



2018 SDN+NFBV+IPv6 FEST

白皮书

下一代互联网国家工程中心

2018 年 11 月 6 日

2018 SDN+NFW+IPv6 Fesf 测试活动简介



2018 年 10 月 15 日 至 23 日，下一代互联网国家工程中心（CFIEC）主办了“2018 SDN+NFW+IPv6 Fesf”测试活动，活动在下一代互联网国家工程中心（CFIEC）亦庄基地举行。中国电信北京研究院、中国联通、ETSI、IPv6 Forum、ONF、OPNFV、中国 CORD 产业联盟等运营商及技术组织作为合作伙伴，阿里云、神州数码（DCN）、烽火通信、新华三（H3C）、触点互动、Ixia、信而泰（Xinertel）等公司作为参测单位陆续参与了测试活动。参与此次测试活动的硬件设备包括了交换机、路由器、CPE、无线 AC 与 AP 以及承载 4G LTE 的小基站等，软件设备则包含了现在主流的 VNF、虚拟测试仪表以及控制器、编排器等，软硬件参测设备种类创新高。本次活动除了现场设备组网测试，又增加了阿里云的全线上测试，表明 SDN、NFW、IPv6 等技术实现了落地应用。

本次测试活动针对 SDN、NFW 和 IPv6 等技术领域，设计了 SD-WAN 场景、NFW 解耦、IPv6 功能以及 CORD 架构四项测试内容。测试活动期间，现场的工程师围绕设备和系统软件的互联互通及整体解决方案深入探讨了相关技术实现和测试方法，对待测产品、解决方案进行了全面细致的集中测试。

下一代互联网国家工程中心（CFIEC）下属的全球 SDN 测试认证中心和全球 IPv6 测试中心作为独立的第三方实验室，对测试结果作了公正的统计分析，同时对测试活动进行了系统性的总结，并将测试活动涉及的测试内容、测试方法以及测试结果整理至此白皮书中，供产业界同仁们参考，同时也欢迎大家积极建言献策，共同推动 SDN/NFW/IPv6 产业发展。

目录

1. 参测单位和设备总览	1
2. SDN 测试	3
2.1. SDN 测试简介	3
2.2. SDN 测试参考	3
2.3. SDN 参测单位列表	4
3. SDN 测试内容	5
3.1. SDN 测试方法简介	5
3.2. SDN 测试用例	5
3.2.1. SD-WAN CPE 零接触部署	5
3.2.2. SD-WAN CPE VPN 功能	6
3.2.3. SD-WAN 网络随选	6
3.2.4. SD-WAN 智能选路	7
3.2.5. SD-WAN 链路备份（高可用）	7
3.2.6. 端到端场景测试	8
4. SDN 测试结果	9
5. SDN 测试总结	10
6. NFV 测试	11
6.1. NFV 测试介绍	11
6.2. NFV 测试参考	12
6.3. NFV 参测单位列表	14
7. NFV 测试内容	15
7.1. 测试方法简介	15
7.2. NFV 互操作性测试	15
7.2.1. NS 实例化	15
7.2.2. NS 扩展	16
7.2.3. NS 终止	16
7.3. NFVI&VIM 功能测试	17
7.3.1. vping 测试	17
7.3.2. 虚拟网络 IPv6 测试	19
7.3.3. HA 测试	23
7.4. SFC 测试	28
7.4.1. 单计算节点 SFC	28
7.4.2. 多计算节点 SFC	28
7.5. VNF 功能测试	29
7.5.1. vBRAS 功能验证	29
7.5.2. vRouter 功能验证	30
7.5.3. vFW 功能验证	30
7.5.4. vCPE 功能验证	31
7.6. NFVO 和 VNFM 解耦测试	32
7.6.1. VNF 实例化	32

7.6.2. VNF 扩展	33
7.6.3. VNF 终止	34
7.7. NFV 网络性能测试	34
7.7.1. 虚拟二三层网络性能测试	34
7.7.2. vSwitch 数据平面性能(vSw)	36
7.7.3. VNF 数据平面性能	37
8. NFV 测试结果	40
8.1. NFV 互通测试与解耦测试结果	40
8.2. NFVI&VIM 功能测试与 SFC 测试结果	41
8.3. VNF 网元功能与性能测试结果	41
8.4. NFV 网络性能测试	42
9. NFV 测试总结	43
10. IPv6 测试	44
10.1. IPv6 测试介绍	44
10.2. IPv6 测试参考	44
10.3. IPv6 参测单位	44
11. IPv6 测试内容	46
11.1. IPv6 测试方法简介	46
11.2. IPv6 设备测试内容	46
11.2.1. IPv6 基础测试	46
11.2.2. IPv6 隧道测试	48
11.2.3. IPv6 路由测试	49
11.3. 云 IPv6 服务测试内容	49
11.3.1. IPv6 域名与解析服务	49
11.3.2. IPv6 负载均衡服务	50
11.3.3. IPv6 转换服务	52
12. IPv6 测试结果	54
13. IPv6 测试总结	55
14. CORD 测试	56
14.1. CORD 介绍	56
14.2. CORD 测试内容	56
14.3. CORD 测试结果	58
14.4. CORD 测试总结	58
15. SDN+NFV+IPv6 FEST 总结与展望	59

1. 参测单位和设备总览



图 1.1 参测单位 logo

本次 SDN+NFV+IPv6 Fest 测试活动共有 14 家单位参与，其中参测单位包括：阿里云、中国 CORD 产业联盟、中国电信北京研究院、神州数码、烽火通信、新华三；中国电信北京研究院、中国联通、ETSI、IPv6 Forum、ONF、OPNFV 共同参与测试用例和测试方法设计；触点互动、Ixia、信而泰 (Xinertel) 三家测试仪厂商提供测试工具支撑。全部参测厂商及其设备见下表：

表 1.1 参测单位及设备列表

参测厂商	参测软件	参测硬件
下一代互联网国家工程中心 (CFIEC)	OFsuite OpenFlow 协议一致性测试工具 OFsuite_Performance 控制器性能测试工具 BII Pharos Lab OPNFV 环境 IPv6 一致性测试仪 IPv6 互通性测试仪 NFV 测试仪	R720 服务器(CPU 2xE5-2609 , 2.5GHz , 内存 : 32G , 硬盘 : 2T) *10 R410 服务器*1 PC 服务站*1 Ixia XM2 测试仪*1

参测厂商	参测软件	参测硬件
阿里云	阿里云线上 VPC、ECS、RDS、SLB、CCN、CEN	智能接入网关 (sag100wm、sag1000)
中国 CORD 产业联盟	M-CORD 全套软件架构 VOD 视频点播服务软件	R720 服务器*3 SDN 白盒交换机*4 Baicells pBS4200 小基站*1
中国电信北京研究院	TeleNOS	
神州数码(DCN)		CS6200-28X-EI*1 CS6200-52X-EI*1 S5750E-28X-SI*1 S5750E-28X-SI*1
烽火通信(FiberHome)	FitTelecomOS FitMANO FitCER FitBNG FitFW FitRouter	FitServer R2200 服务器*7
新华三 (H3C)	H3C NFVO vBRAS1000 园区网架构相关控制器等软件	S10504*1 S5560X-30C-EI*2 S5130S-28TP-EI*2 S5130S-28S-HPWR-EI*2 WX3520H*1 WA4320i-CAN*2 SecPath F5040*1
触点互动	XPRO-Replay 2~7 层包回放测试套件	架式服务器*1
Ixia	Ixia 虚拟测试仪 IxNetwork IxLoad	Ixia XGS2-HSL(物理测试仪) *1 万兆板卡*1
信而泰 (Xinertel)	Renix 测试软件	BigTao220 测试仪*2 V6016M 千兆板卡*1 V8008F 万兆板卡*1 V2-10G-8C-Q 板卡*1 V2-100G-2QSFP28-Q*1

2. SDN 测试

2.1. SDN 测试简介

本次测试活动 SDN 部分围绕 SD-WAN 场景设计了 SD-WAN 边缘以及骨干网等测试内容，参测的软硬件产品主要包含 SDN 控制器、SDN 交换机及 CPE 设备等。

各部分测试内容如下：

SD-WAN 边缘：零接触部署功能（ZTP）、网络配置随选功能、智能选路功能、智能负载分担功能以及 VPN 功能等；

SD-WAN 骨干网：SR-MPLS，SRv6 等；

端到端场景：企业总部与分部之间、企业上云、云互连等场景。

图 2.1 为 SD-WAN 测试架构图

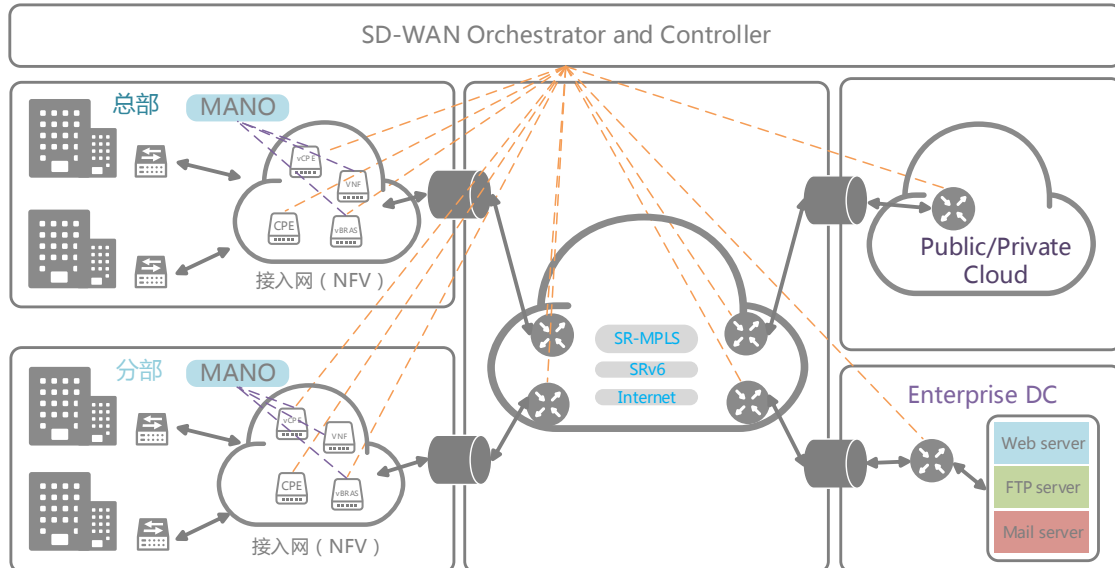


图 2.1 SD-WAN 测试架构图

2.2. SDN 测试参考

- OpenFlow 协议规范：OpenFlow Switch Specification Version 1.3.4（Protocol

version 0x04)

- OF-CONFIG 协议规范 : ONF TS-016 (OpenFlow Management and Configuration Protocol)
- OVSDB 规范 : RFC 7407 (The Open vSwitch Database Management Protocol)
- VXLAN : RFC 7348 (Virtual eXtensible Local Area Network (VXLAN): A Framework for Overlaying Virtualized Layer 2 Networks over Layer 3 Networks)
- NETCONF: RFC 6241 (Network Configuration Protocol)
- EVPN: RFC 7432 (BGP MPLS-Based Ethernet VPN)
- BGP-LS : RFC 7752 (North-Bound Distribution of Link-State and Traffic Engineering Information Using BGP)
- Segment Routing : RFC 8426 (Segment Routing Architecture)
- SRv6 : draft-filsfils-spring-srv6-network-programming-06

2.3. SDN 参测单位列表

表 2.1 SDN 网元

厂商	设备型号	数量
烽火通信	FitCER	实体 CPE*2 vCPE*1
阿里云	sag100wm	1
	sag1000	2

表 2.2 SDN 控制器

厂商	产品	数量
烽火通信	烽火通信 SDN 控制器	1
阿里云	阿里云 SDN 控制器	1

3. SDN 测试内容

3.1. SDN 测试方法简介

本次 SDN 测试围绕火热的 SD-WAN 场景进行测试，测试过程中既有烽火通信的 SD-WAN 相关 CPE、vCPE、控制器等设备，也有阿里云的智能接入网关（SAG）和云上 VPC、云企业网（CEN）、云连接网（CCN）环境。

本次测试活动对于 SD-WAN 的骨干网传输部分，设计了使用 Segment Routing 做传输流量控制，以及通过 SDN 控制器和 NETCONF、PCEP 等协议向设备下发流量转发路径，但由于缺少足够的厂家参与 SR 的测试，此部分不做详述。

3.2. SDN 测试用例

3.2.1. SD-WAN CPE 零接触部署

SD-WAN 边缘设备 CPE（vCPE）负责流量出口的选择，将特定流量引流至 SD-WAN POP 点，可实现对流量的精细化管理，以及租户 VPN 建立等功能。

SD-WAN 的一大特性是简单易用，此特性一般由用户侧的 CPE 设备完成，该测试用例主要验证 SDN 控制器对 CPE 设备上线后的零接触部署功能。

表 3.1 SD-WAN CPE 零接触部署测试用例

测试用例编号	测试目的
SDN_SDWAN_CPEZTP_001	CPE（vCPE）设备的零接触部署（ZTP）功能

测试拓扑图如图 3.1 所示。

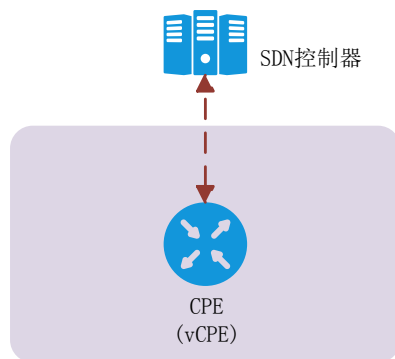


图 3.1 SD-WAN CPE (vCPE) 零接触部署测试拓扑

3.2.2. SD-WAN CPE VPN 功能

SD-WAN 边缘设备 CPE (vCPE)通过 VPN 承载企业 site 之间、企业到云以及 VPC 之间的数据传输。该测试用例主要验证 CPE (vCPE) 之间能够建立 VPN。

表 3.2 SD-WAN CPE VPN 功能测试用例

测试用例编号	测试目的
SDN_SDWAN_CPEVPN_001	验证 CPE(vCPE)设备的 VPN 功能

测试拓扑图如图 3.2 所示。

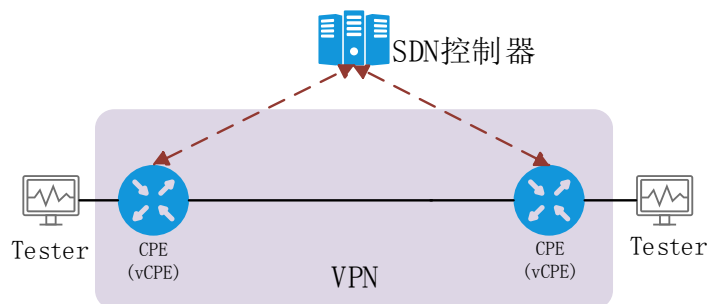


图 3.2 SD-WAN CPE VPN 功能测试拓扑

3.2.3. SD-WAN 网络随选

SD-WAN 允许用户根据需求灵活选择网络配置，该测试用例测试 SD-WAN 控制器对于用户 SD-WAN 网络的配置管理功能。

表 3.3 SD-WAN 网络随选测试用例

测试用例编号	测试目的
SDN_SDWAN_ONDEMAND_001	验证 SD-WAN 控制器或编排器对于用户 SD-WAN 网络的配置管理功能

测试拓扑图如图 3.3 所示。

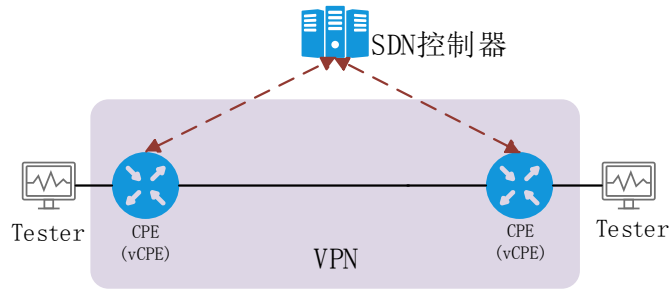


图 3.3 SD-WAN 网络随选测试拓扑图

3.2.4. SD-WAN 智能选路

该测试例测试 SD-WAN 的网络对用户流量的智能选路能力。

表 3.4 SD-WAN 智能选路测试用例

测试用例编号	测试目的
SDN_SDWAN_PATHSEL_001	验证 SD-WAN 的网络对用户流量的智能选路能力

测试拓扑如图 3.4 所示：

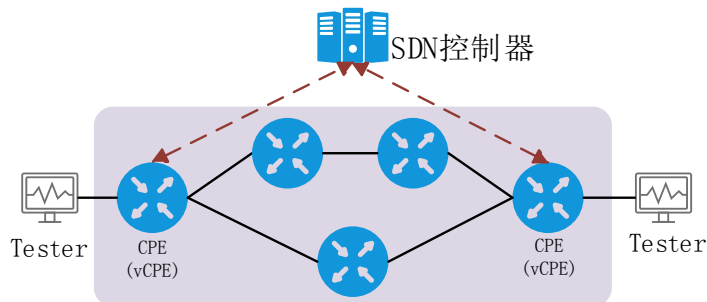


图 3.4 SD-WAN 智能选路测试拓扑

3.2.5. SD-WAN 链路备份（高可用）

SD-WAN 灵活的配置管理可方便实现链路备份，通过双上联链路进行智能负载分担或故障切换可达到链路高可用。

表 3.5 SD-WAN 链路备份（高可用）测试用例

测试用例编号	测试目的
SDN_SDWAN_LINKHA_001	验证 SD-WAN 的网络的链路备份功能

测试拓扑如下图所示：

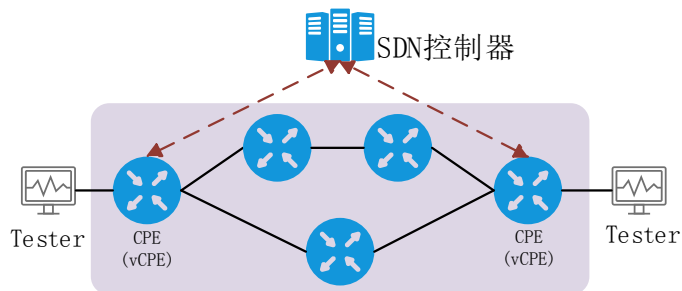


图 3.5 SD-WAN 链路备份（高可用）测试拓扑

3.2.6. 端到端场景测试

端到端场景选取 SD-WAN 的几种流量模型进行测试，模拟了企业总部到分部，企业到云，云数据中心到云数据中心这几种端到端业务场景。

表 3.6 SD-WAN 端到端场景测试用例

测试用例编号	测试目的
SDN_SDWAN_E2E_001	验证 SD-WAN 的端到端业务场景

测试拓扑如下图所示：

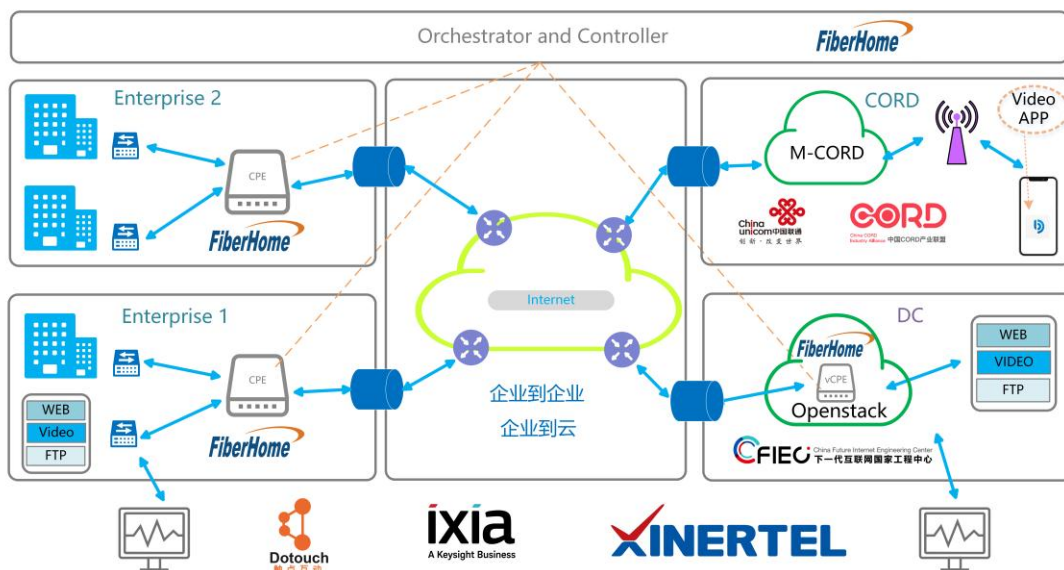


图 3.6 SD-WAN 端到端场景测试拓扑

4. SDN 测试结果

测试结果如下表 4.1 所示。

表 4.1 SD-WAN 测试结果

测试用例编号	厂商名称	
	烽火通信	阿里云
SDN_SDWAN_CPEZTP_001	测试通过	测试通过
SDN_SDWAN_CPEVPN_001	测试通过	测试通过
SDN_SDWAN_ONDEMAND_001	测试通过	测试通过
SDN_SDWAN_PATHSEL_001	测试通过	测试通过
SDN_SDWAN_LINKHA_001	测试通过	测试通过
SDN_SDWAN_E2E_001	测试通过	测试通过

此次参测的烽火通信和阿里云的 SD-WAN 相关产品均通过了以上测试，其中烽火通信为全线下测试，在测试活动现场通过搭建环境，使用信而泰和 Ixia 对设备的 CPE 功能、转发性能做出测试，使用触点互动的测试仪表进行端到端的 UDP、HTTP 业务模拟测试；而阿里云则为全线上测试，通过其 CPE 设备完成业务便捷上云。

另外，在测试前调研所知国内已经有不少厂商开始提供具备 SR 能力的网络设备及解决方案，然而本次测试中还是很遗憾没有足够的厂商参与设计的骨干网 SR 相关测试。后续我们还会继续对相关新技术做测试，希望后续能填补此次的空白。

5. SDN 测试总结

此次参测的烽火通信和阿里云 SD-WAN 均是以 CPE 设备承载用户接入，在易用程度上实现了上电即可用，无需复杂的人工配置；在业务上能够承载用户的二、三层 VPN 以及上云的需求；并且具备故障切换、负载分担等链路冗余功能；同时为用户提供了网络管理控制策略，允许用户对带宽、ACL 等策略进行自定义配置。从结果可见，参测的 SD-WAN 方案适应当前云网融合的技术趋势，能够为用户提供高效、敏捷的广域网服务方案。

SDN 经历了多年测试和验证，各厂商都选择提供完整的解决方案，实现的技术方式多样化，这也是当前 SDN 产业发展现状的一个缩影。在本次 SDN 测试中，选取的 SD-WAN 是一个集多种技术为一体的网络服务，虽然其也称为软件定义，但随着各个厂家纷纷做出完全独立的实现方式，其底层已经很少依赖于我们前些年测试过的 OpenFlow 的范畴。控制器与网络设备之间的南向接口在多厂商设备间互通的难度已经越来越大。而 SD-WAN 这种服务模型提供的灵活选配、自动部署、敏捷运维等特性也注定了难以用一两种开源标准、技术来实现。

6. NFV 测试

6.1. NFV 测试介绍

本次 NFV 测试继续关注不同厂商的各个组件之间互通性与兼容性，在去年的测试活动中我们验证了 MANO、VNF、VIM 之间的互操作性，但是观察近年来 NFV 的发展，VNFM 与 VNF 的厂商绑定较为严重，运营商通常都会自研 NFVO 保证与现有 OSS/BSS 的兼容性。同时运营商也较为关注自研的 NFVO 与厂商的 VNFM 的互联互通，因此在今年的 Fest 测试活动中新增 NFVO 与 VNFM 的解耦测试，该部分测试与中国电信北京研究院合作，利用电信北研院的 NFVO 分别与烽火通信、新华三的 VNFM 进行解耦测试。与此同时今年还增加了 NFVI&VIM 的基础测试、虚拟网络 IPv6 支持测试与 NFV 性能测试。NFV 测试组件包含以下三个部分：

- VNF (虚拟网络功能)，如：vBras，vCPE，vFW，vRouter 等
- MANO (NFV 的管理和编排器)：NFVO，VNFM，VIM
- NFVI (NFV 基础设施)

图 6.1 所示为 NFV 基本构成组件的示意图。

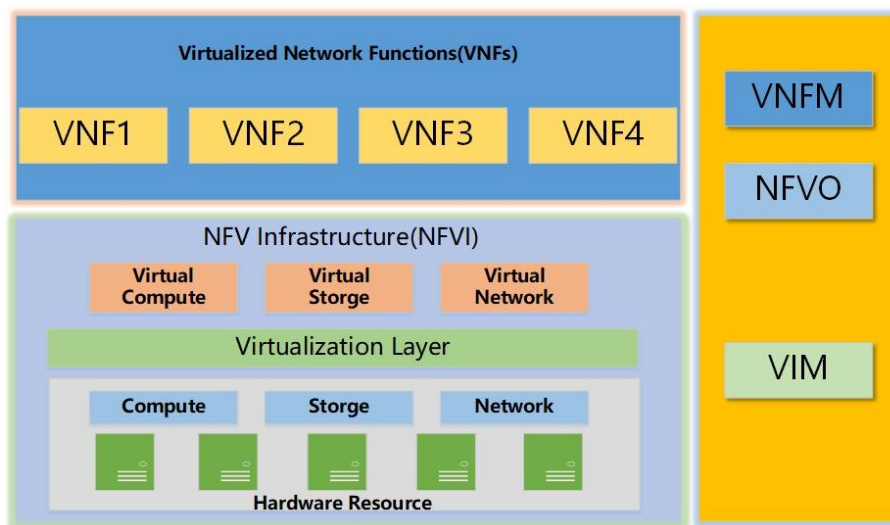


图 6.1 NFV 基本构成组件

6.2. NFV 测试参考

本次 NFV 测试主要依据欧洲电信标准化协会 (European Telecommunications Standards Institute , ETSI)官方标准、ETSI NFV Plugfest 测试活动以及 OPNFV 测试项目进行测试用例的设计，共设计有 36 个测试用例，包括 NFV 互通测试用例、NFVI&VIM 功能测试用例、SFC 测试用例、VNF 功能测试用例、NFVO 和 VNFM 解耦测试用例和 NFV 网络性能测试用例。详细测试用例说明见第 6 章。

测试依据文档如下：

- [NFV002] ETSI GS NFV 002: "Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework"
- [NFV003] ETSI GS NFV 003: "Network Functions Virtualisation (NFV); Terminology for main concepts in NFV"
- [IFA005] ETSI GS NFV-IFA 005: "Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration; Or-Vi reference point - Interface and Information Model Specification"
- [IFA006] ETSI GS NFV-IFA 006: "Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration; Vi-Vnfm reference point - Interface and Information Model Specification"
- [IFA007] ETSI GS NFV-IFA 007: "Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration; Or-Vnfm reference point - Interface and Information Model Specification"
- [IFA010] ETSI GS NFV-IFA 010: "Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration; Functional requirements specification"

- [IFA013] ETSI GS NFV-IFA 013: "Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration; Os-Ma-Nfvo reference point - Interface and Information Model Specification"
- [TST002] ETSI GS NFV-TST 002: "Network Functions Virtualisation (NFV); Testing Methodology; Report on NFV Interoperability Testing Methodology"
- [TST007] ETSI GR NFV-TST 007: "Testing; Guidelines on Interoperability Testing for MANO"
- [TST008] ETSI GR NFV-TST 008: "Testing; NFVI Compute and Network Metrics Specification"
- [TST009] ETSI GR NFV-TST 009: " Specification of Networking Benchmarks and Measurement Methods for NFVI"
- [SOL003] ETSI GS NFV-SOL 003: "Network Functions Virtualisation (NFV); Protocols and Data Models; RESTful protocols specification for the Or-Vnfm Reference Point"
- [1st NFV Plugtests] 1st ETSI NFV Plugtests Test Plan:
https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/CTI/Docs/1st_ETSI_NFV_Plugtests_Test_Plan_v1.0.0.pdf
- [2nd NFV Plugtests] 2nd ETSI NFV Plugtests Test Plan:
https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/CTI/Docs/2nd_ETSI_NFV_Plugtests_test_plan_v1.0.0.pdf
- [3rd NFV Plugtests] 3rd ETSI NFV Plugtests Test Plan:
https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/CTI/Docs/3rd_ETSI_NFV_Plugtests_test_p

[lan_v1.0.0.pdf](#)

- [OPNFV Verified Program(OVP)]OVP Test Specifications :

<https://docs.opnfv.org/en/stable->

<fraser/submodules/dovetail/docs/testing/user/testspecification/>

6.3. NFV 参测单位列表

如下所示的表格展示了 NFV 待测厂商及其待测组件的相关情况。

表 6.1 NFV 参测厂商及其组件

厂商	待测组件	厂商信息	备注
电信北研院(CTBRI)	TeleNOs v2.0	中国电信股份有限公司北京研究院	NFVO 组件
新华三 (H3C)	H3C NFVO E1117	新华三技术有限公司	VNFM 组件
	vBRAS1000 E0518		VNF 组件
烽火通信 (Fiberhome)	FitTelecomOS v2.0	烽火通信科技股份有限公司	VIM 组件 Openstack Pike
	FitMANO		NFVO 组件
	FitManager		VNFM 组件
	FitCER(vCPE)		VNF 组件
	FitFW (vFW)		
	FitBNG(vBRAS)		
	FitRouter(vRouter)		
SDNCTC	OPNFV Fraser v6.2	全球 SDN 测试认证中心	VIM 组件 Openstack Pike

7. NFV 测试内容

7.1. 测试方法简介

本次 NFV 测试均为现场测试，厂商将硬件设备带到测试活动现场，并将软件部署在相应的环境中。

7.2. NFV 互操作性测试

互操作性测试过程中，厂商首先进行自我调试保证组件的功能正常，随后进行互操作性和互通性测试。如：厂商 A 首先调试完成保证自己的 MANO 功能正常，随后与厂商 B 的 NFVI&VIM 进行对接测试。

7.2.1. NS 实例化

本组测试用例主要验证 VNFM 依据之前配置的 NSD 正确的在 NFVI&VIM 平台中获取到 NS 需求的资源正确的完成 NS 的实例化。

表 7.2.1 NS 实例化测试

测试用例编号	测试目的
NFV_NS_INSTANTIATE_001	验证 VNFM 能够将 NS 实例化，并从 NFVI&VIM 中分配所需资源

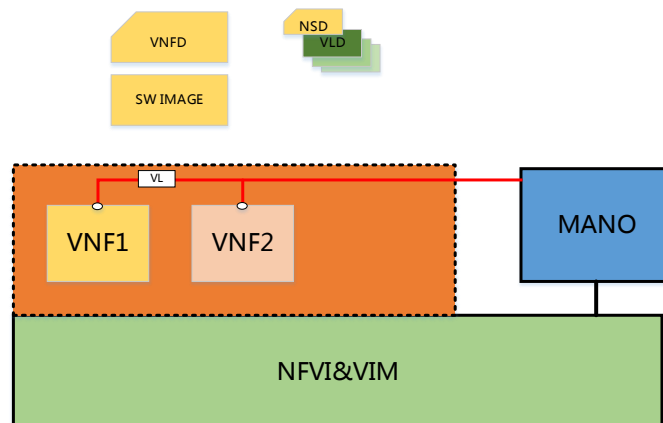


图 7.2.1 NS 实例化测试示意图

7.2.2. NS 扩展

该测试用例主要验证 NS 的扩展能力。测试中 MANO 能够依据不同情况通过增加或减少 VM 的方式对 NS 进行扩展操作。

表 7.2.2 NS 扩展测试

测试用例编号	测试目的
NFV_NS_SCALE_IN_001	通过手动方式触发 MANO 对 NS 进行扩容操作
NFV_NS_SCALE_OUT_001	通过手动方式触发 MANO 对 NS 进行扩容操作
NFV_NS_SCALE_IN_002	通过 KPI 阈值方式触发 MANO 对 NS 进行扩容操作
NFV_NS_SCALE_OUT_002	通过 KPI 阈值方式触发 MANO 对 NS 进行扩容操作

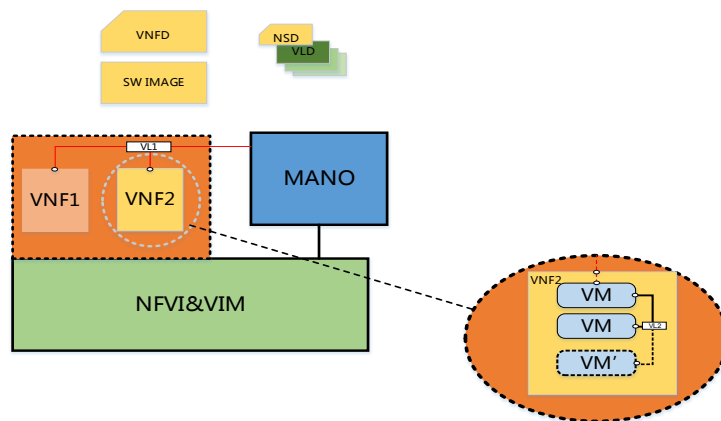


图 7.2.2 NS 扩展测试示意图

7.2.3. NS 终止

本组测试用例主要验证 VNFM 能够终止先前部署的 NS，并完成 NFVI 资源的正常释放。

表 7.2.3 NS 终止测试

测试用例编号	测试目的
NFV_NS_TERMINATE_001	验证 VNFM 能够将终止 NS 并完成资源的释放

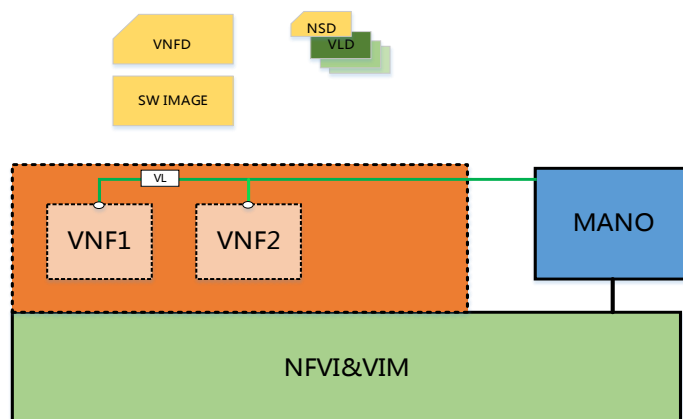


图 7.2.3 NS 终止测试示意图

7.3. NFVI&VIM 功能测试

该小节主要测试并验证 NFVI&VIM 的基础功能包括 vping、VIM 虚拟网络的 IPv6 以及高可用 HA 功能。随着两办发文推进 IPv6 部署行动，运营商及厂商对于 IPv6 支持的关注度显著提升，因此在 NFV 中虚拟网络必须要支持 IPv6，本次测试活动对于虚拟网络的 IPv6 支持进行了重点测试。

7.3.1. vping 测试

该组测试用例主要测试云基础设施能够完成基本的 VM 实例化以及相应的网络分配。

7.3.1.1. vping userdata

该测试用例主要验证 VM 能够正常实例化，并通过 userdata 的方式验证其与其他虚拟机的连通。

表 7.3.1 vping userdata 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_VPING_USERDATA_001	验证 VM 实例化并通过 userdata 方式验证其与其他虚拟机连通

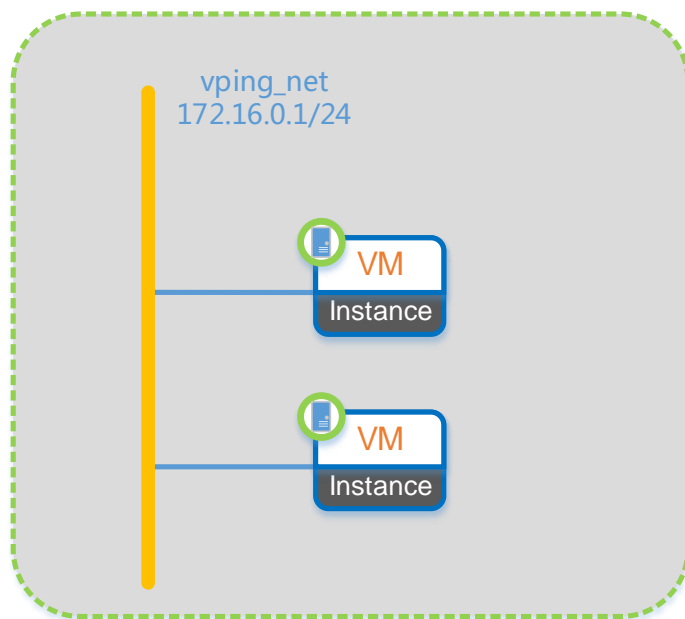


图 7.3.1 vping userdata 测试拓扑

7.3.1.2. vping ssh

该测试用例主要验证 VM 能够正常实例化，并通过 ssh 登录虚机的方式验证其与其他虚拟机的连通。

表 7.3.2 vping ssh 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_VPING_SSH_001	验证 VM 实例化并通过 SSH 方式验证其与其他虚拟机连通

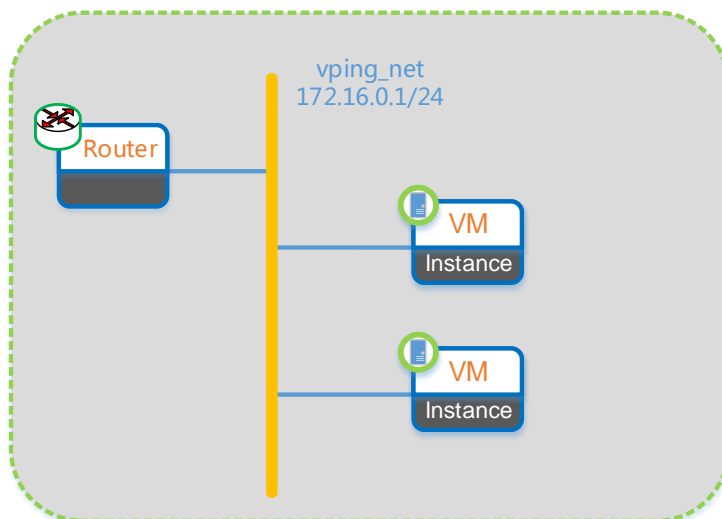


图 7.3.2 vping ssh 测试拓扑

7.3.2. 虚拟网络 IPv6 测试

7.3.2.1. 无状态 DHCPv6

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络无状态 DHCPv6 地址分配。

表 7.3.3 无状态 DHCPv6 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_DHCPV6_STATELESS_001	验证 NFV 虚拟网络无状态 DHCPv6 地址分配

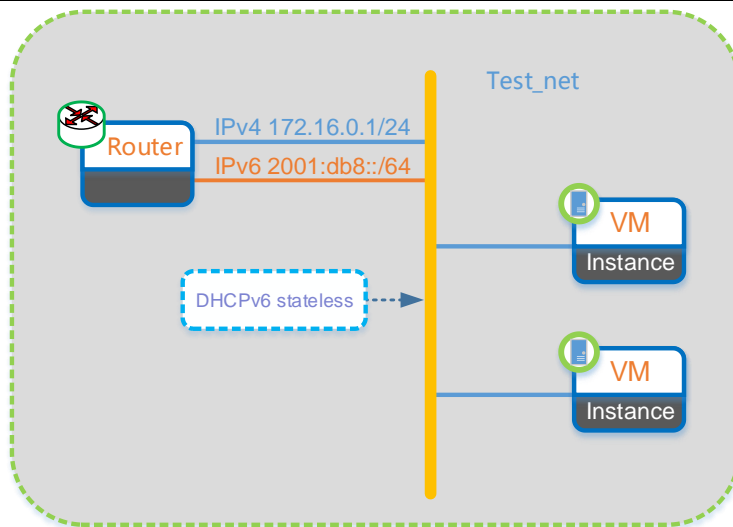


图 7.3.3 无状态 DHCPv6 测试拓扑

7.3.2.2. 双网络无状态 DHCPv6

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络双网络无状态 DHCPv6 地址分配。

表 7.3.4 双网络无状态 DHCPv6 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_DUALNET_DHCPV6_STATELESS_001	验证 NFV 虚拟网络双网络无状态 DHCPv6 地址分配

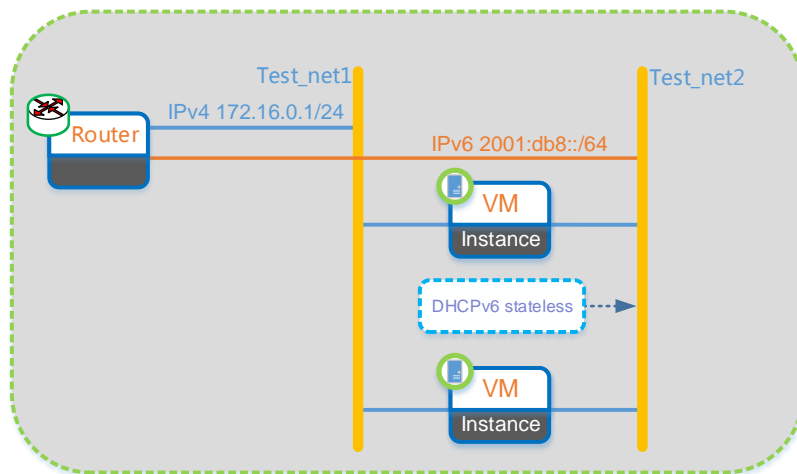


图 7.3.4 双网络无状态 DHCPv6 测试拓扑

7.3.2.3. 多前缀无状态 DHCPv6

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络多前缀无状态 DHCPv6 地址分配。

表 7.3.5 多前缀无状态 DHCPv6 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_MULTI_PREFIX_DHCPv6_STATELESS_001	验证 NFV 虚拟网络多前缀无状态 DHCPv6 地址分配

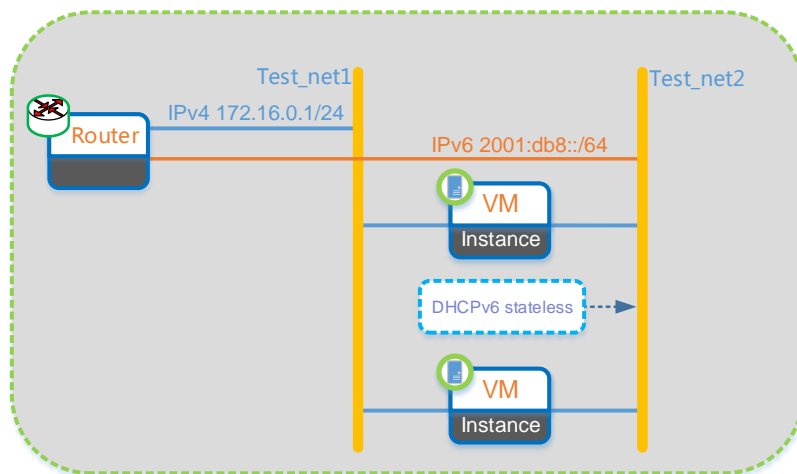


图 7.3.5 多前缀无状态 DHCPv6 测试拓扑

7.3.2.4. 多网络多前缀无状态 DHCPv6

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络多网络多前缀无状态 DHCPv6 地址分配。

表 7.3.6 多网络多前缀无状态 DHCPv6 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_DUALNET_MULTI_PREFIX_DHCPv6_STATELESS_001	验证 NFV 虚拟网络多网络多前缀无状态 DHCPv6 地址分配

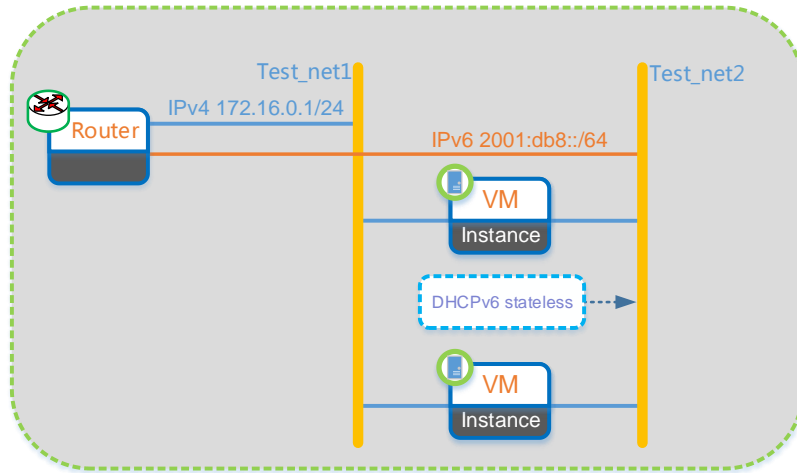


图 7.3.6 多网络多前缀无状态 DHCPv6 测试拓扑

7.3.2.5. IPv6 SLAAC

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络 IPv6 SLAAC 的 IP 地址分配。

表 7.3.7 IPv6 SLAAC 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_SLAAC_001	验证 NFV 虚拟网络 IPv6 SLAAC 的 IP 地址分配

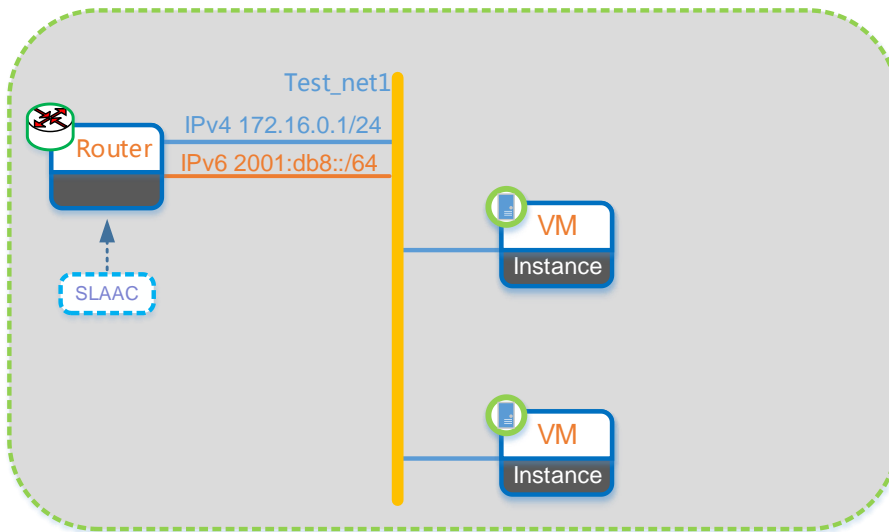


图 7.3.7 IPv6 SLAAC 测试拓扑

7.3.2.6. 多网络双栈 SLAAC

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络多网络双栈 SLAAC 的 IPv6 地址分配。

表 7.3.8 多网络双栈 SLAAC 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_DUALNET_SLAAC_001	验证 NFV 虚拟网络多网络双栈 SLAAC 的 IPv6 地址分配

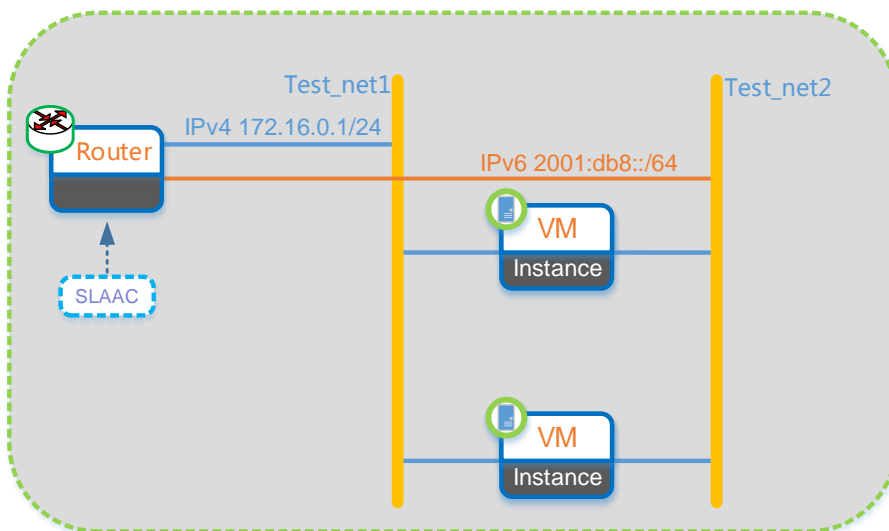


图 7.3.8 多网络双栈 SLAAC 测试拓扑

7.3.2.7. 多前缀双栈 SLAAC

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络多前缀双栈 SLAAC 的 IPv6 地址分配。

表 7.3.9 多前缀双栈 SLAAC 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_MULTI_PREFIX_SLAAC_001	验证 NFV 虚拟网络多前缀双栈 SLAAC 的 IPv6 地址分配

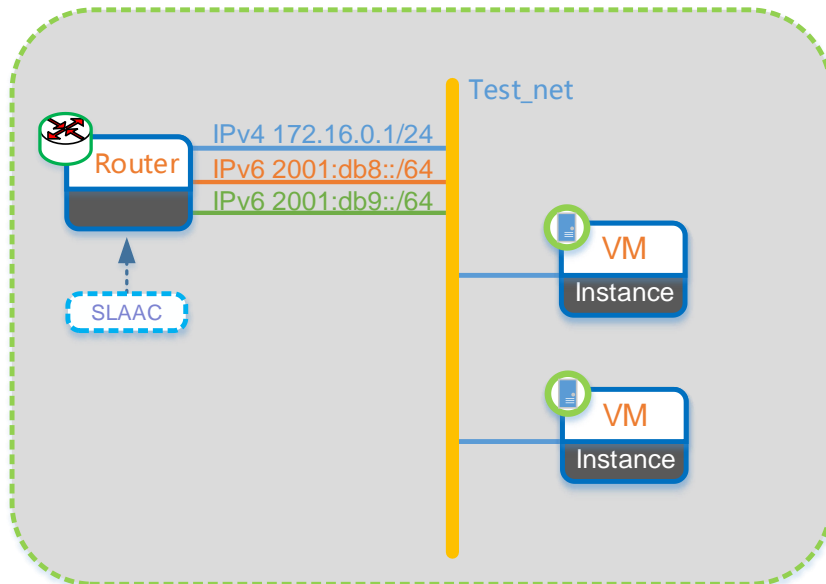


图 7.3.9 多前缀双栈 SLAAC 测试拓扑

7.3.2.8. 多网络多前缀 SLAAC

该测试用例主要验证 NFV 虚拟网络多网络多前缀 SLAAC 的 IPv6 地址分配。

表 7.3.10 多网络多前缀 SLAAC 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_IPV6_DUALNET_MULTI_PREFIX_SLAAC_001	验证 NFV 虚拟网络多网络多前缀 SLAAC 的 IPv6 地址分配

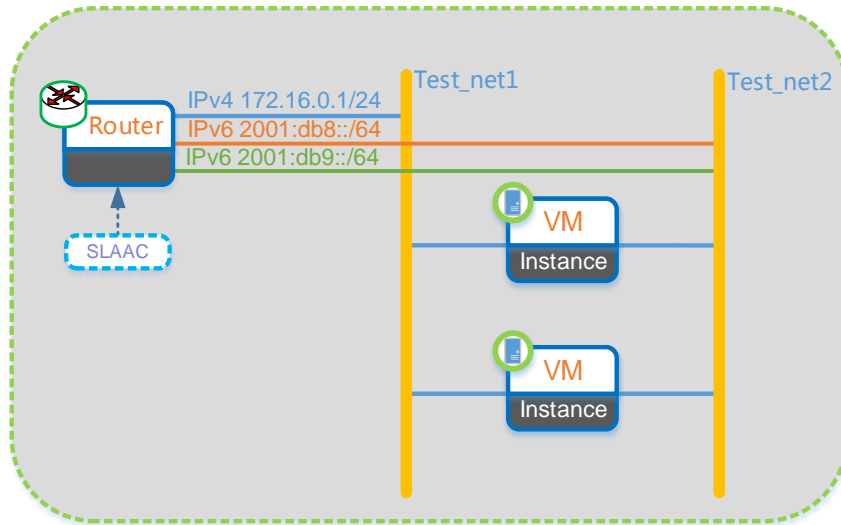


图 7.3.10 多网络多前缀 SLAAC 测试拓扑

7.3.3. HA 测试

由于 NFV 部署的集群化特性，其各个服务都应具备良好的高可用和负载均衡性能。因此本小节测试例主要验证 SUT(System Under Test)高可用 HA (High availability) 性能的验证，待测 SUT 至少需要 2 个 controller 节点，HA 主要测试点为：nova-api，neutron-server，keystone，glance-api，cinder-api，database、controller CPU、disk I/O 高负载以及 load balancer (LB) 服务。

7.3.3.1. Nova-api HA

该测试用例主要验证 Nova-api 的 HA 功能。

表 7.3.11 Nova-api HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_NOVA_API_001	验证 Nova-api 的 HA 功能

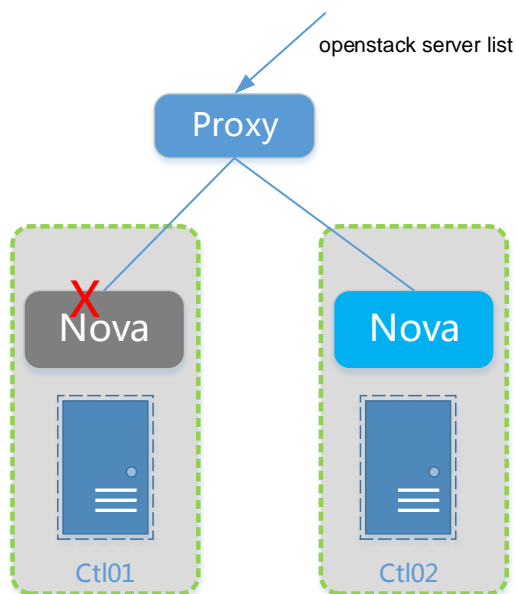


图 7.3.11 Nova-api HA 测试拓扑

7.3.3.2. Neutron-server HA 功能

该测试用例主要验证 Neutron-server 的 HA 功能。

表 7.3.12 Neutron-server HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_NEUTRON_SERVER_001	验证 Neutron-server 的 HA 功能

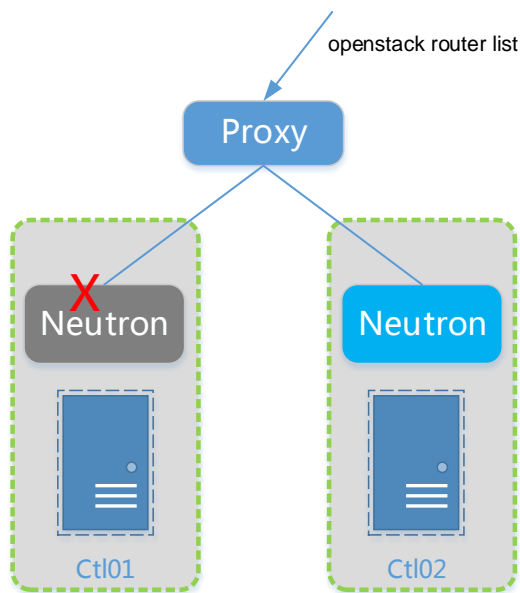


图 7.3.12 Neutron-server HA 测试拓扑

7.3.3.3. Keystone HA 功能

该测试用例主要验证 Keystone 的 HA 功能。

表 7.3.13 Keystone HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_KEYSTONE_001	验证 Keystone 的 HA 功能

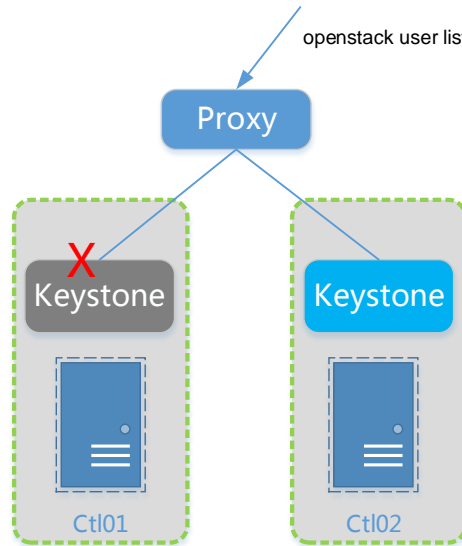


图 7.3.13 keystone HA 测试拓扑

7.3.3.4. Glance-api HA 测试

该测试用例主要验证 Glance-api 的 HA 功能。

表 7.3.14 Glance-api HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_GLANCE_API_001	验证 Glance-api 的 HA 功能

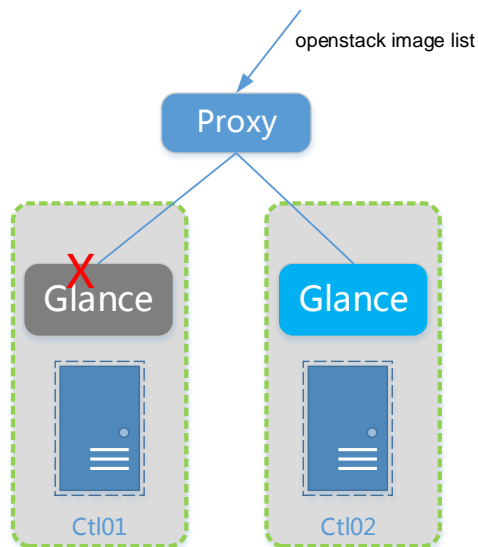


图 7.3.14 Glance-api HA 测试拓扑

7.3.3.5. Cinder-api HA 测试

该测试用例主要验证 Cinder-api 的 HA 功能。

表 7.3.15 Cinder-api HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_CINDER_API_001	验证 Cinder-api 的 HA 功能

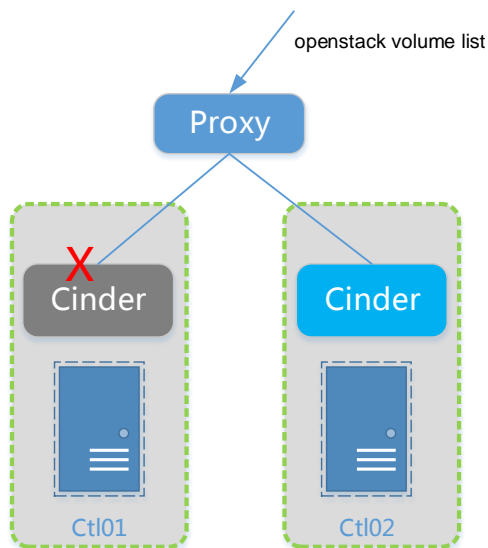


图 7.3.15 Cinder-api HA 测试拓扑

7.3.3.6. 控制节点 CPU Overload HA

该测试用例主要验证控制节点 CPU Overload 的 HA 功能。

表 7.3.16 控制节点 CPU Overload HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_CTL_CPU_OVERLOAD_001	验证控制节点 CPU Overload 的 HA 功能

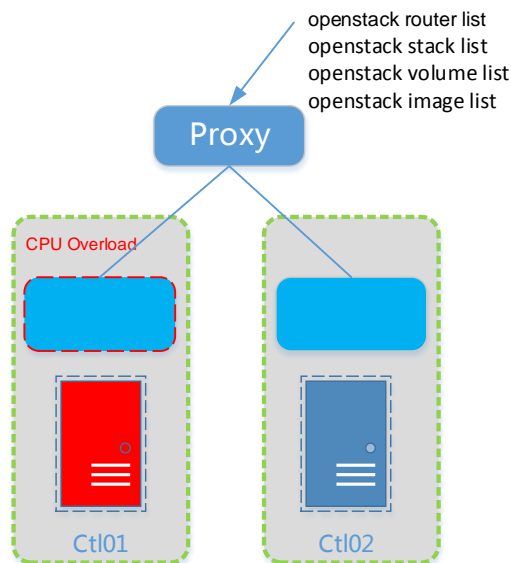


图 7.3.16 控制节点 CPU Overload HA 测试拓扑

7.3.3.7. 控制节点 Disk I/O Overload HA

该测试用例主要验证控制节点 Disk I/O Overload 的 HA 功能。

表 7.3.17 控制节点 Disk I/O Overload HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_CTL_DISK_IO_OVERLOAD_001	验证控制节点 Disk I/O Overload 的 HA 功能

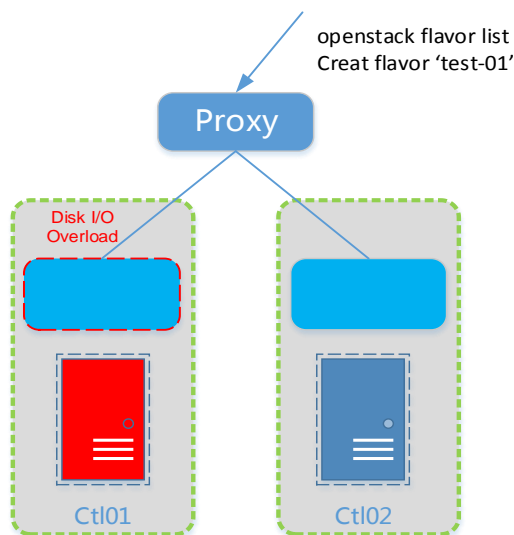


图 7.3.17 控制节点 Disk I/O Overload HA 测试拓扑

7.3.3.8. 控制节点 Load Balance HA

该测试用例主要验证控制节点 LB 的 HA 功能。

表 7.3.18 控制节点 LB 的 HA 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_HA_CTL_LOADBALANCE_001	验证控制节点 LB 的 HA 功能

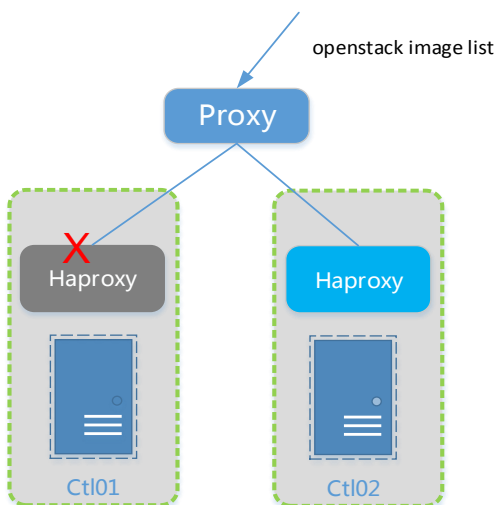


图 7.3.18 控制节点 LB 的 HA 测试拓扑

7.4. SFC 测试

在物理网络中存在诸如防火墙、NAT、DPI 等网络设备，将这些网络应用设备有序的组织起来，使得网络流量通过这些设备就构成了网络服务链(Network Service Chain)。在 NFV 的环境中，虚拟网络和物理网络分离，让网络控制变得更加灵活，更具有扩展性。如何灵活、便捷、高效、安全地调配流量到 Service Function 上处理，形成服务链 (Service Function Chaining)，这就是 SFC 要解决的问题。本小节测试旨在验证 SFC 功能。

7.4.1. 单计算节点 SFC

该测试用例主要验证单计算节点下 SFC 流量调度。

表 7.4.1 单计算节点 SFC 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_SFC_SINGLE_CMP_001	验证单计算节点 SFC 功能

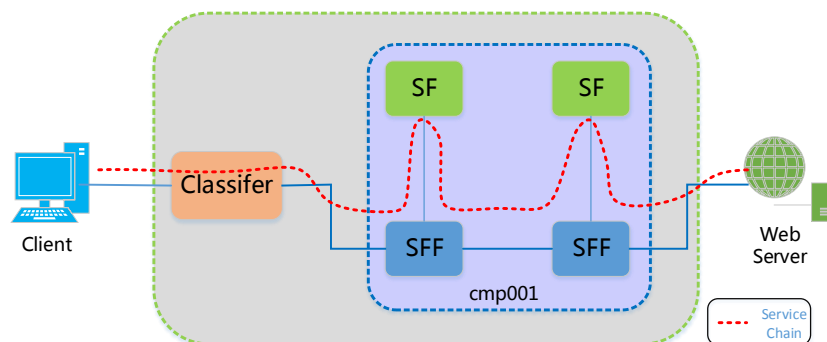


图 7.4.1 单计算节点 SFC 测试拓扑

7.4.2. 多计算节点 SFC

该测试用例主要验证多计算节点下 SFC 流量调度。

表 7.4.2 多计算节点 SFC 测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_SFC_MULTI_CMP_001	验证多计算节点 SFC 功能

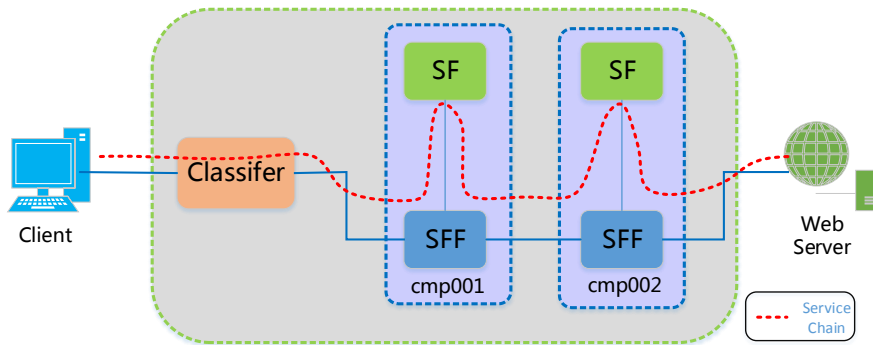


图 7.4.2 多计算节点 SFC 测试拓扑

7.5. VNF 功能测试

7.5.1. vBRAS 功能验证

本组测试用例主要验证 vBRAS 功能，vBRAS 的功能验证步骤如下：

- 1) 创建和配置 vBRAS，连接测试仪 Tester；
- 2) 使用测试仪分别模拟 IPv4 PPP 和 DHCP/ND 用户上线，确认可以上线成功，并正确获取 IP 地址和 DNS 等配置信息；
- 3) 用户发送流量，进行跨网段转发，确认转发是否正常。

表 7.5.1 vBRAS 功能验证测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_VNF_VBRAS_001	验证 vBRAS 的功能

测试拓扑图如图 7.5.1 所示。

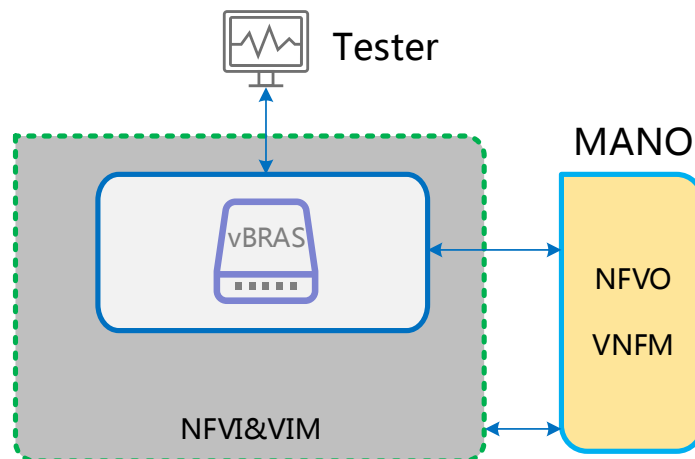


图 7.5.1 vBRAS 功能测试示意图

7.5.2. vRouter 功能验证

本组测试用例主要验证 vRouter 的功能，vRouter 的功能验证步骤如下：

- 1) 创建和配置 vRouter，连接测试仪 Tester；
- 2) 测试仪和 vRouter 之间配置 OSPF/OSPFv3，ISIS，BGP 协议，确认 session 是否建立；
- 3) 从测试仪灌入 3K IPv4 路由（步骤 2 中每种协议各 1K），检查 vRouter 上的路由信息。发送流量，目的地址为灌入的路由前缀，确认转发不丢包。

表 7.5.2 vRouter 功能验证测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_VNF_VROUTER_001	验证 vRouter 的功能

测试拓扑图如图 7.5.2 所示。

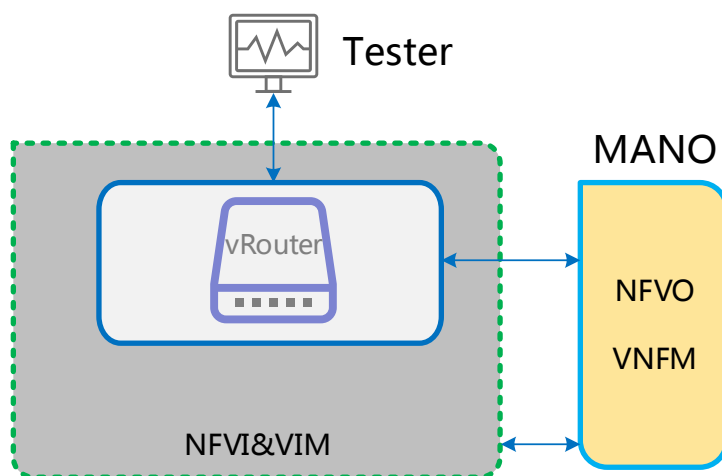


图 7.5.2 vRouter 测试拓扑

7.5.3. vFW 功能验证

本组测试用例主要验证 vFW 的功能，vFW 的功能验证步骤如下：

- 1) 创建和配置 vFW，连接测试仪 Tester；
- 2) 测试仪和 vFW 间建立 TCP/HTTP session；

- 3) 在 vFW 上配置策略，允许 HTTP 的 80 端口访问，禁止 SSH 的 22 端口访问；
- 4) 测试仪发送相应流量验证 vFW 上配置的策略是否生效，修改步骤 3 中的组合再次测试。

表 7.5.3 vFW 功能验证测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_VNF_VFW_001	验证 vFW 的功能

测试拓扑图如 7.5.3 所示。

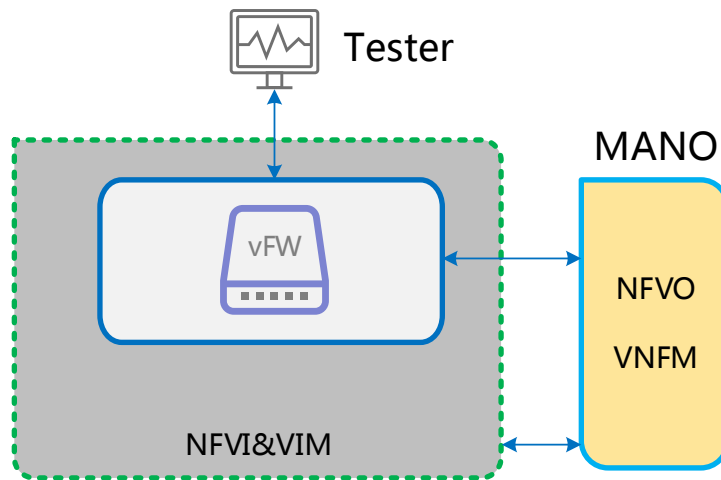


图 7.5.3 vFW 测试拓扑

7.5.4. vCPE 功能验证

本组测试用例主要验证 vCPE 的功能，vCPE 的功能验证步骤如下：

- 1) 创建和配置 vCPE，连接测试仪 Tester。测试仪一端连接 vCPE LAN 口，模拟用户，一端连接 vCPE WAN 口，模拟网络侧；
- 2) 测试 vCPE 桥接。测试仪网络侧模拟 dhcp 或 PPPoE server。IPv4 用户 PPP 或 DHCP 上线，确认用户是否可以获取 IP 地址和 DNS 等信息。发送双向流量，确认流量不丢包；
- 3) 测试 vCPE NAT。vCPE 给 IPv4 PPP 或 DHCP 用户分配地址或 DNS 等。确认用户是否可以获取 IP 地址和 DNS 等信息。发送双向流量，确认流量不丢包；

4) vCPE WAN 口和测试仪建立 ospf session , 确认 session 是否成功建立。测试仪灌入 100 条路由, vCPE 上是否可以学到并转发。

表 7.5.4 vCPE 功能验证测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_NS_VCPE_001	验证 vCPE 的功能

测试拓扑如图 7.5.4 所示

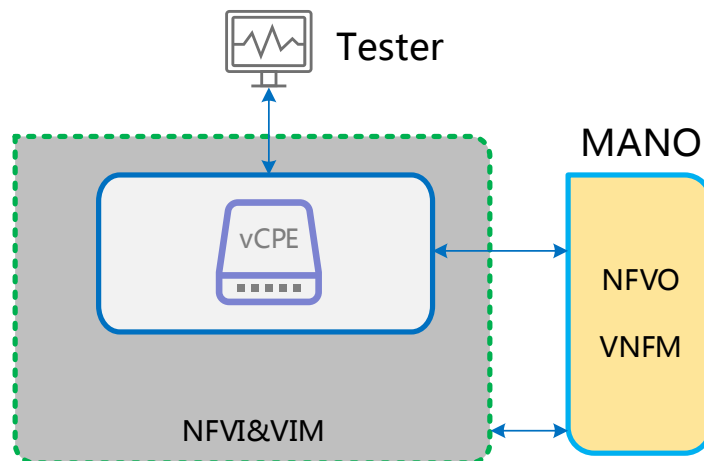


图 7.5.4 vCPE 测试拓扑

7.6. NFVO 和 VNFM 解耦测试

7.6.1. VNF 实例化

该测试用例主要验证 NFVO 能够与 VNFM 交互并依据之前配置的 VNFD 正确的在 NFVI&VIM 平台中申请到 VNF 需求的资源并完成 VNF 的实例化。

表 7.6.1 VNF 实例化测试

测试用例编号	测试目的
NFV_O&M_VNF_INSTANTIATE_001	验证 NFVO 通过直接模式向 VNFM 发起 VNF 实例化请求

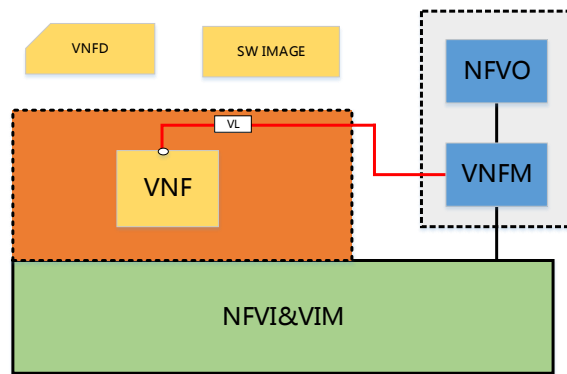


图 7.6.1 VNF 实例化示意图

7.6.2. VNF 扩展

该测试用例主要验证 NFVO 与 VNFM 交互进行 VNF 扩展，并由 VNFM 完成 VNF 的扩展操作。

表 7.6.2 VNF 扩展测试

测试用例编号	测试目的
NFV_O&M_VNF_SCALE_IN_001	通过手动方式触发 NFVO 对 VNF 进行扩容操作
NFV_O&M_VNF_SCALE_OUT_001	通过手动方式触发 NFVO 对 VNF 进行扩容操作
NFV_O&M_VNF_SCALE_IN_002	通过自动方式触发 NFVO 对 VNF 进行扩容操作
NFV_O&M_VNF_SCALE_OUT_002	通过自动方式触发 NFVO 对 VNF 进行扩容操作

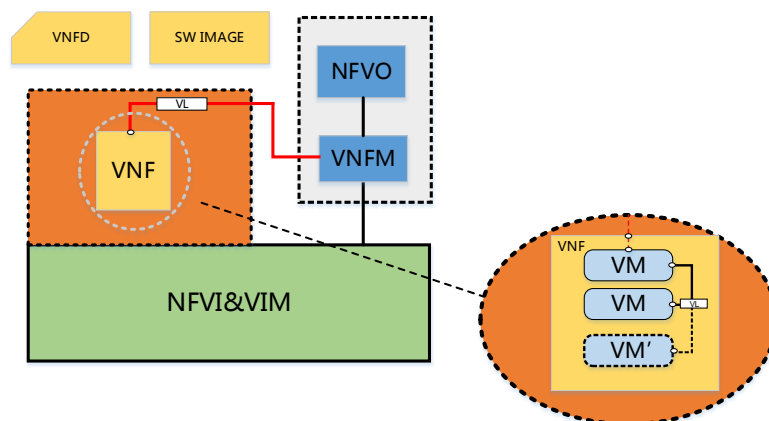


图 7.6.2 VNF 扩展示意图

7.6.3. VNF 终止

该测试用例主要验证 NFVO 向 VNFM 发起终止 VNF 的请求并最终完成 VNF 实例的终止。

表 7.6.3 VNF 删除测试

测试用例编号	测试目的
NFV_O&M_TERMINATE_001	验证 NFVO 向 VNFM 发起 VNF 终止请求并完成 VNF 实例的终止

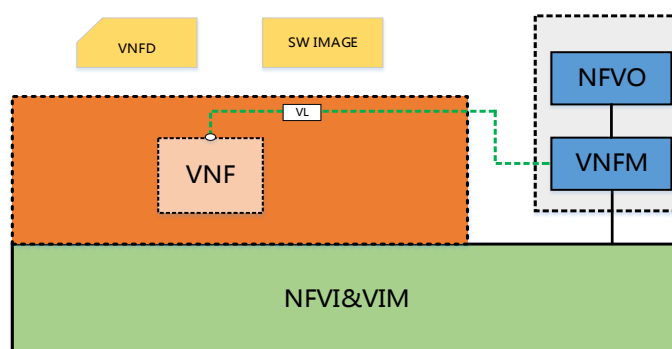


图 7.6.3 NS 终止示意图

7.7. NFV 网络性能测试

7.7.1. 虚拟二三层网络性能测试

该组测试用例主要测试 NFV 基础设施 NFVI&VIM 中的虚拟二、三层数据面网络性能，通过在 SUT 中安装虚拟测试仪，测试待测环境虚拟二层网络以及虚拟三层路由性能。需要注意的是性能测试数据与待测 SUT 所使用的 CPU、内存等硬件有关。

7.7.1.1. 虚拟二层网络性能

该测试用例用于测试待测 SUT 的虚拟二层网络数据转发性能。其中，Virtual_Tester 为虚拟测试，测试仪通过两个接口向虚拟二层网络 NFV_Net 发送和接收单向流量，测试网络转发的吞吐量、时延、丢包率等。双向流量同理。

表 7.7.1 虚拟二层网络性能测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_PERF_NFVI&VIM_L2_001	测试虚拟二层网络性能，包括吞吐量、时延、丢包率等

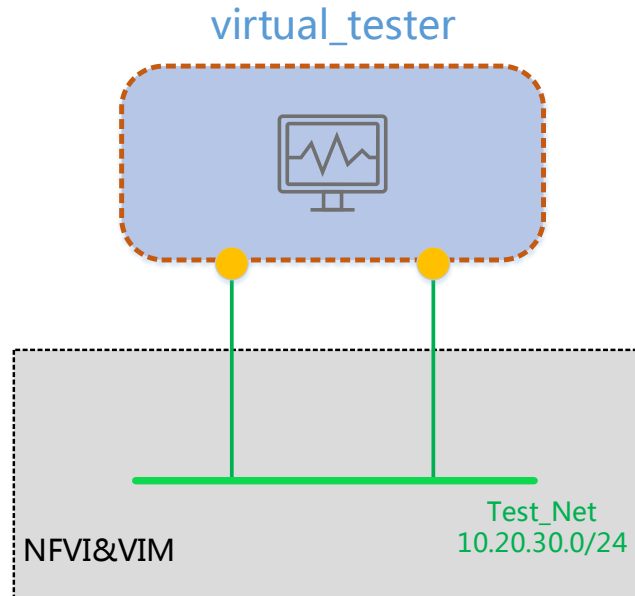


图 7.7.1 虚拟 L2 网络性能测试拓扑

7.7.1.2. 虚拟三层网络性能

该测试用例用于测试待测 SUT 的虚拟三层网络数据转发性能。其中，Virtual_Tester 为虚拟测试仪，测试过程中测试仪通过两个接口向虚拟三层网络 NFV_Net1 和 NFV_Net2 发送和接收单向流量，测试网络转发的吞吐量、时延、丢包率等。双向流量同理。

表 7.7.2 虚拟三层网络性能测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_PERF_NFVI&VIM_L3_001	测试虚拟三层网络性能，包括吞吐量、时延、丢包率等

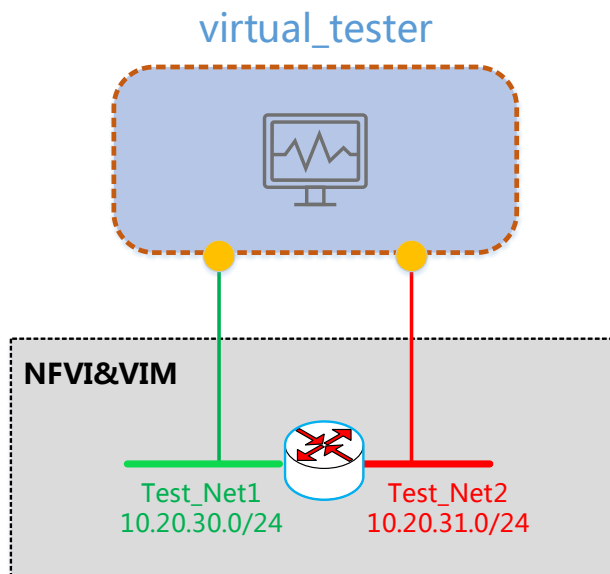


图 7.7.2 虚拟 L2 网络性能测试拓扑

7.7.2. vSwitch 数据平面性能(vSw)

该测试用例用于测试待测 SUT 底层虚拟交换机 vSwitch 的数据转发性能，配置好虚拟交换机的转发流表，通过外接测试仪打流的方式测试 vSwitch 的数据转发性能，包括吞吐量、时延、丢包率等。该项性能测试与待测 SUT 的网卡线速、是否使用 DPDK、SR-IOV、FPGA 加速等技术以及 vSwitch 性能优化有关。

表 7.7.3 vSw 数据平面性能测试用例

测试用例编号	测试目的
NFV_PERF_NFVI&VIM_vSW_001	测试虚拟交换机 vSwitch 的数据转发性能

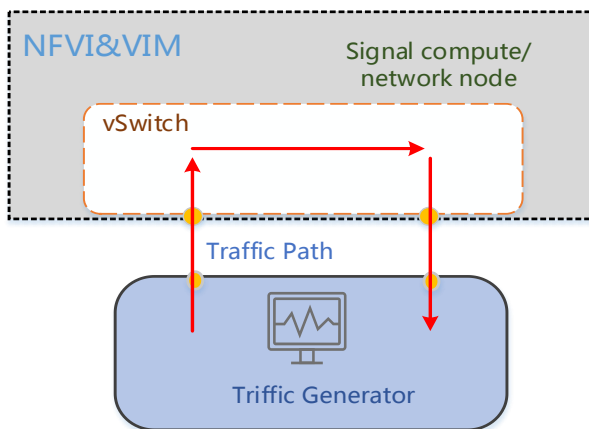


图 7.7.3 vSw 数据平面性能测试拓扑

7.7.3. VNF 数据平面性能

该组测试用例用于测试待测 SUT 装载 VNF 后数据通过 VNF 转发性能，实例化 VNF 后，配置数据转发路径，通过外接测试仪打流的方式测试 vSwitch 的数据转发性能，包括吞吐量、时延、丢包率等。该项性能测试与待测 SUT 的网卡线速、是否使用 DPDK、SR-IOV、FPGA 加速技术以及 VNF 是否支持加速等有关。

7.7.3.1. PVP 模式性能

该测试用例主要测试 VNF 在 PVP 模式下数据平面性能。PVP 模式下数据通过物理网卡(Phy)后再经过虚拟交换机随后到达 VNF

表 7.7.4 PVP 性能测试

测试用例编号	测试目的
NFV_PVP_NETWORKING_PERF_002	PVP 虚拟交换机模式数据平面性能测试

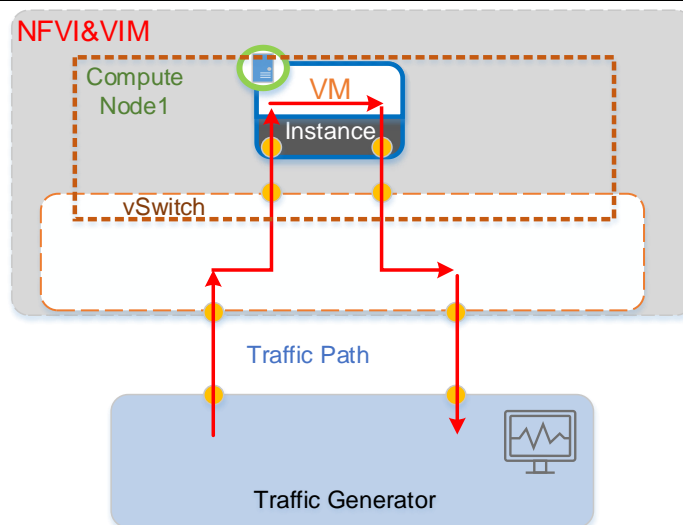


图 7.7.4 PVP 网卡直通模式性能测试拓扑

7.7.3.2. PVVP 模式性能

该测试用例主要测试 VNF 在 PVVP 模式下数据平面性能。PVVP 模式下流量会经过多个节点的 VM，需要配置好流量转发路径。

表 7.7.5 PVVP 性能测试

测试用例编号	测试目的
NFV_PVVP_NETWORKING_PERF_002	PVVP 虚拟交换机模式数据平面性能测试

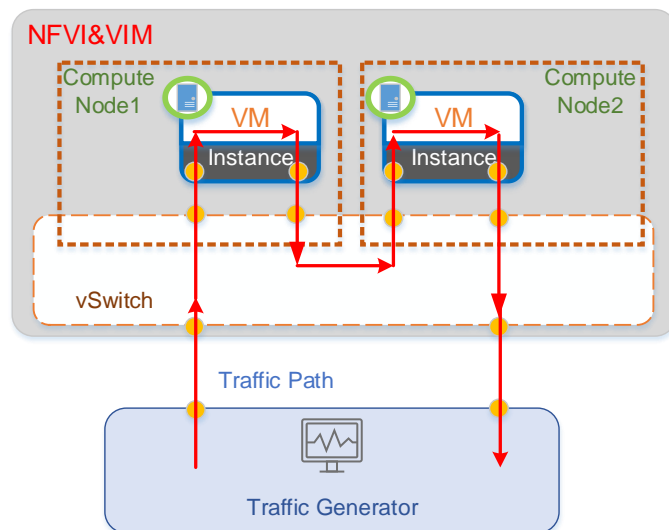


图 7.7.5 PVVP 虚拟交换机模式性能测试拓扑

7.7.3.3. Bypass 模式性能

通过使用 SR-IOV 等技术允许虚拟机 VM 直接绑定物理网卡上，这种模式下数据转发少经过一层 vSwitch，所以数据转发性能将会大幅提升。

1) 单节点 VM

表 7.7.6 Bypass 模式单节点 VM 模式性能测试

测试用例编号	测试目的
NFV_BYPASS_NETWORKING_PERF_001	Bypass 模式单节点 VM 模式数据平面性能测试

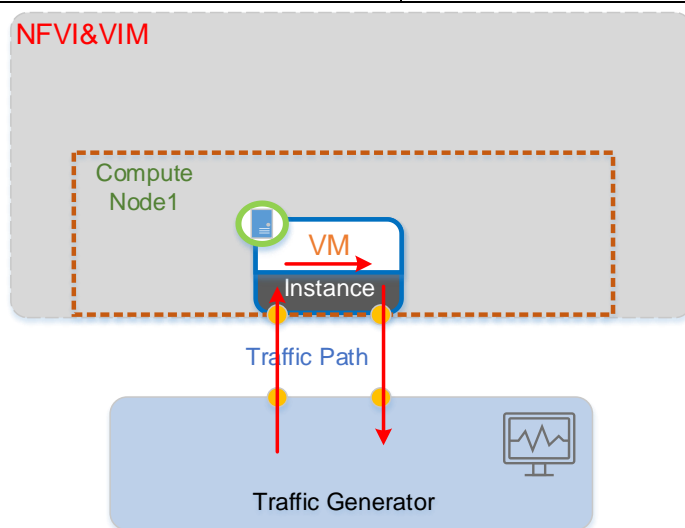


图 7.7.6 Bypass 模式单节点 VM 模式性能测试拓扑

2) 多节点 VM

表 7.7.7 Bypass 模式多节点 VM 性能测试

测试用例编号	测试目的
NFV_BYPASS_NETWORKING_PERF_002	Bypass 模式多节点 VM 数据平面性能测试

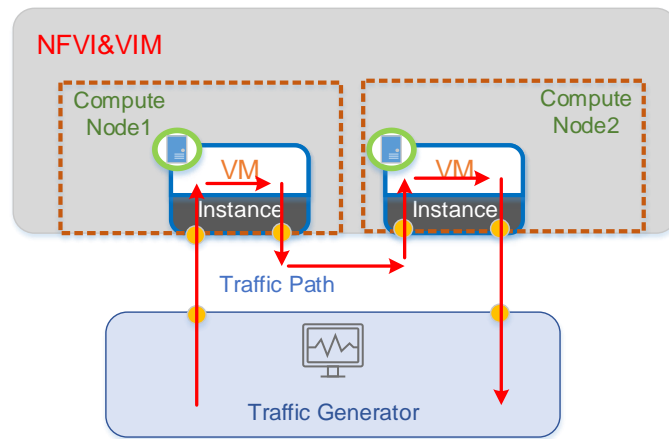


图 7.7.7 Bypass 模式多节点 VM 模式性能测试拓扑

8. NFV 测试结果

8.1. NFV 互通测试与解耦测试结果

本次 NFV 互通测试提供 NFVO 模块的有电信北研院 提供 VNFM 模块的有烽火通信、新华三，提供 NFVI&VIM 模块的有烽火通信。各参测厂商依据测试活动安排进行了 3 次互通与解耦测试。其中互通测试为新华三的 VNFM 与烽火通信的 NFVI&VIM 对接，对接测试中 NS 的实例化、NS 手动扩展以及 NS 终止用例均执行通过，通过率为 100%。

在解耦测试中，以烽火通信的 NFVI&VIM 作为虚拟化资源池，中国电信北研院的 NFVO 分别与烽火通信、新华三的 VNFM 及 VNF 进行对接，共计执行测试用例对接测试结果如表 8.1。

表 8.1 MANO 解耦对接测试表

电信北研院 TeleNos 测试用例名	VNFM	烽火通信	新华三
NFV_O&M_VNF_INSTANTIATE_001		测试通过	测试通过
NFV_O&M_VNF_SCALE_IN_001		测试通过	测试通过
NFV_O&M_VNF_SCALE_OUT_001		测试通过	测试通过
NFV_O&M_VNF_SCALE_IN_002		未测试	未测试
NFV_O&M_VNF_SCALE_OUT_002		未测试	未测试
NFV_O&M_TERMINATE_001		测试通过	测试通过

表 8.2 MANO 解耦对接测试用例执行

测试用例执行		测试用例未执行	总计	
通过	未通过	N/A	执行数总计	测试用例总计
8 (100.0%)	0 (0.0%)	4 (20%)	8 (80%)	12

以上结果可以看出 MANO 厂商解耦后基本的互通操作如实例化、手动扩展、终止等都能完成，但在 NS/VNF 的自动扩展、自愈上由于厂商定义的信息上报方式不同而未能执行完成。同时，由于测试活动时间的限制，也未能给参测厂商太多的时间进行相应的接口对接与调试。

8.2. NFVI&VIM 功能测试与 SFC 测试结果

参与本次 NFVI&VIM 功能测试与 SFC 测试的有烽火通信。其中，NFVI&VIM 功能测试中的 vping 测试、虚拟网络 IPv6 测试、HA 测试等 18 个测试用例均正常通过，通过率为 100%。SFC 测试中单节点 SFC 测试通过，双节点 SFC 未执行测试。

表 8.3 NFVI&VIM 功能测试

NFVI& VIM 功能测试	
通过	未通过
18 (100%)	0 (0.0%)

8.3. VNF 网元功能与性能测试结果

参与本次 VNF 网元测试的厂商有烽火通信，参测的 4 种 VNF 网元分别为 FitCER(vCPE)、FitFW (vFW)、FitBNG(vBRAS)、FitRouter(vRouter)。四种网元工作均正常，在对部分网元进行性能初步测试，网元性能同样表现良好，如 vRouter 能够学习到了 100 万条路由，vCPE 的小包转发能够达到万兆 DPDK 网卡的线速。因测试活动时间安排以及厂商参测产品等因素，本次测试活动没有进行更为深入的性能测试。

表 8.4 VNF 网元功能测试

测试用例名	烽火通信
NFV_NS_VBRAS_001	测试通过
NFV_NS_VROUTER_001	测试通过
NFV_NS_VFW_001	测试通过
NFV_NS_VCPE_001	测试通过

8.4. NFV 网络性能测试

NFV 的网络性能一直是困扰其能否大规模商用部署的关键因素，近年来诸如 SR-IOV、DPDK、FPGA 智能网卡等网卡加速技术的出现使得 NFV 在网络转发性能上得到很大的提升。本次测试活动专门对 NFV 网络性能设计了完整的测试用例，同时联合信而泰、Ixia 测试仪厂商进行 NFV 网络性能的测试。本次测试活动中厂商的 NFV 基础设施性能表现良好，性能测试方法以及测试数据对于厂商进一步优化和提升产品具有很好的参考价值。

9. NFV 测试总结

在本届的 NFV 测试活动中，我们将测试内容做了很大的提升，对于参测产品进行了完整而全面的测试，在关注 NFV 产品互通性的同时也关注厂商产品功能的完整，如新增 vping、虚拟网络 IPv6、HA 高可用性、SFC 等功能测试。

本次测试活动的一大亮点是将 NFV 组件进行了全解耦，将 MANO 中的 NFVO 与 VNFM 拆分出来进行解耦测试。通过与电信北京研究院的合作采用电信北研院的 NFVO 与烽火通信、新华三的 VNFM 进行解耦测试，测试结果显示 O 与 M 对接过程中在遵循 ETSI 现有标准的情况下能够完成 VNF 的实例化、手动扩展、VNF 终止等操作，但对于 VNF 自动扩展、自愈等行为上由于缺乏统一接口和标准无法完成对接，这对于产业界在后续的开发以及标准制定上具有很好的参考价值 and 意义。

在 NFVI&VIM 功能测试中，参测厂商产品很好的通过了 vping、虚拟网络 IPv6、HA 高可用测试，说明参测厂商的产品具有很高的功能完整度。此外，参测厂商的 VNF 网元功能全部正常，同样在对 VNF 的性能探讨上，vRouter 的路由学习能力也达到了百万级，vCPE 的转发也能达到 10G 网卡的转发线速。由于测试活动安排及时间因素对于 VNF 的性能未能进行更为深入的测试及对比研究。

总体来看，本次 NFV 测试中 NFV 基础设施趋向成熟，HA 高可用、虚拟网络的 IPv6 支持、SFC 支持等为 NFV 实现网络虚拟化奠定了极佳的基础，同时基于网卡加速技术，NFV 的网络性能也得到的很大的提升。在 NFV 各组件之间的互联互通上，我们相信在 NFV 标准和接口更加完善与规范后，互通性问题的也能得到很好的解决，届时 NFV 的高效敏捷、弹性扩缩容、VNF 快速上线等特性也将得到更好的体现。

10. IPv6 测试

10.1. IPv6 测试介绍

随着中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《推进互联网协议第六版 (IPv6) 规模部署行动计划》，IPv6 部署的推进速度明显加快，全国各级政府部分、各大央、国企以及部分商业网站均积极部署 IPv6 网络及 IPv6 应用。本次测试活动选取 IPv6 网络设备厂商和 IPv6 网络服务商进行测试，获取 IPv6 设备和 IPv6 网络服务的支持度。

本次测试活动中 IPv6 部分分为两个部分，

- 1) IPv6 网络设备功能和协议测试
- 2) IPv6 网络服务测试

10.2. IPv6 测试参考

本次 IPv6 测试参考如下：

- RFC2460-IPv6 specification
- RFC4861-Neighbor Discovery for IPv6
- RFC2865-Remote Authentication Dial In User Service
- RFC5340-OSPF for IPv6
- RFC3315-DHCPv6
- RFC3646-DNS Configuration options for DHCPv6

10.3. IPv6 参测单位

表 10.1 网络设备厂商

厂商	设备型号	数量
神州数码 (DCN)	CS6200-28X-EI	1
	CS6200-52X-EI	1
	S5750E-28X-SI	1
	S5750E-52X-SI	1

表 10.2 网络服务商

厂商	服务	数量
阿里云 (aliyun)	域名服务	1
	ECS、SLB 服务	1
	IPv6 转换服务	1

11. IPv6 测试内容

11.1. IPv6 测试方法简介

本次 IPv6 设备测试均为现场测试，厂商将设备带到测试活动现场，按照测试方案要求搭建好测试环境准备测试，测试过程中使用信而泰测试仪表进行测试。IPv6 网络服务测试为线上测试，按照测试方案在线上安装测试环境测试。

11.2. IPv6 设备测试内容

11.2.1. IPv6 基础测试

11.2.1.1. IPv6 RA 路由通告测试

该测试用例主要验证待测设备的 IPv6 RA 路由通告功能。

表 11.2.1 IPv6 RA 路由通告测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_BASIC_RA_001	验证待测设备是否能正确发送 IPv6 RA 报文以及报文内容和发送的时间间隔是否正确

测试拓扑如图 11.2.1 所示。

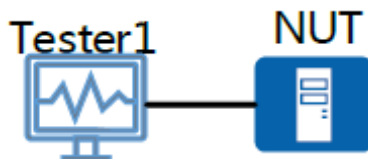


图 11.2.1 IPv6 RA 路由通告拓扑图

11.2.1.2. IPv6 防 ND 欺骗测试

该测试用例主要验证待测设备的 IPv6 防 ND 欺骗的功能。

表 11.2.2 IPv6 防 ND 欺骗测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_BASIC_ND_001	验证待测设备是否具备 IPv6 防 ND 欺骗功

能

测试拓扑如图 11.2.2 所示：

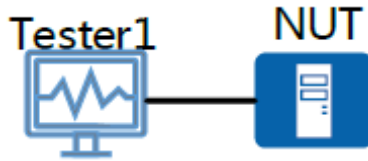


图 11.2.2 IPv6 防 ND 欺骗拓扑图

11.2.1.3. IPv6 转发测试

该测试用例主要验证待测设备的 IPv6 三层转发功能。

表 11.2.3 IPv6 转发测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_BASIC_L3FWD_001	验证待测设备是否能够正常转发 IPv6 三层流量

测试拓扑如图 11.2.3 所示：



图 11.2.3 IPv6 转发测试拓扑图

11.2.1.4. DHCPv6 server 测试

该测试用例主要验证待测设备作为 DHCPv6 server 设备，能否正确处理 DHCPv6 客户端发出的 Solicit、Request、Confirm、Renew、Rebind、Release、Decline 报文，以及是否能正常回送 Advertise、Reply、Relay-Reply 报文。

表 11.2.4 DHCPv6 server 测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_BASIC_DHCPV6_001	验证待测设备作为 DHCPv6 server 设备是否能够正确处理 DHCPv6 client 发送的各类报文并正确回送对应的 DHCPv6 报文

测试拓扑如图 11.2.4 所示：

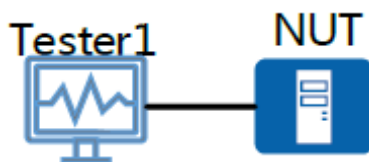


图 11.2.4 DHCPv6 server 测试拓扑图

11.2.2. IPv6 隧道测试

11.2.2.1. ISATAP 隧道测试

该测试用例主要验证待测设备是否支持 ISATAP 隧道。

表 11.2.5 ISATAP 隧道测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_TUNNEL_ISATAP_001	验证待测设备是否支持 ISATAP 隧道

测试拓扑如图 11.2.5 所示：

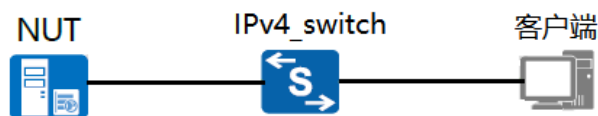


图 11.2.5 ISATAP 隧道测试拓扑图

11.2.2.2. 6to4 隧道测试

该测试用例主要验证待测设备是否支持 6to4 隧道。

表 11.2.6 6to4 隧道测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_TUNNEL_6to4_001	验证待测设备是否支持 IPv6 6to4 隧道

测试拓扑如图 11.2.6 所示：

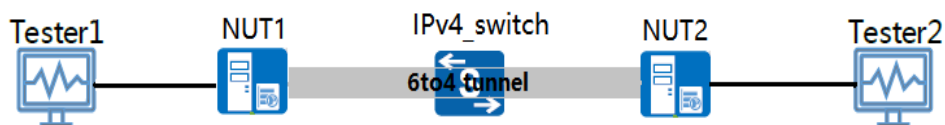


图 11.2.6 6to4 隧道测试拓扑图

11.2.3. IPv6 路由测试

11.2.3.1. IPv6 黑洞路由测试

该测试用例主要验证待测设备在配置了 IPv6 黑洞路由后，数据转发是否符合预期。

表 11.2.7 IPv6 黑洞路由测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_ROUTE_NULL0_001	验证待测设备在配置了 IPv6 黑洞路由后，数据转发是否符合预期

测试拓扑如图 11.2.7 所示：



图 11.2.7 IPv6 黑洞路由测试拓扑图

11.2.3.2. IPv6 OSPFv3

该测试用例主要验证待测设备是否支持 IPv6 OSPFv3 协议。

表 11.2.8 IPv6 OSPFv3 测试用例

测试用例编号	测试目的
IPV6_ROUTE_OSPFV3_001	验证待测设备是否支持 IPv6 OSPFv3 协议

测试拓扑如图 11.2.8 所示：



图 11.2.8 IPv6 OSPFv3 测试拓扑图

11.3. 云 IPv6 服务测试内容

11.3.1. IPv6 域名与解析服务

该测试用例主要测试域名注册及在域名下添加 AAAA 记录，使用 dig 验证域名记录发

布情况。

表 11.3.1 IPv6 域名与解析服务测试用例

测试用例编号	测试目的
IPv6_server_DNS_001	测试 IPv6 网络服务提供域名注册、AAAA 记录添加以及解析等服务

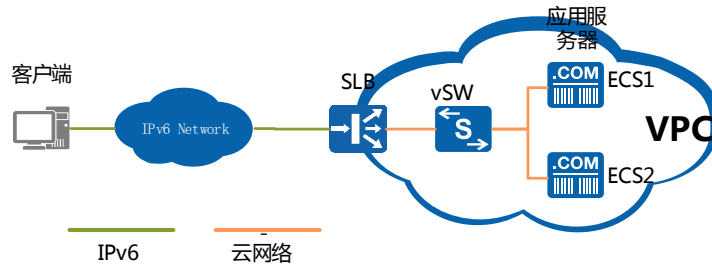


图 11.3.1 IPv6 域名与解析服务测试拓扑

11.3.2. IPv6 负载均衡服务

11.3.2.1. IPv6 访问控制

该测试例测试负载均衡服务提供基于 IPv6 地址的黑白名单服务 黑名单禁止该 IPv6 网段地址访问，白名单仅允许该 IPv6 网段地址访问。

表 11.3.2 SLB 服务的 IPv6 访问控制测试用例

测试用例编号	测试目的
IPv6_SERVER_LB_001	测试 SLB 服务的访问控制中黑白名单对外部访问进行有效控制

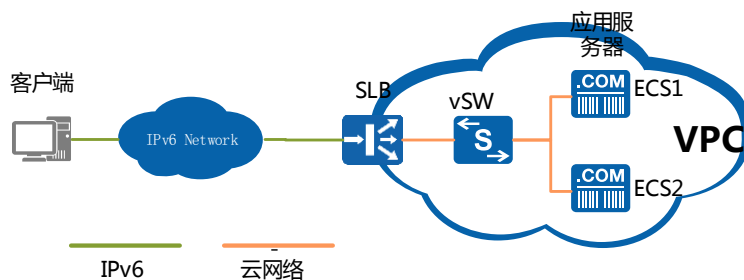


图 11.3.2 SLB 服务的 IPv6 访问控制测试用例

11.3.2.2. 主备切换

该测试例测试负载均衡服务对挂载其上的服务器提供主备功能，当主服务器停止服务后，SLB 将外部访问切换到备用服务器。

表 11.3.3 SLB 服务的服务器主备切换测试用例

测试用例编号	测试目的
IPv6_SERVER_LB_002	测试 SLB 服务支持服务器主备模式

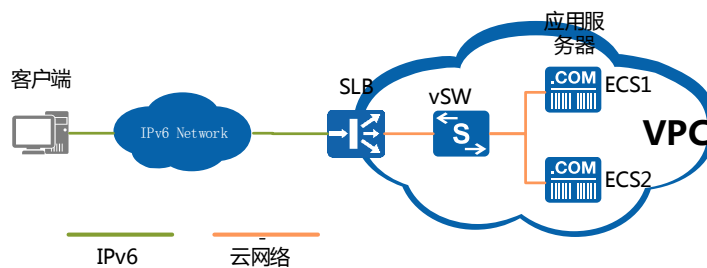


图 11.3.3 SLB 服务的服务器主备切换测试拓扑

11.3.2.3. 域名+URL 转发

该测试例主要验证 SLB 服务提供基于域名+URL 的访问或流量转发，当用户访问域名时由 ECS1 提供响应，访问域名+URL 时由 ECS2 提供响应。

表 11.3.4 SLB 服务的域名+URL 转发测试用例

测试用例编号	测试目的
IPv6_SERVER_LB_003	测试 SLB 服务支持服务器主备模式

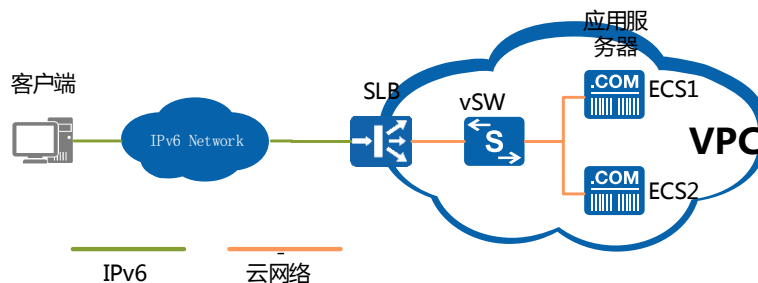


图 11.3.4 SLB 服务的域名+URL 转发测试拓扑

11.3.3. IPv6 转换服务

11.3.3.1. 基础功能

该测试例主要测试 IPv4 站点通过 IPv6 转换服务后，IPv6 客户端能够通过域名正常访问该站点上的服务。

表 11.3.5 IPv6 转换服务的基础功能测试用例

测试用例编号	测试目的
IPv6_SERVER_TRANS_001	测试 IPv6 转换服务支持将 IPv4 服务转换后通过 IPv6 网络进行访问



图 11.3.5 IPv6 转换服务的基础功能测试拓扑

11.3.3.2. 协议支持

该测试例主要测试 IPv4 站点通过 IPv6 转换服务后，IPv6 客户端能够对服务器进行正常的 TCP、UDP、ICMP 传输。

表 11.3.6 IPv6 转换服务的协议支持测试用例

测试用例编号	测试目的
IPv6_SERVER_TRANS_002	测试 IPv6 转换服务支持将 IPv4 服务转换后通过 IPv6 网络进行访问



图 11.3.6 IPv6 转换服务的协议支持测试拓扑

11.3.3.3. 应用支持

该测试例主要测试 IPv4 站点通过 IPv6 转换服务后，IPv6 客户端访问服务器，能够进行图片查阅、视频观看、文件下载等操作。

表 11.3.7 IPv6 转换服务的应用支持测试用例

测试用例编号	测试目的
IPv6_SERVER_TRANS_003	测试 IPv6 转换服务支持将 IPv4 服务转换后通过 IPv6 网络进行访问



图 11.3.7 IPv6 转换服务的应用支持测试拓扑

12. IPv6 测试结果

本次 IPv6 测试主要测试网络设备和网络服务的 IPv6 功能及应用，网络设备测试例 8 个，网络服务测试例 7 个。15 个测试例均进行了测试，测试结果详细情况见表 12.1.

表 12.1 测试用例执行及测试结果

测试用例编号	测试结果
IPV6_BASIC_RA_001	测试通过
IPV6_BASIC_ND_001	测试通过
IPV6_BASIC_L3FWD_001	测试通过
IPV6_BASIC_DHCPV6_001	测试通过
IPV6_TUNNEL_ISATAP_001	测试通过
IPV6_TUNNEL_6to4_001	测试通过
IPV6_ROUTE_NULL0_001	测试通过
IPV6_ROUTE_OSPFV3_001	测试通过
IPv6_server_DNS_001	测试通过
IPv6_SERVER_LB_001	测试通过
IPv6_SERVER_LB_002	测试通过
IPv6_SERVER_LB_003	测试通过
IPv6_SERVER_TRANS_001	测试通过
IPv6_SERVER_TRANS_002	测试通过
IPv6_SERVER_TRANS_003	测试通过
NFV_NS_DELETE_001	测试通过

13. IPv6 测试总结

在本次的 IPv6 测试活动中,在设备 IPv6 测试部分中,针对基础协议、IPv6 路由和 IPv6 设备管理以及 IPv6 过渡隧道等技术,测试活动主办方安排了全面系统的测试。从测试结果上看,本次 IPv6 测试中厂商设备在 IPv6 的支持度方面表现良好,测试通过率为 100%。

在 IPv6 网络服务测试中,针对线上的 VPC 网络和 IPv6 转换网络的应用支持、协议支持、流量和转发控制等方面,测试活动主办方也安排了系统的测试,测试结果超过预期,测试通过率达 100%。

本次 IPv6 测试活动相较以往,不仅有传统网络设备厂商,亦吸引了新兴的线上云服务厂商的参与。可见 IPv6 网络、服务和应用正在不断扩大,期望后续测试活动中出现更多 IPv6 新服务和新应用。

14. CORD 测试

14.1. CORD 介绍

CORD (Central Office Re-architecture as a Data center) 的愿景是使用大量白盒硬件设备、开源软件、虚拟化技术打造一个面向未来网络的数据中心，提供一个完整的解决方案为运营商商用网络服务。随着 CORD 的持续发展以及 5G 网络架构的逐渐明朗，CORD 逐渐转向到作为一种新的网络边缘平台。CORD 覆盖三大场景：M-CORD(Multi-access CORD), E-CORD(Enterprise CORD), R-CORD(Residential CORD)。

中国联通网络技术研究院携中国 CORD 产业联盟受邀参加了 2018 SDN+NFV+IPv6 Fest 测试活动，中国联通网研院开源项目组与产业联盟成员北京佰才邦技术有限公司，共同提交了以基于开源 M-CORD 6.0 的电信边缘云平台参加测试。作为面向移动网络的 NFV 接入网的一种承载方案，测试床采用 ONF (Open Networking Foundation) 开放网络基金会最新的 CORD6.0 架构，其中硬件包含白盒交换机、通用 X86 服务器、佰才邦 small cell 小基站设备，软件则包含了 OpenStack、ONOS 控制器、XOS 服务编排器以及佰才邦 vEPC 等虚拟网元。

14.2. CORD 测试内容

M-CORD 测试内容包含如下两点：

1) 首先通过手机测试视频点播业务，验证 E2E 的移动网络视频流业务。

测试拓扑如下图所示：

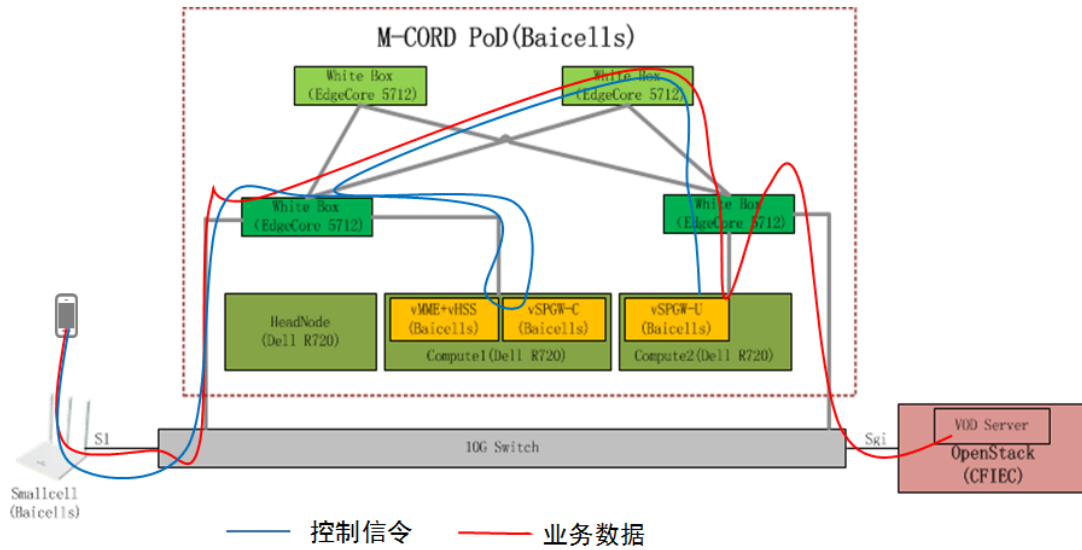


图 14.1 端到端业务验证测试拓扑

2) 对 vEPC 等网元的时延等性能进行测试。

测试拓扑如下图所示：

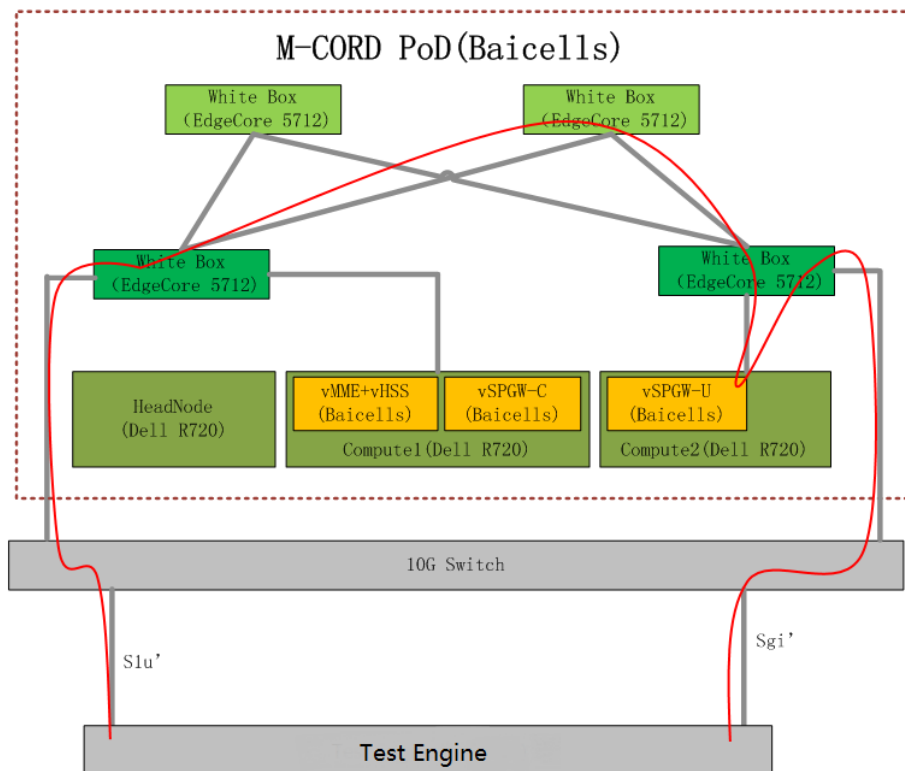


图 14.2 vEPC 在 M-CORD 平台中的时延及性能测试拓扑

14.3. CORD 测试结果

1) 端到端业务功能测试

通过测试，手机端的视频点播 APP 能够顺畅地播放位于平台侧的 1080P 视频文件，播放过程中无卡顿，控制信令以及视频数据流传输路径如图 14.1 所示。

2) vEPC 网元时延等性能测试

在测试前，vSPGW-U 中预置 10 个用户的默认承载的报文转发处理流表，使用触点互动的测试仪 Xpro-Replay 模拟 eNodeB 的用户面和视频服务器，通过报文回放的方式测试业务数据流通过该试验平台时的性能，测得 10G 光口连接情况下，1024B 报文的峰值吞吐率为 14Gbps，最大时延 2ms。

14.4. CORD 测试总结

本次测试活动中 CORD 完成了从环境搭建到业务验证以及性能测试。测试过程中使用真实 4G 手机卡并安装 VOD 视频点播客户端 app，从手机端进行视频播放，验证 M-CORD 的业务承载能力，测试表明 M-CORD 架构能够良好承载 1080P 高清视频业务，且对 vEPC 虚拟网元的性能做出了详细的测试，相关测试性能数据会反馈给社区作为一个测试参考。

CORD 测试是本次测试活动的崭新测试单元，活动中顺利完成了对 CORD 的测试设计和测试执行，作为主办方我们会继续在 CORD 测试方面积极与社区还有中国联通 CORD 产业联盟进行合作，持续推动 CORD 产业发展。

15. SDN+NFV+IPv6 FEST 总结与展望

2018 SDN+NFV+IPv6 Fest 测试活动圆满落幕，在测试活动主办方精心组织安排和测试活动参与单位积极配合下完成了既定的一系列测试，大部分测试都达到了预期效果。总体来说此次测试活动最大的亮点有：

- 1) 测试内容新增了 IPv6 和 M-CORD 相关测试；
- 2) 测试形式除了传统的线下测试又增加了线上测试；
- 3) NFV 的多厂商互联互通在延续去年良好态势的基础上进一步完成了 MANO 中 O 和 M 的解耦测试。

相对于往届测试来说，SDN、NFV 的整体解决方案越来越成熟，性能也看到了长足的进步；M-CORD 完成了从架构设计到部署实现到应用测试；IPv6 作为今年国内十分火热的名词，从核心协议支持、到组网方案应用都得到了验证。

本次测试活动设计的 SD-WAN 端到端按业务场景组网测试顺利完成，烽火通信以及阿里云提供的 CPE 和 vCPE 能够为端到端业务提供灵活的网络支撑，企业分部间、企业上云、云互联等业务场景能够轻松配置完成。

由于测试现场条件限制，本次测试活动中对于 Segment Routing、SRv6、NFV 自动扩缩容和自愈以及 IPv6 only 网络等方面没有进行测试，而这些内容在相关网络部署过程中起到重要作用，我们期望在后续的测试活动上能够对这些内容进行深入测试。

作为中立的第三方测试中心，下一代互联网国家工程中心-全球 SDN 测试认证中心始终将测试重点工作放在多厂商的互联互通方面，从 OpenFlow 到 VxLan 到 Segment Routing 到 SRv6，一如既往推动 SDN/NFV/IPv6 产业部署和推广。