

DOI:10.12158/j.2096-3203.2022.04.023

基于微服务架构的变电站自动化装置远程运维技术

张敏¹, 徐春雷², 张琦兵², 彭志强³, 沈健¹, 侯明国¹

(1. 智能电网保护和运行控制国家重点实验室, 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京, 211106; 2. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京, 210024; 3. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京, 211103)

摘要:为了适应变电站无人值守的趋势,提高变电站自动化装置调试和运维效率,同时满足运维业务灵活扩展的需求,文中开展基于微服务架构的变电站自动化装置远程运维技术研究。首先,根据运维业务需求设计远程运维系统架构和功能;其次,研发边缘计算平台,采用容器技术实现运维业务应用程序(App)化,设计设备和App即插即用、主动上线交互协议和流程;最后,研制硬件通用、软件解耦、功能灵活的微服务运维网关,并研发虚拟人机交互、版本管控、运维调试等App。系统已在南京地区某220 kV变电站进行了试点应用,结果证明,该系统能够提升试点变电站的运维管理效率。

关键词:自动化装置;远程运维;微服务;边缘计算;容器技术;应用程序(App)

中图分类号:TM764

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2022)04-0177-06

0 引言

随着大运行、大检修体系的建设,变电站无人值守已成为趋势,但传统运维模式异常缺陷的处理周期长,运维效率低下,无法满足变电站无人值守和运维效率提升的需求。因此有必要开展变电站自动化系统及装置远程运维技术研究,改变当前运维模式。

在变电站二次设备运维新技术方面,诸多学者开展了相关研究,文献[1]针对电力设备提出自我传感、自我告警、自我状态分析、健康状态评估以及自我保护等智慧功能,以适应电网智能感知与灵活运维的要求。文献[2]提出一种基于电力系统通用服务协议(general service protocol, GSP)^[3]的变电站监控系统远程运维体系架构,设计了远程运维的应用服务接口和安全管控流程,实现了对变电站监控系统的远程运维。文献[3]提出在主站端建立服务管理中心,对所有变电站提供的服务进行统一注册、监视和管理,设计了服务注册、审批、监视等管控流程,实现变电站自动化系统广域运维服务的扩展和维护。文献[4]提出了区域和站域2层体系架构的变电站远程运维架构方案,基于面向服务的区域站域交互框架实现了变电站远程运维业务。文献[5]设计了一种基于透明访问技术的远程运维系

统,在主站运维终端与变电站之间构建了变电站侧的数据服务端,为运维终端提供了各类资源的透明访问和控制服务。文献[6—7]提出了一种智能变电站远程虚拟终端访问系统,实现了在主站端调阅变电站内二次设备或交换机的配置和运行情况。

上述文献提出的技术一定程度上实现了变电站自动化系统和二次设备的远程运维,但也存在一定问题:一是已有技术重点针对变电站站控层系统和设备设计运维功能,对间隔层装置的运行信息采集不充分,未实现间隔层各类自动化装置的远程运维;二是变电站内自动化系统和装置由不同制造厂商设计研发,技术差异大,同时接入并开展远程运维业务需要一个开放的系统架构。随着智能变电站技术的发展,运维需求不断增加,现有技术方案在业务功能扩展时修改和调试的工作量大,不能灵活地按需部署。

为此,文中提出一种基于微服务架构的变电站自动化装置远程运维技术,采用Linux Docker容器技术将运维业务的应用程序(application, App)、配置文件和所依赖的库文件封装为Docker镜像,形成各种运行在运维网关上的业务App。App遵守运维网关边缘计算平台的约束和管理,可在运维主站远程部署和管理,实现业务功能的灵活扩展。各种设备接入App能获取更多装置运行数据,解决间隔层装置信息采集不充分、难以实现远程运维的问题。同时采用App化的开放性架构,不同设备厂商可开发各自的App实现多类型装置接入,也可通过部署新的App实现业务功能的快速扩展。

收稿日期:2022-02-10;修回日期:2022-04-27

基金项目:国家电网有限公司科技项目“基于国产芯片方案的变电站测控及数据通信网关装置研制”(5108-20205503-8A-0-0-00)

1 系统架构与功能设计

1.1 系统架构

系统包含运维主站和子站两部分,见图 1。主站部署在调度中心或运维站,与子站通信并采集数据,同时可与调度能量管理系统及调控云进行数据交互,集中实现对变电站自动化装置的远程运维功能。子站部署在变电站内,包含运维网关以及数据网关机、测控装置、同步相量测量装置等各种变电站自动化装置,同时还可通过过程层信息采集单元采集通用面向对象变电站事件 (generic object oriented substation event, GOOSE) 和采样值 (sample value, SV) 报文,用于实现二次虚回路信息采集与状态监测^[8]。

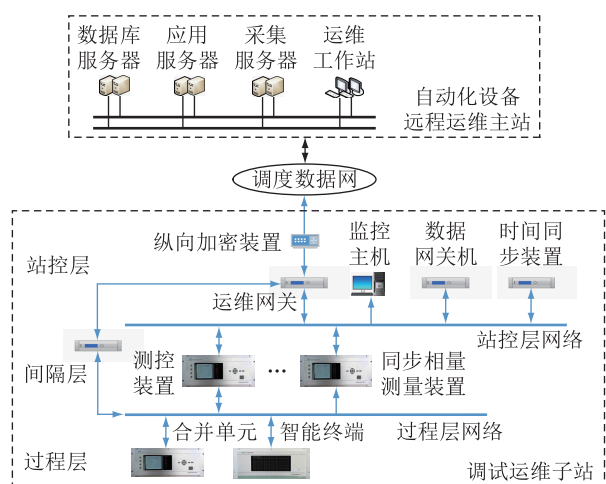


图 1 变电站自动化装置运维系统架构

Fig.1 Structure of operation and maintenance system for substation automation device

运维网关是系统区别于已有技术的关键,对下实现站内自动化装置运行数据、人机交互、设备调试、文件传输等各种协议的接入,支撑站端自动化装置就地运维;对上与主站系统通信支撑远程运维功能。采用新型开放式边缘计算平台进行设计,对站内自动化设备接入、主站通信提供标准的数据接口和软件开发套件 (software developping kit, SDK),应用容器技术将设备的接入协议和主站通信协议设计为不同的通信交互类 App。开展边缘计算研究一方面能提升远程运维智能化水平,另一方面能减轻运维主站负担。运维网关的各种 App 可从主站进行远程下发、安装部署、启动停止,从而实现 App 灵活地按需部署与扩展。

1.2 功能设计

运维网关和业务 App 接入主站按即插即用、审批上线的思路设计。主、子站间的通信数据分为管

理数据和业务数据,管理数据指运维网关、自动化装置和 App 的接入管理,以及对部署在运维网关上的 App 进行安装、升级、状态查询、定值下发、日志召唤等操作所交互的信息,采用消息队列遥测传输 (message queuing telemetry transport, MQTT) 协议^[9]进行交互;业务数据主要包括运维所需的装置运行信息、虚拟人机交互信息、参数配置信息等数据,通过 GSP 和 DL/T 634.5.104 协议进行交互。

新网关接入后在网络可达的条件下,通过主动发布 MQTT 消息上线。网关上电后定时向主站发起 MQTT 上线请求消息,首次上线请求到达主站后需要人工确认、审批网关基本配置信息,审批通过后主站接入网关,并分配设备 ID。之后网关所接入的装置及 App 按照类似流程完成上线接入,且主站为每个设备和 App 都分配唯一 ID。网关收到主站下发的接入确认信息后,主动向主站发送自身详细设备配置和所支持的业务相关 GSP 服务配置,实现网关服务的自描述;主站再根据所支持的服务与网关进行业务数据的交互。通过设备上电时主动上送业务数据及服务交互接口定义文件,主站根据接口定义解析业务数据报文,实现业务数据自动交互,以减少繁琐的调试对点工作。安全性方面,在连接阶段增加用户和设备身份认证,同时可通过在 MQTT 协议的传输层和应用层增加控制报文和内嵌应用数据的完整性校验,保证数据传输正确,以防中间篡改^[10-11]。

结合运维检修的业务需求设计虚拟人机交互、版本管控、运维调试等 App 实现业务功能,如图 2 所示。虚拟人机交互 App 将装置界面、指示灯状态延伸至主站,在主站虚拟出与装置界面同步的人机接口,故障检修时可远程调阅数据、记录等进行定位;版本管控 App 实现配置、模型、程序等文件的在线管控;运维调试 App 主要实现运行过程中出现的数据异常、遥控失败等问题的远程在线调试。

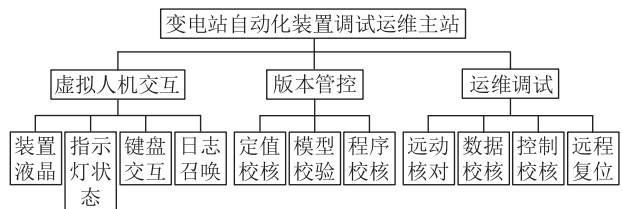


图 2 系统业务功能

Fig.2 System application functions

2 微服务运维网关设计

2.1 软件架构

微服务作为一种新的软件架构模式,提倡将业

务功能划分成一组小的服务,服务之间互相协调、互相配合。每个服务运行在其独立的进程中,服务与服务间采用轻量级的通信机制进行沟通^[12-13]。基于微服务的架构设计运维网关,硬件采用通用工业控制计算机,在 Linux 操作系统的基础上设计边缘计算平台,将其作为运维网关的基础平台^[14-15]。容器技术能很好实现软硬件解耦和应用模块分离,因此将其部署在运维网关中,并在此基础上设计开发各种 App。因 Docker 容器提供了分发、版本、移植等各种容器管理工具,使容器管理与使用更简单明了,因此文中选择在边缘计算平台部署 Docker 容器来实现应用的封装和管理^[16-18]。

软件分为设备接入服务层、核心处理服务层和边缘应用服务层,如图 3 所示。设备接入服务层主要实现各种设备接入协议,包括 MQTT 协议、DL/T 634.5.104 协议、制造报文规范(manufacturing message specification, MMS)^[19] 协议、厂家私有协议等,提供 SDK 开发上述接入协议 App,实现接入不同类型或设备厂商的自动化装置。核心处理服务层主要部署数据存储、设备注册、服务总线等功能,承担对接入设备的管理和对数据的存储、处理及分发,通过内部服务总线将数据提供给边缘应用服务层使用。边缘应用服务层具有管理运维网关接入云主站平台、调配应用资源、部署容器和管理 App 等功能,各种边缘计算 App 就运行在该层。

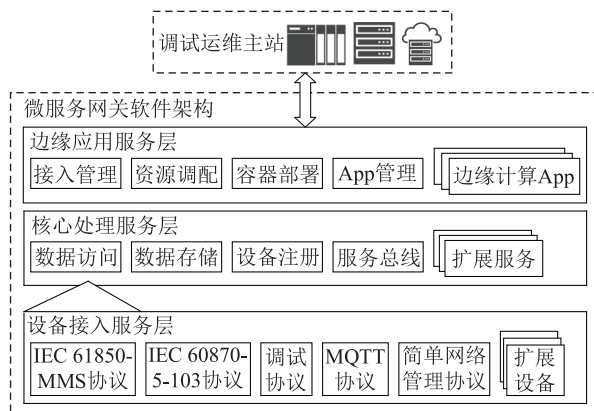


图3 运维网关软件架构

Fig.3 Software structure of operation and maintenance gateway

2.2 软件 App 化技术

运维网关应用 App 化结构见图 4,采用 Linux Docker 容器技术将软件封装为满足边缘计算平台约束的 Docker 镜像,其提供标准的 RESTful API、MQTT 交互接口来实现各种协议和边缘计算软件的 App 化。App 与边缘计算平台之间通过 profile 文件配置运行所需参数以及交互数据,App 从边缘计算

平台获取运行数据,并将计算处理结果反馈至边缘计算平台;边缘计算平台通过对 profile 文件的实例化进行目录共享、数据输入、数据输出、参数运行、通信规约等相关资源的关联配置,支撑 App 实现各种应用功能。边缘计算平台启动 App 时,给 App 设置内存和中央处理器限制,App 以 Docker 容器方式运行,能实现 App 间以及 App 与网关间的隔离。

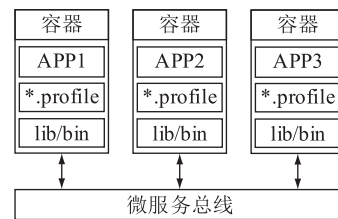


图4 运维网关应用 App 化结构

Fig.4 Structure of App program on operation and maintenanc gateway

3 数据交互接口

3.1 接口定义

管理数据采用 MQTT 通信协议,通过发布/订阅机制来完成消息交互,管理类报文消息的订阅与发布基于主题。根据系统管理需要定义了设备管理、业务交互、应用管理、设备上 4 类主题消息。业务数据交互主要采用 GSP,运维网关在上线阶段主动通过管理消息主题将所支持的 GSP 服务配置信息上送主站,从而实现服务的自描述与注册。主站解析并加载 GSP 服务配置,后续可以直接调用 GSP 服务配置中的接口与运维网关设备进行 GSP 服务交互。其消息主题的数据定义见表 1。

表 1 运维网关和 GSP 服务配置消息

Table 1 Gateway and GSP service configuration messages

字段名	是否必选	类型	说明
stationName	是	String	厂站名称
voltageLevel	是	String	厂站电压等级,单位为 kV
posLongitude	否	Number	厂站所在位置经度数值
posLatitude	否	Number	厂站所在位置纬度数值
edgeAddr	否	String	运维网关地址
edgePort	否	Number	运维网关端口
edgeSn	否	String	运维网关序列号,唯一标识
edgeModel	否	String	运维网关型号
edgeManufacture	否	String	运维网关制造厂家
edgeLocation	否	Location	运维网关安装位置
edgeWebPort	否	String	运维网关管理系统 Web 端口
gspServices	否	JsonArray	GSP 服务配置,描述 GSP 服务函数列表和参数定义

网关提供基于 GSP 扩展的业务交互协议,满足

业务 App 的数据交互需求。将 GSP 的应用协议数据单元控制码 CC 字段协议类型 PI 域取值为 15,用于运维业务交互,对具体业务的服务码 SC 定义也进行扩展。

3.2 安全认证机制

为了确保变电站的运行安全,调试运维系统主、子站交互需要设计完备的安全认证机制,安全体系如图 5 所示。

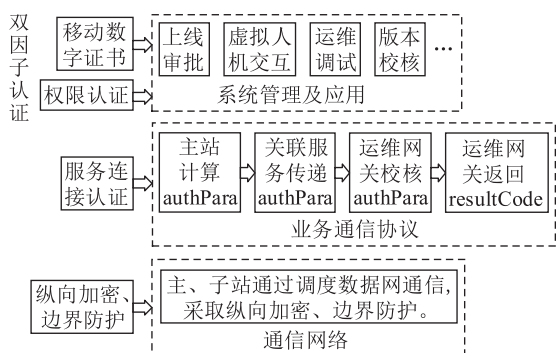


图 5 安全认证体系

Fig.5 Safety certification system

通信网络层面遵循电力系统信息安全防护要求,主、子站分别配置纵向加密装置进行通信。系统管理及应用层面,主站采用电力调度专用移动数字证书(USBKey)与权限认证相结合的双因子认证登录,USBKey 用于验证人员身份的合法性,权限认证用于验证远程运维业务服务调用的合法性,同时在设备上线过程增加人工审批,只有审批通过的设备才允许上线。业务通信协议层面利用 GSP 关联服务的输入参数 authPara 实现服务连接的安全认证。主站发起关联服务时,传递综合 USBKey 以及身份信息的安全认证参数 authPara,运维网关对收到的 authPara 进行安全校核,并返回成功或失败 resultCode。在采用关联认证的基础上,对远方操作类报文进行基于数字调度证书的数字签名,防止报文在通信过程中被篡改^[20]。

4 测试及试点应用情况

参照图 1 的系统架构在厂内搭建测试环境,包含运维主站、模拟调度主站,以及运维网关、数据网关和各类型装置等站端设备。运维主站与模拟调度站通过局域网连接,主、子站间通过带路由功能的调试网相连,对系统的管理和业务功能进行测试验证,同时在南京地区某 220 kV 变电站开展试点应用。

4.1 测试内容及步骤

测试内容主要包括管理和业务两部分。管理

方面主要对设备的即插即用、上线审批流程,App 的远程部署及管理等功能进行测试。业务方面主要针对间隔层装置远程运维、不同厂家设备接入和功能扩展灵活性进行测试验证。具体步骤如下。

步骤 1:即插即用上线测试。完成系统通信配置后,运维网关按 1.2 节所述流程主动发起上线申请,主站收到上线请求后推送提示界面等待审批,审批通过后上线运行。

步骤 2:App 远程部署测试。网关未部署 App 前与主站之间只有管理通信,从主站向网关分别下发并安装虚拟人机交互和装置故障诊断 2 种 App。

步骤 3:远程运维业务功能测试。接入测控装置,验证主站对间隔层装置的远程运维功能。

步骤 4:不同厂商设备接入的适应性测试。向另一设备厂商提供 App 开发套件及相应的接口文档,开发测控装置的运维 App。同一网关部署 2 个厂商的 App,分别接入各自设备。

4.2 测试结果

通过厂内搭建的测试环境和试点变电站开展的测试项目,得到的具体测试结果如下。

管理功能:运维网关和主站正常通信后能够按照设计流程实现即插即用;App 远程部署、监视、删除等功能正常,能够实时反馈 App 安装状态和运行状态。

业务功能:部署虚拟人机交互 App 后主站实现了装置人机界面在远程的虚拟延伸,主站虚拟界面与装置界面完全同步,并可通过虚拟按键进行交互,实现了远程同质化运维。

适应性测试:在厂内将 2 个设备厂商的 App 部署在同一运维网关,分别通过各自的 App 采集装置详细的运行状态数据,并通过统一接口上送至主站。

4.3 试点应用验证

试点工程为在运变电站,出于安全考虑,着重开展区别于已有远程运维技术的新功能验证。通过拔出 1 块开入板件模拟装置板件的故障验证、故障诊断,板件拔出后装置会产生故障告警信号,并上送至调控主站,通过虚拟人机交互功能远程调阅装置运行日志,利用采集的装置板间心跳报文状态等丰富的运行数据能快速定位故障原因和具体的故障板件。另外,由于试点变电站现场需要增加微型气象站传感数据,为验证功能扩展的灵活性,开发了微气象数据接入 App 并远程部署到运维网关,快速实现了新增气象数据的采集上送。

5 结语

文中提出了一种新的变电站自动化装置远程

调试运维技术。通过开放性的平台架构设计,支持接入设备协议和应用 App 的灵活扩展,使边缘计算、容器、物联网等信息化新技术与电力生产实际需求较好结合。通过试点应用,证明了技术能够显著提升变电站自动化装置调试运维的便捷性和效率,为提升变电站的管理水平提供有效的技术手段。所研究的远程调试运维技术目前与调控业务并列运行。随着技术的完善成熟,不断开发和拓展新的运维应用,以 App 的形式在已有系统上进行快速部署是后续研究的重点,对运维网关与数据网关机、运维主站与调控主站进行技术融合与集成也是后续研究重点。另外,对于架构开放之后的一致性管理还需要通过制定相应的技术标准加以约束。

参考文献:

- [1] 赵仕策,赵洪山,寿佩瑶. 智能电力设备关键技术及运维探讨[J]. 电力系统自动化,2020,44(20):1-10.
ZHAO Shice, ZHAO Hongshan, SHOU Peiyao. Discussion on key technology and operation & maintenance of intelligent power equipment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(20):1-10.
- [2] 彭志强,张琦兵,苏大威,等. 基于 GSP 的变电站监控系统远程运维技术[J]. 电力自动化设备,2019,39(4):210-216.
PENG Zhiqiang, ZHANG Qibing, SU Dawei, et al. Remote operation and maintenance technology of substation supervisory control system based on GPS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(4):210-216.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 电力系统通用服务协议:GB/T 33602—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. General service protocol for electric power system:GB/T 33602-2017[S]. Beijing:Standards Press of China, 2017.
- [4] 万书鹏,苏大威,张凯,等. 支撑变电站自动化系统广域运维的服务管理中心设计与实现[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(22):149-154.
WAN Shupeng, SU Dawei, ZHANG Kai, et al. Design and implementation of service management center for substation automation system wide operation and maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(22):149-154.
- [5] 张巧霞,王广民,李江林,等. 变电站远程运维平台设计与实现[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(10):164-172.
ZHANG Qiaoxia, WANG Guangmin, LI Jianglin, et al. Design and implementation of substation remote operation and maintenance platform[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(10):164-172.
- [6] 姚志强,黄海峰,吴艳平,等. 基于透明访问的集中式变电站远程运维系统建设方案探讨[J]. 电力系统自动化,2019,43(14):166-172,181.
YAO Zhiqiang, HUANG Haifeng, WU Yanping, et al. Discussion on construction scheme for remote operation and maintenance system of centralized substation based on transparent access[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(14):166-172,181.
- [7] 胡绍谦,李力,朱晓彤,等. 提高智能变电站自动化系统工程实施效率的思路与实践[J]. 电力系统自动化,2017,41(11):173-180.
HU Shaoqian, LI Li, ZHU Xiaotong, et al. Scheme and practice for improving engineering implementation efficiency of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(11):173-180.
- [8] 王智东,王钢,童晋方,等. 一种高效的 GOOSE 报文完整性认证方法[J]. 电力系统自动化,2017,41(2):173-177.
WANG Zhidong, WANG Gang, TONG Jinfang, et al. Efficient integrity authentication method for GOOSE packet[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(2):173-177.
- [9] 李超,罗凌璐,王德辉,等. 智能变电站过程层网络监测与故障定位系统设计与实现[J]. 电力工程技术,2019,38(2):117-122,141.
LI Chao, LUO Linglu, WANG Dehui, et al. Design and implementation of network monitoring and fault location system for process layer network in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(2):117-122,141.
- [10] 万洪莉,李雨晨. 基于 MQTT 协议的物联网服务器设计与架构分析[J]. 软件工程,2020,23(6):39-41.
WAN Hongli, LI Yuchen. IoT server design and architecture analysis based on MQTT protocol[J]. Software Engineering, 2020, 23(6):39-41.
- [11] 蔡勇超,赵振兴. 电力物联网安全无线组网方案研究及应用[J]. 电力信息与通信技术,2021,19(11):63-68.
CAI Yongchao, ZHAO Zhenxing. Research and application of the safe wireless networking scheme of power Internet of Things[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2021, 19(11):63-68.
- [12] 岑伯维,蔡泽祥,武志刚,等. 电力物联网边缘计算终端的微服务建模与计算资源配置方法[J]. 电力系统自动化,2022,46(5):78-91.
CEN Bowei, CAI Zexiang, WU Zhigang, et al. Microservice modeling and computing resource configuration method for edge computing terminal in electric Internet of Things[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(5):78-91.
- [13] 李春阳,刘迪,崔蔚,等. 基于微服务架构的统一应用开发平台[J]. 计算机系统应用,2017,26(4):43-48.
LI Chunyang, LIU Di, CUI Wei, et al. Unified application development platform based on micro-service architecture[J]. Computer Systems & Applications, 2017, 26(4):43-48.
- [14] 杨俊伟,纪鑫,胡强新. 基于微服务架构的电力云服务平台[J]. 电力信息与通信技术,2017,15(1):8-12.
YANG Junwei, JI Xin, HU Qiangxin. Electric power cloud service platform based on micro service architecture[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2017, 15

(1):8-12.

[15] 赵梓铭,刘芳,蔡志平,等. 边缘计算:平台、应用与挑战[J]. 计算机研究与发展,2018,55(2):327-337.
ZHAO Ziming,LIU Fang,CAI Zhiping,et al. Edge computing: platforms,applications and challenges[J]. Journal of Computer Research and Development,2018,55(2):327-337.

[16] 王健. 轻量级边缘计算平台方案设计与应用研究[D]. 北京:北京邮电大学,2019.
WANG Jian. Scheme design and applicaion research of light-weight edge computing platform[D]. Beijing:Beijing University of Posts and Telecommunications,2019.

[17] 李傲,高峰,熊华忠,等. 一种 Docker 容器构建方法及 Docker 管理控制台:CN106227579A[P]. 2016-12-14.
LI Ao,GAO Feng,XIONG Huazhong,et al. Docker container building method and Docker management console:CN106227-579A[P]. 2016-12-14.

[18] 刘思尧,李强,李斌. 基于 Docker 技术的容器隔离性研究[J]. 软件,2015,36(4):110-113.
LIU Siyao,LI Qiang,LI Bin. Research on isolation of container based on Docker technology [J]. Computer Engineering & Software,2015,36(4):110-113.

[19] 孔垂跃,陈羽,赵乾名. 基于 MQTT 协议的配电物联网云边

通信映射研究[J]. 电力系统保护与控制,2021,49(8):168-176.

KONG Chuiyue, CHEN Yu, ZHAO Qianming. Research on cloud-side communication mapping of the distribution Internet of Things based on MQTT protocol[J]. Power System Protection and Control,2021,49(8):168-176.

[20] 高昆仑,辛耀中,李钊,等. 智能电网调度控制系统安全防护技术及发展[J]. 电力系统自动化,2015,39(1):48-52.
GAO Kuntun,XIN Yaozhong,LI Zhao,et al. Development and process of cybersecurity protection architecture for smart grid dispatching and control systems [J]. Automation of Electric Power Systems,2015,39(1):48-52.

作者简介:



张敏

张敏(1982),男,硕士,高级工程师,从事变电站自动化工作(E-mail:zhangmin@sgepri.sgcc.com.cn);

徐春雷(1976),男,硕士,高级工程师,从事电力系统调度自动化工作;

张琦兵(1985),男,硕士,高级工程师,从事电力系统调度自动化工作。

Remote operation and maintenance technology of substation automation device based on micro-services architecture

ZHANG Min¹, XU Chunlei², ZHANG Qibing², PENG Zhiqiang³, SHEN Jian¹, HOU Mingguo¹

(1. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, Nari Group Corporation, Nanjing 211106, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China;

3. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: In order to adapt to the trend of unattended substation, improve the debugging and maintenance efficiency of substation automation device, and at the same time meet the demand of flexible expansion of operation and maintenance business, the remote operation and maintenance technology of substation automation device based on micro-services architecture is studied. Firstly, the architecture and functions of the system are designed according to the operation and maintenance requirements. Secondly, the edge computing platform is developed, and the operation and maintenance business is realized by application (App) programs based on container technology. The plug and play process of device and Apps are designed, and active online interaction protocols are proposed. Finally, a operation and maintenance gateway based on micro-services technology is developed. The gateway has the characteristics of universal hardware, software decoupling and flexible functions. Apps such as virtual human-machine interaction, software version control, operation and maintenance debugging are developed. The system has been applied in a 220 kV substation in Nanjing, and the operation and maintenance efficiency is improved.

Keywords: automation device; remote operation and maintenance; micro-services; edge computing; container technology; application (App)

(编辑 陆海霞)