



# 中国联通算力智联网(AINet) 智算网关白皮书

中国联通研究院

2025年07月

## 版权声明

本报告版权属于中国联合网络通信有限公司研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其他方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国联通研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。



中国联通研究院

## 目录

前 言 .....	- 1 -
一、智算业务发展趋势 .....	- 3 -
(一) 国家政策支持 .....	- 3 -
(二) 算力发展 .....	- 4 -
(三) 人工智能技术与应用发展 .....	- 5 -
二、智算业务典型场景 .....	- 6 -
(一) 数据入算 .....	- 7 -
1.业务场景 .....	- 7 -
2.需求与挑战 .....	- 8 -
(二) 模型训练 .....	- 10 -
1.业务场景 .....	- 10 -
2.需求与挑战 .....	- 13 -
(三) 模型下发 .....	- 15 -
1.业务场景 .....	- 15 -
2.需求与挑战 .....	- 15 -
(四) 推理服务 .....	- 16 -
1.业务场景 .....	- 16 -
2.需求与挑战 .....	- 17 -
三、算力智联网与智算网关 .....	- 18 -
(一) 算力智联网(AINet) .....	- 18 -

(二) 智算网关核心能力 .....	- 20 -
四、智算网关关键技术 .....	- 22 -
(一) 应用与网络感知技术 .....	- 22 -
1.应用感知 .....	- 22 -
2.网络感知 .....	- 23 -
3.算力感知 .....	- 23 -
(二) 资源调度技术 .....	- 24 -
1.算网一体调度 .....	- 24 -
2.IP+光协同 .....	- 24 -
(三) 高效传输技术 .....	- 25 -
1.广域无损传输 .....	- 25 -
2.传输协议代理 .....	- 27 -
3.大象流处理 .....	- 28 -
(四) 安全保障技术 .....	- 29 -
(五) 业务处理技术 .....	- 29 -
1.流量统计 .....	- 29 -
2.业务分流 .....	- 30 -
(六) AI 内生技术 .....	- 31 -
五、总结与展望 .....	- 32 -

## 前言

在人工智能技术的引领下，随着超大规模 AI 模型的规模化落地，人类社会正迈入一个颠覆性变革与机遇并存的新纪元。AI 已从科幻愿景转化为现实生产力工具，正以战略基石的角色驱动各领域创新升级，重构产业价值链。这场技术革命虽为各行业注入智能化转型动能，却也对数字基础设施提出前所未有的更高要求——从海量数据实时处理到端到端快速响应，从超大规模模型训练到在线推理优化，无不呼唤着一个兼具弹性扩展能力、端到端感知能力、无损传输能力、AI 内生能力的下一代智能计算底座。

在迎接生成式 AI 和大模型崛起的过程中，从基础设施侧的算力、网络、存储，到高质量的模型、语料每一个环节都至关重要。中国联通基于 CUBE-Net3.0 新一代网络体系，从算力供给、输送、调度和服务四大方面，构建结构合理、运力充足、体验领先的算力网络，提供“联接+感知+计算+智能”的云网边一体化算网服务，支撑数字经济飞速发展，赋能千行百业。

本白皮书系统梳理了智算业务典型场景及其对网络的需求与挑战，介绍了算力智联网架构与智算网关核心能力，提出智算网关设备在感知技术、资源调度技术、高效传输技术、安全保障技术、业务处理技术、AI 内生技术方面的创新能力，助力打造先进的智算网络，推动智算业务蓬勃发展。

**联合编写单位：（排序不分先后）**

中国联合网络通信有限公司研究院，中国联合网络通信集团有限公司  
建设发展部，下一代互联网宽带业务应用国家工程研究中心

**编写组成员：（排序不分先后）**

唐雄燕，吕洪涛，周又眉，曹畅，刘雅承，庞冉，易昕昕，韩政鑫，  
张乃晗，谷鑫蕊，阮征，刘莹，韩梦瑶，廖思忆，陈佳明，吕丁，  
杜量



中国联通研究院

## 一、智算业务发展趋势

### (一) 国家政策支持

中国已将人工智能(AI)确立为国家战略竞争力的核心引擎，通过系统化、持续深化的政策布局，为 AI 领域的技术突破、产业升级与生态繁荣注入强劲动力。2017 年国务院印发的《新一代人工智能发展规划》旨在构筑中国人工智能发展的先发优势，提出三步走战略目标，锚定了 2030 年人工智能理论、技术与应用总体达世界领先水平，成为世界主要人工智能创新中心。2024 年“人工智能+”行动首次写入政府工作报告，明确要求深度赋能制造业并支持大模型应用及智能终端（如新能源汽车、机器人）发展。在战略规划层面，政策呈现出清晰的递进性与连贯性。

作为 AI 创新的核心基石，算力基础设施建设与算网融合的政策布局同步深化。2023 年国家先后发布《算力基础设施高质量发展行动计划》及《关于深入实施“东数西算”工程加快构建全国一体化算力网的实施意见》，形成从算力供给优化到算网深度融合的系统性政策框架，为智算产业规模化发展奠定基础。2025 年政策进一步细化落地，2 月发布的《工业和信息化部办公厅关于组织开展算力强基揭榜行动的通知》推动算力网络“点、链、网、面”体系化发展，5 月工信部印发的《算力互联互通行动计划》明确 2026 年前建立算力互联互通标准、标识和规则体系，为算网融合提供具体路径。这些政策

为智算业务规模化应用筑牢了算力根基。

在国家政策框架引导下，行业与地方协同发力成效显著。行业层面，教育领域率先启动“人工智能赋能行动”，推进专用大模型开发与规范建设；智能制造、医疗健康等领域已形成通过 AI 提升效率与精准度的典型应用场景。地方层面，区域协同效应加速显现，成都建设 60 余个 AI 创新平台，广东、河南等地重点聚焦“人工智能 + 制造”推动产业升级；各地通过税收优惠、知识产权保护等措施优化营商环境，吸引企业集聚，加速技术商业化落地，初步形成创新驱动的良性循环。

## （二）算力发展

近年来，中国智算中心发展迅猛，随着人工智能技术不断突破，各行业对智能算力需求激增，推动智算中心建设热潮。工信部《2024 算力发展白皮书》显示，伴随制造业实时质检、智慧城市数字孪生等垂直场景需求爆发，2024 年中国智能算力规模达 725.3 EFLOPS，同比激增 74.1%，其中制造业质检场景算力需求年增长率达 210%，西部智能算力占比从 2023 年的 28% 跃升至 41%。中国联通布局“1+N+X”全国分梯次智算资源（1 个超大规模的单体智算中心、N 个智算训推一体枢纽和属地化的 X 个智算推理节点），除运营商外，头部 OTT 公司等也纷纷布局大型智算中心建设，在热点区域部署大规模智算集群。

国内智算基础设施的规模化建设,推动了算网业务从单一数据中心服务向跨区域协同调度转型,实现算力资源高效利用和供需匹配,降低算力使用的成本,提升资源利用率,为各行各业的数字化转型提供强有力的支持。面向算力消费者,智算基础设施通过提供 2H、2B、2C 的普惠算力,实现算力就像用电一样方便,推动实现算力普惠化、社会化,以此加速 AI 业务的普及和发展,提高用户数字服务质量。面向算力提供者,智算基础设施实现算力供应和需求更好的匹配,削峰填谷,提高算力使用效率,避免算力散乱投资造成的浪费,提高算力提供者的投资回报率。面向政府和市场,智算基础设施的建设契合构建全国统一大市场的导向,通过消除算力跨地区交易中的政策、规则不一致带来的障碍,促进算力提供、分配、消费各环节的顺畅衔接,增强算力市场活力和创新力,优化算力资源配置,减少浪费,同时促进 AI 业务发展和消费升级,赋能企业智能化、数字化转型升级。面向产业创新,智算建设参与方集中力量办大事,以充足的算力池资源支撑最前沿的新模型、新智能的创新和探索,实现高水平科技自立自强。

### **(三) 人工智能技术与应用发展**

随着人工智能技术进步和市场扩展,大模型数量呈现井喷式增长,人工智能迎来普惠加速机会。2025 年初,DeepSeek 刷新了市场对现阶段大模型性能的认知,其开源策略结合高效、低成本的架构显著

加速了中国 AI 产业向更加高效、开放和自主的方向迈进。各地政府、央国企等机构积极投入，将大模型与自身职能及业务场景深度融合。与此同时，大模型在推理、多模态等领域的性能持续增强，叠加 MCP 等成熟的智能体开发协议及工具，提升了可自主完成复杂任务的智能体产品的实用性，夯实了 AI 市场增长的潜力。

2025 年被认为是 AI 应用大规模落地的元年，大模型带来的生产力革命将进一步推动各行业的智能化发展。多模态整合能力、自监督学习、可解释性与公平性关注、部署策略优化及特定领域定制化等技术的进步将拓展 AI 大模型在更多领域的应用。智能计算在多个行业中的应用已经取得了显著成效：

1) 在医疗保健行业，AI 驱动的诊断系统能够快速解读医学影像，预测疾病发展，并提供精准的个性化治疗方案；

2) 在金融行业，机器学习算法用于欺诈检测、风险评估和自动交易，极大地提高了金融机构的决策效率；

3) 在汽车行业，自动驾驶技术的发展推动了 AI 在车辆安全和导航方面的应用，提升了驾驶体验；

4) 在零售和电子商务行业，AI 通过个性化推荐、销售预测和供应链管理，帮助企业在激烈的市场竞争中脱颖而出。

## 二、智算业务典型场景

智能时代，在各类 AI 应用的驱动下，智算业务发展迅速，涉及

多行业多领域的复杂场景。根据智算业务的流程及资源需求，进一步将智算业务划分为数据入算、模型训练、模型下发、推理服务四个阶段，如下图所示，各阶段对网络也提出了更多新的需求和挑战。

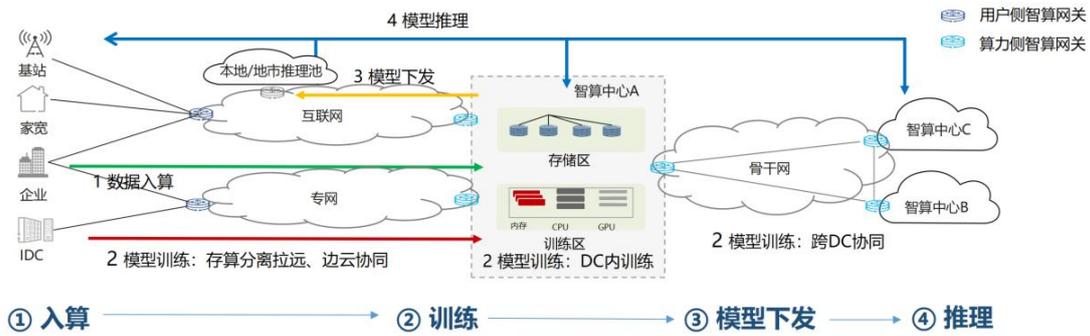


图 1 智算业务的经典场景

## (一) 数据入算

### 1.业务场景

在大模型训练与科学研究等前沿领域，企业及科研机构需将TB/PB级海量数据传输至智算中心。例如，科学研究机构在开展前沿项目时，需将海量实验数据上传至数据中心进行分析处理，以加速科研成果转化；企业为实现大模型的持续训练迭代，通常以周期性任务形式集中上传数据，每周将几十或几百TB级样本传输至智算中心，支撑模型不断训练迭代。

例如典型的“东数西算”场景，上海的企业园区、企业数据中心需要将智算业务数据传输到宁夏中卫的IDC，进行AI大模型训练。在这一场景中，基于算力智联网AINet及智算网关提供的智能弹性带

宽调整、E2E SRv6、业务级保障等能力，实现海量数据的任务式传输，多流并发的高通量数据传输，相同带宽下超大文件传输效率比现有能力提升 4 倍以上，整网链路利用率提升 75%。



图 2 数据入算业务场景

## 2.需求与挑战

数据入算场景使得传统数据传输模式面临显著瓶颈：低带宽专线难以支撑高效传输，高带宽专线成本高昂，物理介质传输周期长且可靠性低，无法满足当前对传输效率与稳定性的严苛要求。同时，海量数据入算对网络架构提出更高挑战：

- **上行带宽激增：**AI 驱动的终端设备（如智能汽车、无人机、物联网）成为海量数据（视频、传感器流）的生产源，亟需网络增强上行传输能力。当前以下行为主的架构需通过优化路由与缓存策略，实现上下行带宽均衡，以支撑 3D 影像、虚实融合等内容传输。

- **多模态实时交互：**医疗影像分析、自动驾驶仿真等 AI 应用依赖文本、图像、视频等多模态数据的实时、无损交互，要求网络具备超高吞吐量、低时延与零丢包能力，尤其在跨域算力协同及边缘计算场景。
- **算网协同需求：**企业入算及多样化算力协同场景的涌现，要求网络具备灵活的算力感知、高效的算力调度与深度的算网协同能力，以适配复杂多变的算力需求。

为应对上述挑战，支撑海量数据入算业务，网络需具备以下核心能力：

- **弹性带宽服务：**支持 100Mbps 至 100Gbps 带宽分钟级开通与秒级调整，按需自动扩缩，保障高吞吐与资源最优。
- **智能路由与负载均衡：**基于 SRv6 构建动态路由，通过全局负载均衡实现数据流智能拆分与多路径并行传输，提升端到端吞吐。
- **一点接入：**实现企业单点接入即可直达通算、智算、超算等异构资源池，支持跨池数据按需调度。
- **差异化服务与计费：**自动识别业务优先级并引流至弹性管道，提供按时延、流量及带宽峰值等多维度的差异化计费模式。

## （二）模型训练

### 1.业务场景

模型训练旨在通过海量的数据和复杂的算法，驱动模型学习数据内在规律和特征，从而具备解决特定任务的能力。从训练流程和目标来看，模型训练可分为预训练 (Pre-training) 与后训练 (Post-training/Fine-tuning) 两大阶段。预训练基于大规模通用数据集，构建模型的基础能力，学习通用知识与特征。此阶段通常采用分布式并行技术（如张量并行、数据并行、流水线并行），分割模型参数并聚合多卡算力，显著提升训练效率。后训练则是指在预训练模型基础上，针对特定任务或垂直领域进行优化，以提升任务性能表现，行业可利用领域专属数据进行微调，构建行业大模型。此阶段常采用参数冻结、模型结构化（如 LoRA）等技术，大幅减少需更新的参数量，实现高效微调。根据算力资源分布与数据存储策略，模型训练场景可进一步细化为以下四类典型场景：

- **DC 内训练：**模型训练过程在单一数据中心(DC)内部署的高性能算力集群上完成，依赖数据中心内低延迟、高带宽的网络互联，是目前应用最广泛的训练部署方式。
- **跨 DC 协同训练：**针对单一 AI 数据中心资源不足或需整合碎片化算力的场景（如超大模型训练或算力租赁），通过跨多个数据中心协同实现算力资源池化。跨 DC 协同训练需要解决广

域网环境下的大流量数据流（大象流）识别、负载均衡、数据安全传输等挑战，并依赖高吞吐、低延迟、高性能的跨数据中心无损互联能力。例如百亿大模型训练需要多个智算中心的资源协同，通过智算网关设备、精准流控技术和并行方式优化技术，实现广域收敛比不低于 16:1 时，训练性能均达到单智算中心训练性能的 95% 以上，使其具备商用可行性。

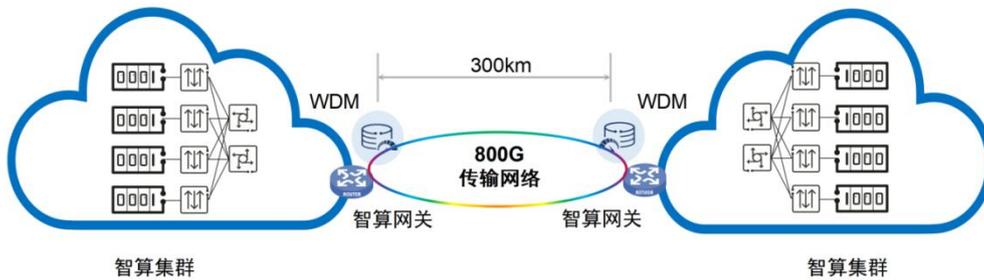


图 3 跨 DC 协同训练业务场景

- 存算拉远训练：**面向对样本数据隐私保护有一定要求的用户，满足其将企业敏感数据存储于本地（用户私域），而训练任务运行于远端 AIDC 的需求，通过存算分离拉远技术，实现用户私有数据存储与远端 DC 之间的高效拉远训练。例如 2024 年 12 月，中国联通在浙江基于服装智造行业“衣瞳行业模型”开展的 AI 训练，其中 30TB 样本数据存储在杭州企业园区，算力资源部署在金华算力中心，实现了跨越 200 公里的“杭州存、金华训”，满足企业边读边训的拉远训练需求，保障敏

感数据不落盘，并通过多线程并发优化、长距 RDMA 无损传输租户级精准流控及存储性能调优，实现跨域训练效率超 97%，分布式存储读写性能提升 5 倍以上。

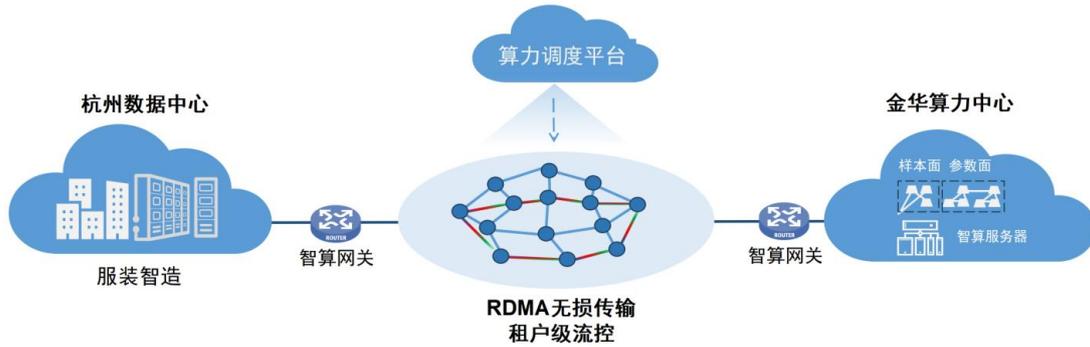


图 4 存算拉远训练业务场景

- 边云协同训练：**存算拉远一定程度保障了样本隐私安全，但是该模式下样本数据仍会通过广域网络传输到智算服务器内存中。对于隐私安全要求极高的行业、客户来说仍无法满足要求。面向此类用户，边云协同训练可以更大程度保障用户数据隐私。边云协同训练模式，需要在企业私域部署少量算卡，同时租用运营商算力中心算卡，通过广域网实现企业私域算卡和云端租用算卡之间的协同训练。此外，在做模型切分时，将模型的首、尾层部署在企业私域算力卡上，模型中间层部署在云端租用算卡。在该模式下，广域网络上仅传递隐变量和梯度信息，云端算卡也没有完整模型，很好地保障了用户的样本数据和模型隐私安全。

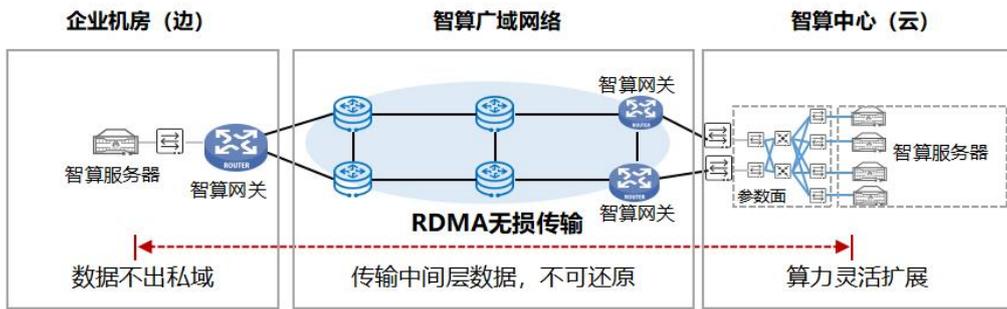


图 5 边云协同训练业务场景

## 2.需求与挑战

模型训练场景，面临资源限制、高效协同、数据安全等挑战，同时对网络也提出了多维度的能力需求。

- **算力资源限制：**人工智能技术发展推动大模型训练的算力需求呈指数级增长。单体智算中心受电力供应、机房空间、硬件设备等因素限制，难以满足超大规模模型训练的算力要求。跨集群协同训练可整合多个智算中心的算力资源，突破单节点算力瓶颈，为大规模模型训练提供充足算力支持。
- **资源碎片化问题：**在多租户场景下，不同租户的算力需求和使用时间差异，导致单体智算中心内算力资源易碎片化。部分租户算力资源闲置，而其他租户则面临算力不足。跨集群协同训练能整合利用多个智算中心的空闲资源，提高算力资源整体利用率，避免浪费。
- **高效的通信与协同问题：**跨集群协同训练需解决不同集群间通

信问题，以实现数据和模型参数的高效传输与共享。在分布式训练中，参数服务器模式下模型参数需在多个节点间同步，通信效率直接影响训练速度。此外，跨集群协同训练还需实现不同集群间的任务调度与协同，确保训练任务在多个集群上合理分配与执行，提高训练效率与效果。

- **数据安全与隐私保护：**在数据安全和实时性要求极高的场景中，企业租用算力时对存算分离架构和数据不落盘的需求日益凸显。如金融交易、医疗影像、政务数据等领域，需确保计算完成后数据不留存于第三方平台，规避泄露风险。这些企事业单位对样本数据有严格的安全标准，要求核心数据存储在其所在园区或单位内，同时在模型训练过程中确保数据不被泄露。因此，算力资源节点与样本数据存储节点需跨广域部署，并在模型训练时保持频繁实时交互，以分批拉取所需样本数据。

为应对上述挑战，支撑训练业务场景，网络需具备以下核心能力：

- **大带宽传输能力：**需要提供 400G 及以上的大带宽链路，满足大规模模型训练中海量的数据和参数传输需求。
- **广域负载均衡能力：**网络级负载均衡，支持数据中心网络和广域网一体调度，全局路径调优，保证网络高吞吐。
- **无损传输能力：**具备 RDMA 无损传输能力，避免数据传输过程中出现拥塞、丢包。网络拥塞场景下，支持向源端发送流控

信号，调节网关速率，保证拥塞不丢包。

- **租户级流控能力**:多租户共享网络资源场景,支持租户级流控,保证租户间隔离、故障/拥塞不扩散。
- **收敛能力**:鉴于训练参数同步时存在流量大并发、高突发特性,需按照最优收敛比建网,平衡算效与建网成本,网关设备智能调度,保证高算效。
- **高可靠保障能力**:具备高精仿真、网络自愈等高可靠能力,以应对网络故障引发的训练任务卡死等问题,确保训练过程的连续性和稳定性。

### (三) 模型下发

#### 1.业务场景

企业在智算中心完成大模型训练或微调后,需要将模型部署在推理池。模型下发需要通过广域网络传输模型文件,一般采用云专线的方式从智算训练中心下发到推理中心。参数量在 13B-70B 之间的中等模型文件一般在 10GB-50GB,参数量大于 70B 的超大规模模型文件大小一般在 50GB-500GB。

#### 2.需求与挑战

模型下发场景对广域网络提出了几十至几百 GB 海量数据的高速、安全传输需求。

为应对上述挑战,支撑训练业务场景,网络需具备以下核心能力:

- **弹性带宽传输能力：**模型下发业务非持续性业务，具备周期性。网络需具备按需弹性带宽挑战能力，按需弹性调整带宽。
- **下行大带宽高通量传输能力：**高效传输模型文件，最大限度缩短模型下发时间，保障模型能及时部署用于推理。
- **安全传输能力：**训练完的模型属于企业的核心资产，通过广域网络分发需要网络具备安全加密传输能力。

## （四）推理服务

### 1.业务场景

推理服务是将训练好的模型应用于实际业务场景中，对新的数据进行实时分析和预测，以提供决策支持或直接的服务输出。AI 推理能力目前已成为网络能够提供的基础能力之一，且大部分推理能力在现有网络中已得到良好支持。

推理服务根据组织方式可分为单点推理和分布式推理两大范式。单点推理指模型在单个计算节点上独立完成推理任务，适用于模型参数量适中（小于 50 亿参数）且时延敏感的场景。单点推理的优势在于部署简单、响应延迟低，且无需复杂的跨节点通信。然而，受限于单点算力，单点推理难以支撑大参数量模型或高并发请求的场景。分布式推理面向超大规模模型（如百亿参数以上的 LLM）或地理分散的数据源，将模型拆分或并行化部署到多个计算节点，通过计算-存储-通信的协同调度实现高效推理，解决推理服务的资源瓶颈和高吞

吐需求。

当前头部推理服务提供商的业务部署中广泛使用 PD 分离框架以实现 KV-Cache 复用，从而以查代算降低推理成本。在此架构下，Prefill 阶段接收原始输入样本，Decode 阶段接收 Prefill 输出的首 Token 以及 KV-Cache，并逐 token 输出推理结果。因此，可将 Prefill 模型，及 Decode 模型的首层(或前几层)和尾层(或最后几层)部署在本地自有算力，Decode 中间层则部署在云端租用算力内，从而在保障所有 Prompt 不出园区的同时实现低成本推理。

## 2.需求与挑战

推理服务是 AI 价值兑现的“最后一公里”，其效率直接影响用户体验和商业可行性。端侧设备（如智能手机、智能家居设备等）与推理算力集群间的高频、富媒体即时交互对网络提出了更高的要求，以确保用户体验推理业务的流畅。

- **多用户接入：**推理场景要求算力网络具备泛在接入各种算力用户，满足百万级用户的并发带宽需求，确保用户能够享受一致的服务体验。
- **确定性服务能力：**推理业务对时延和可靠性有较高的要求，需要网络具备确定性服务保障能力。对于时延敏感或高精度要求的业务（如自动驾驶、工业控制等），要求网络具备低时延、高可靠能力，确保关键推理任务准时无误的稳定运行。

- **数据的安全性和隐私性**：对于金融、政企、医疗等数据敏感的行业，在推理过程中应对数据进行安全隔离，避免数据被窃听或篡改。同时，在分布式推理时应保障模型参数的安全。

为应对上述挑战，保障推理业务体验，网络需具备以下核心能力：

- **泛在接入与高并发承载**：网络实现广覆盖，同时支持百万级用户的高并发接入和 TB 级带宽资源弹性分配，避免拥塞导致性能下降。
- **高可靠低时延传输**：基于 SRv6 和算力感知路由策略，动态选择最优算力节点与最低时延路径，实现 $\mu\text{s}$  级路径切换，规避拥塞与故障，并通过确定性网络资源预留、队列调度技术，提高数据传输的确定性和可靠性，从而满足用户的实时交互需求。
- **安全隔离与可信数据流通**：为不同行业（如金融、政务、医疗）提供逻辑隔离的专属切片、网络层加密，如 IPSec 加密、量子加密等，确保数据不泄露。
- **应用与网络协同**：网络可实时感知推理业务的需求特征，包括计算负载、数据规模、时延敏感度等关键指标，并支持动态资源调度，满足推理业务的差异化需求。

### 三、算力智联网与智算网关

#### （一）算力智联网(AINet)

随着中国人工智能的高速发展，AI 应用加速普惠，赋能千行百

业。人工智能对网络基础设施提出了更高、更复杂的要求和挑战，企业对于网络的定位已逐渐从“信息传输”的管道转为“能力服务”生态。2024年7月中国联通在合作伙伴大会上发布面向智能时代的新一代网络——算力智联网 AINet。AINet 依托“网络+平台”两大基础底座，具备高通量、高性能、高智能三大能力特征，一方面以网强算，实现超强运力，打通东西部数据流通“大动脉”，为多样化智算业务场景提供高效、稳定的传输通道；另一方面以网赋智，实现泛在连接，构建中心到边缘数据通道，让 AI 深入更多场景，惠及更广泛的用户群体。

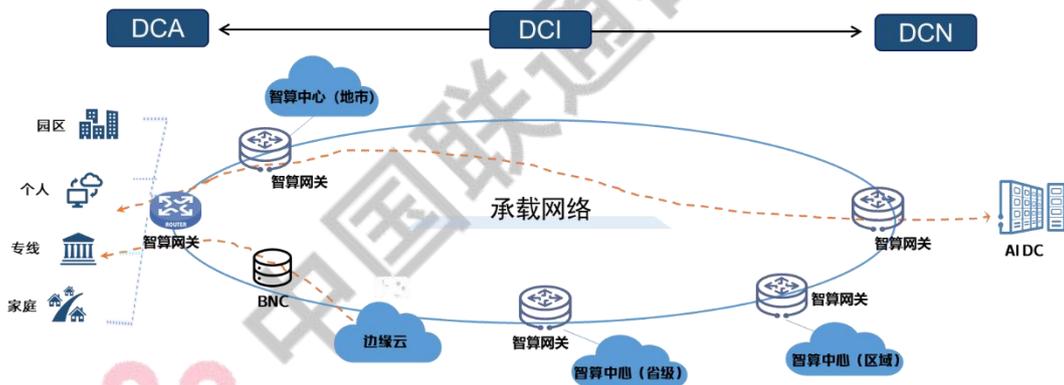


图 7 算力智联网 (AINet)架构

从数据流动的角度看，网络可分为用户到数据中心的接入网络 DCA，数据中心间网络 DCI 以及数据中心内网络 DCN，为保障智算应用端到端质量，AINet 需要实现 DCA、DCI、DCN 的一体贯通。因此，AINet 以智算网关作为入算用算的锚点，实现 DCN 与 DCI、DCA 协同、“云网算”一体融合和“IP+光”深度融合，通过智算网关可

随时随地为用户提供一跳入算的灵活接入服务，提供多层网络传输通道。用户可以任意使用网络连接资源、计算资源、存储资源，实现算、存、网的高效互联以及智算业务的高质量承载。

## （二）智算网关核心能力

智算网关依托应用与网络感知技术、资源调度技术、高效传输技术、安全保障技术、业务处理技术及 AI 内生技术六大关键技术，构建起覆盖网络架构、业务感知、传输优化、安全防护、智能运维及弹性扩展的全方位技术体系，形成以下六大核心能力，为智算场景提供高质量网络承载。

### ■ IP+光融合能力：强基固本，提升网络整体效能

通过 IP 网络与光传输网络的深度融合，实现跨层资源协同调度，有效提升网络整体运力与可靠性，打破传统 IP 网络与光网络分离的局限，在保障长距离传输低时延的同时，增强网络抗毁能力，为海量数据的高速传输奠定基础。

### ■ 应用级感知能力：精准洞察，实现业务差异化服务

基于应用感知网络（APN）等技术，对智算业务流量进行细粒度分析，精准识别业务类型（如大模型训练、AI 推理、高性能计算等），动态感知业务特征（如流量突发性、时延敏感性、数据一致性要求）。在此基础上，为不同业务提供差异化保障策略。

### ■ 流级无损能力：精细管控，保障高性能传输

针对 RDMA、RoCE 等高性能传输协议，基于精准流控算法、协议优化、拥塞感知与反馈等关键技术，消除传输过程中的丢包与延迟抖动，实现流级无损传输，保障大规模分布式训练任务的连续性与效率。

#### ■ 业务级保障能力：定制化护航，满足多元需求

围绕智算业务的多样化诉求（如训练任务的稳定性、推理任务的实时性、存算分离任务的灵活性），构建分层分类的保障体系。通过带宽预留、时延约束、抖动抑制等多维指标，为不同业务提供定制化保障策略。

#### ■ AI 原生能力：智能驱动，实现网络自治

基于 AI 内生技术实现智能感知、智能转发与智能控制，深度感知网络中的各种业务和流量模式，实现业务流量精准预测与资源调配，并自动识别故障根因并触发修复策略，将网络运维从“被动响应”升级为“主动预防”，进而实现网络运营、运维自治。

#### ■ 弹性网络服务：灵活适配，释放资源价值

支持网络资源的按需快速扩缩，动态适配智算任务的突发流量需求（如大模型训练的“爆发式”数据传输、AIGC 生成任务的瞬时流量峰值），实现链路资源、算力资源的弹性调度，既避免资源闲置造成的浪费，又确保关键任务获得充足资源支持，最终实现资源利用率的最大化与成本优化。

智算网关核心能力体系为智算业务的典型场景提供了全链路高质量网络承载，覆盖海量数据入算、跨 DC 协同训练、存算分离训练、边云协同训练、模型下发及推理应用等核心环节。面向移动、家宽、企业及 IDC 用户，智算网关提供“入网即入算”的便捷体验，用户无需关注底层网络细节，即可快速调用智算资源，加速 AI 创新应用的落地。

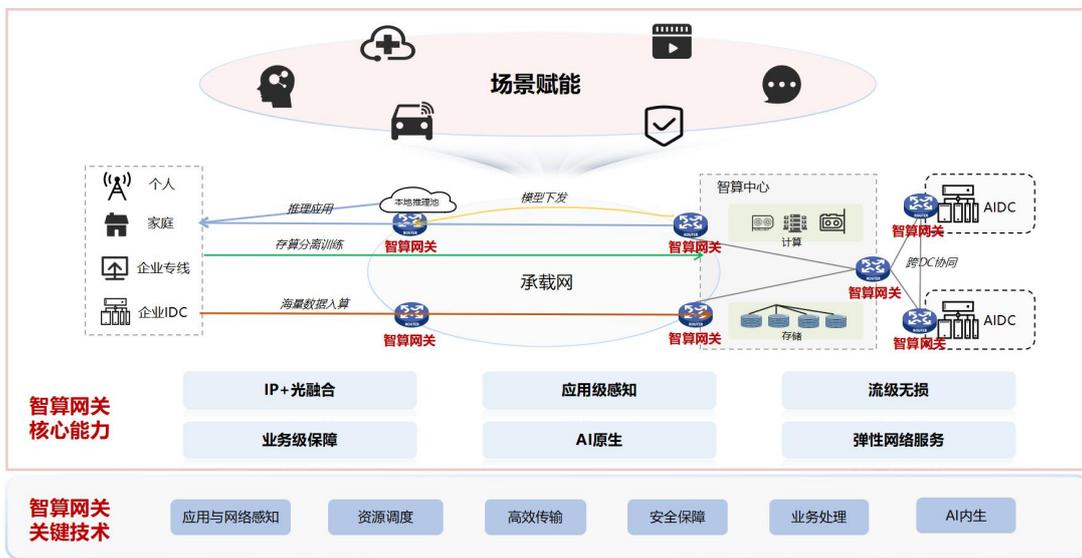


图 8 智算网关能力

## 四、智算网关关键技术

### (一) 应用与网络感知技术

#### 1. 应用感知

智算网关作为连接各类主体的网关节点，需要具备感知应用的差异化和动态变化的需求，以便根据实际需求动态地分配和调整资源，确保每个应用都能得到最优的资源支持。可以利用 IPv6 的地址扩展

空间增加标识，网络通过识别标识获取应用的相关信息。但是应用感知网络能力需要端侧/云侧生态的支持，实现端到端轻量化、可管理的应用感知技术体系和产业生态，构建差异化质量保障的感知底座。

## 2.网络感知

智算网关作为智算网络架构中的关键节点，网络感知能力是其实现高效运行和智能服务的关键。网络感知是通过对网络性能参数的精细化测量，比如时延、带宽、抖动等。网络能够灵活地调整路径编排策略，从而提高数据传输效率，避免资源浪费。同时也可以将实时的网络状态提供给应用，以便应用根据网络状态实时调整传输策略。实时的网络感知方案主要有随流检测(IFIT)和带内操作管理和维护(IOAM)等技术方案，相比于其他网络测量技术，这几种技术通过测量真实数据报文，可以实时、真实反映网络的时延、丢包、抖动等性能指标。

## 3.算力感知

算力智联网包含用户应用、网络以及智算服务节点，智算网关应具备感知智算服务节点实时状态的能力，根据智算算力的实时状态选择最优服务节点。在大数据和人工智能领域，计算任务往往分布在多个地理位置的智算服务节点或边缘设备上。通过感知算力状态可以更好地协调这些分布式的计算资源，实现高效的数据交换和协同工作。

目前算力感知的方式包括集中式和分布式两种，业界正在积极推进算力感知的度量标准化问题，为算网高效调度提供基础。

## （二）资源调度技术

### 1.算网一体调度

智算网关根据应用类型与需求，如业务类别、对网络性能（时延、带宽、丢包率等）要求等，综合考虑网络状态、智算算力资源状态等进行算网一体化调度，支持基于不同业务类型（如时延敏感和时延非敏感等）选择集中式或分布式的不同路由调度模式。通过对计算任务和网络路径的智能分析，动态调整资源分配策略，从而提升整体系统的响应速度和服务质量，以便于为用户提供最优的智算服务。

### 2.IP+光协同

智算网关根据应用感知和算力感知的结果，结合业务特性，按需选择 IP 网络或光网络传输。一方面通过 IP 与光的协同调度，通过跨层优先级互感知及跨层带宽资源适配、流量调度等，保障端到端 QoS、提升资源利用率。另一方面，通过精准的跨层故障定位定界和协同保护控制，实现高效的故障保护和恢复，降低运维成本。目前设备层的融合主要是思科提出的路由光网络(ROn)和 Juniper 提出的融合式光学路由架构(CORA)，主要通过彩光模块集成，省掉传输设备 OTU 板卡。在管控层协同方面，通过管控系统的联合调度与编排，实现 IP 路由与光路径的跨层优化，例如基于 IP 层业务流特征分析，动态调

整光层波长路由，有效降低端到端时延。

### （三）高效传输技术

#### 1. 广域无损传输

随着千亿万亿参数模型上云训练，模型下载推理，带来海量大数据传递的需求，对广域网络提出了业务无损、极致吞吐的诉求。为了实现高吞吐和低时延，业界一般采用了 RDMA 替代 TCP 协议，达到降低时延和降低服务器 CPU 占用率的效果。RDMA 相比 TCP 能提供更高的单流通信带宽，100GE 网络环境下，RDMA 单流能跑满带宽，而 TCP 单流仅能跑到 17Gbps。然而，RDMA 不同于 TCP 协议那样具备滑动窗口、确认应答等机制来实现可靠传输，一旦出现丢包，RoCEv2 需要依靠上层应用检测之后进行重传，会大大降低了数据的传输效率。实验表明，大于 0.1% 的丢包率，将导致网络有效吞吐急剧下降，1% 的丢包率即使使得 RDMA 的吞吐率下降为 0。要使得 RDMA 吞吐不受影响，丢包率必须保证在  $1e-05$ （十万分之一）以下，最好为零丢包。因此，面向广域网络的无损传输成为亟需解决的问题。

广域精准拥塞控制技术实现了基于业务转发路径的 L3 层流控机制，构筑基于用户流队列的拥塞感知、流控反压能力，通过反压转发路径的上游设备出端口的用户队列实现精准流量控制。由于不同租户使用不同的用户队列，队列拥塞状态独立感知，拥塞后反压降速策略

各自独立，租户间完全隔离、互不影响。每个用户队列都能单独进行暂停或重启，而不影响其他用户队列的流量，从而保障广域拥塞不扩散，可以有效避免传统 PFC 头阻、死锁、风暴等问题。广域精准拥塞控制技术通过在网络设备上为每租户创建用户队列，并设置用户队列可用 buffer 和反压门限阈值，当用户队列已使用缓存超过设置的反压门限阈值时，向上游设备发送反压通知报文，通知上游设备停止该用户队列发包；当用户队列已使用缓存降低到反压停止门限阈值以下时，拥塞设备解除拥塞状态，并停止向上游设备发送反压报文，上游设备重新发包，实现用户队列的零丢包弹性传输能力。

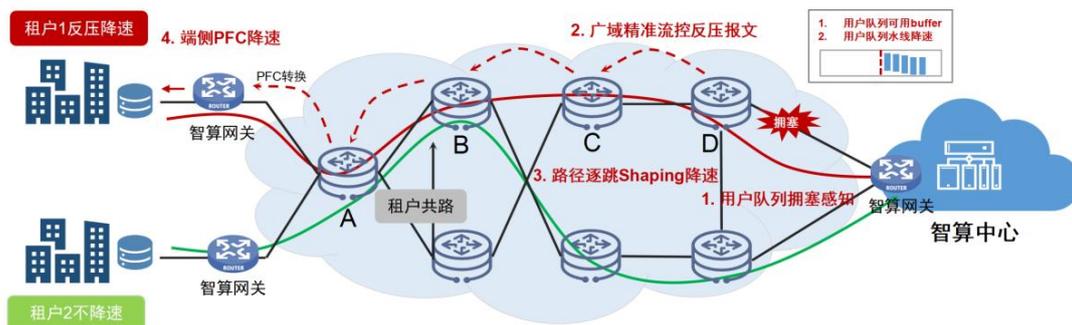


图 9 广域无损租户级精细化流控

在用户接入侧智算网关以及与智算中心相连的算力侧智算网关基于广域精准流控技术可以与数据中心 DCN 网络设备实现传统 PFC 技术的协同，实现端到端弹性速率控制，使能网络级缓存机制，实现网络无损传输。

## 2.传输协议代理

传统的 RDMA Go-Back-N 机制在数据传输过程中，存在一定局限性。当网络出现丢包、乱序等异常状况时，GBN 机制会触发大量数据包的重传操作。这种频繁的重传，不仅占用了宝贵的网络带宽资源，使得原本可用于正常数据传输的通道被部分阻塞，还会消耗额外的计算资源用于数据包的处理与协调。如此一来，整体网络的吞吐率便会受到显著影响，无法充分发挥 RDMA 技术本应具备的高速传输效能。而广域网络由于其复杂且长距的网络传输环境，丢包不可避免。

智算网关集成 RDMA 协议传输代理机制，通过 Selective 方式在网络丢包场景下实现端侧 RDMA 网卡无感知的报文重传技术。以存算分离拉远训练业务为例，智算网关作为发送端代理节点，支持提供 T1 时间的报文缓存能力。当接收端代理节点(智算网关)收到 PSN 序列号不连续报文时，触发生成 NACK 通知报文，发送端代理节点截获 NACK，通过查找本地缓存，重新发送 PSN 序列号的 Packet，选择性重传 RDMA 报文。接收端代理节点重新接收丢失 PSN 序列号报文，基于报文排序机制重组形成完整的 RDMA 数据报文，发送给接收端网卡。

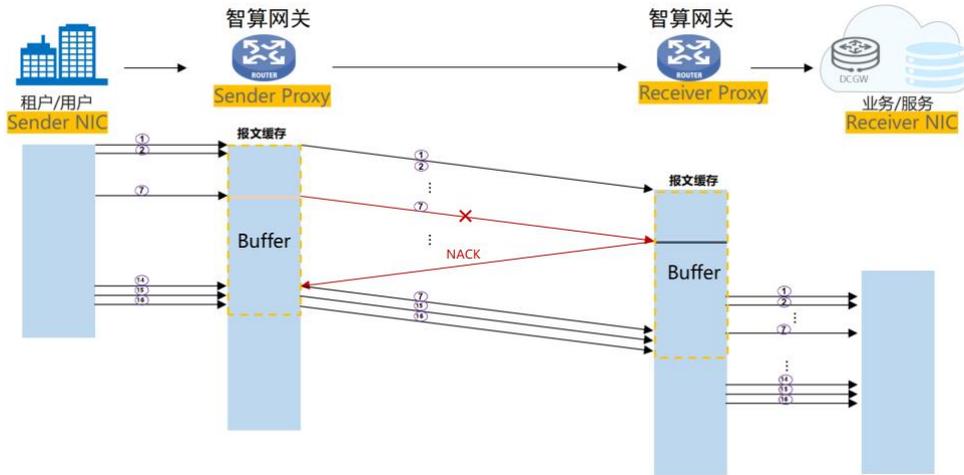


图 10 RDMA 协议传输代理

协议传输代理机制通过优化 RDMA 传输机制，使得数据能够以更快的速度、更高的准确性在计算节点与存储节点之间穿梭。计算节点无需长时间等待数据，得以迅速投入到下一轮的运算之中，进而大幅提升了算效，使得训练业务的运行效率实现质的飞跃，为诸如人工智能训练、大数据分析等密集型计算任务提供了坚实的性能保障。

### 3.大象流处理

智算业务流量往往具备流数量少、单流大的特点，也就是业务流中大象流占比高。目前广域网普遍采用逐流负载均衡技术，该技术基于数据流的五元组进行 Hash 负载均衡，不考虑每条流实际载荷，当网络中存在大量小载荷流量时，负载均衡效果较好，但是当网络中存在较多大象流时，会导致大象流集中在少数链路中造成链路拥塞。因此传统的广域网络负载均衡技术在智算业务场景下无法实现网络级

带宽均衡, 智算网关应具备大象流智能识别调度与多队列对(QP)负载分担技术。通过网络控制器实时采集链路可用带宽数据, 结合 SRv6 多 list 的智能规划能力, 在智算网关上进行业务流级的流量统计与排序, 精准识别出占用大带宽的“大象流”。针对这类关键流量, 采用非等价多路径(UCMP)负载分担算法进行动态调度, 通过调整路径权重和带宽分配策略, 实现“大流走大路, 小流走小路”的差异化路由。

#### **(四) 安全保障技术**

部分安全性要求较高的科研等敏感数据传输场景, 需要智算网关提供安全加密的能力保障数据传输的安全性。传统网络加密方式一般采用互联网安全协议(IPSec)技术构建虚拟专网(VPN)。由于 IPSec 是点对点的加密技术, 只支持基于隧道的协商, 无法基于路由和业务进行加密, 存在无法满足大型组网场景和无法满足基于 IPv6 的段路由(SRv6)加密场景两大问题。由此, 业界提出了 xSEC 加密技术, xSEC 技术可为海量数据传输提供端到端的安全加密服务, 基于“一次加密, 全程保护”能力, 降低智算业务配置和运维的复杂度, 同时与 SRv6 技术联动实现按段动态选择加密算法, 随路加密, 提高智算网络的可靠性。

#### **(五) 业务处理技术**

##### **1. 流量统计**

智算网关作为算力智联网的核心枢纽, 面向不同用户的多类智算

业务，可提供精细化流量监测与数据统计服务，基于标识实时监测并统计经过网关的数据流量。统计过程中支持自定义的统计维度与上报周期配置，如按时间粒度（分钟级/小时级）、业务类型、用户组等维度进行数据聚合，通过标准化接口将统计信息实时上报至管控系统。智算网关具备高度的智能化处理能力，通过对流量数据的深度分析，能够识别出流量的峰值时段、流量异常波动等关键信息，为网络优化和资源分配提供决策依据。这些流量统计信息，一方面为计费系统提供精确的资源使用凭证，支持按需计费、阶梯定价等灵活计费模式；另一方面为网络监控提供了实时数据支持，帮助运维人员及时发现并处理潜在的网络问题，保障智算业务的稳定运行，满足智算中心多样化的运营管理需求。

## 2.业务分流

不同用户（如个人用户、家庭用户、企业用户）以及不同类型的智算业务（如模型训练、推理任务）对网络性能（如带宽、延迟等）要求各不相同，为了满足差异化的网络承载需求，智算网关基于用户类型和业务需求，将智算业务的流量引导至最优网络承载通道。如时延敏感型智算业务，智算网关会将其流量引导至低延迟的智能城域网切片路径；而对于协同训练的业务，则会优先选择高带宽的 400G ROADM 网络。此外，智算网关还支持根据业务需求将流量分流至 China 169 网络、CUll 网络等不同的骨干承载网络。智算网关分流

功能通过业务与网络的精准匹配提升资源利用率，可根据业务发展需求动态调整分流规则，确保各类智算业务的稳定性和高效性，有助于构建灵活、高效、可靠的智算网络基础设施，推动智算服务的广泛应用和发展。

## （六）AI 内生技术

智算网关集成 AI 原生能力，具备智能感知、智能转发与智能控制三大核心能力特征，旨在深度感知网络中的各种业务和流量模式。通过对数据流的实时监测和分析，可以准确地获取网络实时状态与需求变动，进而实现网络运营、运维自治。

智能感知体现在对网络流量的实时监控与分析能力。智算网关能够实时监控网络中的数据传输情况，包括数据的传输速度、传输量以及数据所属应用类别等。这使得智算网关能够迅速发现网络中的异常情况，如网络拥堵、数据泄露等，从而及时采取措施进行干预，保障网络的稳定运行。智能感知不仅可以显著提升网络稳定性和安全性的保障能力，同时也为用户提供了更为便捷和优质的网络使用体验。

智能转发体现在对网络流量的智能预测和调度能力。智算网关能够根据如应用优先级、设备类型、网络负载情况等历史数据和当前网络状况，预测未来一段时间内网络流量的变化趋势。基于这些预测结果，智算网关可以提前进行带宽的调度和分配，为关键应用或设备提供充足的网络资源保障。

智能控制体现在对网络的自动故障排查和修复能力。智算网关能够通过实时监测网络状态，可以对故障或异常自动进行诊断和修复；通过搭配智能光模块，还能够将链路故障进行分类，为用户提供更加稳定的网络服务。

## 五、总结与展望

智算网关是下一代互联网的核心网络基础设施，以其为锚点推动实现弹性超宽、广域高运力、超长距无损等算力智联网的目标网架构落地，持续构建算力互联、传数用算的网络基础底座，加速算网一体化服务的新商业模式探索；通过网络高运力、无损能力实现跨广域的 DC 间算力协同，形成“以网强算”的分布式，突破传统集中式算力瓶颈；综合运用精准流调度、大象流精确识别等技术，构建动态感知与智能调度的网络基座，实现算力资源的高效协同与全局优化，探索算网协同的一体化服务新模式。

展望未来，中国联通将围绕智算网关，加快下一代互联网创新和探索，与合作伙伴在核心标准技术储备、网络关键技术研究及示范、试点建设及网络演进、商业模式探索等方面开展研究合作，共同推进高通量、高性能、高智能的算力智联网发展，以算网创新、数智创新推动产业创新；以网络向新、技术向新，实现服务向新，为国家人工智能大战略注入新动能，发挥中国联通的价值和影响力！

中国联通研究院根植于联通集团（中国联通直属二级机构），作为中国联通科技创新专业子公司，自2022年起，挂牌成立中国网络安全研究院、下一代互联网宽带业务应用国家工程研究中心及首个国家级网络安全产业知识产权运营中心，形成“两院两中心”发展格局，开创了研究院高质量发展的新局面。

中国联通研究院作为服务于国家战略、行业发展、企业生产的战略决策参谋者、技术发展的引领者、产业发展的助推者，坚持以高水平科技自立自强为使命担当，聚焦网络强国、数字中国主责，拓展联网通信、算网数智业务，形成“态度、速度、气度、有情怀、有格局、有担当”的企业文化，以下一代互联网、光网络、5G-A/6G、网络安全、数智网优、低空智能网联和新型智库研究七个领域为主攻方向，坚持“四个聚焦”，开展关键核心技术攻关、科创力量建设、专业技术人才队伍建设、创新成果转化等工作，着力实现价值创造提升、战略科技力量提升、专精特新能力成色提升，争做通信行业科技创新主力军，努力建设成为“国家信赖、行业领先、集团倚重、员工自豪”现代化一流研究院。

## 战略决策的参谋者 技术发展的引领者 产业发展的助推者

态度、速度、气度

有情怀、有格局、有担当

中国联合网络通信有限公司研究院

地址：北京市亦庄经济技术开发区北环东路1号

电话：010-87926100

邮编：100176



中国联通研究院



中国联通泛终端技术