

青海某金矿安全监管视频 AI 智能系统建设

陈生凯^{1,2,3}, 明平田^{1,2,3}, 申 宁^{1,2,3}

(1. 青海省第六地质勘查院; 2. 都兰金辉矿业有限公司; 3. 青海省金矿资源开发工程技术研究中心)

摘要:智能矿山是数字矿山和综合自动化系统发展的延续,是建设绿色矿山、培育新质生产力、提升矿山企业核心竞争力、推动高质量发展的必经之路。当前趋势下,矿山企业积极融入矿山数字化转型和智能化变革,利用新质生产力提升矿山安全生产管理模式势在必行。通过深入分析青海某金矿开发现状、安全生产监管和数字化建设现状,以及安全监管视频 AI 智能系统建设的必要性,详细阐述安全监管视频 AI 智能系统主要搭建内容和采用的关键算法,以及试运行情况。实践证明,安全监管视频 AI 智能系统建设对提高矿山安全生产监管效率,保障人员生命安全,探索可视化、智慧化的远程安全管理模式具有指导意义。

关键词:智能矿山;新质生产力;安全监管;视频;AI;算法技术;矿山安全

中图分类号:TD679

文章编号:1001-1277(2025)01-0020-04

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250104

引 言

近年来,政府主管部门对矿山安全监管力度不断加强,传统安全监管手段与矿山企业高质量发展目标相差甚远,已无法满足实际需求。当前人工智能(AI)、大数据、云计算等技术深度融合,矿山安全监管方式不断革新^[1-3],为此亟须因地制宜培育发展新质生产力,推动 AI 与矿山安全生产融合发展,在生产、智能监控及智能管理上精准发力,提升安全监管水平和综合防治能力。为进一步推动青海某金矿落实安全生产主体责任^[4-5],实现安全监管智能化、远程化、高效化,开展了安全监管视频 AI 智能系统建设,以期智能化绿色矿山建设及培育发展新质生产力提供支撑。

1 矿山现状

1.1 矿山开发现状

青海某金矿生产能力为 90 万 t/a,开发范围内分为深水潭金矿和红旗沟金矿,采用地下开采方式进行开采。该金矿经过多年探索实践,成为“全国绿色高质量发展二十佳矿山”,已形成较为先进和完善的通信网络,移动网络实现全面覆盖,智能化矿山建设基础条件较好。

1.2 安全生产现状

该金矿开采安全设施、提升运输系统安全设施、井下防治水与排水系统安全设施、通风系统安全设

施、供配电安全设施、安全避险“六大系统”、采矿工业场地、炸药库、排土场等设施设备和个人安全防护设备均按照国家和行业标准规范要求配备。但是,随着矿山开采深度不断增加,井下各采区地压问题凸显,冒顶、片帮等安全事故风险增加,井下“三违”隐患时有发生,习惯性违章和重复性隐患依旧存在,现有安全生产技术力量对井下生产作业安全监管无法做到全覆盖。

1.3 数字化建设现状

1) 指挥调度平台。3 220 m 工业场地建有采运矿调度中心,调度总控室拼接大屏显示各子系统,实时监控各子系统运行状态,通过各子系统实现调度指挥功能,满足安全生产需求。

采运矿调度中心负责各子系统的协调工作,实现了实时监控、数据查询、警示通知、数据运算、数据存储等基础性功能。采运矿调度中心将“六大系统”^[6-11]和各种自动化系统、视频信号进行系统集成、统一管理,实现数据、语言、视频等多种数据的传输和处理,将矿山井下各生产子系统接入统一控制平台,实现多个子系统之间的数据融合和资源共享^[12-13],根据井下生产现场反馈到调度中心主控室的实时数据,统一进行生产调度指挥,能够及时排除安全隐患。

2) 井下工业以太环网。工业以太环网主干网采用 1 000 MB/s 光缆为主干传输网络。工业以太环网是各系统数据的传输通道^[10],可接入更多子网络,具

收稿日期:2024-10-18; 修回日期:2024-11-10

基金项目:四川省科技计划项目(2022YFQ0074);青海省重大灾害风险防控建设项目(青应急[2024]34号)

作者简介:陈生凯(1993—),男,助理工程师,从事金属地下矿山开采、中深孔爆破管理、矿山安全生产管理等工作;E-mail:2768661013@qq.com

有冗余功能,传输数据量大,受环境干扰小,安全性好,能更加体现出异构网特征^[3],满足矿山一定时期内对信息系统、管理系统、生产控制系统、智能化建设的基本要求^[4]。

3) 监测监控系统。通风监测系统:该系统由传感器通过信号线连接到监测分站,监测主站通过网口连接到矿用交换机,再传到主机上,由监测软件接收,实现 CO、NO₂、风速、风机开停等环境参数监测,并对异常数据实时声光报警,实现图形、列表多种形式数据实时监测显示。视频监控系统:该系统由摄像探头通过矿用视频线连接到视频分站,视频分站通过光纤传到主机上,由视频监控软件接收,实时显示在采运矿调度中心总控室大屏幕中。通信联络系统:交换机通过工业以太环网与井下通信分站相连^[10],通信分站利用通信线缆连接到井下各处的矿用电话,调度控制台与交换机相连,实现基于光纤有线通讯系统的调度功能。

4) 人员定位系统。入井人员配备矿用定位识别卡,在信号覆盖区域内,可在调度中心监控电视墙看到入井人员实时所在位置,具有实时掌握井下人员分布情况、井下人员活动轨迹跟踪、井下工作人员考勤、信息存储和历史数据回放、井下人员突发情况报警、井外人员发出报警信息等功能。

5) 应急广播系统。在井下各采区生产作业水平联络巷道口设置应急广播,可实现语音通话、语音传输及任意呼叫和分组呼叫功能,同时具有电话自动接听与呼叫功能,并实时监测广播运行状态和故障信息。

2 建设必要性

《煤矿及重点非煤矿山重大灾害风险防控建设工作总体方案》《非煤矿山安全监管监察信息化总体规划(2022—2024 年)》,对非煤矿山提升预警监测能力提出了明确要求^[14]。根据《青海省绿色矿山建设实施方案》《海西州绿色矿山建设标准》,结合企业建设智能化矿山、培育绿色生产力发展规划,改进矿山安全生产监管监察方式方法,拓展“远程互联网+AI 智能化+安全生产监管”新型模式,进一步夯实矿山安全基础,促进安全管理水平大幅提升,安全监管视频 AI 智能系统建设具有必要性和紧迫性。

3 系统设计与建设内容

3.1 矿山 4G 网络信号基站架设

在井下各中段水平巷道架设分体式分站^[7],地表工业场地架设 4G 网络信号基站,基站通过光缆将信号传输到核心网,提供多种接口功能的接入终端,

实现多业务集中统一接入及数据实时传输,并保障设备工况数据有线传输备份^[10],操作简单,运行稳定,可远程维护^[9]。

3.2 监管探头安装

在井下生产中段入口、主运输巷道、矿石溜井、供水水仓、变电硐室、斜坡道拐角、排土场等重要位置安装 44 部辅助监管摄像探头,实现有效捕捉下井人员是否按要求佩戴自救器、安全帽、防毒口罩等情况,对着装异常、井下抽烟、作业跌倒、陌生人、车辆超速等场景也能有效识别,为安全监管视频 AI 智能系统建设提供原始基础数据。

3.3 关键识别算法技术

1) 卷积神经网络技术。该技术在目标检测等领域的应用愈发广泛,通常由输入层、卷积层、激活层、池化层和输出层组成。卷积神经网络与普通神经网络的区别在于卷积神经网络包含一个由卷积层和子采样层构成的特征抽取器^[15-17]。卷积层和池化层结构能够有效保留数据的局部关系,减少模型参数和数据量^[18-23]。卷积层提取特征,而池化层将特征进行压缩^[24],减少计算量,保证了系统的稳定性。卷积神经网络技术具有神经网络学习能力、抗干扰能力较强等特点。

2) 图像目标检测跟踪技术。该技术通过增加层间融合等操作,使系统深度学习目标检测算法,对目标人脸图像尺寸适应性更强,检测结果更精确。为了实现模型高效训练,支持更多类别的目标图像检测,在算法中添加代价函数融合检测和多目标分类技术^[6],在复杂场景检测率较低的情况下大幅度降低跟踪过程中的轨迹丢失、轨迹交叉关联等情况。

3) 陌生人识别技术。利用计算机图像分析、模型理论、人工智能识别技术的非接触性高端模式识别技术^[1],可实现在井下各个生产作业场地中检测识别出特定人像信息,与数据库中储存的数据进行分析比对,同时采用特征跟踪与多目标位置跟踪相结合的手段,大大降低因人像姿态变化造成的误识别,实现算法识别准确度高达 95 % 以上。

3.4 AI 视频分析系统

整个系统主要由 AI 视频分析系统、综合管理平台组成。AI 视频分析系统负责视频采样分析、得出告警结果并上报综合管理平台,综合管理平台接收视频分析系统的告警并进行流程处理,同时支持网络端数据管理。

AI 视频分析系统主要采用多任务级联卷积神经网络(MTCNN)人脸检测和人脸对齐多任务架构,总体依次分为 P-Net、R-Net 和 O-Net 3 层逐级网络结构,前者的输出作为后者的输入。候选网络 P-Net

用于输出人脸候选区域,输出包含分类结果、检测到的人脸框及定位到的面部特征点位置 3 个部分。精炼网络 R-Net 在 P-Net 网络的基础上增加了全链接层,其拟合的结果更精确,主要作用是对 P-Net 的结果进行校正,消除其中的误判^[25-26]。输出网络 O-Net 比 R-Net 网络多一个卷积层,输入的尺寸、宽度和深度更大,使最终输出结果更加精确^[19]。

为了适应不同大小的人像并进行预期检测,首先,将检测人脸图像进行处理,生成图像金字塔,输入到 P-Net 网络获取一系列候选框结果后,进行边框回归调整窗口,并通过分类置信度和非极大值抑制算法(NMS)筛选过滤出人脸候选框^[15],P-Net 网络架构见图 1。其次,R-Net 网络对上步输入的人脸候选框进行严格筛选,计算人脸框回归向量筛选出置信度较高的一批结果,并用 NMS 剔除重复、减少候选窗口,R-Net 网络架构见图 2。最后,O-Net 网络对人的面部特征点进行回归数据处理和 NMS 过滤后,输出最终预测的人脸图像和面部特征点位置,O-Net 网络架构见图 3。

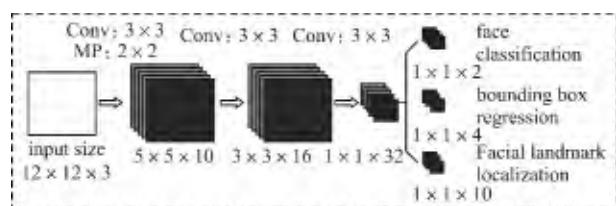


图 1 P-Net 网络架构

Fig. 1 Network architecture of P-Net

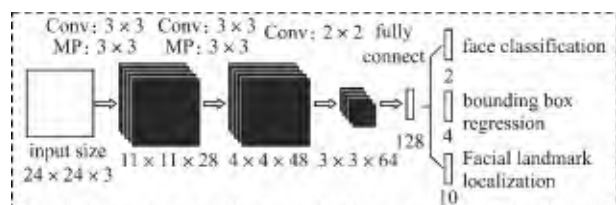


图 2 R-Net 网络架构

Fig. 2 Network architecture of R-Net

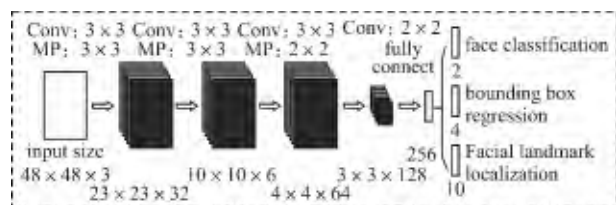


图 3 O-Net 网络架构

Fig. 3 Network architecture of O-Net

安全监管视频 AI 智能系统能够实现对摄像探头巡检,分组配置,视频流获取,算法配置,告警上传,本地图片/短视频存储,特征文件下载更新,上传本地服务器 CPU、GPU、内存、硬盘的消耗情况等核心数据,关键算法运行稳定^[9]。

3.5 综合管理平台

综合管理平台将对不同类别信息提供不同流程化处理方式和处理进度控制^[1],并在处理完成后对不同信息进行归档,未完成流程化的告警信息保持在未处理事务池中,对每个告警信息都能高效、不遗漏地处理。综合管理平台支持权限分级^[1],可实现在网络端对告警信息设置、处理流程设置、对系统操作人员的不同角色进行权限控制,实现矿山生产现场业务全流程、全方位安全监管^[23],促进全员参与安全生产工作。综合管理平台架构见图 4。

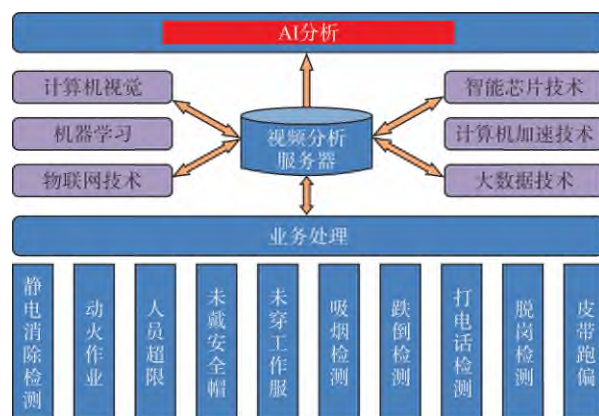


图 4 综合管理平台架构图

Fig. 4 Architecture diagram of the integrated management platform

4 试运行效果

安全监管视频 AI 智能系统的高清摄像探头实现了对移动、固定目标的识别和异常状况的检测。其凭借强大的工作流程设计^[2]和 AI 算法自动加载能力^[12],实现了陌生人闯入检测、未戴矿灯检测、未戴自救器检测、未戴安全帽检测、未戴防毒口罩检测、抽烟检测、跌倒检测、车辆超速检测等 16 种事件的算法检测;通过对人脸进行特征提取和比对,准确捕捉表情和动作,实现对人脸的快速检测和定位,智能识别各项违规行为。该系统在试运行过程中,通过多次现场检查与技术分析,合理调整摄像探头高度和焦距,改善摄像探头附近照明条件,优化处理数据算法的方式,有效提升了安全监管视频 AI 智能系统在复杂环境中识别的准确性,有效识别率由初期的 75 % 提升至 95 %。系统具有持续优化和学习能力,通过不断更新模型和算法,实现更精准的识别。安全监管视频 AI 智能系统加载运行图见图 5。

在试运行期间,安全监管视频 AI 智能系统基本满足实时监控监测、实时视频调阅、报警管理、联网信息管理、历史信息分析导出等主管部门安全监管条件需求。同时,该系统可全天候主动感知不安全因素,提前对危险情况进行预判和报警,为安全生产管理提



图 5 安全监管视频 AI 智能系统加载运行图

Fig. 5 Loading and running interface of AI-based intelligent system for safety supervision video

供了更加精准的定位和定性,并整合各个物联网信息单元,实现对安全事故隐患早知道、早处理、早解决,将隐患消灭在萌芽状态。

5 结 语

作为青海省内首个安全监管视频 AI 智能系统的黄金矿山,既对同类矿山视频智能化建设具有借鉴意义,也为企业“十型矿山”高质量发展赋能。在试运行过程中,该系统多维度、多角度视频识别、分析统计,及时发现、预警安全事故隐患,进一步提升了企业安全生产管理水平,减少了安全生产事故发生,降低了安全管理压力和人力资源成本。安全监管视频 AI 智能系统是推动智慧矿山建设、绿色矿山建设,以及培育发展新质生产力、助力高质量发展的有效探索。

【参 考 文 献】

- [1] 井朝喜,刘文玉,柯晓天,等.数字孪生智能矿山管控平台及智能洗选管控平台建设[J].煤矿现代化,2024,33(2):55-58,63.
- [2] 张珂.智能矿山一体化管控平台研究及应用[J].煤矿机电,2023,44(5):68-71.
- [3] 余洋,张申.智能矿山基础平台建设及其发展趋势[J].工矿自动化,2023,49(9):13-22,121.
- [4] 连民杰,湛景震,周文略.六维矿山建设探讨[J].中国矿业,2023,32(10):21-31.
- [5] 沈铭华,马昆,杨洋,等.AI智能视频识别技术在煤矿智慧矿山中的应用[J].煤炭工程,2023,55(4):92-97.
- [6] 王海军,曹云,王洪磊.煤矿智能化关键技术研究与实践[J].煤田地质与勘探,2023,51(1):44-54.
- [7] 刘晔,王云珠.5G+智能矿山的山西实践[J].科技创新与生产力,2022(1):1-3.
- [8] 张鹏.AI技术在智能矿山建设中的应用探讨[J].工矿自动化,2023,49(增刊1):21-25.
- [9] 樊荣,徐青云.工业物联网背景下智慧矿山建设现状及关键技术探讨[J].煤,2022,31(9):25-29.
- [10] 徐鹏.物联网在智能矿山建设中的应用研究[J].煤炭技术,

2021,40(6):202-204.

- [11] 吴耀昕,杜国军.西部矿业锡铁山智能矿山建设实践及探讨[J].现代矿业,2023,39(6):1-4,9.
- [12] 张建中,郭军.智慧矿山工业互联网技术架构探讨[J].煤炭科学技术,2022,50(5):238-246.
- [13] 郝跃.智能矿山大数据关键技术与发展研究[J].世界有色金属,2022(4):15-17.
- [14] 贺耀宜,高文,杨耀,等.智能矿山多元监控信息融合与联动研究[J].工矿自动化,2022,48(11):11-19.
- [15] 黄琳,蒋为,杨铁军.基于Caffe框架的人脸定位与识别系统的设计[J].计算机时代,2019(6):56-58,62.
- [16] 赵洋,许军.基于MobileNetV2与树莓派的人脸识别系统[J].计算机系统应用,2021(8):67-72.
- [17] 任浩,李丽,卢世博,等.基于深度学习的复杂自然环境下桑树枝干识别方法[J].中国农机化学报,2023,44(2):182-188.
- [18] 李玉玲,王祥仲.基于卷积神经网络的人脸识别在开放机房的应用[J].物联网技术,2020,10(6):9-13.
- [19] 王建霞,陈慧萍,李佳泽,等.基于多特征融合卷积神经网络的人脸表情识别[J].河北科技大学学报,2019,40(6):540-547.
- [20] 田瑞娟,薛云波,金丰护,等.基于多路双光模组的智能识别预警摄像机[J].兵工自动化,2020,40(4):21-22,34.
- [21] 申宁,杨德明,李帆,等.青海高原某金矿绿色矿山建设探索与实践[J].黄金,2024,45(6):96-100.
- [22] 吕慧.黄金矿山高质量发展模式探析——以内蒙古太平矿业有限公司为例[J].黄金,2024,45(8):68-71.
- [23] 王润年,刘留,朱世彬,等.渣场冷场智能巡检系统的研制及应用[J].黄金,2024,45(10):76-79.
- [24] 林雨淮,刘智,王淑香,等.基于卷积神经网络的光学遥感影像道路提取方法研究进展[J].吉林大学学报(地球科学版),2024,54(3):1 068-1 080.
- [25] 刘培勇,董洁,谢罗峰,等.基于多支路卷积神经网络的磁瓦表面缺陷检测算法[J].吉林大学学报(工学版),2023,53(5):1 449-1 457.
- [26] 董旭日,冯恒,刘财,等.基于DAS信号和CNN分类算法的人员运动轨迹监测方法[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(3):1 004-1 015.

(下转第 36 页)