

边缘计算与算力网络综述

Overview of Edge Computing and Computing Power Network



雷波 /LEI Bo¹, 赵倩颖 /ZHAO Qianying¹, 赵慧玲 /ZHAO Huiling²

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 中国 北京 102209;

2. 工业和信息化部通信科学技术委员会, 中国 北京 100035)

(1. Research Institute of China Telecom Corporation, Beijing 102209, China;

2. Communications Science and Technology Commission of the Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, Beijing 100035, China)

摘要: 作为 5G/B5G 时代信息通信技术 (ICT) 融合的两项重要技术, 边缘计算与算力网络是新型业务发展与落地的重要支撑。对边缘计算和算力网络的定义、发展、标准化现状进行综合性阐述, 特别介绍了通信领域边缘计算及算力网络的全球标准情况及最新进展。认为边缘计算和算力网络将成为驱动各行各业变革的重要解决方案。

关键词: 边缘计算; 算力网络; 一体化服务

Abstract: As the two important technologies for the integration of information and communication technology (ICT) in the 5G/B5G era, the edge computing and computing power network are the important support for the development and application of the new business. The definition, development, and standardization of edge computing and computing power network are comprehensively elaborated, and the global standard situation and recent progress of edge computing and computing power network in the communication field are especially given. It is believed that edge computing and computing power network will be important solutions to driving changes in all walks of life.

Keywords: edge computing; computing power network; integration service

DOI: 10.12142/ZTETJ.202103002

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20210615.1321.006.html>

网络出版日期: 2021-06-15

收稿日期: 2021-05-10

在云计算时代, 业务通常把数据传输至集中的大型或超大型云计算中心来处理。在很长一段时间里, 云计算强大的存储和计算能力满足了传统业务的各项需求。但随着 5G 与人工智能时代的发展, 各类新型应用不断涌现, 数据产生量呈爆发式增长。这些对网络时延提出了极高要求, 同时对数据安全性、可控性也提出了差异化要求。为了应对这些需求, 边缘计算应运而生。

边缘计算的诞生, 一方面满足了新型业务低时延的需求, 解决了骨干

网络中大量数据所造成的拥堵问题; 另一方面导致多级计算节点遍布网络, 改变了网络的流量流向。如何实现多级资源节点的协同调度与应用的灵活部署, 从而为用户提供一致性服务体验也变得至关重要。因此, 算力网络应运而生。通过无处不在的网络, 算力网络将大量闲散的资源连接起来并进行统一管理和调度, 从而为用户提供统一的服务。

1 边缘计算的来源与定义

随着 5G 的发展, 边缘计算的热度

变得越来越高。边缘计算并非是 5G 时代的产物, 其概念的提出已有数十年, 并随着技术和业务的发展不断扩充。

边缘计算概念的由来可以追溯至 1998 年阿卡迈 (Akamai) 公司提出的内容分发网络 (CDN), 但“edge computing” (边缘计算) 这一名词的首次出现, 是在 2013 年美国太平洋西北国家实验室的一份由 Ryan LAMOTHE 撰写的内部报告中^[1]。

经过数十年的发展, 边缘计算已被 Gartner 评为 2020 年十大最热门技术趋势之一^[2], 但因其仍处于发展的

阶段,各个标准组织对其定义并不完全一致。以下为一些具有代表性的标准组织对边缘计算的定义:

- 2015年9月,欧洲电信标准化协会(ETSI)在发布的《Mobile Edge Computing: A Key Technology Towards 5G》中指出^[1]:移动边缘计算在距离用户移动终端最近的无线接入网(RAN)内提供信息技术(IT)服务环境以及云计算能力,旨在进一步减少延迟/时延,提高网络运营效率,提高业务分发/传送能力,优化/改善终端用户体验。

- 2016年11月,边缘计算产业联盟发布了《边缘计算产业联盟白皮书》,将边缘计算定义为^[4]:边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧,融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台,就近提供边缘智能服务,满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

- 2017年1月,第3代合作伙伴计划(3GPP)在技术规范(TS 23.501)中提到^[5]:为了降低端到端时延以及回传带宽,实现业务应用内容的高效分发,边缘计算需要为运营商以及第三方业务应用提供更靠近用户的部署及运营环境。

- 2020年2月,国际标准化组织(ISO)在ISO/国际电工委员会(IEC)技术报告(TR 23188)中提到^[6]:边缘计算是一种将主要处理和数据存储放在网络的边缘节点的分布式计算形式。

可以看出,目前边缘计算的概念虽未达成统一,但各方都认同边缘计算是在更靠近终端的网络边缘上提供服务的。

2 边缘计算产业发展情况

随着产业的发展,边缘计算逐步从产业共识走向应用落地。目前,业

界一般认为边缘计算可以分为3种主要的落地形态^[7-8]:

- 云边缘。云边缘形态的边缘计算是云服务在边缘侧的延伸。云边缘在逻辑上仍属于云服务,且主要的能力依赖于云服务或与云服务紧密协同。华为云智能边缘平台(IEF)解决方案、阿里云的Link Edge解决方案、AWS(亚马逊公司的云计算服务)的Greengrass解决方案等均属于云边缘的形态。

- 边缘云。边缘云形态的边缘计算是在边缘侧构建中小规模云服务能力。边缘服务能力主要由边缘云提供;边缘云管理调度能力主要由集中式数据中心(DC)侧的云服务提供。移动边缘计算(MEC)、CDN、车联网等均属于边缘云形态。

- 边缘网关。边缘网关形态的边缘计算是以云化技术与能力重构原有嵌入式网关系统的。边缘网关在边缘侧提供通信联接、协议/接口转换、边缘计算等能力,在云侧的控制器提供边缘节点的资源调度、应用管理与业务编排等能力。软件定义广域网(SD-WAN)、新一代家庭网关、新一代工业网关等均属于边缘网关形态。

不同类型的边缘计算形态,代表着产业界不同方的观点和利益。但总体上,各方都非常看好边缘计算产业发展态势。国际数据公司(IDC)发布的《中国半年度边缘计算服务器市场(2020上半年)跟踪报告》显示:2020年上半年,中国边缘计算服务器的整体市场规模为11.13亿美元(约合人民币72.78亿元),预计全年将达到27.82亿美元(约合人民币181.93亿元),同比增长20.6%;而2019—2024年,中国边缘计算服务器市场年复合增长率将达到18.8%,远高于核心数据中心的平均增速。美国通信产业研究机构(CIR)预测:到2025年,边缘计算基础设施收入将达到179亿

美元,用于支持边缘数据传输的光模块和网络投资将增加10亿美元。

目前,中国主流企业已在边缘计算领域开展了全方位的工作,并取得了不错的成绩。其中,具有代表性成果为:

- 2020年,中国电信研究院联合中国电信多家省级公司,先后完成了自研MEC系统与5G核心网(5GC)商用版本的对接与实验,成功验证了5G网络面向MEC多种商用场景的能力,对后续5G MEC系统规模商用具有重要意义。

- 2020年8月,中国信息通信研究院、中国移动、中国联通、华为、腾讯、紫金山实验室、九州云和安恒信息联合发布业界首个5G边缘计算开源平台——EdgeGallery。该平台打造了一个以“联接+计算”为特点的5G MEC公共平台,力图实现网络能力(尤其是5G网络)开放的标准化和MEC应用开发、测试、迁移和运行等生命周期流程的通用化。

- 2020年10月,腾讯云首个5G边缘计算中心对外开放。该边缘计算中心融合腾讯云在5G、边缘计算、物联网、安全等领域的多项前沿科技,成为独具创新性的一站式边缘计算产品^[9]。

3 边缘计算标准发展情况

目前,全球有多个标准组织正在进行边缘计算的标准化工作:

- 2014年12月,ETSI与24家公司成立了MEC行业规范组(ISG),率先开展了边缘计算的标准化研究工作。ETSI关于边缘计算的标准化工作主要分为两个阶段:移动边缘计算阶段和多接入边缘计算阶段。在第1阶段,ETSI以移动边缘计算为名开展研究工作;在第2阶段,ETSI则以多接入边缘计算为名开展研究工作。2017年3月,ETSI将移动边缘计算行业规

范工作组更名为多接入边缘计算工作组，将边缘计算从电信蜂窝网络进一步延伸至其他无线接入网络（如 Wi-Fi）^[10]。目前，ETSI 已经发布了关于边缘计算平台架构、边缘计算技术需求、边缘计算应用程序编程接口（API）准则、边缘计算应用程序（APP）使能、边缘云平台管理、基于网络功能虚拟化（NFV）的边缘云部署等标准 27 项，维护、更新标准共 41 版次。

- 2016 年 4 月，3GPP SA2 也正式接受 MEC，并将之列为 5G 架构的关键技术。从 R14 版本开始，3GPP 就开始定义边缘计算的网路基础能力。3GPP 关于边缘计算的研究主要针对如何将 MEC 融入 5G 架构。3GPP 在 TS 23.501 中将 MEC 纳入 5G 网络标准化中，并基于 3GPP TS 23.501 (clause 5.13) 定义的功能使能器，在《MEC in 5G Networks》白皮书中明确了如何部署 MEC 并将其无缝集成至 5G^[11]。

- 作为中国重要的标准化组织，中国通信标准化协会（CCSA）也将边缘计算作为重要的工作内容，分别在互联网与应用技术工作委员会（TC1）、网络与业务能力技术工作委员会（TC3）、无线通信技术委员会（TC5）、工业互联网特设任务组（ST8）设立了边缘计算相关项目，从不同角度对边缘计算技术进行标准化。其中，CCSA TC1 重点研究面向互联网的边缘云、边缘数据中心的标准化；CCSA TC3 重点研究面向边缘计算的 IP 承载网络、边缘计算网络、算力网络等；CCSA TC5 中的三大运营商分别在边缘计算领域立项，涉及边缘计算平台架构、场景需求、关键技术研究 and 总体技术要求；CCSA ST8 重点讨论面向工业互联网的边缘计算和边缘云的标准化内容^[12]。

4 算力网络及其标准化进展

作为解决多级算力资源（云计算、

边缘计算以及端计算）并存情况下资源统一供给问题的一种新型网络技术，算力网络通过网络控制面（如集中式控制器、分布式路由协议等）分发服务节点的算力、存储、算法等资源信息，并结合网络信息和用户需求，提供计算、存储、网络等资源的分发、关联、交易与调配，从而实现整网资源的最优化配置和使用^[13]。

算力网络的产生与边缘计算息息相关，它可以重点解决资源节点泛在化后的两个重要问题：用户体验一致性和服务灵活动态部署^[14]。首先，算力网络可以解决用户体验一致性的问题：用户无须关心各类基础资源（算力、存储等）的位置和部署状态，通过网络即可协同调度各类资源，保证用户的一致体验；其次，算力网络可以解决服务灵活动态部署的问题：基于用户的服务等级协议（SLA）需求，综合考虑实时的网络、算力、存储等多维资源状况，通过网络灵活匹配与动态调度，将业务流量动态调度至最优资源节点。

从 2019 年初至今，业界对算力网络的研究仅有两年的时间。算力网络巨大的潜在需求却掀起了业界的波澜。目前，三大运营商、各厂商以及学术机构纷纷开始研究算力网络。

2020 年 6 月，CCSA TC614 成立了算力网络特别工作组，依托联盟的平台和资源，联合多方力量，共推、共创算力网络产业影响力，构建算力网络生态圈。2020 年 11 月，中国联通成立了中国联通算力网络产业技术联盟，将在“联接 + 计算”领域和全产业链合作伙伴携手并进，共建算力网络生态，推动商业落地，共享转型成果。

中国主流运营商还先后发布了《中国联通算力网络白皮书》《算力感知网络技术白皮书》《算力网络架构与

技术体系白皮书》等。

在各方的不懈努力下，算力网络的标准工作取得了进展：在 ITU-T、互联网工程任务组（IETF）、宽带论坛（BBF）、ETSI、CCSA 等全球标准组织中，已立项相关的国际标准 9 项、中国标准 4 项。

- 在 ITU-T SG13 组，中国电信、中国移动、中国联通、华为等单位分别从算力网络架构、算力感知网络相关技术等方面推进了 Y.CPN-arch 标准、Y.CAN 系列标准的制定。

- ITU-T SG11 组启动了 Q.CPN 标准（算力网络的信令需求）与 Q.BNG-INC 标准（算力网络边界网关的信令要求）的制定等工作。

- 在 IETF，华为等撰写了 Computing First Network 系列文稿，研究算力路由协议；

- BBF 启动了“Metro Computing Network (SD-466)”，专门研究算力网络在城域网中的应用。

- ETSI 提出了“NFV support for network function connectivity extensions (NFV-EVE020)”。该方案以内容转发网络（CFN）为基础，研究 NFV 的计算和网络集成相结合的网络功能连接扩展方案。

- CCSA TC3 目前已经完成《算力网络需求与架构》的研究报告和面向全网的算力感知网络关键技术研究。2021 年 4 月 TC3 全会形成了算力网络系列行业标准的立项，包括算力网络总体技术要求、算力网络标识解析技术要求、算力网络路由协议要求、算力网络控制器技术要求、算力网络交易平台技术要求和算力网络开放能力研究等工作。

5 边缘计算和算力网络的主要技术挑战及展望

边缘计算发展至今已取得巨大进

步,但仍面临诸多技术挑战,目前仍有三大问题亟待解决。首先是安全性的问题。边缘计算的分布式架构增加了攻击向量的维度,客户端越智能就越容易受到恶意软件感染和安全漏洞攻击。由于网络边缘设备的资源有限,现有数据安全保护方法并不完全适用于边缘计算架构,因此需要寻求新的解决路径。其次是云边与边边协同的问题。单个节点能力是有限的,不同场景需要多资源节点能力的整合与联动。最后是网络问题。边缘计算所呈现的优势与底层的网络连接密不可分,例如,边缘计算所带来的低时延特性,如果没有网络的支持,是无法实现的。也就是说,边缘计算并不是简单地将服务器、存储设备放到边缘机房,而是需要对底层网络基础设施进行梳理,让用户能够享受到更短的接入距离所带来的优势,避免出现物理位置接近但逻辑距离绕行的尴尬场景。

从整个信息基础设施的角度来看,边缘计算的出现与部署,推动了网络、计算、存储等多类信息基础资源的融合与演进。也就是说,随着技术与业务的发展,各类网络资源需要与计算、存储等能力进行深度融合,并借助数据资源和算力资源等形式对外输出,以实现多类资源的统一供给,实现信息网络基础设施能力的聚合和开放,为构架在网络基础之上的多行业、全产业创新提供便捷的条件。

为了进一步分析边缘计算对网络的影响,CCSA TC3在2021年1月完成了《边缘计算IP承载网技术架构研究报告》,提出了以边缘计算为视角,将网络划分为边缘计算接入网(ECA)、边缘计算内部网络(ECN)和边缘计算互联网络(ECI),并以此重新梳理了各项新型网络技术的发展趋势。在这些新型网络技术中,有一项是被称为边缘计算原生的网络技术,即算力网络技术。

目前,算力网络的研究工作主要围绕4个方面展开:

(1)算力量度。目前计算资源的衡量缺少一个统一且简单的度量单位,因此如何评估不同类型算力资源的大小成为一个亟需解决的难题。

(2)信息分发。信息分发即如何将算力等资源信息通过网络控制面广而告之。

(3)资源视图。如何给每个用户生成以其为中心的资源视图,让其可以智能选择最佳资源组合也是需要关注的内容。

(4)可信交易。由于算力网络中的各类资源归属不同所有者,算力网络作为一个中间平台,需要考虑如何确保资源交易真实有效且可溯源。

6 结束语

边缘计算与算力网络的相关研究和标准化制定工作正在如火如荼地开展,并已取得初步成效。可以预期,未来边缘计算和算力网络将成为驱动各行各业变革的重要解决方案。

参考文献

- [1] 施巍松,张星洲,王一帆,等.边缘计算的发展历程[J].计算机研究与发展,2019,56(1),69-89
- [2] Gartner. Top 10 strategic technology trends for 2020 [EB/OL]. (2019-10-12)[2021-04-22]. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020/>
- [3] ETSI. Mobile edge computing: a key technology towards 5G [R]. 2015
- [4] 边缘计算产业联盟.边缘计算产业联盟白皮书[R].2016
- [5] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS): 3GPP TS 23.501.2017.01 [S]. 2017
- [6] ISO. 2020(en): information technology—cloud computing—edge computing landscape: ISO/IEC TR 23188 [S]. 2021
- [7] 边缘计算产业联盟(ECC),网络5.0产业和技术创新联盟(N5A).运营商边缘计算网络技术白皮书[R].ECNI工作组,2019
- [8] 雷波,宋军,曹畅,等.边缘计算2.0:网络架构与技术体系[M].北京:电子工业出版社,2021
- [9] 边缘计算产业联盟.边缘计算产业观察

[EB/OL]. (2021-01-10)[2021-04-22]. <http://www.econsortium.net/Uploads/file/20210224/1614140492544624.pdf>

- [10] ETSI. ETSI Multi-access edge computing starts second phase and renews leadership team [EB/OL]. (2017-03-28)[2021-04-22]. <https://www.etsi.org/newsroom/news/1180-2017-03-news-etsi-multi-access-edge-computing-starts-second-phase-and-renews-leadership-team>
- [11] KEKKI S, REANKIK A. 3GPP enables MEC over a 5G core [EB/OL]. (2018-07-04)[2021-04-22]. <https://www.3gpp.org/news-events/partners-news/1969-mec>
- [12] 吕华章,陈丹.边缘计算标准化进展与案例分析[J].计算机研究与发展,2018,55(3):487-511
- [13] 雷波,陈运清.边缘计算与算力网络——5G+AI时代的新型算力平台与网络连接[M].北京:电子工业出版社,2020
- [14] 中国移动.算力感知网络技术白皮书[R].2019

作者简介



雷波, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师、边缘计算产业联盟 ECNI 工作组联席主席、CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会”管理与运营组组长; 主要研究方向为未来网络架构、新型 IP 网络技术等; 发表论文 10 余篇, 出版《边缘计算与算力网络》《边缘计算 2.0: 网络架构与技术体系》等书籍。



赵倩颖, 中国电信股份有限公司研究院工程师; 研究方向为未来网络、算力网络等; 发表论文 3 篇, 参与出版《边缘计算与算力网络》《边缘计算 2.0: 网络架构与技术体系》等书籍。



赵慧玲, 工信部通信科技委专职常委、信息通信网络专家组组长, 中国通信学会理事、信息通信网络技术专业委员会主任委员, 中国通信标准协会网络与业务能力技术工作委员会主席, 中国电信科技委常委, SDN、NFV、AI 产业联盟技术委员会副主任, 网络 5.0 产业联盟技术委员会副主任; 长期从事电信网络领域技术和标准工作; 曾获多个国家及省部级科技进步奖; 发表论文 100 余篇, 出版专著 12 部。