

中文引用格式:孙国思,马鹏飞,王威淳,等.基于YOLOv8算法的露天煤矿大型工程车辆识别与闯入安全预警[J].中国安全科学学报,2024,34(增1):191-198.

英文引用格式:SUN Guosi, MA Pengfei, WANG Weichun, et al. Identification and intrusion early warning of large-scale engineering vehicles in opencast coal mines based on YOLOv8 algorithm[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(S1):191-198.

基于YOLOv8算法的露天煤矿大型工程车辆 识别与闯入安全预警*

孙国思 工程师, 马鹏飞 工程师, 王威淳 工程师, 郜普浩 工程师, 朱健伟 工程师
(国家能源集团 宝日希勒能源有限公司露天煤矿, 内蒙古 呼伦贝尔 021008)

中图分类号:X924.3

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.S1.0032

【摘要】 为了保障矿工安全、保护设备及提高生产效率,提出基于多传感器信息融合的露天煤矿大型工程车辆识别与闯入预警技术。首先,在整体技术架构和实现方法设计的基础上,提出基于YOLOv8的工程车辆识别与检测方法;然后,在露天煤矿现场搭建检测软硬件平台,通过现场拍摄、网络搜集共计6300张样本数据集,测试基于YOLOv8的工程车辆识别与检测方法的识别精度。结果表明:文中所提出的基于YOLOv8工程车辆检测模型,可以快速准确地识别露天煤矿作业现场内出现的多个车辆目标,检测准确率在0.85以上,漏检率较低,而且,能够识别不完整的车辆图像。提出的工程车辆识别与闯入预警系统,可为工作中的设备提供来车识别与预警提示,有助于预防安全事故的发生。

【关键词】 YOLOv8; 露天煤矿; 大型工程车辆; 目标识别; 闯入安全预警

Identification and intrusion early warning of large-scale engineering vehicles in opencast coal mines based on YOLOv8 algorithm

SUN Guosi, MA Pengfei, WANG Weichun, GAO Puhao, ZHU Jianwei
(Open-pit Coal Mine of Baori Shiller Energy Co., Ltd., National Energy Group,
Hulunbuir Inner Mongolia 021008, China)

Abstract: To ensure the safety of miners, protect equipment, and improve production efficiency, the identification and intrusion early warning technology of large-scale engineering vehicles in opencast coal mines based on multi-sensor information fusion was studied. Firstly, based on the overall technical framework and implementation method, the identification and detection method of engineering vehicles based on YOLOv8 was proposed. The software and hardware platform for detection was built in the opencast coal mine, and the identification accuracy of the engineering vehicle identification and detection method based on YOLOv8 was tested through a total of 6300 sample datasets from on-site shooting and networks. The results show that the engineering vehicle detection model based on YOLOv8 can quickly and accurately identify multiple vehicle targets in the opencast coal mine, and the detection accuracy is more than 0.85, with a low missed detection rate. In addition, the incomplete vehicle image can be recognized. The engineering vehicle identification and intrusion early warning system studied in this paper provides vehicle

identification and early warning hints for the working equipment to avoid safety accidents.

Keywords: YOLOv8; opencast coal mine; large-scale engineering vehicle; target identification; intrusion early warning

0 引言

近年来,人们对煤矿安全性的要求越来越高^[1-3]。在露天煤矿作业中,大型工程车辆体积庞大、视野盲区多、制动速度慢,对人员或其他设备的安全构成威胁^[4-5]。因此,需要及时识别这些设备并实施预警,以避免人员与设备之间的意外碰撞,减少事故的发生。

学者们针对工程车辆识别开展了诸多研究,吴逸等^[6]基于改进梯度方向直方图,提出支持向量机(Support Vector Machine, SVM)算法,识别工程车辆图像,该算法对车辆的识别率达到 92%。刘艺超等^[7]提出一种基于 YOLOv5 的目标图像检测算法,实现了生产车间人与设备不安全行为的检测。李一获^[8]设计了一种工程车辆的智能识别系统,实现了对施工场景中多种工程车的目标检测。康燕仁^[9]研究了基于雷达测距的工程车位置检测和防碰撞系统。黄俊洁^[10]研究了基于图像识别的施工场景下的工程车辆检测方法。秦景振^[11]将 4GTD-LTE 通信技术应用到露天煤矿车辆的安全监管中。

当前研究,还鲜有针对露天煤矿大型工程车辆识别与闯入预警系统的研究,因此,文中拟提出基

于 YOLOv8 的工程车辆识别与检测方法,并进行验证,以期为露天煤矿大型工程车辆识别与闯入预警提供参考。

1 大型工程车辆闯入预警总体方案

提出露天煤矿大型工程车辆识别与闯入预警系统架构,如图 1 所示。系统检测目标为 7 类露天煤矿常用工程车辆,包括挖掘机、装载机、自卸卡车、移动式起重机、压路机、推土机、平地机。通过分布在主要生产区域的全天候全天时高清补光成像数字相机实现对生产区域的实时图像拍摄。拍摄的图像传送到智能目标检测硬件系统中,嵌入在智能目标检测硬件系统中基于深度学习的 YOLO 目标检测算法实现对 7 类露天煤矿常用工程车辆的目标识别,通过数据通信网络将检测结果和现场监控画面传输到地面集控中心和各个监控终端。主要生产区域的全天候全天时高清监控画面如图 2 所示。在监控画面中可以对进入车辆进行实时识别,将识别结果传输到主要生产区域的各个设备终端,以提醒现场设备有车进入,做好安全保护措施^[12]。

该系统需要依托高传输效率、高可靠性的通信网络,文中以宝日希勒露天煤矿为例开展分析。该露天

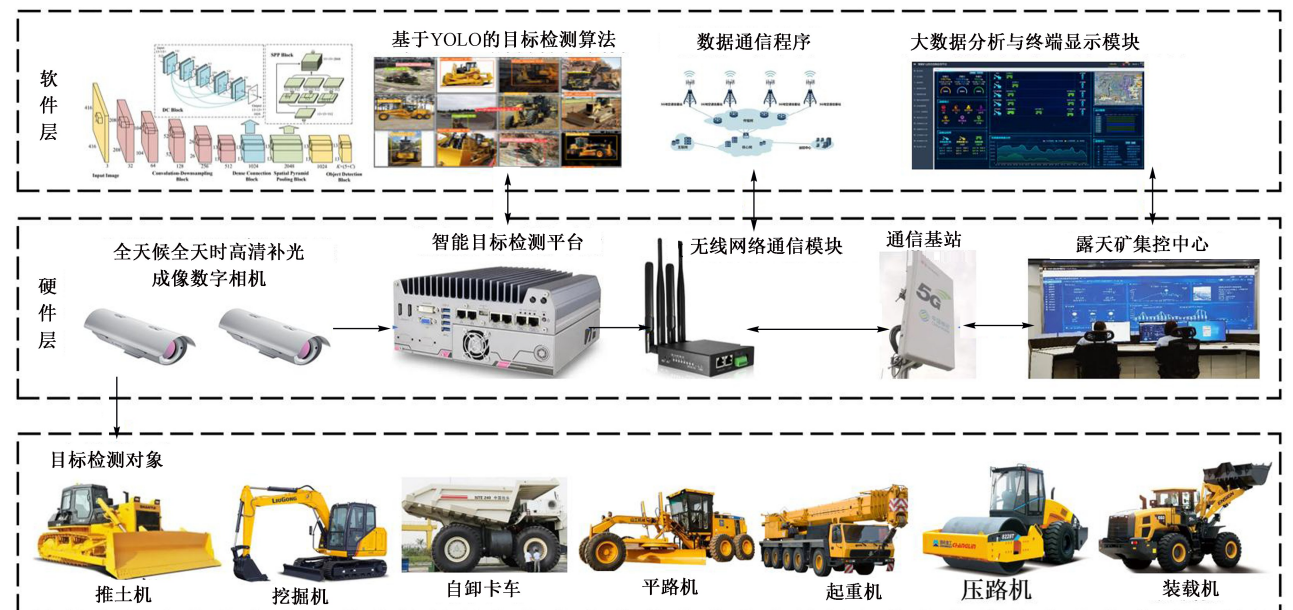


图 1 露天煤矿大型工程车辆识别与闯入预警系统架构

Fig.1 Framework of identification and intrusion early warning system of large-scale engineering vehicles in opencast coal mine

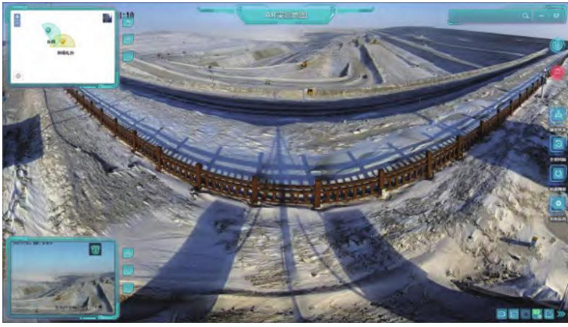


图 2 主要生产区域现场监控画面

Fig.2 On-site monitoring screen of main production area

煤矿实现了先进的 SA 独立组网模式,实现了 5G 网络、4G 网络和无线访问接入点 (Wireless Access Point, AP) 网络三网建设,对生产中心区域全网络覆盖,基于此网络实现监控数据的上传,通过上传数据实现生产区域设备、人员的安全监控和管理^[13-14]。网络覆盖区域如图 3 所示。

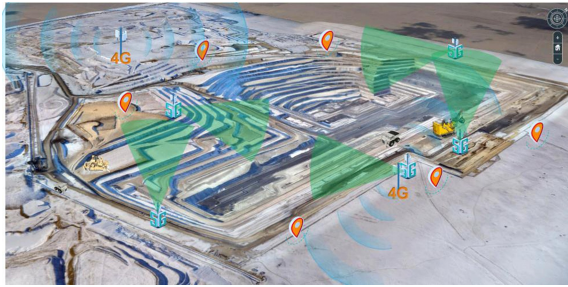


图 3 生产中心区域网络覆盖情况

Fig.3 Regional network coverage of production center

2 基于 YOLOv8 的工程车辆检测方法

采用 YOLOv8 算法实现对露天煤矿大型工程车辆的目标检测。YOLOv8 由输入端 Input 层、主干网络模块 Backbone 层、特征融合 Neck 层和输出端 Head 层组成整体架构^[15-17]。

基于 YOLOv8 的露天煤矿大型工程车辆的目标检测架构如图 4 所示。

首先,通过输入端 Input 层,将准备检测的工程车辆图像输入到整个网络中;然后,由主干网络模块 Backbone 层对工程车辆的图像进行特征提取,并将提取得到的特征输入到特征融合 Neck 层中,Neck 层对特征进行池化和特征融合;最后,将工程车辆的检测结果通过输出端 Head 层输出^[18-19]。

由于工程车辆图像的目标像素在拍摄图像中占比不均衡,可能会导致检测模型训练过程中的正负样本数目随之不均衡。为解决样本不均衡的问题,使用 Focal Loss (FL) 损失函数进行分类误差

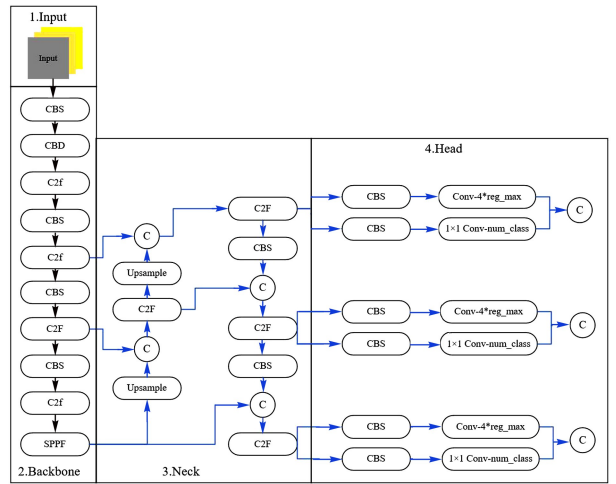


图 4 YOLOv8 网络框架

Fig.4 YOLOv8 network framework

的计算:

$$FL(p_i) = -\alpha_i(1 - p_i)^\eta \lg p_i \quad (1)$$

$$\alpha_i = \begin{cases} \alpha, & y = 1 \\ 1 - \alpha, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$p_i = \begin{cases} p, & y = 1 \\ 1 - p, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: p 为样本的预测概率值; α 为平衡参数,随着样本数量降低而降低,从而增加对错误样本的惩罚,以优化提供样本的不均衡问题,该参数设定为 0.25; η 为聚焦参数,通过聚焦参数实现对难区分样本的聚焦作用,通过增加聚焦参数数值降低容易分类样本在网络中的权重,该参数设定为 3。

3 车辆闯入识别试验

3.1 试验环境配置

在露天煤矿大型工程车辆作业现场开展设备识别与闯入预警试验。在现场搭建试验设备,目标检测系统试验环境配置如下:GPU 选用 RTX3090Ti-24GB、CPU 选用 I9-14900K、内存容量选用 DDR5128GB 内存,选用 1 500 W 电源和 UPS 电源为试验系统供电。

Ubuntu 软件系统运行稳定性更强,可靠性更高,因此使用 Ubuntu18.06 系统,编程语言选用 Python3.7.0,深度学习模型选用 Pytorch1.8.0,还有 CUDA11.1、CUDNN8.1.0 等软件支持模块^[20]。

YOLOv8 检测模型中的参数设置见表 1。

3.2 数据集制作

通过露天煤矿现场拍摄、网络搜索等方法搜集 7 类露天煤矿常用工程车辆的图片 6 300 张,包括

表 1 YOLOv8 检测模型的参数设置

Table 1 Parameter settings of YOLOv8 detection model

参数	数值	参数	数值
起始学习率	0.01	hsv_h	0.015
终点学习率	0.01	hsv_s	0.7
余弦学习率	Flase	hsv_v	0.4
优化器	ADAM	deterministic	TRUE
标签平滑参数	0	translate	0.1
正则化	0	scale	0.5
Momentum	0.94	epochs	500
Weight_decay	5×10^{-4}	imgsz	640
warmup_epochs	3	flipud	0
warmup_momentum	0.8	fliplr	0.5
warmup_bias_lr	0.1	half	TRUE
box	0.05	conf	0.5
cls	0.5	line_thickness	8
cls_pw	1	iou	0.7
obj	1	max_det	300
obj_pw	1	anchor_t	4
iou_t	0.2	split	val

挖掘机、装载机、自卸卡车、移动式起重机、压路机、推土机、平地机。使用 LabelImg 标注软件对图片中的七类工程车辆进行标注,并将其分类命名为: Excavator、Loader、Dumb_truck、Mobile_crane、Roller、Bull_dozer 和 Grader。标注完成后会得到与对应图片一一对应的 XML 文件,在该文件中可以查看标注框的类别、尺寸和位置等信息。

将 6 300 张图片制作成训练数据集 train、验证数据集 valid。训练数据集和验证数据集的设置比例为 8:2。数据集情况见表 2。

表 2 数据集情况

Table 2 Dataset condition

类别	标签	训练集数量	验证集数量
挖掘机	Excavator	920	230
装载机	Loader	768	192
自卸卡车	Dumb_truck	792	198
移动式起重机	Mobile_crane	712	178
压路机	Roller	576	144
推土机	Bull_dozer	640	160
平地机	Grader	632	158

3.3 评价指标

文中研究了基于 YOLOv8 算法的露天煤矿工程车辆识别方法,为了对其进行性能分析,在此使用准确率 P 、召回率 R 、平衡分数 F_1 、平均精度值(Average

Precision, AP)、平均精度均值(mean Average Precision, mAP)作为评价指标。

1) 准确率。对工程车辆预测正确的样本数量与全部预测结果的比值为:

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

式中:TP 为工程车辆目标被正确识别的样本数量;FP 为非工程车辆目标被识别成工程车辆的数量。

2) 召回率。对工程车辆预测正确的样本数量与所有正向样本数量的比值为:

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

式中 FN 为工程车辆目标未被正确识别的样本数量。

3) 平衡分数。为准确率 P 和召回率 R 的调和平均数:

$$F_1 = 2 \times \frac{P \times R}{P + R} \quad (6)$$

4) 平均精度值。如果只是使用准确率和召回率对检测模型进行评价容易得到片面评价结果,因此使用精度值来描述对各类车辆的检测精度:

$$AP = \int_0^1 P(R) dr \quad (7)$$

5) 平均精度均值。是工程车辆检测精度值的平均数,平均精度均值越高,说明检测模型的总和性能越好^[21]:

$$mAP = \frac{1}{n} \int_1^n AP_i \quad (8)$$

3.4 识别效果分析

使用 YOLOv8 算法训练过程生成图的工程车辆训练样本 box_loss 曲线、训练样本目标检测 loss 均值曲线、训练样本分类 loss 曲线、训练样本精度曲线、Recall 曲线、工程车辆验证样本 bounding box 损失曲线、验证样本目标检测 loss 均值曲线、验证样本分类 loss 均值曲线、mAP50:95 曲线和 mAP50 曲线,如图 5 所示。

图 5 中, Loss 曲线是推测为工程车辆检测损失的均值,表示检测模型的预测值与真实情况的差异性,该曲线越接近 0,说明模型的鲁棒性越优异,模型算法适应数据变化情况的能力越好,模型检测得越准确。由图 5 可以看出训练样本和验证样本的 3 种损失函数都急剧下降,最后达到稳定,处于收敛状态。

mAP 是由准确率 P 和召回率 R 作为 X 、 Y 轴而围成的面积, Precision 和 Recall 作为 2 轴作图后围

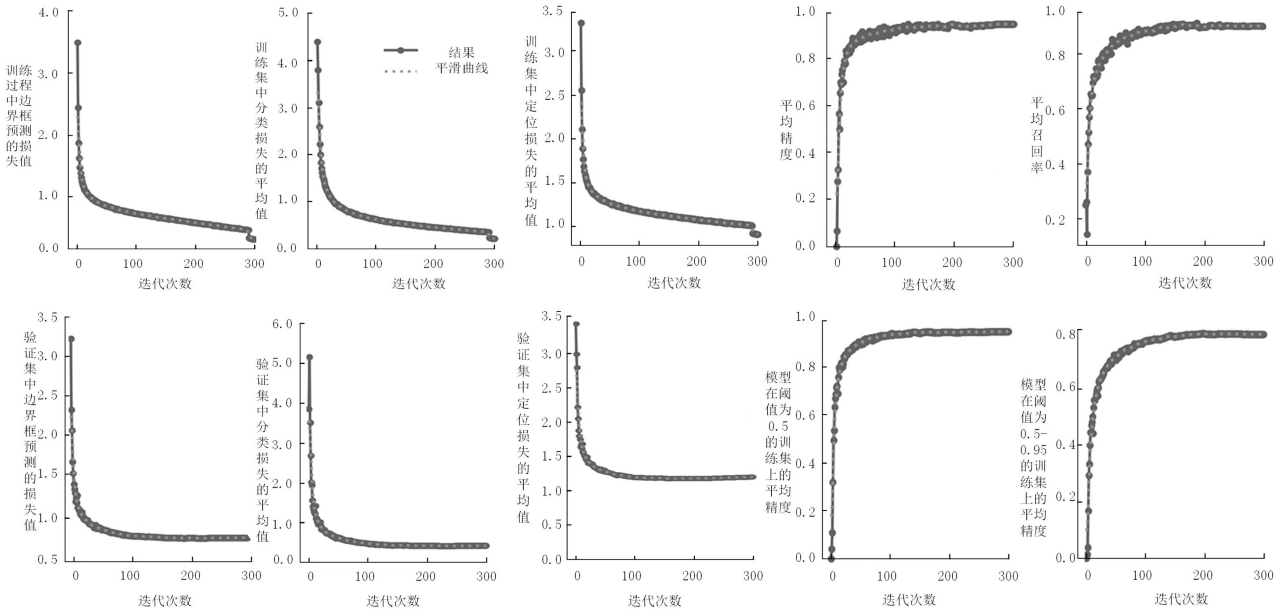


图 5 YOLOv8 算法训练过程

Fig.5 Training process of YOLOv8 algorithm

成的面积,其数值越高说明算法检测精度越高。

对于 7 类工程车辆 Excavator、Loader、Dumb_truck、Mobile_crane、Roller、Bull_dozer 和 Grader 的准

确度、召回率和平衡分数变化曲线如图 6 所示。

文中基于 YOLOv8 工程车辆检测模型平均识别准确率及与基于 AlexNet 算法的准确率对比见表 3。

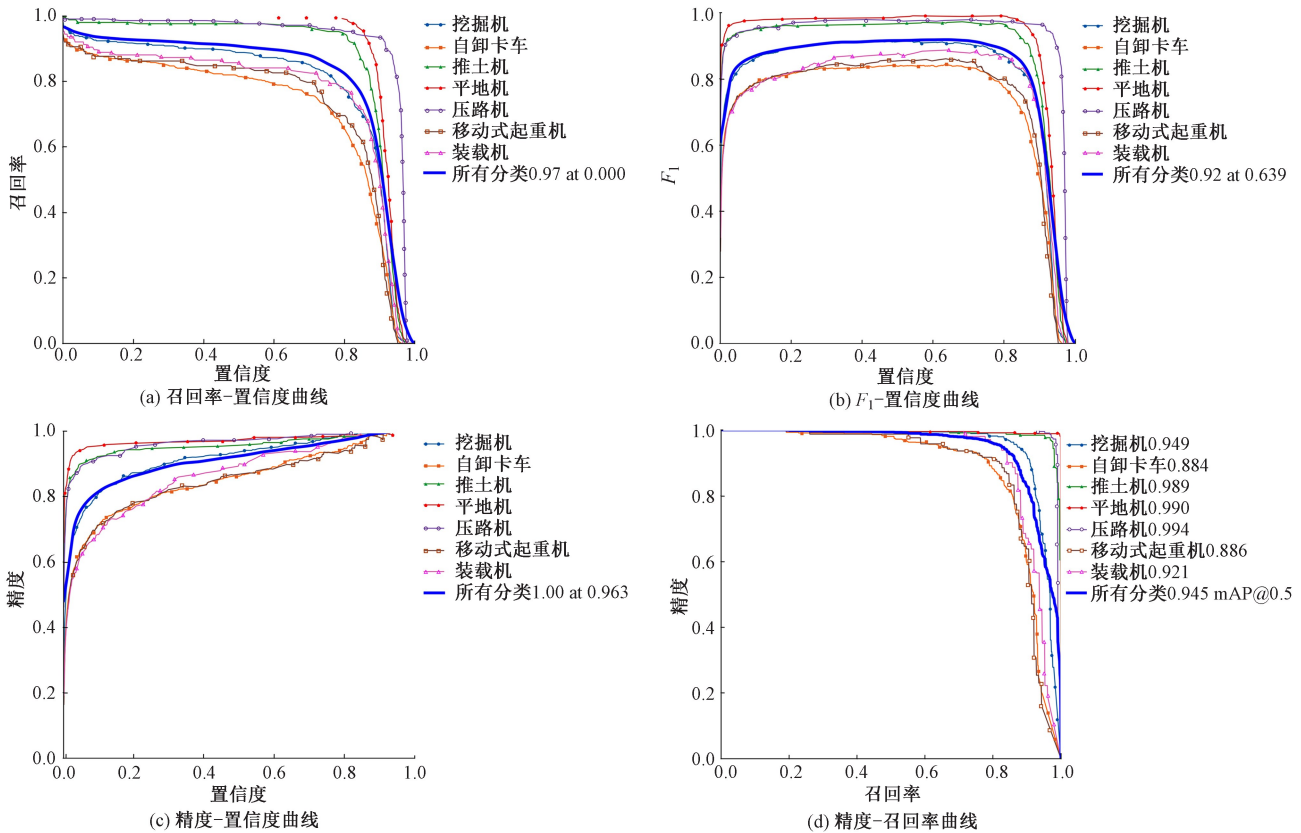


图 6 工程车辆检测模型评价指标变化曲线

Fig.6 Change curve of evaluation index of engineering vehicle detection model

表 3 工程车辆检测模型平均识别准确率

Table 3 Average identification accuracy of engineering vehicle detection model

类别	标签	YOLOv8 算法	AlexNet 算法
挖掘机	Excavator	0.949	0.893
装载机	Loader	0.884	0.886
自卸卡车	Dumb_truck	0.989	0.902
移动式起重机	Mobile_crane	0.990	0.862
压路机	Roller	0.994	0.912
推土机	Bull_dozer	0.886	0.825
平地机	Grader	0.921	0.868

由表 3 可知:对于 7 类工程车辆 Excavator、Loader、Dumb_truck、Mobile_crane、Roller、Bull_dozer 和 Grader 的平均准确率达到 0.945, 高于常规 AlexNet 算法的平均准确率。

对露天煤矿工程车辆作业现场出现的车辆识别结果如图 7 所示。

由图 7 可知:文中基于 YOLOv8 工程车辆检测模型可以对作业现场内出现的多个车辆目标作快速准确识别,且可以识别不完整的车辆图像。



(a) 现场检测效果1



(b) 现场检测效果2



(c) 现场检测效果3



(d) 现场检测效果4

图 7 工程车辆作业现场车辆识别效果

Fig.7 Effect of vehicle identification at engineering vehicle operation site

4 结 论

1) 提出大型工程车辆识别与闯入预警的整体技术架构和实现方法,包括软硬件平台的搭建和通信网络的建设。

2) 提出基于 YOLOv8 的工程车辆识别与检测方法与实现路径。

3) 通过现场拍摄、网络收集共计 6 300 张样本数据集,对基于 YOLOv8 的工程车辆识别与检测方法的识别精度进行测试,试验结果表明:研究的基于 YOLOv8 工程车辆检测模型可以对作业现场内出现的多个车辆目标进行快速准确识别,检测准确率均在 0.85 以上,漏检率低,且可以识别不完整的车辆图像。

参 考 文 献

- [1] 柯丽华,陈魁香,胡南燕,等. 基于 SNA 的露天矿爆破安全风险评估[J]. 中国安全科学学报,2022,32(10):48-56.
KE Lihua, CHEN Kuixiang, HU Nanyan, et al. Safety risk assessment of blasting in open-pit mine based on SNA[J]. China Safety Science Journal,2022,32(10):48-56.
- [2] 尹一雄. 基于数量化理论的露天矿安全风险评价[J]. 中国安全科学学报,2021,31(增1):86-91.
YIN Yixiong. Safety risk assessment of open-pit mines based on quantitative theory[J]. China Safety Science Journal, 2021,31(S1):86-91.
- [3] 刘民强,高小强,陈钢. 露天矿山无人驾驶运输车辆轨迹防护方法[J]. 工矿自动化,2022,48(增1):80-82.
LIU Minqiang, GAO Xiaoqiang, CHEN Gang. Track protection method of unmanned transport vehicle in open-pit mine[J]. Journal of Mine Automation,2022,48(S1):80-82.
- [4] 贺一博. 露天煤矿车辆安保系统智慧化评价体系[J]. 中国安全科学学报,2022,32(增2):160-165.
HE Yibo. Intelligent evaluation system of vehicle safety guarantee system in open pit coal mine[J]. China Safety Science Journal,2022,32(S2):160-165.
- [5] 吕守平. 汝箕沟无烟煤分公司大峰采区车辆运输的安全管理[J]. 露天采矿技术,2016,31(10):62-65.
LYU Shouping. Safety management of vehicle transportation in Rujigou anthracite coal branch Dafeng mining area[J]. Opencast Mining Technology,2016,31(10):62-65.
- [6] 吴逸,吴静静. 改进 HOG 特征的支持向量机工程车辆识别方法[J]. 计算机与数字工程,2023,51(10):2 405-2 412.
WU Yi, WU Jingjing. Support vector machine engineering vehicle recognition method based on improved HOG feature[J]. Computer and Digital Engineering,2023,51(10):2 405-2 412.
- [7] 刘艺超,唐哲,方汀,等. 基于改进 YOLOv5 算法的现场不安全行为识别方法研究[J]. 科学技术创新,2023(8):5-8.
LIU Yichao, TANG Zhe, FANG Ting, et al. Research on unsafe behavior recognition method based on improved YOLOv5 algorithm[J]. Scientific and Technological Innovation Information, 2023(8):5-8.
- [8] 李一荻. 基于目标检测的工程车辆行为识别系统设计[D]. 西安:西北大学,2021.
LI Yidi. Design of construction vehicles action recognition system based on object detection[D]. Xi'an: Northwest University,2021.
- [9] 康燕仁. 基于雷达测距的铁路工程车防撞系统[J]. 计算机与网络,2020,46(24):42-43.
KANG Yanren. Anti-collision system of railway engineering vehicle based on radar ranging[J]. Computer & Network, 2020,46(24):42-43.
- [10] 黄俊洁. 施工场景下工程车检测与车型识别研究[D]. 绵阳:西南科技大学,2019.
HUANG Junjie. Research on engineering vehicle detection and vehicle type recognition under construction scene[D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology,2019.
- [11] 秦景振. 基于 4GTD-LTE 通信技术的车辆安全监测管理系统在露天矿的应用[J]. 内蒙古煤炭经济,2019(5):65-66.
QIN Jingzhen. Application of vehicle safety monitoring and management system based on 4G TD-LTE communication technology in open-pit coal mine[J]. Inner Mongolia Coal Economy,2019(5):65-66.
- [12] 孟峰,韩宝虎,赵亮,等. 煤炭智能装车系统机车自动驾驶技术在宝日希勒的应用[J]. 智能矿山,2024,5(1):98-103.
MENG Feng, HAN Baohu, ZHAO Liang, et al. Coal intelligent loading system application of locomotive autopilot technology in Baori Shearer[J]. Journal of Intelligent Mine,2024,5(1):98-103
- [13] 孟峰,徐煦,薛国庆,等. 5G+无人驾驶技术在国能宝日希勒露天煤矿智能化建设中的应用研究[J]. 中国煤炭,2021,47(增1):172-182.
MENG Feng, XU Xu, XUE Guoqiang, et al. Application research of 5G plus driveless technology in intelligent construction of China energy Baorixile open-pit coal mine[J]. China Coal,2021,47(S1):172-182.

- [14] 荣宝,魏德志,于海成,等. 露天煤矿安全生产大数据存储与流式计算技术[J]. 工矿自动化,2021,47(增1):101-102.
RONG Bao, WEI Dezhi, YU Haicheng, et al. Open-pit coal mine safety production big data storage and streaming computing technology[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(S1): 101-102.
- [15] 常捷,张国维,陈文江,等. 基于YOLO-V3算法的加油站不安全行为检测[J]. 中国安全科学学报,2023,33(2):31-37.
CHANG Jie, ZHANG Guowei, CHEN Wenjiang, et al. Gas station unsafe behavior detection based on YOLO-V3 algorithm[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(2): 31-37.
- [16] 王海群,王炳楠,葛超. 重参数化YOLOv8路面病害检测算法[J]. 计算机工程与应用,2024,60(5):191-199.
WANG Haiqun, WANG Bingnan, GE Chao. Re-parameterized YOLOv8 pavement disease detection algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2024, 60(5): 191-199.
- [17] 王安静,袁巨龙,朱勇建,等. 基于改进YOLOv8s的鼓形滚子表面缺陷检测算法[J]. 浙江大学学报:工学版,2024,58(2):370-380.
WANG Anjing, YUAN Julong, ZHU Yongjian, et al. Drum roller surface defect detection algorithm based on improved YOLOv8s[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2024, 58(2): 370-380.
- [18] 张杰,李张琦,金海燕,等. 室内场景中密集小目标的人数统计方法[J]. 中国有线电视,2023(12):25-29.
ZHANG Jie, LI Zhangqi, JIN Haiyan, et al. A population statistics method of dense small targets indoor[J]. China Digital Cable TV, 2023(12): 25-29.
- [19] 刘易宸. 基于改进YOLOv8的输电线路多目标检测算法研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2023.
LIU Yichen. Research on multi-target detection algorithm for transmission line based on improved YOLOv8[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2023.
- [20] 冷睿轩. 基于YOLOv8的输电线路异物识别算法应用[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2023.
LENG Ruixuan. Application of foreign objects identification of transmission lines based on YOLOv8 algorithm[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2023.
- [21] 雷源毅,朱文球,廖欢. 复杂场景下的改进YOLOv8n安全帽佩戴检测算法[J]. 软件工程,2023,26(12):46-51.
LEI Yuanyi, ZHU Wenqiu, LIAO Huan. Helmet wearing detection algorithm in complex scenes based on improved YOLOv8n[J]. Software Engineer, 2023, 26(12): 46-51.

作者简介: 孙国思 (1990—),男,吉林德惠人,硕士,工程师,主要从事矿用机械设备维修及配件管理工作。
E-mail:11553135@chnenergy.com.cn。