络的主机可以同时存在于多个区域,这样,虚拟网络也被分割成属于不同区域的碎片,一个虚拟网络在某个域内的部分被称为一个虚拟网络片段。图 1 中,VxLAN 域的 VM A1 组成了虚拟网络片段 AS1,NVGRE 域内的 VM A2 和 A3 组成了虚拟网络片段 AS2,两个虚拟网络片段组成了虚拟网络 A,VM1、VM2 和 VM3 之间应具有二层和三层可达性。

网络虚拟化互通技术将原本隔离的虚拟网络片段整合成完整的虚拟网络,把不同类型的域桥接起来,提供技术不可感知的虚拟网络服务,使得运营商可以整合不同区域的网络资源。下面给出两种常见的网络虚拟化互通技术的应用场景,以说明运营商如何从网络虚拟化互通技术中获益。

(1) 数据中心的平稳升级

随着承载业务类型和规模的变化,运营商对网络虚拟化技术的需求可能不同。例如云计算数据中心原本采用 VLAN 技术提供虚拟网络,随着业务规模的变大,需要升级到 VxLAN 等可扩展性更好的技术。传统的升级手段不但可能会导致业务的中断,还可能造成原有网络设备的废

弃。若要实现不中断业务的升级,需要依赖动态迁移来完成升级,然而动态迁移需要源主机和目的主机在同一个二层网络内,网络虚拟化技术隔离导致运营商难以实现跨域的迁移。网络虚拟化互通技术可以将不同区域桥接,使得不同主机在迁移过程中可以保持虚拟网络不变,使动态迁移成为可能,同时原有设备仍可以继续承载该业务,从而实现数据中心的平稳升级。

(2) 多种技术的数据中心间的互联

目前,跨数据中心、跨地区的云服务越来越常见^[9],而如何整合这些属于不同数据中心的资源是一个难题。学术界和工业界提出采用 L2VPN^[11](layer 2 virtual private network, 二层虚拟专用网络)实现数据中心间的互联,然而这些工作忽视了数据中心所采用的网络虚拟化技术的不同。网络虚拟化互通技术如果可以和现有的 L2VPN 结合,运营商就可以最大程度地整合网络虚拟化技术、地区、规模不同的数据中心,从而提供最高效的云服务。

3 网络虚拟化互通技术的关键问题

近期提出的网络虚拟化技术借鉴了 SDN 的理念,即从逻辑上可以分成两部分:控制平面和数据平面。控制平面的主要功能是存储物理网络和逻辑网络的映射,计算数



据的转发路径,同时向管理者提供网络信息和管理接口,从而实现简单、动态、自动化的虚拟网络的添加、删除、修改操作;数据平面的主要功能是根据具体网络虚拟化技术修改数据分组格式,并完成数据分组的转发。在这样的背景下,网络虚拟化技术的互通也分为控制平面的互通与数据平面的互通两部分。控制平面的互通指不同类型控制平面间的信息交互,包括不同区域内虚拟机、物理主机和虚拟网络的映射信息等;而数据平面间的互通指数据分组格式的改写、数据分组的跨区域转发。但是,由于各种网络虚拟化技术的实现细节有很大差异,实现网络虚拟化互通技术面临着一系列挑战,具体如下。

首先是控制平面间所存储信息的不对称性。控制平面根据网络虚拟化技术的需要保存相应的信息,例如在基于覆盖网(overlay)的技术中,控制平面需要保存宿主机和虚拟主机的映射,而基于 VLAN 的技术则不需要了解物理设备信息。而要实现控制平面的互通,则必须获取虚拟网络在各个区域的信息。但是,一个控制平面并不了解其他网络虚拟化技术所存储信息的类型、格式,因此在设计控制平面的交互接口时,如何保证接口的通用性和技术透明性是个难题。

其次是如何实现多个控制平面信息的同步和统一管理。在多网络虚拟化技术环境中,拓扑被分割成多个区域,每个区域的控制平面虽然仅管理内部的虚拟网络片段,但仍然需要通过保存整个虚拟网络的信息来保证虚拟网络片段之间的连通性。当虚拟网络的信息发生变化时,如何实现域间信息的同步是核心问题。例如,在 Federation-less-federation^[12]中,为了实现控制平面的信息同步,提出在每个区域内添加一个代理,代理会向相邻的区域分发消息,逐步完成消息的传播。但在跨数据中心互通的场景下,这种信息传播机制可能带来不小的时间开销。另一方面,为了实现整个环境的统一管理,运营商应该可以通过一个管理接口来完成任意区域内虚拟网络的添加、删除、修改操作,并能获取全部虚拟网络的状态信息。

再者是如何实现跨区域的路由。在多网络虚拟化技术环境中,每个区域应该保持自己管理的独立性,因此控制平面仅能获取本区域内的物理拓扑信息。一个域的控制平面虽然可以通过信息交互获取位于其他区域的虚拟主机的信息,但无法独立完成主机间的跨域路由。因此,多域环境需要发现域之间路径的机制,以实现跨域的数据分组转发。

最后是多种网络虚拟化技术间的数据分组格式转换以及与 VPN 技术的结合。如前文所述,各个网络虚拟化技术的协议标准不同,需要一种能支持多种技术的网络设备来实现数据分组格式的转换。同时,该设备应该具有方便的用户接口,易于实现自动化管理。另一方面,为了应对跨数据中心的区域互联,该网络设备应该可以支持现有的 L2VPN 技术,例如多协议标签交换虚拟专用网络(multi-protocol label switching virtual private network, MPLS-VPN)。

4 网络虚拟化互通技术的架构设计

针对实现网络虚拟化互通技术的几个难点,设计了基于 SDN 的模型 Omni-Bridge,如图 2 所示。该模型引入了虚拟网络管理模块来实现不同控制平面间的信息同步,并提供了云平台接口和管理者接口,使得运营商可以忽视底层的网络虚拟化技术差异,提供虚拟网络服务。在 Omni-Bridge 中,区域之间由区域网关互联,区域网关的主要功能是改写数据分组的格式,并将数据分组转发到下一个区域。在 Omni-Bridge 中,区域网关不具有计算路由的功能,完全由虚拟网络管理模块控制。虚拟网络管理模块保存着区域之间的简单拓扑关系,但域内部的拓扑对虚拟网络管理模块完全透明,需要和控制平面协作完成跨域路由。同时在设计 Omni-Bridge 时引入了插件(plugin)模式,使得虚拟网络管理者可以与不同类型的控制平面以及区域网关通信,下文会介绍 Omni-Bridge 的组成和工作机制来说明该架构如何解决网络虚拟化互通技术的几个难点。

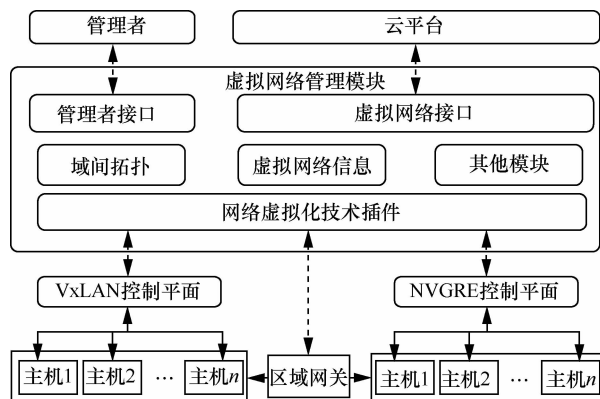


图 2 Omni-Bridge 架构

4.1 全局虚拟网络管理

如上文所述,虚拟网络互通技术的根本目的是将网络

虚拟化技术和虚拟网络解耦合,方便运营商动态管理网络资源,同时提供与底层技术无关的虚拟网络服务。众所周知,网络虚拟化技术和实际网络拓扑是复杂和多样的,因此虚拟网络管理模块并不能主动发现域的边界以及区域所用的虚拟化技术。为了实现动态管理,设计了管理者接口,运营商可以通过该接口动态添加、删除、修改区域信息。每当添加新的区域时,管理者需要通过管理接口输入域的基本信息,包括网络虚拟化技术类型、控制平面的地址以及相邻的区域网关编号等。虚拟网络管理模块首先根据区域网关和域的位置关系更新全局拓扑,该拓扑为简单的区域连接关系,每个点为一个域,连线则代表域之间的区域网关。之后,虚拟网络管理者会根据虚拟网络类型调用相关的插件,该插件负责将抽象的命令转化成能被控制平面识别的格式。其中,抽象的命令包括虚拟网络的操作、获取链路信息的操作等,这些命令可以由云计算平台通过云平台接口发起。

本文采用了集中式的管理层和插件机制来统一管理全局的虚拟网络,这样做的好处主要有如下两点。

(1) 容易实现虚拟网络信息的按需存储和统一管理

域的控制平面会提供北向接口对虚拟网络进行操作,Omni-Bridge通过加载不同类型插件,与控制平面交互,读写该区域的虚拟网络信息,并将这些信息存储在为该域定制的存储空间中。由于插件将信息间的差异屏蔽,云计算平台可以通过逻辑命令完成虚拟网络信息的管理。这样既解决了存储信息不对称的问题,又方便与现有云平台结合。同时Omni-Bridge中的虚拟网络管理模块也支持管理者将没有集中控制平面的域信息手动输入,完成域的集中管理和信息交互,具有更良好的通用性。

(2) 容易解决区域间的信息同步

在Omni-Bridge中,全局的虚拟网络信息由虚拟网络管理模块维护。在云计算环境中,虚拟网络的变化都是由用户对虚拟网络的添加、删除、修改操作引起的,因此,虚拟网络管理模块可以通过虚拟网络接口的请求感知到虚拟网络的变化。当虚拟网络发生变化时,虚拟网络管理模块会在本地修改该虚拟网络的信息,并将这个消息分发给相关域的控制平面。相比于类似Federation-less-federation的分布式自治系统,该过程的实现机制要简单很多。另一方面,该机制也避免了广播式的信息同步方式所引入的同步时间较长、域间消息传播环路等问题,更加适合实际场景。

4.2 区域网关

区域网关是实现数据分组格式转换的网络设备,需要支持邻域的网络虚拟化技术。需要注意的是,域之间可能通过一台区域网关直接相连,也可能需要与现有的VPN技术相结合,通过广域网相连,即使同样使用VPN相连,VPN的类型也可能会不同,这就要求区域网关能与现有的VPN技术结合,并且可以对区域网关进行动态配置。本文采用近年兴起的软件定义网络和可编程交换机来满足这两点需求。

Open vSwitch是可编程的虚拟交换机,不但支持OpenFlow协议,同时支持GRE、VxLAN等封装技术。在Omni-Bridge中,虚拟网络管理模块可以通过Open vSwitch提供的接口来修改流表和端口信息,实现不同协议之间的转换。另一方面,为了实现网关与现有VPN技术的结合,本文中的区域网关和虚拟网络管理模块支持OpenFlow协议,有关OpenFlow与VPN结合的研究内容已经有很多^[13]。在Omni-Bridge中,管理者可以通过管理接口配置区域网关的VPN选项,实现VPN类型的动态修改等操作。

4.3 跨域数据转发

跨域转发的过程包括控制平面的地址学习、域内路由、域间路由3个过程,在Omni-Bridge中,跨域转发由控制平面和虚拟网络模块共同完成。当虚拟机之间需要跨域通信时,该域控制平面首先需要获取目的虚拟机的信息,例如所处的宿主机、虚拟机MAC地址等。由于控制平面无法感知到其他域的物理拓扑信息,Omni-Bridge采用了如下方法实现地址学习:当有虚拟网络出现跨域时,虚拟网络管理模块将虚拟机的“假”宿主机地址与虚拟机MAC地址和IP地址的映射发给控制平面,这个“假”地址是与该域相邻的区域网关地址。因为区域网关支持相邻域的虚拟化技术,所以控制平面可以发现区域网关,并认为区域网关是其拓扑的一部分。当控制平面得到目的虚拟机的信息时,就可以计算出源地址到区域网关的路由路径,将数据分组发往区域网关。在Omni-Bridge中,虚拟网络管理模块具有全局的拓扑信息,可以利用算路模块得出域间的路径,并把路径转换成区域网关的流表等配置信息下发到相关区域网关。这样,区域网关会根据流表对数据分组进行格式转换,并发往下一个区域。通过数据分组在虚拟主机、区域网关之间的转发,最终到达目的地址。



5 Omni-Bridge 的实现以及功能验证

基于开源 OpenFlow 控制器 Floodlight, 实现了 Omni-Bridge 中的虚拟网络管理模块的原型, 同时实现了与开源云平台 OpenStack 的集成。在该原型中, 利用 Open vSwitch 作为区域网关, 并在 Floodlight 内部实现了 VLAN 和 VxLAN 的控制平面。虚拟网络管理模块在启动时会载入一个配置文件。配置文件中记录了区域划分信息、每一个区域支持的网络虚拟化技术以及控制平面的地址(在这里为类实例的内存地址)。为了验证该原型能够实现 VLAN 区域和 VxLAN 区域的互通, 搭建了一个五节点的实验环境, 如图 3 所示, 物理交换机为 IBM-G8124 交换机。在实验环境中, 网络被划分为 3 个区域, 其中区域 1 和区域 3 采用 VxLAN, 区域 2 采用 VLAN 技术。区域 1 和区域 2 通过一台虚拟交换机直接相连接; 区域 2 和区域 3 通过一个虚拟的 MPLS-VPN 环境相连接, 该环境会在下文中详细介绍。每台物理主机上分别有一台虚拟机, 该创建过程均由 OpenStack Nova 模块实现。通过如下两方面的实验来验证 Omni-Bridge 模型的功能。

(1) VLAN 域与 VxLAN 域的互通

为了验证域间的互通性, 创建了两个虚拟网络 A 和 B。VM1 与 VM3 属于虚拟网络 A, IP 地址分别为 10.0.0.3 和 10.0.0.4; VM2 和 VM4 属于虚拟网络 B, IP 地址分别为 10.0.0.3 和 10.0.0.4。使用 scp(secure copy)命令在 VM1 和 VM3 之间传输一个大小为 1 GB 的文件, 测试两个域之间

的可达性。测试结果显示, VM1 和 VM3 之间可以成功完成文件的传输, 平均传输速度为 48.1 MB/s, 说明虚拟网络 A 具有跨域的可达性, 并且与其他虚拟网络隔离。

(2) 区域网关与 MPLS-VPN 相结合

为了验证区域网关可以与现有的 VPN 技术相结合, 在主机 7 上创建了虚拟交换机, 直接与区域 2 和区域 3 相连的虚拟交换机相当于 PE, 负责为数据分组打上或去掉 MPLS 标签, 同时也会进行标签转换, 中间的交换机则根据 MPLS 标签进行转发。VM4 与 VM5 同属虚拟网络 B, 仍然利用 scp 命令在两台虚拟机之间相互传输大小为 1 GB 的文件, 测试结果显示文件传输可以顺利完成, 平均传输速度为 46.0 MB/s, 说明区域网关可以同 MPLS-VPN 相结合, 共同完成网络虚拟化技术的互通。

6 结束语

随着网络虚拟化技术的发展和变革, 运营商面临着由多样性和差异性带来的网络资源“孤岛”问题。特别对于电网企业信息网络来说, 其具有网络规模大、硬件设备异构的特点, 网络虚拟化技术往往难以统一。如何实现不同网络虚拟化技术区域之间的互通, 是一个充满挑战的问题。

本文首先分析了实现网络虚拟化技术互通要解决的几个关键问题, 之后提出了一种基于 SDN 的网络虚拟化技术互通架构。该架构通过集中式的虚拟网络管理模块来实现控制平面之间的信息交互, 利用可编程交换机作为区

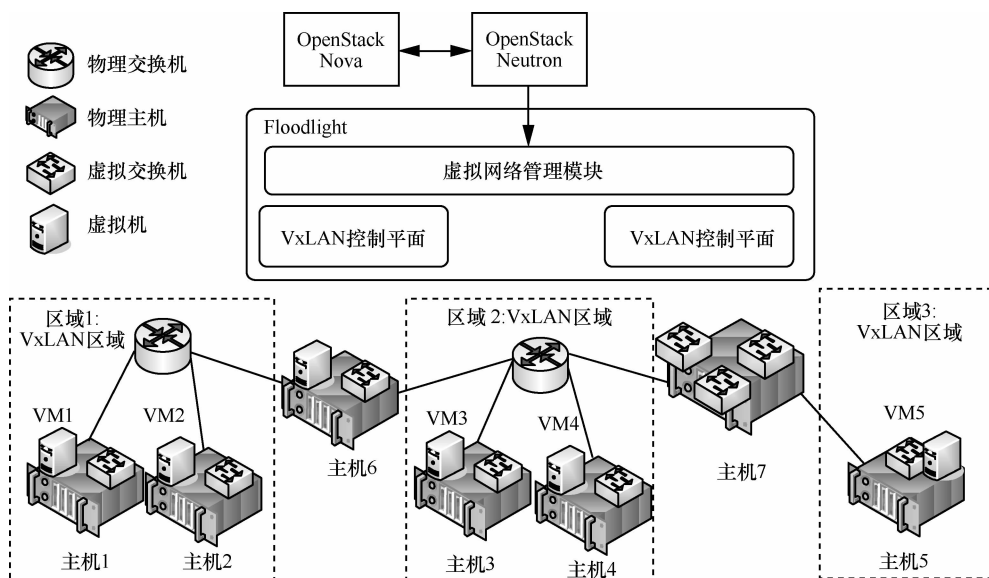


图 3 原型验证环境

域网关实现数据分组格式的改写,并介绍了跨域路由的机制。同时基于开源 OpenFlow 控制器,初步实现了原型,并与云平台 OpenStack 相结合,搭建的实验环境证明了该原型可以实现 VLAN 和 VxLAN 之间的技术互通,同时可以与 MPLS-VPN 技术结合。

参考文献

- 1 Bari M F, Boutaba R, Esteves R, *et al.* Data center network virtualization: a survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, 15(2): 909~928
- 2 Momoh J A. Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control. *Proceedings of Power Systems Conference and Exposition (PSCE'09)*, Seattle, USA, 2009
- 3 罗萱,叶通,金耀辉.云计算数据中心网络研究综述. *电信科学*, 2014, 30(2): 99~104
Luo X, Ye T, Jin Y H. Survey on data center network for cloud computing. *Telecommunications Science*, 2014, 30(2): 99~104
- 4 Jain R, Paul S. Network virtualization and software defined networking for cloud computing: a survey. *IEEE Communications Magazine*, 2013(51): 24~31
- 5 IEEE 802.1Q: VLAN. http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.1Q, 2005
- 6 Mahalingam M, Dutt D, Duda K, *et al.* VxLAN: a Framework for Overlaying Virtualized Layer 2 Networks over Layer 3 Networks. *RFC7348*, Aug 2014
- 7 Sridharan M, Duda K, Ganga I, *et al.* Nvgre: Network Virtualization Using Generic Routing Encapsulation. *Internet-Draft NVGRE*, 2011
- 8 Luo M, Chen J. Towards network virtualization management for federated cloud systems. *Proceedings of IEEE 6th International Conference on Cloud Computing*, Santa Clara, CA, USA, 2013
- 9 Vissicchio S, Vanbever L, Bonaventure O. Opportunities and research challenges of hybrid software defined networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2014, 42(2): 1~6
- 10 Liu Z, Li Y, Su L, *et al.* M2cloud: software defined multi-site data center network control framework for multi-tenant. *SIGCOMM Computer Communication Review*, 2013, 43(4): 517~518
- 11 Sajassi A, Aggarwal R, Henderickx W, *et al.* BGP MPLS Based Ethernet VPN. *draft-ietf-l2vpn-evpn-04*, July 2013
- 12 Kanada Y, Tarui T, Shiraishi K. Federation-less-federation of network-virtualization platforms. *Proceedings of IFIP/IEEE Integrated Network Management Symposium (IM)*, Ghent, Belgium, 2013
- 13 Sharafat A R. MPLS-TE and MPLS VPNs with Openflow. *Proceedings of SIGCOMM 2011*, Toronto, Ontario, Canada, 2011

[作者简介]



马塞,男,上海交通大学硕士生,主要研究方向为网络虚拟化。

黄辉,男,现就职于中国电力科学研究院,主要研究方向为软件定义网络。

夏仕俊,男,现就职于国网上海市电力公司信息通信公司,主要从事电力通信系统的运行管理工作。

金耀辉,男,上海交通大学教授、网络信息中心副主任,主要研究方向为云计算架构、数据中心及宽带网络和海量流式数据分析。

罗萱,男,博士,现就职于上海交通大学网络信息中心,负责学校数据中心网络的规划和建设工作,主要研究方向为云计算、网络虚拟化、软件定义网络和数据挖掘。

2015092-7

2015 年 4 月国内手机出货量增长 11%

据中国通信企业协会消息,2015 年 4 月,国内手机市场出货量为 4 520.1 万部,同比增长 11%。其中 2G 手机出货量为 486.5 万部,同比下降 2.5%;3G 手机出货量为 244.4 万部,同比下降 91.6%;4G 手机出货量为 3 789.1 万

部,同比增长 472.0%,占整体出货量的 83.8%。从前 4 个月的数据来看,4G 手机出货量占国内手机市场出货量的比重达到 80.5%。4G 手机成为采购和销售的主力军。

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)