



夯实云网融合，迈向算网一体

Tamp Cloud and Network Integration, Step into Computing Power Network

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

(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.202103009

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20210622.1436.002.html>

网络出版日期: 2021-06-22

收稿日期: 2021-05-15

摘要: 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演进。结合云网融合发展趋势, 倡导积极发展算力网络, 并通过算网一体实现深层次的云网融合。同时, 指出算力网络重点创新领域及核心能力, 提出促进算力网络发展的若干建议。

关键词: 云网融合; 算力网络; 算网一体; 云化

Abstract: The new generation of information network is evolving from the network infrastructure focusing on information transmission to the intelligent cloud network infrastructure integrating computing power, storage, and transmission resources. In the trend of cloud network integration development, it needs to develop computing power network and realize deep cloud network integration through computing power network integration. Key innovation areas and core capabilities of computing power network are pointed out, and some suggestions to promote the development of computing power network are put forward.

Keywords: cloud network integration; computing power network; integration of computing power and networking; cloudification

1 云网融合的背景与趋势

2021年是“十四五”开局之年, 信息通信网络肩负着赋能经济社会数字化转型的新使命, 也迎来创新发展的新机遇。作为新一轮科技革命和产业变革的主导力量, 信息通信产业深刻影响和改变了经济社会发展模式和人们生产生活方式, 成为了科技创新和经济增长的重要引擎。新一代信息通信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。

(1) 数据成为重要生产要素, 数字经济潜力正逐步释放

中国“十四五”规划高度重视数字经济的发展, 把“网络强国”“数

字中国”作为新发展阶段的重要战略进行部署。2019年, 全球47个经济体数字经济规模达到31.8万亿美元, 同比增长5.4%, 高于同期全球国内生产总值(GDP)增速的3.1%, 数字经济成为全球经济增长的主要引擎^[1]。数字产业化、产业数字化纵深推进, 不断促进虚拟世界与物理世界紧密结合, 而工业互联网、车联网、智慧医疗、智慧城市等也将成为推动经济发展的新动力, 同时网络需要承载更大的带宽流量、更多的类型业务, 以及响应更加迅速的各类需求。现实虚拟化、虚拟真实化成为新兴数字经济的重要助推器, 两者的交互融合将给业务创新带来巨大的发展空间, 这就要求新型网络基础设施能够充分适应这些快速变化的新业态。

(2) 企业服务云化趋势加速, 驱动通信网络信息技术(IT)化转型

近年来, 以云计算为代表的计算产业对通信网络变革产生了巨大影响: 企业上云节奏不断加快, 云流量持续增长。这给运营商带来机遇的同时, 也给通信产业带来了巨大的运营与竞争压力, 同时还驱动着通信网络IT化转型。经济社会数字化将带动信息通信技术(ICT)产业步入增长新轨道: ICT技术创新进入“新领域”和“无人区”。局域业务、本地业务、低时延业务全面兴起, 以5G为代表的新一代通信技术赋予通信产业新活力。网络作为云、网、边、端中承上启下的关键环节, 将从纯粹的管道角色, 转变成成为承载更多价值可能性的数字经济中枢。此外, 2020年突发的新冠病毒

炎疫情，作为“黑天鹅”事件，使无接触服务成为主流，并驱使企业加速数字化转型。在线教育、家庭办公、远程医疗、城市治理等数字化生活与工作方式将会得到长久保留，从而为网络服务和信息通信产业注入了更强劲的发展动力。

(3) 泛在“联接+计算”紧密结合，构建 ICT 智能融合新格局

2020年4月，国家发展和改革委员会首次对新基建的具体含义进行了阐述，在信息基础设施部分，提出构建以数据中心、智能计算中心为代表的算力基础设施，提升各行业的“联接+计算”能力，引领重大科技创新、重塑产业升级模式，为社会发展注入更强动力。随着5G、移动边缘计算（MEC）和人工智能（AI）的发展，算力和智能将无处不在，网络需要为云、边、端算力的高效协同提供更加智能的服务，计算与网络将深度融合。为满足现场级业务的计算需求，计算能力进一步下沉，出现了以移动设备和物联网（IoT）设备为主的端侧计算。在未来计算需求持续增加的情况下，虽然“网络化”的计算有效补充了单设备无法满足的大部分算力需求，但是仍然有部分计算任务受到网络带宽及时延限制，因此未来形成云、边、端多级计算协同部署是必然趋势，即云侧负责大体量复杂的计算、边缘侧负责简单的计算和执行、终端侧负责感知交互的泛在计算模式^[2]。新基建政策给以算力网络技术为基础的转-算-存主体分离、联合服务的新商业模式提供了重要的发展机遇。

2 从云网融合到算网一体，网络成为价值中心

5年前，全球主要电信运营商纷纷开启了面向2020年的下一代网络转型规划，以云计算为中心、实现云网

融合是这一阶段网络转型的主旋律。5年后的今天，运营商已实现了移动接入从4G到5G、固定接入从以太网无源光网络（EPON）/无源光纤网络（GPON）到千兆光网（F5G）的转变，构建了面向个人、家庭和企业的泛在千兆接入网，部分领先运营商和海外主流互联网交换中心（IXP）还构建了超宽的云互联（DCI）骨干网。得益于这一阶段的架构转型，在新冠肺炎疫情期间，中国的通信网络成功支撑了数亿用户居家办公，实现了互联网服务能力从支撑消费视频娱乐到满足居家视频办公的显著提升。

过去5年的云网融合，网络位于云与端之间，解决了云与端的连通性。云上丰富的内容可以自上而下，顺畅地呈现在各种智能终端上；网络支持了下行流量为主的云端互联，为终端提供了内容服务。未来5年，随着大量实时性业务的出现，如云虚拟现实（VR）、机器视觉、自动驾驶等，终端产生的大量数据需要上传到边、云的计算节点进行处理，并将结果实时送回终端；网络需要支持上行流量爆发的云、边、端互联，并为终端提供确定性的智能服务。

边缘计算的出现改变了传统云和网的相互独立性，使计算进入网络内部。边缘计算的效率、可信度与网络的带宽、时延、安全性、隔离度等都将发生深度耦合，算网一体才能实现高效服务。

从云网融合到算网一体，网络的作用和价值将发生变化。对于云网融合，网络是以云为中心的。从云的视角看，一云多网对网络的主要需求是连通性、开放性，对服务质量的要求是尽力而为，网络起到支撑作用。对于算网一体，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、安全可信通信，对服务

的质量要求是确定性，网络成为价值中心。

这两个阶段是相辅相成的，云网融合为算网一体提供必要的云网基础能力，算网一体是云网融合的升级^[3]。

2.1 夯实云网融合，持续打造网络服务核心竞争力

(1) 一网联多云，构建新生态，助力产业发展

在云网融合时代，网络提供包括带宽、时延、抖动、安全、算力、可视可控等多样化能力，从而可以深度参与行业应用和智能终端的业务逻辑，与端、云产业生态实现合作共赢。新服务呼唤新生态，需要满足客户对应用、云、网、端的一体化需求，产业链的开放协作是必然要求。网络基础服务能力的夯实，对外需要与云服务商、应用服务商、终端提供商等广泛合作，依托外部的内容服务和智能应用生态。面向个人和家庭消费者，运营商提供极致的信息生活体验；面向垂直行业和政府，提供丰富的智能融合应用。

(2) 协同一体智能安全，多层次、多维度安全防护

利用大数据技术持续对业务流量和各类网络、安全设备日志进行关联分析，并结合AI智能推理，能够及时发现潜在威胁，提供全网安全态势可视化能力。网络内生安全将多种安全基因注入网络，使得安全边界更加细化，安全能力与云网边资源能够更好地协同配合，安全策略与业务需求进一步贴合，原生和外挂的安全能力得到进一步整合，从而能提供端到端一体化防护服务。同时，网络内生安全能够结合客户的诉求，灵活调度安全资源，提供不同级别的安全防护等级以及安全服务组合。

(3) 网络切片和行业专网，助力

行业用户服务升级

根据自身需求，行业用户可以选择一种或多种标准化的网络服务，如云服务、网络切片、确定性等。云网融合可为用户提供电商化的网络切片即时服务新体验。其中，切片带宽灵活多样、动态可调整，服务平台支持自助式即开即享的租户级切片服务，云业务驱动切片创建，分钟级业务开通，实时感知切片状态。同时，基于切片理念的多种隔离技术及其组合将为客户提供端到端灵活多样的业务隔离服务，保证客户的带宽和延迟等网络性能不受其他切片的影响。

面向VIP大客户需求，云网融合除了提供标准网络能力和服务外，还能够为客户提供量身定制的专网建设与运营服务，包括高带宽保障、确定性时延、有界时延抖动、高精度定位以及网络无损传输等，并可以基于确定和稳定的基础网络能力，针对行业客户需求提供可管可控和安全可靠的确定性服务。

(4) 加强和延伸云网端协同能力，支撑业务融合创新

端云协同就是根据业务特点、网络、终端能力及运行环境等，通过终端与云端协商，智能化地将原来由终端执行的非实时复杂计算和存储转移至云端或边缘计算节点，并将运算结果返回终端执行。端云协同可以进一步充分、有效利用网络与云端资源，提升用户的使用体验，减少对终端软硬件能力的需求，降低功耗和成本。端云协同需要提供端云协同的智能调度机制和策略算法，实现系统最优。另外，面向行业业务需确保终端本地、边缘及云端数据的隐私安全。

跨云网络互通，需保障多云服务商和云资源池的多种接入和互联能力，保障不同云之间的网络互通，以实现云网无缝对接。跨云连接需要保障网

络连接的高度确定性，基于云业务要求提供确定性网络连接关键绩效指标（KPI）指标。多云协同支撑业务融合创新，有效地控制负载和成本，多云共管提高运维效率，提升数据的可移植性和互操作性。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^[4]。

2.2 迈向算网一体，加快构建算力服务新能力

数字经济促进数字产业化，而算力将是数字经济的重要引擎。随着算力下沉到边缘，城域数据中心（DC）需要互联，这对业务属性的感知和计算资源的感知提出了更高的要求。运营商网络云化的加速和以算力基础设施为代表的新基建，给DC算力资源社会化共享提供了商业机遇。算力经营将成为运营商新的重要业务抓手，使运营商不再是纯粹的管道服务商。

基于云网融合的发展，算网一体不能一蹴而就，需要分步进行技术攻关，渐进打造核心能力。

(1) 强化算力建模与管理底层技术研究

算力网络中的算力资源包括通用服务器架构下的中央处理器（CPU）计算单元，专门适用于处理类似图形、图像等数据类型统一的图形处理器（GPU）并行计算芯片，专业加速处理神经网络的神经网络处理器（NPU）和张量处理器（TPU），广泛应用于边缘侧嵌入式设备的CPU，以及半定制化处理器现场可编程门阵列（FPGA）等。根据处理器运行算法及涉及的数据计算类型的不同，从业务角度出发，算力可以分为可提供逻辑运算的算力、可提供并行计算的算力与神经网络加速的算力等^[5]。

泛在算力资源的统一建模度量是算力调度的基础。针对泛在的算力资源，

通过模型函数，可将不同类型的算力资源映射到统一的量纲维度，形成业务层可理解、可阅读的零散算力资源池，为算力网络的资源匹配调度提供基础保障。将业务运行所需的算力需求按照一定的分级标准划分为多个等级，这可作为算力提供者在设计业务套餐时的参考，也可作为算力平台设计者在设计算力平台时的选型依据。

(2) 基于泛在算力需求，完善算力网络承载能力

• 算力资源信息感知技术

算力网络整合计算资源，并以服务的形式为用户提供算力。与基于链路度量值进行路径计算的网路路由协议类似，在算力网络中，网络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。

算力网络的实现不可能一蹴而就，面向算力承载的网络应遵循“目标一致、分期建设”的原则，通过DC网关设备联网可以搭建MEC节点之间的算力“薄层”。可以首先在overlay层面引入SRv6与内容转发网络（CFN）等协议，进而逐步扩大到承载网全网underlay层面的算力感知和算网联合优化。

• 增强确定性网络技术

确定性网络协议（DIP）是在互联网协议（IP）网络上，通过增强的周期排队和转发技术实现的一种新型网络转发技术。确定性IP网络能够保证网络报文传输时延上限、时延抖动上限、丢包率上限。它既适用于中小规模网络，又适用于解决大规模、长距离IP网络端到端确定性传送问题。DIP技术通过在原生报文转发机制中，加入周期排队和转发技术，通过资源预留、周期映射、路径绑定、聚合调度等手段实现大网的确定性转发能力。通过确定性技术和算力的结合，可以

提供精确保障的业务体验，满足算力抖动敏感型业务的需求。

- 应用感知网络（APN）技术

基于 APN 技术，利用第 6 版互联网协议（IPv6）扩展头将应用信息及其需求传递给网络，网络根据这些信息，通过业务的部署和资源调整来保证应用的服务等级协议（SLA）要求。特别是当站点部署在网络边缘（即边缘计算）时，APN 技术有效衔接网络与应用，以适应边缘服务的需求，将流量引向可以满足其要求的网络路径，从而充分释放边缘计算的优势。

- 业务链技术

业务链使得不同算力服务链接成为现实，从而可以快速提供新型业务。业务链是一种业务功能的有序集合，可以使业务流按照指定的顺序依次经过指定的增值业务设备，以便业务流量获取一种或者多种增值服务。

业务链在算力网络中的本质是驱动算力服务，即依据客户的意图，实现不同算力服务的连接，并结合 SRv6 安全标识符（SID）即服务，构建算力交易平台。各种生态算力将自己的服务以 SRv6 SID 的形式注册到网络中，购买者通过购买服务使用算力，而网络则通过业务链将算力服务链接，从而无感知地将服务提供给购买者。

（3）构建算网服务编排能力，实现算网资源的能力开放

算力网络是融合计算、存储、传送资源的智能化新型网络，通过全面引入云原生技术，实现业务逻辑和底层资源的完全解耦。通过打造面向服务的容器编排调度能力，可以实现服务编排向算网资源的能力开放。同时，可结合底层基础设施的资源调度管理能力，对数据中心内的异构计算资源、存储资源和网络资源进行有效管理，实现对泛在计算能力的统一纳管和去中心化的算力交易，构建统一的服务

平台。

（4）打造算力服务和交易平台，促进算力安全有效流通

算力网络中的算力服务与交易依托于区块链去中心化、低成本、保护隐私的可信算力交易平台。该平台由算力卖家、算力买家、算力交易平台 3 种角色组成，在以往的交易模式中，买家和卖家彼此之间信息并不透明。在未来泛在计算场景中，网络可以将算力作为透明和公开的服务能力提供给用户。在算力交易过程中，算力的贡献者（算力卖家）与算力的使用者（算力买家）分离。这样可以通过可拓展的区块链技术和容器化编排技术，整合算力贡献者的零散算力，为算力使用者和算力服务的其他参与方提供经济、高效、去中心化、实时、便捷的算力服务。

3 算力网络研究概况

据国际数据公司（IDC）预测，到 2023 年，数字经济产值将占到中国 GDP 的 67%，超过全球平均水平，发展潜力巨大。以 5G、云和 AI 为代表的数字基础设施发展将带动全网的算力密集分布、快速下沉，从而逐步实现联网服务。目前，算力网络的愿景已在业界得到广泛认可，算力网络在标准制定、生态建设、试验验证等领域均取得了一定进展。算力网络作为中国的原创技术成果，开始走向国际舞台。在标准制定方面，中国移动、中国电信与中国联通分别在国际电信联盟（ITU-T）SG11 与 SG13 工作组立项了 Y. CPN^[6]、Y. CAN 和 Q. CPN^[7] 等系列标准，并在互联网工程任务组（IETF）开展了《Computing First Network Framework》^[8] 等系列标准的研究；华为联合中国运营商在欧洲电信标准化协会（ETSI）和世界宽带论坛（BBF）启动了包括 NWI、城域算网

在内的多个项目；中国通信标准化协会（CCSA）正有序开展算力网络总体架构和技术要求、标识解析技术要求、集中控制系统技术要求等 6 项系列标准工作。面向未来的 6G 时代，中国的 IMT-2030 6G 网络工作组已将算力网络列为研究课题之一，开展算力网络与 6G 通信技术的融合研究。在生态建设方面，中国未来数据通信研究的主要组织——网络 5.0 产业联盟，专门成立了算力网络特设工作组。2019 年，中国联通、中国移动和边缘计算网络产业联盟（ECNI）均发布了算力网络领域相关白皮书，进一步阐述了算网融合的重要观点。2021 年初，三大运营商与华为、边缘计算网络产业联盟联合出版《边缘计算 2.0：网络架构与技术体系》；2020 年，中国联通率先成立中国联通算力网络产业技术联盟，作为首个运营商牵头的算力网络研究组织，该联盟结合自身业务发展，对相关先进网络协议的制定提出了明确需求。在试验验证方面，2019 年中国电信与中国移动均已完成算力网络领域的实验室原型验证，并在全球移动通信系统协会（GSMA）巴塞罗那展、ITU-T 和全球网络技术大会（GNTC）相关展会上发布成果。2020 年年底，中国联通在江苏南京开通了中国首个集成开放网络设备、算力服务平台和 AI 应用的一体化试验局^[9]。

4 算力网络发展建议

4.1 进一步推动算力网络的标准化工作

算力网络的标准化工作虽已有序开展，但目前仍处于前期。中国的研究成果目前处于国际领先，建议运营商和设备商结合自身标准研究与应用实践，将标准推向国际，加快算力网络技术的标准化进程。为了更好地解决泛在计算和服务感知、互联以及

资源控制和调度中存在的问题，并满足未来新应用场景需求^[10]，需要重点推进一些标准化工作。

(1) 应用及算力感知研究：研究算力、网络和存储等多维资源感知，实现多维资源感知、调度的协同机制。

(2) 算力需求量化与建模研究：针对泛在的算力资源，通过模型函数，将不同类型的算力资源映射到统一的量纲维度，形成业务层可理解、可阅读的零散算力资源池。

(3) 算网资源可信与协同：解决资源可信与协同问题，为需求方提供更多选择，促使算力流动起来，促进应用发展。

4.2 注重算力网络产业的自主可控

在当前国际竞争背景下，网络领域的自主可控是一项突出问题，算力网络也不例外。为此，需要把算力网络技术的自主可控作为重要研究内容。通过“以算联网，以网促算”的方式进行计算和网络的联合布局优化，并通过计算成网，弥补中国计算芯片单体的自主可控这一短板，解决“卡脖子”问题。具体来说，需要加强计算处理单元和网络控制系统双方的开放性，以便更加快速、便捷地响应对方的需求。这个过程不仅需要国家相关部门牵头组织、政策性扶持，同时更需要产学研用各个参与方的积极推动。但是，大力发展自主可控并不意味着故步自封、闭门造车。自主可控的策略应该是在中国企业掌握核心竞争力的基础上，以积极开放的态度拥抱开源，在全球范围内共建共享算力网络技术

产业生态。

5 结束语

随着国家新发展格局的构建和新发展理念贯彻，数字经济蓬勃发展，以“联接+计算”为根基的数字基础设施的重要性进一步凸显。夯实云网融合，向算网一体演进，实现 CT、IT 和数据技术 (DT) 能力的融合服务，是顺应千行百业数字化转型的必然要求。发展算力网络，实现“算力即服务，网络即平台”的目标涉及到 IT 产业、CT 产业和 DT 产业，有赖技术融合、产业协同和生态重构。算力网络的技术理念已逐步在行业形成了共识，未来需要通过市场牵引、技术驱动和开放创新推进算力网络大发展，实现网络与计算的超级融合，赋能数字经济。

参考文献

- [1] 中国联通 CUBE-Net 3.0 网络创新体系白皮书 [R]. 北京：中国联合网络通信有限公司研究院，2021
- [2] 算力网络架构与技术体系白皮书 [R]. 北京：中国联合网络通信有限公司研究院，2020
- [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]. 中国通信, 2021, 18(2):175-185
- [4] 云网融合向算网一体技术演进白皮书 [R]. 北京：中国联合网络通信有限公司研究院，2021
- [5] 异构算力统一标识与服务白皮书 [R]. 北京：中国联合网络通信有限公司研究院，2021
- [6] ITU-T. Draft recommendation ITU-T Y. CPN-arch: framework and architecture of computing power network [R]. 2020
- [7] ITU-T. Draft recommendation ITU-T Q. CPN: signaling requirement of computing power network [R]. 2019
- [8] IETF. Framework of Compute First Networking (CFN) draft-li-rtgwg-cfn-framework-00 [R]. 2019

[9] 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

[10] 算力网络前沿报告 [R]. 北京：中国通信学会，2020

作者简介



唐雄燕，中国联合网络通信有限公司研究院副院长、首席科学家，“新世纪百万人才工程”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，北京通信学会副理

事长，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，国际开放网络基金会 ONF 董事；拥有 20 余年电信新技术、新业务研发与技术管理经验，主要专业领域为宽带通信、光纤传输、互联网/物联网、SDN/NFV 与新一代网络等。



张帅，中国联合网络通信有限公司研究院未来网络研究部工程师、中国通信标准化协会 CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会”需求组副组长；主要专业领域为 IP 网络宽带通信、SDN/NFV、新一代网络编排技术等。



曹畅，中国联合网络通信有限公司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 CCSA “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；主要专业领域为 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 20 余项。