

基于边缘计算技术的电费实时计算体系研究

许杰雄¹,余中杰¹,孙亚慧²,陈佐¹,吕淳¹,余航¹

(1. 江苏方天电力技术有限公司,南京 210096;

2. 北京中电普华信息技术有限公司,北京 110000)

Research of real-time calculation system of electric charge based on edge computing technology

XU Jiexiong¹, YU Zhongjie¹, SUN Yahui², CHEN Zuo¹, LYU Chun¹, YU Hang¹

(1. Jiangsu Fangtian Power Technology Co., Ltd., Nanjing 210096, China;

2. Beijing China-Power Information Technology Co., Ltd., Beijing 110000, China)

摘要:在电力营销业务中,电费是业务开展的核心,由于数据实时性要求不断提高,而电费计算业务的云端主站服务压力却因数据量增加而日益加重,系统提供电费数据的时效性普遍较低。为了解决这一问题,研究了基于边缘计算技术的电费实时计算体系。选用了技术更加成熟的EdgeX Foundry框架作为边缘计算网关;资源占用率低、使用轻便的MQTT协议作为安全协同传输和控制协议;间接接入方法作为设备集成接入技术。根据边缘计算网关的数据采集能力、数据聚合计算能力、预警能力3个目标开发部署相应的实时计算服务,最后通过仿真实验结果分析验证了基于边缘计算技术的电费实时系统的先进性和有效性。

关键词:智能电网;边缘计算;电费计算;电费预警

Abstract: In the electricity marketing business, electricity tariffs are the core of business development. As the real-time data requirements continue to increase, the pressure on cloud master stations for electricity tariff calculation services is increasing due to the increase in the amount of data. The timeliness of electricity tariff data provided by the system is generally low. In order to solve this problem, this paper proposes a research on the real-time calculation system of electricity charges based on edge computing technology. The more mature EdgeX Foundry framework was selected as the edge computing gateway. The low-occupancy and lightweight MQTT protocol was used as the secure cooperative transmission and control protocol. The indirect access method was selected as the device integrated access technology. Corresponding real-time computing services based on the three goals of the edge computing gateway's data collection capabilities, data aggregation computing capabilities and early-warning capabilities were developed and deployed. Finally, the results of simulation experiments verify the advancement and effectiveness of the real-time electricity tariff system based on edge computing technology.

Key words: smart grid; edge computing; electric charge; early warning of electricity charge

0 引言

随着我国电力行业的蓬勃发展,2020年国家电网将“努力创新客户服务新模式”列为改革攻坚重点工作之一,国网提出跨领域业务的互联互通、深入融合,构建“网上国网”多元化产品生态。而在电力业务中,电费是营销业务开展的基础,由于数据实时性要求不断提高且电力行业用户体量较大,涉及到电费计算而产生的云端主站服务压力倍增。以某省3 658万低压居民用户的电费日结算为例,按照传统技术架构搭建的系统需要计算61 h。数据的高延时性产生了2个问题:① 日益蓬勃的电力营销业务发展以及客户对电费计算越来越高的实时

性要求得不到满足,例如电费余额预警预测等实时性要求较高的营销业务;② 数据的延时性越高,不法用户通过私改计量设备注入虚假计量数据窃电的风险就越大。2019年8月,国网苏州供电公司吴中区胥口镇某厂房进行现场用电检查,发现厂房总电能表被私自改装,嫌疑人通过非法改装电能表,窃电量达101万kWh,价值65万余元。

针对上述问题,学者们展开了深入的研究,文献[1]使用分布式存储、服务化重构、数据推送等技术,以此缩短数据的回写和抽取时间。文献[2]从数据交互和数据存储2个关键技术入手,采用分布式微服务框架,提升了电费计算效率。文献[3]通过改进电费计算业务系统模块来优化远程费控。文献[1]和文献[2]提出的方法虽然可以提高计费效率,但是计算压力集中在云服务器上,不利于业务需求的拓展。文献[3]提出的方法虽然改进了

收稿日期:2021-01-05;修回日期:2021-03-01

基金项目:江苏省电力有限公司信息化项目“能源互联网营销服务系统(营销2.0)”

业务流程,但是传统技术架构系统的性能瓶颈依旧存在,长期来看,不利于业务发展。

文中提出的基于边缘计算技术的电费实时计算系统设计能够将原本主站服务器的运算压力分散给各边缘网关,提高了电费计算效率,在营销业务需要拓展时,使用云主站的应用管理功能对各边缘网关进行模块升级,大部分新业务计算继续由各边缘网关承担,以此保证整个系统的高效运行。

1 边缘计算技术

边缘计算是云计算^[4]的延伸和补充,未来前景广阔。

边缘计算的适用场景则差别较大,数据实时性高、数据量大的情况下可以选择部署。需要注意的是一个边缘端接入终端的数量是不固定的,例如自动驾驶汽车产生大量实时性数据和计算任务,所以汽车本身既是终端又是边缘端,而城市智能系统中,边缘端则接入摄像头、路灯、信号灯传感器等数百米范围内数十至数万不等数量的终端。而在实时电费计算体系下,可以小区为单位进行边缘端部署,一个边缘端接入小区内的所有计量设备,当然有些特别大的小区,可以分片区接入不同的边缘端,在保证边缘端算力的同时方便管理。

2 系统设计

2.1 关键技术选型

2.1.1 系统框架选型

目前常见的边缘计算框架有:CORD、Cloudlet、OpenEdge、KubeEdge、EdgeX。但通过调研发现上述框架对于电费实时计算系统并不适合,具体原因:CORD目前还处于开发阶段,性能很不稳定,会发生阶段性崩溃;Cloudlet设计目标是为移动设备提供计算资源,支持计算密集型和交互式且具有严格时延要求的移动应用,比如对移动设备的人脸识别、语音翻译和增强现实应用、远程渲染的云游戏提供支撑等;OpenEdge功能有限,但和百度物联网平台绑定紧密,不便于2次开发;KubeEdge是华为提供的基于kubernetes技术适配边缘计算,同样与平台紧耦合,不便于2次开发。

文中系统选择EdgeX作为边缘计算的开发框架。其具备如下3个优势:① EdgeX为Linux基金会的物联网顶级项目,具有繁荣的生态和众多厂家的支持,社区活跃度高;② EdgeX相较于OpenEdge与KubeEdge而言,项目开放时间更长且技术更为成熟;③ EdgeX采用模块化设计,各个功能模块以微服务

形式运行,可根据需要修改或替换,可塑性更强。

2.1.2 安全协同传输和控制协议选型

安全协同传输主要有HTTP和MQTT 2种协议,在现有平台中若使用HTTP协议,则每个应用都需要在平台上注册。平台向这些应用分别推送数据,会发生推送重复数据的情况,这样会增加平台的运行压力。若使用MQTT协议,不同的数据平台只需要以不同主题向MQTT服务器上发送一次,各应用只需订阅相关主题便可接收到相应数据,大大减轻平台压力,并且MQTT协议属于小型传输协议,占用资源小,平台使用轻便。

文中基于MQTT协议的设备接入和控制模型,实现边缘的设备传输和控制,在边缘侧,将设备状态和实时数据传输至云平台。在云端,通过MQTT双向控制协议,将控制指令下发,实现云端设备管控和边缘智能分析。

文中设备接入模型和接口中,同样采用MQTT技术进行数据传输,数据的传输通过调用过程和传输过程双认证和加密的方式以确保数据接入和传输的安全性。其中在接口调用过程中,通过身份登陆验证的方式验证合法调用;在传输过程中,通过数据加密来保证传输的安全性^[5]。

2.1.3 设备集成接入技术选型

设备集成接入分为直接接入和间接接入2种方式,所采用的关键技术也不相同,其中直接接入方式比较常用的是边缘计算感知接入方法^[6-7],而间接接入方式比较常用的是WebService接口接入方法^[8]。文中采用间接接入的方法实现设备集成。

2.2 系统框架的搭建

在仿真实验服务器上部署EdgeX Foundry平台作为边缘计算网关,所有终端设备统一将数据推送到边缘计算网关上。

开发并部署各种边缘计算应用,应用以微服务的形式运行,边缘端实现对设备数据的采集、聚合计算、预警处理并将最终结果推送到云端,最后在云端展示最终结果,核验边缘计算结果的正确性。文中设计的基于边缘计算技术的电量数据收集计算及预警系统框架如图1所示。

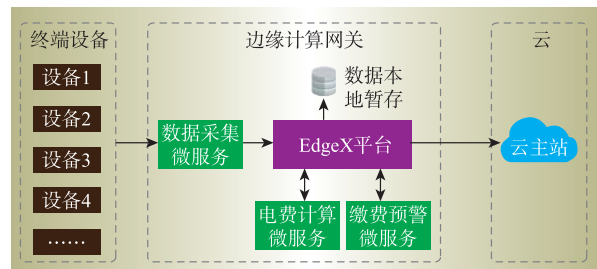


图1 系统软件功能架构图

Fig. 1 Functional architecture of system software

2.3 应用层设计

准备边缘端服务器和云端主站服务器,配置见表1。分别用于部署边缘代理服务和云平台服务,实现对采集数据的聚合、计算和预警并将数据推送到云端主站,云端主站接收边缘代理推送的数据并展示。服务器软件环境见表2。

表1 实验硬件环境配置
Table 1 Configuration of experimental hardware environment

边缘端配置	云端主站配置
英特尔 Xeon Gold 6130(16 核/32线程、2.1 GHz 基础频率和 3.7 GHz 睿频)	英特尔 Xeon Gold 6130(16 核/32线程、2.1 GHz 基础频率和 3.7 GHz 睿频)
内存 16	128
硬盘 556	4 096

表2 实验软件环境配置
Table 2 Configuration of experimental software environment

软件名称	软件版本
操作系统	Centos7.4
docker	v18.06.0
docker-compose	v1.23.2
EdgeX foundry	v1.0.0
EMQX	v3.0

应用层的主要实现目标分为3部分:① 物联网设备数据的采集:实现边缘端对终端数据的采集、流转、存储和上报设备数据至云端;② 基于采集数据的聚合和计算:通过边缘端部署的计算微服务对采集数据进行聚合和计算,并将结果推送到云端;③ 边缘设备的预警:通过边缘端部署的数据预测与预警微服务对采集数据进行实时告警判断,当告警发生时边缘端会将告警信息推送到云端。

根据边缘计算的电费实时计算功能,应用层分成2部分:数据展示、应用管理。数据展示分为收集展示,其中包括采集时间、电表和当前读数指标。实时电费计算展示包括实时用电量和实时电费。电费预测与预警展示包括:账户余额、可用余额、缴费建议、本月预估用电量和本月预估电费。应用管理分为应用启动与停止、卸载与安装2大功能。

2.3.1 边缘计算网关的数据采集

在边缘端上启动设备数据采集微服务,定时采集设备数据后将其转发到云端主站,同时云端主站能实时显示出设备终端数据。流程见图2对应线框。

(1) 在边缘端上启动数据采集微服务。服务启动后会定时从计量设备上采集数据,并将结果发

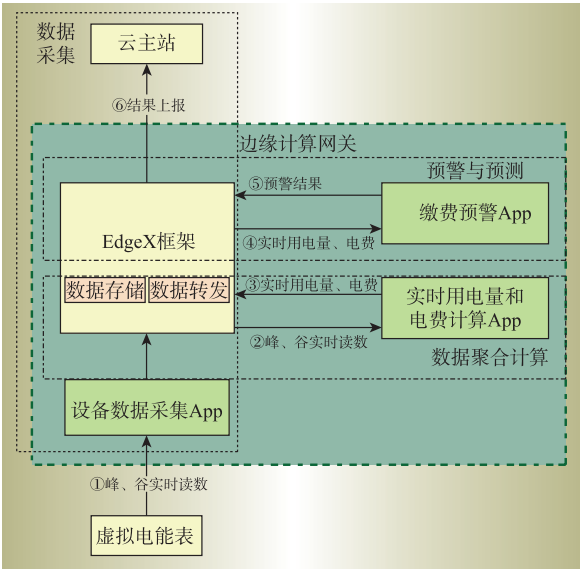


图2 边缘计算网关的功能示意图
Fig. 2 Functional diagram of edge computing gateway

送到EdgeX foundry平台。

(2) 将云端主站的数据接收地址在边缘端的EdgeX foundry平台上进行注册,平台会将采集到的数据以RESTful方式推送到云主站。

(3) 云端主站接收到终端数据后将其保存到数据库中,并在前端页面中实时进行显示。

2.3.2 边缘计算网关的数据聚合和计算

在边缘端上启动数据计算微服务,对接收到的数据进行聚合计算,并将结果推送到云端主站显示。流程见图2对应线框。

(1) 开发数据计算微服务并在边缘计算网关上部署。同时在边缘端的MQTT服务器上订阅需要的业务数据,终端上报的数据便会由EdgeX foundry发送到MQTT服务器,再由MQTT服务器转发到数据计算微服务上。

(2) 数据计算微服务启动后首先会从云端主站获取电价标准比如峰谷电价、阶梯电费等以及各个电能表上一次结算时的读数。当接收到推送的实时电表读数时,计算出实时用电量和实时电费,并将计算结果转发回EdgeX foundry平台,再由EdgeX foundry平台统一将数据以RESTful方式推送到云端主站。

(3) 云端主站接收到实时用电量、实时电费这些计算数据后将其保存到数据库中,并在前端页面实时显示。

2.3.3 边缘计算网关的预警

在边缘端上启动告警微服务,对接收到的数据进行判断,一旦发现有异常情况则产生告警并将告警信息推送到云端主站显示。流程见图2对应线框。

应用的原理与2.3.2相似,文中不再赘述。

3 仿真实验与分析

实验数据采用模拟用户数据 3 658 万户,其中包括档案数据、抄表示数、电量电费测算数据以及测算回写数据。

由于边缘计算的技术特性,接入的终端从几十个到几万个不等,但需遵循物理距离就近的原则,确保数据及时计算,及时响应。按照电能表分布情况,预估单个边缘端的最大接入为 1 万户,在不考虑网络波动的情况下,以此为基础进行仿真实验并做性能分析。实验环境配置如表 1、表 2 所示。

在测试环境下,对边缘端和云端主站进行性能测试,测试结果如表 3 所示。

表 3 实验结果
Table 3 Experimental results

	边缘端	云端主站
测试户数/万户	1	3 658
总耗时/s	73	2 184

仿真实验结果表明,对于电量、电费实时展示、电费预警预测等实时性要求高的业务,边缘端可以轻便高效地完成,原因在于边缘端将大数据量的用户档案进行拆解,将已接入的终端用户档案进行缓存,快速地读写数据使得整体效率变高,对比传统架构下的电费计算系统,档案抽取一项的耗时就超过 1 h。云端主站由于没有具体的电费计算任务,主要耗时集中在回写边缘端上传的电费数据,所以整个流程大大压缩了电费计算的时间。

4 结束语

本文设计了基于边缘计算技术的电费实时计算体系,通过在仿真实验环境上搭建部署边缘计算环境,并根据边缘计算网关的数据采集能力、数据聚合计算能力、预警能力 3 个需求目标开发部署相应的实时计算服务。仿真实验结果表明:边缘端实现终端数据的采集、计算、预警工作,并将结果推送到云端展示,耗时 73 s,同时云端主站压力明显减轻,数据实时性较强,为今后开展对数据实时性要求较高的业务提供了参考。D

参考文献:

[1] 王志强. 基于云计算及大数据技术的远程实时费控服务化应用技术研究[C]// 2016 智能电网发展研讨会, 2016 年 6 月 25 日, 中国北京:388-391.

WANG Zhiqiang. Research on remote real time fee control service application technology based on cloud computing and big data technology [C]// Proceedings of 2016 Smart Grid Development Seminar, June 25, 2016, Beijing, China:388-391.

[2] 武光华, 张旭东, 李牧, 等. 基于泛在电力物联网的实时费控计算与数据处理分析[J]. 河北电力技术, 2019, 38(6):17-20.

WU Guanghua, ZHANG Xudong, LI Mu, et al. Real-time fee control calculation and data processing analysis based on electric Internet of things [J]. Hebei Electric Power, 2019, 38(6):17-20.

[3] 曾红艳. 远程实时费控技术支撑平台的改进[J]. 大众用电, 2017, 32(3):23-24.

ZENG Hongyan. Improvement of remote real time fee control technology support platform[J]. Popular Utilization of Electricity, 2017, 32(3):23-24.

[4] 林闯, 苏文博, 孟坤, 等. 云计算安全: 架构、机制与模型评价[J]. 计算机学报, 2013, 36(9):1 765-1 784.

LIN Chuang, SU Wenbo, MENG Kun, et al. Cloud computing security: architecture, mechanism and modeling [J]. Chinese Journal of Computers, 2013, 36(9):1 765-1 784.

[5] 张佳乐, 赵彦超, 陈兵, 等. 边缘计算数据安全与隐私保护研究综述[J]. 通信学报, 2018, 39(3):1-21.

ZHANG Jiale, ZHAO Yanchao, CHEN Bing, et al. Survey on data security and privacy-preserving for the research of edge computing[J]. Journal on Communications, 2018, 39(3):1-21.

[6] 宋华振. 边缘计算——走在智能制造的前沿(上)[J]. 自动化博览, 2017(3):62-64.

SONG Zhenhua. Edge computing (part one): at the forefront of intelligent manufacturing[J]. Automation Panorama, 2017(3):62-64.

[7] 宋华振. 边缘计算——走在智能制造的前沿(下)[J]. 自动化博览, 2017(4):54-56.

SONG Zhenhua. Edge computing (part two): at the forefront of intelligent manufacturing[J]. Automation Panorama, 2017(4):54-56.

[8] 于海龙, 邹伦, 林星, 等. 基于 WebService 的小流域地貌演化问题计算设计与实现[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(6):890-897.

YU Hailong, WU Lun, LIN Xing, et al. Design and implementation of calculation for geomorphic evolution of small watershed based on Webservice[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2005, 41(6):890-897.

作者简介:

许杰雄(1990),男,江苏南京人,工程师,硕士,研究方向为电力信息化和智能用电技术;

余中杰(1992),男,江苏南京人,助理工程师,本科,研究方向为电力信息化和智能用电技术;

孙亚慧(1989),女,河北邯郸人,助理工程师,硕士,研究方向为电力信息化和智能用电技术。

(责任编辑 徐文红 顾婷婷)