

基于SRv6的算力网络技术体系研究



Computing Power Network Technology Architecture Based on SRv6

张帅/ZHANG Shuai, 曹畅/CAO Chang,
唐雄燕/TANG Xiongyan

(中国联合网络通信有限公司研究院, 中国 北京 100048)
(The Research Institute of China Unicom, Beijing 100048, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202201005

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20220224.0944.002.html>

网络出版日期: 2022-02-25

收稿日期: 2021-12-20

摘要: 计算形态的云-边-端泛在化分布的演变, 以及进入网络内部的计算, 都推动承载网络从“云网融合”向“算网一体”演进。面向算力网络时代, 提出基于互联网协议第6版段路由(SRv6)的算力网络技术体系, 并详细介绍其内涵——“1+N+X”, 即1个算网能力底座, N种算力网络能力, X种商业场景。通过对此技术体系的研究, 构建新一代数字技术设施, 增强“联接+计算+智能”的网络内生能力。

关键词: 云网融合; 算力网络; 技术体系; SRv6

Abstract: The evolution of the cloud-edge-end ubiquitous distribution of computing forms and computing power embedded in the network promotes the evolution of carrier networks from "cloud and network convergence" to "computing power and network integration". Facing the computing power network era, computing power network technology architecture based on segment routing IPv6 (SRv6) is put forward, and its contents—"1+N+X" are introduced in detail. "1+N+X" means 1 computing power network capacity base, N kinds of computing power network capacity, and X kinds of business scenarios. Through the research of the technology architecture, the new generation of digital technology facilities is established, enhancing the network endogenous capacity of "Connectivity + Computing + Intelligence".

Keywords: cloud network convergence; computing power network; technology architecture; SRv6

1 数字经济时代,“联接+计算+智能”成为数字新业态的基石

在“十四五”时期, 互联网、大数据、人工智能(AI)同各行各业深度融合, 产业数字化迅速发展, 这对经济社会发展起到重要的战略作用。在移动互联网、大数据、超级计算、传感网、脑科学等新理论新技术的驱动下, AI加速发展, 成为新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力。加快传统产业数字化改造, 就要推进“上云、用数、赋智”。这既是提高国家竞争优势的战略选择, 也是构建新发展格局的现实需要, 更是实施创新驱动发展战略的主要抓手。

2021年3月, 中国联通正式发布CUBE-Net 3.0网络转型计划^[1], 旨在携手合作伙伴共同构建面向数字经济新需求, 增强网络内生能力, 实现“联接+计算+智能”融合服务的新一代数字基础设施, 积极推动网络从“云网融合”迈向“算网一体”。

在新架构中, 通过支持“联接+计算+智能”的融合服务, 结合互联网协议第6版升级(IPv6+)创新技术, 网络

具备了感知、智能、体验保障等新能力, 这些能力组合后形成智能联接。网络不仅可以提供透明的数据交换, 还可以为行业客户提供边缘计算服务, 为家庭提供智能业务体验保障, 为个人提供高精度定位等融合感知服务。

面向算力网络时代, 中国联通提出了基于IPv6段路由(SRv6)的算力网络技术体系, 提供算网一体服务, 即“1+N+X”: 1个算网能力底座, N种算力网络能力, X种商业场景, 构建新一代数字技术设施, 增强“联接+计算+智能”的网络内生能力^[2]。

2 1个算网能力底座, 实现“一网联多云, 一键网调云”

基于“1+N+X”的技术体系, 网络是以用户为中心的。从用户的视角看, 一网多云需要网络支持低时延、安全可信的通信, 以及高确定性的服务质量, 因此网络成为价值中心。算网能力底座的构建, 需要结合源路由IPv6网络可编程能力, 通过将Service ID和SRv6段识别信息(SID)关联, 进行联合注册和统一编排。

SRv6是一项新兴的互联网协议(IP)。SRv6通过灵活的

Segment 组合、Segment 字段, 以及类型长度值 (TLV) 组合实现 3 层编程空间, 更好地满足新网络的业务需求, 而其兼容 IPv6 的特性也使得网络业务的部署更为简便。

在算力网络中, SRv6 技术可以简化网络结构, 实现网络之间的无缝衔接。同时, 路由能力不再割裂, 并可以结合网络软件定义网络 (SDN) 将能力开放出来, 实现资源互调。这样可以大幅降低业务连接和业务部署的复杂度, 使得网络服务化具备必要条件, 即将网络的能力和数据进行开放, 支撑业务实现实时、按需、动态部署。网络服务化能力的提供, 首先需要对网络能力进行抽象, 以服务的形式对外提供, 这可以包括网络资源连接服务、切片服务、服务级别协议 (SLA) 可视等多种服务类型; 其次, 网络服务化需要能够灵活定义、敏捷编程, 并能根据业务场景对网络的各项原子能力进行组装, 对运维活动进行灵活编排, 实现流程自动化; 最后, 网络服务化能力需要自闭环, 实现服务状态实时感知。

算网能力底座具体如图 1 所示, 该底座对外统一客户入口, 提供服务目录; 对内实现算网的智能化, 包括资源管理、服务管理等, 以支持算网服务一体化自动开通、全流程可视, 并可利用算网的敏捷性、灵活性和快速响应能力不断提升和优化客户体验。

随着网络、云、终端技术和能力的各自持续演进, 云、网、边、端、业的协同需要进一步加强和延伸, 并需要根据业务特点、网络特征、设备能力及运行环境等, 智能选择原

来由终端执行的非实时复杂计算和存储任务, 并将其转移至云端或边缘计算节点处理, 再将运算结果返回终端执行。云与网的深度融合、相互协同, 可以提供云网一体化的综合服务。这就需要云和网的资源能够无缝对接, 网络设备与云网元统一纳管, 以形成统一的资源视图, 从而使得网络的拓扑、带宽、流量和云的计算、存储能力等实时呈现^[3]。多云协同支撑业务融合创新, 有效地控制了负载和成本, 并整合多云资源, 从而提升数据的可移植性和互操作性, 实现精细化管理, 助力企业业务创新, 提升云服务的协同能力, 丰富云服务生态。充分利用不同云服务提供商的能力, 可以为企业提供一致的管理、运营和安全体验。

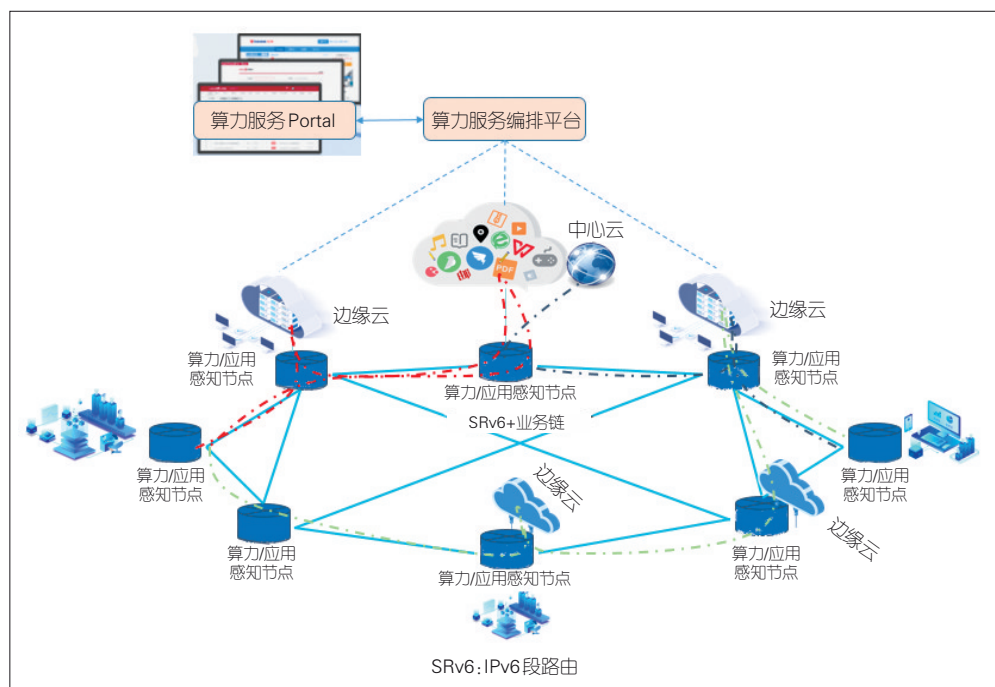
3 N种算力网络能力, 使能新业态算网一体

在“1+N+X”技术体系中, IPv6+技术 (具体包含网络切片、确定性传输、新型多播和应用感知等协议创新^[4]) 使网络具备业务快速发放、灵活路径控制、业务体验保障等能力, 以实现服务应用感知、资源及时调用与网络能力开放之间的协调机制。

当前, 算力网络已具备 SRv6 策略路由和网络切片等能力, 可以将时延、带宽等网因子, 和成本、算力等云因子纳入路由算法, 计算出满足 SLA 要求且云资源利用率最优的业务路径。同时, 通过切片实现多种业务的差异化承载, 保障了算力传输的确定性^[5]。面向未来, 算力网络将引入应用感知技术与算力感知技术, 使网络及时感知应用类型及需求,

并将服务所需的异构算力资源信息结合路由机制在网络发布, 以作为业务路径选择的关键依据^[6]。

• 智能选路: 业务运行时, 不同类型的业务对计算能力、存储能力、网络服务的需求是不同的。从现有业务上看, 超算类应用、大型渲染类业务对算力的需求是最高的, 可达到 P 级。其次是 AI 类的训练类应用, 根据算法的不同以及训练数据的类型和大小的不同, 这类应用所需的算力从 T 级到 P 级不等。AI 推理类业务则大多部署在终端边缘, 对算力的需求稍微减弱, 在几百 G 到 T 级别不等。同时, 数据处理过程



▲图1 算网能力底座

中的存储起到至关重要的作用,内存与显存的数量可以作为关键指标来衡量计算存储的能力。所以,我们需要将这些因素综合起来,量化成度量值,并嵌入路由算法中。同时,基于服务类型及应用场景,对指标因素及权重进行调整,生成新的度量值,可以指导业务转发。

- 网络切片:对5G承载网进行精细化的切片处理,可实现多种业务的差异化承载,从而保障算力传输确定性体验,并最大化网络价值。在SRv6网络中,网络切片将物理网络分成多个网络切片平面,各网络切片由不同的路由分段(SR) Locator以及对应的SID集合组成。各网络切片通过对SID进行编程及组合,约束业务在特定的切片拓扑内使用为切片预留的资源进行转发。在承载网络中,根据业务需求使用灵活以太网(FlexE)技术在承载网设备物理接口上划分出不同的逻辑接口,为切片分配独立的网络资源,以实现不同切片之间的资源隔离。

- 应用感知:将应用信息带入网络中,使网络及时感知应用类型及需求,以提供智能化和定制化的服务。结合应用感知技术,可利用IPv6扩展头将应用信息及其需求传递给网络,有效衔接网络与应用以适应服务的需求。通过业务的部署和资源调整来保证应用的SLA要求,可以将流量引向满足其要求的网络路径,从而充分发挥网络节点尤其是边缘节点的优势。

- 算力感知:通过整合计算资源,以服务的形式为用户提供算力。在电信网络中,承载计算资源信息的通信协议可以位于网络层之上(包括网络层)的任意层,并以网络层协议为基础,将服务所需的异构算力资源信息和路由机制结合并在网络发布,从而作为服务寻址的关键依据^[7]。目前计算优先网络协议(CFN)主要通过在路由协议的边界网关协议(BGP)报文头中以扩展字节信息的方式携带算力信息,将网络中计算节点的负载情况实时向全网扩散。CFN协议与基于链路度量值进行路径计算的网路路由协议类似,都是基于算力度量值来完成路径的计算。而算力度量值来源于全网计算资源信息及网络链路的带宽、时延、抖动等指标。

4 X种商业场景探索实践,构建“网络路径编程即服务(SaaS)”生态运营体系

4.1 云网专线升级,赋能千行百业

面向专线应用,结合不同地区、不同行业的实际情况,因地制宜地制定符合客户需求的最佳方案,可以实现敏捷转发、分钟级开通,解决客户灵活组网需求。

在广东省开展的围绕智能城域网和省内云骨干网的云网

架构创新活动中,通过SRv6,基于IP可达(即业务可达),可实现新业务的快速开通。IPv6可延展到网络的各个层级,从传统的城域网、骨干网,到接入园区、数据中心,并且通过SRv6可以拉通端、网、云,可提供智能时代多点之间的任意连接。同时,管控体系实现云网自动化对接、业务快速开通,达到了电商化体验效果。

电商化是提升客户体验的一个重要手段,解决了运营商连接客户“最后一米”问题。电商化在实践中又可分为售前、售中和售后3个环节:售前能力主要提供客户直观销售,如客户无须到营业厅,在线即可选择套餐,并可以基于自身需求,快速获取理想的资源,随时随地完成下单操作;售中能力主要提供交付流程可视化,包括实时资源可视可查,时长可预估、可承诺,网络能力开放,新型、叠加型业务的快速研发等,满足了客户定制化的需求;售后能力主要提供在线网络质量可视可查、路径调优等,包括专线质量实时可视、可看可追溯,降低客户误报率,使得网络隐患提前发现,防患于未然。

4.2 算力网络业务链,打造云网安一体服务

传统企业核心业务部署在企业数据中心(DC)。分支企业则通过组网专线访问总部核心业务,并通过企业总部统一的互联网出口访问互联网,所有的安全防护均部署在总部。随着核心系统上云,分支企业经过总部访问的模式不再具有经济效益,分支企业存在直接访问云侧服务的需求。因此,安全策略也需要分布式部署,且策略更加复杂化,要求企业分支和总部一起联动防护,并保持安全策略的一致性。

面向安全服务,我们在大湾区进行了一系列的尝试,在多个资源池分别部署网站应用级入侵防御系统(WAF)、防火墙(FW)等安全服务。根据业务的诉求,客户可以选购不同的安全服务。通过基于SRv6的业务功能链(SFC)技术,网络将按需灵活地串接安全服务,使企业分支通过安全服务后访问云业务,以提供个性化安全保障。业务链是一种业务功能的有序集,可以使指定的业务流按照指定的顺序依次经过指定的增值业务设备,以使业务流量获取一种或多种增值服务。这种增值业务设备,可以是物理设备上的一个模块或者虚拟化的实例。依据客户的意图,结合SRv6 SID即服务,通过业务链将算力服务连接,可以将服务提供给客户。如图2所示,基于服务链的服务灵活调度场景具有两大算网能力:算网技术能力和算网生态服务能力。算网技术能力包括网调应用能力和网随算动能力。网调应用实现了极致灵活网络,使算力云池内的应用按需调度;网随算动使得网络具备基于时延、带宽、丢包、指定路径等选路能力,能够

满足算力的不同诉求。针对算网生态服务能力，中国联通作为服务平台将支持集成第三方服务，并按需调度网络侧差异化承载服务能力，与应用合作伙伴共同构筑产业生态。

4.3 算力网络新型组播,打造大流量高品质服务

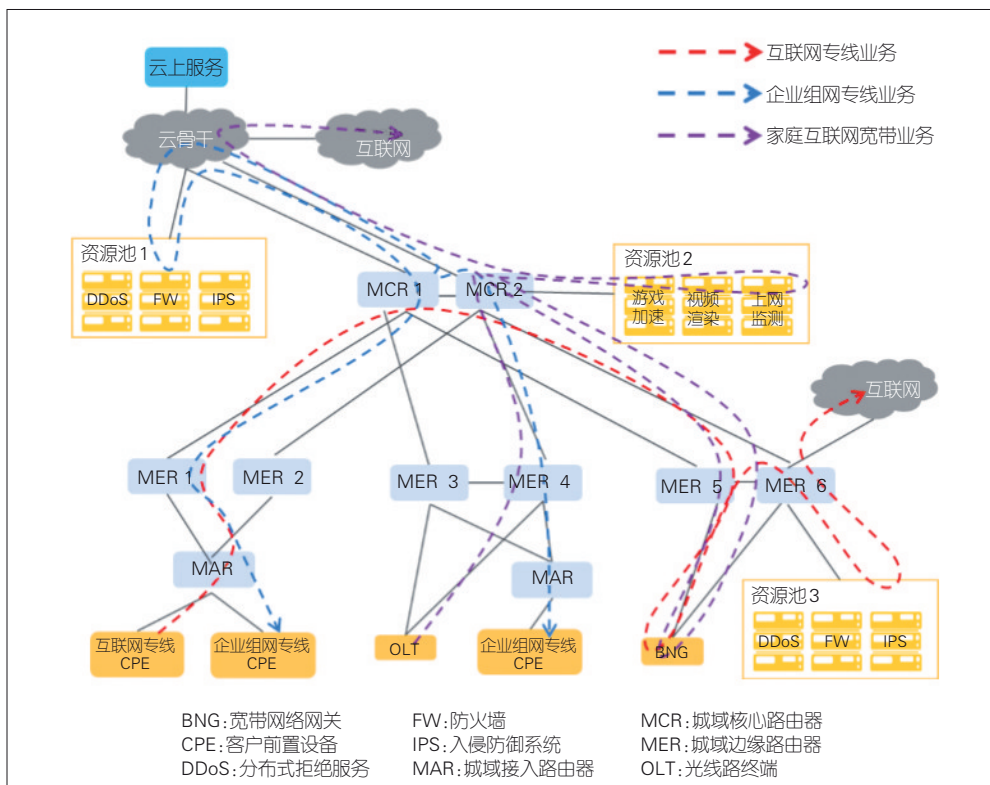
面向视频类业务高清视觉、全新交互需求，CloudX业务正逐渐成为5G市场主流。除了交互式网络电视（IPTV）直播，大部分业务都采用单播技术。随着用户数量急剧增长，网络将面临着极大的带宽压力和挑战，因此推广新型组播技术已是大势所趋。我们提出基于IPv6位索引显式复制（BIER6）视频分发解决方案，以解决传统组播网络面临的资源消耗大、运维复杂度高和网络演进受限等问题。我们在北京进行了BIER6组播场景和酒店行业的场景落地，实现专线和IPTV混合场景下的简化组网、业务解耦和业务质量提升。基于BIER6组播的IPTV场景示意如图3所示。

在BIER6组播技术中，上层组播应用和底层路由环境没有耦合关系，因此能够灵活适配各种路由环境，以及各种上层组播应用。现有网络只须在路由层控制面协议增加BIER6能力扩展，在组播叠加层控制面协议增加BIER6隧道能力扩展，在数据面增加BIER6封装/解封和BIER6转发能力，就可以向BIER6平滑演进。在实践过程中，通过端到端IPTV视频业务的验证，我们实现了单自治系统（AS）域及跨AS域间的移动虚拟专用网业务（MVPN）的业务承载及多业务隔离、MVPN可靠性保护（含接入侧保护、中间节点保护和根节点保护），以及BIER6的操作、管理与维护（OAM）和虚拟专用网（VPN）内单播组播共存能

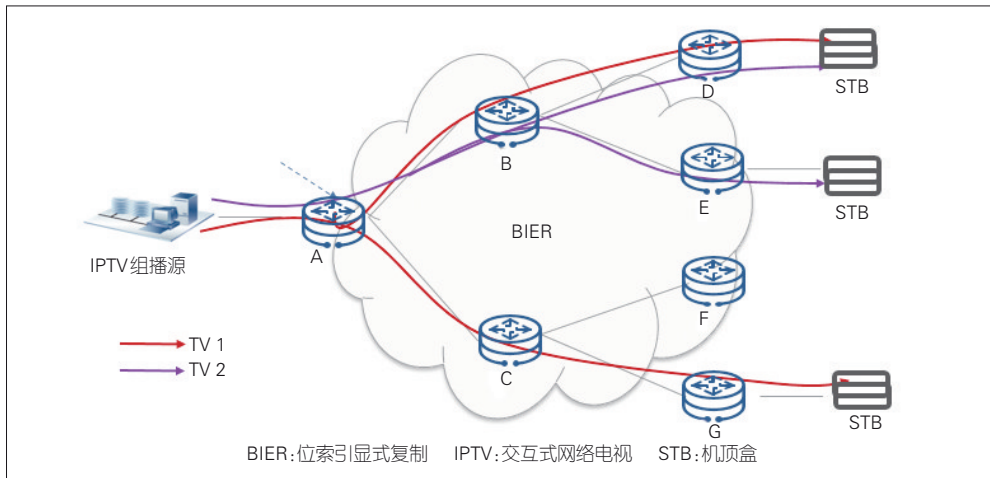
力。对承载网而言，点到多点转发能有效减少网络冗余流量，降低网络负载；对应用平台而言，点到多点的应用能减轻服务器和中央处理器（CPU）负荷，降低用户数增长对组播源的影响，为云间多点互联业务带来更大的发展空间。

5 结束语

基于SRv6的算力网络技术体系，运营商将5G的通信技术（CT）优势与云计算、大数据、AI等信息技术（IT）能力相结合，打造算网一体、智能安全的新一代数字基础设施



▲图2 基于服务链的服务灵活调度场景示意



▲图3 基于BIER6组播的IPTV场景示意

施,持续赋能千行百业数字化转型,驱动治理方式、生产方式和生活方式变革。

算力网络是中国信息通信业倡导的新兴技术概念,反映了通信与计算服务融合的现实需求和演进趋势,其技术标准和内涵外延还需要通过实践不断丰富和发展。从网络角度看,算力网络是面向计算和智能服务的新型网络体系,IPv6+是其技术基石,增强网络内生算力是其演进的重要方向;从算力角度看,算力网络是网络化的算力基础设施,是依托网络构建的多样化算力资源调度和服务体系;从服务角度看,算力网络的目标是提供算网一体服务,是云网融合服务的新阶段,是数字基础设施服务的新形态^[8]。

运营商的算网一体服务演进,须顺应千行百业数字化转型要求,将CT、IT和数据技术(DT)的能力打包提供。“算力即服务”的目标涉及IT产业、CT产业、DT产业的超级融合,每个产业的能力均需做强,并使其产生化学效应,实现“1+1+1>3”的效果^[9]。立足5G、放眼6G,我们需要站在建设网络强国、数字中国和智慧社会的高度开启新一轮网络转型。同时,坚持技术和商业双轮驱动,打造泛在、柔性、协同、智能、安全和可定制的新一代数字基础设施,以数据要素支持数字化改造,加快数据要素在东部与中西部各大区域之间流通,实现东部互联网、大数据、AI等先进产业链延伸。

参考文献

- [1] 中国联通. 中国联通 CUBE-Net 3.0 网络创新体系白皮书[R]. 北京: 中国联通研究院, 2021
- [2] 中国联通. 中国联通算力网络实践案例[R]. 北京: 中国联通研究院, 2021
- [3] TANG X Y, CAO C, WANG Y, et al. Computing power network: the architecture of convergence of computing and networking towards 6G requirement[J]. China communications, 2021, 18(2):175-185
- [4] 田辉,魏征. “IPv6+”互联网创新体系[J]. 电信科学, 2020, 36(8):3-10. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020256
- [5] 曹畅, 唐雄燕. 算力网络关键技术及发展挑战分析[J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(3): 6-11. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020256
- [6] 曹畅, 张帅, 刘莹,等. 云网向算网演进中的若干关键技术问题[J]. 电信科学,

2021, 37(10): 93-101

- [7] 中国联通. 算力网络架构与技术体系白皮书[R]. 北京:中国联通研究院, 2020
- [8] 中国联通. 云网融合向算网一体技术演进白皮书[R]. 北京:中国联通研究院, 2021
- [9] 唐雄燕, 张帅, 曹畅. 夯实云网融合, 迈向算网一体[J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(3): 42-46. DOI: 10.12142/ZTETJ.202103009

作者简介



张帅, 中国联通研究院未来网络研究部工程师、中国通信标准化协会“网络5.0技术标准推进委员会”需求组副组长; 主要研究方向为IP网络宽带通信、SDN/NFV、新一代网络编排技术等。



曹畅, 中国联通研究院未来网络研究部高级专家、智能云网技术研究室主任、“算力网络架构与关键技术”院级重点项目攻关经理、第七届中国通信学会信息通信网络技术委员会委员、中国通信标准化协会“网络5.0技术标准推进委员会”架构组副组长、边缘计算网络基础设施联合工作组(ECNI)技术规范组组长; 主要研究方向为IP网络宽带通信、SDN/NFV、新一代网络编排技术等; 获中国联通科技进步奖2项; 已发表论文30余篇, 获授权专利10余项。



唐雄燕, 中国联通研究院副院长、首席科学家, “新世纪百千万人才工程”国家级人选, 北京邮电大学兼职教授、博士生导师, 工业和信息化部通信科技委委员兼传送与接入专家咨询组副组长, 中国通信学会理事兼信息通信网络技术委员会副主任, 中国光学工程学会常务理事兼光通信与信息网络专家委员会主任, 开放网络基金会(ONF)董事; 长期从事通信新技术的研发和管理, 主要专业领域为宽带通信、光纤传输、互联网/物联网、新一代网络等。