工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

面向工业互联网的算力网络研究报告

工业互联网产业联盟（AII）
2025年5月

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

面向工业互联网的算力网络研究报告

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2025 年 5 月

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

声　　明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟
联系电话：010-62305887
邮箱：aii@caict.ac.cn

编写说明

以工业互联网、边缘计算为代表的新兴业务对DIOCT技术融合提出了更高的要求，算力网络进一步融合通信、计算、人工智能等学科领域，是对边缘计算技术的有效升级，是推动传统产业的数智化转型以及激发数字经济发展的新引擎。本白皮书针对工业互联网和算力网络的发展趋势，提出算力网络在工业互联网应用的场景和技术思考。

牵头编写单位：中国移动通信有限公司研究院

参与编写单位：华为技术有限公司、重庆大学、电信上海研究院、中兴通讯股份有限公司、北京邮电大学、北京科技大学

编写组成员（排名不分先后）：

中国移动通信有限公司研究院：刘鹏、王晶

华为技术有限公司：李广鹏、党娟娜

重庆大学：蔡岳平

电信研究院：金嘉亮

中兴通讯股份有限公司：李斌、楚俊生

北京邮电大学：许方敏

北京科技大学：张晓琦

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

目 录

目 录 4
一、 前言 1
二、算力网络发展的背景和趋势 1
（一）算力网络的发展现状 2
（二）算力网络的应用场景 5
三、工业互联网和算力网络的协同发展 8
四、算力网络在工业互联网的应用场景和部署方式 10
（一）算力网络在工业互联网的应用场景 11
（二）算力网络在工业互联网的部署方式 12
五、算力网络在工业互联网应用的关键技术 13
（一）算网度量 13
（二）算网感知 14
（三）算网调度 15
（四）在网计算 16
（五）算网确定性 16
（六）算网数字孪生 17
（七）算力标识 18
六、愿景 18
七、展望 19
参考文献 20

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

一、前言

工业互联网自首次提出以来发展已有10年。工业互联网产业联盟（AII）先后发布了《工业互联网体系架构》1.0版本和2.0版本，定义了工业互联网的整体框架以及技术发展方向。

工业互联网当前已经经过概念普及的阶段，形成了以网络、平台和安全为核心的技术体系，进入到技术应用部署的沉淀期。算力网络作为网络和计算融合发展的全新方向，将进一步促进技术和产业融合，为工业互联网提供新型融合基础设施的支撑。

本报告主要研究面向工业互联网的算力网络技术，探索算力网络与工业的结合及应用方向，通过该研究报告可对算力网络应用于工业生产及管理的工作起到一定的指导作用。

二、算力网络发展的背景和趋势

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

数字经济、产业数字化转型需要更优质的网络连接和更强力的算力满足超大带宽、超低时延、超高安全等业务需求。工业互联网作为新一代通信技术（Communication technology, CT）、控制技术（Operation technology, OT）和信息技术（Information technology, IT）的有机结合，日益成为产业数字化转型和发展的有力支撑，促进着社会、经济的进一步发展。随着新基建战略、东数西算工程的启动和部署，对建设集约高效、经济适用、智能绿色、安全可靠的网络和计算基础设

施提出更高的要求。算力网络作为“算力+连接”的集合，正体现了新基建对5G、工业互联网等融合基础设施和 AI、云/边缘计算、区块链等新技术服务的融合诉求，以及对东数西算工程的有效升级。

算力网络是随着5G、边缘计算的技术融合和分布式部署发展而来，是国内通信产业界首创的新型技术。5G NFV技术开创了网络和计算基础设施的融合路径，边缘计算作为计算和网络基础设施向客户侧的进一步延伸，对降低业务的时延、保障业务可靠性等有明显的优势。面向算力更加泛在化部署的趋势，算力网络可以有效促进中心云、边缘云、边缘网关等多样化算力节点的协同，一方面可以实现无差别的用户服务一致性，满足极致的业务体验；另一方面，通过对资源的高效利用，可以助力实现“双碳”绿色发展目标。

综上，算力网络是以算为中心、网为根基，网、云、数、智、安、边、端、链（ABCDNETS）等深度融合、提供一体化服务的新型信息基础设施。算力网络的目标是实现“算力泛在、算网共生、智能编排、一体服务 ”，逐步推动算力成为与水电一样，可“一点接入、即取即用”的社会级服务，达成“网络无所不达，算力无所不在，智能无所不及”的愿景。

（一）算力网络的发展现状

算力网络目前已经成为产业界发展的热点，运营商、设备商、科研院校等先后加入“算力网络”的研究，基本确立了算

力网络的发展路线和架构体系，并在算力建模、算力感知、算力路由、算力交易等核心技术方向取得初步成果，发表多篇论文并推进相应的标准化制定，同时开展了技术原型的验证和试点工作。中国移动从2021年起相继发布了《算力网络白皮书》[3]、《算力网络技术白皮书》、《算网一体网络架构及技术体系展望白皮书》，确立了算力网络为全新发展计划，阐述了算力网络的十大技术发展方向和核心技术体系，以及面向算网一体的原创技术体系和技术路线。中国电信发布的《云网融合2030技术白皮书》和中国联通发布的CUBE-Net 3.0网络体系中，也都把“算力网络”作为公司未来网络演进的重要方向。

国内外组织已经逐步开展在算网融合方面的相关工作。在国际电信联盟（International Telecommunication Union，ITU）包含有6项标准的算力网络国际标准体系已初步建立，并形成统一术语——算网融合CNC（Computing and Network Convergence），覆盖了IMT-2020及未来网络、NGNe（Next Generation Network Evolution，下一代网络演进）、新型计算，固移融合等技术领域，涉及需求、架构、服务保障、信令协议、管理编排、星算网络等方向。在国际互联网工程任务组（Internet Engineering Task Force, IETF），2019年2月成立了在网计算研究组COINRG（Computing in Network Research Group），主要面向数据中心，研究在网计算技术的需求和应用场景。2022年3月，算力感知网络（Computing Aware Network, CAN）的工作组筹备会BoF（Birds of a

Feather）在 IETF 第 113 次会议中召开，引起 IETF 主席、IRTF 主席、路由域工作组主席等专家的热烈关注。2023 年 3 月，IETF 成立算力路由工作组(CATS, Computing-Aware Traffic Steering)，中国移动担任主席。2023 年 7 月，在 IETF 第 117 次全体会上，首个 IETF 算力网络标准——《算力路由问题陈述、应用场景和需求》完成立项。第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）面向 R19 也开始提出算力感知网络（CAN）等相关立项和讨论。

国内行业组织如 CCSA（China Communications Standards Association，中国通信标准化协会）、中国通信学会、网络 5.0 联盟、IMT-2030(6G)推进组纷纷启动算网一体相关标准的制定。2020 年 9 月，网络 5.0 产业联盟成立了“算力网络特设工作组”。2021 年 7 月，中国通信学会成立算网融合标准工作组，开始算网融合领域的团标制定。2022 年 1 月，CCSA 正式成立了算网融合标准推进委员会（TC621），积极推动算网融合标准实施和产业化。IMT-2030(6G)网络技术工作组已正式启动 6G 网络中的算网一体需求和关键技术研究。2022 年 1 月，中国移动牵头成立了多样性算力产业及标准推进委员会（TC622），致力于推动多样性算力软硬件生态繁荣、带动中国计算产业成熟。2022 年 3 月，在 TC3 第 37 次全会上，首个算力网络行业标准《算力网络 总体技术要求》完成报批。2023 年 11 月，在 TC3 第 41 次全会上行业标准《算力网络 算力路由协议技术要求》和《算力网络 算网编排管理技术要求》完成送审。

（二）算力网络的应用场景

算力网络将改变算力的供给、应用和服务方式，能够大大提升算网服务的灵活性和高效性。算网一体的深度融合可以助力全行业数字化转型，提供网随算动、云网边端、可信共享等多种新服务方式，提升面向生活、行业和社会新兴业务的已有场景体验，同时构筑未来新型场景，赋能千行百业。

1. Cloud VR 视频业务

随着个人和家庭智能终端的逐渐普及，以终端设备和网络连接为基础，算力网络通过提供云边端多层次算力的协同供给和极致可靠的网络保障，可在连接量、数据量、计算量激增场景下，满足用户对智能化、沉浸式生活体验的需求。

在生活场景中，大量终端的服务已通过迁移至云端和边端的方式，来解决终端设备算力限制与高服务体验需求之间的矛盾，如云存储、云手机、云办公等应用，在保证业务服务质量的同时，释放了端侧存储、计算等资源的压力。未来随着虚拟现实、感知技术、图像处理等强交互技术的成熟，人们可在虚拟世界中获得社交、娱乐等丰富的沉浸式体验，可使用全息通讯、脑机或电子皮肤等实现超现实的人与人、人与物的交互，打破虚拟和现实边界，颠覆用户的生活方式。为了同时满足人们对终端“轻、薄”的要求以及高质量、高可靠的服务体验，需要将重计算任务将卸载到边缘计算或者云上。算力网络通过对云边协同服务升级，构建云边端多层次、一体化算力网络体

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

系，可满足上述场景中任务上云的要求，并根据业务中不同任务的差异化的需求智能化匹配到不同层级、不同内核的算力节点，让用户无需关心资源的需求和部署位置，如为视频渲染、低时延要求任务可自动匹配 GPU 算力和高质量网络能力的边侧算力节点， 如下图所示。通过算力网络提供的算网一体服务，可以最大程度简化应用的部署过程，并保障最优服务体验。

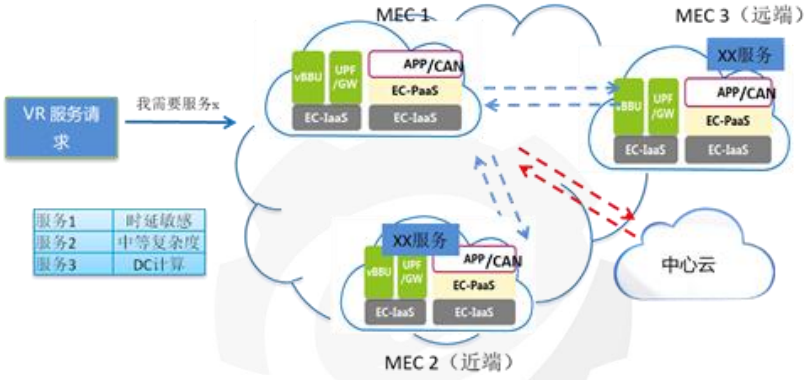

图 1 一体化 Cloud VR 场景

2. V2X 车联网

人工智能、物联网、5G 等信息通信新技术将逐渐在各行业高度普及，与行业作业各环节深度融合，助力行业的数字化转型。未来的生产方式将发生颠覆式变革，包括从观察生产信息到感知生产信息、从操作性工作到创造性工作，这种变革需要更强大的数据处理能力、更高效的数据传输能力，计算和网络将成为行业生产的关键要素。

在智慧交通场景中，通过摄像头、雷达等传感设备，获取交通环境中的多维数据，并通过对海量数据的分析学习，推理出相应策略指导车辆自动行驶、调节交通信号。当前自动驾驶

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

主要依赖车载传感器和算力，采集信息的局限性和算力的性能瓶颈限制了驾驶策略的及时性和准确性。因此为了实现全场景的准确感知和海量数据的高效处理，需要协同车内、车车、车路等多维度的通信场景，基于算网一体化能力，算力网络可将不同时延、算力需求的车内、车间、路侧协同等应用分发到云、边、端算力，并与车内的算网一体化终端协同，最终形成精准、实时的驾驶策略。

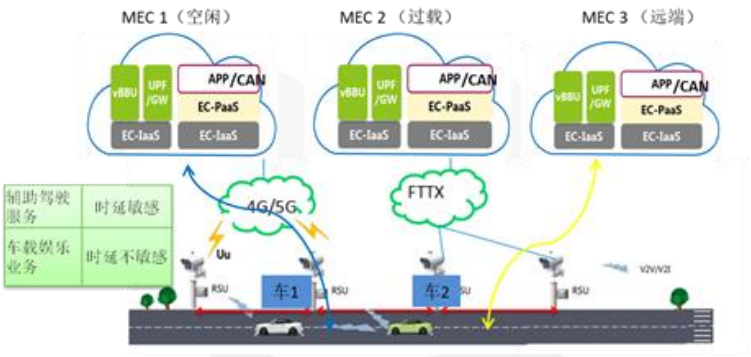

图 2 一体化自动驾驶场景

3. 绿色低碳

随着数据中心的高速发展，“东数西算”工程的全面启动以及“双碳”目标的提出，能耗快速增长成为数据中心产业发展中不可忽略的问题。根据统计，截止到 2020 年我国数据中心年用电量已占全社会用电的 2.7%左右，但数据中心利用率只有 50%左右，说明利用并不充分。传统算力和网络分域优化的模式将导致能耗单域最优而不是全局最优的情况。随着双碳战略的提出，算网分治或运营层面的浅层次协同都将无法满足需求，需要算网一体实现算力域和网络域在调度层面、甚至是基础设施层面的深度协同优化，生成跨域优化的调度策略。“算”和

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

“网”的一体化服务可以有效提升资源利用率，减少网络资源和计算资源的浪费，降低整体能耗，助力“双碳”战略。

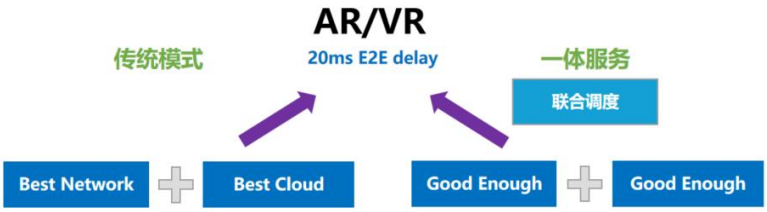

图 3 一体化算网助力双碳

例如，传统模式下，AR/VR 等对“网”和“算”有较高需求的新型应用，需要极致的网和云来保障用户的服务体验，但极致的网和云可能已经远远超过 AR/VR 业务本身的需求，造成资源的浪费，因此可以利用网络和计算组合服务最优，以降低传输成本和电力消耗，助力实现“双碳”目标。

三、工业互联网和算力网络的协同发展

工业互联网网络是构建工业环境下人、机、物全面互联的关键基础设施，根据业务需求和数据流向，工业互联网网络又可进一步划分为工厂内网和工厂外网。工厂内网指在工厂或园区内部，满足工厂内部生产、办公、管理、安防等连接需求，用于生产要素互联以及企业 IT 管理系统之间连接的网络。工厂外网指以支撑工业全生命周期各项活动为目的，满足工厂数据、工业应用、工厂业务需要出工厂与云平台或者其他网络互联需求，用于连接企业上下游之间、企业多分支机构、企业与云应用/云业务、企业与智能产品、企业与用户之间的网络[1]。

工业互联网的计算基础设施包括部署在工业外网和内网中的中心云、边缘云、网关、控制器等。中心云主要处理非实时的大规模数据，可以部署在企业外网或内网；边缘云主要处理有一定实时性、安全性要求的业务，通常部署在园区网络或者企业内网；网关主要处理协议转换等业务，通常部署在企业内网；控制器主要以实时闭环控制业务为重点，通常部署在企业内网的车间网络。随着工业互联网的发展，云化网关、云化PLC的形态也渐渐出现，增加了工业互联网算力节点的种类以及部署形式，不仅要求不同种算力节点间多级的调度，同时对同类节点间的调度也提出了新的需求。

算力网络是网络和计算两大学科的融合，如图1所示，包括以SRv6/G-SRv6、确定性网络、无损网络为代表的IP网络和全光高速互联、全光灵活调度为代表的光网络等网络基础设施，以及多样性算力、算力原生为代表的灵活敏捷的算力底座和边缘计算、端计算为代表的的泛在算力基础设施。

以网络和计算基础设施为基础，算力网络的目标是实现算网一体。在算网一体阶段，网络和计算基础设施从形态上走向深度融合甚至一体化，实现转发及计算；业务请求将分解至异构的分布式服务节点，利用集中式和分布式调度结合的方式实现极低时延的信息处理；网络和计算资源从整体上实现一体化编排管理，充分考虑地域、时间、用户等性质进行统一编排。

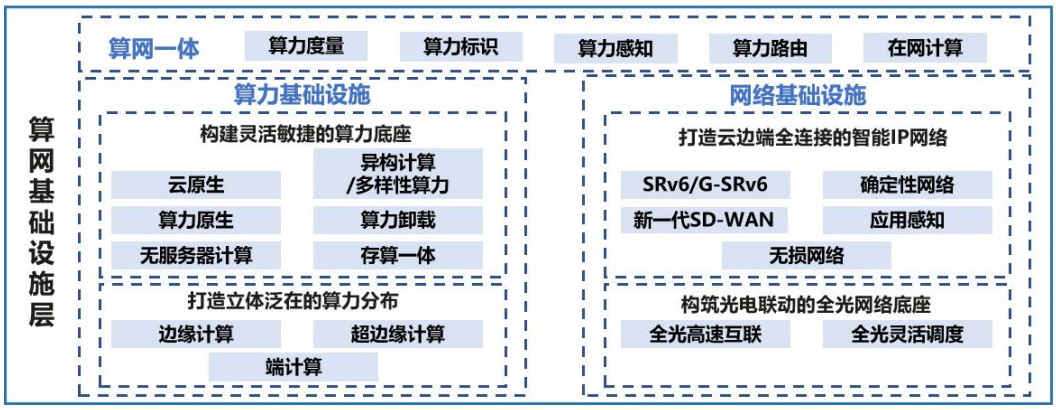

图 4 算力网络技术体系[2]

工业互联网是新一代信息通信技术与工业经济深度融合的新型基础设施，是将互联网、云计算等技术引入工业领域的融合发展方向。算力网络是网络基础设施与计算基础设施的深度融合，与工业互联网可以相互促进发展。一方面，工业互联网可以促进算力网络在垂直行业领域的应用，另一方面，算力网络可以激发工业互联网新的发展动力，实现灵活、高效、集约的工业再升级。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

四、算力网络在工业互联网的应用场景和部署方式

面向互联互通、柔性制造等工业互联网趋势，算力网络可以应用在工业内网和外网，对异构的算力节点进行编排管理，并通过与工业 SDN、IPv6 协议的结合，实现算力的实时感知调度，满足高带宽、低时延的新型工业视觉、工业控制、工业智能等业务需求，如图 5 所示。

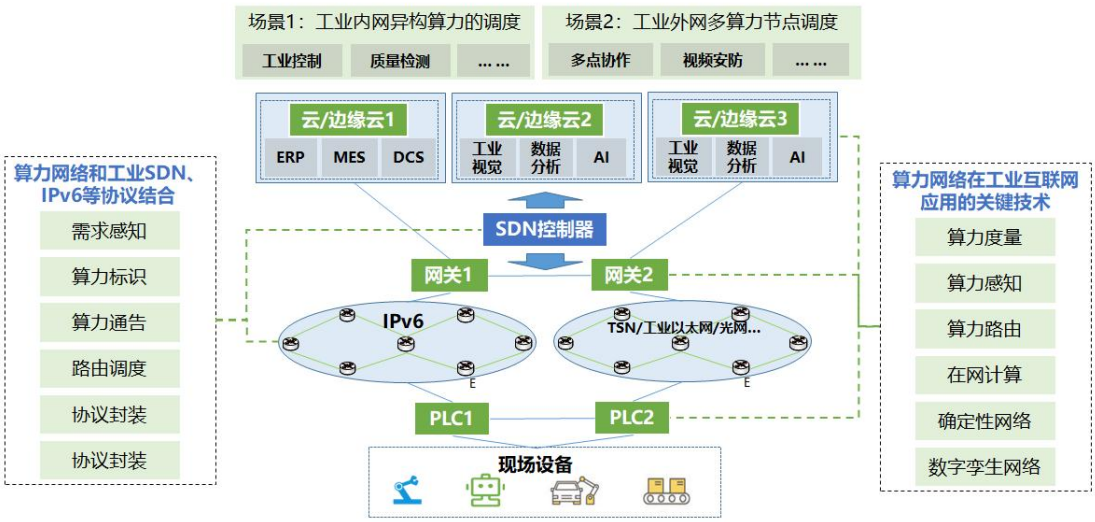

图 5 工业互联网和算力网络协同发展

（一）算力网络在工业互联网的应用场景

算力网络可以应用在工业内网，对边缘云、网关、PLC 等异构算力节点的进行编排管理。不同形态的设备在工业网络中所处的位置不同，所包含的芯片种类以及计算和存储能力不同，相应负责的业务也有所差异。同一类业务中的不同任务可以分别在所对应的计算节点进行，例如边缘智能场景中的云中心训练模型，边缘节点进行推理决策，可以通过算力网络的调度更高效的实现。当前所对应最近的边缘节点负载较高，可以实时调度到附近负载较低的边缘节点执行业务请求。

算力网络可以应用在工业外网，对不同园区或不同工厂的云、边缘云等节点进行协同调度。当前云化 PLC、云化网关的趋势促使计算节点和功能以虚拟化的形式部署，增加了节点之间的管理和调度需求。且由于虚拟化技术和网络技术的提升，

跨工厂、跨园区的远程控制、多点协作场景也逐渐涌现，例如通过云化 PLC 来进行远程控制作业，或者跨园区的多点 AR/VR 来构建虚拟工厂，可通过算力网络实现对网络和计算资源的精准调度。

（二）算力网络在工业互联网的部署方式

工业互联网促进工业网络向灵活组网、IP 化的趋势发展，结合工业 SDN、IPv6 等技术，算力网络可以通过集中式或者分布式的方式实现。

当前工业生产（主要指离散工业）基本上都是“刚性生产”模式[3]，制造环节中机器、设备、辅助工具等需要按照预先的设定进行互联。未来工业生产大规模定制化的特点需要资源组织更加灵活和智能，工业 SDN 可以实现灵活化的组网，通过网络资源的动态调整，打破工厂内部网络刚性组织的局限，实现生产过程的灵活组织及生产设备的“即插即用”，适应智能机器自组织和生产线敏捷部署的要求。算力网络可以与工业 SDN 相结合，可以进一步促进工业灵活化生产的需要。通过增强工业 SDN 控制器，对网络中的计算节点算力信息进行感知和收集，同时结合网络链路的状态信息，选择最合适的计算服务节点和网络转发路径，满足新型的工业场景需求，且实现成本较低，易于部署。

工业现场网络基本采用总线和工业以太网协议，具备很强的专用性和私有性，为互联互通带来较大困难，通过协议转换

等方式也存在效率和可靠性问题。工业 IP 化是指将 IP 协议延伸至工业生产网络，以实现企业办公网络、生产管理网络、过程控制网络以及现场网络的端到端 IP 互联，有利于整个工业系统的全面深层次交互。以 Profinet 、Ethernet/IP 等为代表的工业以太网协议已经支持为现场设备分配 IP 地址，并可以实现 IP 流量与控制信息的共线传送。新一代 IPv6 协议当前已经在产业界逐渐应用，算力网络可以将 IPv6 协议作为统一的数据平面，利用 IPv6 协议的灵活可扩展特性，通过增强边缘网关/路由器/交换机等设备，实现对算力节点信息的采集；并通过 IPv6 协议携带相应的信息，通告至工业网络中，实现分布式的算力感知和路由。相较于集中式的实现方式，分布式方案的更高效更实时。

五、算力网络在工业互联网应用的关键技术

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

算力网络和工业互联网相结合的核心技术包括算力度量、算力感知和路由、在网计算、确定性网络、数字孪生网络等。

（一）算网度量

算力网络提供算力和网络的综合服务，需要统一的度量标准，网络的度量目前已经比较成熟，算力度量是对算力需求和资源进行统一的抽象描述，并结合网络性能指标形成算网能力模板，提供标准统一的度量规则[4]。工业互联网生产中的业务专用性要求相对较高，差异化需求相对明显，对通信、计算、

存储等方面的侧重各有不同。算力度量可以帮助衡量计算任务所对应的硬件要求，为优化整体的服务性能提供基础。

算网度量主要包括三个方面:

面向算力资源的度量。需要支持对算力资源的度量和建模，支持对运营商、服务提供商及第三方算力资源节点提供的算力进行可量化的能力描述。

面向算力需求的度量。需要支持对算力需求的度量和建模，支持对用户的算力需求的可分类分级的描述。

算力度量信息的使用。算力感知和调度中的策略决策模块或者是算网编排管理模块按照用户的需求，合理的分配算力节点完成计算任务。

（二）算网感知

算网感知是对用户、网络和算力资源和服务的部署位置、负载信息等的实时感知，需要打通网络领域、计算领域、应用领域的信息边界，为进一步的协同、调度、融合提供条件。工业互联网中 IT、OT 网络以及企业外网的算力资源分布广泛且差异化，对算力资源和状态的有效感知，可以促进提高算网的管控效率，提升整体的资源利用率。

算网感知主要包括三个方面:

用户需求的感知。需要对用户或业务的需求进行感知，并进一步转化为对网络和计算的需求，可通过数据面报文封装或者控制面下发等方式。

网络资源的感知。需要对网络的资源情况，例如路径的带宽和时延状态进行感知，可通过带内和带外检测或者智能化预测等方式。

算力资源的感知。需要对计算的类型、负载、存储等情况进行感知，可以通过计算域网关收集信息，并通过网络路由协议如 BGP、IGP 等进行通告。

（三）算网调度

算网调度是通过融合计算信息的新型路由和协议，进一步实现高效的算网一体化调度，满足新型业务的端到端算网需求，提升整体资源利用率。工业视觉、AR/VR 等业务逐渐展开应用，对网络的时延和计算的性能同时提出了更高的要求，算力的感知和路由将在面向未来演进的新型业务中发挥优势，保障用户体验。

算网调度主要包括:

算力路由与寻址机制。需要研究从单一距离向量路由到算力、距离多要素叠加融合路由演进，基于 IPv6/SRv6 等协议进行继承性创新，探索 underlay、overlay 以及两者协同的多种技术路线，形成新型路由协议和寻址机制。

算网一体调度算法。结合算力路由信息表和业务需求，通过“算力+网络”的多因子联合计算，按需动态生成业务调度策略，将业务沿最佳网络路径调度到目的算力节点，实现算网一体调度。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（四）在网计算

在网计算面向网络和计算逐步一体化阶段，计算任务开始从网络边缘的数据中心逐渐迁移至网络内部，由交换机、路由器、网关、服务器等设备共同完成计算任务。当前工业互联网中的计算节点种类、部署方式越来越多样化，边缘计算已经促进了业务的分布式部署，在网计算可以进一步加速工业互联网业务的处理，提供无处不在的连接和计算服务。

在网计算的发展还处在初级阶段，主要挑战包括:

网络设备资源受限。可编程网络设备片上存储资源及运算能力受限，限制了在网计算的功能卸载。

异构硬件统一抽象难。AISC、FPGA、多核 CPU 等异构芯片需要统一配置能力，面临挑战。

计算原语碎片化，难以通用。应用相关的功能需要以可重用的原语形式配置到设备中，而非应用本身。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（五）算网确定性

确定性网络自提出以来，首先在车载网络、工业网络得以应用，当前工业以太网、时间敏感网络[5]等技术已经应用在工业互联网，IP 网络的确定性技术和标准仍在制定中[6]。面向工业互联网 IP 化等趋势，可以预见确定性网络将会应用在更广的范围。确定性网络提供更可靠、更精准的网络连接，和算力网络相结合，将为工业互联网提供端到端的确定性服务。

算网确定性主要包括:

网络和计算各自优化。如通过资源隔离+队列调度实现确定性网络，同时通过实时操作系统+线程锁实现确定性计算，从而保障端到端的算网确定性。

网络和计算联合优化。如通过 RSVP 扩展预留计算资源实现一体化的资源预留，通过队列调度扩展至线程排队实现一体化的任务调度，通过跨域延时标识协同不同服务域实现一体化的跨域协同。

（六）算网数字孪生

数字孪生网络是将数字孪生技术引入网络，构建一个具有物理网络实体及虚拟孪生体，且二者可进行实时交互映射的网络系统[7]。在工业互联网中，数字孪生网络可以通过算力网络的计算能力以及实时调度能力更高效准确的采集数据和建模，同时可以与空间物理系统 (Cyber physical system, CPS) [8]相结合构建工业互联网虚拟孪生体，促进工业互联网的自动化、智能化运维和升级。

算网数字孪生主要包括:

构建网数字孪生平台。利用数字孪生和意图网络构建虚实交互的算网数字孪生平台，为高效率的数据采集、虚实交互以及性能优化提供基础。

“双闭环控制”。实现存、算、网资源的智能编排和调配以及创新优化策略的低风险、高效率部署。

（七）算力标识

针对专业性高、差异性大的工厂内智能任务，对算力资源与网络资源进行统一且可验证的标识可为算力调度提供基础。工业外网中算力的流通依赖于对不同数据中心算力标识的统一，且工业计算任务的保密性高，对于算网中存在的大量个人算力资源，亟需统一的标识实现算力的可信鉴权与溯源。

算力标识主要包括:

构建统一标识：工业网络中算力资源存在多样性,利用算力资源计算通信等属性对算力资源的唯一可扩展标识，可以更好地监控和管理算力资源的使用情况，及时发现并处理安全问题，保障算力资源的安全运行。

标识解析互联互通：由于工厂内网和工厂外网算力资源服务商存在多样性，工业网络算力标识解析系统需实现网络标识解析系统互联互通。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

六、愿景

在工业互联网中，算力网络的核心作用是对网络和算力资源的统一纳管以及灵活的调度。工业系统中存在多种形式的算力，在工业互联网边缘计算体系中，一般将边缘节点分为边缘控制器，边缘网关以及边缘云，这三种边缘节点均可部署算力，完成相应的工业计算类业务。除此之外，包括工控机、数控机床等均可作为算力节点，在 5G、TSN、工业

SDN 以及工业 IPv6 的新型网络连接下，实现更加灵活的数据转发和数据处理。不同于边缘计算中的调度主要发生在多级边缘计算节点之间，在算力网络的模式下，也会普遍进行同级计算节点之间的调度，例如网关和网关之间，控制器与控制器之间等。这种灵活的调度模式可以确保工业的控制以及计算任务第一时间得以处理，在广泛的算力节点分布下保持服务的一致性。同时，对于上一节提到的区域性的自治系统，由于算力网络对网络和计算资源进行统筹管理，也会全面的促进其发展和完善。

相信在数字经济战略以及新基建、东数西算等工程的驱动下，算力网络可以充分发挥其新型基础设施的作用，促进产业的智能化升级。

七、展望

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

算力网络是国内首创的融合网络和计算两大领域的新型技术，目标是构建灵活高效、绿色低碳的新一代融合信息基础设施，已经成为产业界的热点。与工业互联网相结合，算力网络可以助力实现统一化、灵活化承载的工业互联网网络和计算平面，满足新型的工业应用需求。目前，算力网络的发展尚处于起步阶段，演进路线和技术体系初具雏形，亟需产业界上下游联合推进，在算力度量、算力感知和路由、在网计算等技术方向实现突破。

参考文献

[1] 工业互联网产业联盟（AII）.工业互联网网络连接白皮书（版本 2.0）[R].2021. Alliance of Industrial Internet(AII). White paper on industrial internet network connection(version 2.0) [R]. 2021

[2] 中国移动. 算力网络白皮书[R].2021. China Mobile. Computing force network white paper[R]. 2021.

[3] 有晓宇, 张奕卉. 浅析工业互联网推动工厂网络与互联网融合发展[J]. 数字化用户, 2019, 000(018):10. Xiaoyu You, Yihui Zhang. Analysis on industrial Internet promoting the integrated development of factory network and Internet [J]. Digital User. 2019, 000(018):10.

[4] 中国移动. 算力感知网络(CAN)技术白皮书.2021. China Mobile. Computing-aware networking technique white paper[R]. 2021.

[5] IEEE. Official website of the IEEE 802.1 time-sensitive networking (TSN) task group. [Online Available] https://www.ieee802.org/1/tsn.

[6] IETF. Official website of the IETF deterministic networking (detnet) working group[S]. [Online Available] https://datatracker.ietf.org/wg/detnet.

[7] 孙滔, 周铖, 段晓东,等. 数字孪生网络(DTN):概念,架构及关键技术[J]. 自动化学报, 2021, 47(3):14. Tao Sun, Cheng Zhou, Xiaodong Duan, et al. Digital Twin Network (DTN): Concepts, Architecture, and Key Technologies. ACTA AUTOMATICA SINICA, 2021, 47(3):14.

[8] Negri E, Fumagalli L, Macchi M. A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. Procedia Manufacturing, 2017, 11: 939−948.

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

[9] 刘鹏,陆璐,李志强.工业互联网技术发展分析及算网融合的趋势思考[J].自动化博览,2023,40(02):29-31.

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet