

数字经济背景下的算力网络研究

吕廷杰¹, 刘 峰^{2,3}

(1.北京邮电大学 经济管理学院,北京 100876;2.华东师范大学 计算机科学与技术学院,上海 200062;
3.上海对外经贸大学 人工智能与变革管理研究院,上海 200235)

摘 要:算力网络(CFN, Computing First Networking)是随着以云计算为代表的传统中心化算力资源下沉到边缘计算的分布式新型算力资源解决方案,是现代数字化社会的发展基础和数字经济时代推动经济高质量发展的新引擎。当前,面向用户服务的传统算力网络在大数据时代,协同计算效率低下的劣势日益明显,算力网络亟需转型革新。在分析传统算力网络基础上,进一步探讨分布式形态下算力网络的可研究和落地方向。研究认为:在分布式架构算力网络下引入区块链、边缘计算等技术可以为智慧地球应用提供数字动力;融合区块链技术的分布式云计算底层操作系统,能够让更多有资源优势和运营能力的单位都有机会基于此算力架构更好实现商业落地;分布式算力网络有望成为未来十年最值得期待的信息基础设施变革之一。

关键词:数字经济;区块链;5G;工业互联网;多接入边缘计算;分布式算力网络

中图分类号:F49;TP393

文献标识码:A

文章编号:1672-8106(2021)01-0011-08

一、引 言

算力网络(CFN, Computing First Networking)是随着以云计算为代表的传统算力时代算力资源中心化逐渐下沉到边缘行业发展趋势下的一种新算力资源解决方案。这种将边缘计算节点、云计算节点以及含广域网在内的各类网络资源融合,通过对云计算节点的计算、存储资源、广域网的网络资源进行协同并可以根据业务特性提供灵活、可调度的按需服务的基础设施架构被称为“算力网络”^[1]。数字化社会智慧的三要素就是“数据+算力+算法”^[2],大数据是让一切自由连接的网络能力,数据的处理则需要大量算力,算力是智慧应用的基础平台,而算法则是构建平台的核心。

“算力”包含五个方面:一是计算速度,芯片、服务器、计算机、超算系统都反映这方面的能力;二是算法;三是大数据存储量;四是通讯能力,包括5G基站多少、通讯的速度、延滞、带宽、可靠性、能耗;五是云计算服务能力,包括数据处理中心服务器的数量^[1]。在数字经济时代,国家和国家的核心竞争力是以计算速度、计算方法、通信能力、存储能力、数据总量即算力来代表国家的竞争能力。算力网络的目标是联通散落在全网中的资源孤岛,构造云、边、端式的数据协同计算体系,来避免被动资源扩容中的低效陷阱,提升全网算力的资源利用效率^[3]。此外,算力网络通过对算力、网络等多维资源的协同调度处理,便于未来海量的应用能随时按需获取所需算力资源,在满足一致性用户良好体验的同时实现算力网络的全局优化^[4]。考虑到全球数据总量仍在持续增长,预计2025年将达到163 ZB,因此,算力网络的存在可以一定程度上缓解传统中心化算力在未来可增长空间上面临的瓶颈^[5]。

数字经济时代,信息基础设施中算力产业被视为推动经济高质量发展的重要引擎,国家的核心竞争力逐渐发展为算力网络能力和水平的竞争。因此,在全球数字经济发展的背景下,算力网络的研究与应用对于构建国家核心竞争力,助推数字中国的战略有着重要意义。本研究针对传统行业在数字经济时代的转型困局,以电信运营商为行业情景,主要回答如何通过算力网络对原有产品进行升级迭代,提

收稿日期:2020-11-01

基金项目:国家社科基金重大项目“我国基础电信服务业开放战略问题研究”(15ZDB154);国家973重大项目“面向服务的未来网络体系结构与机制研究——课题五:未来网络的社会经济影响”(2012CB315805);中国信息经济学会项目(M02200002)。

作者简介:吕廷杰,男,北京邮电大学经济管理学院教授,博士生导师。研究方向:网络经济与电子商务、信息经济学。

通讯作者:刘峰,男,华东师范大学计算机科学与技术学院博士研究生,工程师,上海对外经贸大学人工智能与变革管理研究院特邀研究员。研究方向:区块链、数据科学。email:lsttoy@163.com

万方数据

出利用边缘计算、区块链为基础的技术来构建分布式算力网络架构以满足数字经济时代的产业应用的需求。并进一步探讨分布式形态下算力网络的可研究和落地方向,创新性地在分布式架构算力网络下引入区块链、边缘计算等技术以便为智慧地球应用提供数字动力。同时,将其与传统算力网络进行对比,给出二者现阶段的优劣势。期望本研究对数字经济背景下新一代算力网络的前瞻性研究具有较为积极的推动作用。

二、算力知识内涵与潜在价值

当前,互联网的基本逻辑是分布式和共享模式,然而,如今的云计算模式一定程度上却越来越背离了互联网的这个逻辑,并带来了算力垄断、数据霸权和安全问题。由于物联网时代的控制类应用,如车联网、无人机、网络手术等,客观上要求大量的计算任务依托于快速响应的物理环境,所以,以往那种“云、管、端”的服务架构,由于效率与安全性的原因将会越来越不适应。物联网、车联网和工业互联网的应用,客观上要求云计算中心的算力向应用侧迁徙,可以预见未来将会出现大量的边缘计算场景。

在数字经济背景下的万物智联时代,传统的数据中心与终端的两级模式已然无法满足计算所需的要求,因此,必然要求算力从网络中心流向边缘进行扩散^[6]。因而,边缘处理的能力需求会在未来数年中急剧增长,构建由中心云、边缘智能和智能终端为主的三级处理体系架构,从而形成分布式算力基础架构^[7]。因此,有必要从底层架构上考虑和设计云、边、端深度融合方案,构建算力网络架构,如图 1 所示。

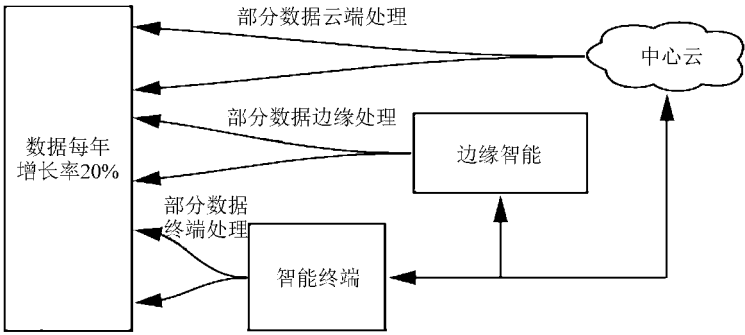


图 1 云、边、端三级算力架构

基于此,可以根据以上分析小结:1.算力是一种通用资源,类似宽带,运营商适合卖这种简单归一化的资源;2.算力的输送对网络质量确定性等方面有更高的要求,网络是运营商的强项;3.算力服务于业务,但又不同于业务,算力网络需要感知业务,但又与业务适度解耦;4.可以预见,算力网络一定可以作为运营商未来可以经营,并且能够经营好的普遍服务存在,这也是未来网络与计算融合发展的重要方向。

三、传统算力网络

电信技术与业务的发展,至今已经超过百年,特别是最近三十年间,电信运营商们历尽辉煌。先后有一统市场的固定电话,移动电话,随着计算机网络的应用,电话时代的语音通信也扩展为了数据通信。由于新业务和新技术的不断演进,以及行业内竞争环境的日益激烈,电信运营商的传统业务收入增长陷入瓶颈,面临以持续传送信息为主,还是向信息服务转型的艰难抉择。在这种情况下,电信运营商较早考虑到了运用算力网络改造网络设备的可能性。OTT 指的是互联网公司越过运营商,基于开放的互联网推出的数据服务业务。由于 OTT 当道,通信网络被迅速管道化,OTT 模式使得应用与基础设施分离、于是电信运营商的业务不再适应用户需求^[1]。根据事物的发展我们可以得出,只有为应用赋能的网络,才能促成场景落地,打造良性的业务循环。

(一)基于传统商业模式的运营商

从 2G 时代的跟随,3G 时代的突破,到 4G 时代的同步,甚至是 5G 时代可能的引领,我国的基础电

信运营商从无到有,不断提升核心科技,但仍然面临很大的难题和困惑。比如个人用户业务一直是运营商最大收入来源,个人用户在 2G 时代大量使用的话音、短信等强刚性需求让运营商获益巨大,经历短暂的 3G 过渡,4G 时代的应用已经开始发生改变,OTT 模式使得从连接到业务的部分环节不再由运营商掌控。用户对于运营商呈现出需求变弱的趋势。而随着 5G 时代的到来,个人用户的业务更是从话音、短信转变为了流量提供。靠提供流量服务,运营商的增收不再能够获得更高的增长,这是普遍存在的问题和挑战。同时跨入 5G 时代,电信运营商服务的对象也不再是纯粹的个人用户,5G 时代的应用场景可以分为两类:一是服务个人用户的应用,即更多带宽的网络可以支撑大众看更高清的电影,玩更流畅的游戏。而另外一类则是智能设备终端的连接问题,如自动驾驶,机器人协作,智能穿戴等。从过去 10 余年运营商的发展来看,运营商网络的核心价值一直是业务和技术双轮驱动^[8],从 2G、3G 到 4G、5G,运营商在其中所提供服务的背后技术一直在不断的更新和发展,背后的传统算力起到了一定的支撑。在 5G 将开启万物互联的新时代,基于现有的传统商业模式,在面对巨额投资和持续推进的提速降费的路径,运营商开始从算力角度探讨发展创新业务转型升级。

(二)基于技术驱动的算力创新

基于技术驱动的视角,可以预测的是算网协同,算网一体(如图 2 所示)将改变传统刚性云化网络架构,形成更高弹性、更广覆盖的泛在连接算力网络。在过去,ICT 产业的技术推动者和重要参与者一直是运营商。一方面,ICT 技术需要运营商提供稳定的电信网络支持;另一方面,先进的 ICT 技术又同时促进了电信的不断创新。从 2009 年传统的云化网络主要由云网协同和云网一体构成,到 2019 年的算力网络的提出,主要由算网协同和算网一体构成。两者最大的区别就是传统云化网络主要为大众个人服务,而算力网络可以更好的为智能时代的终端机器服务,而这些智能机器的效率和响应速度都会远远高于人类,故而对算力网络也有了更高层次的要求。

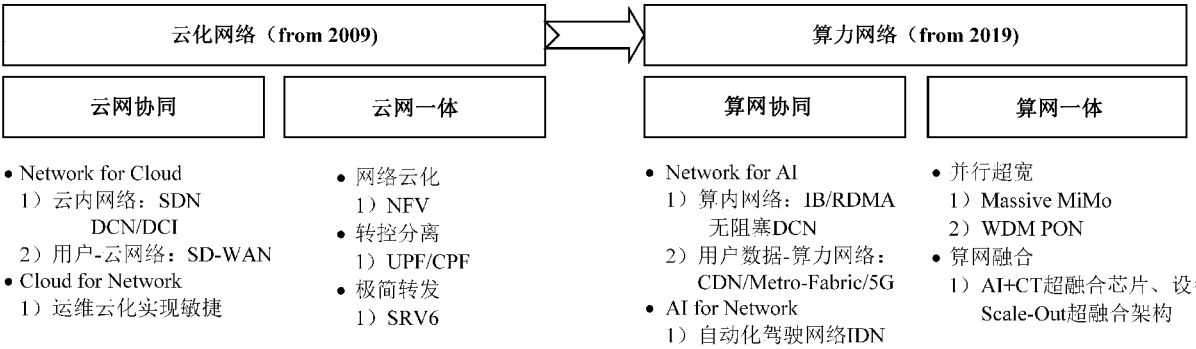


图 2 云化网络和算力网络技术内容对比^[7]

(三)基于数字化转型的算力网络

基于数字化转型的视角,行业数字化转型带来物理世界与数字世界的深度融合,需要泛在的算力和连接;同时,随着大数据、人工智能的发展,云、边、端计算将助力算力从中心逐步走向边缘,为垂直行业业务提供极致的业务体验^[9];伴随计算载体轻量化以及应用逐步解构成服务、功能的发展趋势,需要网络更加灵活的调度,未来网络需要感知、互联和协同泛在的算力和服务^[10]。电信运营商也可以借助算力网络的强大支持,为合作伙伴的数字化转型提供稳定智能云服务,做好云端应用及平台的安全保障,更好为数字经济打牢基石。

四、分布式算力网络

随着大数据、人工智能等技术的涌现,算力网络更加高效的发展,并在新基建背景下逐渐向金融、建造、保险等行业渗透,成为支撑商业智能经济社会必不可少的要素之一。分布式算力网络在这种大环境中正被视为一种全新的网络架构,起着举足轻重的作用。

相较于传统的算力网络,分布式算力网络可以实现“万物智联”,即以算力网络的信息传输为核心基础设施,然后汇集感知网络、传输信道、存储设备、计算芯片以及处理架构建设适配现代经济发展的智能

化的信息算力设备。而这也将会使业务上服务处理信息节点功能与连接技术上有新的拓展方向:业务节点对外开放,通过使用多接入边缘计算 MEC(Multi-access Edge Computing)技术将分别的单点电信业务处理模式进行转化,提供可租借的算力服务能力更好更快处理信息;用户管理、信息识别认证等模块将更换处置方式,可利用电信可信区块链 TBC(Trusted BlockChain)将其从传统集中化、静态存储向分布式、动态读取、安全可信、可溯源上进行模式迁移。这些新的拓展方向与尝试推动着基础通信网络从赋能泛在连接向赋能泛在计算的转型。

(一)移动边缘计算驱动的离散算力网络

移动边缘计算是在移动网络边缘运行云服务器,该云服务器可以处理传统网络基础架构所不能处理的任务^[11]。此类边缘计算并非只是简单将服务器放在边缘机房的操作,而是要满足“低时延、大带宽和低成本”的三大关键指标^[12]。通信网络技术的发展成熟,使得当前很多业务对宽带、响应时间等都提出新的范式进行参照。针对海量数据的边缘处理与端点计算也将进一步降低网络负荷,获得更低时延,从而提升用户体验。典型如家庭数据用电智能化^[13]、5G 基站存储缓存边缘化^[14]等。

从图 3 数字经济背景下移动边缘计算下的离散算力网络可应用的场景图中可以看出,在不同的带宽与时延中,边缘计算有着不同的基建应用。在低带宽低延时下,移动边缘计算可以与嵌入式程序融合实现自动驾驶、机器人协作等;在低带宽高延时下,移动边缘计算可以与通信网络结合实现移动广播、智能穿戴;在高带宽低延时下,移动边缘计算可以与人工智能算法进行汇聚实现高性能的虚拟现实以及增强现实的技术;在高带宽高延时下,移动边缘计算可以与其他物联网技术进行拼接促进高速列车、移动视频监控等。值得一提的是,5G 时代下的分层边缘云架构^[15]将会借助分布式服务器的树状层次结构,有效的利用云资源满足移动用户负载,上述这些场景在离散算力网络下的功能定会更加完善。

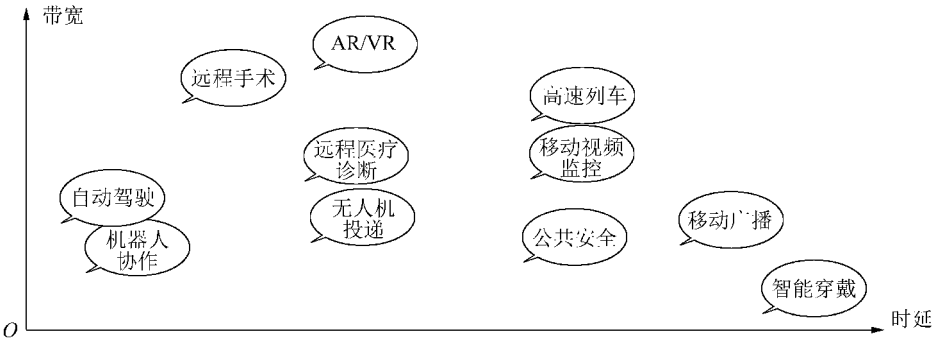


图 3 边缘计算典型应用场景说明

(二)区块链驱动的分布式算力网络

区块链作为一项颠覆性技术,正在推进全球新一轮技术与产业的变革,推动“信息互联网”向“价值互联网”变迁^[16]。为了更好的进行数据处理以及资源共享交易,ITU 相关标准在通信技术方面使用区块链引入了名为“通证 Token”的概念。相应地,在分布式算力中,围绕区块链技术将可借助智能合约对算力进行量化,然后在区块链网络中进行共享,并通过网络中的泛在用户进行协作计算与交易。

对于电信、移动等运营商而言,可主动开放部分边缘计算算力,融入区块链更换交易模式,如在技术上嵌入联盟链的技术,在制订合法的背书策略后,可以通过提供多个参与计算的节点以满足政府执法部门的监管与审计的需求,同时使用 Schnorr、BLS 等分布式的阈值签名技术将更加高效验证算力数据的合法性。在实际生产需要内,一些多接入的边缘计算服务器上可以加入区块链的节点连接区块链网络,然后根据场景的不同提供技术支撑与业务服务。一种基于边缘计算融合区块链的分布式算力网络如图 4 所示。

通过多个物联网传感器将本地计算数据发送至特殊网关设备,该设备可以建立远距离连接将数据发送到远程服务端进行数据分析。而在移动边缘算力网络下,一些数据处理(如聚合或分析)可以在靠近网关的地方进行处理。考虑到网关设备可能没有足够资源进行边缘处理。本方案中,借助区块链向网络中指定节点转发数据处理请求,然后通过外部应用程序在分布式网络中验证传入的数据,并将这些

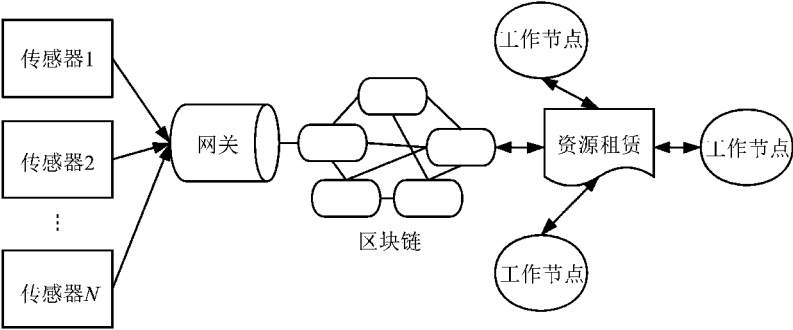


图 4 基于边缘计算的区块链算力网络架构

数据处理信息保存在区块链中。

综上，区块链应用于通信行业，其可溯源、数据难篡改、分布式等优势可以助推新型电信信用模式的发展，促进数字信息网络更加健全、更加具有竞争力，以最终减少成本开销，优化产业结构。

(三)分布式的算力网络应用场景

本小节将从分布式的算力网络应用场景出发，结合前沿技术手段考虑数字经济背景下的分布式算力网络的效用。

从共性需求可以看出未来对分布式算力网络的依赖集中在移动无线、碎片化微算力、低时延的场景中。与此同时，融合分布式的应用场景，对未来商业智能 BI(Business Intelligence)而言，可以诱发新的共享经济模式，具有可观的预期收益。本研究将结合图 5 的一种基于边缘计算融入区块链的算力通证下的算力交易流程示意图加以描述。

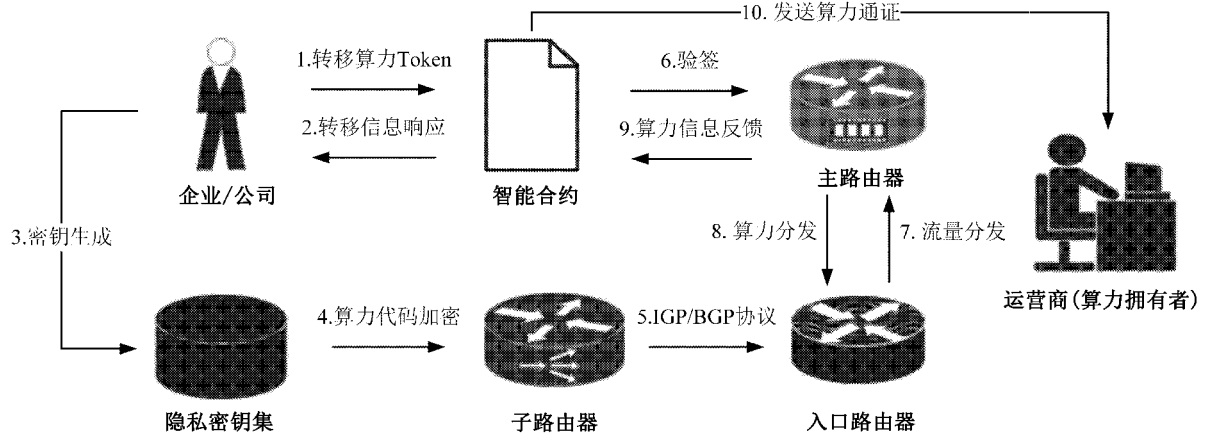


图 5 区块链算力通证下算力交易

首先由公司或企业通过转交算力通证至智能合约，同时产生算力代码并用隐私密钥集生成私钥签署一笔消息至子路由器进行分发，分发依据 IGP/BGP 协议通过入口路由器转发流量至算力网络进行数据包交换。与此同时，位于区块链上的智能合约通过公钥进行消息签名的验证。合法成功后，算力网络流量打包路由器会分析 IGP/BGP 协议中流量包，将算力代码分发至算力较强的公司或企业的入口路由器进行处理。处理结束之后，电信运营商等算力拥有者将会借助智能合约获得算力通证以实现共享经济。对于图 5 算力交易的业务则可以通过图 6 的业务逻辑流程图作为一个典型落地应用案例，来呈现分布式的算力网络的应用落地设计。

由此可见，在未来的商业智能经济下，技术的融合与凝练将会是助推算力网络稳步发展，进而促进社会进步的一个很好的手段。

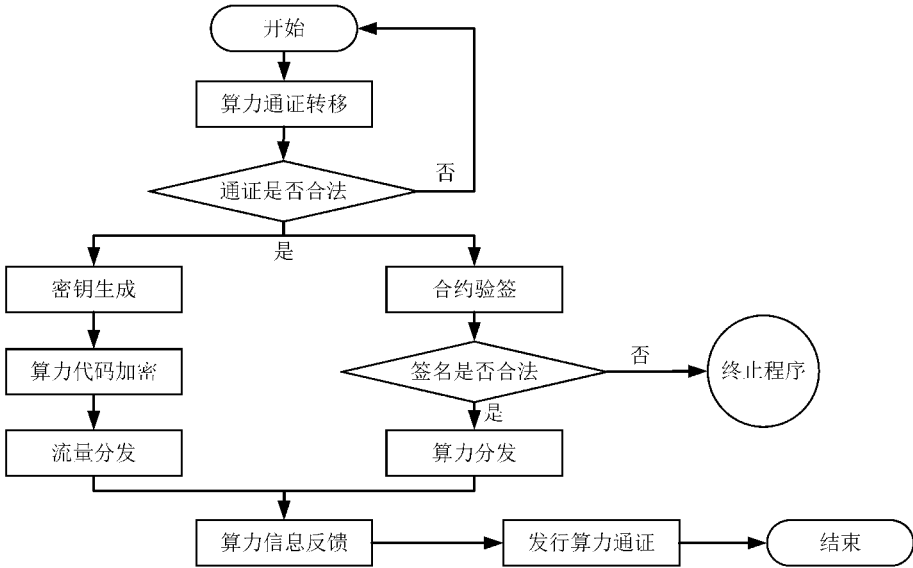


图 6 区块链算力通证下算力交易流程图

五、结论与展望

本研究从电信运营商的算力内涵出发,基于 5G、大数据、人工智能的数字经济时代背景,指出以用户服务主导的传统算力无法实现未来协同计算的高效需求,尝试提出了分布式算力网络的可研究和落地方向。并通过对传统中心化算力组织和新型分布式算力网络的对比,给出如下主要结论:

- 1.在分布式架构算力网络下引入区块链、边缘计算等技术可为智慧地球应用提供数字动力。结合边缘计算、人工智能和区块链等技术,可以使得网络为算力服务,同时也会赋能算力网络改变传统产业。算力网络作为热点技术话题近年被广泛讨论,中国电信北京研究院在《构建 5G 时代的新型智慧网络》报告中提出,网络和云随“业务流”向边缘迁移成为产业新趋势,边缘计算不只是计算,还包含网络信息、定位服务等边缘网络服务。中国移动通信有限公司研究院网络与 IT 技术研究所发表《5G 云网融合的思考》报告中也提到,边缘计算的 any-to-any 连接,边边互通将对网络承载架构提出新需求。
- 2.使用基于区块链技术的分布式底层操作系统,可让更多有资源优势和运营能力的企业更好实现商业落地。传统中心化算力组织在信息基础设施、公信力及算力资源上具备明显的优势,同时由于高性能的芯片成本升高,导致传统中心化的机构垄断了大量的算力,造成“数据垄断”和计算资源垄断^[17]。结合第三部分与第四部分,传统的算力网络与分布式的算力网络对比参照见表 1。

表 1 传统算力网络与分布式算力网络的对比

需求	传统中心式算力网络	分布式算力网络
业务	数据垄断、计算数据垄断	分布式数据共享、计算资源边缘化
数据处理	芯片效能决定	短时间内高并发数据处理困难
可信度	算力服务器硬件决定	共识、算法自治

3.分布式算力网络有望成为未来十年最值得期待的信息基础设施变革之一。算力类比电力,算网类比电网^[18],算力网格吸纳和调度社会分散算力,以统一服务的方式,结合确定性网络输送高可靠、可度量、通用化的算力资源,使能 AI 应用,体现网络价值。算力网络将为智慧地球提供数字动力,而未来大量碎片化、分散化的算力、存储空间等资源,会透过网络进行整合拉通后作为新型信息基础设施,为业务提供便捷的即时按需使用。通过 CFN 构建全新的网络基础设施,帮助海量的计算、存储等资源、海量的应用以及功能函数构成一个开放的生态,是未来网络的需求和探索研究方向^[19]。

本研究着眼于对未来数字经济背景下算力网络的研究,积极融合以区块链为代表的前沿技术及思想,展望了分布式架构下的算力网络开放新生态,来促进更多学者在此基础上更进一步,积极推动以分

布式新型算力网络为基础的研究与发展。

参考文献:

- [1] 雷波,刘增义,王旭亮,等.基于云、网、边融合的边缘计算新方案:算力网络[J].电信科学,2019,35(9):44—51.
- [2] 张洪光.大数据在智慧城市中的作用分析[J].数字化用户,2014,(21):249—249.
- [3] 黄奇帆.数字经济时代,算力是国家核心竞争力[EB/OL].中国经济周刊(2020-11-07)[2020-11-19].<https://www.ccvalue.cn/article/638436.html>
- [4] 刁兴玲.《数据中心白皮书》发布 提升运维水平成重点[J].通信世界,2018,(28):11.
- [5] 周悦芝,张迪.近端云计算:后云计算时代的机遇与挑战[J].计算机学报,2019,42(4):677—700.
- [6] 喻国明,李凤萍.5G时代的传媒创新:边缘计算的应用范式研究[J].山西大学学报(哲学社会科学版),2020,43(1):65—69.
- [7] 中国联通.中国联通算力网络白皮书[EB/OL].(2019-11-13)[2020-11-19].<https://www.sdnlab.com/23682.html>
- [8] LI Y, LI J. Analysis of OTT Service Influence on Mobile Communications Network[EB/OL].(2015-01-01)[2020-11-19].https://www.researchgate.net/publication/300618900_Analysis_of_OTT_Service_Influence_on_Mobile_Communications_Network
- [9] 解云鹏.运筹于 AI,创新在边缘——电信运营商泛在智联网络的构建[J/OL].中兴通讯技术:1-8[2020-11-16].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200916.1111.002.html>.
- [10] 蔡岳平,李天驰.面向算力匹配调度的泛在确定性网络研究[J].信息通信技术,2020,14(4):9—15.
- [11] 李子姝,谢人超,孙礼,等.移动边缘计算综述[J].电信科学,2018,34(1):87—101.
- [12] 曾小青,彭越,王琪.物联网加区块链的食品安全追溯系统研究[J].食品与机械,2018,(9).
- [13] 刘思放,邓春宇,张国宾,等.面向居民智能用电的边缘计算协同架构研究[J].电力建设,2018,39(11):69—77.
- [14] 贾庆民.5G移动通信网络中缓存与计算关键技术研究[D].北京:北京邮电大学信息与通信工程学院,2019.
- [15] 费方域,闫自信.大数据经济学视域下的竞争政策[J].财经问题研究,2018,(2):3—7.
- [16] 刘峰,杨杰,李志斌,等.一种面向双中台双链架构的内生性数据安全交互协议研究[J].华东师范大学学报(自然科学版),2020,(5):44—55.
- [17] LIN X, LU T J, CHEN X. Technological Innovation, Market Competition, and Regulatory Reform in Telecommunications[J]. Wireless Personal Communications,2018,102(2).
- [18] LIN X, LV T J, CHEN X. The Coevolutionary Relationship of Technology, Market and Government Regulation in Telecommunications[J]. China Communications, 2018, 15(8):152—173.
- [19] TONG L, LI Y, GAO W. A Hierarchical Edge Cloud Architecture for Mobile Computing[EB/OL].(2016-04-01)[2020-11-19].https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=6fe317adc0fcca61e2c8a90f54e91a0&site=xueshu_se

Information Infrastructure of Digital Economy
and Computing First Networking

LYU Ting-jie¹, LIU Feng^{2,3}

(1.School of Economics & Management, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China;
2.School of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
3.Institute of Artificial Intelligence and Change Management,
Shanghai University of International Business and Economics, Shanghai 200062, China)

Abstract:Computing First Networking (CFN) is a new type of decentralized computing resource solution transformed from traditional centralized computing to edge computing represented by cloud computing. CFN is the foundation of the modern digital society and the new engine of the digital economy. In the era of big data, the inefficiency of traditional user-oriented computing networks becomes increasingly evident and is in urgent need of transformation and innovation. Based on the analysis of traditional computing networks, this paper discusses the research and implementation direction of distributed computing networks and has the following suggestions first, the introduction of blockchain and edge computing technologies in distributed computing networks can leverage digital power for building smarter planet; second, a distributed cloud computing underlying operating system using blockchain technology can give more resource-advantaged and operation-capable organizations the opportunity to execute business applications; and finally, distributed CFN is expected to become the most promising information technology in the next decade.

Key words:digital economy; blockchain; 5G; industrial internet; MEC; distributed CFN

(责任编辑:张雅秋)