



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

中国联通算力网络实践案例

(2021 年版)

中国联合网络通信有限公司

2021 年 12 月

版权声明

本白皮书版权由中国联合网络通信有限公司拥有，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，应注明内
容来源。

指导单位：中国联通集团网络部，中国联通集团科技创新部

编写单位：中国联通集团研究院，中国联通北京市分公司，中国联通河北省分
公司，中国联通广东省分公司，中国联通山东省分公司，中讯邮电咨询设计院

前 言

2019年11月，中国联通发布了业界首部《算力网络白皮书》，阐述了未来算力业务形态、平台经营方式、网络使能技术等方面的观点，对算力网络的技术研究和产业推动产生了积极影响。2020年10月，中国联通发布《算力网络架构与技术体系白皮书》，结合新基建等最新政策导向与IPv6+时代可能的商业模式创新，阐述了中国联通算力网络架构设计、功能模型、层间接口与各功能层的关键技术，并结合若干场景对算力网络的应用和部署方式进行了展望。2021年3月，中国联通发布了《中国联通CUBE-Net 3.0网络创新体系白皮书》。CUBE-Net 3.0以实现算网一体为重要目标，在基于SDN/NFV的CUBE-Net 2.0基础上，融合云原生、边缘计算、人工智能、内生安全等新的技术元素，强化要素深度融合，构建支撑经济社会数字化转型的新一代数字基础设施。

2年多来，除了技术研究，中国联通在算力网络方面还开展了多方面的实践探索。经过对这些算力网络实践案例的深入分析和探讨总结，在联通集团网络部、科技创新部的指导下，由中国联通研究院牵头，组织北京联通、河北联通、广东联通、山东联通和中讯设计院的多位专家撰写了《中国联通算力网络实践案例》。本白皮书在CUBE-Net 3.0新一代网络架构的指引下，参考行业多方观点，结合算力网络发展趋势、新基建等最新政策导向与IPv6+时代潜在的商业模式创新，详细介绍了中国联通算力网络的应用实践成果，并结合若干场景对算力网络的创新应用和部署方式进行了展望。

希望本白皮书在算力网络的探索与实践方面对行业起到抛砖引玉的作用，推动网络与计算深度融合，构建面向未来的“大联接+大计算”数字信息基础设施新格局。

目 录

| | | |
|-----|------------------------------------|----|
| 1 | 中国联通算力网络研发历程回顾 | 1 |
| 2 | 中国联通算力网络架构与行动计划 | 2 |
| 3 | 北京联通：算力网络资源感知，打造“边边协同”智慧安防服务 | 4 |
| 3.1 | 实践背景 | 4 |
| 3.2 | 案例描述 | 4 |
| 3.3 | 实践成效 | 6 |
| 3.4 | 发展思路 | 6 |
| 4 | 河北联通：算力网络智简切片，打造数字智能政务 | 7 |
| 4.1 | 实践背景 | 7 |
| 4.2 | 案例描述 | 7 |
| 4.3 | 实践成效 | 8 |
| 4.4 | 发展思路 | 8 |
| 5 | 广东联通：算力网络业务链，打造“云网安一体”服务 | 8 |
| 5.1 | 实践背景 | 8 |
| 5.2 | 案例描述 | 8 |
| 5.3 | 实践成效 | 9 |
| 5.4 | 发展思路 | 10 |
| 6 | 山东联通：全光算力网络，打造“智慧光云十六城” | 11 |
| 6.1 | 实践背景 | 11 |
| 6.2 | 案例描述 | 13 |
| 6.3 | 实践成效 | 13 |
| 6.4 | 发展思路 | 14 |
| 7 | 算力网络未来发展展望 | 15 |
| | 参考文献 | 16 |
| | 缩略语 | 17 |

1 中国联通算力网络研发历程回顾

联接+计算是国家新基建战略的核心。2020年4月，国务院常务会议明确我国新基建的发展路径：一是要根据发展需要和产业潜力，推进信息网络等新型基础设施建设。二是要着眼国内需求，以应用为导向，挖掘中国市场规模巨大的潜能，积极拓展新型基础设施应用场景。2020年12月，国家发改委发布《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》，推动算力、算法、数据、应用资源进行集约化和服务化创新；加快建立完善云资源接入和一体化调度机制，以云服务方式提供算力资源，降低算力使用成本和门槛。进入2021年后，国家关于加快数字经济发展和支持数字基础设施建设的政策密集出台。2021年3月，全国人民代表大会表决通过中华人民共和国“十四五”规划和2035年远景目标纲要，提出建设高速泛在、天地一体、集成互联、安全高效的信息基础设施；全面推进互联网协议第六版（IPv6）商用部署；加快构建全国一体化大数据中心体系，强化算力统筹智能调度，建设若干国家枢纽节点和大数据中心集群。2021年6月18日，国家发改委等联合发布《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》，推动数据中心合理布局、供需平衡，构建数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络，加快实施“东数西算”工程。同年10月18日，中共中央政治局就推动我国数字经济健康发展进行第三十四次集体学习。会议强调，要加快新型基础设施建设，加强战略布局，加快建设高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合性数字信息基础设施，打通经济社会发展的信息“大动脉”。

基于国家政策和产业趋势，中国联通积极研究和构建算力网络，使能业务创新，以期实现产业共赢。在2019年6月召开的网络5.0峰会上，中国联通率先提出了发展算力网络，迈向算网一体的技术设想。两年多来，中国联通结合国家数字经济发展和企业数字化转型，在算力网络的技术攻关、产业合作和生态建设方面做出了积极贡献。具体可概括为：

产业引领方面，2019年11月，中国联通发布了业界首部《算力网络白皮书》，阐述了中国联通对未来算力业务形态、平台经营方式、算网关键技术及主要应用场景等方面的观点，对算力网络的技术研究和产业推动产生了重要影响。2020-2021年中国联通在算力网络领域陆续发表《算力网络架构与技术体系白皮书》，

《异构算力统一标识与服务白皮书》，《云网融合向算网一体技术演进白皮书》等；2020年12月，中国联通撰写的《算力网络前沿报告》在中国通信学会年会发布；2021年3月，中国联通发布了《中国联通 CUBE-Net 3.0 网络创新体系白皮书》。CUBE-Net 3.0 以实现算网一体为重要目标，在 SDN/NFV 基础上，融合云原生、边缘计算、人工智能、内生安全等新的技术元素，强化要素深度融合，构建支撑经济社会数字化转型的新一代数字基础设施。“算力网络”是中国联通 CUBE-Net3.0 最重要的技术方向。

联合攻关方面，中国联通 2020 年 11 月在科创大会上牵头成立了国内第一个算力网络产业联盟“中国联通算力网络产业技术联盟”；2021 年 6 月，北京联通首次在现网验证了算力网络 CFN 关键技术能力；2021 年 9 月，中国联通发布了大湾区算力网络行动计划，并在广东联通成立算力网络联合实验室，在北京联通成立“IPv6+”联合创新实验室，持续推动 IPv6+ 与算力网络关键技术发展及创新实践。

技术研究方面，中国联通 2021 年 2 月在《China Communications》发表了业界第一篇论述 6G 算力网络的 SCI 论文；2021 年 9 月联通研究院出版了该领域行业第一部专著《算力网络——云网融合 2.0 时代的网络架构与关键技术》，同年《算力网络前沿报告》获评工业和信息化优秀研究成果，“算网一体技术与服务体系”项目获得未来网络领先创新科技成果奖，“算力网络异构算力统一标识体系与应用创新”项目获得网络 5.0 领先创新科技成果奖；三年来中国联通在算力网络领域发表十多篇论文，申请数十篇专利，在 ITU-T、ETSI、CCSA 等组织立项多项标准。

中国联通持续推进算力网络的创新实践与现网部署，广泛开展算力网络生态建设与产业合作，率先在北京、河北、广东、山东 4 个省市，开展了算力网络落地实践，本白皮书重点介绍上述省分公司在算力网络实践方面的最新成果。

2 中国联通算力网络架构与行动计划

算力网络是电信运营商为应对云网融合向算网一体转变而提出的新型网络架构，是实现算网一体重要技术抓手。图 2-1 所示算力网络组网架构图，将算力网络按照功能区分为四个域，分别为接入网络域、算网网关域、算网承载域和

数据中心域：

接入网络域：以“极”为核心特征，针对各种用户接入网络的南北向流量，实现极致化的大带宽、低延时、广连接等通信指标；

算网网关域：以“柔”为核心特征，结合各种接入业务的具体特征，面向固移网络融合承载、控制转发面分离、转发面下沉的演进需求，实现算网网关柔性、弹性、低成本部署；

算网承载域：以“智”为核心特征，算网承载域是算力网络的核心，需要承载网结合 SRv6、切片、APN6、ROADM 等新技术满足东西向流量的承载需求，实现业务在多云之间的智能调度，通过引入算力感知、业务感知、确定性服务等能力，结合运营商城域、骨干等多级架构实现；

数据中心域：以“简”为核心特征，面向数据中心内云服务的承载需求，实现数据中心内部网络架构的简化和高效、无损传输。

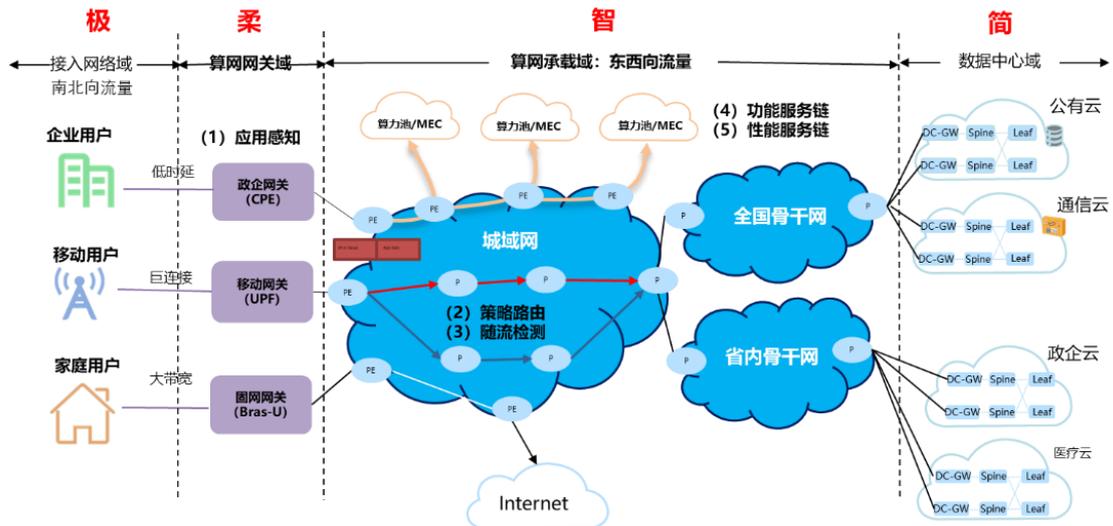


图 2-1 中国联通算力网络组网架构

基于该架构，中国联通将大力推进算力基础设施和网络基础设施建设，开展如下行动：

第一，建立完善的算力资源布局，构建核心、区域、边缘三级算力资源池，进一步聚焦国家枢纽节点布局，将计算、存储等算力资源在云边端之间进行有效的联接和调度，满足算力“随时、随地、随心”的服务要求。

第二，构建“一网联多云，一键网调云”的云网边一体化能力开放调度体系，形成网络与计算深度融合的算网一体化服务格局。

第三，建设智慧云网大脑，通过技术创新、管理创新、模式创新等手段，建

设算力有效联接、灵活调度、高质量的新型 IP+光协同算力承载网络。

第四，全面推动网络智能化转型，打造“自智网络”。通过网络 AI 平台赋能生产模式变革，实现全专业全生命周期动态管控和网络数据的集约化拉通。使能网络更灵活、管理更智慧、服务更智能。

第五，以支持 IPv6 协议的网络全面部署为基础，结合 IPv6+技术创新，打造承载网基础能力，全面建成领先的 IPv6 技术、产业、设施、应用和安全体系，实现基于 IPv6 协议的网络服务能力全面升级。

第六，基于新型算力网络架构，在 5G 专网、智慧家庭、政企专线等领域加强产品创新研发，提供服务差异化、运营集约化、流程线上化的算网协同服务新产品。

3 北京联通：算力网络资源感知，打造“边边协同”智慧安防服务

3.1 实践背景

在推动发展新一代数字基础设施方面，智能安防是 AI 应用落地最早的场景之一。随着高清视频、智能分析、云计算和大数据等相关技术的发展，安防系统正在从传统的被动防御升级成为主动判断和预警的智能防御系统。安防技术的演进已不仅仅局限于视频图像的编解码技术、存储技术，在智能时代下，安防需要更多的 ICT 能力，对算力网络提出了云-边-端协同的需求。在含有嵌入式 AI 芯片的端侧，可以完成人脸识别、视频结构化、图谱分析等预处理，然后通过算力网络将不同优先级业务数据传送到 MEC 中。

智能安防对算力的实时性和确定性的高要求需要通过 MEC 满足，但由于算力资源分配差异、算力负载不均等因素，本地 MEC 可能无法完全满足智能安防业务的需求。因此，需要利用算力网络技术对算力资源进行感知和优化调度。在此背景下，中国联通广泛开展算力网络生态建设与产业合作，联通研究院、北京联通和相关合作方联合开展了基于 CFN 技术的算力网络“边边协同”试点，为智能安防领域的技术和解决方案演进做了有益探索。

3.2 案例描述

如图 3-1 所示，智能安防 MEC 分别部署在京门 MEC-1、西三旗 MEC-2 和备份

MEC-3 上，MEC 分别通过 CFN 路由器 R1、R2、R3 与承载网络连接。CFN 路由器支持采集和发布算力资源信息和状态，并根据算力资源信息将计算任务调度到满足用户需求的 MEC 节点，保证业务体验。

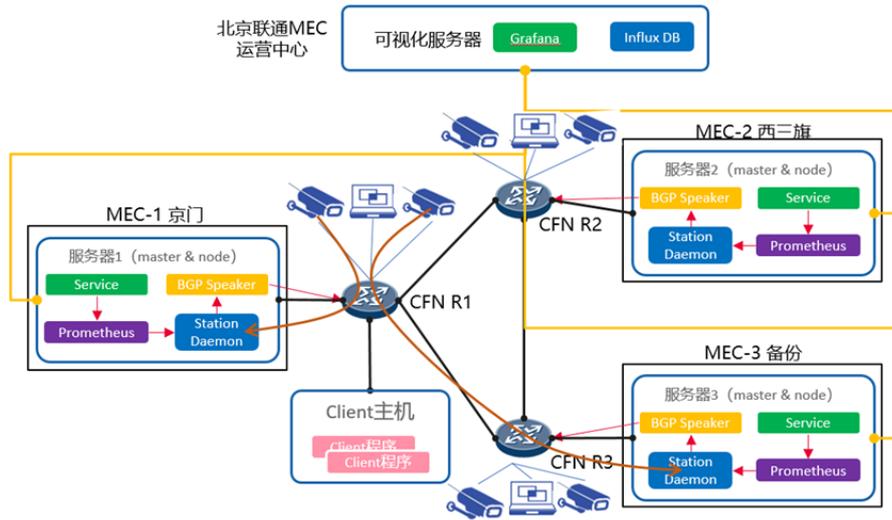


图 3-1 基于 CFN 技术的智慧安防现网实践

在该场景下，用户通过 R1 节点接入网络访问 MEC 资源，在未部署 CFN 技术状态下，视频业务流接入到最近的 MEC-1 节点，假设在该时间点 MEC-1 的资源利用率接近 90%，处于高负载状态，视频会频繁出现卡顿现象。在部署 CFN 技术后，通过算力网络的按需调度能力，自动将视频业务引流至最优计算节点 MEC-2 处理，实现视频业务流不中断，视频更加流畅，从而大幅提升用户体验。

该案例通过 CFN 技术完成算力资源信息分发，以“边边协同”的方式成功实现了算力资源智能管控与实时调度。图 3-2 是采用 CFN 技术进行 MEC 路径自动优化后的效果示意。



图 3-2 基于 CFN 技术的 MEC 路径自动优化效果示意

3.3 实践成效

北京联通智能安防方案试点证明了 CFN 技术在算力灵活调度方面的有效性，未来将结合北京智慧城市建设，实现海量监控视频接入场景下图像识别处理业务的算力负载均衡。通过本方案的成功试点和北京智慧城市的示范效应，后续拟将本案例实践进一步推向全国市场。

3.4 发展思路

智慧安防是未来智能社会和智慧城市的基础设施之一，是需要重点建设和完善的数字基建。智慧安防对“边云协同、边边协同”能力有着迫切需求，CFN 技术能够充分实现对算力资源的优化调度和合理利用，是未来算力网络的基础协议之一。

技术方面，中国联通将与产业链各方共同研究和完善 CFN 技术，以灵活智能的业务分流、精准的业务调度、运营级的可靠性、网络能力的开放性、应用需求的感知、确定性 SLA 服务、边云协同和边边协同以及服务的一致性保障等能力为目标愿景，推动 CFN 等关键算力网络技术成熟。

产业方面，智慧安防可以作为算力网络应用的重要切入点。中国联通将依托北京联通的实践经验，结合智慧城市建设需要探索算力网络商用方案，实现海量监控视频接入时的图像识别算力负载均衡，加快基于承载网络的算网一体发展，助力运营商的新一代数字基础设施建设。

4 河北联通：算力网络智简切片，打造数字智能政务

4.1 实践背景

基于 IP 网络为算力提供差异化、高质量的承载服务，是算力网络的核心需求之一。以打造算力网络承载技术底座为目标，中国联通前瞻性布局以 SRv6 为代表的 IPv6+ 技术，于 2019 年底在河北雄安新区率先发布了主题为“智慧雄安，联通未来”的商用综合承载网，提供基于 SRv6 和 FlexE 技术的新型高质量专线服务，河北雄安新区税务局成为全国第一个使用 SRv6 专线的政府单位。该案例成功解决了政务专线开通周期长、业务隔离度低、服务质量保障差等问题，实现了协议极简、网络智能化及服务差异化保障，全面满足了税务业务的高安全可靠、高可用性的要求。

4.2 案例描述

河北雄安新区税务局响应国家“互联网+”发展指导意见，筹划打造自主创新的数字智能税务，将三县原有业务专网从原锚点脱离。为满足政务客户专线差异化承载的需求，并提供批量业务敏捷开通的服务，雄安联通采用基于 SRv6+FlexE 技术的 IPv6+ 解决方案，为税务客户打造端到端快速开通、按需随选、SLA 可视、智慧运维的新型专线网络，更好满足税务云业务需要。

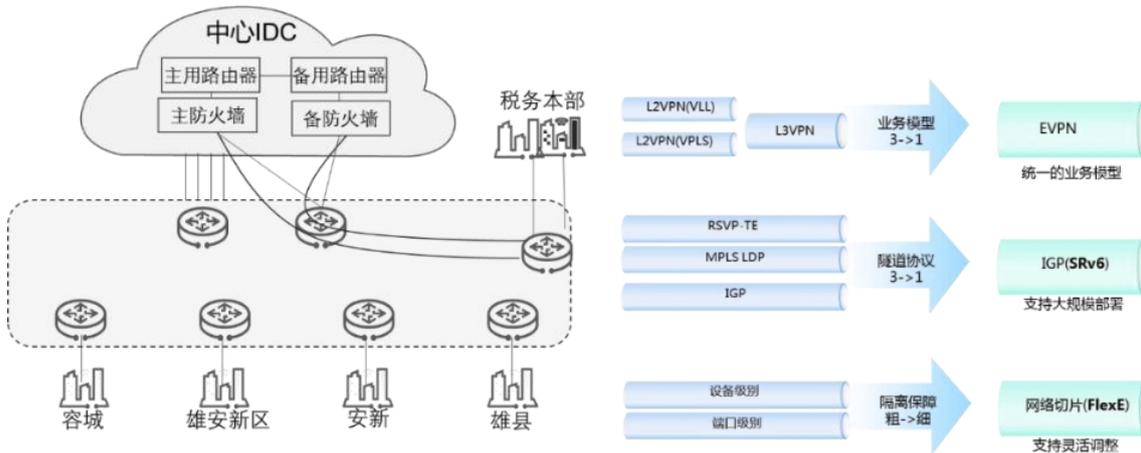


图 4-1 基于 SRv6+FlexE 的新型智能专线服务

雄安联通基于 FlexE 和 SRv6 技术打造了新型综合承载网络，在业务层面实现了模型统一，通过 EVPN 业务方案整合了原有分散的 VLL、VPLS 及 L3 VPN 业务，简化了业务层协议；在网络层面，通过 SRv6 协议整合了原有复杂的 IGP、BGP、LDP、MPLS 及 RSVP 等隧道相关协议，实现了网络层面的简化。在产品层面

通过 FlexE 技术实现了灵活的以太分片功能，支持提供差异化保障的新型专线产品。通过上述技术方案的综合应用，实现了智慧政务场景下智能专线及专网产品的差异化服务，更好地适应业务部署的分布式趋势。

4.3 实践成效

雄安新区作为新时代改革再出发的高地，响应国家“互联网+”发展指导意见，打造了基于 SRv6 + FlexE 技术的智慧政务专线应用。

雄安智慧政务案例的成功部署和平稳运营，验证了网络切片及 SRv6 技术的可用性、稳定性和灵活性，为算力网络后续技术演进和应用提供了最佳实践案例，为进一步打造“5G+云+网+X”的一体化服务奠定了良好基础。

4.4 发展思路

雄安作为中国联通 5G 部署重点城市，在算力网络技术的研究与实践方面有着重要的代表性意义，基于 SRv6+FlexE 技术综合承载网络的成功商用论证了 SRv6 技术是面向未来的承载网目标技术，利用 IPv6 地址可聚合性及天然可达性，将在协议简化、跨域专线、网络运维方面带来极大的优势。另外，通过 SRv6 的可编程能力，还可以激发承载网更多潜力。未来将进一步打造“5G+云+网+X”的一体化服务，面向不同行业提供个性化的应用方案。

5 广东联通：算力网络业务链，打造“云网安一体”服务

5.1 实践背景

算网一体是面向业务的差异化需求，灵活调度算力、存储等基础资源，实现资源在云-网-边-端的最佳调配。联通研究院和广东联通积极探索算力网络演进路径，提出了基于 SFC 技术升级的算网服务调度解决方案。在基于 SRv6 的 SFC 技术灵活串接多服务实例的能力基础上，提出“一网联多云，一键网调云”的目标愿景，形成了由服务功能链向算力性能链演进的研究思路。本案例从安全业务场景出发，实现按需灵活调度增值服务，打造网调应用，网随算动，算网一体的编排能力。

5.2 案例描述

传统企业核心业务部署在企业 DC，分支企业通过组网专线访问总部核心业

务，并通过企业总部统一的互联网出口进行对互联网的访问，所有的安全防护均在总部部署。随着核心系统上云，分支企业经过总部访问的模式不再具有经济效益，分支企业存在直接访问云侧服务的需求。因此安全策略也需要分布式部署，策略更加复杂化，要求企业分支和总部一起联动防护，并保持安全策略的一致性。

本案例基于安全服务链场景需求，在多个资源池分别部署 WAF、FW 等安全服务，根据业务的诉求，客户可以选购不同的安全服务，网络通过基于 SRv6 的 SFC 技术将按需灵活的串接安全服务，实现企业分支通过安全服务后访问云业务。

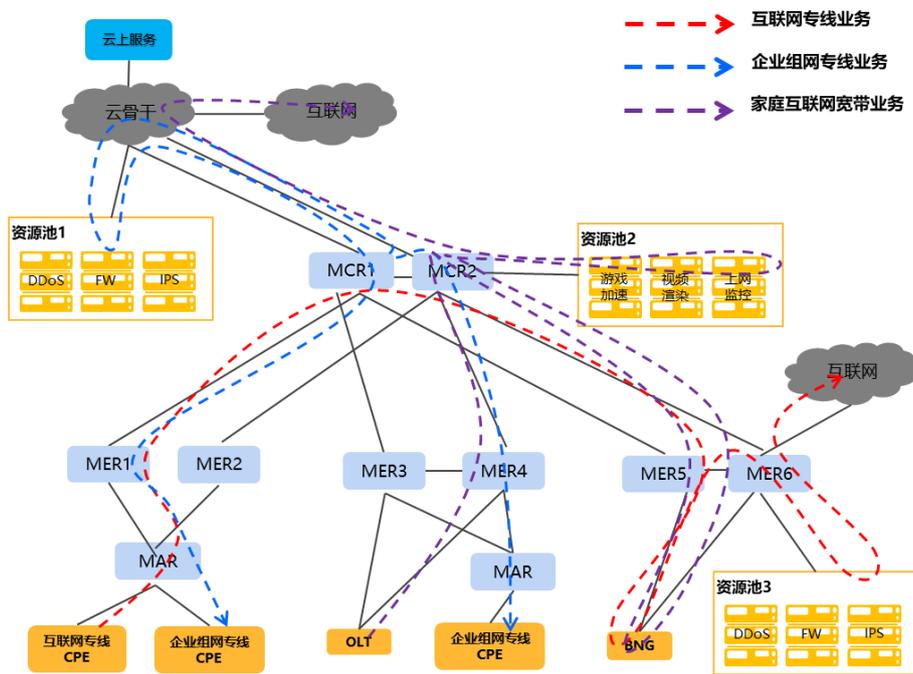


图 5-1: 基于服务链的服务灵活调度场景示意

如图 5-1 所示，整个场景打造了两大算网能力，一是算网技术能力，包括网调应用能力和网随算动能力。网调应用实现了极致灵活网络，算力云池内应用按需调度；网随算动使得网络具备了基于时延、带宽、丢包、指定路径等选路能力，能够满足对算力的不同诉求。二是算网生态服务能力，中国联通作为服务平台，将支持集成第三方服务，并按需调度网络侧差异化承载服务能力，与应用合作伙伴共同构筑产业生态。

5.3 实践成效

基于该案例，2021 年 9 月中国联通和广东联通发布了大湾区算力网络行动计划，同时发布了算网一体的 1+N+X 服务体系架构，通过打造 SID 即服务，实现

一网联多云、一键网调云，构建新一代数字技术设施，增强联接+计算的网内生能力。该架构和能力体系为联通各省分公司以及业界的算力网络发展指引了重要方向。

（1）1个算网能力基座

结合源路由 SRv6 网络可编程能力，对各类业务进行灵活编排，通过将 Service ID 和 SRv6 segment ID 关联，进行联合注册和统一编排，实现“一网联多云，一键网调云”，实现云、网、边、端、业高度协同。

（2）N种算力网络能力

当前，在大湾区算力网络已实现 SRv6 策略路由和网络切片等能力，将时延、带宽等网因子，和成本、算力等云因子纳入路由算法，计算出满足 SLA 要求且云资源利用率最优的业务路径，通过切片实现多种业务的差异化承载，保障算力传输的确定性。

面向未来，算力网络将引入应用感知技术与算力感知技术，使网络及时感知应用类型及需求，并将服务所需的异构算力资源信息，结合路由机制在网络发布，作为业务路径选择的关键依据。

（3）X种商业应用场景

当前已对安全服务场景，视频应用场景，广域加速场景等进行深入论证和试验，更多的应用场景正在持续研究中。

在 1+N+X 基础上，也发布基于 IPv6+ 的特色解决方案 SID as a Service，实现网络 SID 与应用 SID 统一编排，为联通成为创新服务中介平台提供新的技术解决方案。

同时，中国联通发起成立的算力网络联合创新实验室广东示范基地正式挂牌，为后续算力网络的试验验证提供更好的基础环境。

5.4 发展思路

发展算力网络当前已经成为我国运营商的共识，为此需要产业多方去联合探索。中国联通作为最早研究和试验算力网络的单位，具有一定的先发优势。广东联通 1+N+X 的算网架构很好的诠释了算力网络的实质，即打造 1 个 SRv6 可编程的算力网络，N 种网络能力，包括网络感知应用和网络感知算力等，以及 X 种场景应用。

算力网络是个复杂的系统工程，技术上还需要持续研究，商业上也需要持续探索，二者相辅相成，总体来说要基于商业场景去固化算网能力。因此基于广东联通的场景应用，未来将持续做实两件事情：一是基于安全服务链的场景，拓展企业应用；二是基于广东联通市场需要挖掘更多应用场景，例如视频、AI 云边协同应用等。

6 山东联通：全光算力网络，打造“智慧光云十六城”

6.1 实践背景

自国家提出新基建战略以来，以 5G/F5G 为基石的新型基础设施，已经在各行业数字化转型中助力经济高质量发展。山东省明确提出要加快建设天地一体化信息网络，全面建成高水平全光网，并提出构建“一群两心三圈”的区域发展格局，推进省会、胶东、鲁南三大经济圈区域一体化发展。

山东联通始终践行中国联通 CUBE-Net 3.0 理念，以客户体验为本，建设优质网络和领先产品服务客户。通过基于全光算力网络理念的智慧光云城市基础设施构建，把云端算力输送到千行百业，提升智慧城市的服务能力，振兴经济发展。

高品质、低时延、高安全、绿色低碳的全光网络对于高端云计算和 IDC 服务有不可或缺的关键价值，全光算力网络是基于光网技术的高质量算力网络。端到端全光算力网络架构图如图 6-1 所示：



图 6-1 全光算力网络架构

山东联通智慧光云城市全光算力网络主要技术要点如下：

传送面：构建从地市到云池之间的光云切片专用管道，OTN 云网进行预连接配置，以支持业务快速上线；分步部署 OSU 技术，实现从 2M~100G 的灵活带宽能力，以支持最终用户的弹性扩容需求。通过全光调度 OXC 平台、ASON 业务自动恢复技术、扁平化网络架构等多项先进技术构筑大带宽、毫秒级低时延圈（包括济南、青岛、全光网城市的 1ms 时延圈，包括省会经济圈、胶东经济圈、鲁南经济圈的 3ms 时延圈，以及山东半岛城市群 10ms 时延圈）、99.999%（5 个 9）高可靠的精品网络。

管控面：光网和云/算力资源都具备 SDN 化的智能管控能力，先进的智能管控引擎核心，基于“自研云网光云协同器+ SDN 智慧管控控制器”进行“PeOTN+行业云”的协同管控；光云协同器云网协同器南向同时对接网络 SDN 控制器与云平台，实现光和云的协同管控，北向对接联通集团业务受理、计费、资源、服开等 BSS/CSS 系统，拉通 B-0 域，实现从订单受理到业务发放的一站式开通。后期采用流量 AI 分析预测技术，实现业务流量的自动弹性扩缩。

6.2 案例描述

山东联通 2019 年推出“SD-FAST”智慧光网服务，为数字政府，数字民生，数字产业打造领先的连接专网，面向党政军、金融、医疗、制造等各行业提供高效、可靠、智能、丰富的高品质连接服务。

2021 年 3 月，山东联通联合合作伙伴成立了全球首个 F5G 联合创新中心，聚焦智慧光网、智慧光云、F5G+X 三大课题持续创新孵化，率先开启从智慧光网迈向智慧光云，提出了智慧光云十六城的建设规划，在智慧光网基础上进行前后延伸，融入云端和末端，实现云-管-端协同，解决政企单位、医疗、教育、大型企业以及金融 ICT 系统迁移到云上的痛点，任何政企单位在 2km 范围内均可一点接入智慧光云网络。

2021 年 4 月份，济南市平阴县人民医院正式通过智慧光云网入云商用，医院的 70+应用已经迁移上云。智慧光云网提供了稳定、安全、超低时延的入云专线连接服务，时延可降低 20%，为医院提供无感知的应用访问，助力智慧医疗发展，为群众健康保驾护航。



图 6-2 医院专网入专云，实现光云协同

截止 2021 年底，为进一步提升光云融合体验，山东联通将扩大末端和云端的覆盖范围，末端全省 C0 节点覆盖数量超 1000 个，云端实现一、二级云池的 100%对接。

6.3 实践成效

山东联通在全光算力网络上的实践，具有重大战略意义。从国家层面来看：

(1) 有利支撑我国“新基建”基础设施建设，已经广泛服务于党政军、金

融、医疗、制造等各行业客户，涌现出一大批如平阴县人民医院、国家超级计算济南中心、滨州市一体化电子政务网、省农行扁平化等标杆案例，加快企业实现数字化转型的步伐。同时能够带动整个山东省的经济发展。

（2）助力“碳达峰、碳中和”目标的实现，山东联通通过网络技术升级、简化网络架构、老旧设备腾退和光云一体等手段，实现了机房空间节省、功耗降低和容量提升，助力新旧动能转换，实现节能减排，预计将来可降低 50%的机房空间，可节省功耗超过 60%，同时容量相比之前可提升近百倍。

从企业层面看：

（1）通过部署智能管控平台实现末端接入设备现场上线免配置，一次进站，上电即走，后续通过管控平台远程调测，业务开通时效从周级提升至天级，实现业务的天级开通。智能管控平台掌握网络实时状态，基于 AI 预测分析实现故障预警及快速修复，由被动响应转变为主动运维，业务恢复提升至分钟级，实现运维分钟级响应。

（2）通过高品质全光算力网络的构建，向下深度覆盖，使任何企业在 2km 范围内都能接入智慧光云网络，实现用户便捷、高可靠接入，入网即入云；向上光云融合，采用 E2E OTN 网络 100%覆盖核心云池和算力资源。同时具备确定性体验和内生安全能力，吸引高端客户，“以网带云，以云促网”，促进公司对专线和云池的销售，实现商业正循环。

6.4 发展思路

未来五年，产业数字化在数字经济中的主引擎地位将不断巩固，产业数字化转型带动的经济规模将继续扩大，为数字经济高质量发展拓展新空间。而智慧光云城市作为产业数字化转型的关键新型基础设施，有望带动整体经济产出，成为更加强劲的经济增长新引擎。

同时，山东联通会持续基于人工智能、大数据，边缘计算等多种技术，来构建强大的算力网络大脑，进而提升智慧光云城市的诊断能力、预测能力、决策能力和控制能力，持续为党政军、金融、医疗、教育和企业提供业务支撑，服务千行百业。

7 算力网络未来发展展望

数字经济成为我国十四五的重要创新增长引擎，国家把“网络强国、数字中国、智慧社会”作为“十四五”新发展阶段的重要战略进行部署。中国联通着眼“数字信息基础设施运营服务国家队，网络强国数字中国智慧社会建设主力军，数字技术融合创新排头兵”的新定位，立足数字产业化、产业数字化的时代风口，全面提升企业自身数字化水平和技术创新能力，全力围绕数字经济“新需求”创造“新供给”。

算力网络是中国信息通信业倡导的新兴技术概念，反映了通信与计算服务融合的现实需求和演进趋势，其技术标准和内涵外延还需要通过实践探索不断丰富和发展。从网络角度看，算力网络是面向计算和智能服务的新型网络体系，IPv6+和全光底座是算力网络的技术基石，增强网络内生算力是算力网络演进的重要方向；从算力角度看，算力网络是网络化的算力基础设施，是依托网络构建的多样化算力资源调度和服务体系；从服务角度看，算力网络的目标是提供算网一体服务，是云网融合服务的新阶段，是数字基础设施服务的新形态。

运营商的算网一体服务演进，需顺应千行百业数字化转型要求，将CT、IT和DT的能力打包提供。“算力即服务”的目标涉及到IT产业、CT产业、DT产业的超级融合，每个产业的能力均需做强，使其产生化学效应，实现“1+1+1>3”的效果。中国联通呼吁业界合作伙伴协力开展算力网络能力定义、技术研究，推动算网产业健康稳定发展。

展望未来，中国联通将继续巩固云网时代的发展优势，把握算网时代的发展机遇，打造高品质算力网络，提升客户上云用云的服务体验，携手产业合作伙伴，不断满足人民对美好信息生活的需要，共创数字经济的美好未来。

中国联通将坚持市场和创新双轮驱动，依托网络优势，携手产业合作伙伴聚合计算资源，拓展应用生态，实现算力服务的网络化高效输送，打造高速泛在、开放智能、安全可信、绿色低碳的新一代数字基础设施，向着建成网络强国、数字中国和智慧社会的奋斗目标奋勇前进！

参考文献

1. Xiongyan Tang, Chang Cao, Youxiang Wang, Shuai Zhang and etc. Computing Power Network: The Architecture of Convergence of Computing and Networking towards 6G Requirement[J].中国通信,2021,18(02):175-185.
2. Framework of Compute First Networking (CFN) draft-li-rtgwg-cfn-framework-00, IETF [R].
3. ITU-T. Draft Recommendation ITU-T Y. CPN-arch: framework and architecture of computing power network [R].
4. ITU-T. Draft Recommendation ITU-T Q. CPN: Signaling requirement of computing power network [R].
5. 中国联合网络通信集团有限公司. CUBE-Net 3.0 网络创新体系白皮书[R]. 2021.
6. 中国联通研究院. 异构算力统一标识与服务白皮书[R]. 2021.
7. 中国联通研究院. 云网融合向算网一体技术演进白皮书[R]. 2021
8. 中国通信学会. 算力网络前沿报告[R]. 2020.
9. 中国联通研究院. 算力网络架构与技术体系白皮书[R]. 2020.
10. 中国联通网络技术研究院. 中国联通算力网络白皮书[R]. 2019.

缩略语

| 缩略语 | 英文全称 | 中文释义 |
|-------|---|---------------------|
| AI | Artificial Intelligence | 人工智能 |
| APN6 | Application Aware IPv6 Networking | 感知应用的 IPv6 网络 |
| AR | Augmented Reality | 增强现实技术 |
| ASON | Automatically Switched Optical Network | 自动交换光网络 |
| BGP | Border Gateway Protocol | 边界网关协议 |
| CFN | Compute First Network | 计算优先网络 |
| CO | Central Office | 综合业务接入点 |
| CPE | Customer Premise Equipment | 用户前置设备 |
| CPU | Central Processing Unit | 中央处理器 |
| CT | Communication Technology | 通信技术 |
| CUBE | Cloud-oriented Ubiquitous-Broadband Elastic Network | 面向云服务的泛在宽带弹性网 |
| DC | Data Center | 数据中心 |
| DT | Data Technology | 数据技术 |
| E2E | End to End | 端到端 |
| EVPN | Ethernet Virtual Private Network | 以太网虚拟专用网络 |
| FlexE | Flex Ethernet | 灵活以太网 |
| FAST | Flexible-provide、Agile-bandwidth、Self-manageable、Time-visible | 快速响应、弹性带宽、自助服务与时延可视 |
| FW | Firewall | 防火墙 |
| GPU | Graphics Processing Unit | 图形处理器 |
| ICT | Information and Communication Technology | 信息和通信技术 |
| IDC | Internet Data Center | 互联网数据中心 |
| IGP | Interior Gateway Protocol | 内部网关协议 |
| IP | Internet Protocol | 互联网协议 |
| IT | Information Technology | 信息技术 |
| LDP | Label Distribution Protocol | 标签分发协议 |
| MEC | Multi-access Edge Computing | 多接入边缘计算 |
| MPLS | Multi-Protocol Label Switching | 多协议标签交换 |
| OAM | Operation Administration and Maintenance | 操作维护管理 |
| OSU | Optical Service Unit | 光业务单元 |
| OTN | Optical Transport Network | 光传输网 |
| OXC | Optical Cross-connect | 全光交叉 |
| PeOTN | Packet enhanced Optical Transport Network | 分组增强型光传输网 |
| PE | Provider Edge | 提供商边缘设备 |
| RSVP | Resource Reservation Protocol | 资源预留协议 |
| SDN | Software Defined Networking | 软件定义网络 |
| SFC | Service Function Chaining | 功能服务链 |
| SID | System Identifier | 系统标识 |
| SLA | Service Level Agreement | 服务级别协议 |

| 缩略语 | 英文全称 | 中文释义 |
|------|-----------------------------------|---------------|
| AI | Artificial Intelligence | 人工智能 |
| APN6 | Application Aware IPv6 Networking | 感知应用的 IPv6 网络 |
| SRv6 | Segment Routing IPv6 | IPv6 分段路由 |
| VR | Virtual Reality | 虚拟现实技术 |
| VPLS | Virtual Private Lan Service | 虚拟专用局域网业务 |
| VPN | Virtual Private Network | 虚拟专用网络 |
| VLL | Virtual Leased Line | 虚拟租用线路 |
| WAF | Web Application Firewall | 网站应用防火墙 |