

网络计算化研究报告

(2022 年)

算网融合产业及标准推进委员会
2022年

版权声明

本白皮书版权属于算网融合产业及标准推进委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：算网融合产业及标准推进委员会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。



参与编写单位

中国信息通信研究院、中国电信集团有限公司、中国工商银行股份有限公司、网络通信与安全紫金山实验室、浪潮集团有限公司、大庆油田信息技术有限责任公司、北京邮电大学、中国移动通信集团有限公司、新华三技术有限公司、南京证券股份有限公司、亚信科技股份有限公司

主要撰稿人

穆域博、柴瑶琳、韩维娜、毕立波、卫敏、张勇、余学山、吴仲阳、韩红平、陈平平、王紫程、孙宇、郑远鹏、付月霞、范博然、宋士明、吴俊

前 言

作为数字信息基础设施的两大支柱，计算和网络在沿着各自技术路线演进升级的同时，也逐渐在发展理念、设计模式、技术内核等维度发生深刻的“化学反应”：二者呈现出从独立演进到相互融合的发展趋势。一般认为，算网融合是通信技术和信息技术深度融合所带来的深刻变革。经过分阶段的演进，算网融合最终将使得传统上相对独立的计算资源和网络资源相互融合，形成一体化供给、一体化运营、一体化服务的体系。

计算和网络的融合是数字信息基础设施建设的重要锚点，为数字经济的发展奠定了重要基础。从 ICT 产业角度看，两者的融合涵盖了计算网络化和网络算力化两个层面，其中，前者是提升计算资源利用效率、扩大算力服务范围 and 类型的重要手段，后者是传统电信运营商积极应对网络与应用不感知、网络管道服务价值低的重要抓手。本研究报告重点关注网络计算化，探索如何有效提升网络服务价值，避免网络基础设施的重复建设和资源浪费。

目 录

一、网络计算化驱动因素	1
（一）技术创新：网络计算化是网络技术演进的自然趋势	1
（二）产业发展：网络计算化是产业数字化转型的迫切要求	1
（三）政策布局：网络计算化是我国“十四五”时期的重要部署	2
二、网络计算化的概念与内涵	4
（一）网络计算化定义	4
（二）网络计算化发展阶段	5
三、网络计算化的技术特征	6
（一）网络底座：泛在连接、高速可靠	6
（二）数字平台：智能管控、算力协同	7
（三）一体应用：多维感知、异构同享	8
（四）融合服务：弹性敏捷、按需使能	9
（五）内生安全：动态信任、持续评估	10
四、网络计算化产业发展	11
（一）产业主体共同推进网络计算化发展	11
（二）“以网调算”产业发展模式正在形成	14
（三）创新技术促进网络计算化落地应用	19
五、网络计算化未来展望	25
（一）面临挑战	25
（二）发展建议	27

图 目 录

图 1	网络计算化发展的三个阶段	6
图 2	5G 行业虚拟专网架构	15
图 3	某运营商混合云算网架构	16
图 4	某运营商跨境云网平台架构	18
图 5	某服务商算网交易平台	19
图 6	算力网络创新应用场景	21
图 7	在网计算创新应用场景	22
图 8	IPv6+创新应用场景	24
图 9	SD-WAN 创新应用场景	25

一、网络计算化驱动因素

（一）技术创新：网络计算化是网络技术演进的自然趋势

当前，“计算”+“网络”全面融合业已成为 ICT 技术全面发展的重要锚点。从网络角度来看，网络正步入云网深度协同发展的新阶段，出现了以软件定义广域网络（SD-WAN）、网络功能虚拟化（NFV）为代表的创新网络架构，能够实现更为灵活、弹性的网络部署，成为新型信息基础设施的重要底座。然而，网络与计算的无感知导致现有网络能力无法充分发挥泛在连接、智能调度的作用。因此，聚焦基础网络设施，全面提升底层网络对于计算的感知性，能够顺应网络技术演进的自然趋势，推动网络技术全面向智能化方向的发展。例如，由于传统城域网无法满足新业务不断发展提出的算力泛在接入的要求，电信运营商开始构建新型城域网，基于 SRv6/EVPN/FlexE 等技术，通过 Spine-Leaf 架构进行东西向流量高效疏导，实现区域内全业务融合承载，形成新一代网络架构。

（二）产业发展：网络计算化是产业数字化转型的迫切要求

垂直行业正处在数字化转型升级的过程中，迫切要求通过创新网络架构广泛连接、智能调度计算资源，构建协同发展的算网边端体系，赋能业务应用快速创新、业务场景快速落地。一方面，垂直

行业要求实现跨同城中心甚至是跨异地的网络连接，重塑已有架构，解决高性能网络、总线以及跨中心网络支撑的问题。另一方面，垂直行业要求根据业务需求，按需智能调度网络资源和计算资源，为各个计算应用场景如远程医疗、自动驾驶、智能客服、AI 建模等提供高性能、高质量的网络计算融合服务。以金融行业为例，目前各家银行积极探索中高算力 AI 集群，尝试使用大带宽低延时的 RoCE 网络替代常规 AI 集群的 Infiniband 组网，支撑大规模人工智能训练场景的大模型算力需求，助力金融行业数字化业务快速发展。

（三）政策布局：网络计算化是我国“十四五”时期的重要部署

近几年，国家层面出台《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》、《新型数据中心发展三年行动计划(2021—2023 年)》等政策文件，大力推进“东数西算”重点工程，为网络计算化提供了良好发展环境和统一的规划布局。当前，“东数西算”工程已从系统布局进入全面建设阶段，“东数西算”干线光纤网络和兰州等中西部国家互联网骨干直连点加快建设，推动全国网络计算化基础设施不断优化。省市层面按照全国统一规划，结合自身定位和发展目标，分步开展网络计算化基础设施规划建设。2021 年以来，河南、山东、广西、甘肃、青海、河北、上海、天津、云南等多个省市先后发布算力网络相关行动计划或实施方案。2022 年，京津冀等 8 个国家算力枢纽建设进入深化实施阶段。

表 1 地方各省市网络计算化相关政策布局

省份	文件名称	发布时间	网络计算化建设布局
天津	《关于做好算力网络建设发展工作的指导意见》	2023 年 4 月	制定了做好算力设施建设发展工作、构建数据存力体系、筑强算力网络运力体系、提升算力网络赋能应用水平、促进绿色低碳算力网络发展、加强算力网络安全防护水平六项重点任务。
河北	《加快建设数字河北行动方案（2023-2027 年）》	2023 年 1 月	加快全国一体化算力网络京津冀国家枢纽节点建设。
上海	《上海市推进算力资源统一调度指导意见》	2023 年 4 月	推动算力网络建设优化。依托基础电信运营企业网络资源，结合算网特点，建设技术先进的极速算力承载网。按需增设网络骨干节点，推进城域网络架构优化。持续提升网络容量、优化流量疏导路径。
山东	《山东一体化算力网络建设行动方案（2022—2025 年）》	2022 年 7 月	探索建设一体化算力网络调度体系，加快完善济南、青岛国家级互联网骨干直联点建设，充分发挥一省“双枢纽”优势，进一步优化省内互联网架构，积极争取国家新型互联网交换中心落地山东。
河南	《河南省“十四五”新型基础设施建设规划》	2022 年 2 月	科学布局算力基础设施，打造“中原算力网”。加快算力协作、算力路由、算力交易等算力网络

			基础设施建设。
广西	《中国—东盟信息港算力网络建设行动计划（2022-2025年）》	2022 年 9 月	提出“持续统筹优化算力建设布局”等 6 项重点任务。
云南	《云南省数字经济发展三年行动方案（2022—2024 年）》	2023 年 5 月	按照绿色集约、需求牵引原则，统筹规划全省数据中心建设布局，构建数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络体系。在昆明、玉溪、大理等州、市布局建设全省一体化算力网络省级枢纽节点，在其他州、市建设次级节点，促进数据中心集约化、规模化、绿色化发展。
甘肃	《关于支持全国一体化算力网络国家枢纽节点（甘肃）建设运营的若干措施》	2022 年 9 月	要建立统一的算力资源监测、调配、管理和运营机制，构建以庆阳集群为主体的全省一体化算力供给体系，打造面向全国的算力保障基地。
青海	《绿色零碳算力网络建设行动计划（2023—2025 年）》	2023 年 2 月	发挥绿色零碳优势，大力推进“西北数谷”建设，推动青海成为“东数西算”的重要承载地，主动融入“东数西算”国家布局

二、网络计算化的概念与内涵

（一）网络计算化定义

网络计算化是以网络为主体，连接存储、算力、数据等多维度资源，通过 SD-WAN、IPv6+等创新技术体系，实现网络泛在连接、数字平台智能管控、一体应用多维感知、融合服务弹性敏捷、内生安全动态信任等能力要求，最终提供算网融合服务的一种新型网络形态。

网络计算化是网络基础设施的新内容，网络基础设施通过融合计算能力，实时感知网络、计算、安全等多维资源，提升网络传输、感知、调度管控算力的能力。

网络计算化是网络技术的新阶段。网络计算化融合多种网络创新技术包括算力网络、SD-WAN、IPv6+、在网计算等，实现网络承载多种计算业务的自动化、智能化、一体化融合应用。

网络计算化是网络服务的新模式，网络计算化是集网络、计算、安全于一体的融合服务，能够实时感知应用对于网络、计算、安全服务的需求，并将用户对业务 SLA 的请求（包括网络请求、算力请求等）参数实时传递给应用层，同时保障服务计费一致性。

（二）网络计算化发展阶段

总体而言，网络计算化的发展可划分为三个阶段。

阶段一：在产业数字化早期，用户通过网络与自建的机房或数据中心建立连接，访问部署在服务器上的各类企业应用，实现小范围内的 CPU 和存储资源共享。本阶段重点关注覆盖、带宽、可用性

等基本的网络性能。

阶段二：随着产业数字化进程的加快，虚拟化技术改进了计算呈现方式，云计算应运而生。通过将内存、硬盘、显卡等计算资源变成“资源池”，云计算实现了计算的规模化低成本获取，为工业、医疗、电商等行业提供数字化服务。此阶段网络不仅需要满足传输速率、容量、覆盖等要求，还需要支持差异化的 SLA 保障及故障自动恢复、流量切换等智能化能力，保障用户“上云用云”的速度更快，体验更好。

阶段三：到产业数字化发展的高级阶段，数字化应用覆盖了消费领域和行业领域，网络连接的对象从最初的人与人过渡到人与物、物与物、人与环境等，计算的形态和部署形式更加多样化，感知、调度计算的需求迫切，网络 and 计算走向深度融合。

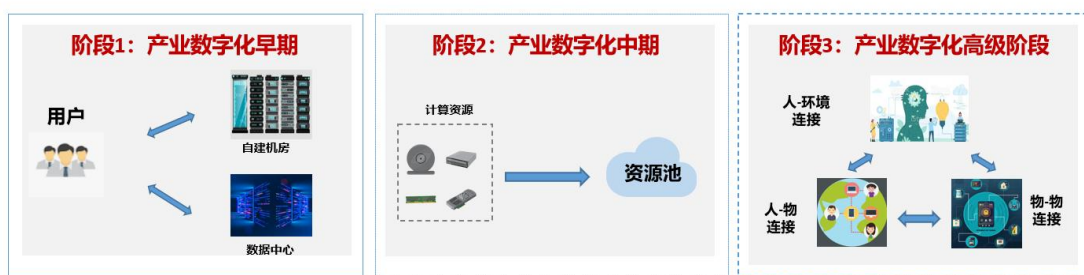


图 1 网络计算化发展的三个阶段

三、网络计算化的技术特征

（一）网络底座：泛在连接、高速可靠

当前，计算节点（包括高性能计算、边缘计算、数据中心、云计算等）广泛分布在全国各地或端侧任意位置，计算资源的共享、调度、协同必须通过网络的弹性连接、高速传输完成，从而提供海量数据存储与并行计算，提供全场景覆盖，实现网络与计算的智能互联。

网络底座是泛在算力互联协同和高速可靠传输的**核心载体**，主要包括网络基础设施、网络技术、网络服务等。

在网络基础设施层面，通过引入 400G/800G 等新一代传送网技术及确定性网络技术拓展网络传输能力，进一步为算力业务提供大带宽、低时延、低抖动、高可靠等定制化的网络承载，支撑泛在分布式计算节点间的快速连接、算力业务的敏捷迭代及业务质量保障。

在网络技术层面，基于 IPv6+ 为核心的技术体系提供的高度灵活性及可编程性，在实现广域网络切片及能力开放的同时，发展以算力业务为中心的新一代路由协议和寻址方案。

在网络服务层面，将 SRv6、随流检测、动态网络切片、自智网络为代表的新型网络技术与 SD-WAN 技术融合，为行业网络用户提供业务级、细粒度的差异化网络服务，实现行业网络的自运营、自优化和自维护。

（二）数字平台：智能管控、算力协同

当前，网络业务管控与计算业务管控相对独立，融合业务开通

依赖人工，计算资源调度不均衡，需要对全域网络资源和算力资源进行统一标识、编排、分配、调度及全生命周期智能管理，实现自动部署、智能管控。

数字平台是统一全域网络资源和算力资源调度的**智能大脑**，主要包括跨域协同调度、多域融合编排、原生编排、智能辅助决策等。

在跨域协同调度上，协同分析计算因素（计算、存储等），网络因素（带宽、时延等）、环境因素（能耗、位置等），对泛在分布的算网资源进行均衡调度。

在多域融合编排上，综合考虑用户位置、数据流动，通过跨域拉通云间、云内多段网络，跨层调度云、边、端多级算力，实现云计算、边缘计算、超边缘计算、端计算等多节点之间的任务敏捷部署和动态优化。

在原生编排上，向上层应用提供跨网、跨域的服务化、意图化接口，支持对各专业域内各技术要素的感知、编排、调度等操作，通过自动化方式将业务需求即时转化为网络和计算基础设施的执行，实现两者的快速适配。

在智能辅助决策上，面对网络计算化多要素、多因子的融合编排管理需求，通过与 AI、大数据等技术深度融合，不断增强平台自身的预测、感知、决策、诊断、控制能力，逐步实现网络自智。

（三）一体应用：多维感知、异构共享

当前，为保障各类应用的实时性、确定性、差异化体验，需要实施获取网、算、数多维资源以及算、边、端分布情况，实时感知各类异构网络资源（包括有线网络、无线网络等）及异构算力资源（包括 CPU、GPU、NPU 等）的动态，实现网络和计算的全局调优。

一体应用是网络实时感知计算，无缝赋能应用体验的**关键要素**，主要包括算网资源感知、业务监测及可视化、差异化 SLA 保障等。

在算网资源感知上，通过延伸现有网络、计算资源模型，围绕感知对象分主题、分层次、分维度构建统一的算网感知体系，支持对异构网络资源、异构算力资源完成统一抽象描述，在此基础上实时捕捉网络资源和计算资源的动态特性，实现对算力资源的感知度量。

在业务监测及可视化上，采用服务化的软件架构，搭建统一的网络管控服务组件，通过整合全网资源、多维观测网络状态、智能分析运行数据，实现整个网络多层次、全方位的可视化。

在差异化 SLA 保障上，根据用户策略和应用需求进行集中控制、全局调度及实时调优，实现业务需求驱动的网络设施服务，满足海量应用的差异化 SLA 保障。

（四）融合服务：弹性敏捷、按需使能

当前，行业用户对算网服务的需求从简单的云+网组合的“资源式”需求向技术、能力、资源等多要素深度融合的一体化“任务式”

需求转变，要求服务提供者对算、网服务进行全面融合，向用户提供一站式的便捷服务，实现“按需、随型”的网络计算化服务供给。

融合服务是满足行业用户网算一站获取的**创新模式**，主要包括算力并网，算力封装，多量纲计费。

在算力并网上，受理社会多方算力资源申请，对算力资源进行存在性、连通性验证，通过算网资产通证技术进行确权，根据评估结果进行算力认证与并网接入，实现对多方泛在、形态异构的算力进行统一的纳管、封装和使用。

在算网封装上，从行业用户的视角出发，或从典型的业务场景入手，进行算网服务的集成封装，通过统一平台，对外提供标准服务产品和一站式订购服务模式。

在多量纲计费上，基于连接+算力+能力的新型算网运营交易三要素模型，针对不同的应用场景，采集多量纲和变现因子，构建多量纲模型，通过供应方提供的资源参数进行算力度量，对算网资源进行评级计费。

（五）内生安全：动态信任、持续评估

网络中的计算环境由计算节点提供，为实现泛在计算能力，多源算力和网络的融合使原来封闭的网络和系统打开，网络、应用、数据暴露面呈指数增长，面临新的安全风险包括基础设施访问权限

控制薄弱、集成多方应用 API 信息泄露安全风险加大、数据交叉计算隐私泄露等。

内生安全是网络计算化的**基本保障**，主要包括网络安全、应用安全、数据安全等。

在网络安全上，将零信任技术应用于身份管理、全链路可信、异常行为溯源与追踪等，打破了网络位置和信任间的默认关系，隔离网络计算化各安全段，为网络节点提供可信访问保护，提升网络整体安全性。

在应用安全上，利用区块链的去中心化技术对分布的算力资源和算力交易进行监控和审计，实现分布式算力安全统一运营，通过解析计算任务类型，结合算力用户的算力阈值，对计算任务进行安全评估，实现算力资源和算力交易的安全管理。

在数据安全上，基于隐私计算等技术实现对数据的可用不可见，保证原始数据安全和隐私性的同时，完成对数据的计算和分析任务，从而提高安全内生自治能力，全面保障网络向计算化深度融合转变。

四、网络计算化产业发展

（一）产业主体共同推进网络计算化发展

网络计算化产业各方在算网融合发展大趋势下，结合自身发展领域，推动网络计算化运营服务、技术设备、解决方案、标准体系等的发展，逐步形成良好产业生态。

运营商升级承载网络，持续推进算网边端一体化发展。依托自身在网络建设和运营方面的优势，运营商基于自有骨干网和 IP 技术，将 5G+MEC 作为网络服务的抓手，打造新型算力网络。中国电信发布“云网融合 3.0”，布局建设四级架构的 AI 算力网络体系¹。中国移动构建以“5G、算力网络、智慧中台”为重点的新型信息基础设施，打造一点接入、即取即用的“算力服务”²。中国联通构建多层次算网协同体系，重点增强承载网与算力资源的自主控制与协同编排能力，实现“一网联多云”和“一键网调云”³。中国广电规划建设一体化算力体系，打造“算网大脑”，建成全国云操作系统，加强视听传播能力建设⁴。

设备商着眼下一代网络设备，不断延展产品形态。面对 ICT 产业融合发展带来的新需求，设备提供商推动技术产品的迭代，最大程度提升和释放设备算力，积极研发具有确定传输、高效计算、数据安全等功能的一体化可编程设备。比如，浪潮在 2021 年推出 5G

¹ “四力”汇聚，算力网络发展迈入快车道 https://www.cnii.com.cn/gxxww/tx/202303/t20230320_455966.html

² “2021 中国移动全球合作伙伴大会召开”

http://www.10086.cn/aboutus/news/groupnews/index_detail_40265.html

³ 中国联通唐雄燕：算网融合未来将走向“一体共生” <http://www.cwww.net.cn/article?id=575153>

⁴ 中国广电布局算力体系，打造“算网大脑”，建立全国云操作系统 <http://yszz.lieku.cn/article/2/22141>

云网融合一体机，包含边缘 IaaS、PaaS、基站、核心网网元及 SaaS，同时具备网络连接能力、边缘计算能力和一体化管理能力。

服务商创新网络架构，进一步提升计算资源价值。针对我国算力分布不均匀、算力资源割裂的问题，服务商不断提高云专网的节点数量、覆盖范围、通信能力及智能调度能力，重点增强网络连接能力，通过自建网络或者与运营商合作的方式，提高自身算力利用率。其中，“分布式云”、“超算互联网”以及“多云互联”等新型网络架构成为算力供给侧新的关注点，比如，阿里云持续增加芯片、服务器、交换机、网络等领域的自研力度。

第三方机构开展标准制定，加强对行业发展的引导规范。在国外，国际电信联盟（ITU）、国际互联网工程任务组（IETF）、宽带论坛（BBF）等加快网络计算化相关标准建设进程，制定总体架构、具体功能、典型应用场景等标准。在国内，网络计算化相关标准已逐步体系化。中国通信标准化协会、中国通信学会等陆续推进标准立项，涵盖总体架构、技术设备、运营服务、测试评估等多个维度。

专栏 国内外网络计算化相关标准研究

在国内，2021 年以来，中国通信标准化协会陆续立项算力网络系列标准，包括了《算力网络 总体技术要求》、《算力网络控制器技术要求》《算力网络 交易平台技术要求》《算力网络 标识解析技术要求》《算力网络 算网编排管理技术要求》等 9 项标准，系列标准为网络计算化中网络与计算协同技术的发展提供了基础和依据。2022 年以来，《算力网络 术语和定义》《算力网络 指标体系》《算力网络 成熟度评估模型》《算力网络 算力网关设备测试方法》等行业标准也陆续立项，从评估、测试维度为网络计算化技术、设备、

服务的发展提供了规范和指导。

中国通信学会推进《算网融合 总体技术要求》、《算网融合 网络基础设施工程实施流程要求》、《算网基础设施 总体能力要求》、《算网基础设施 成熟度评价模型及关键指标》、《算网基础设施 测试评估方法》、《算网安全 总体技术要求》、《面向算网安全的隐私计算技术要求》等 10 余项标准立项，打造包含算网基础设施、算网安全、算网服务等在内的算网融合标准体系。

在国外，2021 年 7 月，ITU-T 通过国际标准《Y.2501 Computing Power Network – framework and architecture》，定义了算力网络的参考架构及功能需求。之后，IETF 先后制定《Computing-Aware Networking (CAN) Gap Analysis and Requirements》《Computing-Aware Networking (CAN) Problem Statement and Use Cases》两项标准，分析了网络和计算资源联合优化的问题和用例，以及算力网络（CAN）的典型应用场景需求，包括考虑在边缘计算节点部署相关服务，将流量引导到适当的服务实例中。BBF 组织立项《Metro Computing Network（SD-466）》，专门研究算力网络在城域网中的应用。

（二）“以网调算”产业发展模式正在形成

网络计算化目前正逐渐形成以网络为基础，以网调算，提供差异化服务的产业发展模式，其中有代表性的包括以垂直行业为中心的定制化服务模式、面向多云/混合云的一体化服务模式、“算力平台+算力交易”服务模式等。

1.以垂直行业为中心的定制化服务模式

面对垂直行业对网络提出的低成本、高安全、自运维和系统融合发展等多样化需求，运营商以 5G+MEC 打造的虚拟专网为基础，与现有 IT 网络实现兼容互通，同时引入网络切片、边缘计算、

SD-WAN 等多种技术，提炼出 IaaS/PaaS/SaaS 丰富的解决方案和产品，实现行业应用网络灵活部署及差异化的网络服务。目前，以垂直行业为中心的网络计算化定制服务模式得到应用。以制造业为例，运营商基于 5G 虚拟专网，通过部署专用核心网切片，将 UPF 下沉到用户侧，同时结合承载网 FlexE 等技术，为制造业企业提供公网与专网的有效隔离或者差异化保障，目前，这种模式已成为制造业园区的重要组网实践，承载精准定位、智能巡检、机器视觉检测等业务应用，充分赋能制造业降本增效和生产数据安全保障。

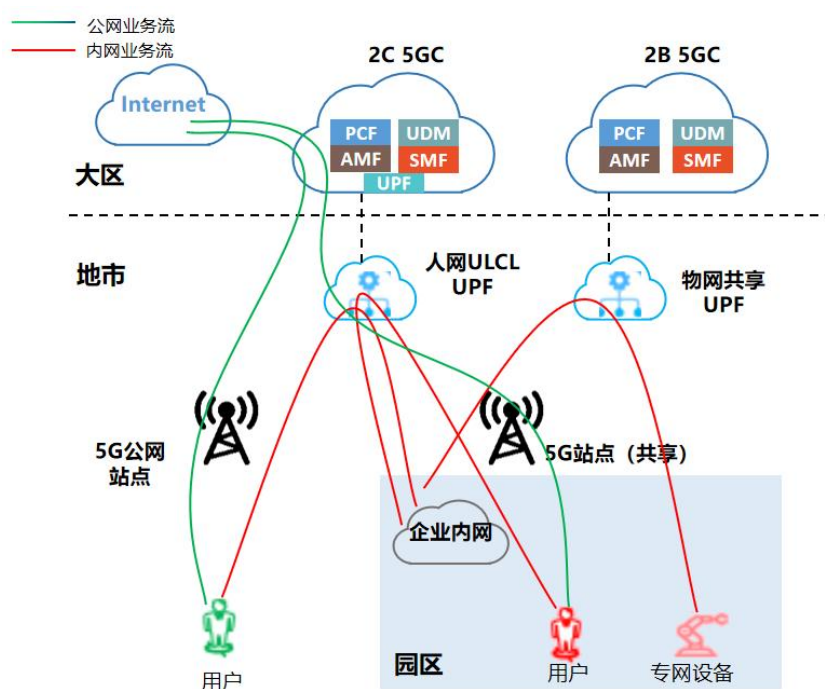


图 2 5G 行业虚拟专网架构

2.面向多云/混合云的一体化服务模式

（1）境内多云间资源调配服务模式

面对多云服务商统一管理，IaaS 基础资源统一纳管，跨云调度等需求，运营商搭建面向多云/混合云的边缘计算云平台，将云联网、算力中心、边缘云站点等进行融合，基于 5G、云联网、云间高速、网络专线等打通处于不同地理位置、不同机房、不同形态的云，从网络层面打通算力中心，实现跨云厂商的资源调配、统一纳管，提升云资源利用率，并进行持续集成与交付，降低各个云的使用门槛，减少企业成本。目前，这一模式已应用于政府、金融、地产等多个行业。以政府机构混合云管理为例，通过搭建统一的多云间资源调配平台，承载各级单位的私有云资源池、公有云资源池等各类云资源，以云专线获取各类云资源的混合多云互联服务，增强异构混合云管理能力和灵活配置能力，实现政务管理、政务服务资源统一申请、统一分配、统一调度、统一监测。

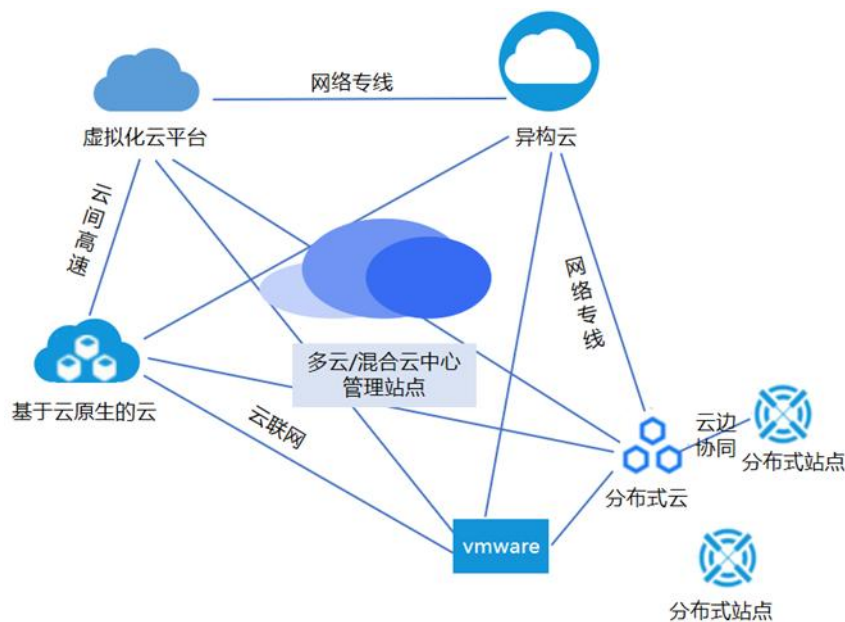


图 3 某运营商混合云算网架构

（2）跨境多云间组网服务模式

面对跨境业务下获取自主可控、灵活异构、便捷高速的算网服务需求，运营商基于跨境网络，通过应用云网接口池化、云网参数池化、配置任务抽象、SDN/SD-WAN 跨平面协同编排等关键技术，将国内外第三方计算资源与自有计算资源进行并网，在供给侧采用“业务申请-资源纳管-自动开通”的业务流程，在用户侧提供“连接+算力+应用”的一站式服务，在全球范围内实现网络计算化服务按需随选。目前，在中资出海、境外回流、跨境业务等场景中，运营商基于统一的跨境多云间管理平台，对 SDN 骨干网和国际、国内云间 Overlay 网络进行一体化配置，屏蔽国际、国内不同云厂商接口差异，根据用户需求，实现网络配置参数方案、厂商平面接口适配、配置任务自动下发等的“一站式业务开通”，实现了计算资源的跨境多云间互通。

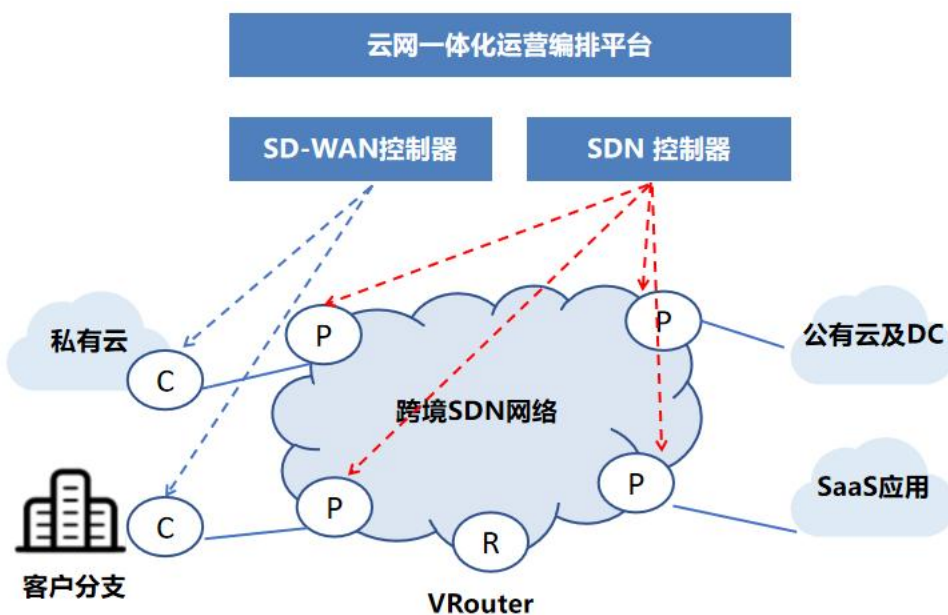


图 4 某运营商跨境云网平台架构

3. “算力平台+算力交易” 服务模式

面对在算力规模不断扩大、算力需求不断增加的背景下，行业用户提出的达成可信算力交易的要求，运营商、服务商采用算力并网模式，吸引第三方供应商将计算资源和服务并入统一平台进行售卖，通过评估环节的设定减少社会闲散算力吸纳的线下环节，引入区块链技术，保证算力交易可确权、可审计，实现对多方泛在、形态异构的算力进行统一的纳管、封装和使用，打造社会多方算力、多层次算力共享的全新网络计算化运营服务模式。目前，在计算资源并网等场景中，运营商、服务商探索构建可信算力并网交易平台，通过引入区块链等去中心化技术，对多方算力资源进行统一的注册和管理，实现算力交易可信溯源，同时从典型的业务场景入手，结合机器学习、AI 等技术，提供基于算网资源需求模型的解决方案，实现分布式算力统一运营、售卖。



图 5 某服务商算网交易平台

(三) 创新技术促进网络计算化落地应用

1. 算力网络

算力网络是计算和网络深度融合的新型网络架构，是网络计算化的一种技术创新应用。算力网络通过无所不在的网络连接云/本地-边-端等多级算力池，如图 6 所示，并利用算力路由、算网编排管理、算力服务等关键技术以实现对全局范围内的网络资源、算力资源和算力服务的可感、可控和可管，从而构建可以感知算力的全新网络基础设施，保证网络能够按需、实时调度不同位置的计算资源，

提高网络和计算资源利用率，实现网络计算化、服务化、智能化应用，为各行各业提供无处不在的算力网络服务。

算力路由：支持对用户需求感知、网络和计算资源信息的感知，通过算力路由控制和算力路由转发实现“网络+计算”的联合调度，将业务调度到最佳服务节点，实现网络和计算资源信息的分发、寻址、调配等。

算网编排管理：支持计算设备的注册、OAM、运营等功能，对网络和计算进行统一管理和监测，并生成算力服务合约以及计费策略对算力进行统一运营。

算力服务：支持算力网络与用户服务（如车联网、AR/VR、智能计算等）信息交互，根据算力和网络的实时状态等信息来将业务或者应用的服务请求，映射为服务应用信息及用户业务请求，包括算力请求等参数，发送给算力路由节点，实现算力服务的按需提供、灵活调度。

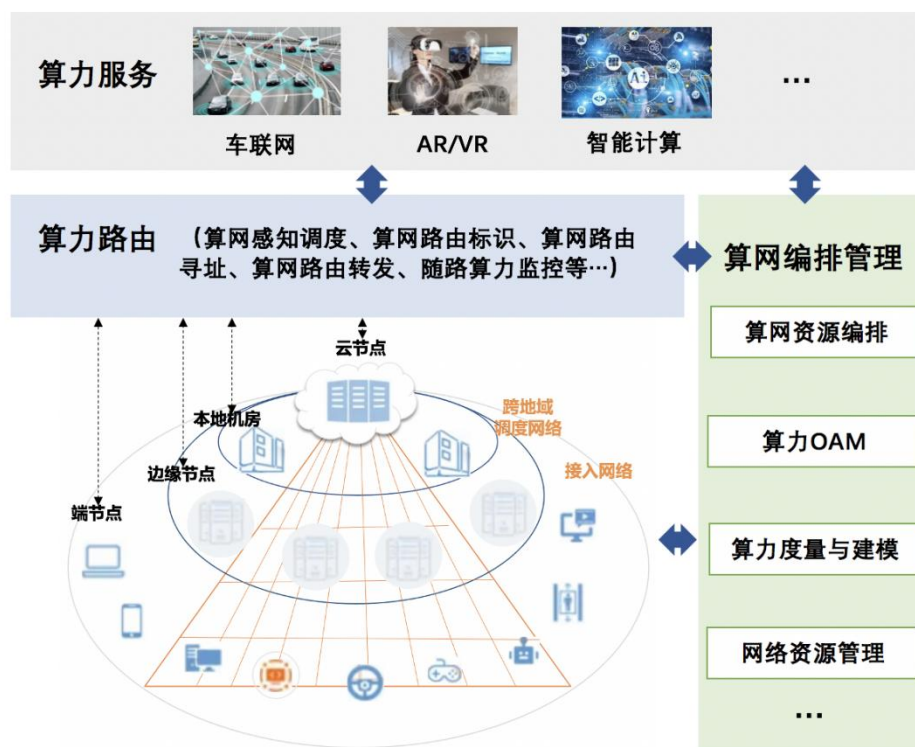


图 6 算力网络创新应用场景

2.在网计算

在网计算由互联的网络交换节点实现计算功能，如图 7 所示，通过任务分解、任务调度、端网资源协同管理、任务动态配置下发、数据平面可编程、在网资源管理抽象、在网计算主机应用改造等关键技术来降低计算任务总体数据传输量，解决系统算力节点计算任务所存在的通信带宽瓶颈，提高总体计算效率。

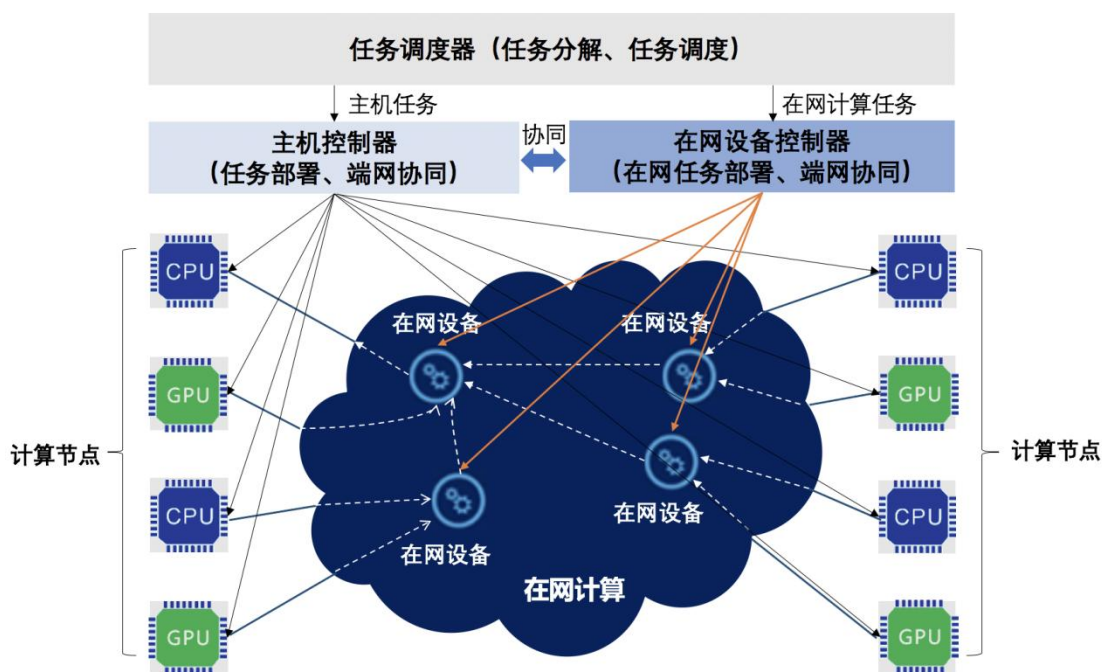


图 7 在网计算创新应用场景

在网计算通过统一控制器，将计算相关的功能（如在网上聚合、在网上缓存、在网上共识、机器学习推理等）卸载到网络设备，为网络计算化应用提供创新支撑。

在网上聚合：针对大数据处理和机器学习中的聚合操作，通过在网上设备实现参数聚合功能，降低聚合计算任务的数据传输量，提高数据处理的整体效率；

在网上缓存：通过在靠近网络边缘的高层次上，利用在网上设备替换传统的存储服务器完成高频内容缓存用于加速查询处理，在低层次缓存上，存储服务器运行含低频内容等缓存内容；

在网上共识：通过将分布式共识系统的协调者节点（Coordinator）和接受者节点（Acceptor）的功能卸载到在网上设备上，一方面缓解

了多对一通信导致的网络拥塞,另一方面减少了网络通信的跳步数,从而降低通信延迟,加速数据面的共识协商;

机器学习推理: 利用在网设备支持神经网络的线上推理计算任务,支持与 CPU 的串行计算,释放运行机器学习应用程序的 CPU 周期,提升计算的并行度,降低推理任务的计算延迟。

3.IPv6+

“IPv6+”是 IPv6 下一代互联网的升级,是面向网络计算化应用的 IP 网络创新体系,包括以 SRv6、网络切片、随流检测 (iFIT)、BIERv6、应用感知 (APN6)、业务功能链 (SFC) 等创新技术。通过 IPv6+技术应用来保障确定性带宽、稳定低时延和高品质网络算力输送,为网络计算化提供了 IP 技术的创新平台和有效支撑。

IPv6+通过引入 APN6 技术进行应用感知能力,通过将 IPv6 协议将应用标识和网络性能需求进行编程,同时基于 AI 算法通过对网络流量历史数据的分析、模型训练,提前预测容量风险和性能瓶颈,提供精细的网络服务和精准的网络运维;基于 SRv6 技术的网络切片、iFIT 随流检测等新技术满足算力东西向实时传输需求,实现网络对计算任务的异构联通、实时感知和智能调度;通过网络切片确保算力的无损传输和安全隔离,基于 SLA 提供差异化服务质量的算网融合服务。

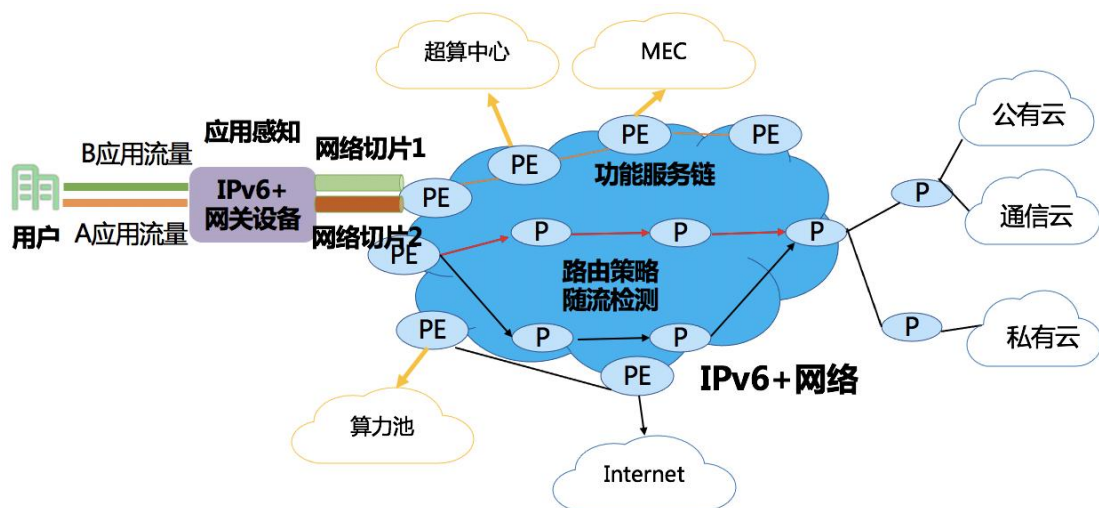


图 8 IPv6+创新应用场景

4.SD-WAN

SD-WAN 作为一种软件定义、智能互联、安全访问、多云一体的新型广域网络应用模式，如图 9 所示，通过云网边端的算力全面互联，实现多种网络计算化服务。SD-WAN 以业务与应用需要为导向，融合多种 ICT 创新技术（SDN/NFV、零信任、IPv6+等），具有软件定义、一体服务、内生安全、算力随享等多种特征。

就近接入，安全访问：支持用户到 SD-WAN 网关的一跳安全直达，并通过 SD-WAN 网直达各个算力资源池（包括公有云、数据中心、超算中心等）；

资源感知，灵活调度：增强各个 SD-WAN 设备网络感知、算力感知等资源感知能力，并依据业务感知信息进行网络灵活弹性调度，用户灵活联接多算力节点，无感弹性伸缩，业务级动态调整；

敏捷运维，算网协同：SD-WAN 管控平台与算力调度系统实时协同，根据算力资源分布情况，需要调用算力时，结合 Telemetry 遥测、人工智能算法、深度包检测技术根据网络流量情况自动动态调整带宽大小，实现算网性能和效率最大化，运力可视、路由优化、业务驱动服务建链、策略协同，实现算网资源利用效率最优。

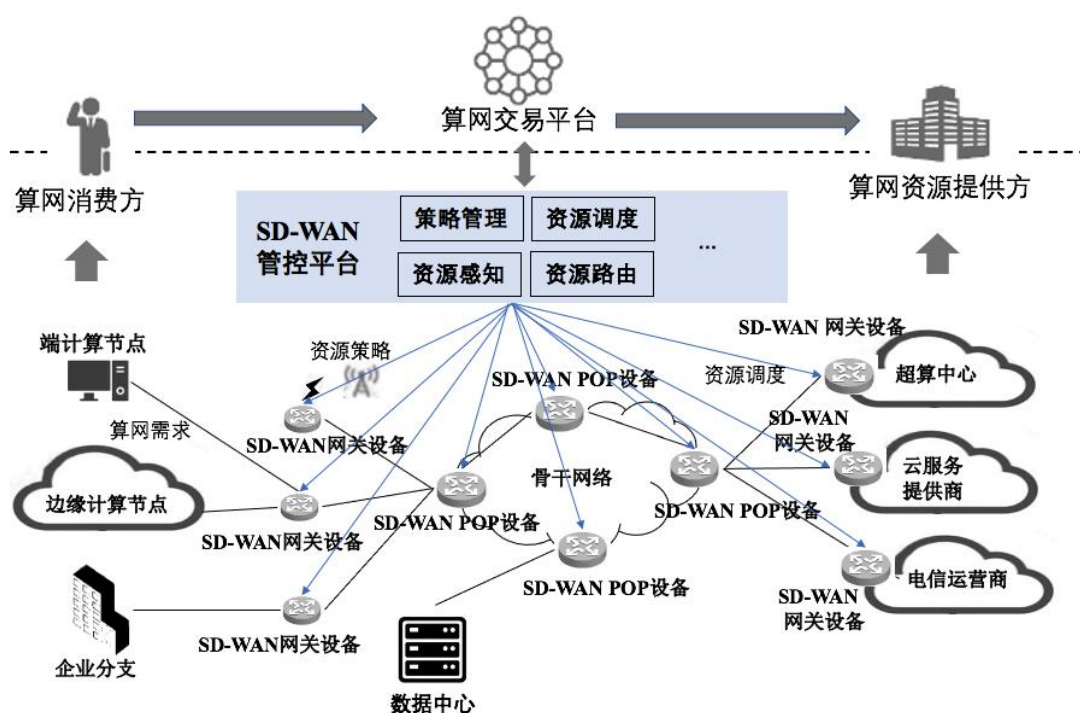


图 9 SD-WAN 创新应用场景

五、网络计算化未来展望

（一）面临挑战

1. 关键技术有待创新突破

网络计算化涉及架构、协议、度量等多种技术的协同演进，而

相关的关键技术依然待创新突破和收敛。**从架构来看**，网络计算化面向边缘计算、异构计算和人工智能等新业务，需要对管理、控制 and 数据进行协同，实现网络计算化按需灵活部署的能力。**从协议来看**，目前仅存在实现数据传输的服务等级协议，而未考虑节点内部算力的负载，难以进行算力的感知及协同调度。**从度量来看**，网络计算化需要综合考虑异构硬件、多样化算法以及业务算力需求，从而形成算力度量和建模体系。

2. 产品服务成熟度不足

一是网络与计算尚未实现深度融合。网络能力的服务化水平没有跟上计算能力的自动化水平，并且，网络类型复杂、接入类型多样，要实现端到端、泛在连接、智能化的网络计算化综合服务依然困难。**二是网络与计算的调度受到制约**。网络计算化方案依然基于传统互联网 TCP/IP 的体系架构，资源和位置绑定、控制与数据绑定、用户与网络绑定等关键问题一直未能得到有效解决。**三是网络计算化目前还处于相对静态、固化的方式运营**。对此，需要进一步推动网络计算化向自智能化的方向演进，实现自生成、自管理、自优化的目标。

3. 落地应用需要不断拓展

目前在垂直行业中落地应用的网络计算化实践相对较少，主要集中在部分行业的部分场景中，尚未进入全面部署阶段。面对垂直行业“千行千面”的特点，需要进一步创新网络计算化应用实践，

适配垂直行业差异化、个性化的需求，真正助力垂直行业完成数字化转型升级。

4.产业协作有待进一步加强

网络计算化目前仍处在发展初期，需要产业各方进一步形成对于关键问题的共识，并在此基础上发挥各自优势，通过各种形式通力合作。供需双方需要加强对接，把握对于网络计算化发展的实质性需求，通过在产品、服务方面的协同创新推动产业全面发展，构建良好的产业发展生态。

（二）发展建议

1.持续推进技术演进

一是推进网络计算化标准体系建设。加快推进网络计算化标准建设，研制包括总体技术要求、典型应用场景等在内的各项标准，以标准建设引领网络计算化发展。二是加强关键技术创新。在基础设施层编排的基础上对平台即服务、软件即服务、网络即服务等一系列相关的上层算法进行创新，利用 SD-WAN 技术与数据面 IPv6+ 技术结合，从资源分配的角度建立统一的算力度量体系以及能力模板，为算力调度构建基础。

2.提升产品服务适配能力

将多类型网络与异构算力资源抽象成资源描述，并按统一的标识体系整合在一起，从而让用户能够跨资源提供方（如电信运营商、

云服务商等）灵活使用各类资源。为不同行业与用户提供高效的差异化、定制化网络融合服务，实现网络和计算的按需供给。

3.加强应用服务推广落地

不断探索能与垂直行业特性深度融合的网络计算化应用实践，积极联合金融、能源、工业制造等重点行业需求开展测试验证和试点。广泛征集网络计算化创新应用实践案例，并对优秀案例进行宣传推广，打造一批有影响力的标杆应用，指引网络计算化在垂直行业各个应用场景逐步落地。

4. 构建协同创新产业生态

依托算网融合产业及标准推进委员会（CCSA TC621）等打造网络计算化产业合作平台，促进供需双方相互对接，多方面开展交流合作，不断整合和优化设备商、运营商、服务商、垂直行业用户等各个环节的能力优势，共同探讨关键问题，构建良好产业生态，促进网络计算化快速健康发展。

算网融合产业及标准推进委员会（TC621）

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-6230XXXX

传真：010-62304980

网址：www.ccnis.org.cn

