



专题：新型网络

对云网融合技术创新的相关思考

史凡

(中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209)

摘要：伴随着建设新一代信息基础设施的需求发展，如何打破传统云和网之间彼此封闭和独立的形态、构建一个云网融合的信息基础设施已经成为业界关注的焦点。基于这一趋势，从网随云动、网络云化和云能力提升3个维度探讨云网融合技术创新的要点：首先，提出网络架构应以DC为中心组网，实现多云多网对接，并提供服务化、差异化的网络保障能力；其次，要解决网元形态云化和软件化部署难题，提供云边协同、软件定义服务的能力；最后，还介绍了如何升级平台服务，面向开发者、最终用户和垂直行业进行赋能。

关键词：云网融合；网随云动；网络云化；云能力提升

中图分类号：TN915

文献标识码：A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020195

View of the technical innovation of cloud-network convergence

SHI Fan

Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: With the development of the demand for the construction of a new generation of information infrastructure, how to break the traditional closed and independent form of cloud and network, and build a cloud-network convergence information infrastructure has become the focus of the industry. Based on this trend, the main points of cloud-network convergence technical innovation were discussed from the three dimensions of network following the cloud, network cloudification and cloud capability improvement: firstly, the network architecture that should be centered on DC to achieve multi-cloud interconnection was proposed, and service-oriented and differentiated network guarantee capabilities were provided; secondly, the problem of cloudization and software deployment of network element forms should be solved, and cloud-side collaboration and software-defined service capabilities were provided; finally, how to upgrade platform services to enable developers, end users and vertical industries was also introduced.

Key words: cloud-network convergence, networking with cloud, network cloudization, cloud upgrading

1 引言

作为数字经济转型发展的重要基础，新一代信息基础设施的构建已经成为我国社会可持续高

质量发展的核心要素，云网融合是业界公认的基础设施的重要特征和能力。云网融合将提供“云+网+端+应用”的一体化解决方案，优化空间布局和产能布局，提升信息基础设施的运营效率，同



时以云网融合为基础打造的数字化平台还能够实现技术融合、能力汇聚、生态发展，为我国数字化转型赋能。

本文将结合笔者多年来从事相关领域技术工作的经验，对于未来云网融合技术发展方向与创新突破点进行探讨。

2 云网融合技术的发展目标

云网融合的核心在于“融”，即打破现有云和网相对封闭独立的局面，在基础设施层面通过多种技术手段的注智赋能，实现统一融合的架构体系。具体来说，云网融合的发展可能会历经3个阶段。

（1）协同阶段

该阶段云和网基本形态彼此独立，主要通过IaaS层面的对接实现面向业务的自动化开通和加载，方便用户获得一站式服务。

（2）融合阶段

该阶段云和网将采用统一的逻辑架构和功能组件，相当部分的网络资源和能力可以进行云化封装，云和网之间产生了“物理反应”，具备了统一发放和调度的能力。

（3）一体阶段

该阶段云和网在基础设施和平台的应用架构、开发方式、部署和维护等方面全面统一，没有明显界限，可以认为是一种“化学反应”，从用户视角甚至已经看不到资源差异，只体验到服务能力。

从目前业界的技术水准来看，现在正处在上述协同阶段向融合阶段迈进的时间点上。未来一段时间的主要技术应该从以下3个维度开展相关创新工作。

（1）网随云动

改变传统网络供给侧决定业务形态的方式，从“云被动适应网”向“网主动适配云”发展，核心特征是要实现网络能力的敏捷易用。

（2）网络云化

借鉴云计算集约、可度量、按需扩展等特性，将主要依赖于硬件相对僵化的网络资源，向软件化、虚拟化和云化的部署方式转变。

（3）云能力升级

完善和充实云平台的能力，提供以网为基础、云为关键的综合信息服务，实现能力的聚合和输出。

表1概要指明了云网融合的技术创新点所在。

表1 云网融合的技术创新点

重点方向	核心要素/特征	代表性技术/技术关键字
网随云动	以DC为中心进行组网	spine-leaf、SR/SRv6、EVPN、ROADM...
	多云/多网互联	SDN、IXP、零信任
	基于SD-WAN的增强	DPI、local breakout、SASE（secure access service edge，安全访问服务边缘）
网络云化	差异化网络切片	端到端协同编排
	网元云化、软件化	Hypervisor、云管、开源
	云边协同	转控分离、轻量级边缘云
云能力升级	软件定义网络服务	Neutron增强、云原生
	容器云/PaaS	Kubernetes、安全
	SaaS商店	零代码、微服务
	AI/区块链赋能	“通用平台+算法模型”“基础链+安全”

3 技术创新之网随云动

网随云动是网络融合演进的一个基础，其改变了网络组织的指导思想，是一种与时俱进的理念，在具体实施层面，需要从以下4点着手。

（1）架构方面，以DC为中心

以DC为中心进行组网，关键要解决云资源池/IDC之间链路扁平直达的问题，并支持未来网络流量流向在南北向和东西向并重，与此同时，网络还需要具备一定的扩展性，以适应云资源动态、弹性扩展的要求。为此，在技术创新方面，可进行如下考虑。

- 将之前主要用于 DC 内的 spine-leaf 架构扩展到广域网，特别是城域网范围，以支持流量的快速疏导和网络的弹性扩展。但是在城域网内部署 spine-leaf 时，特别要关注 spine 节点和 leaf 节点的差异化要求，前者主要面向 leaf 节点间流量的快速疏导，近期来看将出现新型的大容量单机设备形态，支持高密度的 100GE；后者主要面向不同客户群和不同业务的接入控制能力，随着固移融合接入的需求发展，将与 MEC/UPF 等形态进行融合。
- 采用 SR/SRv6 协议简化网络承载面的要求，借助 EVPN 协议统一 L2 VPN 和 L3 VPN 的业务发放。考虑到现有的运营商网络已经存在基于 IP/MPLS 的广域网，并承载了大量业务，可借助新建 SR/SRv6 的形式实现 SR 与 MPLS 的互操作，充分利用 SRv6 policy 能力，构建端到端一跳直达、极简跨域的网络平面，并支持边缘业务识别、业务路径可编程，为客户提供不同的应用级 SLA 保障。最终将实现 IP 网络端到端“SRv6+EVPN”两个协议提供全业务承载的能力，极大简化业务的开通调度和网络的配置维护。目前，SRv6 的成熟度是业界比较关注的一个问题，SRv6 核心协议已经成熟，基本具备商用能力；SRv6 报头压缩还存在不同的实现方案，初期引入时可采用非压缩的方式；而在 50 ms 快速收敛方面，在域内可采用 Ti-LFA 方式，跨域可采用“SRv6 TE policy+BFD”方式，满足部署要求。
- 引入 ROADM 技术，减少光电转换和上下路的损耗和复杂度，实现骨干/长途层面的全光网。ROADM 是通过远程控制来更改上下和穿通的波长，无须手工跳纤，实现了对 WDM 系统波长通道的快速、灵活配置，可减少人工操作带来的错误。同时，

通过波长交换光网络（wavelength switched optical network, WSON），可实现波长路由的动态调整，因此可支持业务的快速发放和故障场景的快速恢复或重路由，防止多次断纤。目前，已经成熟商用的是波长无关型的 ROADM（即 CD-ROADM），波长通道可以被灵活地指向该节点连接的任意光纤方向，方便骨干节点进行任意方向连接。

（2）连接方面，关注多云和多网对接

随着公有云、私有云和混合云的普及，甚至单一类型云服务中多个云服务商的采用以及多种网络形态和供应商的出现，“多云+多网”将是今后长期存在的需求。为此，需要解决云网资源的统一管控、云和网的灵活对接、云网边界多样化后的安全性问题。

- 以 SDN 为核心解决云资源和网络资源的纳管和调度，重点考虑开源的技术方案，降低门槛。在数据中心内，云和网的资源对接主要基于 OpenStack 的 Neutron 组件实现，但是目前其功能还比较有限，不能完成广域网上常见的大量网络配置和调整操作。特别是考虑到未来网络云化以后，网元功能大多需要采用虚拟化的方式部署，基于 SDN 的集中控制理念，将传统面向 IT 服务的云资源和新兴面向 CT 服务的云网资源统一纳管起来，是一个必然的选择。目前来说，多种开源的技术方案，如 OVS，已经在云数据中心的 SDN 管理中得到了应用，但是在异构环境（如采用 Neutron 配置 vSwitch，采用 ODL 控制器配置 TOR 交换机）下，还存在管理界面复杂的问题，有待于在技术上进一步发展简化。
- 借助互联网 IXP 的思路，引入云和网间的新型 IXP，实现云网的对等互联、直接互通。由于云资源池面向客户呈现的主要是 VPC



的形态，在云网 IXP 部署时，和传统互联网 IXP 的一个重大差异在于网络的弹性和颗粒度。也就是说，IXP 中的交换节点需要具有数以十万乃至百万量级的 VPC 开通和配置能力，为此除了传统的 BGP 用于互联控制外（如对等互联、转接互联），还需要引入 VxLAN 等技术增加海量的租户网络隔离能力，引入兼容 MANO 的云管平台增加虚拟化网元的一点开通能力。

- 引入“零信任”的原则，通过链路安全、身份审计、访问控制等多样化手段，提供弹性的、无固定边界的安全能力。考虑到安全防护边界的纵深化发展，网络安全设备也需要伴随着向虚拟化、云化演进，目前业界已经基本具备安全设备的解耦能力，通过安全编排与控制技术，通过原子级安全能力构建的安全资源池能够在多资源池、多租户、多进程上统一部署。与此同时，在多协议接入认证、多终端（芯片级）身份认证方面，也出现了新的技术方案，正在逐步商用中，可以结合上述安全编排能力形成完整的零信任防护方案。

（3）服务方面，利用 SD-WAN 面向应用加以增强

SD-WAN 在跨越不同底层网络解决入云问题方面发挥了很大的价值，在新的、丰富的云应用生态下，SD-WAN 服务需要进一步提升云网融合的能力，具体包括面向不同的云应用提供差异化 QoS 能力、面向本地互联网流量提供就近出口的能力、面向减轻客户端安全要求的云化安全服务能力。

- 借助 DPI 等手段，针对单个 SD-WAN 中不同的云连接提供针对性的 QoS 保障。目前 DPI 技术已经可以在 vCPE 或 uCPE 上加载，转发策略和规则可以在大网侧集中生成以降低 vCPE/uCPE 负担，并通过流表方

式将转发要求分发到单个终端上，从而使终端侧支持数以千计的应用识别和差异化 QoS 策略配置（如基于时延、基于带宽），可充分满足面向应用的流量调度需求。

- 利用靠近客户的 POP 点，基于 ACL 等技术实行 local breakout 功能。由于 SD-WAN 的网络边缘 POP 一般与客户接入互联网的 POP 部署在相同的位置上，所以基于 ACL 的技术手段，可以方便地区分客户流量的目的地，通过策略路由的手段就能让流量在网络入口处按需进行转发，避免非上云的流量也要进入远端云数据中心网络进行绕转，一方面节省相关网络带宽；另一方面也有效降低时延。
- 基于云化部署的 POP 提供 SASE 的能力。在 SASE 部署方案中，一般将安全服务能力部署在相对集中的安全能力云资源池（即 SASE 云池）中，并将 SD-WAN 的网络边缘 POP 视为 SASE 边缘，针对不同的安全应用/服务要求，如防火墙、隧道加密（IPSec/TLS）、DNS 加密、流量清洗等，可以结合网络带宽条件将相关服务就近或集中部署在 SD-WAN 的端点上。

（4）保障方面，聚焦 5G 网络差异化切片

随着 5G 网络的广泛部署，面向固移融合的承载，云与云之间、云与客户之间都存在差异化网络切片的需求，在实现这些网络切片的过程中，重点需要解决两个问题：一是端到端网络的拉通；二是面向云业务 scale up/out 特点的网络业务编排。

- 针对 5G 网络存在无线网、承载网和核心网 3 段不同专业网络的现状，必须关注各自可实现的切片技术的选取和组合，如无线网部分的 RB 和帧结构/调度优先级、承载网方面的 flexE/OTN 等硬切片和 VPN/VLAN 等软切片以及基于 SBA+NF 的核心网切片。目前来说，核心网和承载网的切片能

力和相关技术,已经可以满足行业应用所需;但是在无线网方面,如果遇到单基站/扇区下存在多个切片及 SLA 保障需求的情况,目前基于 GBR 的方式虽然可以在一定程度上实现 QoS 优先保障,但是还无法提供规模化服务的能力,仍有待空口技术的进一步演进。

- 针对云业务横向/纵向动态扩展的情况,对于网络切片的编排也需要具备全业务生命周期的调度编排能力,而且能够实现上述端到端网络的协同,整个架构必须构建在微服务之上。目前运营商中已经开始基于微服务来构建网络切片的编排器,引入了 spring cloud 等技术来实现快速构建自身的网络服务能力中心,降低网络资源按业务服务颗粒拆分的难度。同时,也需要看到随着网络能力原子化的逐步实现,这些原子能力的调用和交互也趋于复杂,不得不借助 service mesh 技术来屏蔽分布式系统通信的复杂性(负载均衡、服务发现、认证授权、监控追踪、流量控制等),让运营系统更加具有扩展性。

4 技术创新之网络云化

网络云化的实质是要实现柔性和弹性的网络资源,可以视为云网融合的一个催化剂,从技术实现上,需要解决网元形态、部署模式和服务内涵 3 个层面的问题。

(1) 网元形态

从目前黑盒的网元形态,走向软硬件解耦和灰盒,甚至软硬件全定制的白盒,将是一个艰巨的过程,主要需要解决软硬件分离和设备能力可编程两个问题。

- 在软硬件分离方面,需要通过对虚拟化层 Hypervisor 的掌控,实现硬件资源的异构管理;需要通过云管能力的增强,将云化的

网络资源统一纳入。在 NFVI 实现三层解耦的过程中,目前最大的技术难点在于设备厂商都自带了虚拟化层 Hypervisor,无法实现跨厂商的互通,为此基于 KVM 进行二次开发实现跨底层硬件的 Hypervisor 成为运营商的不二之选,否则将无法突破二层解耦不彻底带来的部署难题。同时,随着网络功能以云的方式实现,VIM 和 PIM 需要深度协同才能实现开通和维护(如发生故障时的快速定位和根因分析),由于目前云资源池已经建立起了统一的云管平台,为此在云管中纳入上述 VIM 和 PIM 功能也成为大势所趋。

- 在设备能力可编程方面,必须借助开源的力量实现白盒化,比如在以太网交换机层面可以借助 SONiC 等开源方案来实现网元架构,在基于服务器的网元性能上可以利用 VPP 等开源方案来实现性能加速。传统的黑盒网元已经越来越无法满足网络能力开放的需求,特别是云业务和应用日新月异的变化,在基于 SDN 的转控分离已经得到充分的认可和部署的情况下,硬件层面的白盒化也走向了前台。以数据中心交换机为例,开源交换机操作系统 SONiC 基于 SAI (switch abstraction interface, 交换机抽象接口) 避免了过去各个芯片需要通过自己的 SDK 与上层操作系统通信的难题,目前已经是业界应用最多的开源系统。同时,基于 VPP 框架,在通用硬件平台上可以支持高吞吐量、低时延、高资源利用率的用户态 I/O,而且和底层硬件架构(不论是 x86 还是 ARM)、部署环境(裸金属、虚拟机、容器)都无关,进一步破除了对于通用硬件性能的担心。

(2) 部署模式

云边协同的本质是改变了现有云资源/IDC 在



网络中布局位置较高的局面，面向特定的业务和应用（如 AR/VR、自动化驾驶），实现边缘云的广泛部署及和网络的无缝协同，考虑边缘云将来可能需要部署到小区机房这样的粒度，需要解决的技术难题如下。

- 面对中心云和边缘云不同的业务部署特点，需要支持转控分离的形式，特别是要能够实现对于大并发的信令（控制）流的处理。由于 MEC 布局的需要，未来网络中边缘云的量级可能达到上万个，特别是伴随着 UPF 下沉带来的流量转发点下移，控制面和转发面将分布式部署在二级甚至三级以上的云资源池中，两者间将形成类似于“Region”和“AZ”的模式。为此，一方面要考虑单个域内可管理的云节点数量；另一方面还要考虑域内并发流量特别是信令流量的可靠性保障，此时需要结合上述 spine-leaf 网络架构来考虑云边协同的组网。
- 部署边缘云的机房，不具备传统 IDC 那样高等级的供电、空调、承重等物理条件，需要在云资源形态（计算、存储）的性能要求和 COTS 硬件（如服务器）的指标要求上采用轻量级的部署方式。具体来说，针对单机架供电普遍在 5 000 W 左右的能力，需要开发定制低功耗的服务器及 CPU；对于运维操作通道普遍只有 1 m 进深的条件，需要考虑前插卡和 60 cm 深度的服务器尺寸。

（3）服务内涵

现行的云网业务开通时，用户一般面对的是云和网串行开通的方式，体验相对较差，未来要实现一体化服务，一定要简化网络的属性。从根本上说，首先需要实现云和网的同时开通和加载，更进一步甚至可以“隐藏”到网络的特征，在云服务订购的同时自动化、隐性地加载网络服

务，前者可以称为同步服务，后者则称为无缝服务。

- 对于同步服务而言，重点需要解决的是云对于网络能力的实时调用，举例而言，如果采用 OpenStack 的网络组件 Neutron 来实现，则需要在其功能上进行很多的拓展。具体来说，在 L2 网络方面，需要增加网络直连的功能；在 L3 网络方面，需要增加 VPC 连接、静态路由、BFD、ECMP 等功能，从而实现 L2/L3 网络的自动化、虚拟化组网情况下的 BFD 检测和 ECMP 负载分担能力。
- 对于无缝服务而言，关键是要实现网络的云原生，也就是尽量采取容器化的网络部署，并且争取在虚拟化操作系统层面实现对于云网资源的无差异管理。在实现网络云原生的进程中，容器化部署应该是一个非常有益的手段，特别是通过容器分组不同应用的库文件以及运行程序，可以在一个或多个物流环境下按需部署网络功能/能力，方便云网服务基于不同节点进行灵活迁移以及被第三方所调用。以 5GC 的场景为例，运营商完全可以基于不同的业务类型和容量需要，组合部署大/中/小容器，既可支持独立 AMF，也可以实现 AMF/MME 合设。

5 技术创新之云能力升级

云网融合能力的最终呈现，需要借助云的服务形态，特别是数字化平台的能力，需要从开发者、最终用户和垂直行业 3 个方面进行技术攻关。

（1）面向开发者的容器云

对于开发者来说，PaaS 功能上采用容器云的方式来实现，是一个很大的便利，但是要让容器真正好用，就不得不解决编排管理、部署方式和安全性 3 个难题。

- 在编排管理方面, “Docker+Kubernetes”已经得到了业界公认, 但是 K8S 与上述的 Neutron 组件一样, 在实现云网融合的管理方面还存在大量需要增强的功能。具体来说, 需要支持源代码、二进制包直接分组为容器镜像以简化运维人员编写文件的难度; 需要实现分布式多组件应用的图形化拖拽以方便建模; 需要支持对多个 K8S 集群的统一管理; 需要支持面向应用的端到端告警与监控。
- 在部署方式方面, 目前还存在虚拟机容器和物理机容器的不同方式, 后者还细分有裸金属和纯物理机等方式, 这些方案没有绝对的优劣, 需要根据场景因地制宜地加以选择。
- 在安全性方面, 由于容器相对于虚拟机进一步恶化的安全的问题, 所以需要考虑把传输层安全协议、镜像的签名认证、内涵安全等一系列手段结合起来, 才有可能比较全面地防范容器的安全风险。

(2) 面向最终用户的 SaaS 商店

对于最终客户而言, 其使用的对象往往是具体的 SaaS 应用, 他们希望能够便捷地选择各种 SaaS 功能组件 (如流程、数据、表单等), 方便地定制企业自身使用甚至面向其用户的 SaaS 应用。为此, 需要面向他们提供零代码/所见即所得的体验和标准化的服务模块。

- 零代码/所见即所得的体验的核心就是对于使用者完全没有高深的编程语言的要求, 他即使不懂 Java、Python 或 C++, 也能够进行编程, 这在网络能力上需要借助意图网络 (intent-based networking, IBN) 的理念, 在技术层面需要引入 DSL (domain specific language) 来实现。一般来说, DSL 又分为外部 DSL 和内部 DSL, 前者有自己的特定语法、解析器和词法分析器, 常见的有 XSLT、SQL 等; 后者往往是一系列特别

的 API 及使用模式, 比如 LINQ 查询语句及 Ruby on Rails 中的 Active Record 声明代码。

- 标准化的服务模块要求基于微服务来打造 SaaS 平台, 通过模型化原子能力, 把资源的特性差异提炼为共性的服务。从业界已经开展的应用部署来看, 如阿里巴巴的“宜搭”平台、Salesforce 的“customer360”平台, 排在最受欢迎前 3 位的模块能力分别是流程、表单和数据。

(3) 面向行业赋能的 AI/区块链新技术

随着各行各业在向物联网、工业互联网等领域的延展和迈进, 传统的云能力作为基础功能已经不能完全满足垂直行业个性化的诉求, 特别是在应用新技术为其行业应用赋能的方面。目前, 人工智能和区块链是云网融合能力赋能行业的首要选择。

- 在人工智能方面, 首先需要的是一个通用的平台或者引擎, 方便行业所需大数据的汇聚和处理, 其次是有定制化的算法模型, 以便进行针对性的训练和迭代。具体技术上, 需要攻关 AI 算力资源的统一调度技术, 实现对 GPU、CPU 等异构计算资源的协同编排; 需要攻关面向 AI 开发的数据赋能系统, 实现对海量 AI 数据的自动化处理和管理; 需要攻关 AI 算法的基准评估技术, 实现对 AI 算法和方案实现自动化基准评估。
- 在区块链方面, 目前主要是解决基础链和数据安全交换的问题, 满足存证溯源、数字身份、金融支付等场景。具体技术上, 需要实现高性能的共识算法、高可靠的节点增删、智能合约执行、多级别权限管理等技术; 需要突破异构存储、大文件存证和防篡改校验需求下的可信存证技术; 需要突破支持桥接异构区块链网络的跨链通信技术。



6 结束语

综上所述,云网融合为信息通信产业的发展提供了新的机遇,也带来了新的挑战,不论是网随云动、网络云化,还是云能力升级,相关技术目前都还处在起步成长阶段,需要围绕各自的聚焦点,以问题为导向,持续开展技术创新。

笔者相信,在业界各位同仁的共同努力下,这些云网融合的技术一定能够进一步走向市场、迈入现实,为打造和夯实我国新一代信息基础设施做出贡献。

参考文献:

- [1] CONRAN M. The evolution to secure access service edge (SASE) is being driven by necessity[Z]. 2019.
- [2] DUCHENE F, LEBRUN D, BONAVENTURE O. SRv6Pipes: enabling in-network bytestream functions[EB]. 2019.
- [3] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 132-139.
ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and application in traffic offloading[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.
- [4] 王志宏, 杨震. 人工智能技术研究及未来智能化信息服务体系的思考[J]. 电信科学, 2017, 33(5): 1-11.

WANG Z H, YANG Z. Research on artificial intelligence technology and the future intelligent information service architecture[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(5): 1-11.

- [5] 胡腾, 李观文, 周华春. 面向服务的数据中心安全框架[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 8-16.
HU T, LI G W, ZHOU H C. Service-oriented security framework for datacenter networks[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 8-16.
- [6] 李董, 魏进武. 区块链技术原理、应用领域及挑战[J]. 电信科学, 2016, 32(12): 20-25.
LI D, WEI J W. Theory, application fields and challenge of the blockchain technology[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(12): 20-25.
- [7] 赵慧玲. 网络云化与 AI 将成为未来网络发展的重要方向[J]. 通信世界, 2018(2): 18.
ZHAO H L. Network cloudification and AI will become an important direction for future network development[J]. Communications World, 2018(2): 18.

[作者简介]



史凡(1978-),男,中国电信股份有限公司研究院 CTNet2025 研究所副所长、高级工程师,MEF 中国工作组主席,中国通信学会信息通信网络技术委员会委员,长期从事通信承载网络技术研究工作,主要研究方向为数据通信、下一代互联网、SDN/NFV,近年来主要负责与云网融合相关的技术研发工作。