

算力网络极简重构研究与实践

Research and Practice on Ultra-Simplified Reconstruction of Computing Power Network

张俊新¹, 韩纬禧¹, 曹令乾², 张式娟², 刘雁斌² (1. 中国联通广东分公司, 广东 广州 510627; 2. 中讯邮电咨询设计院有限公司广东分公司, 广东 广州 510627)

Zhang Junxin¹, Han Weixi¹, Cao Lingqian², Zhang Shijuan², Liu Yanbin² (1. China Unicom Guangdong Branch, Guangzhou 510627, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Guangdong Branch, Guangzhou 510627, China)

摘要:

运营商传统网络长期按行政区划进行层级部署,与算力业务所需的扁平化、低时延架构存在难以调和的结构性矛盾。提出“算力网络极简重构”的核心思路,以“重构架构—夯实基础—网络升级”三步法为实施主线,探讨网络架构协同优化和部署,精简架构层级,为运营商网络向算网一体方向演进提供参考。

关键词:

极简网络; 算力网络; 基础架构; 算网一体
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2026.06.005
文章编号: 1007-3043(2026)06-0026-05
中图分类号: TN915
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The traditional networks of telecom operators have long been deployed in a hierarchical manner in accordance with administrative divisions, which gives rise to an irreconcilable structural conflict with the flattened and low-latency architecture required for computing power services. It puts forward the core concept of “ultra-simplified reconstruction of computing power network”, takes the three-step approach of “architecture reconstruction—foundation consolidation—network upgrade” as the main implementation thread, discusses the collaborative optimization and deployment of network architecture and streamlines architectural levels, which provides references for the evolution of operator networks towards the integrated computing and networking direction.

Keywords:

Ultra-simplified network; Computing power network; Infrastructure architecture; Integrated computing and networking

引用格式: 张俊新, 韩纬禧, 曹令乾, 等. 算力网络极简重构研究与实践[J]. 邮电设计技术, 2026(6): 26-30.

1 概述

国家正在推进的“东数西算”工程明确要求优化算力网络架构、降低传输时延、提升算网融合供给能力。随着 AI 大模型等应用的爆发,算力网络加速向集约化演进,对时延、带宽、灵活调度等提出更高要求。

然而,传统网络存在拓扑错配、时延瓶颈、管控割裂三大问题,已成为制约算力资源高效流通的瓶颈^[1-2]。在此背景下,算力网络极简重构不仅是技术演进的必然选择,更是落实国家战略、抢占算力经济

制高点、实现运营商从“管道提供商”向“算力服务商”转型的核心举措^[3-5]。

1.1 某省联通算力架构现状分析

运营商传统网络普遍采用“核心—汇聚—接入”三级架构,按地(市)行政区划进行部署,核心设计目标是满足语音、宽带等基础连接业务。但进入算力时代,这套传统架构暴露出如下 3 个突出问题。

a) 网络拓扑与业务流量的严重错配。当下算力资源正持续向枢纽节点集中,但网络架构仍固守行政区划组网的传统模式,直接导致算力节点间的业务流量出现大量无效绕转。如某省联通 A 市与 B 市两大算力枢纽之间的业务流量,需要经过省级核心节点转

收稿日期: 2026-04-30

接,物理路由存在明显的迂回,增加了传输开销与时延损耗。

b) 多层级转发带来的时延瓶颈。传统网络需要经过核心、汇聚、接入多层设备转发,端到端时延持续累积,根本无法满足算力实时调度的需求。通过现网测试发现,改造前跨地(市)算力互联的时延普遍超过10 ms,不能满足AI大模型参数同步对低时延的严苛要求。

c) 网络与算力管控制割裂,运维效率低下。在传统模式下,网络与算力分属不同专业条线独立运维,一条算力专线从业务需求提报到最终开通,需经跨部门多次协同,平均耗时长达2~3周,完全跟不上算力业务快速迭代的节奏。

因此需要对算力网络进行极简重构,打破行政区划束缚,构建以算力枢纽为中心的直达网络,压缩互联时延至毫秒级,打通管控壁垒,实现算网一体化编排与自动化调度,最终形成架构简、时延低、效率高的新一代算力网络底座。

1.2 算力网络极简需求分析

极简网络是一种以“简化架构、降低复杂度、提升效率”为核心设计理念的网络演进方法论,其本质是通过减少网络层级、收敛转发路径、融合管控平面,实现网络从“复杂连接”向“高效服务”的模式转变。这一方法论与算力网络极简重构高度契合,算力网络的本质是为算力流动提供确定性、低时延、高弹性的网络承载,而极简网络是实现这一目标的最优路径。

算力网络极简重构能够满足算力时代对网络的核心需求,具体体现在以下3个维度。

a) 架构简。打破传统三级架构束缚,以算力枢纽为核心节点,构建“枢纽间直达、枢纽到边缘短接”的扁平化拓扑,消除算力流量在行政区划间的无效绕转,实现算力资源最优路径调度,降低网络复杂度与传输开销。

b) 时延低。通过网络层级压缩、转发路径优化、确定性传输技术应用,将跨地(市)算力互联时延从10 ms级压缩至5 ms以内,满足AI大模型参数同步、实时推理等场景对低时延的严苛要求,保障算力实时调度能力。

c) 效率高。打通网络与算力的专业壁垒,构建统一的算网编排与调度平台,实现算力需求与网络资源的自动匹配、一键开通、弹性调整,将算力专线开通时长从2~3周缩短至分钟级,支撑算力业务快速迭代与

弹性扩展。

2 算力网络极简重构思路

结合某省联通极简网络建设实践,从重构架构、夯实基础、网络升级3个方面协同推进支撑算力网络极简重构。之所以采用“三步法”,是因为算力网络极简重构是一项系统性工程,单一维度的改造难以从根本上解决问题:重构架构解决“拓扑错配”问题,从顶层设计上打破行政区划束缚,建立以算力为中心的组网逻辑;夯实基础解决“物理瓶颈”问题,通过机房演进与光缆加密筑牢底层承载能力;网络升级解决“能力短板”问题,通过资源集中与技术迭代提升传输效率。三者层层递进、互为支撑,确保极简重构落地见效。

2.1 重构架构

打破传统行政区划驱动的网络架构,以算力枢纽、AIDC节点、智算中心为中心重构网络拓扑。围绕算力资源布局统筹网络规划,压缩核心、汇聚、接入三级架构为“枢纽—边缘”两级架构,减少转发层级;在枢纽节点间构建Mesh化直达链路,边缘节点通过最短路径接入就近枢纽,实现算力流量就近疏导、跨域直达,推动网络承载能力与算力资源布局高度协同。

2.2 夯实基础

推动传统机房向AIDC架构演进,整合传输、接入与算力承载功能,实现机房集约化部署与功能融合。同步加密全域光缆网络,依托高速公路、高铁等最短物理路由补齐链路短板,优先建设算力枢纽间、枢纽到AIDC节点的直达光缆,减少跳接与转接环节,从物理层压缩传输时延,构建算力节点间的高速直达通道。

2.3 网络升级

推动算力与网络传输资源向核心节点集中,避免分散部署带来的调度瓶颈。同步升级全光底座,部署400G/800G超高速传输系统,引入全光交叉、灵活切片等技术,实现算力枢纽间大带宽、低时延、灵活调度的全光互联,保障用户便捷入算、全网资源灵活调度,支撑算力业务的高效承载与弹性扩展。

3 算力网络极简部署实践

本章以某省联通为例,阐述算力网络极简在重构架构、夯实基础、网络升级3个方面的具体实践。

3.1 算力网络架构极简重构

以算力节点为中心重构网络拓扑, 聚焦粤港澳核心区域, 围绕“1+(1)+7+25+X+N”打造国际级、国家级、省级算力数据中心梯次布局(见图1)。

a) 国家/国际级中枢重构。以C市、H市双核心为中心, 打通两地双向全光直连链路, 取消跨境冗余转接节点, 实现算力与网络资源池化协同、统一管控, 构建大湾区南北算力高速互联互通通道。

b) 省级异构算力节点架构重构。在A市、D市、B市、H市设置省级节点, 重构A市知识城和A市南沙、B市坂雪岗/同乐和B市新机房两大同城双活集群, 实现网络资源池化、路由互备、一跳直达; 将D市松山湖、H市将军澳等省级节点与双核心建立全量直达路由, 取消地(市)汇聚层中转; 统一全省省级节点网络接口、路由协议与承载标准, 解决属地分割问题。

c) 地(市)级算力节点架构重构。对21个地(市)级节点、4个国际大区节点扁平化精简: 取消地(市)独立汇聚域, 就近直连省级集群与双核心; 将“省级核心一地(市)核心一地(市)汇聚一区(县)接入”四级架构精简为“双中枢核心—算力边缘”两级架构, 实现网络层级扁平化; 完成国际大区节点跨境网络重构, 打通与H市国际枢纽的直达全光链路。

d) 边缘级与生态合作节点架构重构。行业客户边缘节点就近入算, 直接接入属地地(市)/省级节点, 避免层层转发; 生态合作节点统一纳管至全省一体化

算力网络, 建立与省级枢纽、双核心的极简互联专线, 在安全隔离前提下引入外部算力资源。

3.2 加密算间高速光缆

面向全省算力节点, 实施算间高速光缆加密补强工程, 依托高速、高铁构建“2+2”冗余安全基础光缆网络架构(2条高速/高铁光缆+2条国道/省道光缆), 全面替换原有绕转、低带宽、单路径传统路由, 形成覆盖粤北、珠三角、粤西、粤东四大区域算力节点的直达高速光缆网络, 该网络的核心特性体现在以下3个方面。

a) 安全性。双路由、双物理载体隔离部署, 消除单一路由中断隐患, 满足高等级安全承载要求。

b) 低时延。依托高速/高铁最优物理路由, 摒弃地(市)属地绕转, 压缩相邻节点间传输距离, 实现算力互联时延最优。

c) 覆盖与灵活。全面覆盖全省地(市), 实现“网随业动、按需调度”, 支撑算力资源灵活编排与弹性扩展。

表1给出了算间高速光缆建成前后的效果对比。

3.3 部署 400G 全光底座

基于高速光缆底座, 全面部署 400G 全光传送系统, 构建高可靠、低时延、大带宽的多平面网状架构, 将四大区域算力节点纳入全光组网, 形成多平面承载、超低时延、超大带宽、智能管控四大核心能力, 具体如下。

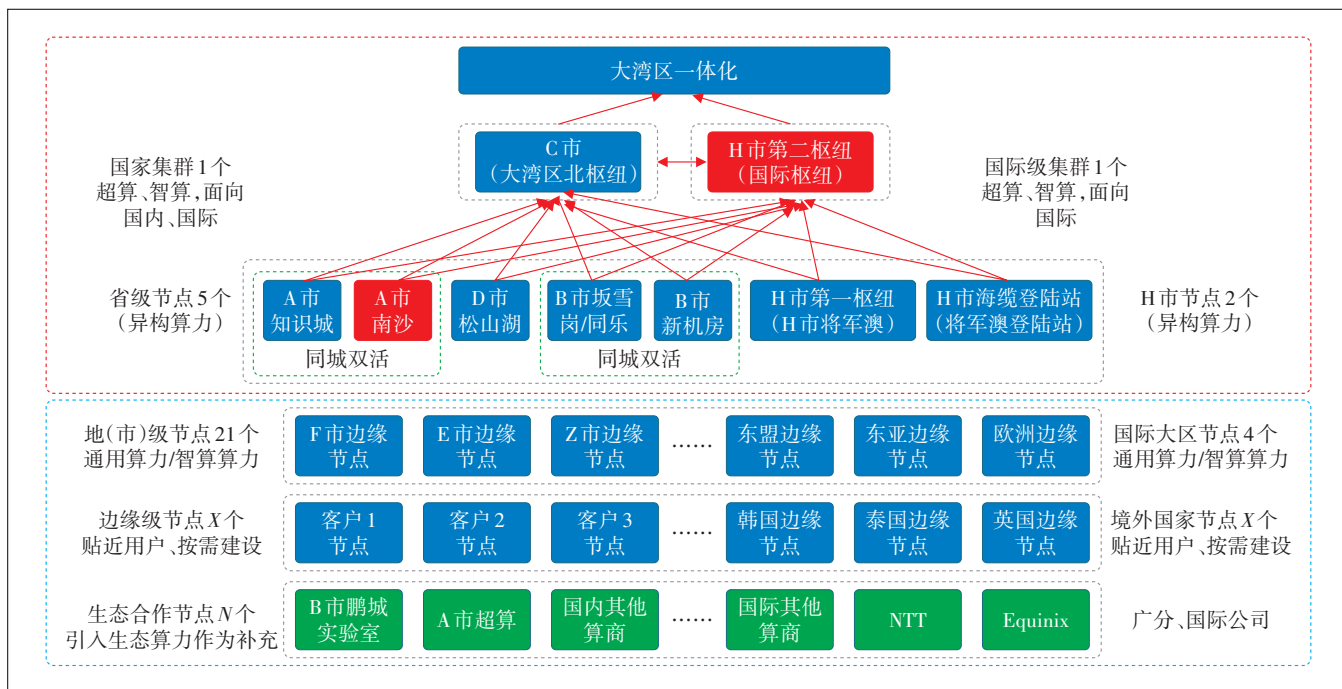


图1 粤港澳大湾区“1+(1)+7+25+X+N”算力布局

表1 某省联通算间高速光缆建成效果对比

指标	建设前	建设后
核心枢纽间路由方式	单一路由,沿国道/省道敷设	双路由,沿高速/高铁+国道/省道双物理载体隔离
A市—C市物理距离	约195 km(国道绕转)	约160 km(高铁最短路径)
A市—C市单向时延	约1.0 ms	约0.8 ms
光缆抗毁性	单路由故障即中断	双路由自动保护,满足99.999%可靠性

a) 多平面承载。划分独立业务平面,满足算力调度、政务专线、AI训推等不同业务隔离需求;统一承载于加密光缆,物理层安全可靠;退网老旧高功耗设备,实现网络轻量化。

b) 超低时延。结合最优光缆路由,建设C市、A市、B市等核心枢纽间全光直达链路,压缩传输时延。

c) 超大带宽。规模部署400G系统,满足核心枢纽单端口400G互联需求,支撑AI大模型训练与海量数据交互。

d) 智能管控。完善全光网络统一管控平台,开放北向接口,实现链路智能调度、故障监测、业务快速开通及算力路由智能优选。

3.4 大湾区算力中心互联互通

如图2所示,某省联通依托加密光缆底座与400G全光承载底座,完成粤港澳大湾区全域算力中心T级高速互联互通组网^[6],实现C市国家级枢纽、广深省级枢纽、港澳节点、科研实验室节点全域并网互通,其核心优势体现在如下3个方面。

a) 大带宽。核心节点T级互联,打破传统带宽瓶颈,支撑万亿参数大模型训推。

b) 低时延。依托全光直达最短路由,核心枢纽间毫秒级互通,构建1、3、5 ms全省算力时延圈。

c) 高可靠。算间互联可靠性达99.999%,结合多路径冗余光缆与全光智能保护,实现业务百毫秒级快速恢复。

3.5 城域用户入算全场景网络覆盖实践

为支撑算力资源高效利用,某省联通在城域网层面构建“全域覆盖、分层服务”的用户入算体系(见图3),实现从家庭到企业、从普通用户到高价值客户的全方位算力接入。

a) 面向普通用户。通过5G手机卡与家庭宽带实现“无感用算”,无需复杂配置即可享受云存储、轻量级AI等普惠算力服务,保障毫秒级响应体验。

b) 面向企业用户。提供OTN专线、IP专线等差异化高等级入算通道,通过分价位、全场景服务匹配,满足政务、工业、医疗等行业对低时延、高可靠的严苛要求,实现算力资源即取即用。

表2给出了某省联通不同网络类型入算关键特性与适用场景对比。

4 应用价值

算力时代下,传统网络必须围绕算力布局重构。以前按行政区划组网的架构,在拓扑、时延、管控3个维度与算力业务需求存在结构性矛盾,架构重构是行业转型的必经之路。

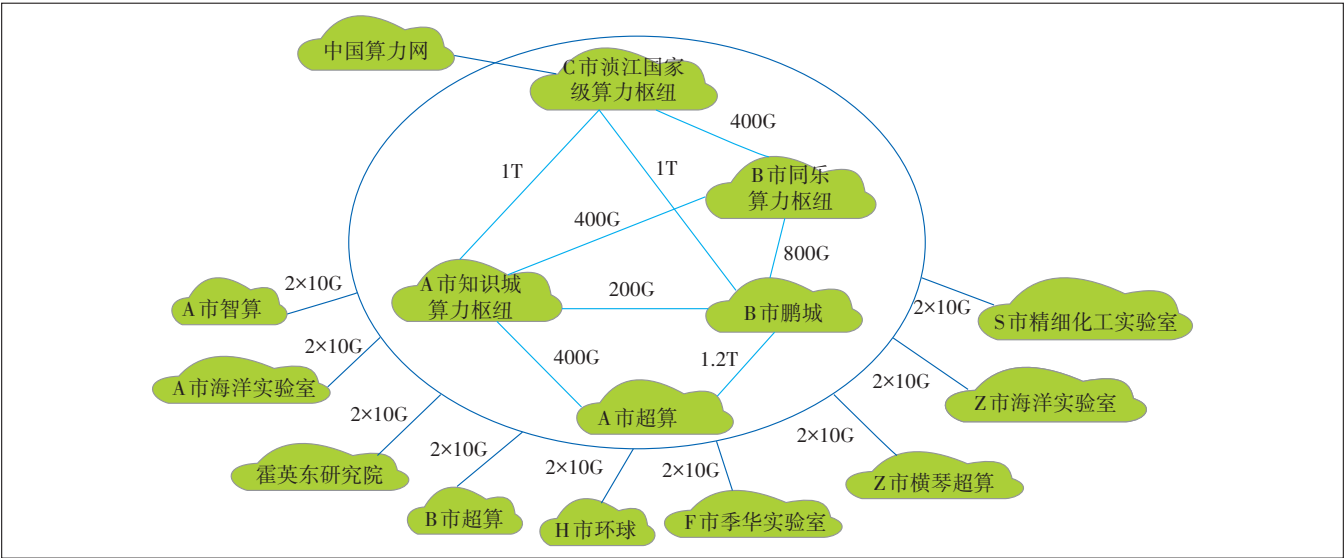


图2 大湾区算力中心互联互通拓扑

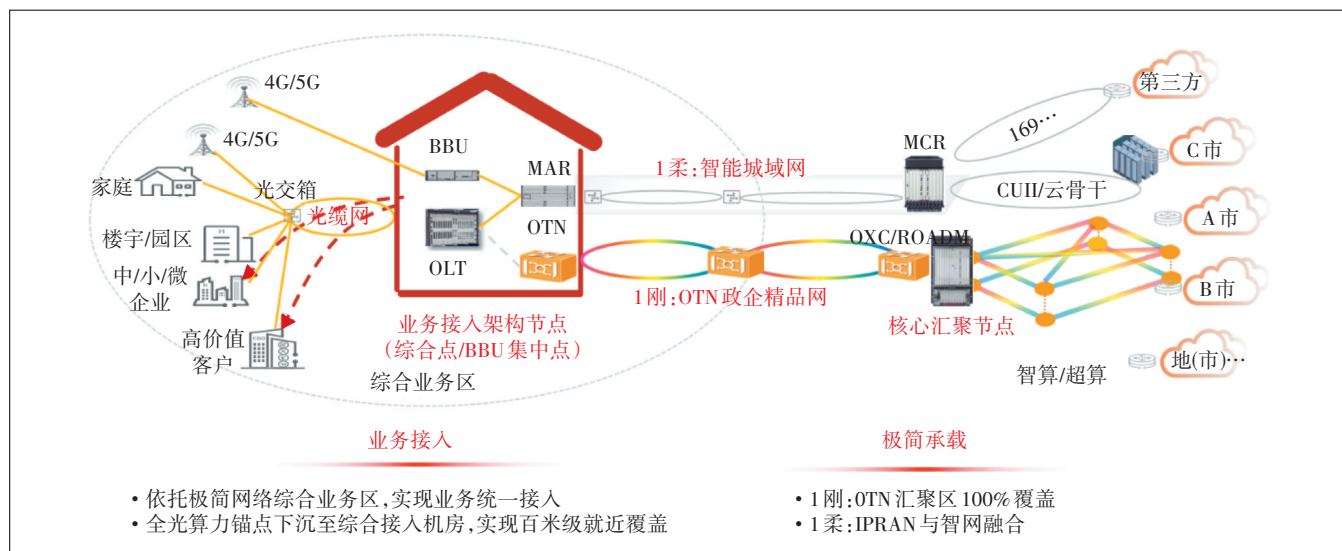


图3 城域用户入算全场景图

表2 某省联通不同网络类型入算关键特性与适用场景对比

网络类型	覆盖范围	接入特性	适用场景
5G无线网络	全域人口近100%	移动接入, 毫秒级响应	移动办公、边缘计算、车联网
千兆/万兆宽带	家庭与企业全域	高带宽, 普惠接入	云存储、云渲染、超高清视频
OTN网络	汇聚区100%覆盖	硬管道隔离, 高可靠	政务、金融、工业控制
IP网络	城乡全域无死角	覆盖最深, 成本最优	普通企业、中小企业通用接入

本文提出“拓扑重构—夯实基础—网络升级”三步法。

a) 拓扑重构。打破行政区划惯性, 围绕算力枢纽重组网络, 压层级、去冗余。

b) 夯实基础。传统机房升级为AIDC, 加密光缆、依托高速高铁补齐链路短板。

c) 网络升级。资源向核心节点收拢, 部署400G全光底座, 实现算间高速互联、用户就近入算。

在某省联通现网实践中, 已实现层级精简55%、核心枢纽间时延最优等可量化效果, 具备行业推广价值。

5 结束语

随着未来全场景智能应用对低时延、高可靠算力的需求不断提升, 算力网络正面临前所未有的架构复杂性和性能挑战。某省联通在现有成果的基础上持续深耕, 在技术层面, 将向800G全光网络、IPv6+、自智网络方向升级迭代, 进一步压缩传输时延, 提升算力

调度的智能化水平; 在架构层面, 将探索极简网络与智算中心的深度融合方案, 同时提前布局面向6G网络的原生极简算力网络架构; 在行业层面, 把实践的经验梳理成标准化的实施方案, 推动这套极简算力网络架构在全国运营商网络中进行规模化复制, 为行业算网一体的演进提供更多可参考的实践经验^[7]。

参考文献:

- [1] 贾庆民, 胡玉姣, 张华宇, 等. 确定性算力网络研究[J]. 通信学报, 2022(10): 55-64.
- [2] 何涛, 杨振东, 曹畅, 等. 算力网络发展中的若干关键问题研究[J]. 电信科学, 2022(11): 1-9.
- [3] 张维庭, 孙呈惠, 王洪超, 等. 算网资源智能适配与融合调度方法[J]. 电信科学, 2023(9): 12-20.
- [4] 唐雄燕, 曹畅, 张岩, 等. 算力服务原生技术体系架构研究与实践[J]. 信息通信技术, 2023(3): 42-49.
- [5] 林睿, 邢文娟, 雷波. 面向算网协同的极简承载网络架构优化研究[J]. 电信科学, 2023(10): 1-8.
- [6] 栗蔚, 张博圣, 孙松林, 等. 算力互联网全域协同架构设计与演进[J]. 通信学报, 2024(6): 1-16.
- [7] 王江舟, 刘元安, 彭木根, 等. 通感算一体化极简网络演进与关键技术[J]. 通信学报, 2022(10): 1-15.

作者简介:

张俊新, 工程师, 学士, 主要从事极简网络、基础架构等领域研究和光缆网规划工作; 韩伟禧, 高级工程师, 硕士, 主要从事无线、宽带、承载等网络的规划和新技术研究跟踪工作; 曹令乾, 工程师, 学士, 主要从事承载网、光缆网、基础架构等领域研究和规划工作; 张式娟, 高级工程师, 学士, 主要从事承载网、光缆网等领域研究和规划工作; 刘雁斌, 高级工程师, 学士, 主要从事承载网、数据网、传输网的网络规划及新技术研究工作。