



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重要影响。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是以打造算网一体为重要目标，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。

经过对算力网络应用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案例与创新成果，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为行业发展起到抛砖引玉的作用，旨在推动网络与计算深度融合，构建面向未来的计算+网络新格局。

# 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.....	5
3.2.1	“边边协同”智慧安防 .....	5
3.2.2	医疗行业云专线 .....	6
3.3	实践成效.....	7
3.3.1	助力新一代数字基础设施建设 .....	7
3.3.2	助力企业客户上云 .....	7
3.4	未来展望.....	8
4	河北联通：算力网络智简切片，打造数字智能政务 .....	8
4.1	实践背景.....	8
4.2	案例描述.....	9
4.3	实践成效.....	10
4.4	未来展望.....	10
5	广东联通：算力网络业务链，打造“云网安一体”服务 .....	10
5.1	实践背景.....	10
5.2	案例描述.....	11
5.3	实践成效.....	12
5.4	未来展望.....	13
6	山东联通：全光算力网络，打造“智慧光云十六城” .....	13
6.1	实践背景.....	13
6.2	案例描述.....	14
6.3	实践成效.....	15
6.4	未来展望.....	16
7	算力网络未来发展展望 .....	16
	参考文献.....	18
	缩略语.....	19

## 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，国家关于助力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：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许多贡献。具体可概括为：

引领产业发展方面，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 年底，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 是以打造算网一体为重要目标，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。

联合攻关验证方面，中国联通在 2020 年 11 月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 协议体系；2021 年 9 月，中国联通正式发布了大湾区算力网络行动计划，并在广东联通成立了算力网络联合实验室。在北京联通成立“IPv6+”联合创新实验室，将持续推动 IPv6+ 发展及创新实践，通过增强网络智能来感知算力，调度服务，推动云网融合从 1.0 走向 2.0，最终实现算网一体，

技术研究方面，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》。中国联通 2020 年在《China Communications》发表了业界第一篇论述算力网络的 SCI 论文；三年来中国联通在算力网络领域已发表十多篇论文，申请几十篇专利，在 ITU-T, ETSI, CCSA 等组织立项多项相关标准；2021 年，“算网一体技术与服务体系”项目获得 2021 年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。

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，开展算力网络落地实践，本白皮书重点介绍了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，是实现算网一体的重要技术抓手。下图 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。结合端到端的功能实现，每个域的主要技术要求分析如下：

**接入网络域：要求为“极”，**即针对各种用户接入网络的南北向流量，将大带宽、低延时、广连接等通信指标做到极致。

**算网网关域：要求为“柔”，**及结合各种接入业务的具体特征，在5G移动网络、融合承载网络控制转发面分离，转发面（U面）下沉的基础上，进一步实现网关柔性、弹性、低成本部署要求；

**算网承载域：要求为“智”，**算网承载域是算力网络的核心，需要承载网结合SRv6、切片、APN6（application-aware IPv6 networking）、OXC、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：要求为“简”，**面向数据中心内云服务的承载需求和网络物理拓扑相对固定的实际情况，实现数据中心内部网络架构的简化和高效、无损传输。

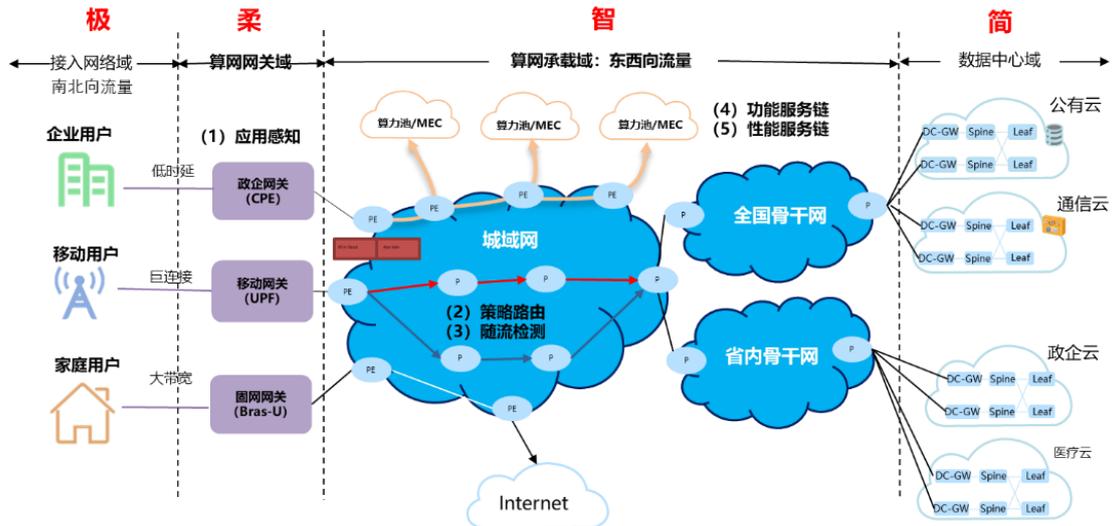


图 2-1 中国联通算力网络组网架构

基于该架构，中国联通将大力发展算力基础设施和网络基础设施建设，计划开展如下行动：

第一，建立完善的算力资源布局，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格局。

第三，研发智慧云网大脑，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。围绕算力中心布局，实现公众互联网和产业互联网的架构全面优化。

第四，全面推动网络智能化转型，打造“自智网络”。通过网络 AI 平台为生产系统大脑和网络数字化转型智能引擎，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。网络更灵活、管理更智慧、服务更智能，逐步实现 L4 级的自治网络。

第五，基于 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，网络服务能力实现基于 IPv6 协议的全面升级。

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、流程线上化的云网协同服务新产品。

### **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，需要在算力网络中实现云-边-端协同的能力。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差异化的传送到 MEC 中。

智能安防对算力的实时性和确定性有很高的要求，需要 MEC 满足算力的要求，但本地 MEC 可能无法满足安防视频业务的需求。因此，需要算力网络能够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，其中联通研究院、北京联通和相关合作方联合开展结合 CFN（Computing-First Networking，算力优先网络）协议的算力网络边边协同试点，为智能安防领域的技术验证做了有益探索。

在企业用户上云领域，北京联通也积极研究 SRv6 技术在云专线的应用。某客户的企业网络原来是接入联通 169 骨干网，但该方式存在以下几个需求和挑战：一、医疗隐私数据保密性要求高，通过互联网传输不满足对隐私数据的保护要求；二、本地私有云中的数据需要向医疗行业云备份；三、有差异化算力需求；四、商业楼宇入场难，施工费用高。针对以上四个问题，中国联通北京分公司通过部署 SRv6 云专线的算力网络，助力富通东方科技有限公司成功上云。

## 3.2 案例描述

### 3.2.1 “边边协同”智慧安防

结合智慧安防的需求场景，对 CFN 协议进行了验证和应用。如下图 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 与网络连接。CFN 路由器能够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合适的 MEC 节点，保证业务体验。

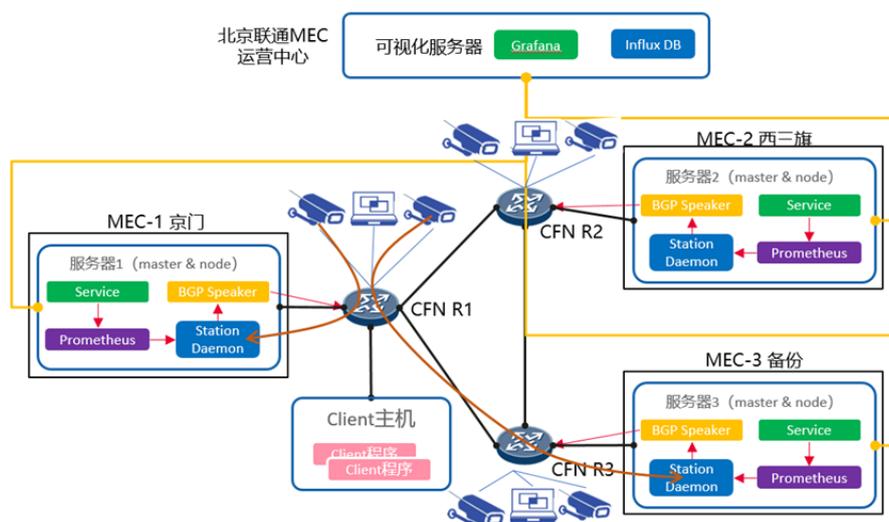


图 3-1 基于 CFN 协议的智慧安防现网实践

如图 3-1 实践场景，Client 主机通过 R1 接入访问，启用 CFN 前，视频业务流接入到最近的京门 MEC-1，但是当前 MEC-1 的资源利用率已接近 90%，处于高负载状态，视频会频繁出现卡顿。在启用 CFN 后，通过算力网络的调度，将视频业务流引流至最优计算节点—西三旗 MEC-2 进行处理，使视频业务流不中断，视频更加流畅，从而大大提升用户体验。

该案例通过 CFN 协议完成算力资源信息分发，以“边边协同”的方式成功实



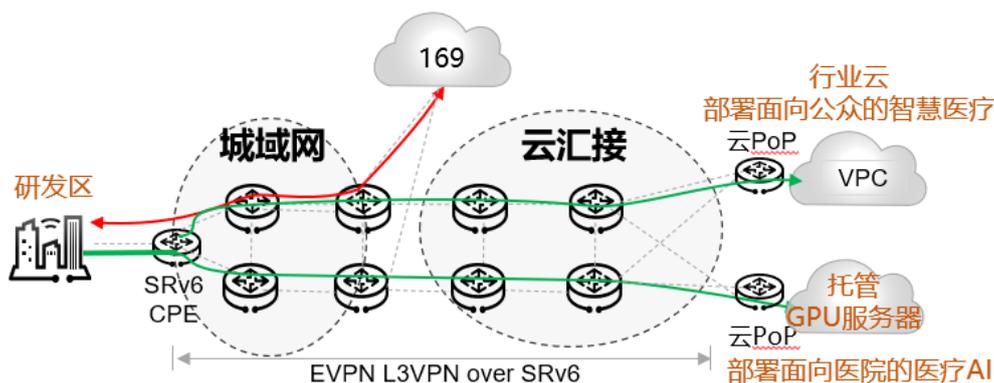


图 3-3 SRv6 CPE 实现一线同时上互联网和入多云的能力

### 3.3 实践成效

#### 3.3.1 助力新一代数字基础设施建设

北京联通智能安防方案试点成功，未来将结合北京智慧城市建设，基于 CFN 实现海量监控视频接入时图像识别处理的算力负载均衡，通过本方案成功试点和北京智慧城市的示范效应，将本案例实践进一步推向全国市场。

CFN 协议作为新兴的协议草案，借助成功试点的市场效应，将获得更大的应用机会，帮助协议草案尽快成熟，从而推动算力网络技术创新体系发展，支撑国家新型算力发展要求的目标实现，助力网络强国、数字中国、智慧社会发展战略，进一步加快算力网络产业成熟，推动算力网络生态繁荣。

#### 3.3.2 助力企业客户上云

北京联通医疗行业云专线助力企业客户上云成效显著。

**一纤多用，体验提升。** SRv6 CPE 降低多云接入成本，一根光纤提供多云和上网的服务。CPE 还可以用作冗余备份、扩展升级，进一步提升用户体验，节约数字化升级成本。

**多云联动，差异化算力供给。** 通过案例中算力网络调度，可以实现多云联动和差异化算力供给，为行业客户按需提供个性化定制算力，异地容灾备份，云间资源共享服务，算力按需“购买/供给”服务。

**云网安一体服务。** 提供云网安一体化产品，服务于企业的数字化升级。企业网络未来诉求对云计算、安全都有强烈诉求，在网络升级的同时，算力网络考虑云网安融合，提供一体化服务和产品。

**SLA 可视，专线故障分钟级定位定界。** SRv6 提供了丰富的检测和保护协议，

其中，SRv6 FRR 和 BFD 能够保障链路故障快速收敛到保护链路；iFIT 随流检测协议不仅可以提供高精度连接质量检测 and 可视化，还能够实时感知链路故障，通过可视化快速发现故障点，做到分钟级故障定位定界。

通过该案例试点，为企业数字化升级算力网络提供了较好的参考和示范，对企业科技创新、降本增效以及行业的发展专项具有很大的积极参考意义。

### 3.4 未来展望

未来算力网络产业空间巨大。智慧安防是未来智能社会和智慧城市的基础建设之一，是首要建设和完善的数字基建。智慧安防对 MEC 的“边云协同、边边协同”有着迫切的需求，CFN 协议能够充分实现对算力资源的优化调度和充分合理利用，是未来算力网络的基础协议之一。

技术上，将继续研究和完善 CFN 协议，做到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等，推动 CFN 相关协议做到技术实现落地和标准化落地，催熟算力网络产业。

产业上，智慧安防作为算力网络切入点之一，依托成功案例试点，大力发展和布局，结合智慧城市建设，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成熟，助力运营商的新一代数字基础设施建设。

差异化算力、云网安一体化服务、一纤入多云等技术试点，为企业数字化升级打开了大门，未来更多的企业升级和技术发展将会应用于算力网络。从政策导向看，国家发改委明确将算力基础设施作为新基建的核心内容之一；从行业趋势看，企业网络对数字化和算力升级诉求越来越大；从技术趋势看，IPv6+作为国家战略之一，SRv6 技术发展迅速，和算力网络发展逐步融为一体。算力网络未来的发展，将会更好的满足“超大带宽、确定性时延、云网一体、网络自动编排”以及“连接可任意、体验有保障、应用能感知”的服务诉求。

## 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

中国联通前瞻性布局 SRv6 技术，2019 年底在河北雄安新区发布了主题为

“智慧雄安，联通未来”的综合商用承载网。同时发布了基于 SRv6 和 FlexE 技术的专享专线服务，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。该案例中成功解决了目前政务专线领域中的专线开通周期长、业务隔离度低、服务质量保障少等问题。

同时，该案例还实现了协议极简化、网络智能化及服务差异化保障，全面满足税务业务的高安全可靠、高可用性的要求。

该方案的成功商用及平稳运营充分验证了网络切片及 SRv6 技术的可用性、稳定性和灵活性，为进一步的技术演进和应用部署提供了实践基础，推动河北联通，特别是在雄安新区的数字化、网络化、智能化建设上迈上新台阶。

## 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，同时将三县原有业务专网从原锚点脱离，方案中基于 SRv6 专线率先接入雄安新区专网。为满足政务客户专线及差异化承载的需求，同时提供批量业务敏捷开通的服务，雄安联通智慧政务案例中，采用基于 FlexE 网络切片技术及基于 SRv6 隧道层技术，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 IPRAN 专线网络。

方案中，河北联通税务局本次升级 13 条从税务局到安新 IDC 中心机房的点到点专线，连接容城，安新和雄县，同时部署了 2 条从税务局本部到安新 IDC 中心机房的点到点专线，共同构成了政务专线网络。

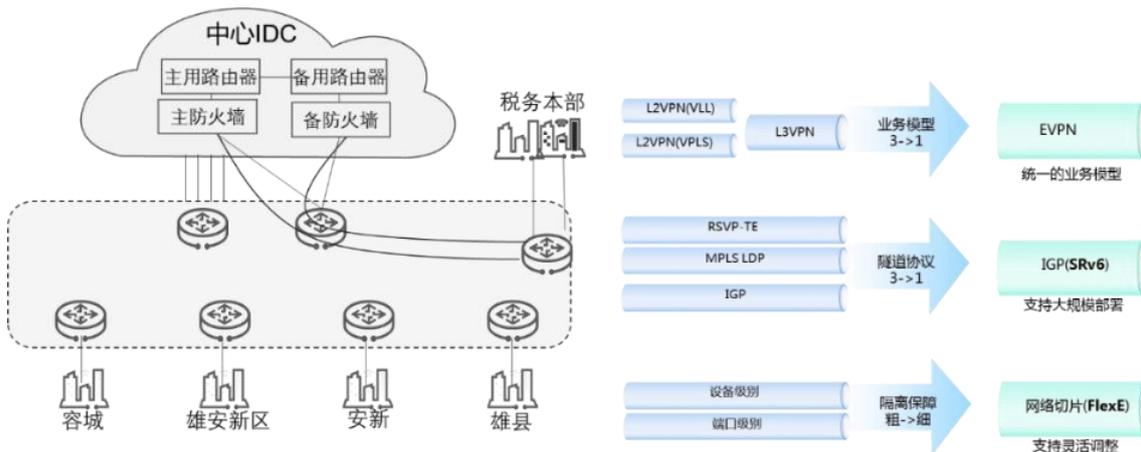


图 4-1 业界首张具备切片能力的 SRv6 商用承载网

方案中，基于 FlexE 和 SRv6 基础技术的综合承载网络，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。在业务隔离度层，通过 FlexE 技术实现了灵活的以太分片功能，支持灵活调整。通过上述技术方案的综合应用实现了智慧政务场景下，专线及专网产品的端到端快速开通、按需随选、SLA 可视、智慧运维的功能。

### 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，筹划打造自主创新的数字智能税务，打造了业界第一个基于 SRv6 + FlexE 技术的智慧政务专线应用，这是建设雄安新区发展史上，乃至通信业界一个重要的里程碑。

雄安智慧政务案例的成功部署和平稳运营，标志着河北联通在数字化、网络化、智能化的建设上迈向了新的台阶，为进一步打造“5G+云+网+X”的一体化服务奠定了良好的基础。

### 4.4 未来展望

雄安作为中国联通 5G 部署重点城市，打造了业界首个基于 SRv6 + FlexE 技术的智慧政务专线应用。该方案的成功商用及平稳运营充分验证了网络切片及 SRv6 技术的可用性、稳定性和灵活性，为进一步的技术演进和应用提供了实践基础。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

算网一体的终极目标是在业务需求基础上，以网络手段灵活调度算力、存储等基础资源，实现资源在云-网-边-端的最佳调配。同时逐步构建算力交易平台，实现算力的分发。联通集团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（Service Function Chaining，功能服务链）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”的产品化愿景，并形成了由服务功能链向算力性能链的技术演进思路。因此本案例从安全业务场景出发，积极构建网络极致灵活能力，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，分支企业需要直接访问云，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，网络以 SRv6 SFC 将安全服务进行串接，实现企业分支通过安全服务后访问云业务。

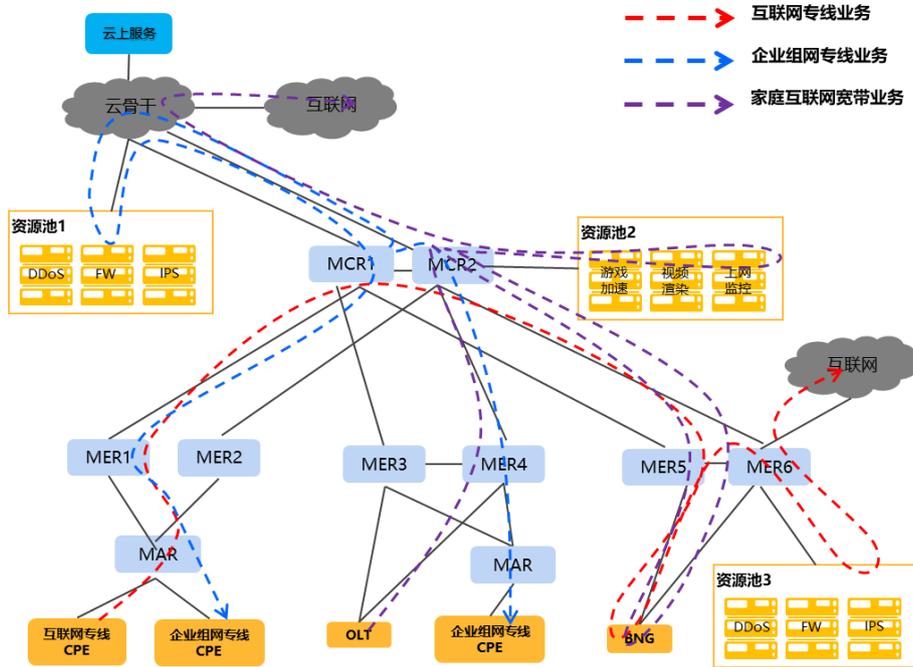


图 5-1：算力网络架构与组网示意

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，因为网络的极致灵活，实现了网调服务或算力。中国联通作为服务平台，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，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 的技术架构，通过打造 SID 即服务，实现一网联多云、一键网调云，打造新一代数字技术设施，增强联接+计算的网内生能力。该架构和能力发展为联通各省以及业界的算力发展指引了方向。

#### （1）1 个算网能力基础

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”，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，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+ 的特色解决方案能力 SID As a Service，实现网络 SID+应用 SID 统一编排，为联通成为中介平台提供技术解决方案。

同时，中国联通成立的算力网络联合创新实验室广东示范基地正式挂牌，为后续算力网络的验证提供基础环境平台。

## 5.4 未来展望

算力网络当前已经成为运营商的共识，需要产业多方去联合探索，中国联通是最早探索算力网络的单位，具有先发优势。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，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，技术上还需要持续探索，商业上也需要持续拓展，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；二是基于广东联通业务属性挖掘更多应用场景，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，已经在各行业的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。通过全光算力网络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。

端到端全光算力网络架构图如下图 6-1 所示：

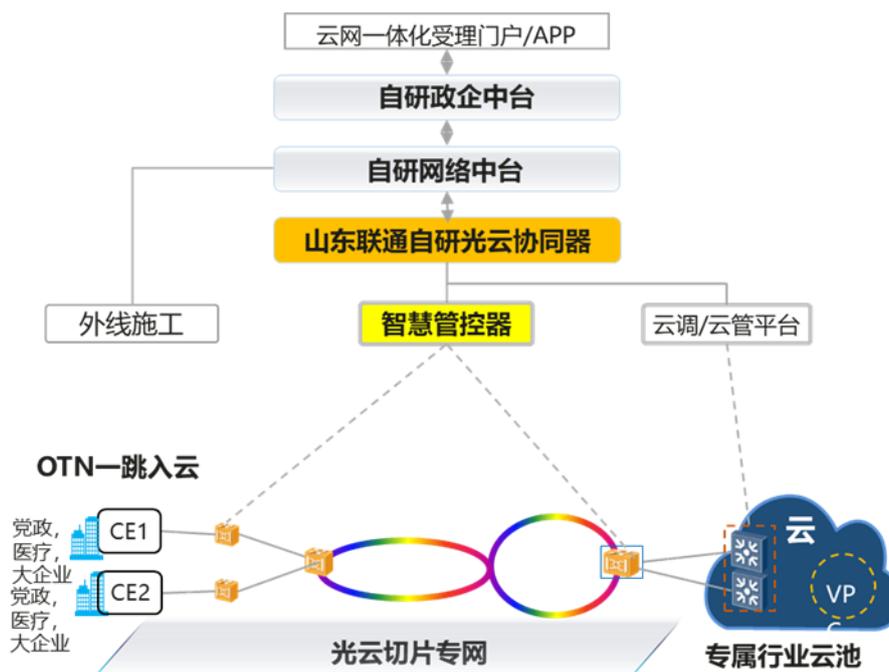


图 6-1 全光算力网络架构

山东联通智慧光云城市全光算力网络主要技术要点如下：

**转发面：**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“自研云网协同器+ SDN 智慧管控”进行“PeOTN+行业云”的协同管控；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，北向对接联通集团的业务受理、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容。

## 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16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。

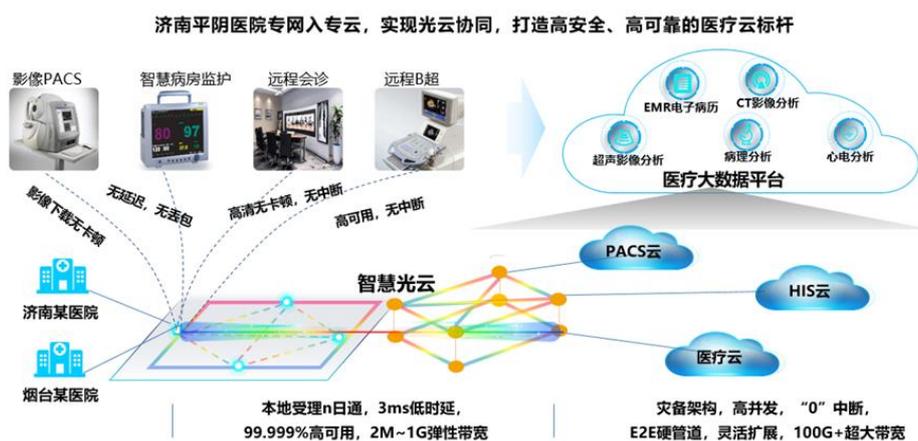


图 6-2 医院专网入专云，实现光云协同

截止2021年底，为进一步提升光云融合体验，山东联通将进一步扩大末端和云端的覆盖范围，末端全省CO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，截止目前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，山东联通通过网络升级方式简

化网络架构，完成老旧设备腾退和光云一体，实现机房空间、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。

从公司层面看：

（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 未来展望

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

数字经济成为十四五的重要创新增长引擎，国家把“网络强国、数字中国”作为“十四五”新发展阶段的重要战略进行了系列部署。中国联通着眼于“网络

强国、数字中国”建设的宏观战略，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，将全力围绕数字经济“新需求”创造“新供给”。

运营商的算网一体演进，需顺应千行百业数字化转型的要求，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云网能力定义、云网技术研究，推动云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。

中国联通将坚持技术和商业双轮驱动，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、安全可靠、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
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	数据处理技术
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	Internet Technology	互联网技术
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 Transmission Network	光传输网
OXC	Optical Cross-connect	全光交叉
PeOTN	Packet enhanced Optical Transmission 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 Network	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
SRv6	Segment Routing IPv6	IPv6 分段路由

---

缩略语	英文全称	中文释义
AI	Artificial Intelligence	人工智能
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