

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222646

雅砻江一体化水电管控平台实时跨区同步的设计与实现

陈 意, 王渤权, 花胜强

(国网电力科学研究院, 江苏 南京 211106)

摘要: 针对跨区同步数据专业增多、数据规模庞大导致各安全区数据不一致性和同步实时性不足的问题, 基于雅砻江集控中心一体化水电管控平台系统的跨区同步功能需求, 利用集控中心各专业应用统一基于一体化平台进行建设和部署的特点, 提出了一种结构简单、稳定可靠的跨区同步体系架构, 通过采用平台服务网关拦截写操作上下文的方式实时同步, 实现了雅砻江集控一体化平台系统各专业数据的统一通信管理和同步优化, 有效提升了系统性能和可靠性, 适应于未来水调、电调及新能源一体化系统业务的发展。

关键词: 跨区同步; 拦截; 雅砻江集控; 一体化; 水调; 电调

中图分类号: TV697.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)07-0209-04

1 概况

雅砻江流域梯级水电站为四川省电力长期发展的重要电源点^[1], 2021年两河口水库投运后, 雅砻江梯级电站的运行方式发生重大变化。雅砻江集控中心通过建设一体化平台系统, 将水电厂监控、水情水调、继电保护、状态监测、故障录波、调度业务等纳入一体化平台系统进行融合管控, 同时公司正在进行风电和光伏电源项目的规划, 届时将形成雅砻江流域“风光水”清洁能源联合互补调度的一体化管控平台^[2]。一体化平台各专业系统涵盖安全一区、安全二区、三区及信息管理大区, 跨区数据同步处理压力较大, 对一体化管控平台系统数据一致性、实时性提出了更高的技术要求。目前, 关于此方面问题的研究已较多, 如杨菲^[3]通过开发定制程序读取实时库实现了单向的部分同步功能; 王振羽等^[4]在丰满智能水电厂生产数据中心的建设与应用中, 考虑实时和关系数据库提供的机制, 实现可配置高效的数据跨区同步功能, 最终实现全厂数据共享互动化; 方茹慧等^[5]提出以建设数据库镜像方式实现商业型关系数据库跨区同步。上述方法研究的重点均放在数据库级别的数据处理机制, 随着业务的扩展, 这些方法不仅需持续投入工程人力进行数据库和应用程序的开发配置, 且采用触发器或轮询数据库的方式亦无法保证数据同步的实时性。同时对雅砻江集控中心的数据同步, 同步机制太过偏向底层

细节, 结构过于繁琐和复杂, 不能满足其维护性和扩展性方面的要求。李新华等^[6]提出一种跨安全分区数据交换的实现模式以 IEC61970 和 IEC61968 的公共信息模型及接口规范为基础, 采用消息建立统一表达和信息共享的信息交换总线, 提供了利用一体化平台的数据跨区访问思路。但采用无连接的消息通讯方式缺乏可靠性, 且会带来数据融合及数据反写时路由处理困难新问题。鉴于此, 本文在分析现有的数据中心系统存在问题的基础上, 以雅砻江集控中心一体化水电管控平台系统为例, 基于其跨区同步功能需求, 引入拦截和虚拟化技术, 提出一种新的跨区同步体系架构, 实现了各专业数据的统一管理和同步功能, 可满足大型集控中心高效、稳定、易用和可持续扩展的同步需求。

2 系统数据同步需求分析

2.1 现有集控中心各系统同步架构

为保证各自业务系统的无侵入性, 现有集控中心各专业系统有监控、水情水调、电能量、故障录波、继电保护、状态监测及调度业务等, 围绕底层数据库开发相应的同步程序。其基本原理均是在各自专业数据库建立增删改触发器, 应用程序对目标表对应的触发同步表(简称 trans 表)进行轮询生成跨区同步文件, 具体见图 1。

现有数据同步方式各专业系统均需设计开发自己的数据同步程序, 不仅浪费计算机资源, 增加

收稿日期: 2022-12-28, 修回日期: 2023-01-23

基金项目: 国电南瑞科技股份有限公司募投项目(5246C5200008)

作者简介: 陈意(1984-), 男, 硕士、高级工程师, 研究方向为水利水电自动化, E-mail: 277072729@qq.com

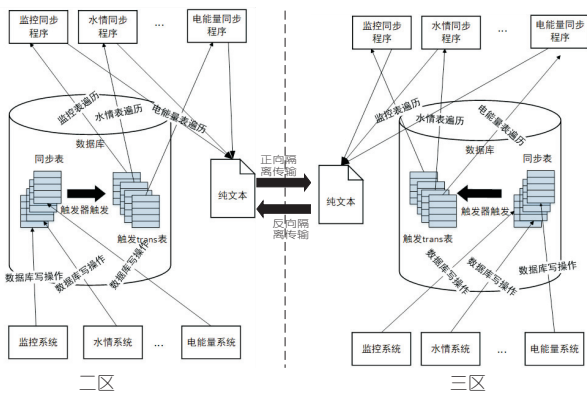


图1 现有集控中心同步架构图

Fig.1 Synchronization architecture of existing centralized control center

维护成本,同时各同步程序轮询数据库导致数据库负载增加、同步数据量大、实时性不高及程序扩展性差等问题,且数据库触发器方式难以有效解决两区之间相同库表死循环同步问题。

2.2 一体化平台系统跨区同步需求分析

雅砻江将各专业系统集成到统一平台,需充分考虑各区数据的一致性和实时性,对跨区同步功能提出了新的要求,其核心如下:①实时性。各区的数据涵盖各专业子系统客户端修改、后台运算、联动处理、日志记录等需要注重同步的实时性,主要需要同时保证各区的画面、报表、报警及事件数据传输的实时性。②高可用性。统一平台集成的专业众多,跨区同步模块不能侵入各业务子系统,否则将带来业务处理的复杂性和不可扩展性。③易用性。跨区同步的部署可根据现场的网络情况进行同区传输和跨区传输配置,同步逻辑无需由工程人员进行数据库或程序脚本控制。④稳定性。跨区同步不受网络故障、程序异常影响,支持断点重连、失败重发和漏发补传等功能。⑤高性能。由于电力安全要求,跨区同步需纯文

本进行传输,原有的轮询同步机制效率不高。需设计高性能的数据同步方式,提高穿越隔离的网络传输效率。

3 雅砻江一体化平台系统跨区同步体系架构

为减轻数据库访问压力并简化同步过程,平台将不再为各业务系统部署独立的同步进程,直接基于一体化平台拦截器进行数据同步。该方式仅需传输服务调用上下文,不用再遍历数据库传输库表全量数据,大幅减少了IO数次和同步数据量,提升同步效率。雅砻江一体化平台系统数据同步架构见图2。

一体化平台拦截同步基于网关在数据总线横切面开发拦截器组件,所有服务调用均被拦截器侦听。平台制定服务存取接口开发标准规范系统读写操作,拦截器根据接口规范在服务端网关劫持客户端的所有写操作请求,将其操作上下文转换为纯文本,并按处理时间置入队列进行缓存。为提升效率,跨区同步组件每次将缓存累积的纯文本按时间排序压缩为一个大本文通过隔离装置发送到目标安全区。目标安全区收到文本后,逆向解压大本文文件,分解为众多小文本,再按时间解析小文本,将写操作在该区完成。

3.1 接口管理与拦截设计

常规的数据跨区同步以同步程序轮询数据库为基础,通过触发器将数据表的修改统一触发到对应的 trans 表中。独立的同步程序轮询 trans 表,将每个 trans 表中的数据转化为文本文件,由隔离软件将文件传送到目标区。常规的数据同步机制,数据同步的总时间 T_{total} 为:

$$T_{total} = T_s + T_r + T_p + T_i \quad (1)$$

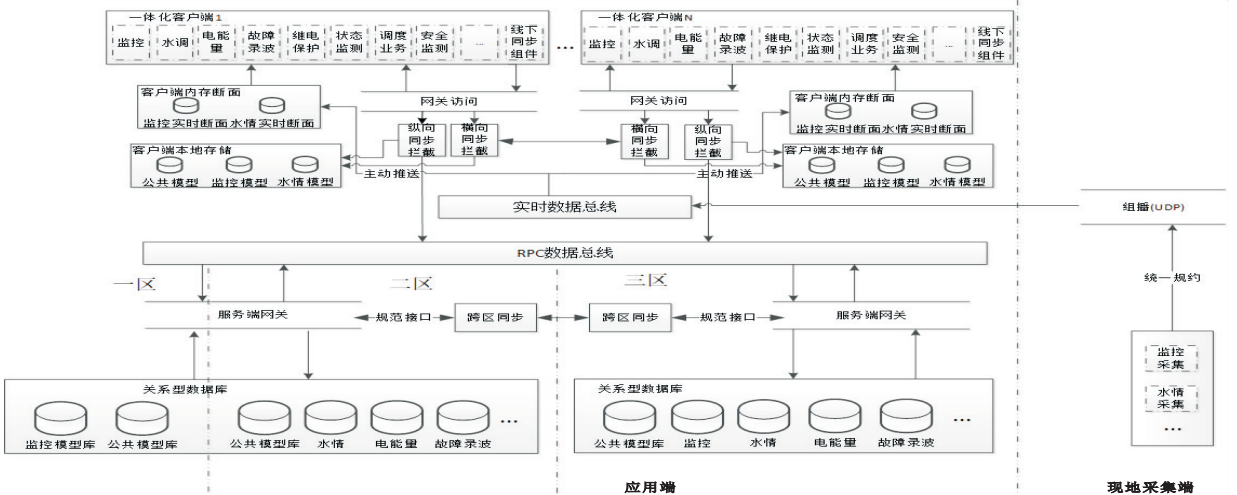


图2 一体化平台数据同步架构

Fig.2 Synchronization architecture of integration platform

式中, T_{total} 为一次跨区同步操作实现发送到完成目标区入库的总时间; T_s 为同步程序每次轮询的时间间隔; T_r 为同步程序处理扫描所有 trans 表更新数据进行提取的时间; T_p 为同步程序对更新数据进行文本转化并传输至目标安全区所耗费的时间; T_i 为目标安全区解析文本文件并更新数据入库的时间。

为提升跨区同步的实时性,一体化平台创建异步线程将每次服务写操作接口的执行上下文转化为小型的文本文件提交目标安全区执行,减少单次同步数据,省去数据库提取的 IO 操作,简化同步流程,具体设计如下:①一体化平台制定标准的读写接口规范,读接口和写接口必须按统一的命名规则进行命名。②制定接口描述规范,对未按平台标准要求开发的第三方集成接口,通过工程配置文件描述其接口读写属性。③一体化平台在客户端网关和服务端网关建立接口调用拦截器,拦截器通过反射分析客户端接口调用,识别出写接口和配置的接口进行拦截处理。

该方案下,客户端请求在接口执行成功后拦截器调用上下文被拦截处理成纯文本文件发送到目标安全区执行。同步的总时间为:

$$T_{total} = T_p + T_i \quad (2)$$

由于每次写操作接口执行数据量都非常小,其处理成文件,并进行传输的时间 T_p 远小于常规同步方式, T_i 亦是如此。

3.2 写操作文本化

拦截器将识别到的写接口调用的上下文环境,如集成专业、接口对象类型、接口名称、接口调用参数等全部序列化为纯文本。将文本按时间+随机码的方式命名,置入缓存队列,同时启动异步线程将该文件进行持久化存储以防同步数据丢失。

3.3 文本压缩与异步传输

雅砻江一体化平台集成了众多的专业,即使文本文件队列缓存效率非常高,一个同步调度周期累计的文件数据也非常惊人,逐个进行传送使同步程序的 IO 次数骤增,效率不高。一体化同步线程将一个周期的所有文件压缩成一个独立的文件,按起止时间重新编排压缩,一次发送,提升传输效率。

3.4 文本解析与写操作执行

压缩文件穿过隔离装置后,目标安全区同步程序对接收到的所有压缩文件按时间排序,解压文件集并按时间依次进行反序列化,在目标安全区调用该写操作接口函数,完成该次同步线程。同时接收端开启异步线程对压缩文件持久化备

份,防止同步文件丢失。同步线程写操作成功后,则删除该备份。

3.5 虚拟数据源拦截同步

针对零散的系统,在雅砻江集控中心部署一套虚拟数据源,用来对独立连接数据库的系统实现统一的数据同步。该技术同平台统一拦截处理的机制相似:建立虚拟的数据库数据源,前端对应用程序提供标准的数据库协议,后台链接真实的物理数据库。未集成到一体化平台的应用系统按照标准的数据库链接方式连接到虚拟数据源进行读写操作。

虚拟数据源拦截应用系统提交的 sql 写入请求,将其文本发送至目标安全区执行从而完成数据库同步。相对于平台拦截处理,该方法多了 sql 语法分析过程,效率略有下降,但由于其遵守了标准的数据库协议,这让应用客户端几乎无需进行任何改造,即可自动实现同步。维护简单,无开发成本。

4 测试情况

雅砻江现场,在二三区的相同通信服务器上部署水情同步程序、虚拟数据源程序及一体化平台服务程序。服务器操作系统为 windows server 2016,硬件配置参数为:CPU 为 $2 \times$ Silver 4214 (2.2GHz/12C);内存为 32G;硬盘为 $3 \times 4T$ SAS 7.2K。为准确比较性能指标,一体化平台客户端也仅运行水情的业务系统程序连接平台服务器和虚拟服务器,然后分别对三种方式进行数据同步性能测试。

通过通信服务器隔离装置软件和部署程序可视化窗口,查看运行程序和隔离通信运行分析日志分别对传统同步和拦截同步统计性能数据,测试步骤见图 3。

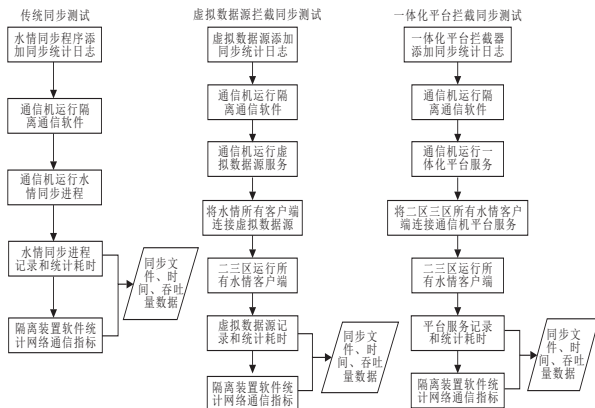


图 3 三种测试方案流程对比

Fig. 3 Process comparison of three test schemes

以 1 d 的时间为间隔统计传输的网络吞吐

量,并按传统同步的时间间隔(60 s)统计吞吐率和平均同步文件数目,其测试结果见表 1。

表 1 数据同步性能比较

Tab. 1 Performance comparison of data synchronization

项目	吞吐量	吞吐率	同步
	/M	/(M·min ⁻¹)	文件数
传统同步	822.87	0.57	108
虚拟数据源拦截同步	287.46	0.20	121
平台拦截同步	201.11	0.14	121

由表 1 可知,水情专业数据采用传统同步方式 1 d 的网络吞吐量超过 800 M,是平台拦截同步方式的吞吐量的 4 倍。这是因为采用数据库触发的方式,无论是增删改任何一种方式均为全量的数据进行传输同步。采用拦截方式仅需对增量、删除命令及修改参数数据进行发送即可完成同步,传输数据量大为减少。尽管拦截同步调度线程周期仅有 0.3 s,折算成 1 min 超过 198 次调度,但由于每次调度均被压缩成一个文件发送,去掉空闲缓存周期实际测算下来每分钟的平均传输文件个数也仅有 121 个,与传统同步方式差别并不大。

通过在水情同步程序及一体化平台拦截器程序中添加时间统计,测试同步过程各步骤耗时,其结果见表 2。

表 2 数据同步实时性比较

Tab. 2 Real-time comparison of data synchronization s

项目	T_s	T_r	T_p	T_i	T_{total}
传统同步	60	>3	>5	>6	>74.0
虚拟数据源拦截同步	0.3	0	<2	<2	<4.3
平台拦截同步	0.3	0	<1	<2	<3.3

为保证数据库效率,常规的数据同步方式通常会将轮询周期设置为接近分钟级别,即 $T_s=60$ s。在 60 s 内,遍历所有的 trans 表,按雅砻江现场工程测试结果, $T_r \geq 3$ s。将数据整体包装成文本并穿过隔离, T_p 消耗 ≥ 5 s。解析数据入库平均时间 T_i 消耗 ≥ 6 s。 $T_{total} \geq 74$ s。

Design and Implementation of Real-time Cross-regional Synchronization of Yalong River Integrated Hydropower Management and Control Platform

CHEN Yi, WANG Bo-quan, HUA Sheng-qiang

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211106, China)

Abstract: In view of the problem of inconsistency and lack of real-time synchronization of data in each security zone with the increase of specialty system, this paper analyzed the cross-regional synchronization requirements of the Yalong River integrated hydropower management and control platform system, and proposed a simple, stable and reliable cross-regional synchronization system architecture based on the characteristics of unified construction and deployment of all specialty system based on the integrated platform. Real-time synchronization was achieved by intercepting the write operation context through the platform service gateway. The design realized the unified communication management and synchronization optimization of the professional data of the Yalong River integrated control platform system, effectively improved the performance and reliability of the system, and adapted to the future development of integrated system business of water, electric power and new energy dispatch.

Key words: cross-regional synchronization; interception; Yalong River centralized control; integration; water power dispatch; electric power dispatch

采用一体化平台拦截同步,同步程序在数据处理和水务计算等后台进程进行调度的高峰期进行测试,由于同步文件生成均在缓存中生成无需进行数据库 IO 操作,所以 $T_r=0$ s。一个 300 ms 的同步调度周期传输压缩文件 $T_p < 1$ s,在接收端解析入库时间 $T_i < 2$ s。总时间 $T_{total} < 4$ s。

由此可见,即使在平台服务调用的最高峰的情况下,不同安全区之间的数据同步的时间不会超过 4 s。实际从一体化平台试运行以来,正常情况下雅砻江现场二三区之间数据同步效率接近秒级。

5 结论

本文围绕雅砻江集控中心一体化平台系统建设,提出了一种基于拦截和虚拟化技术的跨区同步体系架构,可实现后台自主最优资源分配,经测试其同步数据吞吐量相对传统同步方式减少 4 倍,实时性提升至 4 s 以内,有效提升了系统同步性能和可扩展性,可实现未来一体化系统业务在各安全区的无差别应用。

参考文献:

- [1] 吴世勇,申满斌.雅砻江流域水电开发中的关键技术问题及研究进展[J].水利学报,2007,38(增刊1):15-19.
- [2] 张振东,罗斌,覃晖,等.风光水互补系统时间序列变量概率预报框架[J].水利学报,2022,53(8):949-963.
- [3] 杨菲.电网跨区实时告警功能的设计与实现[J].江苏电机工程,2012,31(1):58-60.
- [4] 王振羽,张蕾,李嘉琪,等.丰满智能水电厂生产数据中心的建设与应用[J].水利水电技术,2021,52(增刊1):12-20.
- [5] 方茹慧,文正国,陈小松,等.iP9000 一体化平台跨安全分区数据库镜像功能设计与实现[J].水电站机电技术,2021,44(10):7-9,87,179.
- [6] 李新华,周艳妮,叶珂嘉.一种跨安全分区数据交换的实现模式[J].电子技术与软件工程,2019(5):142-143.