

自主可控新一代变电站辅助系统 联控策略研究与发展

马驰弈¹, 吴杰², 常政威², 熊兴中¹, 刘骏¹

(1.四川轻化工大学, 四川 自贡 643000; 2.国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041)

摘要:为了从根本上解决电网二次设备核心芯片“卡脖子”问题,全面支撑变电站“无人值守+集中监控”业务需求,新一代自主可控变电站采用“自主可控、安全可靠、先进适用、集约高效”的原则,从设备软硬件方面全面自主设计可控。为更好建立新一代自主可控变电站,研究分析了二次系统的联动控制策略。首先,从联动控制所需基础技术分析,介绍自主可控新一代变电站辅助设备联控策略的总体框架,分析变电站辅助设备联动控制的总体功能;然后,通过梳理辅助设备联控类型,将联控策略分为主辅联动、子系统间联动和子系统内部联动三大策略,并结合具体案例对联动控制进行阐述;最后,对变电站辅助设备联动控制策略进行总结和展望。

关键词:新一代变电站; 联动控制; 辅助设备; 视频联动

中图分类号: TM 63 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2023)05-0068-07

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20230511

Research and Development of Auxiliary System Joint Control Strategy in New Generation Substation with Autonomous and Controllable Technology

MA Chiyi¹, WU Jie², CHANG Zhengwei², XIONG Xingzhong¹, LIU Jun¹

(1. Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: In order to fundamentally solve the problem of "stuck neck" in core chip of secondary equipment in power grid and fully support the business needs of "unattended and centralized monitoring" of substations, a new generation substation with autonomous and controllable technology adopts the principles of "autonomous and controllable, safe and reliable, advanced and applicable, intensive and efficient", and is designed and controlled independently in terms of equipment hardware and software. In order to have a better construction to new generation substations with autonomous and controllable technology, it focuses on the analysis of joint control strategy of secondary system. Firstly, the basic technologies needed by joint control are analyzed. The overall framework of joint control for auxiliary equipment of new generation substations with autonomous and controllable technology is introduced, and its overall functions are analyzed. And then by sorting out the types of auxiliary equipment joint control, the joint control strategies are divided into main and auxiliary linkage, inter-subsystem linkage and intra-subsystem linkage, and the joint control is described with specific cases. Finally, the joint control strategies of auxiliary equipment in substations are summarized and prospected.

Key words: new generation substation; joint control; auxiliary equipment; video linkage

0 引言

为解决电网二次设备核心芯片“卡脖子”问题,中国正加快推进自主可控新一代变电站二次系统技

术研发和试点建设。面对基于国产化设备的新一代变电站二次系统新架构、新功能和通信协议的变电站辅助设备检测平台,联动控制有着重要的作用,同时联动控制策略也是“无人值守+集中监控”业务需求的重要支撑。下面收集整理了各变电站辅助系

统的联动控制策略,分为主辅联控、子系统间联控和子系统内部联动,可为自主可控新一代变电站的建设提供参考内容。

1 新一代变电站辅助系统联动策略相关技术

1.1 传感器采集技术

1.1.1 图像采集技术

高质量的图片是图像检测技术的基础,在图像采集的过程中会使用到多种摄像机,确保获取高清图像。其中高动态范围成像(high dynamic range imaging, HDRI)技术拓展了图像的曝光范围,改进了图像曝光不足或过大的问题,使图片能呈现更多信息。在联动控制策略中,图像采集技术是整个联动过程的起始操作,为联动控制策略提供基础技术支持。

1.1.2 红外测温采集技术

利用红外测温原理设计的红外测量电子设备获取设备表面发出的红外辐射,进而获取设备温度用于设备状况检测。变电站中的设备,如变压器、隔离开关、线夹等,在运行过程中需要有效的检测,才能发现安全隐患。在联动控制策略中,设备的有效检测对联动措施起着重要作用。

1.2 图像技术

图像检测技术在联动策略中起着重要作用,在收集完成图像后,图像技术对图片进行处理使图片中的信息更明显。图 1 为目标检测示例^[1]。

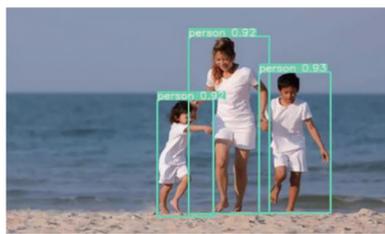


图 1 图像检测示例

在传统的图像检测中,基于滑动窗口和人工提取特征的方法是主流的检测手段,但是传统方法计算量巨大且鲁棒性低^[1]。随着深度学习的发展,基于卷积神经网络的图像检测技术日趋成熟,相比于传统检测方法,能够提供基于数据驱动的特征表示,在特征提取和分割识别等方面表现良好^[2]。目标检测算法按照是否有区域生成网络(region proposal network, RPN)可划分为二阶段检测算法和一阶段检测算法。在二阶段检测算法中会使用 RPN 用于

检测,其中 R-CNN^[3]、Fast R-CNN^[4]、Faster R-CNN^[5]等是该类算法的代表算法。一阶段检测算法不使用 RPN,就不生成感兴趣区域,而是将整幅图像用回归方法来实现检测任务,其中 YOLO^[6-11]系列、SSD^[12-16]系列等代表性算法比较优秀。图 2 描述了两类算法的框架。

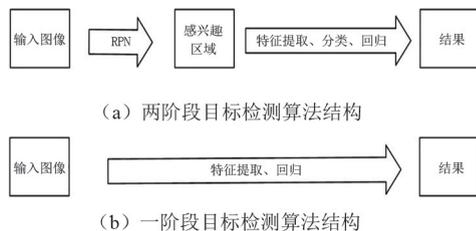


图 2 目标检测算法结构

1.3 联动技术

电力二次系统分为生产控制大区和管理信息大区,其中 I 区、II 区为控制区和非控制区,都在生产控制大区;而 III 区生产管理区和 IV 区管理信息区在管理信息大区。在获取 I 区的检测数据后,II 区辅助设备和 IV 区巡视主机会接收到综合应用主机传送的主辅设备联动信号,根据联动策略,对 III 区辅助设备传感器或 IV 区视频摄像头设备进行控制操作;最后,对 IV 区视频摄像头联动的操作需要返回操作结果,如对变电站设备操作的自动获取、隔离开关开合变化时系统自动反馈图像信息,保证操作的安全性和准确性。

2 新一代变电站辅助系统总体架构

2.1 辅助系统架构

系统结构常见的有单体架构、分布式应用、微服务架构、Serverless 架构。自主可控新一代变电站辅助系统架构采用分层、分布式网络架构,单网组网方式,由站控层、汇聚层和传感层构成,部署在安全 II 区和安全 IV 区。该架构为整个二次系统的总体架构,能处理电力二次系统复杂的网络结构。总体架构如图 3 所示。安全 II 区由一次设备在线监测、火灾消防、安全防卫、智能锁控、动环系统组成;安全 IV 区由在线智能巡视系统组成。

安全 II 区与安全 IV 区之间通过正、反向隔离装置互联。站控层设备主要包括主辅一体化监控主机、综合应用主机、服务网关机和在线智能巡视主机,完成数据采集、数据处理、状态监视、设备控制、智能应用、运行管理和主站支撑等功能。汇聚层设

备主要包括消防信息传输控制单元、安全接入网关等设备,实现数据采集、控制和网关等功能。传感层设备主要包括一次设备在线监测装置、火灾自动报警系统、固定式灭火系统、其他受控消防设备及火灾消防变送器、安全防护探测器及其监控终端、变电站锁具及其监控终端、动环系统传感器及其监控终端、无线传感器及汇聚节点等,实现信息感知、采集、控制及管理功能。

一次设备在线监测、火灾消防、安全防护、智能锁控、动环等子系统数据存储至安全Ⅱ区的综合应用主机,各子系统与后台之间应采用 DL/T 860 通信报文进行互联。在线智能巡视子系统数据存储至安全Ⅳ区的在线智能巡视主机,在线智能巡视主机与上级系统之间采用 TCP/UDP 协议互联。

2.2 辅助系统功能

主辅一体化监控系统主要对站内一次设备的在线监测、火灾消防、安全防护、智能锁控、动环以及在线智能巡视等子系统信息进行分类存储、智能联动及综合展示。系统能接收来自集控站的控制指令,实现对受控设备进行远程控制的功能。各子系统能够脱网运行,在系统后台故障的情况下各子系统能够继续正常工作并实现报警、记录及存储等功能。

1) 一次设备在线监测子系统

系统如图 4 所示,主要对油中溶解气体、铁芯夹件接地电流、套管绝缘状态、变压器特高频的局部放电及高频电流的局部放电等状态参量进行在线监测,实现变压器类设备运行状态的在线采集、分析和上传。具备对 SF₆ 气体压力、机械特性、组合电器局

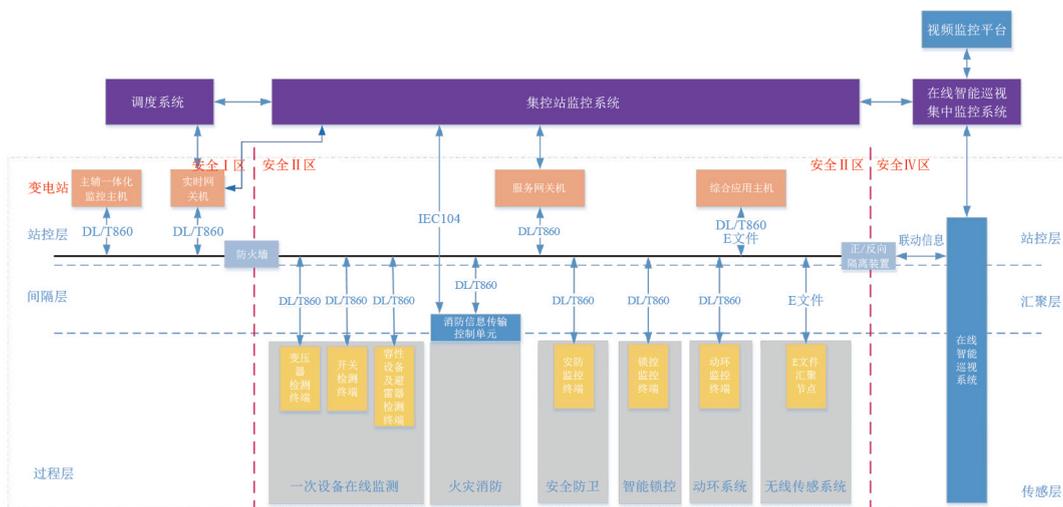


图 3 总体架构

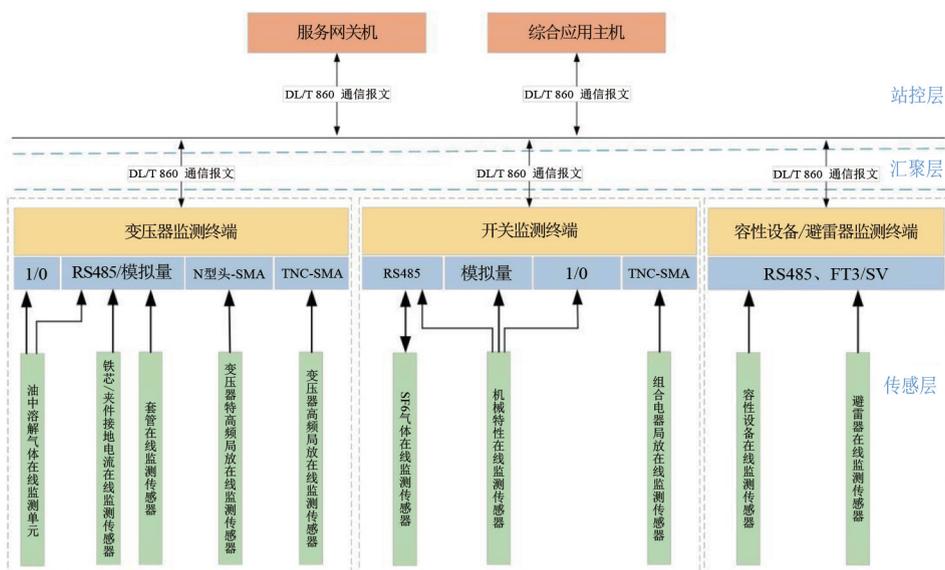


图 4 一次设备在线监测子系统

部放电等状态参量在线监测的功能,实现开关类设备运行状态的在线采集、分析和上传;具备容性设备及避雷器设备全电流、母线电压等状态参量在线监测的功能,实现容性设备及避雷器设备运行状态的在线采集、分析和上传。

2) 火灾消防子系统

火灾消防系统如图 5 所示。该系统具备接入火灾自动报警系统、固定式灭火系统、其他受控消防设备以及模拟量变送器等功能,实现站内火灾报警信息的采集、传输和灭火控制;具备声光报警功能,当火灾发生时,及时发出声光报警信号;具备消防联动控制功能,当发生火灾时,能自动停止送、排风系统和空调系统的运行,并联动启动消防水泵和其他自动消防设备。

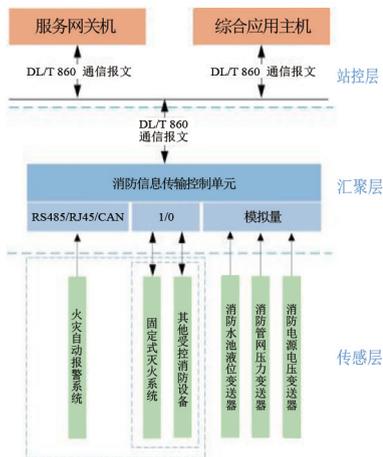


图 5 火灾消防架构

3) 安全防卫子系统

安全防卫系统如图 6 所示。该系统具备接入红外双鉴探测器、红外对射探测器、门禁控制器以及脉冲电子围栏等设备的功能,实现站内周界入侵告警信息的采集和传输;具备布防和撤防功能,满足现场多种运行方式,并对读卡器、开门按钮、电磁锁等门禁设备有控制和管理功能,实现站内人员出入信息的采集、存储和上送;能够采用多种开门方式,满足人脸识别开门等多种需求。

4) 智能锁控子系统

智能锁控系统如图 7 所示。该系统具备对变电站内各类锁具(不含防止电气误操作的锁具)和电子钥匙的控制和管理功能,实现开锁权限、开锁记录和开锁流程的智能化管控;具备身份认证功能,包括刷卡、密码等多种认证方式;具备上送开锁任务、人员、锁具配置信息以及下发开锁任务到电子钥匙等功能;具备网络故障情况下,可通过锁控监控

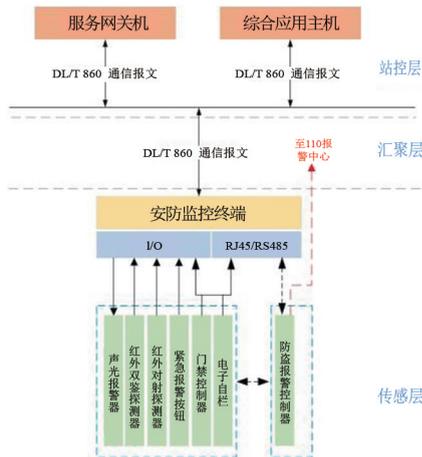


图 6 安全防卫子系统

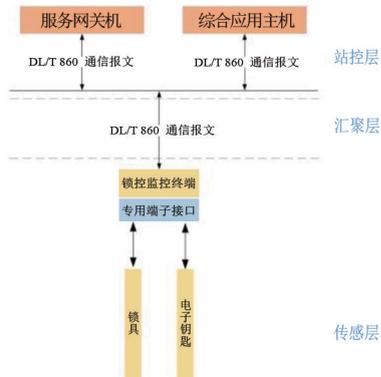


图 7 智能锁控子系统

终端直接对钥匙进行授权操作功能,并对授权信息和开锁信息进行记录。

5) 动环子系统

动环子系统如图 8 所示。该系统具有微气象、温湿度、水位、SF₆(O₂ 含量)、水浸、漏水、水位等传感器接入功能,实现站内环境数据的实时采集、处理和上送;具有对空调、除湿机、采暖、风机、水泵以及照明等设备的控制功能,能对环境异常及时告警,可对各种环境信息告警值进行设定。环境监测传感器具有正常工作指示功能及异常告警功能。

6) 无线接入设备

无线接入设备如图 9 所示。无线汇聚节点具备计算、自组网功能,能与无线传感器实现双向通信,将传感器数据转换为 E 语言文件格式并实现上送等功能。动环系统无线传感器具备分别采集室外风速、风向、水浸、水位以及温湿度等信息的功能。无线姿态传感器具备准确检测隔离开关的分合闸位置变化,可靠、有效地判断隔离开关本体所处的分合闸位置状态功能。开关柜无线温度传感器具备在线监测开关柜带电触点及母排温度功能。

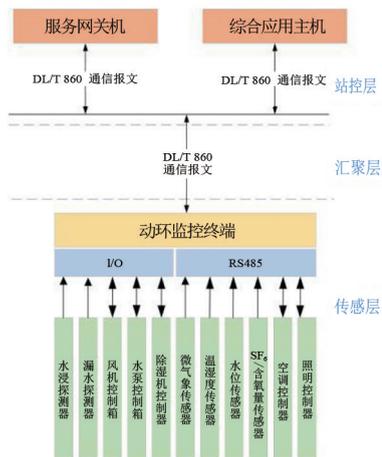


图 8 动环子系统

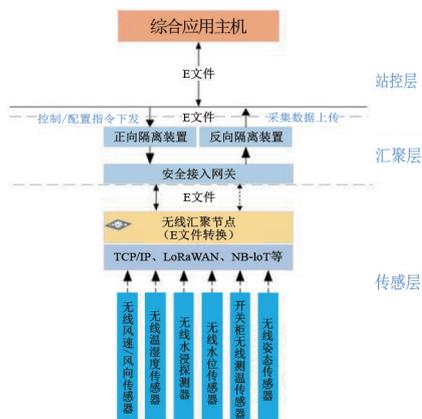


图 9 无线接入设备

7) 在线智能巡视子系统

在线智能巡视子系统如图 10 所示。该系统具备接入巡检机器人、高清视频、红外热成像摄像机以及声纹监测装置等设备的功能,实现变电站巡视数据的集中采集和智能分析。巡检机器人配备可见光摄像机、热红外成像仪以及音频采集设备,具备可见光检测、红外检测和噪声监测功能。摄像机布置满足变电站安全防范、设备运行状态监视以及设备在

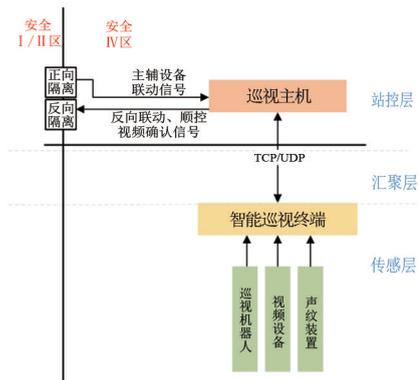


图 10 在线智能巡视子系统

线智能巡视的要求。红外热成像摄像机支持多种测温方法,并具备测温校正功能。该系统还具备采集主变压器、高压并联电抗器等重要一次设备声音数据的声纹采集功能,实现声纹数据的实时监测,并对设备运行状态进行分析判断。

3 新一代变电站联动控制功能

联动控制功能是指,当联动控制触发信号触发,如主设备警告信号、SF₆浓度超标信号、水浸报警信号,系统相应地做出自动反应,如视频预置位、巡检机器人对相应区域进行采集、一次设备在线系统的记录。可将新一代变电站联动控制分为主辅系统之间联动、辅助子系统间联动和辅助子系统内部联动。

3.1 主辅联动

3.1.1 主设备与巡视系统联动

1) 一键顺控“双确认”联动

一键顺控操作的倒闸顺序会因为变电站不同作业要求而改变,通过序列控制减轻人员操作,提高变电站倒闸效率^[17]。在变电站一键顺控操作中可采取多种方式来确认隔离开关分合闸情况,文献[18]将倒闸任务“双确定”的技术路线分为基于微动开关、压力传感器、姿态传感器、敏态传感器和图像视频联动这几类。文献[19]以某 500 kV 智能变电站为例,设置了一套以视频联动的顺控系统实现顺控“双确认”,该方法融入人工智能中目标检测技术,有效提高“双确认”效率。

2) 主变压器告警联动

主变压器是变电站的心脏,其正常运行对变电站起着至关重要的作用,因此对于主变压器各项物理信号的检测显得尤为重要。文献[20]提出主变压器信号联动策略,当主变压器物理数值异常时,联动巡视系统对变压器表计进行识别检测,帮助运维人员研判。

3.1.2 监控主机与巡视系统联动

根据新一代变电站设计,主辅一体化监控主机(监控主机)是按照统一模型、统一平台的基本要求,通过主辅设备信息在功能、界面等方面深度融合,实现全站主辅设备运行监视、操作与控制、智能应用、主站支撑服务等四大类 12 项功能。

在巡视主机进行巡视期间,向综合应用主机发送联动任务功能。文献[21]设计的一套巡检系统结合

机器视觉、云台一体化控制和 YOLOv3 目标检测算法,有效地提升了变电站“无人值守”巡检任务的效率。文献[22]将新一代自主可控变电在线智能巡视系统做了详细介绍,其中对监控主机的联动方式也进行了分析,包括监控主机向巡视主机发送联动信号和巡视主机向监控主机发送复核反馈信号功能。

3.2 子系统间联动

3.2.1 火灾消防系统与其他辅助系统间联动

发生火灾时,火灾消防系统与各辅助系统之间的联动能有效阻止火灾蔓延。文献[23]提出一种基于泛在电力物联网的变电站消防系统,将火灾预警功能分为3级:当火灾探测器检测到火灾信息,火灾消防系统将联动监控主机发出报警信息;进一步向内部管理人员发送预警定位;最后,联动巡视系统调用巡视机器人进行视频检测。文献[20]提出联动安全防卫系统开启相关逃生门禁,并且联动动环系统开启照明,关闭风机、电暖气、空调和除湿机防止火势蔓延。并且为更好了解火情状况,联动巡视系统调用火灾区域摄像机对火灾进行跟踪拍摄。

3.2.2 智能巡视系统与其他辅助系统联动

1) 与动环系统联动

智能巡检机器人巡检过程中所检测的局部区域亮度不足时,可联动动环系统照明控制器。文献[24]提到动环系统中的照明控制器能对灯进行远程操控,与其他系统实现联动能够有效改善其他辅助系统存在的照明不足问题。

2) 与安全防卫联动

智能巡视系统利用深度神经网络对监控视频进行行为识别检测。当检测到工作站内员工安全帽佩戴不规范、有非法闯入和有工作人员遗留物品在工作区时,将联动安全防卫系统进行声光报警,提醒站内人员进行相应的处理^[20]。

3.3 子系统内联动

3.3.1 火灾消防系统内部联动

火灾消防系统具备火灾自动报警系统、固定式灭火系统、其他受控消防设备以及模拟量变送器等设备,能实现站内火灾报警信息的采集、传输和灭火控制。文献[25]提出火灾发生时,火灾消防系统发出报警并联动该系统的相关消防功能,对火源进行自动灭火。

3.3.2 动环子系统内联动

动环子系统中的各项传感器感应到相应检测数值超出警告阈值时,将联动系统内的风机、空调、水

泵等设备进行及时调整。

1) 水浸联动

当发生水浸时,动环系统内的传感器将及时检测到数据值,并按设置好的联动策略联动相应的水泵进行排水。

2) 温湿度控制联动

通过动环系统中的温湿度传感器收集环境中的温湿度信息后,联动系统内的风机、空调等设备进行调整。

3) SF₆ 浓度超标联动

SF₆ 气体在 GIS 室的含量根据 DL/T 5035—2016《发电厂供暖通网与空气调节设计规范》不能超过 6000 mg/m³,因此对 SF₆ 气体浓度的管控很重要。文献[26]提出了一套变电站动环系统通风系统设计原则,并提出了当检测到 SF₆ 气体浓度超标时,会自动联动动环系统中的风机控制箱,实现节能安全运行。

3.3.3 智能巡检系统内联动

在线智能巡检系统中的巡检机器人收到巡检任务后按预定路线进行巡检,当巡检到相应点位时联动系统内的摄像头进行确认,实现对巡检机器人的有效检测,并将所有巡检的内容上传到系统的后台进行保存、分析、研判,为在线智能巡检系统的正常运行提供充分的数据支撑。

3.4 应用成效

联动控制策略在电力二次系统中的运用能有效地提高辅助系统的工作效率。联动策略的运用能让变电站的管理更为高效、智能,并且减少了人力成本,对变电站的运维管理有着积极的作用^[27]。联动功能分类也有助于联动控制策略的研发,为新一代变电的建设提供有效的帮助。

4 结 论

自主可控新一代变电站的建设离不开联动技术。上面梳理了联动策略会使用到的相关技术,介绍了自主可控新一代变电站辅助系统的总体架构及其包含的子系统。根据联动策略方式将联动功能分为主辅联动、子系统间联动和子系统内部联动,并且根据分类给出了具体的联动形式:主辅联动中“双确认”操作、子系统间联动的火灾消防联动、安全穿戴检测联动以及子系统间的动环联动。为自主可控新一代变电站的建设提供了联动控制方面的研究内容。

参考文献

- [1] 李柯泉, 陈燕, 刘佳晨, 等. 基于深度学习的目标检测算法综述[J]. 计算机工程, 2022, 48(7): 1-12.
- [2] 张春晓, 陆志浩, 刘相财. 智慧变电站联合巡检技术及其应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(9): 158-164.
- [3] GIRSHICK R, DONABUC J, DARRELL T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation[EB/OL]. [2022-10-11]. <http://doi.org/10.48550/arXiv.1311.2524>.
- [4] GIRSHICK R. Fast R-CNN[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2015: 1440-1448.
- [5] REN S Q, He K M, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1137-1149.
- [6] REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, et al. You only look once: Unified, real-time object detection[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016: 779-788.
- [7] REDMON J, FARHADI A. YOLOv3: An incremental improvement[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://arXiv.org/pdf/1804.02767.pdf>.
- [8] BOCHKOUSKIY A, WANG C-Y, LIAO H-Y M. YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://arXiv.org/abs/2004.10934>.
- [9] REDMON J, FARHADI A. YOLO9000: Better, faster, stronger[C] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017: 7263-7271.
- [10] LI C Y, LI L L, JIANG H L, et al. YOLOv6: A single-stage object detection framework for industrial applications[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.02976>.
- [11] WANG C-Y, BOCHKOVSKIY A, LIAO H-Y M. YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.02696>.
- [12] LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. SSD: single shot multibox detector[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1512.02325>.
- [13] FU C-Y, LIU W, RANGA A, et al. DSSD: Deconvolutional single shot detector[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.06659>.
- [14] JEONG J, PARK H, KWAK N. Enhancement of SSD by concatenating feature maps for object detection[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://arXiv.org/pdf/1702.09587.pdf>.
- [15] SHEN Z Q, LIU Z, LI J G, et al. DSOD: Learning deeply supervised object detectors from scratch[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://arXiv.org/pdf/1708.01241.pdf>.
- [16] LI Z X, ZHOU F Q. FSSD: Feature fusion single shot multibox detector[EB/OL]. [2022-10-11]. <https://arXiv.org/pdf/1712.00960.pdf>.
- [17] 游鑫, 田维文, 范富江, 等. 基于视频监控智能识别的变电站一键顺控技术研究[J]. 电气自动化, 2022, 44(3): 85-87.
- [18] 谢青洋, 程鹏, 白翠芝, 等. 隔离开关位置辅助判断技术比较研究[J]. 云南电力技术, 2022, 50(2): 35-38.
- [19] 郭小江, 李广渊, 王强. 基于视频联动的500 kV智能变电站一键顺控系统改造及验收[J]. 电工技术, 2022(9): 154-156.
- [20] 严亚兵, 黎刚, 李辉, 等. 智慧变电站监控系统智能联动技术浅析[J]. 湖南电力, 2020, 40(3): 77-81.
- [21] 梁松伟. 基于多源异构视觉的变电站机器人巡检技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [22] 何源, 明家辉, 胡磊, 等. 变电站智能巡视技术研究[C]. 中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会论文集. 北京: 中国电力设备管理协会, 2022: 24-28.
- [23] 郑宝强, 张健, 曹飞, 等. 基于泛在电力物联网的无人值守变电站消防策略研究[J]. 南方能源建设, 2020, 7(4): 75-80.
- [24] 沈显庆, 朱彦磊, 王昌奎. 变电站智能辅助系统的分析[J]. 黑龙江电力, 2015, 37(5): 381-384.
- [25] 肖冰. 变电站火灾自动报警及消防联动系统的设计优化[J]. 内蒙古石油化工, 2012, 38(24): 72-74.
- [26] 肖艳紫. 变电站通风系统设计及联动控制优化[J]. 江西建材, 2017(11): 23-24.
- [27] 宋涛, 冯承超. 变电站智能辅助系统的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2018(19): 239-240.

作者简介:

马驰弈(1998),男,硕士研究生,研究方向为人工智能;

吴杰(1986),男,硕士,研究方向为厂站端自动化及智能变电站技术;

常政威(1981),男,博士,正高级工程师,研究方向为人工智能;

熊兴中(1971),男,博士,教授,研究方向为人工智能;

刘骏(1994),男,硕士,研究方向为人工智能。

(收稿日期:2023-02-01)