

云边协同在轨道交通供电在线监测系统的 应用研究

邹 东¹, 冯剑冰^{1,2}

(1. 广州地铁集团有限公司, 广东 广州 510330; 2. 华南理工大学, 广东 广州 510641)

摘要: 云计算已成为大型、集中式的计算和存储的主流, 但随着各种应用场景的丰富, 日渐暴露出消耗大、时延长和通信要求高等弊端。伴随着边缘计算理念的兴起, 云计算和边缘计算的协同和融合已逐渐成为各界共识。对云计算、边缘计算以及部分新型计算范式的研究现状进行了分析, 指出云边协同的优势和重要意义; 通过对云边协同的最新研究成果进行研究, 结合轨道交通供电在线监测系统目前的架构, 研究增强边缘计算的方法和云边协同的原则, 提出对该系统进行云-边-端协同的新架构。

关键词: 云计算; 边缘计算; 雾计算; 协同; 在线监测

Application of cloud-edge collaboration in rail transit power online monitoring system

ZOU Dong¹, FENG Jianbing^{1,2}

(1. Guangzhou Metro Group Corp, Guangzhou 510330, China;

2. South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Cloud computing has become the mainstream of large-scale and centralized computing and storage. However, with the enrichment of various application scenarios, the disadvantages of large consumption, large delay and high communication requirements are exposed. With the rise of the concept of edge computing, the collaboration and integration of cloud computing and edge computing has gradually become a consensus. This paper analyzes the research status of cloud computing, edge computing and some new computing paradigms, and points out the advantages and significance of cloud edge collaboration. Through the research on the latest research results of cloud edge collaboration, combined with the current architecture of rail transit power supply online monitoring system, the method of enhancing edge computing and the principle of cloud edge collaboration are studied, and a new architecture of cloud edge end collaboration for the system is proposed.

Key words: cloud computing; edge computing; fog computing; collaboration; online monitoring

0 引言

新技术发展日新月异, 各类人工智能、先进计算技术和大数据技术等给各行各业注入了高速发展的动力。特别是云计算技术, 自从2006年由Amazon公司推出以来, 经过多年的高速发展,

得到广泛应用, 取得了巨大经济价值。

近年来, 伴随着计算机软硬件和通信技术的高速发展, 云计算不断得到了强大的基础支撑, 但是云计算的模式短板和技术缺陷也逐渐显现出来, 即具有通信开销大、实时性差、计算功耗高

和传输安全性低等特点。与此同时,以边缘计算为代表的多种新型分布式计算范式被各界深入研究和走向成熟。边缘计算更加适用于本地侧,具有本地化、低延时、传输要求不高和计算开销小等特点。云计算和边缘计算并没有成为对立的两种路线;相反,在大型系统的应用中,云计算与边缘计算越来越融合、协同。

轨道交通供电在线监测系统是对轨道交通供电系统设备进行全面的在线监测,实现设备状态感知、故障诊断和寿命预测的大型系统。由于轨道交通供电系统的设备种类众多、规模庞大及专用设备多等,传统的在线监测系统架构是基于云计算方式建立的,可以进行大规模的设备建模、运行复杂的模型和进行大数据驱动分析。在系统运行过程中,全部采用远程云计算,在部分简单机理分析和需要快速反馈的场景中,显得效率不高、系统通信和能耗开销不经济。本文试图研究云计算和边缘计算的适用场景,探讨云边协同方式在在线监测系统中进行高效合理的应用。

1 云计算和边缘计算的研究和发展现状

1.1 供电设备在线监测技术现状

经过一段时期的发展,国内供电设备监测技术已取得长足的进步。传统的定期检测虽然能避免一些故障的发生,但由于检测的时间几乎都是定期的,而电气设备的故障可能发生在非检测期,此时若发生故障则会造成资源的浪费,电气设备也会受到损害,导致过度维修问题。目前的在线监测技术可对正在运行中的供电设备进行实时在线监测,全面监视其运行状态,使监测的对象更有针对性,从而减少不必要的资源浪费,使供电设备始终保持在最佳工作状态,减少被动检修频度,提升供电设备运行可靠性,使轨道交通供电系统的运行取得更高的经济效益。

目前轨道交通供电设备的在线监测技术主要包括针对断路器设备的行程-时间特性、分合闸线圈电流和开断电流分析以及针对变压器的油气体分析、局部放电监测等技术。随着传感

器技术和数据采集技术不断向前发展,局部放电监测逐渐往超高频、超声波和超宽频等方向发展。

虽然现有的在线监测技术水平已比较成熟,但还存在着一些不足,比如传感器灵敏度与可靠性有待提高,可监测的参数较少,不足以全面反映设备的真实运行状态。随着人工智能、大数据及云计算等新技术的迅猛发展,传统方法无法很好解决的问题都可以通过云计算、边缘计算等新技术来实现。

1.2 云计算的发展现状

云计算的理念最早起源于1988年美国Sun Microsystems公司的创始人之一约翰·盖奇(John Gage)提出的“网络就是计算机”的概念。而云计算作为一个产品推向市场,则始于2006年美国Amazon公司推出的弹性云计算(Elastic Compute Cloud, EC2)服务。

早期的云计算仅仅是聚焦分布式计算和云存储业务,利用规模化的服务器计算能力,实现超级计算的性能。伴随着更多的云服务提供商的推动,Amazon、阿里、Microsoft、Digital Ocean和Google等已占据全球85%的市场份额,云计算服务也可以提供分布式计算、效用计算、负载均衡、并行计算、网络存储、热备份冗余和虚拟化等多种复杂功能。毋庸置疑,云计算主要是由企业界提出并大力推动的先进计算范式,并非经由“学术概念-理论框架-产品实践”这样的传统发展路线。目前,云计算的相关技术和产品已非常成熟,在大规模算力、存储和虚拟化服务等方面已成功应用。

在云计算的多场景应用实践中,也逐渐暴露出部分缺陷和瓶颈,主要有:

1) 实时性差。云计算往往并非布置在本地,而是利用远端集中、共享的规模化计算资源,意味着必须进行长距离的通信和由云端安排处理顺序,在大量数据和网络带宽有限的情况下,实时性成为重要瓶颈。例如,Boeing 787飞机每秒采集的数据超过5 GB^[1],广州市的变电站每小时产生149.8 TB的设备监控视频数据^[2],如

此大规模的数据无法通过云端高效处理。

2) 整体开销大。采用云计算的模式,一方面需要庞大的通信带宽支持,通信开销较大;另一方面将各类数据不加以区分全部传至云端,可能导致大量无价值、作用小的数据被传输,消耗大量不必要的能源。从服务和能耗来讲,云计算的整体开销是非常大的,存在大量可以优化的空间。

3) 终端和数据的异构。云计算模式中,从各类底层终端来源的数据,不可避免地存在严重的异构问题,这就需要在云端进行大量的解析、转换工作,从而也造成了效率降低和反馈延迟问题。

4) 传输安全问题。云计算需要大量的长距离传输,不可能全部采用加密良好、专用的网络,势必需要借助公共网络等进行数据传输,安全性存在较大的风险。

5) 数据隐私问题。各类用户隐私数据,如涉及安全的数据、个人生活数据等,全部上传至云端进行分析,无法充分保障用户的隐私,也成为云计算无法回避的话题。

1.3 边缘计算的研究和发展现状

与云计算的“集中式”相对,“分布式”的边缘计算最早追溯到1998年美国Akamai公司提出的内容分发网络(Content Distribution Network, CDN)技术。CDN的提出是为了解决网络带宽小、用户访问量大和网络不均衡问题^[3],通过增加设置在靠近用户网络边缘的缓存服务器,提高用户访问的响应速度和服务质量;CDN的核心是内容分发,还没有实现边缘的数据处理功能。

直到2016年,文献[4]提出了边缘计算的定义:边缘计算指的是在网络边缘节点来处理、分析数据;边缘节点指的就是在数据产生源头和云中心之间任一具有计算资源和网络资源的节点。自此,学术界掀起了边缘计算研究的热潮,文献[5-6]均对边缘计算的发展和应用进行了大量研究,并对云计算和边缘计算进行了对比,对边缘

计算和人工智能的结合进行了详细研究;文献[7]均对边缘计算在电力系统、能源互联网的应用方法和技术特点进行了详细研究。据Gartner预测,到2022年,边缘计算将成为所有数字业务的必要需求。

得到公认的是,边缘计算的优点并不孤立地存在,而是更多地与云计算形成优势互补、高度协同的应用局面。在云和边缘之间要对比两者的综合成本,在边缘进行数据处理主要考虑时延问题和电力资源,而传回云端处理要消耗算力与传输成本。不同的处理目标和计算架构,综合比较后决定云和边缘的优先策略。

1.4 云边协同的研究现状

无论哪种边缘类计算模式,均属于对云计算的补充,只有进行“集中-分散”的协同,才能发挥各类计算模式的最大优势。因此,云边协同成为继云计算热潮后的又一学术界共识和研究热点。文献[8]对边缘计算的协同技术进行了深入研究,提出了云边协同的三种模式和边边协同的三种模式;文献[9-11]对电力物联网应用云边(端)协同技术的框架和模型进行了切实可行的研究。

云边协同的核心问题,是根据云计算和边缘计算各自的优势,对数据处理进行综合评估和任务分配,利用计算卸载、模型卸载等实现资源协同、应用协同、数据协同和智能协同。

2 云边协同在在线监测系统的应用

2.1 既有在线监测的架构和问题

轨道交通供电在线监测系统,是对整个供电系统进行全面感知、状态分析、故障预测和寿命管理的实时监测系统。既有的系统架构如图1所示。

可以看出,在线监测系统既有大量的运算——复杂模型的生成与更新、大数据分析和智能视频分析,也需面对大量的采集工作、大规模的通信带宽。其主要组成和特点见下表。

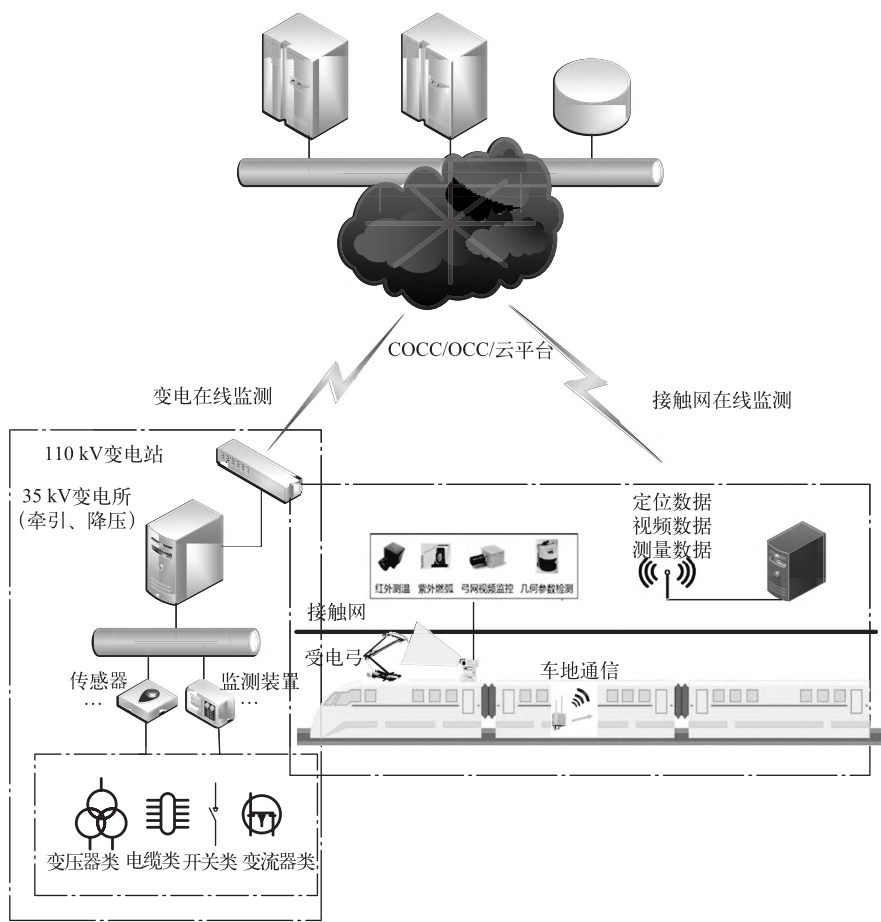


图 1 轨道交通供电在线监测系统架构

Fig. 1 Architecture of rail transit power supply online monitoring system

表 轨道交通供电在线监测系统组成

Tab. 1 Composition of rail transit power supply online monitoring system

对比角度		供电在线监测系统
组成	变电在线监测	接触网在线监测
监测对象	各类变电设备	接触网 / 轨
监测技术	传感器、监测装置	高清视频、弓网关系
分析技术	大数据驱动、机理模型分析	视频分析
系统架构	云：由 COCC 和 OCC 组成的中央级平台，对供电设备采集的大数据进行处理、分析、模型生成和修正	云：由 COCC 和 OCC 组成的中央级平台，对每列车采集的弓网视频信息进行分析、处理
	管：地铁通信主干网	管：车地无线通信网 + 通信主干网
	边：车站级服务器 + 站级 SCADA	边：车载服务器
	端：分布于各设备端的传感器、监测装置	端：高清摄像头
重难点	云平台属于（内部）公共资源，分析处理须接受资源调度	高清视频产生的数据规模极其庞大
	供电设备种类多、规模大，产生的原始数据量极其庞大	车地通信等传输通道带宽有限
主要问题	数据分析和模型生产依赖于云端的软件和提供商	视频分析依赖云端的软件和提供商
	传输通道的带宽有限	
	对云端的依赖性极强	通信开销极大、带宽瓶颈极其严重
	通信开销大、带宽瓶颈严重	视频分析的数据依赖云端
	平台软件商对设备分析能力弱	

2.2 增强边缘计算的关键问题

目前，在线监测系统对于云端的中央级依赖过高，且中央级软件及其提供商无法对每个设备、每个领域提供非常专业的分析和预测。重点增强边缘侧的计算和处理能力，可考虑以下方面：

1) 非必要的不上传云端。部分计算和分析功能布置于边缘侧，可只将云端必要的信息、边缘计算的结果等上传，减少带宽开销和网络时延。还有部分供应商不愿开放监测的算法，不愿将算法和模型等布置于公有云（类似数据隐私问题），则可在边缘侧（甚至端侧）布置其计算功能。

2) 视频信息采用边缘处理。由于视频数据量巨大，且在线监测的视频场景较为单一，可以采用稀疏采样技术压缩数据量，通过轻量化的模型算法在边缘进行模型压缩和加速。此外，还可以利用边缘侧进行大量视频的缓存。

3) 增强边缘侧的智能算法。在边缘计算中部署轻量化的深度学习、强化学习等智能算法，可以分担云端的计算任务，提高响应速度；并且大量的模型训练需要海量的本地数据，全部依靠通信上传至云端也不实际。实际上，已训练好的模型完全可以布置在边缘侧。

4) 增强一次设备智能化水平。推进一次设备制造商提升自身产品的智能分析能力，最了解设备的就是设备制造商；将机理性的模型、分析置于设备侧（或称端侧），将可提供更加直接、更加专业的监测结果。另外，随着芯片技术的不断提升，将各类模型、算法进行芯片化，必将是未来的发展方向，如变压器类、电缆类等传统意义上的控制弱、智能低的设备，将是未来智能化提升的重点。

2.3 云边协同的原则

云计算和边缘计算各有所长，在实际的系统架构中，重点考虑三个原则：

1) 算力匹配原则。在云-边-端三层的任务分配中，根据各层的计算能力安排任务：云端

侧重于大数据分析、复杂模型的训练和算法的更新等与其算力匹配的巨型任务；边缘侧则进行实时、轻量化和预处理任务；端侧则由设备进行“感知自治”型任务。

2) 就近优先原则。所有的计算应尽可能地靠近数据产生侧，因此在有充足计算能力的情况下，计算优先级为：端（设备）>边缘（变电站级）>云（COCC/OCC）。就近的计算和处理意味着更快的响应和更合理的算力分布。

3) 计算卸载原则。当边缘计算能力不足或负载过重时，通常以时间延迟和能量消耗作为衡量指标，超过正常预测的合理范围，则向云进行计算卸载。

重点协同内容有数据协同、模型协同和算法协同。数据上，按照计算分层原则，数据按最短传输距离进行协同；模型上和算法上，可利用模型分割、算法分割等方式，将匹配算力的部分模型、部分计算分散在云边架构中。

2.4 在线监测系统的云边端新架构

从云-边-端协同的视角，对轨道交通供电在线监测系统的架构重新规划，如图2所示。

新的系统架构对算力的分布和数据处理从云端向边缘侧进行了下沉性适配，通信开销更小，整体上更合理；算法和智能趋向分工化，软件开发也更利于提供商聚焦自身的专长。

从云-边-端协同的趋势上看，更要推动底层设备的“自我感知”，与智能的深度融合；设备制造商作为对设备机理和状态最了解的一方，不应停留在提供基本的设备，而是为设备增加“智慧”。“端”作为“边缘”的一部分，在监测体系中越来越重要；未来芯片化将极大地推动“端”的智能水平。

2.5 强化边端的关键技术支撑

1) 边缘算力的整合利用。在轨道交通站级层面，设置了综合监控、变电所综合自动化、在线监测系统和供电安全生产管理系统等站级服务器，通过整合该类边缘的计算资源，增强边缘云算力，分散云端负荷。

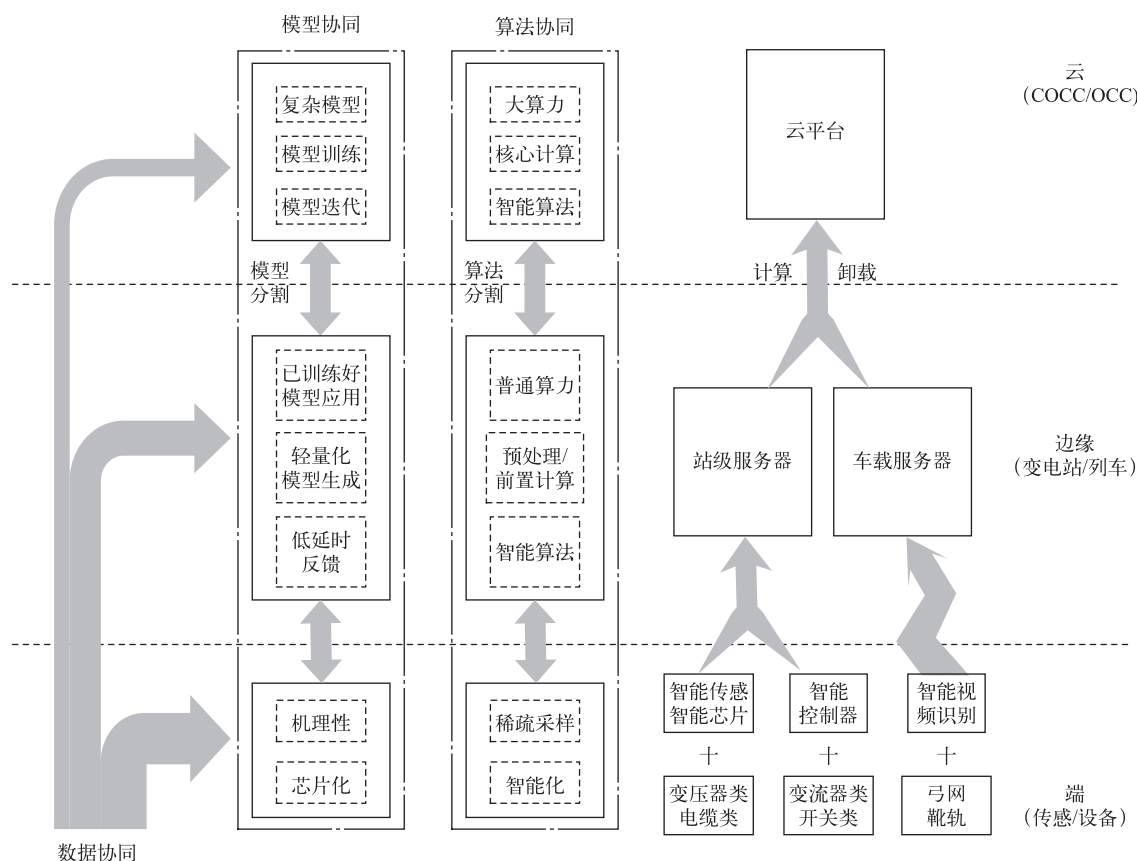


图2 在线监测云边端协同新架构

Fig. New architecture of online monitoring cloud edge end collaboration

2) 一次设备智能化。对传统一次设备进行全面的智能化升级,增加全面自我感知能力,将传感、机理分析和数据驱动等能力就地化,如传统的开关柜类设备在配置测控和保护装置的基础上增加智能分析装置,变压器类将油色谱分析、油温/铁心温度的检测分析等结合机理模型融入就地智能分析装置。端侧的就地智能化大大提高了系统分析效率,减轻了云端负荷。

3) 装置和算法芯片化。传统的测控、保护等装置功能固化,运算能力弱,扩展性差,体积大,耗能高,在目前芯片化的大趋势下,进行各类装置的芯片化,将给设备制造业带来颠覆性的变革和提升。芯片化也将简化硬件体系,强化智能分析和运算能力,增强边端的能力。

3 结束语

在云计算发展成熟、边缘计算逐渐兴起的今

天,云边(端)的协同已取得业界的共识。但云边(端)协同的架构还需深入研究,边缘和端的性能也是影响协同架构的重要因素。

轨道交通供电在线监测系统是作为轨道交通供电系统进行全面状态感知、状态维修和设备寿命管理的大型系统,更高效的架构、更合理的协同机制将是决定整个系统效率和效果的关键。云边协同将对在线监测系统产生显著的优化效果,是未来具有巨大研究价值和市场价值的方向之一。

参考文献

- [1] 郑逢斌,等.边缘计算:新型计算范式综述与应用研究[J].计算机科学与探索,2020,14(4):541-553.
- [2] 马富其,等.电力视觉边缘智能:边缘计算驱动下的电力深度视觉加速技术[J].点位技术,

- 2020, 44(6): 2020-2028.
- [3] 赵明. 边缘计算技术及应用综述[J]. 计算机科学, 2020, 47(6): 268-272.
- [4] SHI Weisong, et al. Edge computing: vision and challenges [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 5(3): 637-646.
- [5] 洪学海, 等. 边缘计算技术发展对策研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20(2): 20-26.
- [6] 王哲. 智能边缘计算的发展现状和前景展望[J]. 人工智能, 2019(5): 18-25.
- [7] 白昱阳, 等. 云边智能: 电力系统运行控制的边缘计算方法及其应用现状与展望[J]. 自动化学报, 2020, 46(3): 397-410.
- [8] 张树华, 等. 面向能源互联网智能感知的边缘计算技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(4): 42-50.
- [9] 吴大鹏, 等. “端-边-云”协同的智慧物联网[J]. 物联网学报, 2018(3): 21-28.
- [10] 司羽飞, 等. 面向电力物联网的云边协同结构模型[J/OL]. 中国电机工程学报, 2020(29): 1-9.
- [11] 吕泽芮, 等. 基于云-边-端协同的电力物联网用户侧数据应用框架[J]. 电力建设, 2020, 41(7): 1-8.

作者简介

邹东(1969—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向为轨道交通大数据和智能化。

(收稿日期: 2021-03-31)