

5G 承载网的需求、架构和解决方案

Requirements, Architecture and Solutions for 5G Transport

李光/LI Guang

赵福川/ZHAO Fuchuan

王延松/WANG Yansong

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)

(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 05-0056-005

摘要: 认为 5G 承载网面临超大带宽、低时延、灵活连接、网络切片和超高精度时间同步等诸多挑战。分析了中兴通讯在 5G 承载技术方面的研究和创新, 包括: 基于 FlexE 的大带宽、低时延和业务隔离技术、满足 5G 泛在灵活连接的 Segment Routing 路由优化技术、基于网络切片的软件定义网络(SDN)架构和控制技术、超高精度时间同步技术等。

关键词: 5G 承载; 灵活以太网(FlexE); Segment Routing; SDN; 超高精度时间同步

Abstract: In this paper, challenges for 5G transport network are described, such as ultra-high bandwidth, low latency, ubiquitous connectivity, network slicing and high-precision time synchronization. ZTE's research and innovation on 5G transport technology are then analyzed, including ultra-high bandwidth, low latency and service isolation technology based on FlexE, Segment Routing optimization technology, software defined networking(SDN) architecture and control technology based on network slicing, and ultra-precision time synchronization technology.

Keywords: 5G transport; flexible ethernet(FlexE); Segment Routing; SDN; ultra-precision time synchronization

1 5G 承载网络面临的挑战

5G 的“万物互联”相对于 4G 将带来革命性网络体验和新的商业应用模式, 同时也对作为基础网络的承载网提出了巨大挑战。

5G 采用新的空口技术, 支持包括超高可靠性超低时延业务(URLLC)、增强移动宽带(eMBB)和海量物联网业务(mMTC)等新业务。按照预测, 未来 5G 网络的移动数据流量相对于 4G 网络将增长 500~1 000 倍, 典型用户数据速率可提升 10~100 倍, 峰值传输速率可达 10 Gbit/s 或更高, 端到端时延缩短了 5~10 倍, 网络综合能效提升了 1 000 倍^[1]。

5G 核心网络的架构相对于 4G 也发生了较大的变化。核心网云化、转发和控制分离, 采用基于软件定义网络/网络功能虚拟化(SDN/NFV)的虚拟化切片技术, 可将核心网功能分布式部署为多个虚拟网元, 切片化部署有利于 5G 的新业务开展, 例如: URLLC 业务的核心网切片将下沉到靠近基站的位置, 从而满足对网络低

时延的需求。

5G 无线基站的密度更大, 基站的协同和移动性切换问题驱动无线架构集中处理的无线接入网(C-RAN)化。在 5G 的 C-RAN 架构下^[2], RAN 功能被重构为集中单元(CU)、分布单元(DU)和有源天线单元(AAU)这 3 个功能实体。CU 和 DU 之间按照 RAN 的高层功能划分, CU 和 DU 的接口带宽与回传接近。DU 和 AAU 之间按照 RAN 的底层功能划分, 目前接口还没有标准化, 趋向于采用增强通用公共无线电接口(eCPRI)接口。eCPRI 接口采用分组化以太网接口, 带宽与天线数解耦, 相对于传统 CPRI 传输带宽降低 10 倍以上, 有助于降低成本。5G 的承载网络架构如图 1 所示。

在这个架构下, CU 和 DU 之间的

承载网络为 Midhaul(中传), DU 和 AAU 之间的承载网络为 Fronthaul(前传), 5G 承载网所面临的主要挑战如下。

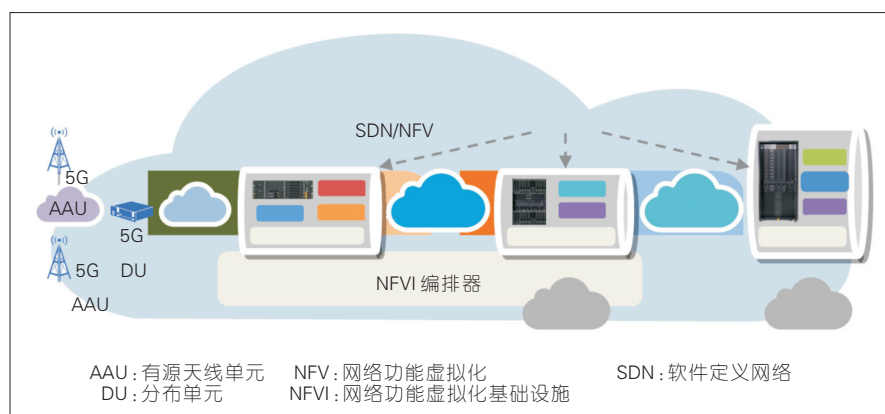
(1) 前传和中传网: 5G 的前传、中传对承载网的时延要求非常高。按照目前的技术预估, 前传传输时延的预算不超过 30 μ s, 中传的时延需求不超过 150 μ s。

(2) 回传网: 带宽增加 10 倍以上, 流量模型从汇聚为主变为全 mesh。4G 和 5G 网络融合的双连接、基站的站间协同、核心网云化部署的负载均衡和多归属备份, 以及更加复杂和动态的流量, 推动 5G 承载网络重构, 支持灵活的业务连接。

(3) 超高精度时间同步: 引入 5G 的超短帧、载波聚合和多点协作传输(COMP)多点协同技术, 驱动时间同

收稿日期: 2017-07-28

网络出版日期: 2017-09-13



▲ 图1 5G承载网络架构

步精度提升一个数量级,能够从4G的 $\pm 1.5 \mu s$ 提升到 $\pm 130 \text{ ns}$ 。

(4)网络切片:核心网和RAN采用基于SDN/NFV的云化切片架构,不同的切片对带宽、时延、网络功能和可靠性的要求也不相同,这就要求5G承载网也具备提供网络切片的能力,使不同切片的承载网络资源能够灵活动态地分配和释放。为了满足不同的业务应用场景,5G的核心网和无线接入网均采用了网络切片的架构。

2 5G 承载关键技术和解决方案研究

2.1 FlexE 技术及其创新

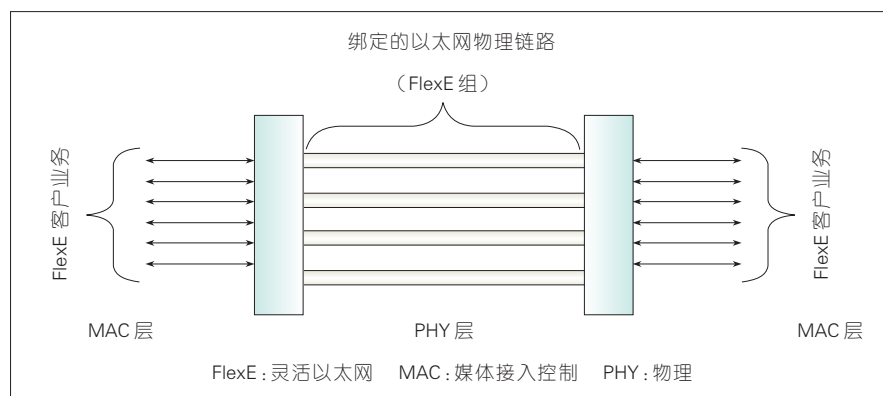
灵活以太网(FlexE)技术^[1]由光互连论坛(OIF)标准所定义,FlexE增强了以太网的物理编码子层(PCS)能力,实现了媒体接入控制(MAC)层和物理(PHY)层接口收发器的解耦,从而大大增强了以太网的组网灵活性,如图2所示。

FlexE可以通过多个物理链路捆绑扩展网络的容量,满足5G所需要的大带宽需求,解决了传统以太网链路聚合组(LAG)在多链路传输时因为Hash导致的链路容量不均匀分配问题,同时FlexE可以通过Shim层的时隙配置支持多个客户业务,实现多个客户业务之间的物理隔离功能。但是FlexE只是一个接口技术,针对

5G网络的前传和回传的网络虚拟切片和低时延传送等一系列的需求,还需要进一步地进行功能扩展和技术创新。

FlexE隧道技术是其中的一个重要功能扩展,FlexE隧道技术包括FlexE交换,操作、管理、维护(OAM)以及保护倒换技术。FlexE交换是基于时间片的66 bit数据块交换技术,工作在L1层。交换不需要队列调度,不需要查找报文的MAC和IP地址,交换时延和时延抖动极低,不同的业务通过时间片进行隔离,相互之间完全不会产生影响。采用FlexE交换技术可以在多个网元之间建立FlexE隧道。FlexE隧道是端到端的刚性电路信道,在FlexE隧道的中间转发点,不需要弹出分组,从而实现了超低时延和严格的物理隔离特性,如图3所示。

FlexE OAM用于检测隧道的性能



▲ 图2 FlexE的通用结构

和故障,在发生故障时,可以对FlexE隧道配置1+1线性保护,实现故障时的故障快速倒换。

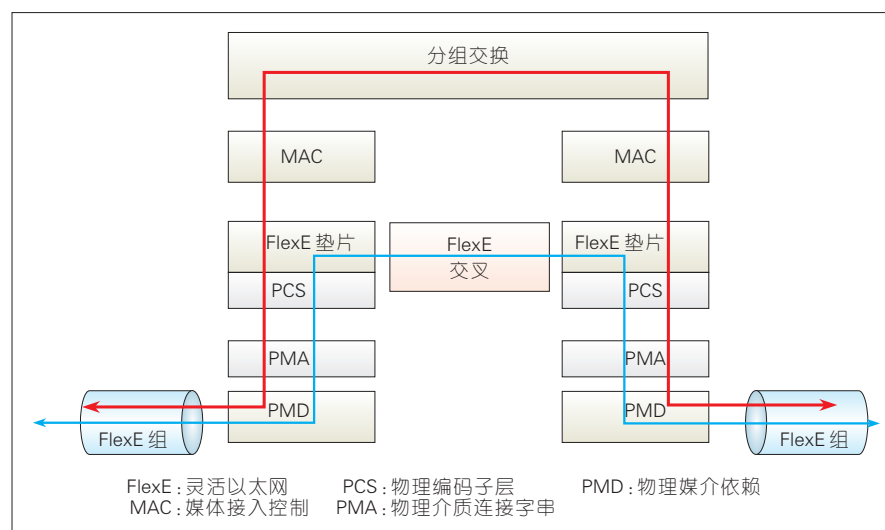
FlexE Tunnel技术将FlexE从接口级的技术扩展到网络级的技术,从而很好地满足了5G网络前传和回传的网络虚拟切片和低时延传送需求。

2.2 源路由技术

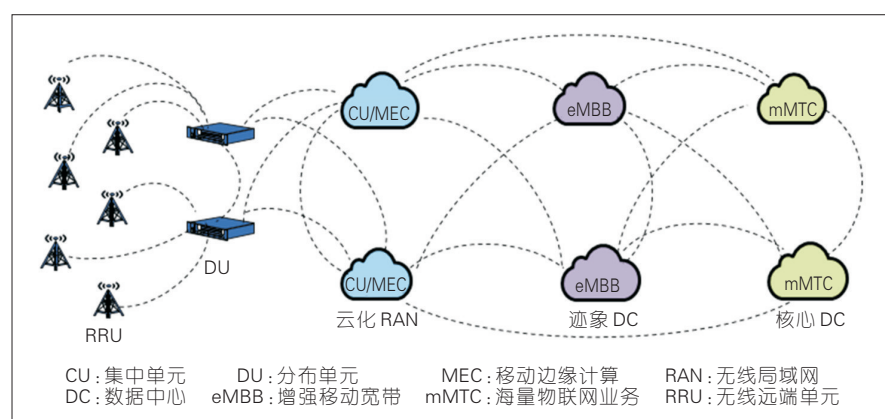
5G的云化网络架构如图4所示。

5G采用基于SDN/NFV的信息通信(ICT)网络架构,核心网和基站的云化分布式部署带来了泛在连接的传送需求,包括:下一代核心网(NGC)/Cloud RAN pooling、异地Multi-home、数据中心(DC)互联容灾等,也要求承载网应具备按需建立海量灵活连接的能力。传统的承载网采用互联网多协议标签(IP/MPLS)或者传送特性的多协议标签交换(MPLS-TP),动态或者静态地创建业务承载的隧道连接,设备需要维护的路径信息随着连接数线性增加,信令压力增大,严重影响网络的扩展性和运维成本。

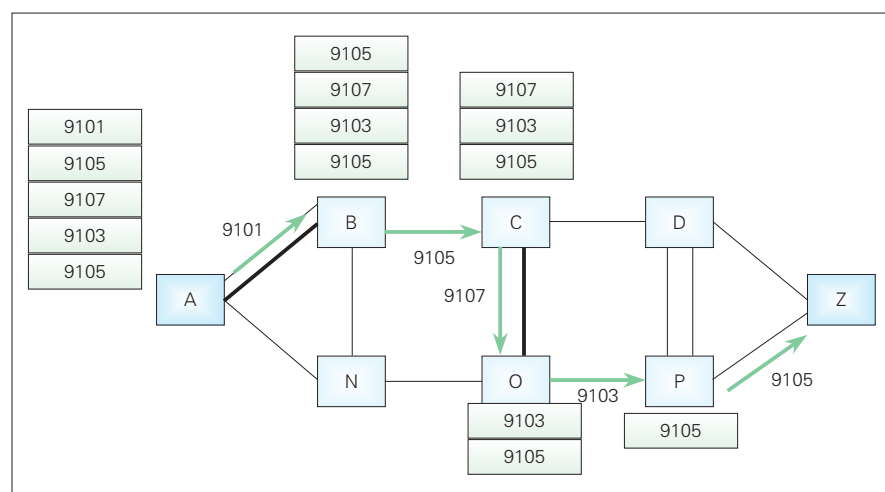
Segment Routing(分段路由)^[4]是一种源路由技术,采用该技术,转发点不需要感知业务状态,只维护拓扑信息,实现业务实例数与网络的解耦,大大提升了网络支持泛在连接的能力和扩展性。Segment Routing的原理是在源节点通过把携带路由信息的指令压栈到报文头中,中间转发点逐跳提前并弹出相关的指令进行报



▲ 图3 FlexE的时隙交叉技术



▲ 图4 5G云化网络架构



▲ 图5 Segment Routing隧道

文转发,如图5所示。

Segment Routing 技术非常便于与

SDN 技术融合,SDN 通过网络的流量和拓扑资源的情况,集中计算出符合

业务需求的最佳转发路径,把路由信息下发给源节点即可,不需要对转发路径上的其他节点进行控制或者信令交互,从而极大地提升了网络的控制性能。Segment Routing 支持严格约束路由和松散约束路由,在松散约束路由的场景下,转发面需要支持内部网关协议(IGP)协议,松散约束路由可以支持拓扑无关-快速路由恢复(TI-LFA FRR)抗多点失效的局部保护。在传送网中引入 Segment Routing 技术还存在着部分问题有待研究,例如:Segment Routing 是与业务无关的转发机制,针对业务的层次化的服务质量(H-QoS)应该如何部署等一些问题。

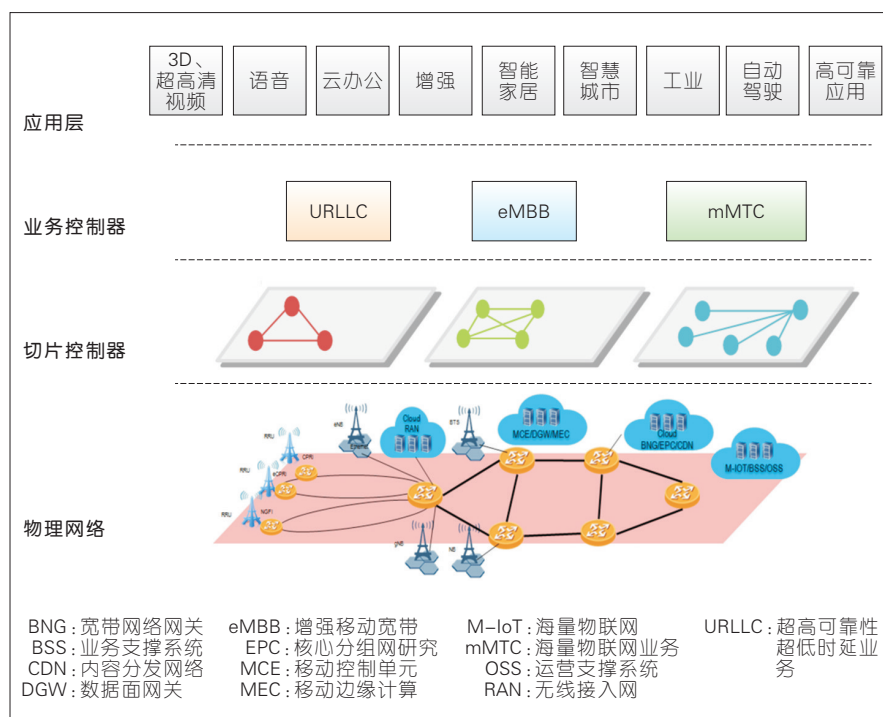
2.3 5G 承载的 SDN 架构

5G 网络引入了切片的概念,网络切片是一组专业的逻辑网络的集合,该集合作为服务,支持网络的差异化,满足垂直行业的多元化需求。5G 的网络切片实例是一个端到端的逻辑网络,由一组网络功能、资源和连接关系组成。包括了无线、传送网和核心网^[9]。5G 网络切片的 SDN 控制架构如图6所示。

在这个架构下,承载网的网络切片包括了转发面(物理网络)、切片控制器和业务控制器3个部分,三者互为服务和客户层的递归关系。

转发面需要支持不同业务切片的隔离和部分资源共享,转发面的虚拟化概念由来已久,虽然可以用第3层虚拟专用网络(L3VPN)、MPLS 嵌套等方式实现底层虚拟化映射,但这些技术在隔离和效率方面和实际的物理隔离还是有一定差距的。FlexE 和 FlexE Tunnel 技术能够提供底层接口级和网络级硬管道支撑,无论是在效率还是在隔离方面都进一步缩小了虚拟网络与物理网络的差异,是后续网络虚拟化要支持的主要转发面技术。

切片控制器是实现网络切片/虚拟化的一种特殊控制器,负责创建虚



▲图6 5G网络切片的SDN控制架构

拟网络(Vnet)以及Vnet生命周期的管理。Vnet与物理资源存在映射关系,Vnet网络由虚拟节点(Vnode)和虚拟链路(Vlink)构成,作为Vnet Client的上层控制器只能使用切片控制器分配给自己的Vnet资源。

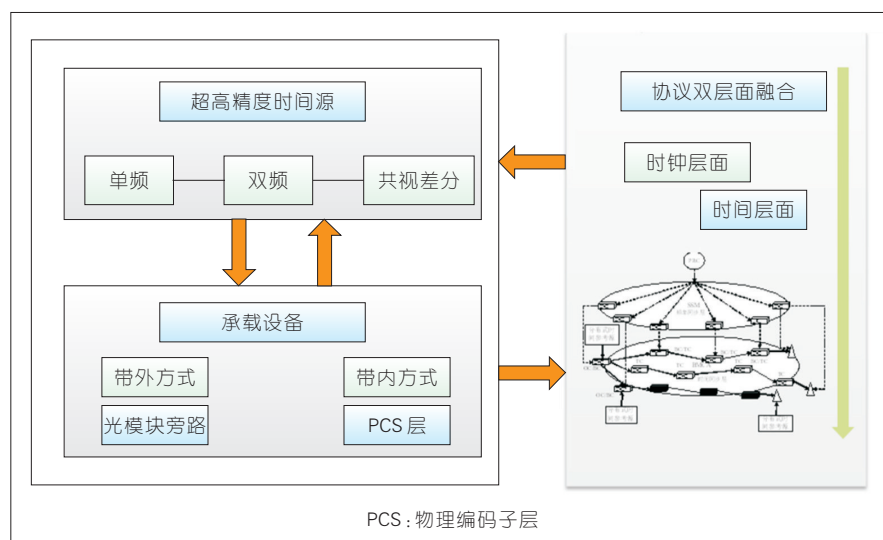
业务控制器在网络切片控制器创建的Vnet拓扑上编排业务,不同的业务控制器彼此独立,可以运行不同的控制协议,例如:一个业务控制器可运行Segment Routing的控制协议编排端到端业务,另一个业务控制器可以允许MPLS-TP的控制协议编排端到端业务。

作为5G切片网络的一部分,承载网的控制器需要与无线、核心网的分层SDN/NFV进行协同,需要引入一个跨专业的协同器才能完成端到端切片的业务链编排,这方面的协同器开发需要依靠接口的标准化工作的推动,目前这方面的工作还处于起步阶段。

2.4 超高精度数据同步技术

5G的载波聚合、多点协同和超短

帧要求空口之间的时间同步精度偏差小于260 ns;5G的基本业务采用时分双工(TDD)制式,要求任意两个空口之间的相对精度偏差小于1.5 us;5G的室内定位增值服务对时间同步的精度要求更高,要求一定区域内基站空口时间同步的相对精度小于10 ns^[6]。超高精度时间同步的技术架构如图7所示。



▲图7 高精度时钟源和承载设备

超高精度时间源的关键技术包括本地源技术和异地多源比对技术。本地源技术包括单频、多频全球定位系统(GPS)/北斗卫星同步技术;异地多源比对技术是采用异地共视差分技术消除空间电离层等干扰因素,进一步提升时间同步精度,使得同步信号可以溯源到更高精度的参考源。

5G承载设备的超高精度时间传递技术涉及到设备和链路上的时间同步技术升级,设备内的包括超高精度的时戳、鉴相器、锁相环技术,链路上的则涉及到非对称性补偿技术和消除非对称性的单纤双向时钟传送技术。

超高精度时间同步的监测技术对于运维也是非常重要的,常用的同步监测技术包括利用精密时间同步协议(PTP)技术进行同步性能监测,部署探针进行网络同步性能监测等方法。

3 结束语

从目前的5G标准和研究情况看,5G承载不仅需要对带宽例行升级,还需要引入新的网络技术和架构,这已得到业界的广泛关注和认可。中兴通讯在5G承载的关键技术上做了大量创新性研究,推动5G承

载的关键技术产业化和标准化,具体如下:

(1) 基于 FlexE 的技术不仅可以满足大带宽的组网能力,而且为 5G 网络的切片和低时延转发提供关键技术支撑;

(2) Segment Routing 路由优化技术是目前为止面向 5G 泛在连接的最佳解决方案,有利于传送网向 SDN 方式迁移;

(3) 5G 承载的 SDN 架构是面向网络切片的,采用这个架构有助于与无线、核心网切片形成端到端解决方案,更好地满足垂直行业差异化应用的需求;

(4) 5G 的室内定位和站间协作需要超高精度时间同步,超高精度时间源和承载设备的技术是关键。

2017 年,在 5G 外场测试的驱动下,5G 承载技术的研究和设备开发进入了关键期,为配合 5G 无线和核

心网的需求,将对 5G 承载的关键技术进行测试和评估。5G 建设,承载先行,5G 承载网的技术、标准和产业化将变得越来越重要。

参考文献

- [1] 中兴通讯. 5G 技术白皮书[R/OL]. (2016-04-22)[2017-07-03]. <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/424379>
- [2] 黄金日,段然. “迈向 5G C-RAN:需求、架构与挑战”技术白皮书 V1.0[R]. 北京: 中国移动研究院, 2016
- [3] Optical Internet Networking Forum. Flex Ethernet Implementation Agreement OIF-FLEXE-01.0 [R]. California: OIF, 2016
- [4] Internet Engineering Task Force. Segment Routing Architecture, Draft-IETF-Spring-Segment-Routing-10[R]. California: IETF, 2016
- [5] China Mobile, Deutsche Telekom AG, Volkswagen Group, et al. 5G Service-Guaranteed network slicing, White paper V1.0[R]. Barcelona: China Mobile, 2017
- [6] LI H, HAN L, DUAN R, et al. Analysis of the Synchronization Requirements of 5G and Corresponding Solutions[J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2017, 1(1):52-58. DOI: 10.1109/MCOMSTD.2017.1600768ST

作者简介



李光, 中兴通讯股份有限公司有线研究院院长;先后主持程控交换机、IP 语音网、3G 平台、高端路由器、光传输、交换机等产品开发;曾承担科技部重大专项、江苏省、深圳市等国家课题 5 项,获省部级奖励 3 项;已申请专利 10 余项。



赵福川, 中兴通讯股份有限公司承载网产品线规划总工;主要研究方向为 5G 承载、PTN 和 IPRAN 产品规划;曾承担国家重大专项 1 项,获得国家科技进步二等奖 2 项、省部级奖励 2 项;已申请专利 10 余项。



王延松, 中兴通讯股份有限公司承载网预研技术总工、科技部十三五“宽带网与新型网络”主题专家;主要研究方向为软件定义网络、网络功能虚拟化等;曾主持或参与省部级项目 8 项,获得省部级科技进步奖 1 项;已发表学术论文 5 篇,申请专利 10 余项。