

煤矿井下 AI 智能视频监控系统对人员违章行为的识别效果分析

龙 鹏

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】：煤矿井下的安全管理一直是煤矿生产中的关键问题，传统的监控手段存在效率低、响应慢等缺点。AI 智能视频监控系统的引入，利用深度学习和计算机视觉技术，能够自动识别矿工的违章行为，并实时发出警报，极大提高了煤矿安全管理的智能化水平。通过对多种违章行为的识别效果进行实验分析，系统在不同环境下展现了较高的识别精度和实时性。研究表明，AI 智能视频监控系统能有效减少违章行为的发生，提高煤矿井下作业的安全性。

【关键词】：煤矿安全；AI 智能视频监控；违章行为识别；深度学习；视频分析

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.046

引言

煤矿开采技术的不断进步，井下安全问题逐渐成为影响煤矿生产的关键因素。传统的人工巡检方式在面临复杂的井下环境时，往往存在效率低下和监控盲区，给安全生产带来了隐患。近年来，人工智能技术的迅猛发展为煤矿安全管理提供了新的解决方案。通过集成 AI 智能视频监控系统，能够实时监控井下作业情况，自动识别和预警违章行为。此类系统不仅提高了安全检查的效率，还大大降低了人为干预的可能性，成为煤矿企业实现智能化、精细化安全管理的重要工具。

1 AI 智能视频监控系统在煤矿安全管理中的应用

1.1 AI 技术概述及其在安全领域的应用

AI 技术主要依托深度学习和计算机视觉的突破，实现对视频图像的实时分析与处理。在安全领域，尤其是煤矿安全管理中，AI 能够通过智能视频监控系统识别人员行为，判断是否符合安全操作规范。利用机器学习，AI 可以逐渐适应并识别不同类型的违章行为，包括不戴安全帽、乱丢物品、进入危险区域等。系统通过训练大量的行为数据，不仅可以提高违章行为识别的精度，还能减少误判率，确保井下作业的安全性。

1.2 煤矿安全管理的现状与挑战

煤矿井下作业环境复杂、人员密集，传统的安全管理方式难以应对多变的现场情况。当前，大部分煤矿依赖人工巡检和手动监测，存在一定的盲区，难以及时发现违章行为。作业人员在工作中由于环境恶劣、信息传递不畅，易发生疏忽，导致安全事故频发^[1]。尽管有些矿山已引入了自动化设备，但由于缺乏精准的违章行为识别与实时响应机制，安全管理的效果依然不理想。特别是在深层矿井作业中，人工检查成本高、效率低，且对紧急情况的处理不够及时。因此，如何在提高监控精度与效率的同时，确保系统的稳定性与可靠性，成为煤矿安全管理的主要挑战。

1.3 视频监控系统的优势与局限性

视频监控系统在煤矿安全管理中具有显著的优势，主要体现在实时性和高效性上。AI 智能视频监控系统能够 24 小时不

间断监控井下环境，实时发现并处理违章行为，避免了人工巡检中可能出现的漏检和迟滞问题。系统通过高精度的图像分析，能够准确识别出多种危险行为，如人员疏忽、设备故障等，及时发出警报，从而有效预防事故发生。视频监控系统也存在一定局限性。由于煤矿井下环境复杂，摄像头的视野和清晰度可能受到空间限制，尤其是在恶劣的光照和粉尘环境中，视频图像质量可能会受到影响，影响系统的识别精度。系统对于非常规违章行为的识别能力仍有待提高。

2 违章行为识别的关键技术与算法

2.1 深度学习在行为识别中的应用

深度学习在行为识别中的应用，依托其强大的特征提取能力，能够从海量视频数据中自动学习并提取特征信息。在煤矿安全监控中，深度学习算法通过对视频帧的逐层特征分析，识别出人物的姿势、动作和行为。卷积神经网络（CNN）在图像和视频数据处理中的应用，使得系统能够高效地从复杂的环境中捕捉到矿工的违章行为，如不佩戴安全装备、进入危险区域等。结合循环神经网络（RNN）和长短期记忆（LSTM）网络，可以进一步加强对时间序列数据的处理能力，从而准确判断行为的时序性和紧急性。通过不断优化深度神经网络的训练方法，AI 系统不仅能够识别常见的违章行为，还能有效适应井下环境的多变性，提高识别的实时性和精度。

2.2 视频分析技术的创新与发展

视频分析技术经历了从简单的运动检测到复杂行为理解的转变。在煤矿安全监控领域，视频分析技术的发展着重于图像识别与目标跟踪的结合，尤其是在动态环境下的表现。随着计算机视觉技术的不断创新，目标检测和行为识别逐渐从传统的基于特征的方法过渡到深度学习驱动的高效模型^[2]。这些技术在实时视频流中能够精确捕捉到矿工的活动轨迹，并判断其是否符合安全作业要求。近年来，基于图像分割的深度学习方法，尤其是语义分割，能够在复杂背景下分离出矿工及其周围环境的细节，提高了对细小行为的识别能力。与此同时，多摄像头协作的策略也得到应用，通过不同视角的融合增强了系统

的鲁棒性,进一步推动了视频分析技术在煤矿安全管理中的精准应用。

2.3 识别算法的优化与准确性提升

识别算法的优化主要体现在提高系统的精度和处理效率上。传统的视频行为识别算法往往依赖于手工设计的特征,容易受到环境变化、光照影响等因素的干扰,导致识别效果不稳定。随着深度学习技术的引入,基于端到端训练的算法能够自动从数据中学习最优特征,大幅度提升识别精度。为了应对煤矿井下复杂环境,算法优化不仅注重准确性,还要考虑到计算资源的限制。在大规模数据处理时,通过采用轻量级模型和网络剪枝技术,可以在保证高精度的同时,降低计算复杂度,提升实时处理能力。针对误判和漏判问题,算法的改进还包括多任务学习和多尺度检测的应用,使得系统可以在不同情况下对违章行为进行更全面的识别,进一步提升了系统在复杂环境下的适应能力和准确性。

3 煤矿井下 AI 智能视频监控系统的实验设计

3.1 实验环境与数据采集

实验环境的设计是确保 AI 智能视频监控系统可靠性和稳定性的重要基础。在煤矿井下,环境因素如低光照、尘土飞扬以及空间局限性,都会对视频监控系统的效果产生影响。为了模拟真实井下环境,实验采用了具备高分辨率的红外摄像头和标准高清摄像设备,配置多个摄像头覆盖不同的矿井区域,包括矿道、工作面、设备旁等关键位置。数据采集过程中,摄像头通过自动对焦和动态调节的功能,适应不同的环境光变化,确保图像清晰。矿工的日常操作和潜在违章行为被记录,并作为训练数据进行标注。采集的数据包括矿工的動作轨迹、设备状态以及实时环境的变化,通过高效的数据存储系统进行归档,为后续的模型训练和评估提供数据支持。同时,视频数据不仅包括正常工作状态,还涵盖了不同情境下的违规行为,如不戴安全帽、擅自进入危险区域等,确保实验数据的多样性和代表性。

3.2 实验方法与指标设置

实验方法主要依赖于深度学习模型的训练与验证,结合目标检测和行为识别技术,全面评估 AI 智能视频监控系统的效能。为了测试系统的实际表现,设定了多个评估指标,包括准确率、召回率、F1 值、误报率和漏报率。准确率用于衡量系统对正常与违章行为的正确分类能力;召回率评估系统对所有违章行为的检测能力;F1 值则综合了准确率和召回率,评估整体识别性能^[3]。实验设计中,视频数据被分为训练集、验证集和测试集,通过不同的数据集进行模型的训练、参数调优及测试。训练过程采用迁移学习的方法,基于预训练模型进行微调,以适应煤矿井下特有的环境。为确保模型的泛化能力和鲁棒性,实验中还加入了噪声数据和环境变化模拟,测试系统在复杂、

动态环境中的适应性。

3.3 实验结果与分析

实验结果表明, AI 智能视频监控系统在煤矿井下的应用取得了较为理想的效果。在准确率方面,系统能够准确识别出绝大多数的违章行为,如矿工未戴安全帽、擅自进入危险区域等,识别精度高。通过与人工监控对比,系统明显提高了对违章行为的实时反应能力,有效减少了人为疏忽的发生。召回率和 F1 值的评估结果也表明,系统在高密度、复杂环境下的识别性能较为稳定,误报率和漏报率均得到了有效控制。特别是在不同光照和遮挡条件下,系统依然能够较好地识别出矿工的行为,表明模型对环境变化具有较强的鲁棒性。实验还发现,尽管系统在大多数情况下能够正确识别行为,但在极端情况下,如大规模人员密集或快速移动的环境中,系统的表现略有下降。针对这一问题,后续实验将重点研究模型的优化方向,如增强数据集的多样性和丰富性,进一步提高系统的稳定性和精度。

4 AI 智能视频监控系统的识别效果评估

4.1 识别精度与实时性分析

AI 智能视频监控系统的识别精度是评价其性能的关键指标。系统通过深度学习模型对煤矿井下人员的行为进行监测与分析,能够精确识别出违章行为。实验结果显示,系统在大多数常见违章行为识别上的精度较高,尤其是在监测不佩戴安全帽、进入禁区等明显违章行为时,准确度可达到较为理想的水平。实时性是另一个重要评估维度,尤其在煤矿这种高风险环境中,及时预警对事故的预防至关重要。通过优化算法和硬件支持,系统可以在数秒内完成图像处理和行为判断,并发出警报,确保矿工的行为得到实时监控和干预。实时数据传输和处理能力使得 AI 智能视频监控系统能适应矿井中的动态变化,进一步提高了其在复杂环境下的应用价值。

4.2 系统稳定性与可行性探讨

系统的稳定性直接影响到其在实际煤矿环境中的应用效果。针对煤矿井下特殊的作业环境, AI 智能视频监控系统在设计时考虑了高温、湿气、灰尘等因素的影响。通过对多种环境变量的测试,系统在长时间运行过程中保持了较高的稳定性,未出现频繁的故障或性能下降^[4]。在硬件层面,采用了耐高温、抗干扰的传感器和摄像头,确保了在极端环境下的可靠运行。在软件层面,系统对各种异常情况进行预设,能够自动调整识别策略,避免误报警。可行性方面,系统的硬件和软件配置相对较低成本,适应了煤矿安全管理的经济需求。通过模块化的设计,系统便于升级和维护,为长期的应用和扩展提供了保障。

4.3 对矿井安全生产的影响

AI 智能视频监控系统的引入在煤矿安全生产中产生了积极影响。通过智能识别违章行为并实时预警,系统有效减少了人为操作失误和盲点,降低了事故发生的风险。在矿工作业过

程中, 违章行为的及时识别和干预为矿井生产提供了更加安全的作业环境。系统不仅提升了事故的早期预警能力, 还帮助管理人员实时掌握井下作业情况, 从而做出及时有效的安全决策。系统的自动化监控功能减少了对人工巡查的依赖, 减轻了矿山安全监管的工作负担, 提升了整体安全管理水平。通过系统数据的长期积累, 矿山企业能够更清晰地了解违章行为的发生规律, 优化安全管理策略, 进一步提高矿井的生产效率和安全性。

5 智能视频监控系统的未来发展方向

5.1 技术发展趋势与挑战

人工智能技术的快速进步, 智能视频监控系统的技术发展趋势愈加清晰。深度学习、边缘计算和 5G 通信等技术的融合, 将大大提升系统的实时性和处理能力。边缘计算的引入将使得数据处理不再依赖中心服务器, 减少延迟并提高系统响应速度。在未来, 随着视频监控技术的不断演化, 系统将能够识别更加复杂的违章行为, 并实现更高层次的自动化监控。面对煤矿井下复杂环境的挑战, 如何克服低光照、粉尘干扰等因素仍是技术发展的难题。针对这些问题, 未来的技术需更加注重硬件的抗干扰能力和算法的鲁棒性, 以适应更加严苛的工作条件。

5.2 系统优化与创新

在智能视频监控系统的未来发展中, 算法的优化和硬件的创新将是关键。为了提高识别的准确性和效率, 深度学习算法将继续得到优化, 通过引入更为先进的神经网络架构和训练方

法, 提升对矿井复杂行为的识别能力^[5]。针对视频监控中的盲区问题, 未来的系统将采用更加智能的多摄像头协同工作模式, 通过多视角数据融合, 进一步提升系统的全方位监控能力。硬件方面, AI 芯片的专用加速将极大地提高图像处理速度, 为实时监控提供技术支持。在网络基础设施方面, 5G 的应用将使得视频数据传输更加稳定且迅速, 确保系统在高负荷下依然保持良好的性能。

5.3 智能安全管理的前景与应用

智能视频监控系统在煤矿安全管理中的前景广阔, 随着技术的不断发展, 系统的应用场景将不仅仅局限于违章行为识别。未来, 系统将与其他智能安全管理技术深度结合, 实现矿井全生命周期的智能监控和管理。通过大数据和云计算技术, 系统将能够根据历史数据进行趋势预测, 提前预警潜在的安全风险。人工智能与物联网 (IoT) 的结合, 将使得设备故障和人员健康状况的监测更加精确, 进一步加强矿井的安全管理。随着系统的普及, 矿山企业将能够实现从人工巡查到全自动化管理的转变, 大大提高安全性和生产效率。

6 结语

智能视频监控系统在煤矿安全管理中的应用展现了巨大的潜力。AI 技术的不断发展和算法的优化, 推动了系统识别精度和实时性的提升, 使得矿井作业更加安全、精准。未来, 随着技术的不断创新, 智能监控将更好地适应复杂环境, 进一步提升矿井的安全管理水平。智能安全管理体系的构建, 将为煤矿生产提供强有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 程德强,王崇景,朱凯,郝大帅,寇旗旗.煤矿安全隐患 AI 视频智能辅助监管监察技术研发与应用[J].智能矿山,2025,6(2):59-63.
- [2] 荆曦,吴建波.基于船舶 AI 智能识别视频监控系统的船员安全管理研究[J].中国水运,2025(22):34-36.
- [3] 程德强,钱建生,郭星歌,寇旗旗,徐飞翔,顾军,高亚超,赵金升.煤矿安全生产视频 AI 识别关键技术研究综述[J].煤炭科学技术,2023,51(2):349-365.
- [4] 杨佳鑫,吴瑞清.煤矿 AI 视频智能辅助安全决策系统建设与应用分析[J].中国设备工程,2025(13):52-54.
- [5] 张建红,闫婷.AI 视频智能监控系统在煤矿安全管理中的应用[J].中国科技期刊数据库工业 A,2024(5):0136-0139.