

[电力物联网]

边缘计算在电力物联网中的应用

文/王 芮

中煤科工集团南京设计研究院有限公司

随着电力物联网的发展，设备智能化程度越来越高，为满足业务终端的需求，边缘计算作为云计算的扩充在电力互联网中得到应用。介绍边缘计算的关键技术，分析电力物联网中存在的问题，讨论边缘计算的优势，阐述边缘计算在电力物联网中各类场景中的应用。

随着大量传感器、电力仪表等设备接入电力物联网，为实现电力系统发输电、变配电及用电端各个环节的互联，边缘计算以其低时延、轻量级及高可靠等特点在电力物联网中得到广泛应用。

边缘计算概述

边缘计算是云计算的扩展，在靠近网络边缘部署具备计算、存储能力的边缘节点，搭建网络边缘服务器，就近为用户提供云服务。

1. 边缘计算主要内容

随着电力系统的发展，电力物联网终端数量急剧增加，网络传输数据量爆发式增长，传统云计算难以满足全部需求，因此边缘计算获得越来越多的关注。边缘计算旨在解决云计算遇到的数据处理、存储及传输问题，可采用边缘网关进行分布式部署，就近进行数据采集、处理、协议转换及数据分析等，极大缓解网络传输与数据中心的压力。同时在边缘侧保证业务终端的低时延，处理速度从几十毫秒降到几毫秒，服务响应性能强，实时性好。

边缘计算的发展离不开通信、计算与存储技术。边缘计算要求高速、低时延的通信，边缘节点具有多种接入方式、节点功耗有限和数量庞大等特点。5G通信技术具有更低的处理时延、更强的处理能力，并能够覆盖低功率微站，因此很适合边缘计算的应用。计算技术主要涉及资源的处理调配，是

本地执行计算任务，还是分布到边缘计算侧？如何合理分配计算资源，提高效率？在多用户计算任务处理中，还涉及任务卸载决策算法问题，不同的任务卸载方法对任务完成时延和移动设备能耗都有较大影响。存储技术主要是对数据处理能力的要求，要实现数据实时性收发，高速缓存技术必不可少，通过预缓存设备端的数据流，减少下载与上传时间，还可通过协作边缘计算，提高缓存性能。任务缓存还与边缘服务器的运算能力相关，强大的算力能够支撑服务器卸载终端的计算压力。

2. 边缘计算参考架构

2018年11月，边缘计算参考架构3.0版本由边缘计算产业联盟（ECC）与工业互联网产业联盟（AII）共同发布，如图1所示。边缘计算参考架构从顶端到底端划分，主要分为云计算、边缘及现场设备三部分。其中，云端对边缘计算发送的数据进一步处理，对边缘节点与接口设备进行优化，对任务处理进行指令调度。边缘计算是参考架构的核心内容，包括边缘节点、边缘网关、边缘服务器、边缘云及边缘传感器等，边缘计算相当于在云端与现场设备之间架设一座阶梯，一方面向下将底层接口设备数据接入边缘侧中，另一方面向上与云服务进行有效数据交互，通过信息采集技术、边缘节点设计及边缘计算服务等方式解决物联系统存在的时延、带宽及数据传输等问题，为数据全生命周期服

务提供新的解决方案。现场设备包括传感器、智能采集设备等,根据设备自身底层协议要求,提供物理层接口,与边缘侧进行数据交互,实现控制。

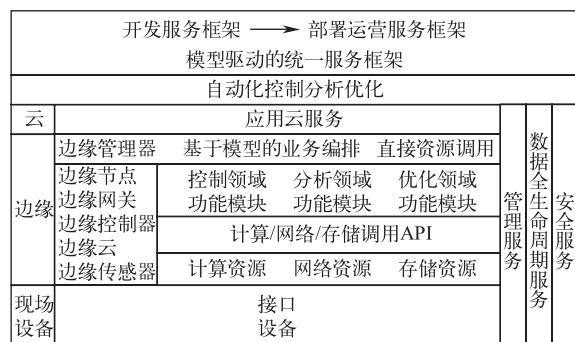


图1 边缘计算参考架构

3. 边缘计算关键技术

(1) 协同技术

基于分布式系统架构的边缘计算,适合实时、短期的数据处理与分析决策。云计算适合长周期、大数据分析工作,负责大数据汇总分析、任务算法调度及模型训练等。边缘计算作为云计算的延伸,主要负责边缘节点信息处理、存储、上传及服务,这种协同模式就是云边协同。云边协同主要包括资源协同、数据协同和服务协同。资源协同使本地资源在被边缘节点访问的同时,能接收云端对资源的调度策略,改变资源分配布局,使整个系统资源分配更加高效,利用率更高。在云边协同的过程中,主要问题在联合资源分配与任务卸载决策优化两个方面,在多任务并发接入时,边缘计算受通信限制,因此提高边缘算力与通信资源利用率是实现优化的关键。数据协同包括云端与边缘节点共同对数据的存储、同步与聚合。边缘侧设备数据上传到边缘节点后,边缘节点对数据进行过滤处理,将有效数据传到云端,降低无效数据对计算资源的占用,云端对重要数据进一步分析后,应用于业务场景。云平台作为统一管控平台,还将实现云边数据同步,部分数据在边缘侧进行存储,云端进行部署,对所需数据进行确认,避免重复发送信息带来资源浪费。由于云边集群架构部署,云中心连接众多边缘节点可能应用于不同场景,数据形式、传输协议等各不相同,为此需要在云端进行数据聚合,实现多区域、多系统的数据融合及协同交互,同时实现综合能源管控。

(2) 数据处理技术

在各种业务场景下,边缘节点时刻采集来自感知设备的海量数据,这些数据来自环境传感器的时间序列数据、摄像头采集的图片视频数据及车载雷达数据等,要实现应用开发,需要对各类数据进行分析管理。其中涉及数据缓存、多源异构数据融合及统一数据模型等问题。边缘节点自身的数据安全问题也不可忽略,分布式架构与异构数据难以统一管理,目前,通过机器学习与内存加密技术增强系统的安全防护是可取的方案。将边缘应用运行于安全可信的执行环境,对数据存储进行保护,保证应用与数据的安全性。如何安全有效管控数据、提供可靠服务,是边缘计算可深入研究的重点。

(3) 网络通信技术

边缘计算的核心是为本地数据及用户提供计算、存储等基础设施,并为边缘应用提供云服务。边缘计算也是支撑物联网技术低延时、高密度等网络技术的体现形式,为5G应用落地带来了解决方案。5G技术带来新的应用场景,包括增强移动宽带、海量机器类通信和超可靠低时延通信,同时也面临挑战,5G为基于云端的应用提供更好的连接性和更低延迟,但存在处理和存储数据成本高的问题,混合边缘计算和5G解决方案将降低这些成本;5G产生的海量数据给云端集中管理带来计算压力,而边缘计算使更多应用程序在边缘侧运行,减少了由数据传输速度和带宽限制所带来的延时,缓解了云端的数据压力。

边缘计算在电力物联网中的应用

1. 电力物联网概述

电力物联网建立在电力系统的基础上,主要由感知层、网络层、平台层和应用层四部分组成。

1) 感知层通过传感器或智能采集设备获取配电网中的信息,监控对象包含与电力环节相关的机械与电气设备,涉及输电、变电、配电及用电全过程信息,需要在不同应用环境中构建网络,将终端连接到网络层,对于远距离配电网的监控数据主要采用光纤通信方式。感知层主要实现对物理量的信息采集处理、识别和控制。关键技术包括智能传感技术、终端智能化、传感网络及信息交互等。

2) 网络层在电力物联网中起到纽带作用,由核

心网与接入网组成，在基础网络设施上进行数据的接入和传输。接入网包括电力光纤接入网与宽带无线接入网，与核心网互联，核心网主要是电力骨干光纤网。

3) 平台层是将电力系统各阶段运行数据进行统一管控，包括其他分布式能源的补充，打破信息孤岛，实现各电力系统环节之间、不同能源系统之间的信息共享。从网络层获取信息并进行实时更新，再通过大数据分析上传到应用平台，实现数据交互。

4) 应用层是用户与设备的接口，也是信息处理的平台，通过中间件、应用基础设施提供计算、信息处理等常用能力和资源调用接口，在此基础上针对用户需求进行应用开发。

电力物联网应用目的在于利用云计算、大数据、移动互联及边缘计算等技术，实现电网信息多维展示与智能化决策，提供智能化管理与服务，构建智能电网一体化生态体系。

2. 边缘计算在电力物联网中的应用

(1) 在电力物联网中的关键问题

电力物联网是物联网技术与智能电网相融合的产物，将电网与通信设备联系起来，以实现对整个电网状态的全方位感知，对数据的高速处理，提高电网效率。目前，电力物联网存在如下问题。

1) 终端接入设备的复杂性与多样性，在电力系统的各阶段有不同体现。例如，在电力系统的输电侧，主要包括导线温度传感器、导线弧垂监测装置、杆塔倾斜传感器、气象监测装置及无人机线路巡检等，输电线路跨度很长，难以维护，因此如何提高输电侧感知装置的可靠性与利用率，是需要解决的关键问题。在变电侧，即变电站中，主要有变压器、高压断路器及高压隔离开关等高压设备，所用感知装置包括SF₆在线监测传感器、特高频传感器、开关柜温度传感器及变电站环境监测设备等，这些设备的数据反映变电站是否处于正常运行状态，实时判断、处理及上报告警信息，提高变电站运行效率，保证运行安全，有待进一步完善。配电网是电力系统的重要组成部分，主要有配电开关监控终端（Feeder Terminal Unit, FTU）、开闭所终端（Data Transfer Unit, DTU）、配电变压器监测终端（distribution Transformer supervisory

Terminal Unit, TTU）、配电站环境监测装置及无功补偿监测装置等。其中，配电变压器连接着一次设备与380 V/220 V低压配电网，TTU作为边缘侧设备，除了监测、记录及通信功能外，还可进行应用业务的开发。这些配电智能终端与传感装置都将接入配电主站中，在电力物联网的架构下，配电物联网云平台将感知终端设备数据接入，提高低压电网的可观测性，如何更好提高配电的可靠性，降低网损，并为其他业务提供支撑，是可以进一步改进的地方。此外，随着大量分布式电源与储能设备接入配电网，配电网的形态和运行方式也在发生改变，并带来新的挑战。在用电侧，感知层主要是智能电能表、通信装置和采集设备等，与用户密切相关，功能需求包括低压配电拓扑识别、停电范围分析和用电调配管理等。终端设备的复杂性，给系统带来的影响不可忽视，尤其是系统资源分配问题。以电力系统的输电侧为例，一般需要通过负载均衡算法，如动态权值算法、遗传算法和蚁群算法等，对边缘数据信息进行判断处理，选择最优服务器处理最优解，实现计算资源的合理有效调用。

2) 电力系统的安全运行评估问题，主要是在电网调度系统基础上实现安全稳定控制，需要对电网进行在线稳定性分析与决策。一方面，对稳定裕度评估，以满足稳定要求，达到最大可用功率输出；另一方面，针对具备失稳隐患的特征，通过数据分析调整信息，确定调节参数与调节量，综合最优调控方案涉及控制策略问题。此外，复杂电力系统中大功率电气负载频繁切换及新增负载给电力系统带来新的安全风险，因此，需要对电力系统历史运行数据结合系统模型进行预测，包括边缘侧设备与主要设备的实时运行风险评估，进行智能调节，提高电力系统的可靠性。

3) 随着现代电力系统和新兴应用领域功能的发展，电力物联网技术在各种业务下的应用将日益深入，并有开发新的技术需求。在电动汽车领域，通过开发基于汽车充电桩的二次设备，实现有序安全充电；在微电网领域，进行分布式网络结构发电预测、储能优化与调度及智慧微电网管控等；在虚拟电厂领域，进行负载聚合管理、资源协调管理和辅助供电调度管理，电力物联在技术安全、服务能力提升及业务优化等领域将拥有更大的成长空间。同

时根据不同的使用环境,还需要针对基础层面开展适应性较强的技术研究。针对不同的应用场景,需要在平台层进行适应性更强的系统开发,建立合理的服务架构,使各业务板块之间具有松耦合性,提高了灵活性与拓展性。

(2) 边缘计算在电力物联网中的应用

随着电力物联网的发展,电力业务不断拓展,新业务的迅猛发展,催生了对网络、数据处理和存储资源等的更高要求,边缘计算以其自身高效、低时延和可靠性好等特点,在电力物联网的业务中得到诸多应用。

1) 视频监控业务。在发电厂、配电所等需要安装摄像头监控安全情况的场所中,随着视频清晰度的显著提高,采集视频数据量变得庞大,在紧急情况时对视频处理的运算量大,占用资源多。应用边缘计算对视频进行预处理,过滤冗余信息,降低主系统计算要求,加快对视频的处理速度,优化数据的存储与迁移。另外,针对行为感知进行视频存储时,如在电力巡检中,根据特征提取视频数据,一方面能够分析视频,对目标进行实时提取,具有高可靠性;另一方面,减少了无效数据,减轻云计算的负载,提高数据的存储利用率。

2) 电力设备的运行维护业务。电力设备的状态监测是电力物联网的重中之重,要想实现对电网中的每个设备进行全面监测,需要耗费大量的资源,对大型电力系统是严峻的考验。边缘计算具备数据缓存与处理能力,能够很好地分担主系统通信与计算的压力,电力设备状态信息在边缘侧由边缘节点进行汇聚、缓存及处理,并对异常值进行上报,发送告警信息,使实时监测性能得到提升,同时缓解了网络传输的压力,为智能决策提供支持。在电力系统的变电站巡检业务中,在基于5G通信技术的基础上,结合边缘计算节点,完成机器人智能远程巡检工作,响应速度达到毫秒级,能够及时发现和上传故障节点信息,协助技术人员进行处理,显著提高工作效率,提升业务安全性。

3) 综合能源管理平台业务。电力物联网中的综合能源应用包括智能用电、智能家居、智能充电、电能表采集及用电安全等。边缘计算在用电侧的应用主要针对用户端的数据传输问题,避免大量数据对传输通道造成拥堵情况,将边缘计算应用于用电

终端,直接处理采集数据。在电力管控方面,通过对系统架构的优化搭建、数据库与边缘服务器的设计,能够有效进行能耗管理,节约电力资源。在电能表采集上,通过边缘服务器将数据集中交互,提高系统工作效率。在综合能源管理平台中,边缘计算结合云计算、大数据对配电网整体状态信息进行分布式分析,支撑系统实时可靠运行,更好实现对大规模数据的存储与管理。

随着边缘计算技术的不断发展,边缘计算在电力物联网状态预测、运行优化、能源调控及服务管理等方面发挥越来越重要的作用,为更多业务带来技术便利。

结束语

介绍了边缘计算在电力物联网中的应用现状,分析了边缘计算的特点,概述了边缘计算在电力物联网中的应用场景与应用需求。边缘计算在数据通信、系统安全及时效性等方面具备突出优势,给现阶段电力物联网中存在的一些问题提供了解决途径。随着边缘计算技术不断成熟,将不断推进电力物联网的智能化进程。EA

(收稿日期:2022-09-19)

参考文献

- [1] 王其朝,金光淑,李庆,等.工业边缘计算研究现状与展望[J].信息与控制,2021,50(3):257-274.
- [2] 杜羽,张兆云,赵洋.边缘计算在智能电网中的应用综述[J].湖北电力,2021,45(3):72-81.
- [3] 白昱阳,黄彦浩,陈思远,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.
- [4] 唐标,李婷,李博,等.基于边缘计算的变电站内智能布控数据分析与展示[J].电气应用,2021,40(2):79-84.
- [5] 张增强,陈伟伟,薛静杰,等.面向泛在电力物联网的配电网过电压类故障识别边缘计算节点架构研究[J].电气应用,2020,39(9):86-92.