



面向数据中心异构 SDN 的网络协同编排平台设计与实现

吴林泽, 樊勇兵, 黄志兰, 陈楠, 林宝洪

(中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 软件定义网络 (SDN) 技术为高速发展的云计算提供了网络解决方案, 而数据中心 SDN 的规模化部署必然带来 SDN 异构互通、统一管理和协同编排需求。在研究 SDN 异构互通、北向接口标准化和协同编排等关键技术及其发展现状的基础上, 提出通过网络协同编排平台 SDN Hub 实现跨域、跨厂商、跨 SDN 控制器互通和互操作的方法, 并给出了平台的方案设计和系统实现, 最终实验结果证明, 平台具备多控制器接入和异构资源池调度能力。

关键词: 云计算; 异构; 编排; SDN

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018164

Design and implementation on orchestrator for heterogeneous SDN data center solutions

WU Linze, FAN Yongbing, HUANG Zhilan, CHEN Nan, LIN Baohong

Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: The requirements of interoperability, unified management and orchestration for heterogeneous SDN data center solutions have been identified. Based on the study of heterogeneous SDN interoperability, northbound interface and orchestration technology, SDN Hub was proposed as the orchestrator to satisfy the requirements. The architecture and system design of SDN Hub was also presented. Experiment result proves SDN Hub achieves the design goal of multi-controller access and heterogeneous resource pool scheduling.

Key words: cloud computing, heterogeneous, orchestrator, SDN

1 引言

云计算的发展要求数据中心网络具备大规模虚拟机/服务器接入、多租户隔离承载、按需自动配置、灵活调整等方面的能力。SDN (software defined networking, 软件定义网络) 增加了网络的灵活性、开放性及创新性, 已经成为未来数据

中心网络的发展方向^[1]。在 SDN 的众多技术流派中, overlay SDN 通过隧道技术在现有网络架构上叠加虚拟的 overlay 网络, 强调 overlay 网络的集中控制和开放可编程, 对现网改动较小、部署容易、技术成熟度相对较高, 是当前实现数据中心网络云化的主要技术手段^[2]。但是随着云资源池规模的不断增长以及 SDN 的逐步部署, 将不可避



免地出现多厂商 SDN 方案共存的情况，产生异构 SDN 互通、统一管理和协同编排的需求^[3]。

在异构互通方面，对于单个数据中心内规模较大的云资源池，可能部署多套异厂商 SDN 产品，从而产生单 DC（data center，数据中心）单资源池异构 SDN 互通的需求；在同一数据中心的不同资源池，可能部署不同厂商 SDN 产品时，从而产生单 DC 多资源池异构 SDN 互通需求；不同数据中心的云资源池部署不同 SDN 产品时，跨数据中心的业务需求也将产生跨 DC 资源池的异构 SDN 互通需求。

在统一管理方面，由云管理平台对接 SDN 控制器对各个云资源池的网络进行统一的管理。由于不同厂商 SDN 产品的北向接口缺乏标准指引，云管理平台需对不同厂商 SDN 控制器开发适配驱动，费时费力。虽然各厂商 SDN 都支持与 OpenStack Neutron 的适配，但 Neutron 本身并不具备多厂商 SDN 控制器统一接入和管理能力，并且 Neutron 网络模型相对固化，无法覆盖各类云资源池的个性化网络需求时，仍旧需要针对各 SDN 产品进行定制化开发。

在协同编排方面，随着云业务发展，用户要求云平台提供跨地域、跨不同资源池、跨不同厂商、跨不同类型的云网络部署能力，因此，需要实现跨异构 SDN 控制器的云网络编排功能。

针对多厂商 SDN 方案共存时的异构互通、统一管理和协同编排需求，本文提出协同编排平台 SDN Hub 方案。平台采用通用编排引擎，结合模型驱动设计，具有按需接入多厂商 SDN 控制器、网络模型可扩展、网络接口统一、网络统一管理、异构互通、跨域调度等优点。

2 研究背景与相关工作

目前，业界对异构 SDN 互通、统一管理和协同编排等问题的研究主要有标准化组织在推动网络协议和控制器接口的标准化，有各大开源编排器项目在推动异厂商兼容和网络编排。但无论是标准还是开源，都只解决其中某一部分问题，尚未形成完整的解决方案。

2.1 EVPN 实现异构互通

EVPN（Ethernet virtual private network，以太网虚拟专用网）是一种新型二层 VPN（virtual private network，虚拟专用网络）技术^[4]。由 IETF（Internet Engineering Task Force，国际互联网工程任务组）主导，相关草案如图 1 所示，已部分实现标准化。

EVPN 适用于 DC 内网络虚拟化、多 DC 互联等场景，其控制面定义了 5 类 EVPN 路由来标准化控制面的信息交换和路由通告^[5]，由 MP-BGP（multiprotocol extensions for border gateway protocol，边界网关协议的多协议扩展）实现。转发面则存在 MPLS、PBB 和 NVO3 等多种技术实现方式。

思科（Cisco）、瞻博（Juniper）、华为、中兴、华三等主流设备厂商正尝试通过网关或者控制器层面支持 EVPN 协议，但其中有着复杂的商业利益博弈，标准化进度缓慢。此外，EVPN 虽然规范了网络控制面的控制信息，但厂商主推的 EVPN SDN 方案中，其控制面仍然保留在网络设备中，且控制信息多为 EVPN 的私有定制，导致网络的智能无法充分释放，更无从谈起软件定义的开放性、灵活性，自然会影响到异构互通的实现。

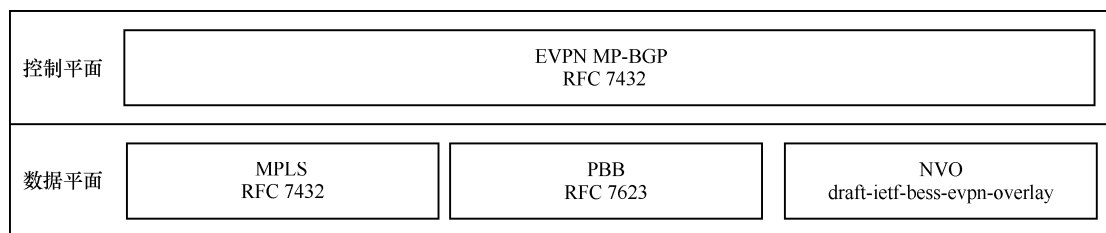


图 1 EVPN 相关标准

2.2 北向接口标准化实现互操作

在北向接口标准化方面, ITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, 国际电联电信标准化部门)定义电信网络和管理网络的通信接口 Q3, 但接口复杂性高, 未被广泛采纳; TMF(TeleManagement Forum, 电信管理论坛)基于 CORBA(common object request broker architecture, 公共对象请求代理体系结构)实现 NMS(network management system, 网络管理系统)和 EMS(element management system, 网元管理系统)信息交互接口, 专业性较强, 不适用于 SDN; ONF(Open Networking Foundation, 开放网络基金会)的北向接口工作组提出关注网络资源抽象和控制能力开放的功能型北向接口, 仍处于探索阶段^[6]。目前各标准组织虽倾向采用统一信息模型定义北向接口, 但标准尚未成熟, 不具备可用的能力。

从整个产业实现来看, 对于 SDN 数据中心控制器北向接口来说, 在网络业务模型方面, 常以 OpenStack Neutron 网络模型为标准, 主要包括网络、子网、路由器、安全组、公网 IP 地址、防火墙、负载均衡、服务功能链、动态路由、DNS 等, 缺乏 NAT、DHCP、路径选择、网络转发等模型及接口定义, 不能覆盖运营商完整的网络业务需求; 在网络功能模型方面主要基于 Neutron 框架, 采用 SDN 插件实现, 缺乏针对纯软 VxLAN overlay 网络功能的接口标准(即配置开通 VxLAN overlay 网络的相关接口); 在网络管理模型方面, 对网络资源、网络拓扑、配置管理、故障管理、性能管理、安全管理等数据中心 SDN 网络运维管理模型缺乏统一定义。

可见, SDN 控制器北向接口缺乏全面统一的指引, 各商业产品间实现各异, 彼此间互操作困难。

2.3 开源编排器中的 SDN 网络编排

在异构 SDN 控制器之上引入编排器, 编排器面向用户需求, 将各种服务拆解成功能单元进行安排和调度, 可以实现 SDN 网络服务的跨域自动

化创建、调度、监控和生命周期管理等。业界不乏面向网络服务的开源编排器项目^[7], 其中 OpenMANO、OSM(Open Source MANO)、OpenBaton、Tacker 等项目基于 ETSI MANO 标准, 面向 NFV 业务; OPEN-O 与 OpenECOMP 为融合 SDN/NFV 的开源编排平台, 2017 年 2 月 Linux 基金会宣布将两者整合, 成立新的 ONAP(Open Network Automation Platform, 开放网络自动化平台)。ONAP 中的 SDNC(SDN controller, SDN 控制器)组件可根据网络配置工作流实例化虚拟网络功能, 并对虚拟网络功能进行编排, 实现对 SDN 的支持, 但 ONAP 刚成立不久, 2017 年 11 月发布首个版本 Amsterdam, 该版本中提出了一个统一的架构, 并为两个最初用例提供了经过验证的蓝图, 但距离可商用还有很远的距离。

3 协同编排平台方案设计

提出利用协同编排平台 SDN Hub 作为异构 SDN 互通、统一管理和协同编排的一体化解决方案, SDN Hub 构建在云管理平台之下, 异厂商 SDN 控制器之上, 融合 EVPN 和编排技术, 能够实现跨域、跨厂商、跨 SDN 控制器的网络协同与编排。

3.1 平台特性

平台包括打通异构网络数据面、插件对接 OpenStack Neutron 实现更多个性化功能、分离业务模型和网络模型、编排框架实现跨域业务调度等特性。

- 结合 EVPN 技术, 在底层异构 SDN 网络间预先配置好 EVPN BGP 邻居关系具备互通能力的条件下, 根据业务需求按需下发路由(通常为 Type2 和 Type5 类路由), 从而实现异厂商 SDN 间按需的二、三层网络的互通。
- 采用 OpenStack 作为适配层, 以插件形式对接 OpenStack 网络组件 Neutron, 实现对各厂商云解决方案网络资源的统一管理。OpenStack 自身不具备多 SDN 接入的能力。采用 SDN



Hub 协同编排平台插件后, OpenStack 通过对接平台插件可以实现异构 SDN 网络的统一接入, 同时在插件中对标准 Neutron 接口进行扩展, 更好满足云业务需求。

- 采用两层模型设计, 分别是面向应用的业务模型和面向控制器的网络模型。业务模型用于描述外部应用对底层网络的高级别需求, 如 VPC (virtual private cloud, 虚拟私有云) 业务对虚拟网络的组网和策略要求; 网络模型则是对控制器网络模型的抽象, 对异构 SDN 控制器进行模型和接口的统一。通过将业务模型和网络模型分离开来, 能够充分解耦网络业务和底层 SDN, 真正实现网络的按需提供。
- 采用编排框架, 利用 workflow 模板描述业务, workflow 解析器与资源调度器两者结合实现对具体 SDN 方案的调用, 最大限度地实现业务自动化。

3.2 平台架构

SDN Hub 协同编排平台由 SDN Hub GUI (graphical user interface, 图形用户界面)、SDN Hub 编排层、SDN Hub Neutron 插件和 SDN Hub 驱动组成。SDN Hub GUI 提供系统管理和资源配置页面。SDN Hub 编排层是跨域调度的核心, 提供统一业务模型和北向 API、网络服务编排和资源配置、资源调度、异构互通服务。SDN Hub Neutron 插件用于 SDN Hub 与 OpenStack 的对接, 以实现对接底层多厂商 SDN 控制器的统一管理。SDN Hub 驱动组件接收来自 SDN Hub 编排层的网络调用, 提供统一控制器模型、北向 API 定义、异厂商 SDN 控制器的接入以及按需将网络配置调度到指定控制器的能力。SDN Hub 各组件间松散耦合, 通过标准的 REST (representational state transfer, 表述性状态传递) API 进行交互。其技术架构如图 2 所示。

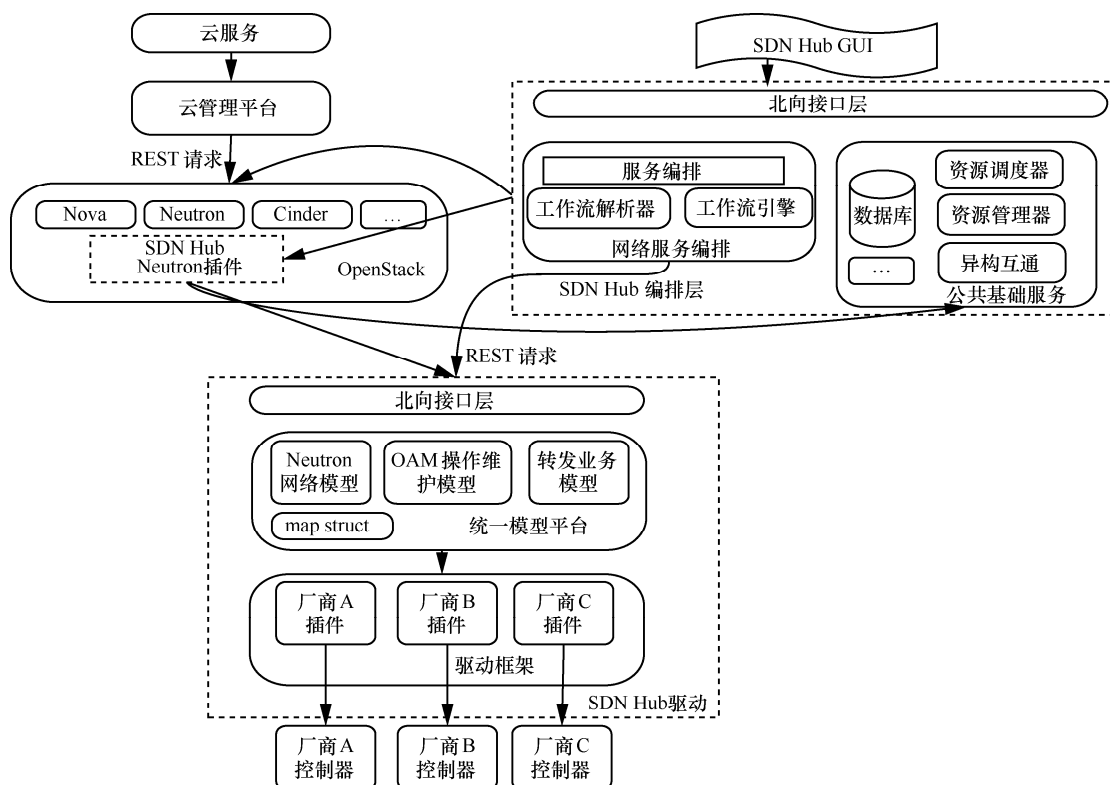


图 2 SDN Hub 架构

4 协同编排平台实现

4.1 SDN Hub GUI

SDN Hub GUI 基于 React.js 框架开发, 提供图形界面进行资源管理、拓扑管理、运维监控信息呈现等功能, 其中: 资源管理, 供运维人员进行 OpenStack、SDN Hub 驱动、区域、可用域等资源的注册和关联; 拓扑管理, 呈现完整的逻辑资源拓扑和 overlay 网络拓扑; 运维监控, 收集底层上报的运行数据, 提供运维监控图表, 对异常情况按照等级进行告警, 查看组件的运行日志和操作日志等。

4.2 SDN Hub 编排层

编排层是 SDN Hub 的核心, 实现异构 SDN 的统一管理、调度和协同编排。编排层提供统一的北向接口和南向接口模块。北向接口模块暴露标准的 REST API, 供云管理平台和业务系统等调用。南向接口模块则通过 REST 客户端向 OpenStack 和 SDN Hub 驱动等组件发出南向调用。编排层架构如图 3 所示, 具体介绍如下。

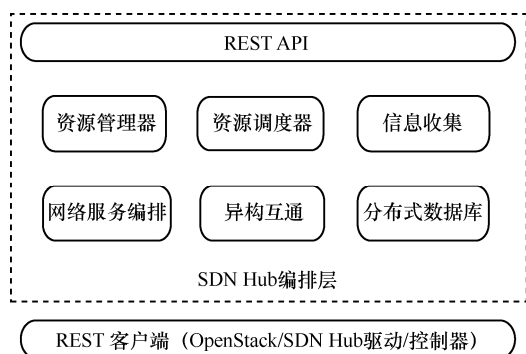


图3 SDN Hub 编排层架构

资源管理器: 维护各类资源的信息及其关联关系, 包括 OpenStack、SDN Hub 驱动、控制器、控制器插件、区域、可用域等资源。所有的信息存储在数据库中。

资源调度器: 提供网络资源的调度策略, SDN Hub 图形页面提供策略定义界面, 允许运维人员

或用户指定资源调度策略。

信息收集模块: 接收 SDN Hub Neutron 插件、SDN Hub 驱动等组件的上送信息。

异构互通模块: 根据业务需求, 按需下发基于 EVPN 的二、三层路由配置命令至 SDN Hub 驱动, 实现异构 SDN 间的网络互通。

网络服务编排模块: 利用基于工作流的开源编排引擎实现编排服务, 用 workflow 模板文件对云业务的模型、资源操作和调用流程进行描述; 工作流解析器与资源调度器交互, 将模板文件解析成独立的任务, 每个任务包含输入、输出信息和需要执行的操作; 工作流引擎则执行序列化后的任务。

在分权分域方面, 编排层与上层云管理平台统一鉴权, 由运维人员统一维护, 有效实现资源隔离。同时通过云管理平台下发的防火墙安全策略也会被 SDN Hub 有效调度到底层 SDN 域, 进一步保证异构互通安全性。

4.3 SDN Hub Neutron 插件

SDN Hub Neutron 插件作为 SDN Hub 对接 OpenStack Neutron 的插件, 扩展 OpenStack 多控制器接入能力, 并在现有 Neutron 网络模型之上对 API 进行小量扩展以满足云资源池其他网络需求。SDN Hub Neutron 插件与其他组件交互过程如图 4 所示, 其处理流程如下。

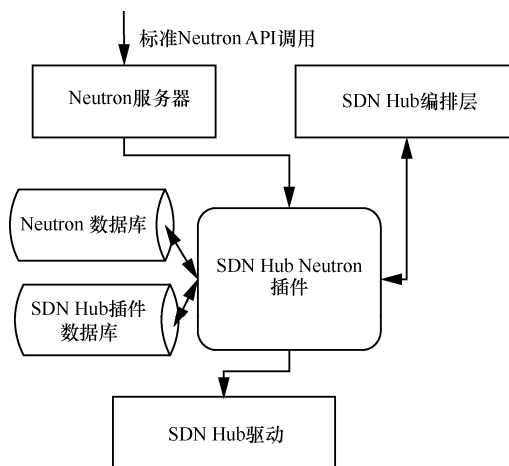


图4 SDN Hub Neutron 插件与其他组件交互



步骤 1 接收来自 Neutron 服务器的所有请求，进行相应的数据库逻辑处理（如将网络资源的增/删/改/查信息存入 Neutron 数据库）。

步骤 2 与 SDN Hub 编排层交互，决定把网络请求发往哪个具体的 SDN 控制器，同时将网络资源与 SDN 控制器的对应关系存入本地数据库。

步骤 3 向 SDN Hub 驱动发出南向调用，携带控制器 ID（identification，身份表示号）参数，指明网络请求应该发给哪个具体的 SDN 控制器处理。

4.4 SDN Hub 驱动

SDN Hub 驱动是一个相对独立的组件，可以直接由业务系统、云管理平台调用，也可以作为 SDN Hub 编排层的南向组件。SDN Hub 驱动的核心功能：提供统一的抽象控制器网络模型和接口定义，支持灵活扩展；将来自上层的网络配置需求调度到指定控制器之上；提供异厂商控制器的按需热插拔。

开源项目 OpenDaylight 采用 MD-SAL（model-driven service abstract layer，模型驱动的服务抽象层）作为核心，适合作为 SDN Hub 驱动的基础框架。基于 MD-SAL，SDN Hub 驱动组件能够实现：采用 YANG 模型定义统一控制器抽象，支持控制器模型的灵活扩展，采用控制器插件的模式实现抽象控制器模型到厂商 SDN 控制器北向接口的适配；利用 MD-SAL 框架自带的 RPC-Routed（remote procedure call-routed，远程过程调用路由）功能将业务请求路由至控制器；采用 OSGi（open service gateway initiative，开放服务网关协议）框架，实现异厂商 SDN 控制器按需热插拔。SDN Hub 驱动架构如图 5 所示。

北向接口层：提供统一北向 REST API，接收来自 SDN Hub 编排层和 OpenStack Neutron 的网络配置请求（包括控制器 ID 和网络配置信息）。

统一模型层：提供 YANG 的抽象控制器模型，涵盖网络业务（如 DC 内的 Neutron 模型、DC 间或者异构 SDN 互通的模型）、网络运维（如流量

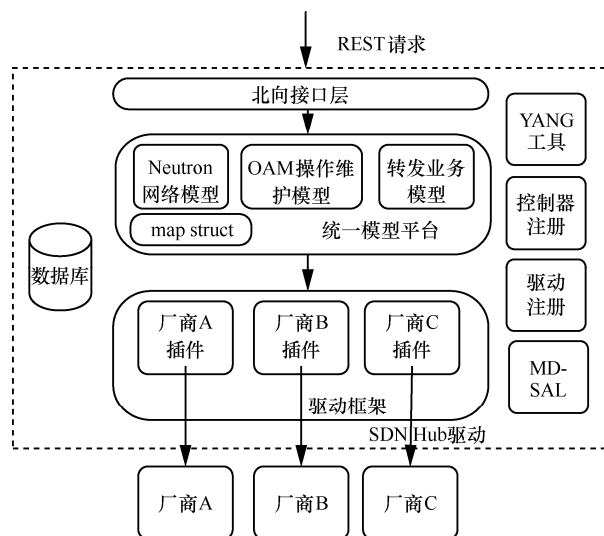


图 5 SDN Hub 驱动架构

统计、故障告警等）、网络转发（如服务链、流表下发）等控制器操作。YANG 模型文件通过 YANG 工具自动转换为可调用的 RESTful 接口。新增业务场景时，只需定义新业务的 YANG 模型即可灵活完成业务扩展。

驱动框架：集成各厂商控制器插件。厂商控制器插件实现统一抽象控制器模型到控制器自身模型的转换，并通知控制器进行业务相关的网络配置。

注册管理：提供控制器和控制器插件的注册管理服务，其中控制器注册的信息包括控制器厂商标识、控制器版本号、控制器管理 IP（internet protocol，互联网协议）地址、用户名和密码等信息。

数据库：存放 YANG 模型文件和控制器注册信息、插件注册信息等。

5 实验分析

5.1 实验设置

采用实验对 SDN Hub 平台能力进行验证。实验拓扑图如图 6 所示，SDN Hub 编排层集中部署，SDN Hub Neutron 插件和 SDN Hub 驱动采用分布式部署方式。异厂商控制器分别部署在 KVM 和

VMware 资源池中, 通过 Postman 或 Java 客户端向 SDN Hub 发送携带控制器 ID 的请求, 包括网络、子网、端口、路由器、安全组、浮动 IP 地址等增/删/改/查等请求。

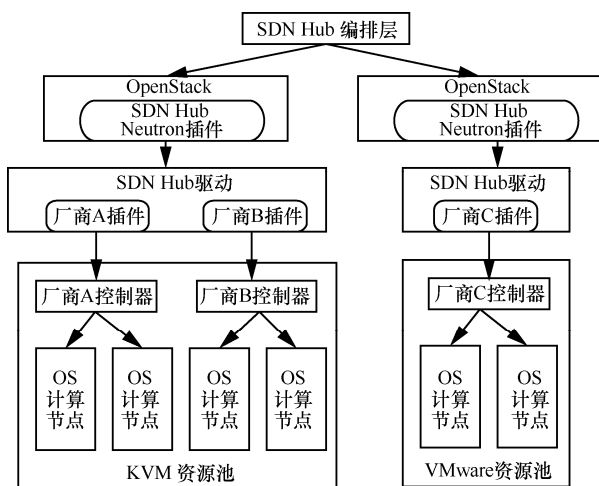


图 6 实验拓扑图

5.2 结果分析

本实验在 KVM 资源池中部署厂商 A 和厂商 B 的控制器, VMware 资源池中部署厂商 C 控制器,

不同控制器属于不同 AZ (availability zone, 可用域)。图 7(a)和图 7(c)分别为通过 Java 客户端和 Postman 向 SDN Hub 下发带有 OS_ID 和 AZ_ID 的创建网络命令。由于厂商 A 和厂商 B 控制器部署在同一个 OpenStack 下, OS_ID 均为 505157c6-4c08-11e7-8a21-0050568f4bc4, 厂商 A 控制器 AZ_ID 为 eb3851b2-5a17-11e7-8a21-0050568f4bc4, 厂商 B 控制器 AZ_ID 为 eb3851b2-5a17-11e7-8a21-0050568f4bc4。创建网络命令通过 SDN Hub 跨域调度到具体厂商控制器并执行, 在控制器查看网络创建结果, 如图 7(b)和图 7(d)所示, 均创建成功。图 8(a)为通过 Postman 向 SDN Hub 下发带有厂商 C 所属 OS_ID 和 AZ_ID 的路由器创建命令, 其中 OS_ID 为 d859f3bc-8c76-11e7-a224-0050569d3dc6。AZ_ID 为 a104749b-8c77-11e7-a224-0050569d3dc6, 创建路由器命令通过 SDN Hub 跨域调度到具体厂商控制器并执行, 在控制器 C 查看路由器创建结果如图 8(c)所示, 创建成功。图 9 (a)为向厂商 C 控制器所属 AZ 下发创建

```
NetworkShell body = new NetworkShell();
Network network = new Network();
String OS_ID = 505157c6-4c08-11e7-8a21-0050568f4bc4;
String AZ_ID = eb3851b2-5a17-11e7-8a21-0050568f4bc4;
network.setName("DemoExt");
network.setRouterexternal(Boolean.TRUE);
body.setNetwork(network);
NetworkShell response = api.networksPost(OS_ID, AZ_ID, body);
```

(a) 下发创建网络命令, 其中 AZ_ID 为厂商 A 控制器所属 AZ

```
10:
id: "6c68e4d1-9d02-4af3-b876-e54514849e05"
name: "DemoExt"
admin_state_up: true
status: "ACTIVE"
shared: false
tenant_id: "290fbbf8bbb94c0e9a6d6c69bbae7aa"
router:external: true
provider:network_type: "null"
provider:physical_network: "physnet2"
provider:segmentation_id: "1000"
```

(b) 厂商 A 控制器查询结果

```
POST /v2.0/networks HTTP/1.1
Host: 192.168.8.248:9696
AZ_ID: 1b1b4178-4c29-11e7-8a21-0050568f4bc4
OS_ID: 505157c6-4c08-11e7-8a21-0050568f4bc4
X-Auth-Token: eca5a9f0488946769cbb60c47d8c64c8
Content-Type: application/json
Accept: application/json
Cache-Control: no-cache
Postman-Token: 9e9db48a-70c0-8f1f-75bc-a80dc3b36654

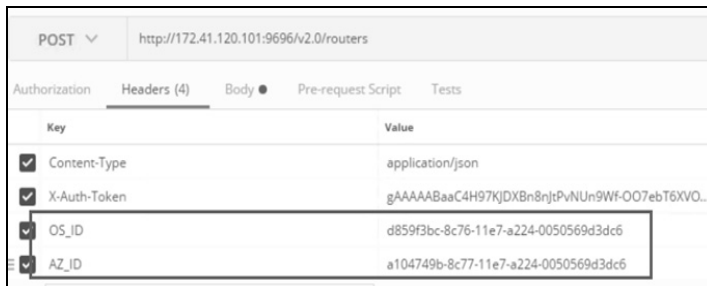
{"network": {
  "name": "TEST-NET01",
  "admin_state_up": true,
  "description": "SUBHUB TEST NET 01"
}}
```

(c) 下发创建网络命令, 其中 AZ_ID 为厂商 B 控制器所属 AZ

```
命令 (No.37): show network;
操作维护 网络ID 网络名称 是否是外部网络
删除 298f1e18-525b-4e2c-b2de-29c011f84d34 TEST-NET01 false
租户ID Segmentation Id
290fbbf8bbb94c0e9a6d6c69bbae7aa 1013
记录数 1
执行成功 执行时间: 2017-06-22 10:48:36
```

(d) 厂商 B 控制器查询结果

图 7 网络创建实验结果



(a) 下发创建路由器命令, AZ_ID 为厂商 C 控制器所属 AZ



(b) 下发的路由器创建命令体

命令 (No.3) : show router;

操作维护	路由器ID	路由器名称	外网网关端口	内网路由接口	静态路由	租户ID
删除	96c38f3d-566f-4f9f-8ce6-c429ea5eece2	router_1		null	null	c8815c5bd23a4652bef3d1865d230e9d

记录数 1

执行成功 执行时间: 2018-01-24 15:53:40

(c) 厂商 C 查询结果

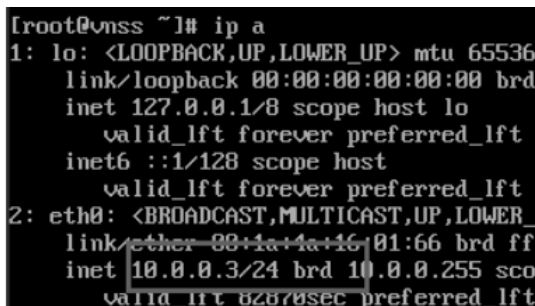
图 8 路由器创建实验结果



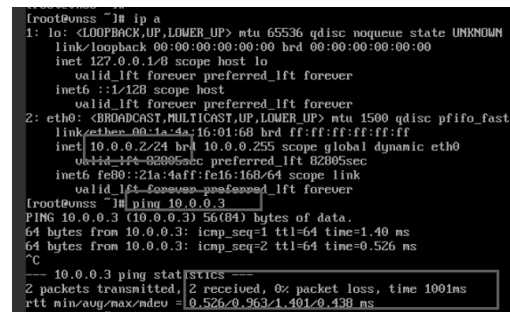
(a) 向厂商 C 控制器所属 AZ 下发创建子网请求



(b) 下发的子网创建命令体



(c) 虚拟机 1 获取到子网内的 IP 地址



(d) 虚拟机 2 获取到子网内的 IP 地址, 并与虚拟机 1 实现通信

图 9 虚拟机二层通信实验结果

子网请求, 下发的子网创建命令体如图 9(b)所示, 如图 9(c)所示虚拟机 1 获取到子网内的 IP 地址 10.0.0.3, 如图 9(d)所示虚拟机 2 获取到 IP 地址 10.0.0.2, 并与虚拟机 1 实现通信。

实验结果证明 SDN Hub 具备多控制器接入并

将业务正确调度到 SDN 域的能力。

6 结束语

随着数据中心网络 SDN 化的演进, 大规模数据中心将不可避免出现多厂商 SDN 方案共存局

面。如何实现数据中心内和数据中心间厂商 SDN 控制器的异构互通、统一管理以及协同编排需求,是运营商 SDN 演进过程中面临的重大问题。本文提出的协同编排器 SDN Hub 对异构厂商 SDN 控制器的接口进行统一,对现有的 Neutron 网络模型进行扩展,并对跨域业务进行统一管理和编排,在不破坏商业 SDN 解决方案的情况下实现业务与网络的充分解耦,对业界有一定的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 樊勇兵, 陈楠, 黄志兰, 等. 解惑 SDN[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015.
FAN Y B, CHEN N, HUANG Z L, et al. Disabuse SDN[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2015.
- [2] 黄志兰, 樊勇兵, 陈楠, 等. Overlay SDN 实现异构兼容的关键技术[J]. 电信科学, 2016, 32(11): 112-118.
HUANG Z L, FAN Y B, CHEN N, et al. Key technologies of heterogeneous compatibility in overlay SDN[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(11): 112-118.
- [3] 陈楠, 樊勇兵, 何晓武, 等. 面向应用的云数据中心网络技术研究[J]. 电信科学, 2014, 30(9): 128-132.
CHEN N, FAN Y B, HE X W, et al. Research on the technology of application-oriented cloud data center network[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(9): 128-132.
- [4] Requirements for Ethernet VPN (EVPN): RFC7209 [S]. 2014.
- [5] BGP MPLS-Based Ethernet VPN: RFC7432 [S]. 2015.
- [6] 李晨, 陈俏钢, 李凤凯, 等. SDN 的网络模型及北向接口[J]. 中兴通讯技术, 2016, 22(6): 17-21.
LI C, CHEN Q G, LI F K, et al. Network model and northbound interface of SDN[J]. ZTE Technology Journal, 2016, 22(6): 17-21.
- [7] 赵鹏, 段晓东. SDN/NFV 发展中的关键: 编排器的发展与挑战[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 18-25.
ZHAO P, DUAN X D. Key of SDN/NFV development: development and challenge of orchestrator[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(4): 18-25.

[作者简介]



吴林泽 (1992-), 女, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为 SDN、云计算。

樊勇兵 (1970-), 男, 博士, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 中国数据中心产业发展联盟云计算服务专家委员会第一批专家委员, 主要从事中国电信云计算、IDC 等方面的工作。

黄志兰 (1982-), 女, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为 SDN、云计算、IPv6。

陈楠 (1981-), 男, 博士, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, ITU-T Q14/SG11 联合报告人, Q18/SG13 编辑人, 主要研究方向为 SDN、NFV、服务器虚拟化、数据中心网络、管理平台技术等。

林宝洪 (1987-), 男, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为云计算、SDN/NFV。