

Research on Real-time Monitoring of Main Control Room Operator's Status Based on Image Recognition

Chengxiang Jiang

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

The main control room serves as a critical operational hub for industrial production and energy dispatching. The physical and mental condition of operators directly determines the safety and stability of control system operations. Real-time and precise monitoring of operator status is essential for preventing accidents and ensuring orderly production. This study employs image recognition technology to explore real-time monitoring of operators in main control rooms. It systematically reviews relevant theoretical foundations and technical approaches, designs a comprehensive real-time monitoring system, and optimizes core algorithms to achieve operator target detection, tracking, and multi-state identification. By addressing the limitations of traditional monitoring methods, this research provides technical support for enhancing safety management in main control rooms.

Keywords

image recognition; real-time status monitoring; target detection; status evaluation; algorithm design

基于图像识别的主控室操纵员状态实时监测研究

江承祥

大亚湾核电运营管理有限责任公司, 中国·广东深圳 518000

摘要

主控室为工业生产、能源调度等关键领域核心管控场所, 操纵员身心状况直接决定管控系统运行安全与稳定, 实时且精准地对操纵员状态实施监测, 是防范安全事故、保障生产有序进行的重要方法。本文以图像识别技术为依托, 开展主控室操纵员状态实时监测探究, 梳理相关基础理论及技术, 设计一整套完整实时监测体系, 对核心算法进行优化, 以达成操纵员目标探测、追踪以及多状态辨识, 解决传统监测形式的缺陷, 为主控室安全管控给予技术支持。

关键词

图像识别; 状态实时监测; 目标探测; 状态评定; 算法设计

1 引言

在电力、化工、冶金等关键工业领域, 主控室作为生产运行核心枢纽之地, 操纵员肩负着设备监控、参数调整、异常处理等重要责任, 其状态的稳定特性与可靠特性直接关联到整个生产系统的安全运行, 一旦操纵员出现疲劳、注意力分散、违规操作等异常状态, 极易引发设备故障、生产事故, 造成重大人员伤亡和财产损失。所以, 实现主控室操纵员状态实时、精准监测, 及时察觉异常状态并发出预警, 对于防范安全事故、保障生产有序开展具备重要现实意义。

2 相关基础理论与技术

2.1 主控室操纵员状态监测相关概念

主控室, 又称主控制室、中央控制室, 外文名为 Main

control rooms, 是发电厂、变电所及石化工厂中集中监控生产运行的核心区域, 承担设备监控与生产调度功能。其内部配置控制屏、信号返回屏、保护屏及模拟电路图等设备, 信号返回屏多采用弧形屏幕式结构, 视距不超过 4 米以保证运行人员监视效果。按控制方式分为电气集中控制与机炉电单元控制两类: 前者应用于水电厂及 200MW 以下火电厂, 主控室设于独立控制楼; 后者适用于 200MW 以上机组, 采用机、炉、电设备集成控制模式。核电主控室注重人因工程设计, 通过优化人机接口降低操作失误率。石化行业主控室采用 DCS 系统实现对 17642 个仪表数据点的集中监控, 部分装置实现全流程闭环优化及黑屏操作。控制台布局以弧形或 n 形为主, 并配备专用会议室、休息室及设备维护区域。

主控室操纵员状态监测是指借助相关技术手段, 实时收集操纵员的图像信息, 辨识其身心状态与操作状态, 判断是否存在异常情况并发出预警的进程, 其核心目的是保障操纵员操作的规范性质与安全性质, 防范因人员状态异常引发的安全事故。操纵员状态主要分成正常状态与异常状态两大

【作者简介】江承祥(1987-), 男, 中国福建南平人, 本科, 工程师, 从事核电运行研究。

类别,其中正常状态指操纵员保持专注、精神状态良好,依照规范完成各项操作;异常状态主要包含疲劳、注意力分散、违规操作、生理不适等状况。

2.2 图像识别核心基础技术

图像收集是图像识别的根基,主要通过摄像头等图像收集设备获取目标对象的图像信息,收集效果直接对后续识别精准度产生影响,需依据主控室环境特点,挑选合适的收集设备与安装位置,确保能够清晰收集操纵员的面部特征、肢体动作等关键信息。图像预处理是为了消除图像中的噪声、干扰因素,优化图像质量,为后续特征提取与识别奠定基础,核心环节包括去噪、灰度化、尺寸归一化、图像增强等,通过相关算法处理,去除图像中的冗余信息,凸显目标对象的关键特征。特征提取作为图像识别的核心环节,系从完成预处理的图像当中提取可对目标对象进行表征的关键特征,涵盖面部特征、肢体特征等内容,常用特征提取办法划分为传统特征提取办法与深度学习特征提取办法,传统办法主要借手工设计特征算子来达成,深度学习办法则通过神经网络自动对图像里的关键特征展开学习,具备识别精度较高、适应性较强等优势,更为适宜在主控室复杂环境之下对操纵员状态进行识别。模式识别依据所提取的特征信息,通过相关算法对目标对象的类别与状态作出判断,实现对操作员状态的识别和分类 [1]。

2.3 状态评估相关算法

操纵员状态评估以图像识别结果为基础,通过相关算法对操纵员的状态实时综合判断,对正常状态与异常状态加以区分,属于监测系统的核心功能之一。状态评估相关算法主要分为机器学习算法与深度学习算法两大类,其中机器学习算法通过对历史数据开展训练,构建状态评估模型,实现对操纵员状态的分类判断,常用算法包含支持向量机、决策树、随机森林等,具有模型较为简单、运算速度较快等优势,适用于简单场景下的状态评估。深度学习算法则通过构建深层神经网络,自动从大量图像数据中提取多层次特征,实现对操纵员状态的精细化识别与判断。此类算法在复杂场景下具有更强的表征能力和更高的评估精度,尤其适用于细微状态变化的捕捉。然而,其模型结构相对复杂,对计算资源要求较高。未来可通过轻量化网络设计与边缘计算结合,进一步提升实时评估效率,满足实际工程部署需求。

3 主控室操纵员状态实时监测系统总体设计

3.1 系统设计原则

结合主控室操纵员状态监测的核心需求与特殊环境特征,本文所设计的实时监测系统遵循以下四项设计原则:其一为实时性原则,系统需迅速完成图像采集、预处理、识别与评估,保证能够及时察觉操纵员异常状态,为预警与处置预留充分时间;其二为非干扰性原则,监测过程不得对操纵员的正常操作产生影响,无需操纵员佩戴任何辅助设备,防

止对操纵工作造成干扰;其三为可靠性原则,系统需适应主控室设备密集、光线变化等复杂环境,具备较强的抗干扰能力,能够长期稳定地运行,降低故障发生概率;其四为扩展性原则,系统架构设计须具备良好的扩展性,便于后续对算法进行优化、增加功能模块,适应不同主控室的监测需求。

3.2 系统总体架构设计

本文所设计的主控室操纵员状态实时监测系统采用分层架构设计,由上至下分为感知层、传输层、处理层、应用层四个层次,各层次相互协作、各自履行职责,实现对操纵员状态的实时监测与评估。感知层作为系统的图像采集核心部分,主要由图像采集设备构成,承担采集主控室操纵员实时图像信息的任务,包括面部图像、肢体动作图像等,采集设备依据主控室布局进行合理安装,保证能够全面、清晰地采集每个操纵员的状态信息,为后续处理提供基础条件。传输层负责将感知层所采集的图像信息传送至处理层,采用有线传输方式,确保图像信息传输的稳定性与实时性,避免因传输延迟、丢包等问题对监测效果产生影响 [2]。

3.3 硬件选型与搭建

系统硬件架构构造以感知层、传输层、处理层、应用层的功能需求为核心实施,选型依照可靠性、适配性、经济性的准则进行,结合主控室的环境特性因素,挑选恰当的硬件装置,保障系统处于稳定的运行状态。感知层主要选用高清网络摄像装置作为图像采集设备,该装置具备分辨率较高、采集速度较快、抗干扰能力较强等优势,能够清晰地采集操作人员的面部特征与肢体动作形态,依据主控室的布局结构,在操作人员操作岗位的前方、侧面合理地安装摄像装置,达成全方位的覆盖,避开监测的盲区。

3.4 软件系统模块设计

图像采集模块承担控制感知层摄像装置的职责,实时地采集操作人员的图像信息,设定采集的参数指标,保障图像采集的清晰度与实时性效果,将采集到的图像信息传送至图像预处理模块单元。图像预处理模块单元对采集到的图像信息开展去噪、灰度化、尺寸归一化、图像增强等处理操作,消除图像当中的噪声干扰,优化提升图像的质量,为后续的目标监测工作与状态识别任务奠定基础。目标检测与追踪模块单元从预处理之后的图像当中检测找出操作人员目标对象,排除主控室设备、环境条件等无关的目标对象,同时对操作人员目标对象实施实时的追踪,保障在操作人员移动过程中能够持续不断地监测其状态。

4 核心算法设计与实现

4.1 图像预处理算法实现

图像预处理是提升后续目标检测工作与状态识别精度的关键要点所在,本文结合主控室的环境特性,设计规划一套具有针对性的图像预处理算法方案,主要包括去噪、灰度化、尺寸归一化、图像增强四个操作步骤,逐步优化提升图

像的质量,消除干扰因素影响。去噪处理采用高斯滤波算法,针对主控室环境当中可能产生的图像噪声问题,借助高斯函数对图像像素进行平滑处理,去除图像当中的高频噪声干扰,保留操作人员目标对象的关键特征,防止噪声对后续的识别工作造成干扰。灰度化处理将彩色图像转换为灰度图像,减少图像的数据量,降低算法的运算复杂度,同时保留操作人员目标对象的轮廓形状与特征要点,为后续的特征提取工作奠定基础,采用加权平均方法实现彩色图像到灰度图像的转换。尺寸归一化处理将预处理之后的灰度图像调整为统一的尺寸规格,消除不同收集角度、不同收集距离产生的图像尺寸差异,保障后续算法处理操作的一致性,采用双线性插值方法对图像进行缩放处理,维持图像的清晰度与特征完整性。图像增强处理采用直方图均衡化算法,提升图像的对比度,突出操作人员目标对象与环境背景的差异,使操作人员的面部特征、肢体动作特征更加清晰,便于后续的特征提取工作与识别任务,通过调整图像像素的灰度分布,改善图像的视觉效果与识别效果。

4.2 操纵员目标检测与跟踪算法设计

目标检测算法选取轻量化卷积神经网络模型,该模型具有运算速率快、识别精准度高、参数量少等长处,契合实时监测体系的需要,能够迅速从预处理完毕的图像当中检测出操纵员目标,屏除主控室设备、墙壁等无关联目标。算法的核心构思为:借助卷积层提取图像的特征讯息,经由池化层降低特征图维度,缩减运算量,通过全连接层对特征信息实施分类与回归,确定操纵员目标的位置与类别,输出目标检测成果。目标跟踪算法运用卡尔曼滤波算法,联合目标检测成果,达成操纵员目标的实时跟踪。卡尔曼滤波算法通过预估操纵员目标的位置与运动状态,联合下一帧图像的检测成果,对目标位置进行校正,达成目标的持续跟踪,即便在操纵员细微移动、姿态改变的状况下,也能维持对目标的稳定跟踪,规避出现跟踪遗失的情形 [3]。

4.3 操纵员多状态识别算法设计

首先运用卷积神经网络提取操纵员的面部特征与肢体动作特征,面部特征涵盖眼部状态、面部表情等,肢体动作特征包含身体姿态、操作动作等;接着将提取到的特征信息

输入循环神经网络,捕捉序列图像里的时间关联特征,剖析操纵员状态的动态改变;最后通过全连接层与 softmax 分类器,对操纵员的状态进行分类,输出状态识别成效,区分正常状态与异常状态,并对异常状态进行细致划分。

针对疲劳状态识别,着重提取操纵员的眼部特征,通过剖析眼部闭合时长、眨眼频次等特征,判断是否处于疲劳状态;针对分心状态识别,着重提取操纵员的头部姿态与视线方向特征,剖析是否偏离操作区域、视线是否集中,判断是否处于分心状态;针对违规操作识别,着重提取操纵员的肢体动作特征,剖析是否存在未依照规范操作设备、擅自脱离岗位等行为,判断是否存在违规操作。

5 结语

本文以图像识别为依托针对主控室操纵员状态的实时监测开展探究,对相关基础理论及技术进行系统梳理,构思一套完整无缺的实时监测体系,对核心算法实施优化处理,达成操纵员目标的检测、追踪以及多状态的辨识,破解传统监测模式存在滞后性、干扰性突出、精准度较低等难题,给主控室操纵员的状态监测提供全新的技术途径。本文主要的研究成果涵盖:使主控室操纵员状态监测的核心需求和相关概念得以明晰,将图像识别技术与状态评估算法的核心理论进行梳理整合,为该项研究筑牢理论根基;设计具有分层架构的实时监测系统,完成硬件与软件的选型及搭建工作、开展软件模块的设计事宜,保障系统具备实时性、可靠性以及非干扰性;对图像预处理、目标检测与追踪、多状态辨识等核心算法予以优化,实现操纵员多状态的精确辨识。

参考文献

- [1] 黄金光;樊鹏飞;马国石;刘松言.数字化核电厂调峰操作中主控室操纵员认知行为与心理状态研究[J].中国设备工程.2026-01-15.170-172
- [2] 张力;刘雪阳;邹衍华;洪俊;吴斯扬.核电厂操纵员在操作任务持续快速变化下的认知行为特征[J].原子能科学技术,2019(11).41-46
- [3] 李鹏程;陈国华;张力;戴立操;蒋建军.核电厂操纵员人因失误影响因素分析[J].中国安全科学学报,2017(07).42-47