

Research on the Construction of Computer Regional Centralized Control System and Edge Data Acquisition Configuration for Smart Power Plants

Sicong Liu

Guoneng Xinkong Technology Co., Ltd., Beijing, 100032, China

Abstract

With the continuous optimization of China's energy structure and the accelerated advancement of the power industry, the construction of smart power plants helps to enhance power generation efficiency, reduce operation and maintenance costs, and ensure safety and controllability. The computer regional centralized control system is the information control platform of the smart power plant, responsible for completing the distributed control of the plant-level system, system data synchronization, fault early warning and operation optimization. Edge data collection, with the help of near-source collection and processing, can well solve the problems of high delay, heavy burden and poor real-time performance existing in the current centralized collection architecture, thereby further improving the system operation efficiency. Therefore, based on the background of research and practice, this article proposes the establishment method of the computer-based regional centralized control system and the configuration method of edge data acquisition, with the expectation of promoting the realization of intelligent operation, refined management and automated control in smart power plants.

Keywords

smart power plant; computer regional centralized control system; construction; edge data; collection configuration

面向智慧电厂的计算机区域集控系统构建与边缘数据采集配置研究

刘思聪

国能信控技术股份有限公司, 中国·北京 100032

摘要

随着我国能源结构的不断优化及电力行业的加速推进,智慧电厂地建设有助于提升发电效率、降低运维成本、确保安全可控。而计算机区域集控系统是智慧电厂的信息控制平台,负责完成厂级系统分布控制、系统数据同步、故障预警和运行优化工作。而边缘数据采集则借助近源采集和处理能够很好的解决当前中心化采集架构中存在延时高、负担重、实时性差的问题,从而进一步提升系统运行效率。为此,文章基于研究与实践背景下提出了基于计算机区域集控系统的建立方式以及边缘数据采集配置方法,以期推动智慧电厂实现运行智能化、管理精细化以及控制自动化。

关键词

智慧电厂; 计算机区域集控系统; 构建; 边缘数据; 采集配置

1 引言

“集控”一词的提出是针对单独控制而言,传统电厂通常采用的是母管制,实现对炉、电以及机的分分管控。在现代智慧电厂建构中,集控技术的应用也就是单元制机组,在各个发电机上配备各自的汽轮机及锅炉,以实现炉、电以及机等众多设备与系统的集中管理^[1]。在这种情况下作为智慧电厂跨区控厂、统筹管理的重要支撑体系——区域集

控,则需要依托先进的计算机和高速的边缘数据采集予以支持。

2 智慧电厂的计算机区域集控系统与边缘数据采集概述

智慧电厂计算机区域集控系统是厂区内各分布式资源的统一分发、管理与调度的信息控制平台,以实时运行状态感知、远程协同控制、生产过程监控和设备诊断维护为系统的核心功能点,其建设在工业控制网络、自动控制系统、生产信息系统有机融合的基础上。而边缘数据采集主要是对电厂内高频及变化大的信号数据做就近采集和前置处理,规避

【作者简介】刘思聪(1987-),男,中国河北任丘人,本科,工程师,从事计算机、智慧电厂、电厂信息化等研究。

由于大量数据直接上传到中心端造成网络拥塞和时延抖动的现象,通常是借助布置在厂区内各重要节点(燃烧器、锅炉、水泵、变频器等)的工业边缘网关或者边缘控制器直接获取PLC、传感器输出的原始信号,并对其进行抓取、预处理、过滤和压缩。

3 智慧电厂计算机区域集控系统构建研究

3.1 多层次控制架构的系统设计

对于智慧电厂设备高度集成、控制任务交叉的特点而言,要构建区域集控系统多层次控制架构,“主控-区域-现场”的三层逻辑层次架构最适宜,其能实现分布式智能决策和集中统一调度协调控制。顶层主控调度中心采用高性能工业服务器群,利用如基于 IEC61850 建模的 SCADA 系统分布式控制平台,以部署全厂调度算法、能源优化策略和远程控制等功能,并集成了网络安全模块保证系统安全;中层区域控制单元按工艺流程划分控制域,在此架构下部署软硬件一体的边缘控制节点,并安装麒麟信安操作系统和维思通边缘数据采集系统,负责完成本地数据采集处理、实时报警、数据下控和数据转发等功能;底层现场控制终端主要依靠冗余 PLC、DCS、嵌入式 IO 控制器等对智慧电厂温度、压力、流量等重要参数进行高速采集、底层逻辑闭环控制 [2]。三层之间利用工业以太网骨干实现通信,采用 PRP/HSR 冗余方案以及 TSN 时间同步协议来保证系统间的通信可靠性、实时性。对各类型采集的数据通过统一接入实时数据库 (VeStore 5.0),完成高频次、高带宽、大流量下对海量实时数据的高速缓存、分发、历史归档以及多源异构数据同步。利用统一通信中间件实现不同厂商的数据采集设备间的协议封装和数据模型映射,以将异构的生产现场各种监控信号方便地连入到统一平台之上。

3.2 主控调度平台的软件开发与功能集成

在构建智慧电厂区域集控系统时,主控调度平台软件的开发采取了分层解耦的方式,整个部署架构通过 C/S 模式实现了局部高可靠的本地控制以及跨地域的协调管理。底层使用工业级中间件与 DCS、SIS、PLC、EMS 等异构子系统进行数据通信协议适配,以 Modbus、IEC104 和 IEC 61850 为基础将所涉及的通讯接口,以保证了各部分系统间的统一和语义一致。中间逻辑层利用分布式消息队列 (Kafka) 与多线程数据处理方式建立了异步事件驱动型的数据总线架构,可在数毫秒内完成指令下发与状态响应,提高了系统并发量下的运行速度;上层利用 WebGL、SVG 等图形渲染方式,开发出可以按照智慧电厂区域、设备类型、运行状态进行多维联动操作的状态追踪类和故障定位类动态可视化界面,以实现在状态和故障的切换中无须刷新页面而能同时显示其他关联信息。平台包括设备工况实时监控、状态异常预警分析、基于规则引擎的调度策略配置、远程命令控制与反馈、用户分级及操作互斥等功能模块。同时区域集控系统集成

了 CEP 事件处理引擎,可以实现基于规则关联的复杂工况模式和联动响应控制逻辑等处理。数据采集模块通过使用 Quartz 定时调度方式采集重点指标并对其进行边缘预处理与压缩存储,同时支持上报给上一级调控平台。另外,将审计日志模块和运行状态回溯引擎嵌入平台,记录各种操作轨迹及系统状态变化情况,在频次较高、负载较大情况下保证平台运行平稳、控制链路可靠、审计信息可追踪。

3.3 冗余通信与网络拓扑设计

为满足智慧电厂高可靠、高实时性、高可用通信的建设要求,区域集控系统网络架构划分为多层次冗余备份以及快速链路切换两种模式来保障关键控制数据的可靠性与连续性。网络拓扑结构采用“核心-汇聚-接入”的三级模型,其中核心层采用双主工作方式的高性能三层交换机,并且通过 VRRP 和 LACP 配置方式来建立链路冗余、链路负载分担的功能,提高链路的可靠性、带宽利用率;汇聚层按智慧电厂各功能单元部署工业级网关设备,并且使用 ACL 策略来实现区域内不同业务的隔离;接入层则直接接入各种智能控制终端或边缘数据采集装置来保证控制信号以及原始数据的实时回传。所有关键链路均采用千兆或万兆光纤连接方式,用两个链路并行冗余的方式接入工业级双网卡的设备上,并开启 STP/RSTP 协议防环,同时借助链路状态监测机制能够在链路发生中断后 100ms 之内实现链路的自动切换^[3]。协议层面内通通信使用支持确定性传输的工业以太网协议 (Profinet/EtherCAT),而外系统数据交互接口使用基于 SOA 的 IEC104 或者轻量级 MQTT 协议,实现跨平台数据集成能力。另采用 SDN 架构后,通过集中控制器下发动态转发策略,实现链路资源最优分配以及故障路径快速重排。

4 智慧电厂计算机区域集控系统的边缘数据采集配置

4.1 节点选址与分布式部署

根据智慧电厂区域集控系统的边缘数据采集配置情况,在选取采集节点时,结合电厂各功能区的划分情况、设备布设密集度及产生的信号强弱程度等因素,先择选取信号产生较为集中的地点布置采集终端;对于生产现场较热、震动大、有较强的电磁干扰的情况,则应采用具有 IP66 防护等级且适用于 -40℃~+75℃ 的工业级边缘计算装置,并采用 DIN 导轨或不锈钢支架安装于设备控制柜或就近的检修平台。将双冗余采集节点布置于智慧电厂锅炉主燃区、主汽系统、给水系统、脱硝反应段等核心区域,以每个节点各自不同的采样点进行同时采样(通过直接测量),利用多点分散式的差动采样将各个采集点的时序信息独立进行采集,保证采集到的时序数据准确可靠。同时针对其他辅助系统(如:闭冷水泵房、风机室、灰水系统)的区域可结合采集的数据波动大小及设备所带的负荷变化合并多个采样单元成组后实施采样,形成集中式采样^[4]。各采集节点配置完成后使用内

网 VLAN 的方式接入并应用 DHCP 协议为节点分配 IP 地址和 MAC 地址,同时录入本地边缘核心交换机,从而实现各采集节点间快速接入。在软件方面,在节点端部署如麒麟信安等国产操作系统,运行 MQTT 或者 IEC104 的数据缓冲和发布服务,以提供部分数据自知,断点续传,上报数据异构聚合作用。另外,采用统一配置平台对各个节点进行注册和存档,使得后期可以进行远程的参数下发、版本升级及状态监控。

4.2 协议转换与接口适配模块构建

对于智慧电厂区域集控系统的边缘数据采集配置,协议转换和接口适配模块既能实现大量的工业协议之间的相互转译,又能够满足实时在线响应的需求。将该模块部署于边缘控制终端中,选择 SoC 架构的嵌入式平台作为执行载体,借助轻量级通信协议栈及可裁剪驱动库支持 Modbus RTU/TCP、CANopen、Profibus DP、EtherNet/IP 等工业现场常用的协议;根据设备资产台账信息所定义的厂级专用协议类型,在语法规则引擎的驱动下通过开发私有协议解析插件,以还原工厂内各电厂特有的生产数据格式,并将其映射到相应的程序指令、控制命令之上。接口适配层使用驱动模板化的方案,根据采集点不同型号设备的配置文件动态加载该类型设备的通信参数,如波特率、数据位、校验方式、起始位以及地址偏移等,并可以基于采集点定义不同数据项的解析策略,适用于针对多设备接入环境下的灵活复用和快速部署。为保证协议转换能够更好地达到并发处理的效果,在系统内部利用了事件驱动架构进行了异步 IO 调度的设计,为每个通信通道分配独立线程池并用环形缓冲区来解耦数据读写操作,以此来降低通信阻塞的风险。运行过程中,关键性能指标(协议帧解析耗时、转换成功率、丢包率等)经由 Websocket 进行回传到集控平台,同时通过 OTA 推送驱动补丁、协议模板,可以在不中断设备通讯的状态下实现模块功能的在线添加和升级,以满足了智慧电厂的高可靠性接入的场景需求。

4.3 本地数据缓存与预处理机制

实现智慧电厂计算机区域集控系统边缘数据采集配置本地数据缓存与预处理机制设计,其目的主要应对现场网环境不稳定和通信链路易中断的情况。缓存模块使用工业级高稳定性的 eMMC 或工业级 SSD 作为缓存介质,利用环形缓冲结构进行循环覆盖存储,最大限度保证缓存空间的利用率;按时间戳进行自动化归档管理,方便数据顺序读取和历

史回溯。预处理是对采集的数据进行预处理,即先做数据采集后再进入数据预处理环节,利用滑动窗口统计法进行多层异常值判定,并基于设备运行工况参数及历史数据动态调整阈值规则库,对判别结果进行有效判定;对于噪声型数据,利用基于信号滤波技术的降噪算法清除因采集误差而导致的无效数据,以保障后续数据的有效性和准确度^[5]。为提高存储和传输效率,在保护数据正确性的前提下,使用 LZ4、Snappy 等轻量级无损压缩算法,对处理后的数据流进行压缩封装。采用周期触发和事件驱动两种上传策略结合的方法上传数据,并通过链路状态判断是否可以将缓存的格式转变为正常的发送状态,通过断点续传的方式把数据完整的传上去。当发生通信错误之后缓存模块会直接转化成本地存储模式,利用断点续传的方式进行通信,并根据 CRC 校验码完成完整性验证,同时也会产生相应的操作日志用于后期错误追溯。这种机制同时具备实时性、可靠性的特点,可以适用于复杂现场网络波动较大的情况提高了区域集控系统的连续性和有效性。

5 结语

作为我国能源产业数字化转型重点方向,智慧电厂的计算机区域集控系统以及边缘数据采集配置研究意义重大,通过它们将极大程度增强其自动及智能化水平,从而切实提高智慧电厂运营效率与经济效益。为此,上文结合我国智慧电厂建设实践及相关前沿技术路径提出了针对区域集控系统的构建方法及边缘数据采集配置思路,并以此为基础构建覆盖架构设计、主控调度平台的软件、节点选址与分布式部署以及本地数据缓存与预处理的全流程技术闭环。

参考文献

- [1] 连峰,张震.浅谈智慧电厂集控系统的简单应用[C]//中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会.国电南瑞南京控制系统有限公司,2022.
- [2] 李闯.自动化集控系统在智慧电厂中的设计应用[J].机电信息,2020(27):2.
- [3] 马腾.电厂集控运行控制模式及应用技术分析[J].百科论坛电子杂志,2020,000(014):1179.
- [4] 雷苏雨,何钟毅.基于“5G+工业互联网”的智慧电厂展示中心[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023.
- [6] 白雅琴,王荣,韩建衡,等.燃煤发电厂多源异构数据物联网平台设计与开发[J].电力设备管理,2024(24):162-164.