

数字孪生系统中泵站调度方案 自动执行软件的研究及应用

张绿原¹, 夏臣智², 刘敬毅¹

(1. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211000;

2. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 211000)

摘要: 为了实现“预案”中的泵站调度方案在SCADA中自动执行, 研发了决策方案自动执行软件, 该软件主要由信息配置、指令解析、信息服务、指令执行4个模块组成。该软件可实现决策方案安全、自动执行, 解决了水利工程数字孪生系统的“预案”中泵站调度方案自动执行问题, 打通了数字孪生系统的“最后一公里”, 对提升泵站智能化、自动化水平具有重大意义。

关键词: 数字孪生; 数据采集与监视控制; 调度决策; 自动执行

中图分类号: TV675

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2024)05-0037-0004

Research and application of automatic execution software of pumping station scheduling scheme in digital twin system

ZHANG Lvyuan¹, XIA Chenzhi², LIU Jingyi¹

(1. NARI Group (State Grid Electric Power Research Institute) Co., Ltd., Nanjing 211000, China;

2. The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,

Nanjing 211000, China)

Abstract: In order to achieve the automatic execution of the pumping station scheduling scheme in SCADA, a decision plan automatic execution software has been developed. The software mainly composed of four modules: information configuration, instruction parsing, information service, and instruction execution. The software can realize the safe and automatic execution of the decision scheme, solve the problem of automatic execution of the pumping station scheduling scheme in the “pre-plan” of the digital twin system of hydraulic engineering, and open up the “last kilometer” of the digital twin system, which is of great significance to improve the intelligent and automatic level of the pumping station.

Key words: digital twins; supervisory control and data acquisition; scheduling decision; automatic execution

1 概 述

当前, 贯彻“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”的总要求, 加速信息技术与水利行业深度

融合, 开展数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生工程建设, 构建具有“预报、预警、预演、预案”功能的数字孪生水利体系^[1-2], 为防洪抗旱灾害防御、水资源管理与调配等提供科学决策支持^[3-4]。

收稿日期: 2024-01-14

基金项目: 江苏省水利科技项目(2022054); 湖南省水利科技项目(XSKJ2019081-01)

作者简介: 张绿原(1986—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为水利水务信息化及智能化。E-mail: zhang_lvyan@qq.com

预案是数字孪生“四预”功能的最后一个环节,预案能否安全可靠执行决定了数字孪生系统的建设成败。但是,在目前已经建设的数字孪生系统中,泵站调度方案的执行多依赖于人工直接在闸泵站数据采集与监视控制系统(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)中操作^[5-6]。当闸泵设备数量多时,这种方式操作繁琐,既无法快速执行预案,也面临着较大的误操作风险。这使得本应是“无人值班,少人值守”的数字孪生智能决策系统卡在了“最后一公里”^[7-8]。

针对该问题,设计并开发了一套调度决策方案自动执行软件,该软件在数字孪生系统和SCADA之间建立了一座桥梁,通过两者之间信息的映射配置,可将数字孪生系统产生的调度决策方案转换为SCADA可直接执行的调度指令^[9-10]。

此外,为保障调度决策的安全执行,软件还具备闭锁条件判断功能,能自动判断数字孪生系统的调度决策方案执行时的闭锁条件是否满足,只有满足闭锁条件的调度决策方案才能由SCADA下发到现地闸泵设备执行。

2 关键问题分析及总体设计

将数字孪生系统的调度决策方案转换为SCADA系统可直接执行的调度指令,需要重点解决以下2个问题:(1)数字孪生系统与SCADA系统一般由不同的项目团队分别建设,如何在后期集成时,能将调度决策方案转换为SCADA系统可直接执行的调度指令。(2)操作员在SCADA系统中下发调度指令时,会复核指令执行的条件,并且会按照指令排序顺次执行,当自动执行时,如何保障调度指令在SCADA系统中安全、有序、自动、可靠、可控的执行。为了解决第一个问题,开发了“信息配置”和“指令解析”模块。“信息配置”提供配置界面,实现数字孪生模型中的闸泵设备与SCADA中的闸泵设备之间的映射关系、指令闭锁条件的配置管理。“指令解析”根据映射关系将数字孪生模型的决策方案转换为SCADA可识别的调度指令,对于指令执行时的闭锁条件也一并解析。

为了解决第二个问题,开发了“信息服务”和“指令执行”模块。“信息服务”根据决策方案中配置的闭锁条件,从SCADA系统中获取配置测点的实时值。“指令执行”模块判断指令执行的闭锁条件是否满足,只有满足闭锁条件的安全指令,才下发给SCADA执行。

因此,调度决策方案自动执行软件由信息配置、指令解析、信息服务、指令执行4个模块组成。各个模块之间相对独立,协同工作,完成数字孪生系统决策方案的接收、指令解析、指令判断和指令执行的全过程。

调度决策自动执行软件各模块与数字孪生平台、SCADA系统之间的关系如图1所示,“信息配置”模块预先配置数字孪生系统的模型名称信息、闸泵站SCADA的设备测点号信息、操作闭锁信息。“指令解析”模块接收到数字孪生系统的决策方案后,调用“信息配置”模块,获取闭锁条件的实时数据,并提供给“指令执行”模块。“指令执行”模块在控制指令闭锁条件满足时,下发指令到SCADA系统执行。

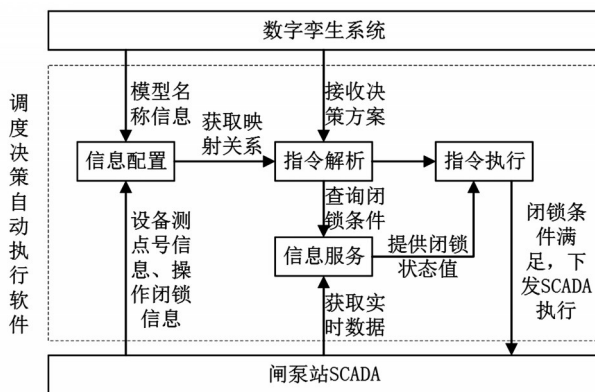


图1 系统关系

3 功能模块设计

3.1 信息配置

在数字孪生模型中,调度决策程序开发时一般将可操作的闸泵等设备用唯一的字符串dev_name表示,如1号闸站2号闸门,可表示为gatestation01_gate02。

在SCADA系统中,一般有开入量(DI)、开出量(DO)、模入量(AI)、模出量(AO)4种基本信号^[9],每个信号一般用点号或变量字符串表示。如针对1号闸站2号闸门开度设定这个AO信号,对应的点可记为AO_GS01_G02_OPENING。

为了实现1号闸站2号闸门的决策方案在SCADA执行,需要将调度决策模型输出的“gatestation01_gate02设为0.5米”这条信息转为,“AO_GS01_G02_OPENING设为0.5”这条信息。但是,在不同的数字孪生系统或SCADA系统中,上述两者的映射关系是变化的,按照水利部对数字孪生系统的建设要求,调度决策自动执行软件应该可复

用、可推广。因此,开发了“信息配置”模块,可方便将这样的一一映射关系做配置和修改。

“信息配置”模块首先对工程中所涉及的闸泵站等设备统一建模,形成工程的设备管理树,通过设备管理树为同一个设备提供两类信息配置:

(1)配置数字孪生模型中闸泵设备的字符串标识,如1号闸站2号闸门配置的名称为gatestation01_gate02。

(2)配置SCADA系统中闸泵设备对应的测点,如1号闸站2号闸门的设值点AO_GS01_G02_OPENING。此外,还可配置与闸门设值操作相关的闭锁条件,如设备无故障信号点DI_GS01_G01_NO_FAULT,其对应的值应为1;设备的实时状态信息,如闸门的实时开度信号点AI_GS01_G02_RT_OPENING,闸门开度控制目标值与实际值之间可接受的死区范围,如 $[-0.03, 0.03]$ 。

“信息配置”的模型树中,同一设备即配置了数字孪生模型中闸泵设备的字符串标识,也配置了SCADA系统中闸泵设备对应的测点号,通过此方式将数字孪生模型与SCADA系统中的闸泵站一一映射,并以接口形式将映射配置信息提供给“指令解析”模块,满足指令解析模块的指令解析要求。因此,“信息配置”模块是数字孪生模型与SCADA系统之间交互的桥梁,“信息配置”模块开发完毕后的系统界面如图2所示。

测点名称	开度	关联测点	710000100010(开度)
测点来源	APP_WDS	测点类型	实时开度
是否计算	<input type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否	计算任务	
默认值	0	数值单位	
默认字符			
字符标识	gatestation01_gate02		
反馈类型	控制过程监视	区间值	[-5,5]
控制方式	--请选择--		
<input type="button" value="保存"/> <input type="button" value="取消"/>			

图2 信息配置

3.2 指令解析

“指令解析”模块接收数字孪生平台决策系统产生的决策方案,并调用“信息配置”的服务接口,将决策方案转换成SCADA系统可识别的调度指令,转换流程如下:

(1)“指令解析”模块接收到数字孪生系统产生的决策方案,按照操作排序,取方案中首条需

要操作的设备的字符串标识及操作信息,如1号闸站2号闸门开度设为0.5m,相关信息可为“gatestation01_gate02,设为0.5m”。

(2)“指令解析”模块调用“信息配置”服务接口,该接口返回1号闸站2号闸门开度设值在SCADA系统中的信号点为AO_GS01_G02_OPENING。同时返回1号闸站2号闸门的设备操作的闭锁条件信息,如无故障信号点DI_GS01_G02_NO_FAULT值应等于1;闸门的实时状态信号点AI_GS01_G02_RT_OPENING,控制目标与实际值可接受的死区范围为 $[-0.03, 0.03]$ 。

(3)按照“指令执行”模块的格式要求,将1号闸站2号闸门开度设值信号点及设值信息、无故障判断条件、闸门的实时状态信号点、控制目标与实际值可接受的死区范围信息,封装成为一条调度指令。

(4)如果数字孪生系统的决策方案中涉及多个设备的操作,则在步骤(1)中读取下一条设备操作信息,重复步骤(2)至(3),并将本次决策方案产生的多条调度指令存储在同一个指令集中。

指令解析流程如图3所示。

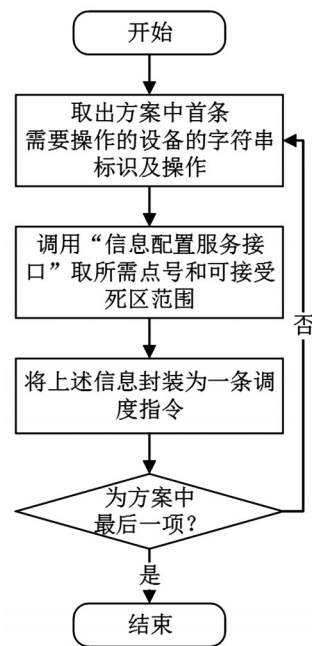


图3 指令解析流程

3.3 信息服务

调度指令的安全执行需要校验指令中的闭锁条件信息,这需要SCADA系统中的实时数据做支撑。“信息服务”模块将SCADA的实时数据库进行了封装,以服务的形式为“指令解析”模块提供调度指令相关的水情、工情的实时数据^[4]。“信息服务”模块

提供的实时数据,主要服务于以下2种场景:

(1)如果调度指令中包含了闸泵设备操作的闭锁条件,如1号闸站2号闸门无故障信号点DI_GS01_G02_NO_FAULT的实时值应等于1。那么,信息服务模块从SCADA系统中获取信号点DI_GS01_G02_NO_FAULT的实时值,提供给“指令执行”模块。

(2)如果“指令解析”模块将数字孪生系统的决策方案解析后,涉及多个设备的顺序操作,那么调度指令集中包含多条指令,此时需要考虑指令的顺次执行。因此,每一个设备操作指令下发后,需要根据实时反馈的设备状态信号判断该设备的发令操作是否完成。如1号闸站2号闸门的设值操作指令,“信息服务”模块从SCADA系统中获取闸门的实时开度信号点AI_GS01_G02_RT_OPENING的值给“指令执行”模块。

总之,“信息服务”模块根据“指令解析”模块中解析出来的测点信息以及“指令执行”模块对信号点实时数据的需求,为“指令执行”模块提供SCADA中闸泵站实时数据的查询服务。

3.4 指令执行

“指令执行”与“指令解析”2个模块为独立进程,两者之间通过指令集存储空间交互。“指令解析”模块将指令集存储后,标记为“未执行”,“指令执行”处理调度指令集及调度指令的步骤如下:

(1)“指令执行”模块定时扫描存储空间,检测到标记为“未执行”的指令集,在前端界面上弹出“指令集”窗口,如图4所示。

(2)“指令执行”模块根据各条指令的闭锁信息,调用“信息服务”模块,判断闭锁条件是否解除,如无故障信号的测点DI_GS01_G02_NO_FAULT的实时值是否为1。如果条件满足,则在该指令前的“可控”标记“√”号。

(3)操作人员可选择指令集执行模式为“手动执行”、“自动执行”、“终止执行”。在“手动执行”模式下,各条指令相互独立,由操作人员强制下发单条指令;在“自动执行”模式下,“指令执行”自动执行第一条未闭锁且未执行的指令;“终止执行”则终止指令集能所有指令执行。

(4)单条指令执行时,软件将二次弹窗,如图5所示。弹窗后有 t s等待操作时间,该等待时间 t 是在文件中配置的。 t s内如果人工干预,点击“确定”,那么指令提前下发, t s内人工未干预,指令自动取消,从而确保指令执行的安全性。

4 应用案例

洪泽泵站是南水北调东线第3级抽水泵站,紧邻洪泽湖,兼具调水、排涝与发电功能,工程包括泵站、挡洪闸、进水闸及上下游引河等。泵站设计流量 $150\text{ m}^3/\text{s}$,安装5台立式液压全调节混流泵,单泵设计流量 $37.5\text{ m}^3/\text{s}$,净扬程为6.0 m。需要将智能调度系统产生的优化方案在SCADA系统中自动执行,针对该需求,开发了调度决策自动执软件,收到优化决策后,能按照约束条件及设备工况,依次批量自动执行调度指令。如图4~5所示。



图4 指令集的弹窗



图5 单条指令的弹窗

5 结 论

调度决策方案自动执行软件部署后,通过提供信息配置、指令解析、信息服务、指令执行等功能模块,在调度决策系统与闸泵SCADA系统之间建立映射关系,实现调度决策方案实时在线转换为SCADA中可直接执行的调度指令,提高了模型调度决策的执行效率。软件还提供指令执行闭锁条件判断、执行反馈监视等功能,保障了批量的调度指令安全、有序、可靠执行。调度决策方案自动执行软件配置简单、部署灵活、运行稳定,能有力支撑水利工程数字孪生项目的决策方案自动执行,可为水利工程高效、智能管理提供重要保障。

(下转第44页)

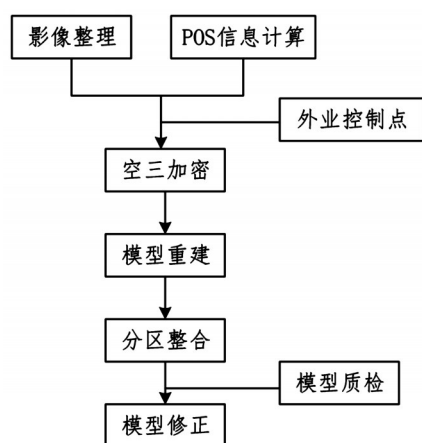


图3 实景三维建模技术流程

于受到软件算法影响、影像匹配错误以及无人机在空中遭遇气流发生姿态变化等因素影响,可能会出现建筑物变形,地物不完整,模型表面空洞,水面出现漏洞、褶皱、悬浮物等现象,因此需要对模型效果不达标的区域进行人工修饰,以满足项目需求。修饰内容包括对水面进行压平处理,对漏洞进行修复,对孤立、细碎的3D悬浮物进行删除等,最终形成符合位置精度、影像精度、结构精度和纹理精度要求的倾斜摄影三维模型成果。

5 结 语

随着数字孪生流域的建设与发展,无人机倾斜

摄影与三维建模技术得到更为广泛、系统的普及应用。与传统建模方法相比,倾斜摄影与三维实景模型的外部纹理特征、高度及定位信息能快速精确的获取,经过后期数据处理即可生成内容精细、形象直观、色彩丰富的实景三维模型,具备速度快、精度高、操作便捷的技术优势,节省了大量人力、物力与时间成本。利用倾斜摄影与实景三维技术还原京杭运河流域现实全景,既保障了现实数据的准确性和真实性,又保证了监管信息的可追溯性,同时以流域地形三维可视化为基础,建设河湖空间数据底板,有助于提高水资源、水岸线、水环境监管的工作质量,为流域管理决策提供高效的信息支撑和技术支持。

参考文献:

- [1] 娄保东,张峰,薛逸娇. 智慧水利数字孪生技术应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2021(9):6-12
- [2] 张绿原,胡露露,沈启航,等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电,2021(11):58-62
- [3] 蒋亚东,石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报,2019,35(11):5-9.
- [4] 王伟,黄雯雯,镇姣. Pictometry 倾斜摄影技术及其在三维城市建模中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2011,34(3):181-183.
- [5] 孙宏伟. 基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模[J]. 现代测绘,2014,37(1):18-21.

(上接第40页)

参考文献:

- [1] 杜军凯,游进军,仇亚琴,等. 面向“四预”的水资源智能业务应用体系研究[J]. 水利发展研究,2023,23(8):1-6.
- [2] 范子武,刘国庆,杨光,等. 城市防洪“四预”智能调度系统建设与应用[J]. 江苏水利,2022(增刊2):5-10.
- [3] 李琛亮,刘国庆,杨光,等. 基于“四预”的永定河洪水预报调度系统研究与应用[J]. 水利水运工程学报,2022(6):45-53.
- [4] 陈晓楠,靳燕国,许新勇,等. 南水北调中线干线智慧输水调度的思考[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(5):46-55.
- [5] 徐青,陆轶群,徐麟,等. 大中型闸站自动化、信息化和智能化建设的若干思考[J]. 江苏水利,2023(5):35-39.
- [6] 范林皓,陈祥,黄富佳. 南水北调洪泽泵站监控系统自动化改造应用[J]. 江苏水利,2023(4):62-66.
- [7] 朱梦珺,唐琦. 现代水利自动化工程存在问题的思考[J]. 黑龙江水利科技,2023,51(1):154-157.
- [8] 李县林. SCADA 系统在水闸联合调度及运行管理中的应用前景[J]. 陕西水利,2022(9):102-104.
- [9] 樊锦川,黄蔚,冯宛露,等. 基于工业互联网操作系统的泵站一体化运维平台建设[J]. 江苏水利,2022(8):40-44.
- [10] 丁书文. 电力系统远动原理及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2009.