



专题：新型网络

基于计算、存储、传送资源融合化的新型网络虚拟化架构

雷波¹, 王江龙¹, 赵倩颖¹, 余勇志², 杨明川¹

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209;

2. 中国电信股份有限公司重庆分公司, 重庆 404100)

摘要: 5G 与边缘计算等应用场景的兴起, 使得计算、存储等基础 IT 资源离散部署与多级部署成为一大发展趋势, 如何结合网络基础设施为用户提供更为便捷的、定制化的专属服务, 提高整体资源利用率, 成为网络技术发展的新方向。重点分析了网络虚拟化的特征与发展、资源发展与融合趋势以及新兴业务对资源供给新需求等, 提出了一种基于多维资源融合化的网络虚拟化架构, 即通过在网络虚拟化架构中引入资源发现与资源交易过程, 将多方、异构的资源有机整合成统一资源平面, 在此基础上根据用户需求进行资源切割与虚拟化, 以适应新兴业务对资源需求快速灵活的特点, 并能够有效提高资源利用效率, 降低运营成本。由于资源联合优化涉及多个领域的研究, 网络虚拟化架构将随着业务需求与商业模式的发展而不断完善, 以期为未来业务发挥重要作用。

关键词: 网络虚拟化; 边缘计算; 算力网络

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020196

Novel network virtualization architecture based on the convergence of computing, storage and transport resources

LEI Bo¹, WANG Jianglong¹, ZHAO Qianying¹, YU Yongzhi², YANG Mingchuan¹

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

2. Chongqing Branch of China Telecom Co., Ltd., Chongqing 404100, China

Abstract: With the development of 5G and edge computing, the multi-level and distributed deployment of basic IT resources such as computing resources and storage resources becomes mainstream. The way to provide users with more convenient and customized services to improve resource utilization becomes a new interest in network. The characteristics and development of the network virtualization, interworking trend and development of various resources, as well as the new requirements of emerging services for resource supply were analyzed. On the basis of the analysis, a network virtualization architecture based on multi-dimensional resource interworking was proposed. That is, multi-party and heterogeneous resources were integrated into a unified resource plane by introducing the process

收稿日期: 2020-06-01; 修回日期: 2020-07-01

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2018YFB1800100)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2018YFB1800100)

of resource discovery and resource transaction, and then resource slicing and virtualization were performed according to user requirements to meet the flexible resource requirements of emerging services. Resource utilization efficiency was improved effectively and operating cost was reduced. Since the joint optimization of resources involves multiple research fields, the network virtualization architecture will be constantly improved with the development of user requirements and business models, playing an important role for future services.

Key words: network virtualization, edge computing, computing power network

1 引言

随着 5G 网络建设的全面启动,通信业已经进入新一轮研究期,各类面向 2030 或 6G 的研究项目层出不穷,业界研究者在积极跟踪 5G 带来的新业务模式与新商业模式的基础上,努力思考未来技术发展方向,试图从不同角度来探讨如何构建新一代信息网络^[1]。同时,新兴业务提出了新的要求,以热门的直播业务为例,新兴业务提出了“随时随地,无限算力”的新诉求^[2],由于这些业务自身的特点,业务不确定性远高于传统业务,尤其是对资源的需求,不仅需要弹性调整资源数量,更需要考虑资源位置,能使用户系统在不同资源节点之间无缝切换。

具体而言,随着边缘计算的广泛出现,计算、存储等资源将不再局限在集中的大型数据中心内,未来资源节点将出现泛在化的特性,包含两方面的变化,一是资源的提供方/所有方多样化,既有能够提供大量资源的电信运营商、云服务商、CDN 服务商等,又有中小型的资源提供方,如针对区域内用户的服务商、行业客户,甚至是个人提供方,如何将这些多方、异构的资源整合在一起成为一大难题;二是资源之间出现多种组合选择,比如是选择低价的短距传送、高价的边缘计算,还是选择高价的长距传送、低价的云计算,如何最好地满足用户业务诉求,并实现资源利用的整体最优化,则成为另一大难题。

在这其中,如何打破传统网络的界限,将网络传送能力与 IT 的计算、存储等基础能力更好地

结合起来,让网络从“按需连接”模式逐步演进到“资源供给”模式,成为一个非常重要的研究点。其中一种解决方案是在现有的网络虚拟化架构上进一步扩展,让用户在从逻辑上独占网络资源的基础上,结合计算网络融合的算力网络^[3]等新型架构,将传统的 IT 资源与 CT 资源有机地融合起来,让用户不再孤立分析并提出各类基础资源需求订单,而将重心放到完成业务所需的整体资源诉求上,由基础资源层统一完成各类资源的调拨,能够高效灵活地应对业务的快速变化。

鉴于此,本文提出了一种基于计算、存储、传送资源融合的新型网络虚拟化体系,能够有效面对业务需求多样化、网络服务智能化、计算存储资源泛在化的未来发展趋势,通过新型体系架构来有效整合全网泛在的各类资源,实现多方、异构资源的动态发现、统一编排、高效协同与简约服务,从而满足未来高密度计算、大带宽吞吐、低时延响应的业务发展需求,形成计算、存储、传送融合的资源供给新模式。

2 网络虚拟化发展回顾与探讨

首先,需要了解什么是虚拟化,但并没有标准答案。思科专家 Santana G A A^[4]的著作《数据中心虚拟化技术权威指南》中的第一句就是“虚拟化就是欺骗”,之后他解释虚拟化的定义是复杂而多变的,没有绝对化的定义,必须放到某个具体环境中才具备意义,甚至建议采用与生物学对生物体分类的方式来对各类虚拟化技术进行分类。为了便于接下来的技术分析与方案探讨,需



要对网络虚拟化有一个基本的共识。

综合各方研究成果、现有网络虚拟化技术与产品体系以及笔者多年实践经验,认为网络虚拟化主要具备两方面的特征:一是“逻辑独享”,将原本多用户共享的资源通过虚拟化,让每个用户只感受到自己的存在,在规划、设计、使用、运维等过程中无须考虑其他用户的影响,比如独享(或者说私有化)的网络地址空间、资源占用保障等;二是“仿真重构”,通过分解、整合或仿真基础网络能力,让底层网络成为用户不可见或者不用关心的透明层,用户无须关心具体的底层网络技术,就可以将用户网络通过承载网络扩展到异址的其他节点。

因此从早期电信网络中的时分复用、统计复用,到互联网中的 VLAN、VPN 等,再到当前的热点,如 SDN、网络切片等技术,都可以认为是在不同程度上实现网络虚拟化,因此很难将网络虚拟化涉及的所有体系、技术都一一列举出来,本文将挑选几个代表性的技术,围绕着“逻辑独享”与“仿真重构”两个点来进行分析。

(1) ATM

ATM (asynchronous transfer mode, 异步传输模式)是实现 B-ISDN 业务的核心技术之一。虽然现在 ATM 已经非常少见,但不可否认 ATM 作为时分复用与统计复用的集大成者,为后续的网络发展提供了重要的基础。ATM 网络通过预先建立与某呼叫相关的信元接续路由(即虚电路),采用信元的交换和复用技术,综合了电路交换和分组交换的特点,并利用统计复用的原理使各连接可以共享带宽资源,能够为用户提供保证多种 QoS 等级的专线产品。

因此在逻辑独享方面,ATM 采用完全独立的地址与编码,且由 ATM 适配层将业务层用户信息分段装配成信元,用户之间是完全隔离、无法被侵入或者被干扰的,因此 ATM 曾深受金融行业等对安全、性能要求高的用户喜欢^[5],一直被视为

是具有最高安全等级的专线方案之一。而在仿真重构方面,ATM 通过 AAL 层(ATM 适配层)将业务层的用户信息分段装配成信元,从而让用户端设备均是 IP/以太网接口,使得用户无须理解 ATM 技术本身。

(2) VLAN/VPN

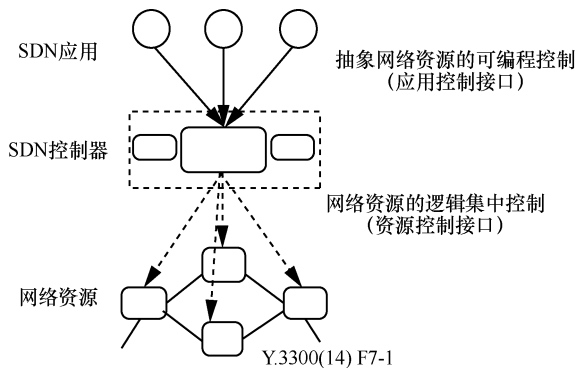
VLAN/VPN 则是 TCP/IP 体系用于资源共享和用户隔离的基础方案之一。众所周知,在二层帧中增加 VLAN 标识,在三层报文中增加 VPN 标识,就能够将不同用户区隔开来,让每个用户独享一片地址空间,从而简化网络规划配置,实现逻辑独享。但限于 IP 网络“尽力而为”的基本原则,各类流量控制技术相对复杂,根据用户需求来实现差异化承载、服务质量保障等要求的难度较大^[6]。

(3) SDN

软件定义网络 (software defined networking, SDN) 是由美国斯坦福大学 Mckeown 教授在 2009 年提出的一种网络架构,能够实现网络虚拟化,其核心在于通过 OpenFlow 将网络控制面与数据面分离开来,并以集中控制器的方式将路由交换设备的控制逻辑集中起来进行控制,从而实现对网络流量流向的精准控制。SDN 可以根据用户需求和业务指标来指定传送路径,可以定制化用户网络路由。目前 SDN 在数据中心网络等方面得到了广泛应用,但同时因控制器需集中导致的效率安全等方面的难题,在广域范围内的应用受到了较多的挑战,目前在广域方面以 SD-WAN 方案为主。ITU-T Y.3300 中所建议的 SDN 架构如图 1 所示。

(4) LINP

ITU-T 在 2011 年发布 ITU-T Y.3011 系列标准^[8],阐述了未来网络的网络虚拟化技术,重点提出了 LINP (logically isolated network partition, 逻辑隔离的网络分区)。根据 ITU-T Y.3011 定义, LINP 是一个由虚拟资源组成的网络, LINP 彼此互相隔离。类似于硬盘的逻辑分区, LINP 是物理网络

图1 ITU-T Y.3300^[7]中所建议的SDN架构

的逻辑分区,其功能与物理网络相同或是物理网络的子集。当然 LINP 也可以通过聚合多个虚拟资源来扩展其功能。而从用户的角度来看, LINP 是一个完整的网络,具有和传统物理网络完全相同的特性,现有的网络工具都能完美移植到 LINP。ITU-T Y.3011 中所建议的网络虚拟化 LINP 如图 2 所示, LINP 能够有效完成“逻辑独享”,让用户

完全忽视其他用户的存在。

(5) NFV

NFV (network functions virtualization, 网络功能虚拟化) 是基于虚拟化技术,解耦物理网络设备和运行于它之上的网络功能,架构示意图如图 3 所示。有时候个别研究将 NFV 与网络虚拟化混为一谈,但事实上,ETSI 所提倡的 NFV 是以软硬件解耦为基础,将网络功能从专用定制化硬件迁移到通用服务器设备上,以加速网络功能模块的部署与优化。因此 NFV 可以用于面向公众的网络建设,比如 5GC、vBRAS 等,也可以用于面向用户的虚拟网络建设,比如 vFW、vLB 等。NFV 虽然不能等同于网络虚拟化,但未来的网络虚拟化肯定是基于 NFV 的,比如 3GPP 提出网络切片等。换句话说, NFV 并不能实现网络虚拟化,无法让用户实现对资源的逻辑独享,也不能为用户

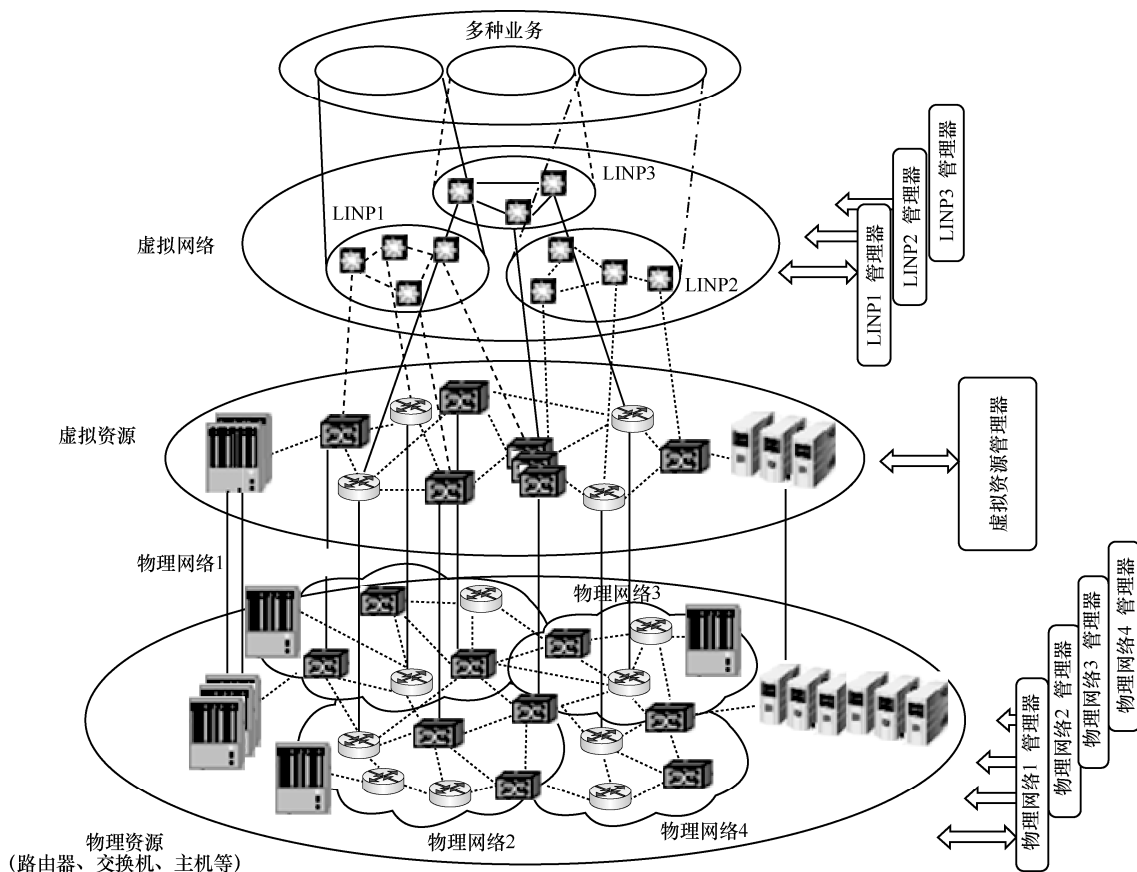


图2 ITU-T Y.3011 中所建议的网络虚拟化 LINP 示意图

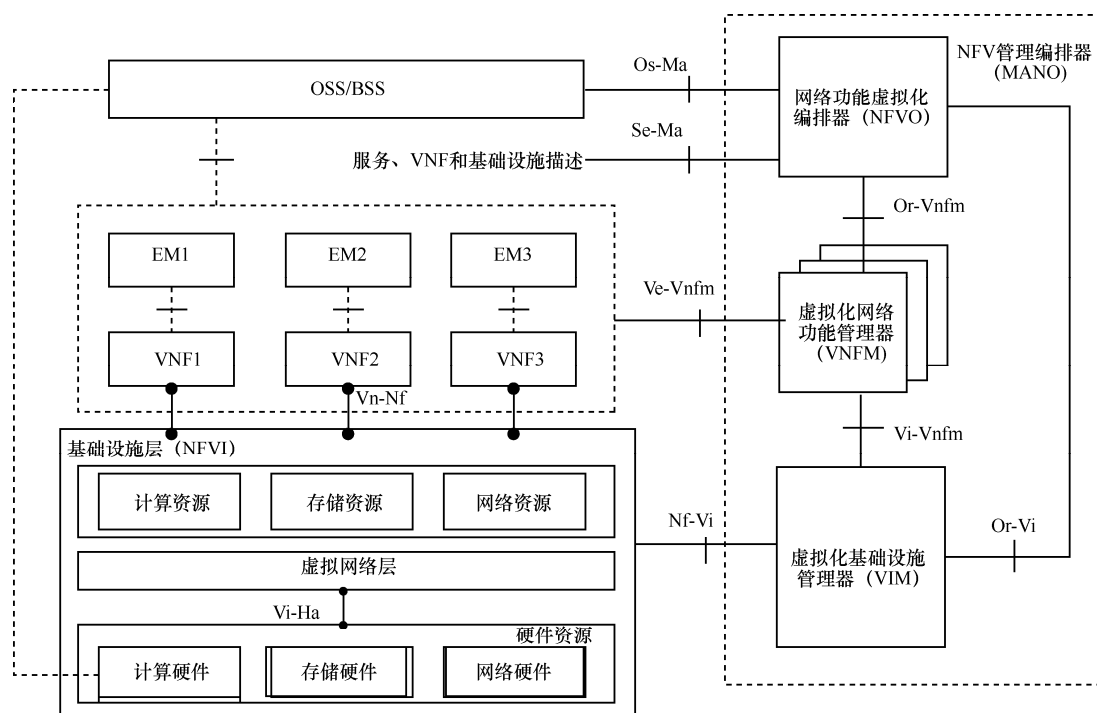


图3 NFV 架构示意图

提供网络的模拟仿真，而是侧重于让网络利用计算、存储等 IT 资源虚拟化的成果。

(6) 网络切片

自 3GPP 提出网络切片（network slicing）的概念以来^[9]，引起了业界的广泛关注。按照 3GPP 的描述，网络切片是网络功能实例和所需资源（如计算资源、存储资源和网络资源）的集合，即在统一的基础设施上分离出多个虚拟的端到端网络，以适配各类应用，一个网络切片可分为无线网子切片、承载网子切片和核心网子切片等多个部分，如图 4 所示。

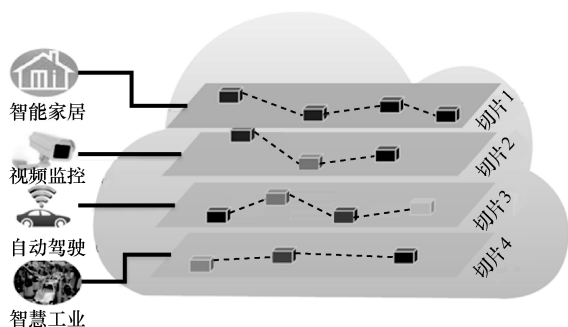


图4 网络切片示意图（来自 3GPP）

从定义来看，网络切片可以被认为是网络虚拟化的一个重要发展阶段，在传统的网络虚拟化方案（如 VLAN、VPN 或 LINP 等）强调在不同逻辑网络之间可以存在不同的网络拓扑与网络质量的基础上，网络切片将 NFV 的理念引入网络虚拟化中，让每个逻辑网络不但可以有不同的拓扑结构，还能够根据用户需求定制不同的网络功能，更为灵活地满足业务诉求，从而降低网络复杂度。

3 资源融合化、泛在化推动网络虚拟化新发展

从第 2 节可以看出，随着网络切片等概念的提出，网络虚拟化已经从简单的逻辑隔离演进到定制化网络功能的阶段，相关标准组织正在进行大量的标准化工作，而主流运营商纷纷开始相关的技术验证与商用试点。但在这过程中，笔者发现前期方案受到 5G 另一个重头戏——“边缘计算业务场景”的挑战。由于基础资源的布局方案与供给模式正在发生变化，现有网络虚拟化方案（如

SDN、NFV、网络切片等) 需要对这些新变化做一定的调整, 方能提高资源效率, 提供更为弹性、灵活的服务模式。本节将从资源分布、网络服务、业务需求等方面来阐述新的变化如何影响网络虚拟化方案。

(1) 基础资源泛在化

首先, 边缘计算业务的兴起对资源部署产生了极大的影响, 比如多类边缘计算应用(如智能工厂、智慧港口和智慧园区等) 强调应就近部署边缘技术以支撑关键应用, 为其提供集超低时延、实时处理分析、安全可靠网络等于一体的最优运行环境^[10], 因此需要在网络边缘位置部署相应的计算资源、存储资源等, 并需要围绕边缘计算节点的部署调整网络架构^[11]。

其次, 为了降低时延、满足数据不出园区等要求, 将网络功能下沉到边缘计算节点, 这样在原本空间就不富裕的边缘计算节点中, 同时存在对外服务区域与网络服务区域等, 如图 5 所示。虽然这些区域来源不同, 但它们集中在一个机房内, 由于硬件设备形态是相近的, 比如通用化的服务器、存储设备和网络设备, 因此如果能够共享

这些资源, 将能够有效提高资源利用率, 降低固定资产投资以及边缘计算节点规划建设的复杂度。

再次, 由于边缘节点的规模偏小, 与机房等物理条件关系极大, 除传统的电信运营商、云服务商、CDN 服务商等, 还可能会出现更多的边缘计算节点的供应商, 比如部分具有一定实力的行业用户, 他们可作为边缘计算的消费者, 也可以作为边缘计算的提供者。一个典型的例子是电力行业, 一方面, 他们作为边缘计算的消费者, 正在积极开展边缘计算在电力领域中的应用研究与试点, 如基于边缘计算的电力智慧物联系统等^[12]; 另一方面, 也提出可以利用大量的现存的变电站等局址资源来构建边缘计算节点, 不但满足自身业务需求, 也可以售卖给其他用户, 创造新的业务增长点。

由此可见在未来一段时期内, 各类基础资源泛在化、多样化将成为趋势, 如何充分利用这些来源各异的基础资源, 形成统一的基础资源层, 提供定制化的虚拟化网络将成为有益的发展方向。

(2) 基础资源融合化

近几年来, 融合化已经成为业界一个重要的

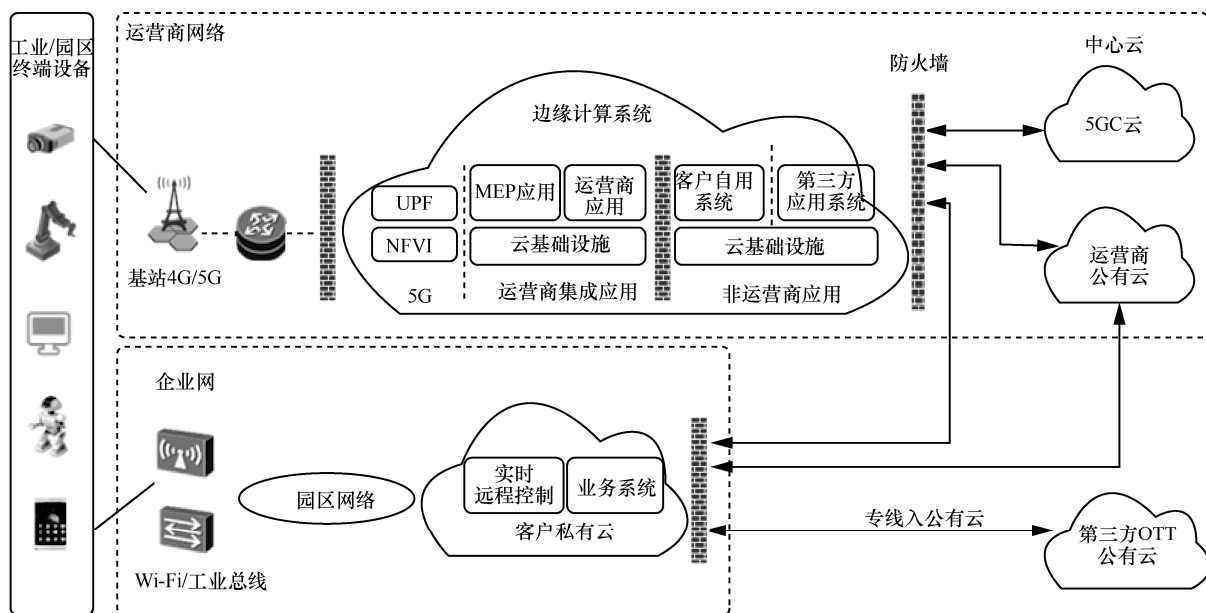


图5 边缘计算节点资源示意图



发展方向,尤其是云网融合等已经成为业界共识,成为主流运营商的重要选择,通过架构深刻变革,使得云和网高度协同、互为支撑、互为借鉴成为云网融合的关键点^[12]。而随着边缘计算的不断发展壮大,云网融合的理念也正在往云网边端一体化方向发展,因此各类资源之间存在更多的互补关系,也就需要更高层面的协同。

一方面,以计算资源为例(如图6所示),云计算节点能够提供大量的成本极低的计算资源,而边缘计算节点受限于机房空间,机架综合成本相对较高,且分散布局也使得其运维成本偏高^[13],云计算节点的计算资源成本低于边缘计算节点;但另一方面,由于云计算节点集中部署在较为偏远的位置,从用户站点到云计算节点一般需要经过接入、城域、骨干等多层次的网络,如果用户业务需要高质量的连接服务保障,比如低时延、大带宽等,那么就需要额外租用专门的专线产品,其价格相对高昂,但边缘计算节点正好相反,其节点位置在物理上很接近用户站点,可以通过较为简单的专线产品,如SD-WAN等,满足业务的各类需求。

总结起来,用户存在多种资源组合可以选择:组合一是购买低成本的计算资源(云计算节点)+价格昂贵的长距离高质量专线;组合二是购买高

成本的计算资源(边缘计算节点)+价格相对较低的短距离普通专线。这两种组合在价格上接近,在性能上各有优劣势,但用户很难预先了解自己的业务最适合的方式,需要根据业务变化进行灵活动态的调整。

因此在调度各类资源来组成虚拟化网络时,需要先统一考虑各类资源的融合性关系,根据用户业务需求、业务报价、现有资源占用情况、对其他用户未来业务趋势的综合分析,方能给出最佳资源分配方案,从而提供高质量、可扩展的资源供给方案。

(3) 网络服务智能化

随着云计算、SDN、NFV 等技术在网络重构中加速落地,转控分离、分层解耦以及统一编排等技术为网络实现自动化、资源灵活调度、智能运维奠定了基础,但也使业务逻辑变得愈加复杂。尤其是面向未来泛在融合资源发展趋势,网络服务智能化已成为网络发展的必然趋势,也是未来数字化发展的关键能力。行业正在积极引入 AI、大数据、Telemetry 等技术提供网络智能化能力,支撑未来网络业务需求,更加便捷、高效地为用户提供优质的网络服务。

(4) 业务需求多样化

传统业务大多数属于订单式,用户需要明确

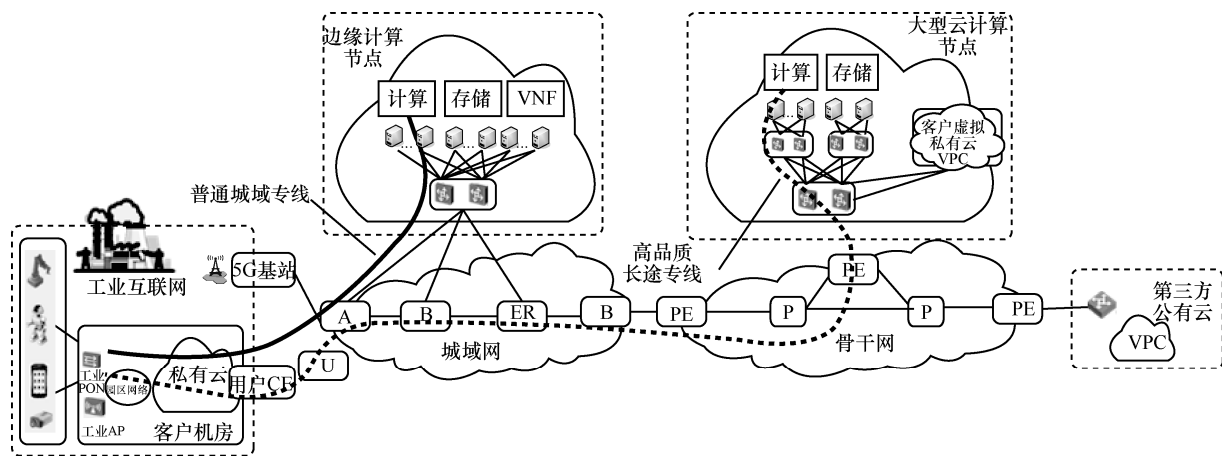


图6 资源的多种组合示意图

信息传送的起点和终点（或者可能的终点）。以现网中常见的 MPLS VPN 业务为例，在开通此业务时，需要明确给出每个用户站点的所在城市、站点属性、接入电路速率、接入电路类型、CE 接口类型、VPN 端口总带宽/QoS 等级带宽、路由协议、AS 号、路由数目等信息，只有这些信息都明白无误了，才能通过 CRM 等 IT 系统下单，然后经过网管/云管等系统完成资源调配。

而新兴业务的诉求正在发生巨大变化，以目前火热的直播业务为例（如图 7 所示）^[2]，它能够充分利用边缘计算节点以提供“随时随地，无限算力”，做到质量、效率和成本最优，并兼顾安全。

显然从直播平台（直播服务商）的角度来说，它并不能非常有效地预估对各类资源的诉求，往往一个突发事件，比如直播带货、社会热点新闻都可能导致重新布局各类资源。因此此类用户更适合框架式合同，当需求发生变化时，及时调整资源供给，并对资源使用费用进行实时结算。

综上所述，由于边缘计算业务场景的兴起，基础资源呈现泛在化、融合化特征，新兴业务需

求巨大变化等，有必要重新审视网络虚拟化方案，充分利用多方与异构的基础资源，构建更为灵活、弹性的虚拟化网络切片，为用户提供更好的服务。

4 基于多维资源融合的新型网络虚拟化方案

为了应对基础资源泛在化、网络服务智能化、业务需求多样化的未来网络发展趋势，笔者提出基于多维资源融合的新型网络虚拟化方案，本方案基于算力网络等技术方案来利用各类基础资源，构建定制化的虚拟化网络解决方案，为用户提供全面的服务支撑。

4.1 定义与说明

首先，需要先明确资源的特性，比如计算资源、存储资源与传送资源等这些概念的基本定义。在这一点上，不同方的认识差异较大，经常会因概念定义问题而争论不休。比如对于计算资源，一个常见的解释是“在 IT 行业，计算资源一般指计算机程序运行时所需的 CPU 资源、内存资源、硬盘资源和网络资源”。但这样的解释与存储资源、传送资源、网络资源等定义相重叠，出现了嵌套引用的情况，难以说明问题的本质。

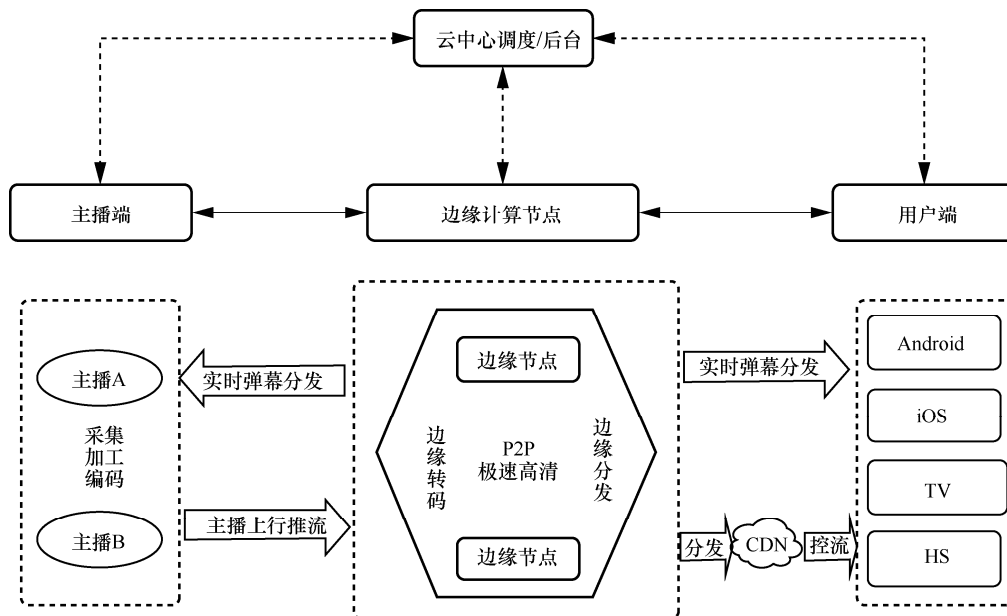


图 7 直播业务平台示意图



为了避免这个问题,笔者根据多年研究经验,试图从另外一个视角来重新划分 3 类资源,即从信息处理的角度来审视这些资源的作用,这样有利于设计和规划网络虚拟化的技术体系。

(1) 计算资源

计算资源是用于处理信息的资源。比如各类计算平台,云数据中心、边缘数据中心中用于处理信息的部分,信息经过计算后会生成新的信息,即信息内容会发生变化。

(2) 存储资源

存储资源是用于保存信息的资源。比如 CDN 资源池、虚拟存储池等,信息被存储在这些位置,以便于不同的用户更好地获取这些信息,但值得注意的是,信息内容不会发生变化。一个直观例子就是热点视频通过 CDN 平台分发时,CDN 平台不会对内容上做任何修改。

(3) 传送资源

传送资源是用于传递信息的资源。也就是常说的网络传送功能,由网络将信息从一点传递到另一个点上,但在这个过程中所传递的信息内容仍不会发生变化。

值得说明一点,为什么倾向于使用“传送资源”,而非“网络资源”这个名字,是考虑到网络的功能和范畴更大,而且如果用“网络资源”这个名词,容易与“网络虚拟化”这个名称相重叠,不利于确定具体范围。

4.2 基于多维资源融合的网络虚拟化体系架构

本文提出的新型网络虚拟化方案更聚焦在资源层(如图 8 所示),从资源整合的角度设计网络虚拟化体系与实现方案,整个流程将分成 3 步,分别是资源发现、资源交易与资源调配。

第一步,资源发现,以网络为中心实现多种资源的信息交互。在新型网络虚拟化方案中,第一个需要解决的问题是资源位置与资源所属方。由于资源的多方、异构特性,采用传统的多级管理架构来收集和整理资源,问题较大。因此 2019

年提出了算力网络的概念,通过网络控制层来分发资源信息,并能够将计算资源、存储资源等信息与传送资源信息有机地结合起来,让用户可以综合考虑各类信息的分布情况来选择最佳的业务解决方案^[15-17]。

第二步,资源交易,完成用户需求和资源供给的高度匹配。完成计算、存储等资源发现后,网络节点维护一张基于计算、存储、传送资源的交易视图,用户可根据业务实时需求来选择相应的资源。区块链、多方安全计算等新型技术的涌现,可以让运营商将虚拟网元、用户将自己的业务,放到第三方的资源池上,同时,运营商的网络功能也可以放到用户侧的资源上。在网络虚拟化的过程中引入资源交易过程,让资源分配更符合用户的需求。

第三步,资源调配,实现满足用户业务需求的逻辑资源切分,建立用户到应用服务的连接。通过已经构建的云网管控体系来实现资源的调配过程。这部分可以结合已有的 NFV/SDN/云管体系完成相应的资源的调度和分配工作,本文不再赘述。

4.3 新兴业务应用案例

基于多维资源融合的虚拟化网络方案的提出,是为了满足不断涌现的新兴业务的需求。下面将结合新的业务诉求来说明新方案的应用与特点。

以直播类应用为例,某直播平台主播在进行旅游直播,在一天的直播过程中,该主播需要从 A 市乘坐高铁、汽车等交通工具前往 B 市,并对 A 市、A 市与 B 市的沿途风景、B 市等内容进行直播。直播类业务需要提供极具真实感的 AI 美颜功能以及特效,还要保证主播可以实时向观众展示周围环境,与观众进行实时互动(如弹幕交流、语音视频连线、赠送礼物等)。除此之外,由于主播所在的地理位置发生了变化,还需要根据业务的需求实时调整业务处理节点所在位置。

为方便阐述,现假设可以使用的资源分布如图 9 所示,图 9 中每个资源池都拥有一定数量的

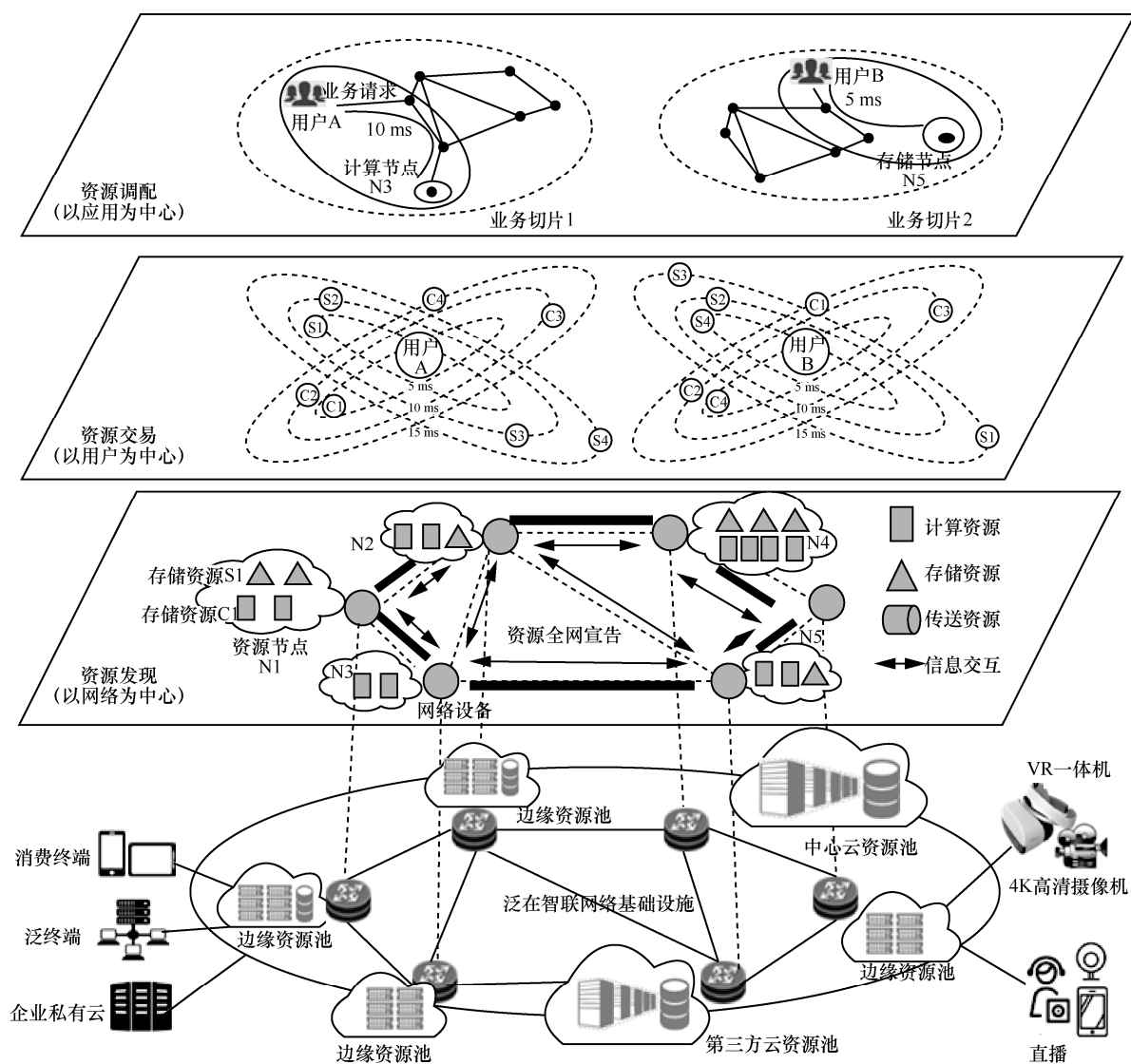


图8 基于多维资源的网络虚拟化示意图

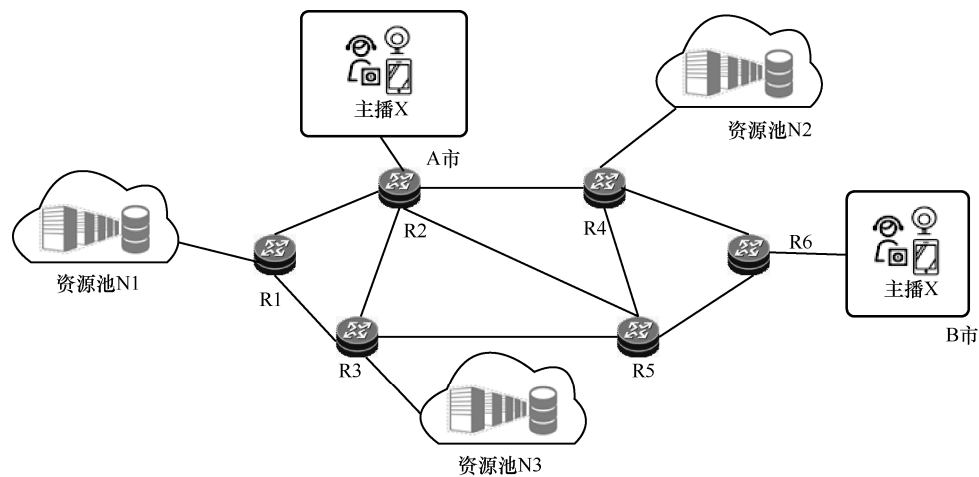


图9 资源池分布示意图

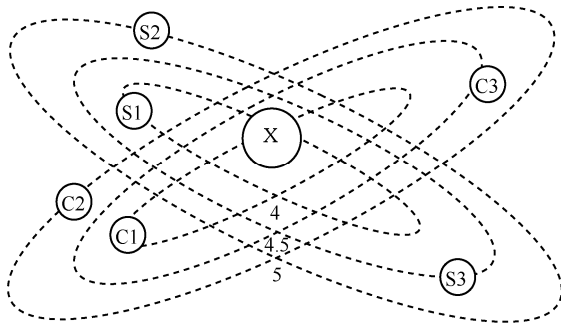


图 12 资源交易视图示意图

(2) 计算资源维度

用时延圈上标号为 C 的资源球表示，该球的体积越大，则表示该资源池所拥有的计算资源越多。

(3) 存储资源维度

用时延圈上标号为 S 的资源球表示，该球的体积越大，则表示该资源节点所拥有的存储资源越多。

用户在收到此资源交易视图后，根据自己的业务需求，确定选取哪一个资源池为其服务。如在本例中，直播类业务对时延要求很高，在计算资源、存储资源均满足要求，且对价格不敏感的前提下，用户 X 选择资源池 N1 为其提供服务。

用户将通过网络控制层和选定资源池签订交易合约，为用户预留资源。

用户与资源池完成交易后，网络控制层将在 R2、R1 之间建立网络连接，分配端口与 IP 地址，让用户 X 能够访问资源池 N1，然后分配给用户 X 所需的计算和存储资源，完成资源调配。当主播完成在 A 市的直播，到达 B 市时，由于其地理位置发生了变化，与 N1 资源池之间的距离变大，N1 资源池不能为其提供最低时延的服务。网络控制层将为其生成新的资源表及资源视图（其原理如上所示，不在此赘述）。用户根据新的资源视图，选择资源池 N2 为其提供服务。在 R6、R4 之间为用户建立新的通道，并为其分配资源池 N2 中用户所需的计算和存储资源，完成资源的重分配，如图 13 所示。

5 结束语

新一代信息网络正在从以信息传递为核心的网络基础设施，向融合计算、存储、传送资源的智能化云网基础设施发生转变。资源泛在化、融

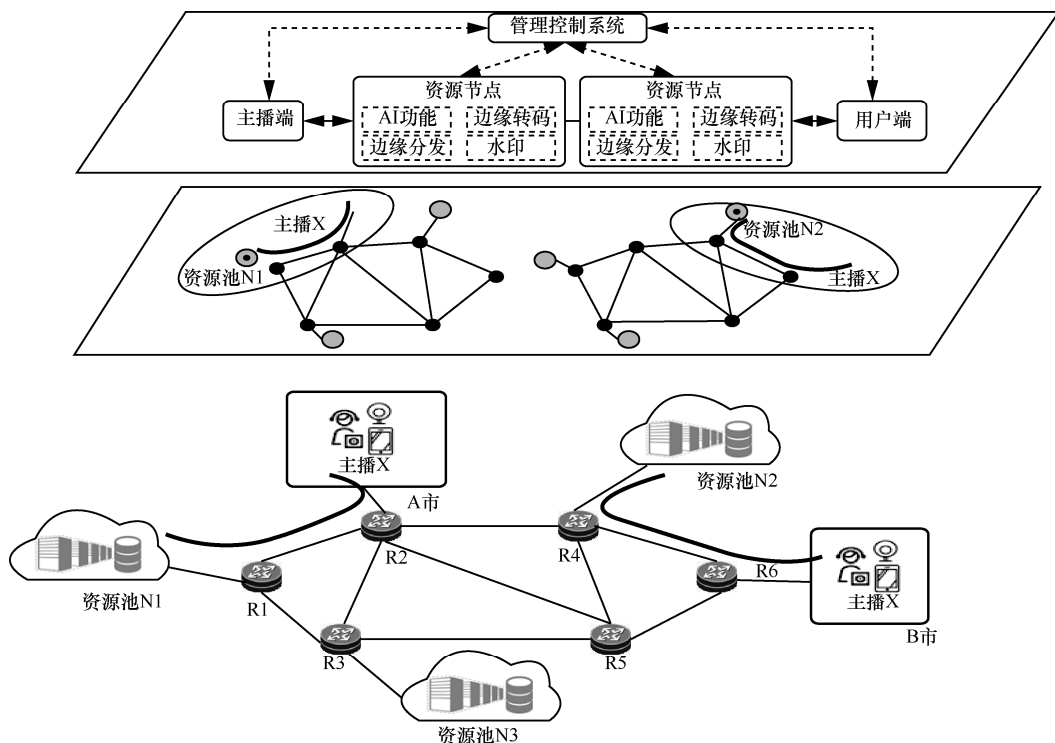


图 13 资源调配示意图



合化趋势愈发明显,资源布局资源供给方式的变化将给网络架构带来深刻变革,这也让笔者开始重新思考多维资源融合趋势下的网络虚拟化新架构。本文提出了一种基于多维资源融合化的网络虚拟化架构,将多方、异构的资源整合成统一资源平面,为用户提供弹性的资源供给和敏捷连接,能够满足新兴业务对资源需求的快速响应,有效提升资源利用率。资源融合优化涉及多个领域的研究,符合当前云网融合发展的大思路。后续仍需要根据业务需求与商业模式的发展来不断完善,以满足未来业务多样化需求。

参考文献:

- [1] 网络 5.0 产业和技术创新联盟. 网络 5.0 技术白皮书[R]. 2019. NSA. White paper on network 5.0 technologies[R]. 2019.
- [2] 刘亚丹. 下一代算力网络基础设施思考 and 实践[Z]. 2020. LIU Y D. Thinking and practice of next generation computing network infrastructure[Z]. 2020.
- [3] ITU-T. Draft Recommendation ITU-T Y. CPN-arch: framework and architecture of computing power network[Z]. 2019.
- [4] SANTANA G A A. 数据中心虚拟化技术权威指南[M]. 张其光, 袁强, 薛润忠, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2015. SANTANA G A A. Data center virtualization fundamentals[M]. Translated by ZHANG Q G, YUAN Q, XUE R Z. Beijing: Posts & Telecom Press, 2015.
- [5] 王占京, 张丽诺, 雷波. VPN 网络技术与业务应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012. WANG Z J, ZHANG L N, LEI B. VPN network technology and its service[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012.
- [6] 雷波, 解云鹏, 史凡. SDN 在二层专线产品中的应用探讨[J]. 电信技术, 2016(6): 44-48. LEI B, XIE Y P, SHI F. Research on the application of SDN in the layer 2 private line products[J]. Telecommunications Technology, 2016(6): 44-48.
- [7] ITU-T. Recommendation, framework of software-defined networking: ITU-T Y.3300[S]. 2014.
- [8] ITU-T. Recommendation, framework of network virtualization for future networks: ITU-T Y.3011[S]. 2012.
- [9] 3GPP. Management and orchestration; concepts, use cases and requirements: TS28.530[S]. 2020.
- [10] 全球移动通信系统协会. 5G 时代的边缘计算: 中国的技术和市场发展[R]. 2020. GSMA. Edge computing in the 5G era: technology and market developments in China[R]. 2020.
- [11] ECNI. 运营商边缘计算网络技术白皮书[R]. 2019. ECNI. Edge computing networking technology white paper[R]. 2019.
- [12] 崔恒志, 蒋承伶, 缪巍巍, 等. 基于边缘计算的电力智慧物联系统设计与实现[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(4): 33-41. CUI H Z, JIANG C L, MIAO W W, et al. Design and implementation of power intelligent IoT system based on edge computing[J]. Electric Power Information and Communication, 2020, 18(4): 33-41.
- [13] 苏越. 关于云网融合发展现状及趋势的一些思考[EB]. 2019. SU Y. Some thoughts on the current development and trend of cloud network convergence[EB]. 2019.
- [14] 华信咨询. 2020 边缘计算产业前沿研究报告[R]. 2020. Huaxin Consulting. Edge computing industry frontier research report[R]. 2020.
- [15] 雷波, 刘增义, 王旭亮, 等. 基于云、网、边融合的边缘计算新方案: 算力网络[J]. 电信科学, 2019, 35(9): 44-51. LEI B, LIU Z Y, WANG X L, et al. Computing network: a new multi-access edge computing[J]. Telecommunication Science, 2019, 35(9): 44-51.
- [16] 中国移动通信有限公司研究院, 华为技术有限公司. 算力感知网络技术白皮书[R]. 2019. Research Institute of China Mobile Communications Co., Ltd. Huawei Technologies Co., Ltd. Computing aware network technical white paper[R]. 2019.
- [17] 中国联合网络通信有限公司. 中国联通算力网络白皮书[R]. 2019. China United Network Communications Co., Ltd. China Unicom computing power network white paper[R]. 2019.

作者简介



雷波 (1980—), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 边缘计算产业联盟 ECNI 工作组联席主席、CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会” 管理与运营组组长, 主要研究方向为未来网络架构、新型 IP 网络技术。

王江龙 (1993—), 男, 中国电信股份有限公司研究院工程师, CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会” 接口与协议组副组长, 主要研究方向为未来网络架构、新型 IP 网络技术等。

赵倩颖 (1991—), 女, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要研究方向为未来网络、算力网络等。

余勇志 (1983—), 男, 中国电信股份有限公司重庆分公司高级工程师, 中国电信股份有限公司高级技术专家 (IP 专业), 主要研究方向为新型 IP 网络技术、移动互联网技术等。

杨明川 (1973—), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为云计算、大数据和人工智能、区块链的研究与融合技术等。