

“东数西算”背景下运营商 公众骨干网络架构演进探讨

Discussions on Evolution of the Architecture of Telecommunications Operators' Public Backbone Networks under Background of “East-Data-West-Computing”

赵广, 刘琦, 魏汝翔, 田洪宁, 杨婧雅(中国联通研究院, 北京 100048)

Zhao Guang, Liu Qi, Wei Ruxiang, Tian Hongning, Yang Jingya (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

“东数西算”战略在优化我国算力资源布局的同时,将显著影响运营商的公众骨干网络架构。分析了运营商算力和公众用户的分布数据,指出了当前算力分布在地区间、省间的不平衡。同时,对“东数西算”第一类节点的业务热点区域的流量本地化程度进行了分析,发现部分流量本地化区域化程度不高、数据中心集约程度不足。基于分析结果和政策背景,提出了一种适应“东数西算”工程算力分布趋势的区域化、层次化运营商公众骨干网络架构,以优化用户感知,高效利用网络资源,将自身发展与国家战略更好地融合。

关键词:

东数西算; 公众网络; 流量区域化

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.09.014

文章编号: 1007-3043(2024)09-0080-07

中图分类号: TN915.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

“East-Data-West-Computing” project optimizes the layout of computing power of our country, and will also significantly affect the public backbone network architecture of telecommunication operators. It analyzes the distribution of computing power and public network users of telecommunication operators, points out that there is an imbalance between regions and provinces in the current computing power layout. Meanwhile, it analyzes the degree of localization of traffic in the category I nodes of “East-Data-West-Computing”, which is business hotspot areas, finding that the regionalization of traffic is not high and the degree of data center intensiveness is insufficient in some areas. Based on analysis results and relevant policies, it presents a regionalized and hierarchical operators architecture for public backbone network of telecommunication operators, in order to optimize user experience and achieve efficient network resources utilization, and integrate telecommunication operators' own development with national strategies better.

Keywords:

“East-Data-West-Computing” project; Public networks; Traffic regionalization

引用格式: 赵广, 刘琦, 魏汝翔, 等. “东数西算”背景下运营商公众骨干网络架构演进探讨[J]. 邮电设计技术, 2024(9): 80-86.

0 引言

“东数西算”工程是我国在加速推进数字化转型、社会数据总量爆发式增长的背景下,实施的一项推动数据中心合理布局、供需平衡、绿色集约、互联互通,实现数据中心绿色高质量发展的国家战略工程^[1],其实施将深刻影响、全局性改变我国的数据中心和算力

布局。随着云计算技术演进和算力的集约化,我国电信运营商已普遍采用以算力为核心、云网一体的网络发展策略。算力布局的变化必然带来网络架构的优化需求。对于公众互联网业务,电信运营商需要以国家战略布局为指引、以提升用户感知为目标,在网络节点部署、网络连接设置、网络流量引导等层面持续优化,形成适应新的算力布局和业务形态的新型公众网络架构,在“东数西算”工程的推进实施中发挥更关键作用。

收稿日期: 2024-07-16

1 “东数西算”工程对全国算力布局的影响

“东数西算”工程基于能源结构、产业布局、市场发展、气候环境等因素^[2],在全国布局建设8个全国一体化算力网络国家枢纽节点(简称“枢纽节点”)。其中4个枢纽节点位于用户规模较大、应用需求强烈的业务热点区域,包括京津冀、长三角、粤港澳大湾区和成渝;另外4个枢纽节点位于可再生能源丰富、气候适宜,适合建设大规模绿色数据中心的西部、北部省份,包括贵州、内蒙古、甘肃和宁夏。下文将前4个枢纽节点归为第一类,后4个归为第二类。

工程依托8个枢纽节点,在起步阶段规划了10个数据中心集群,集群详细布局情况如表1所示。

表1 “东数西算”枢纽节点及集群规划布局

枢纽节点	数据中心集群	起步区涉及省份	起步区涉及地(市)
京津冀	张家口数据中心集群	河北	张家口
长三角	长三角生态绿色一体化发展示范区数据中心集群	上海、江苏、浙江	上海、苏州、嘉兴
长三角	芜湖数据中心集群	安徽	芜湖
粤港澳大湾区	韶关数据中心集群	广东	韶关
成渝	天府数据中心集群	四川	成都
成渝	重庆数据中心集群	重庆	重庆
贵州	贵安数据中心集群	贵州	贵阳、安顺
内蒙古	和林格尔数据中心集群	内蒙古	呼和浩特、乌兰察布
甘肃	庆阳数据中心集群	甘肃	庆阳
宁夏	中卫数据中心集群	宁夏	中卫

上述节点和集群规划将从以下方面影响我国算力资源布局。

1.1 算力资源层次化

我国现有的数据中心集中在人口密集和经济发达地区,第一类枢纽节点所处的京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝地区的机架数量在全国的占比超过60%^[3],其中京津冀所属的华北地区的算力占40%,是全国算力分布最集中的地区^[4]。

与此同时,此类地区数据中心的上架率也高于全国平均水平。如北京市是全国IDC市场规模占比最大的城市,占中国IDC市场规模的25%以上^[4]。部分一、二线城市的IDC上架率可达到60%~80%,甚至更高,而中西部部分省份的上架率不足30%^[5-7]。另一方面,数据中心是能源消耗和碳排放的“大户”,且当前

我国数据中心的“绿电”使用率只有20%^[8]。在“双碳”目标下,一些东部地区数据中心产业布局日趋密集,面临能耗指标紧张、电力成本高等瓶颈,而一些西部地区可再生能源丰富,气候、地质等条件适宜,数据中心产业绿色发展潜力较大^[9]。

在我国未来算力需求仍将以20%以上的年增速增长的背景下^[10]，“东数西算”工程将根据业务需求类型,把支撑各类业务的算力在全国范围内重新布局。对于要求低时延、实时性强、交互频次高的视频直播、游戏、金融交易等业务需求,其算力资源仍以第一类枢纽节点为核心,靠近用户和流量密集的区域分布。对于进一步要求极低时延的VR/AR、超高清视频、车联网等业务,利用城市城区内数据中心,部署边缘算力资源提供本地化或就近服务。而对于后台加工、离线分析、存储备份等时延要求不高、不与用户直接交互或交互频次较低的非实时算力需求,其算力资源将部署在第二类枢纽节点所在区域及其他中西部地区。在未部署枢纽节点的地区,也将以省为单位统筹省内算力布局,加强与国家枢纽节点的衔接,实现国家级和省级算力级联调度^[1]。

通过以上分类规划,实际形成了第二类枢纽节点(全国离线非实时应用)-第一类枢纽节点(全国高交互低时延应用)-省级节点(本省或邻近各类应用)-边缘节点(本地或邻近极低时延应用)这一结合了业务类型和地域的层次化算力布局。

1.2 算力资源集约化

推动数据中心绿色集约发展是“东数西算”工程的总体目标之一。工程通过国家级枢纽节点和数据中心集群的规划引导各区域各类算力资源集聚分布,通过规模经济实现基础设施和能源的高效利用。

在国家级枢纽节点中,第一类枢纽节点将集中部署服务周边人口和流量密集区域的实时性算力资源,并进一步向外辐射。如张家口集群承接北京等地的实时性算力需求,并辐射华北、东北等区域;江浙沪集群和芜湖集群承接长三角中心城市的实时性算力需求,并辐射长三角全域;韶关集群承接广深等地实时性算力需求,并辐射华南。第二类节点将集中部署全国范围,主要是第一类节点周边区域的离线非实时算力需求。如大湾区的离线算力需求向贵州、甘肃迁移,长三角的离线算力需求向内蒙古、贵州、甘肃迁移等。其中内蒙古节点由于距离京津冀较近,也可承接京津冀区域的一部分实时算力需求。在省级层面,也

将对本省的数据中心进行统筹规划,使其在省内规模化集约化分布。在“东数西算”战略出台前后,阿里、华为、腾讯、字节跳动等主流云计算厂商和三大运营商已开始对相关枢纽节点集约化布局大型数据中心,并广泛应用绿色节能技术^[11-14]。

2 算力分布与运营用户分布匹配度现状分析

算力资源分布的重要考虑因素之一是其最终用户的分布。将算力规模与用户规模进行对比,观察二者的分布是否匹配,进而得出算力资源分布不平衡的具体区域和程度。

2.1 数据来源及计算方法

2.1.1 用户规模数据

最终用户主要通过电信运营商网络访问算力资源,因此将各省电信运营商家庭宽带用户和移动用户规模近似作为最终用户规模。本文的数据来源为各省级行政区的2022年统计年报。

2.1.2 算力规模数据

我国数据中心市场的市场主体包括电信运营商和第三方数据中心运营商两大类。三大电信运营商约占市场份额的54%^[15],其余份额属于第三方数据中心运营商。将三大运营商及万国数据、世纪互联、光环新网、秦淮数据、数据港五家头部第三方数据中心运营商在各省的数据中心机架规模,作为近似的算力规模。本文的数据来源于与省域数据中心总体机架规模、三大运营商在各省的机架规模相关的公开新闻和上市公司年报等,根据不同信息对每省的机架数进行综合估算。

2.1.3 计算方法

设定 k_{1i} 、 k_{2i} 为省 i 的本地算力密集度,为该省算力规模与用户规模的比值,该值越高表示该省当前的算力部署越密集,其计算公式如下:

$$k_{1i} = \frac{r_i}{u_{1i}}$$

$$k_{2i} = \frac{r_i}{u_{2i}}$$

其中, r_i 为估算的省 i 的数据中心机架数, u_{1i} 为省 i 的家庭宽带用户数, u_{2i} 为省 i 的移动用户数。 k_{1i} 、 k_{2i} 的单位为机架/万用户。

2.2 算力密集度分省计算结果

经计算, k_1 在全国的加权平均值为32, k_2 在全国的加权平均值为11。

以宽带用户为基数,算力密集度最高的3个省级行政区是北京、上海、天津,密集度最低的3个省份是湖北、广西、新疆。以移动用户为基数,算力密集度最高的3个省级行政区是北京、上海、天津,密集度最低的3个省份是湖北、广西、云南。

2.3 按地区划分的算力密集度

将内地31省划分为东北、华北、华东、华中、华南、西北、西南7个地区(见表2),各地区算力密集度计算结果如表3所示。

表2 各地区划分

区域	包含省份
东北	辽宁、吉林、黑龙江
华北	北京、天津、河北、山西、内蒙古
华东	上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东
华中	河南、湖北、湖南
华南	广东、广西、海南
西北	陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆
西南	重庆、四川、贵州、云南、西藏

表3 分地区算力密集度

	以家庭宽带用户为基数的算力密集度	以移动用户为基数的算力密集度
华北	104	33
东北	18	6
华东	32	12
华中	10	4
华南	21	6
西南	18	6
西北	14	5
全国	32	11

由表3可知,华北地区是我国算力最为密集的地区,密集度远高于全国平均值;华东地区的算力密集度与全国平均水平接近;其他地区的算力密集度均低于全国平均值,华中地区最低。

2.4 “东数西算”枢纽节点算力密集度

统计8个“东数西算”枢纽节点所涉及省份的算力密集度,统计范围及结果如表4所示。

由表4可知,在4个第一类枢纽节点中,京津冀节点现有算力密集度远高于全国平均水平,也是全国算力密集度最高的区;长三角节点的算力密集度略高于全国平均水平;大湾区节点算力密集度略低于全国平均水平,成渝节点的算力密集度较低。在4个第二类枢纽节点中,内蒙古节点现有算力密集度远高于全国

表4 枢纽节点涉及省算力密集度

枢纽节点	所属类别	涉及省	以家庭宽带用户为基数的算力密集度	以移动用户为基数的算力密集度
京津冀	第一类	北京、天津、河北	127	40
长三角	第一类	上海、江苏、浙江、安徽	43	16
粤港澳大湾区	第一类	广东	28	8
成渝	第一类	重庆、四川	16	6
内蒙古	第二类	内蒙古	78	26
贵州	第二类	贵州	30	8
宁夏	第二类	宁夏	27	11
甘肃	第二类	甘肃	14	6

平均水平;贵州节点、宁夏节点的算力密集度略低于全国平均水平,甘肃节点的算力密集度较低。

2.5 算力密集度特征分析

综合以上数据可知,考虑用户规模后,我国算力分布的现状仍呈现地区间、省间严重不平衡的特点。数据中心资源向北京、天津、上海、河北等少数省份高度集中,这些地区的资源密集度远远超过大部分省份。

从全国角度看,北京、天津、河北、上海等地区资源过于密集,带来较高的用能成本和碳排放,需积极向第二类枢纽节点疏散非实时算力需求。在承接算力转移到第二类枢纽节点时,内蒙古由于与京津距离较近,已有较高的算力密集度,可直接承接第一类枢纽节点的算力转移,而其他节点,尤其已有算力资源基础较弱的甘肃节点,还需进一步增加算力资源供给。

从第一类算力节点内部看,京津冀节点北京、天津的算力密集度更高,需就近向张家口等地疏散实时算力。同理,上海的实时算力需向算力密集度较低的芜湖等地进行疏散。

3 第一类枢纽节点省份流量流向现状分析

在实时算力、非实时算力合理分布的基础上,还需要实时算力的合理调度、就近服务,尽可能减少业务流量无效绕转,才能实现用户感知的稳定提升和网络资源的高效利用。

第一类枢纽节点及周边区域作为人口、经济、用户、流量的聚集地,其用户流量是否由区域内部算力服务和就近服务的流量比例大小,可显著影响骨干网资源的利用率,并一定程度影响用户业务体验。以中

国联通为例,对于4个“东数西算”第一类枢纽节点,以每个节点所涉及省份作为一个区域,分别统计区域内骨干网、城域网以及直连骨干网的数据中心(简称“直连数据中心”)之间的链路连接和流量,观测流量流向现状的特征和合理性。基于统计数据的网络拓扑及流量如图1、图2、图3和图4所示,其中箭头线条的宽度代表流量大小。

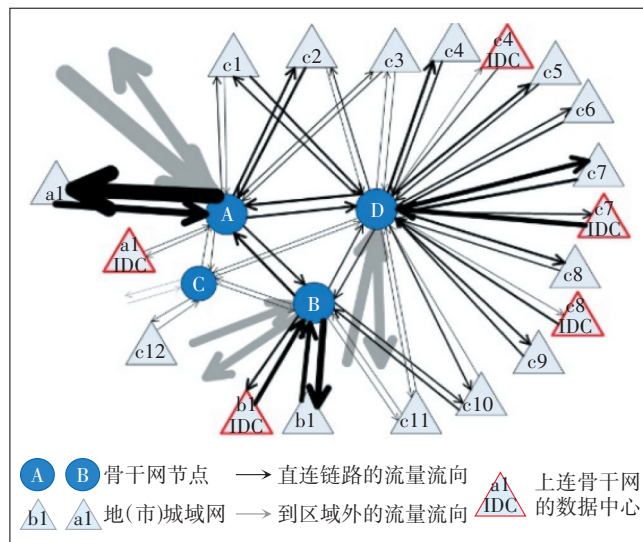


图1 京津冀网络拓扑及流量流向示意

观察图1、图2、图3和图4可知,同一枢纽节点涉及的各省间,即区域内部省间,尽管均已经具备两两直连的全连接架构,但省间流量普遍较低,远小于域内跨城域网业务流量需求(骨干网-城域网下行流量),并且也低于区域内-区域外的流量,业务流量在本区域内终结的比例仍然较低。

同时,观察各区域的城域网及直连数据中心-骨干网上行流量,可见各区域内普遍缺乏上行流量规模明显突出的区域集约数据中心。且除成渝节点外,各区域上行流量最大的城域网、直连数据中心所在地与“东数西算”规划起步区的匹配度不高。

进一步统计各区域流量流向数值,以每区域的骨干网-城域网下行流量为基准,分别统计该区域内城域网及直连数据中心-骨干网上行流量、骨干网区域外流入流量、骨干网至区域外流出流量与此基准的比值,具体如表5所示。

由表5可知,各区域普遍存在较大比例的与区域外的流量交换,且除长三角外均为流入大于流出,说明第一类枢纽节点及周边区域仍存在较大比例的域外服务流量。而长三角及周边区域存在一定比例服

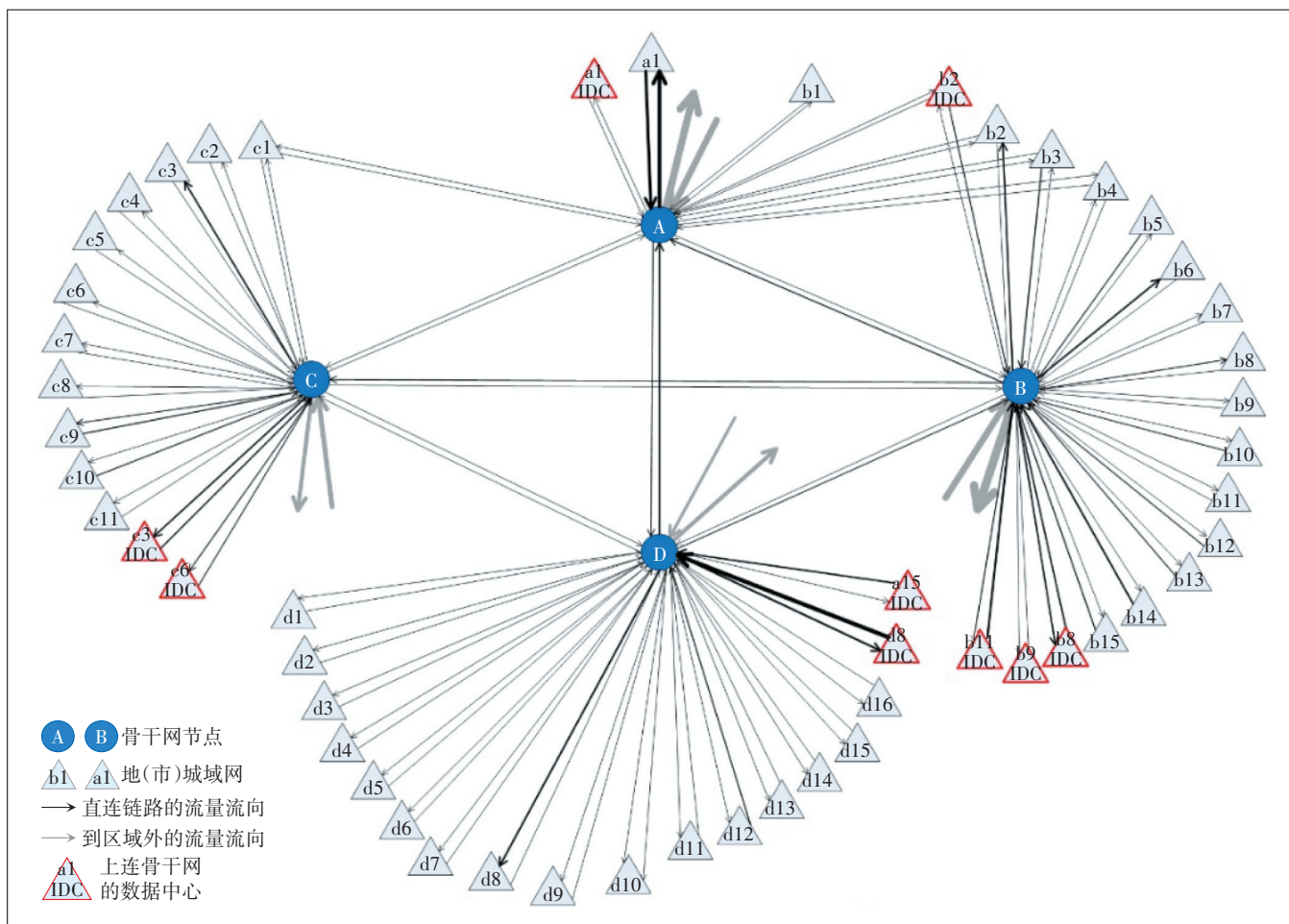


图2 长三角网络拓扑及流量流向示意

务域外的流量。

从以上分析可知,尽管运营商在4个第一类枢纽节点及周边区域已具备了省内省间的完善连接,但仍存在较大比例的区域外服务流量。区域范围内缺乏集约化的数据中心,且数据中心现有布局与“东数西算”规划存在差异。4个第一类枢纽节点及周边作为业务热点区域,需通过“东数西算”工程建设,进一步优化流量流向,使用户的主要业务流量尽可能由区域内数据中心集群服务,促进流量区域化、本地化。

4 运营商互联网骨干网目标架构

在“东数西算”工程推动算力集约化、层次化分布背景下,运营商公众互联网骨干网应逐步实现向区域化、层次化的过渡。

基于对政策背景及现网数据的分析,本章提出一种适应“东数西算”工程发展要求的运营商互联网骨干网目标架构。与传统的骨干网核心-骨干网汇聚-

省网-城域网的分层架构不同,新的目标架构聚焦业务热点地区,以流量本地化、区域化为目标,力求在用户感知和网络建设成本间达到平衡,实现业务的高效承载。

4.1 热点地区网络区域化

以4个第一类枢纽节点及周边区域为核心,向更大范围的邻近省份拓展,形成范围更广的区域网络。统筹规划建设区域内网络架构,形成以下网络架构。

- a) 区域内用户流量较大的主要省份,其骨干网节点省间全互联。
- b) 区域内用户流量较大的城域网,根据实际情况跨省上联多个主要骨干网节点。
- c) 第一类枢纽节点数据中心直连区域内所有主要省份的骨干网节点。
- d) 适量集约部署的省级数据中心上联同省骨干网节点,服务省内及邻近用户。

4.2 区域网络间的互联

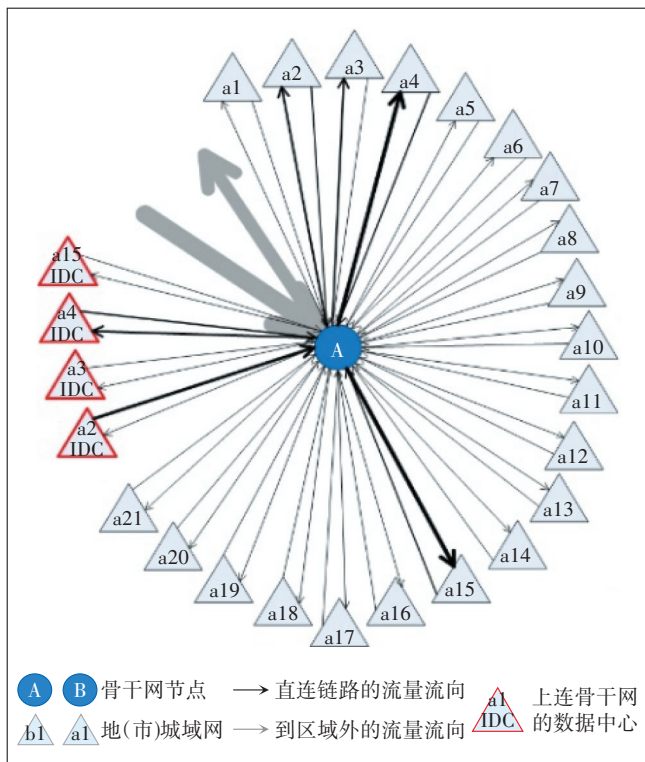


图3 大湾区(珠三角)网络拓扑及流量流向示意

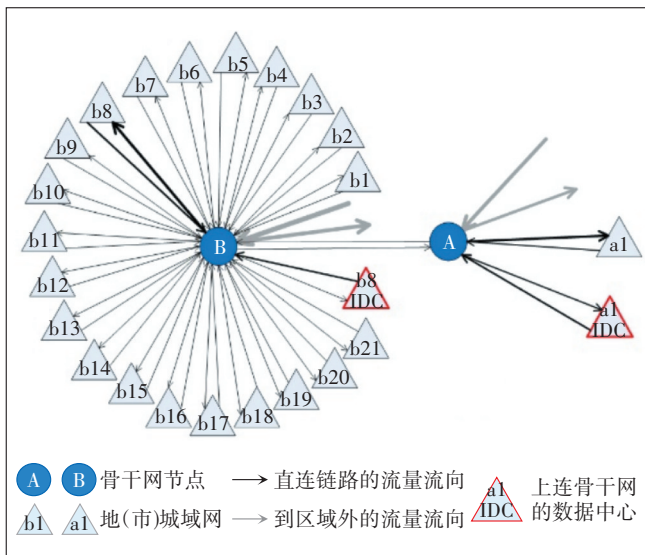


图4 成渝网络拓扑及流量流向示意

4个区域网络形成后,仍需区域间链路承载未能本地化、区域化承载的业务流量,以及枢纽节点间需由互联网承载的流量。

a) 以4个第一类枢纽节点为核心形成的区域网络间全互联,但每区域只选择少量主要省份与其他区域互联。

表5 第一类枢纽节点及周边区域流量流向相对值

枢纽节点	区域内城域网及直连数据中心上行流量/区域内骨干至城域网下行流量	区域外骨干网流入流量/区域内骨干至城域网下行流量	区域外骨干网流出流量/区域内骨干至城域网下行流量
京津冀	0.92	0.83	0.69
长三角	1.56	1.11	1.30
粤港澳大湾区	0.85	1.26	0.88
成渝	1.04	1.37	1.04
平均	1.07	1.00	0.89

b) 第二类枢纽节点数据中心就近上联骨干网,涉及的骨干网节点间全互联。

c) 区域网络与第二类枢纽节点上联的骨干网节点互联,可根据地理位置和业务需求,每个区域网络与1~3个第二类枢纽节点互联,无需全部互联。

4.3 其他地区的网络

对于4个区域网络未涉及的省份,根据运营商实际业务,仍维持当前网络架构,增加省级数据中心的业务集约及其与骨干网的就近连接。区域网络及区域间互联示意如图5所示。

运营商可基于以上目标架构,协同应用方、内容服务商等利益相关方,通过合理的流量调度,使流量区域化、层次化分布,在提升用户感知的同时,实现网络资源的高效合理利用,从而进一步优化网络使用成本,推动行业协同健康发展。

5 结束语

“东数西算”工程是国家战略层面的一次跨地区、跨行业的资源重构,运营商需主动适应资源要素的分布变化以将自身发展与国家战略更充分融合。本文在分析“东数西算”工程对算力分布具体影响的基础上,结合具体数据分析了当前我国的算力密集度分布特征。同时,进一步聚焦4个人口密集、经济发达地区的枢纽节点,指出其当前流量区域化程度不足、数据中心集约化程度不足等特点。最后,基于现状及优化需求,对运营商公众互联网骨干网未来的架构演进目标提出区域化、层次化的具体建议。后续将密切跟踪相关政策的发布和工程进展,并结合更详细、多维度的现网数据进一步开展应用层面的网络演进分析。

参考文献:

[1] 国家发展改革委,中央网信办,工业和信息化部. 全国一体化大数

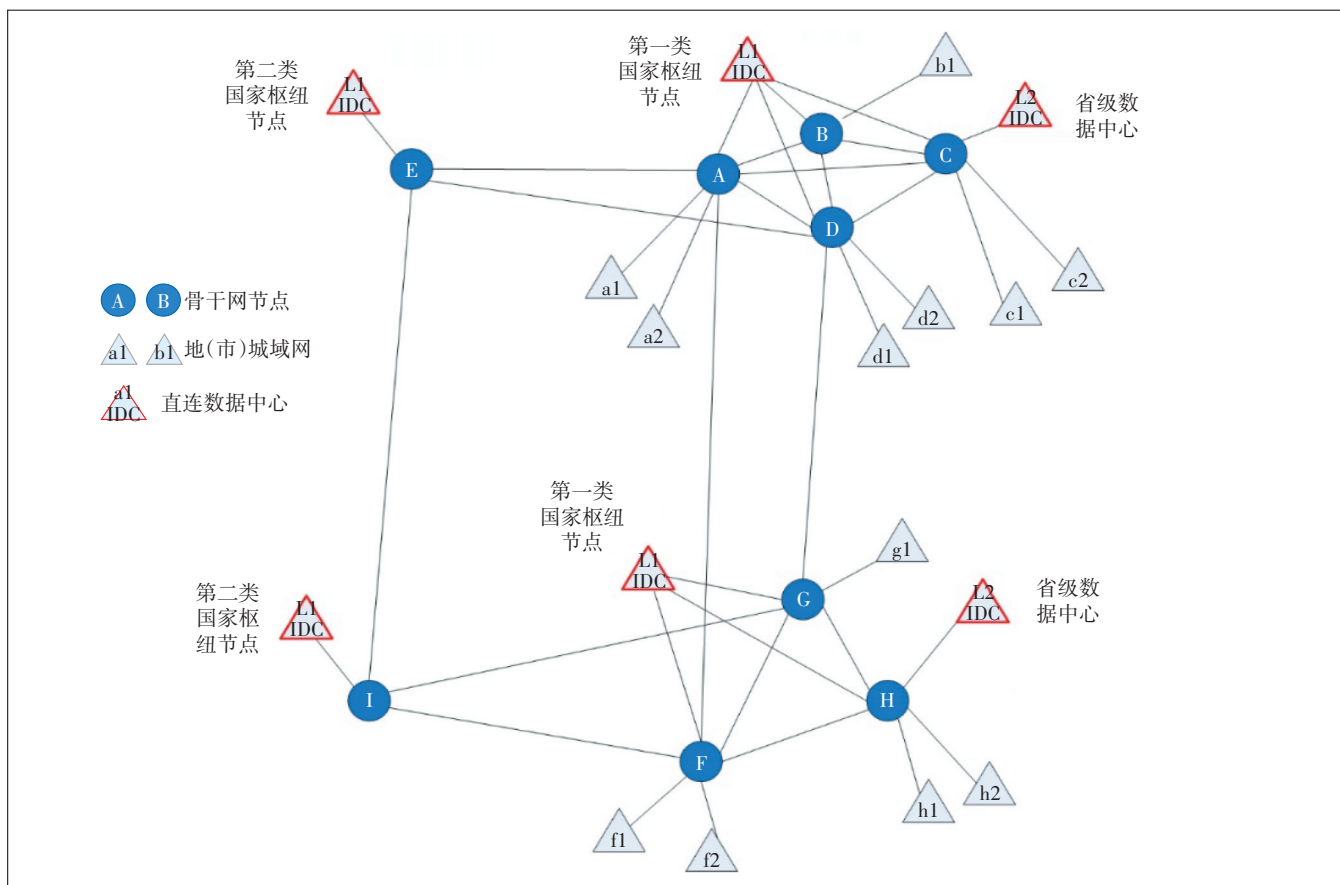


图5 运营商互联网骨干网目标架构建议局部示意

据中心协同创新体系算力枢纽实施方案[EB/OL]. [2024-03-26]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202105/P020210526354055584648.pdf>.

[2] 国家发展改革委,中央网信办,工业和信息化部. 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[EB/OL]. [2024-03-28]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202012/t20201228_1260496.html.

[3] 刘富荣. 加快实施“东数西算”工程对构建全国一体化大数据中心体系新格局的重要意义[J]. 财经界, 2021(17): 1-2.

[4] 梅雅鑫. 大咖共话“东数西算”京津冀节点的机遇和挑战[J]. 通信世界, 2022(6): 18-21.

[5] 贾珊珊,杨天宇. “东数西算”启动 八大算力枢纽蓄势待发[J]. 中国工业和信息化, 2022(4): 46-49.

[6] 易成岐, 窦悦, 陈东, 等. 全国一体化大数据中心协同创新体系: 总体框架与战略价值[J]. 电子政务, 2021(6): 2-10.

[7] 王建冬, 于施洋, 窦悦. 东数西算: 我国数据跨域流通的总体框架和实施路径研究[J]. 电子政务, 2020(3): 13-21.

[8] 王方方. “东数西算”: 布局一体化算力网络, 助推经济高质量发展[J]. 科技与金融, 2022(7): 57-58.

[9] 韩鑫. 夯实数字经济发展底座[J]. 中国报业, 2021(16): 7.

[10] 曹方, 张鹏, 何颖. 构建“东数西算”网络创新体系推动数字经济发展[J]. 科技中国, 2022(3): 5-8.

[11] 丹妮. 阿里云: 积极布局“东数西算”建设低碳绿色数据中心[J]. 中国测绘, 2022(8): 22-23.

[12] 吕栋. 科技巨头加速“东数西算”新基建布局[J]. 中国工业和信息化, 2022(4): 50-54.

[13] 刘雨琦. “东数西算”工程启动, 云计算巨头如何布局数据中心?[J]. 大数据时代, 2022(3): 46-55.

[14] 郭倩. 锚定新赛道 三大运营商加码布局“东数西算”[N]. 经济参考报, 2022-03-28(6).

[15] 中国信息通信研究院云计算与大数据研究所. 中国第三方数据中心运营商分析报告(2022年)[R/OL]. [2024-01-04]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/zfbg/202204/P020220408530633654580.pdf>.

作者简介:

赵广, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事IP网络演进研究工作; 刘琦, 毕业于北京交通大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事网络长期演进及承载网规划研究工作; 魏汝翔, 毕业于北京交通大学, 工程师, 硕士, 主要从事IP网络演进研究工作; 田洪宁, 毕业于北京工业大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事网络长期演进及承载网规划研究工作; 杨婧雅, 毕业于北京交通大学, 工程师, 硕士, 主要从事网络长期演进及承载网规划研究工作。