

中文引用格式:李华,陈兵,吴立舟,等. 基于多尺度特征的消防车道占用检测[J]. 中国安全科学学报,2024,34(7):163-169.

英文引用格式:LI Hua, CHEN Bing, WU Lizhou, et al. Fire lane occupancy detection based on multi-scale features [J]. China Safety Science Journal, 2024, 34 (7):163-169.

基于多尺度特征的消防车道占用检测*

李华 副教授, 陈兵, 吴立舟, 钟兴润** 讲师

(西安建筑科技大学 资源工程学院, 陕西 西安 710055)

中图分类号:X924.3 文献标志码:A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.07.0262

资助项目:陕西省社科界重大理论与现实问题研究联合项目(2023HZ1473)。

【摘要】 为解决消防车道占用预警的智能检测问题,引入区域入侵原理,提出基于YOLOv7的轻量化消防车道占用预警方法。首先,以YOLOv7模型为基础,构建消防车道区域入侵研究框架,将实地调研与公开数据集相结合,形成包含消防车道与车辆检测的图像数据集;其次,采用感受野块模块替换空间金字塔池化跨阶段部分卷积,同时,添加SimAM注意力模型,提高网络多尺度特征提取和融合效果;然后,运用Slim-Neck结构减小模型的计算量和参数量;最后,通过PyQt5部署交互式界面设计,在陕西省西安市某小区进行实地算法验证。结果表明:模型识别消防车道和车辆的准确率均达到80%以上;与原模型相比,改进后的模型参数量减少20.5%,浮点计算量降低11.3%,检测速度提高42.4%,达到48.6帧/s。

【关键词】 多尺度特征; 消防车道; 占用检测; YOLOv7; 实时监测

Fire lane occupancy detection based on multi-scale features

LI Hua, CHEN Bing, WU Lizhou, ZHONG Xingrun

(School of Resources Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology,
Xi'an Shaanxi 710055, China)

Abstract: To solve the intelligent detection problem of fire lane occupancy warning, a lightweight early warning approach based on YOLOv7 was proposed by introducing the principles of area intrusion. Firstly, a research framework for detecting fire lane area intrusions was devised, utilizing the YOLOv7 model. This was accompanied by the compilation of an image dataset that encompassed fire lanes and vehicle detection, sourced from both field investigations and open datasets. Subsequently, the spatial pyramid pooling's multi-stage partial convolution was substituted with a receptive field block module, and the SimAM attention model was incorporated to enhance the network's capability in multi-scale feature extraction and fusion. Furthermore, the Slim-Neck architecture was implemented to minimize the model's computational requirements and parameter count. The interactive interface was then designed and implemented using PyQt5. The algorithm was subsequently validated in a community located in Xi'an, Shaanxi Province. The results show that the accuracy of the model to identify fire lanes and vehicles is over 80%. Compared with the original model, the improved model reduces the number of parameters by 20.5%, the floating-point

* 文章编号:1003-3033(2024)07-0163-07; 收稿日期:2024-01-11; 修稿日期:2024-04-13

** 通信作者:钟兴润(1984—),女,陕西榆林人,博士,讲师,主要从事土木工程建造与管理、建筑施工安全管理与应急等方面的研究。
E-mail:283808185@qq.com。

calculation by 11.3%, and the detection speed by 42.4% to 48.6 f/s. This promotes the development of intelligent detection technology for fire lane occupancy.

Keywords: multi-scale features; fire lane; occupation detection; YOLOv7; real-time monitoring

0 引言

据国家消防救援局统计,2023年上半年,我国共发生居住场所火灾16.7万起,导致682人伤亡。其中,多次出现因消防车道被占用而导致救援延迟的情况,如2019年5月,西安某家属院由于私家车占用消防车道导致救援延误造成2人死亡^[1]。研究表明:室内火灾的火焰前锋高度随时间的变化呈现出与时间的平方根成正比的趋势,火焰蔓延速率随高度的增加而加快,同时,稳定燃烧温度也随之升高^[2]。消防车道对救援至关重要,但当前违法占用风险高,且人工巡查方式人力耗费大、易漏检且效率低。因此,需采取有效措施强化消防车道管理,确保畅通无阻,为消防救援提供有力保障。

传统的违规停车检测采用地磁技术^[3],通过传感器感知磁场变化判断车位占用,但检测范围有限。随着图像处理与计算机视觉技术的发展,智能视频分析系统正成为图像和视频检测领域的重要工具,作用日益突出。丁冰等^[4]提出一种基于改进YOLOv3高速公路隧道内停车检测方法,并设置双重速度阈值来判别停车行为;赵逸如等^[5]利用语义分割算法划分图像区域,判断车辆是否停在人行道;张鑫等^[6]提出一种基于语义分割的方法,通过计算车辆分割图与消防车道分割图的重合率和相对位置关系判断车辆是否占用消防车道;郑雅羽等^[7]提出改进实例分割网络的方法,通过优化网络结构和融合策略,实现对车辆和可停区域的精确检测,以判断车辆是否违停。尽管现有研究在车辆违停判别上取得了一定成果,但仍存在计算复杂、实时性不足及对复杂环境适应性差等问题。

鉴于此,笔者拟通过轻量级机器学习算法和计算机视觉技术,设计一套消防车道占用的实时智能检测与预警系统,运用计算机视觉技术进行实时图像监测和车辆占用预警,以实现消防车道情况的实时监测与快速响应,以期提高消防车道管理效率。

1 消防车道管理与智能预警

1.1 消防车道设置标准

《建筑设计防火规范(2018年版)》(GB 50016—2014)规定,民用建筑周围应设消防车道,

并与外部道路相连。街区内的道路规划需考虑消防车通行,道路中心线间距不宜超160 m。对于建筑物沿街道的长度,如单侧长度(a)超过150 m,或相邻2段长度之和($a+b$)超过220 m,或3段相连的总长度($a+b+c$)超过220 m时,均须设置供消防车穿越的通道。同时,通道出入口路面应施划禁停标线,确保消防车道畅通无阻。民用建筑消防车道设置如图1所示。

1.2 智能消防车道占用预警

鉴于当前管理手段如人工巡查、传统监控摄像头及地磁传感器存在的局限性,引入新技术以提升管理效率与精度的紧迫性。

笔者将深入聚焦智能消防车道监控与预警的设计,特别是引入区域入侵思想以增强安全预警能力。该系统集成高清摄像头与图像处理技术,实现对消防车道区域的自动化、智能化监控。系统首先定义并划定消防车道的专属区域,即“保护区域”。通过高清摄像头实时捕获车道及其周边区域的图像,运用图像识别与区域入侵检测算法,系统能够精确识别并分析任何未经许可进入或停留于该区域的车辆,即判定为占用行为。一旦检测到占用行为,立即触发预警机制,显示出占用车辆的具体位置和数量,制止非法占用,恢复消防车道的畅通无阻。

2 消防车道占用检测算法与研究框架

2.1 YOLOv7 模型

YOLO v7 是单阶段目标检测算法 YOLO 系列的第7代版本^[8]。其网络架构由输入端、骨干网络、颈部网络和头部网络组成。这些部分分别负责数据预处理、特征提取、特征融合和检测结果输出。虽然YOLOv7在精度和速度间取得平衡,但由于其网络层数多、参数量大且包含大量普通卷积,导致内存消耗较大。为提高检测效率和速度,需要轻量化改进模型。

2.2 YOLOv7 模型轻量化改进

改进YOLOv7网络结构如图2所示。经过改良的YOLOv7模型主要包括核心特征提取网络和特征整合颈部网络。

1) 多尺度特征融合。感受野模块(Receptive

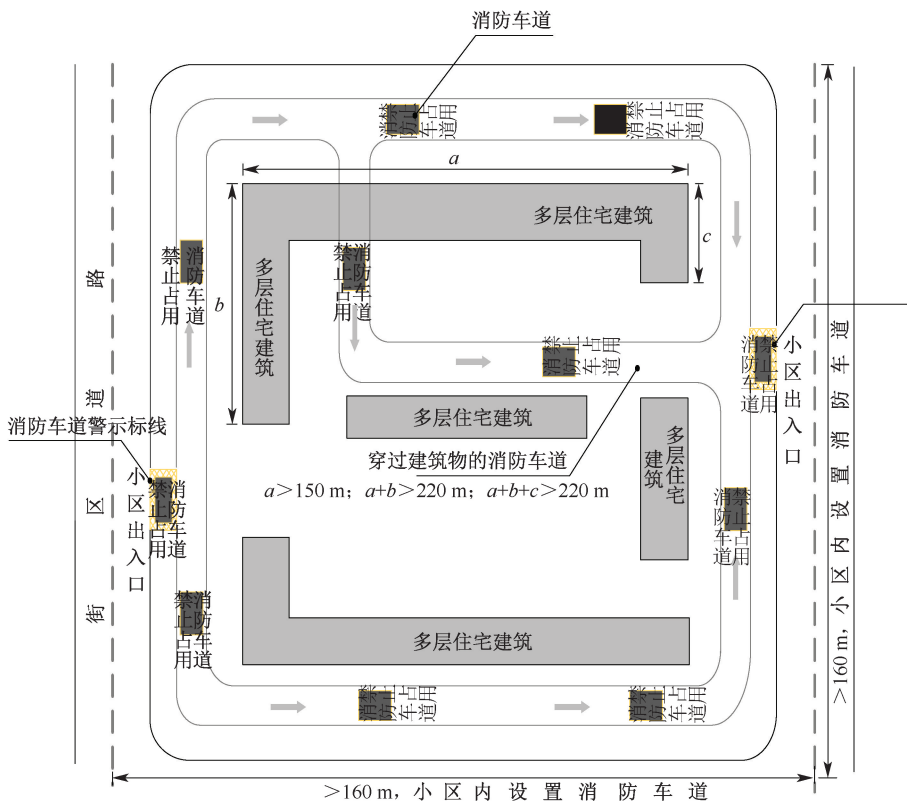


图 1 民用建筑消防车道设置

Fig. 1 Civil building fire lane setting diagram

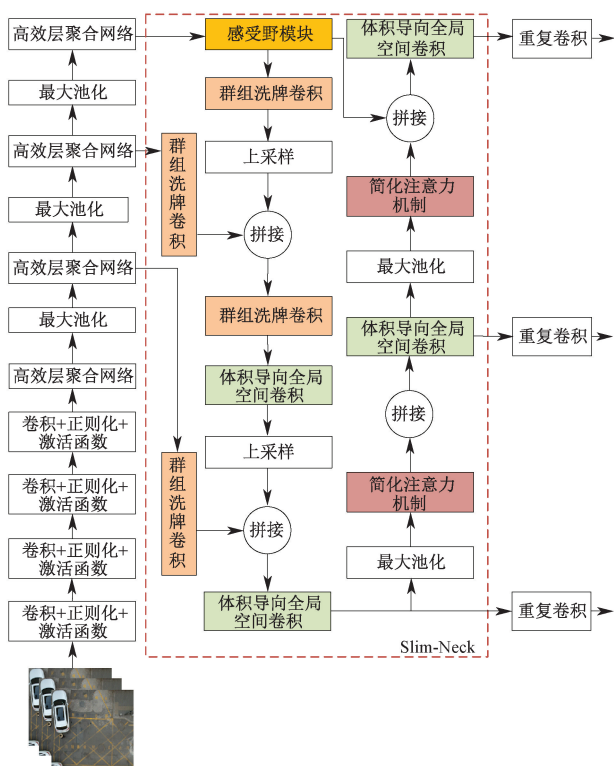


图 2 改进 YOLOv7 网络结构

Fig. 2 Improved YOLOv7 network structure

Field Block, RFB) 模拟人类视觉感受野机制,通过应用不同尺寸的卷积核捕捉和提取多尺度信息,实现更有效的多尺度特征融合。

2) Slim-Neck 结构轻量化颈部。采用体积导向全局空间卷积和群组洗牌卷积组成的 Slim-Neck 结构,能够与多尺度特征提取技术融合,使得模型能够在不同尺度上捕捉目标的丰富信息。既降低时间复杂度又保持较高检测精度。

3) 基于相似性的注意力模型 (Similarity-based Attention Module, SimAM)。消防车道特征因磨损而不明显,易导致漏检。同时,模型轻量化会对精度造成影响^[9]。SimAM 注意力模型结合多尺度特征提取技术使模型能够更加聚焦于关键信息,提高检测的准确性和可靠性。

2.3 消防车道区域入侵研究框架

1) 实时监测系统。为构建监测系统,构建数据集并基于 YOLOv7 模型进行优化。为识别机动车辆和非机动车辆入侵的计算机图像,实时监测系统以高清摄像头为基础。监测系统的构建流程如图 3 所示。

2) 消防车道占用检测预警。利用实时监测系统和消防车道区域划分标准,实时监测消防车道。

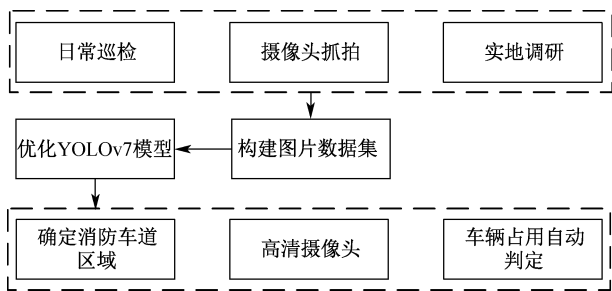


图3 实时监测系统构建流程

Fig. 3 Construction process of real-time monitoring system

系统定期获取车道数据,应用 YOLOv7 模型分析实时图像,检测车辆占用情况。若检测到占用,系统将触发预警报警,并获取占用车辆图像进行分析。此流程实现全面安全管理,记录占用信息为后续管理和教育提供数据支持。消防车道占用检测预警流程如图 4 所示。

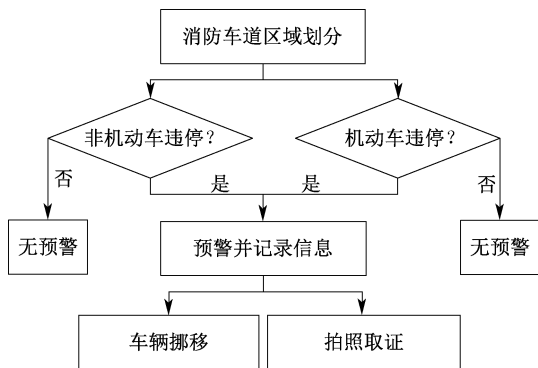


图4 消防车道占用检测预警流程

Fig. 4 Fire lane occupation detection and early warning process

3 消防车道占用检测试验与应用

3.1 项目试验平台搭建

实验操作平台为 Windows11 系统,中央处理器为 Intel (R) Core (TM) i5-12490F,图像处理器为 NVIDIA GeForce RTX 4060 (8 GB),编程语言为 Python,深度学习环境版本为 cuda 12.0、Pytorch1.12、Tensorflow2.6。在 PyCharm 社区版运行。可视化平台采用 PyQt5 进行部署,构建图形用户交互(Graphical User Interface, GUI)界面。

3.2 数据集介绍

试验用到的数据集分为消防车道和车辆检测 2 部分,采用实地调研的方式自建消防车道数据集。在陕西省西安市非禁飞区使用无人机舵机拍摄消防

车道视频,在拍摄前均已获得管理人员批准。后期通过视频分帧技术和 Grid Mask 数据增强策略^[10]得到 Fire Lane 数据集。车辆检测数据集选用公开数据集 VisDrone2019。该数据集包含在各种场景、天气和光照条件下,通过不同类型的无人机平台所采集的数据^[11],从中挑取 6 000 张图片。

在进行模型训练时,训练集占 80%,测试集占 20%,batch-size 设为 8,图像的输入尺寸为 640×640 像素,初始学习率设为 0.01。

3.3 模型性能评价指标

为全面评估模型的性能,选用验证集进行验证,并采用准确率 P 、召回率 R 以及平均准确率(mean Average Precision, mAP)作为评价指标;参考参数数量和浮点运算数 2 个指标衡量模型的复杂度。采用帧/s 测试模型实时性能。相关计算公式如下:

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$mAP = \frac{\sum_{k=1}^N P(k) \Delta R(k)}{C} \quad (3)$$

式中:TP 为正确检测个数;FP 为错误检测个数;FN 为检测个数; C 为数据集中待检测目标的类别数目; $P(k)$ 为同时识别 k 个样本的数量,准确率的大小; $\Delta R(k)$ 为检测样本数从 $k-1$ 到 k 时召回率的变化。

3.4 检测结果与分析

为准确评估 YOLOv7 模型与改进版之间的性能差异,在相同训练环境下比较两者差异,确保使用相同的训练数据和测试数据,并训练 200 epoch。在原始 YOLOv7 基础上,逐步引入 RFB 模块、Slim-Neck 结构和 SimAM 注意力模型进行优化。测试结果显示,改进后 YOLOv7 算法的评价指标数据见表 1。

表 1 5 种训练方法第 200 轮训练拟合结果

Table 1 Fitting results of five training methods in the 200th training round

训练方法	$P/\%$	$R/\%$	mAP@.5/%	mAP@.95/%
YOLOv7	92.7	91.6	95.7	76.6
YOLOv7-RFB	93.2	91.3	94.6	77.2
YOLOv7-Slim-Neck	93.1	91.9	96	76.8
YOLOv7-SimAM	93.2	92.1	96.2	78.1
改进 YOLOv7	94.5	93.1	97.8	78.7

由表 1 可知:改进算法在精确率、召回率和 mAP 值上相较于 YOLOv7 算法,分别实现 1.8%、1.5%和 2.1%的提升。由表 2 可知:改进算法在参数量上减少 20.5%,浮点运算数降低 11.3%,检测速度提高 42.4%,达到 48.6 帧/s。通常,当模型的检测速度超过 25 帧/s,即可视为满足实时检测的要求^[12]。因此,改进模型完全能够满足消防车道占用检测任务的实时性需求。

表 2 模型轻量化结果

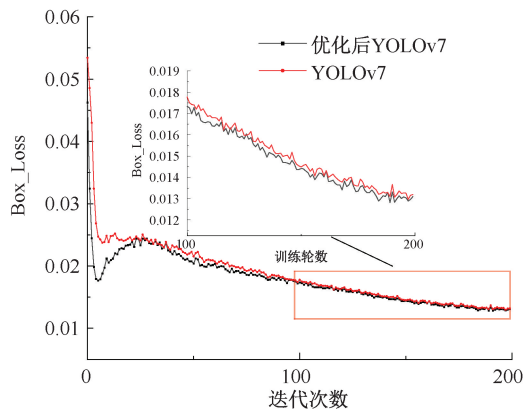
Table 2 Model lightweight results

训练方法	参数量/ 10 ⁶	浮点运算 数/10 ⁹	帧/s
YOLOv7	37.2	105.1	34.1
改进 YOLOv7	29.6	93.2	48.6

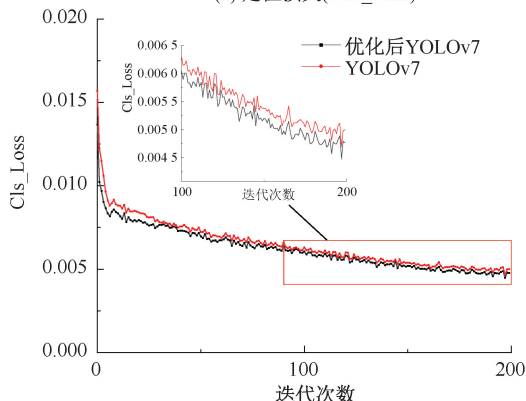
经过 200 个 epoch 的训练,改进后的算法在定位损失 (Box_Loss)、分类损失 (Cls_Loss) 和置信度损失 (Obj_Loss) 上均明显优于原模型。训练损失函数曲线如图 5 所示。改进算法不仅加速损失函数的收敛速度,还降低收敛时的损失值,从而提高模型训练效率。

3.5 消防车道占用检测系统可视化应用

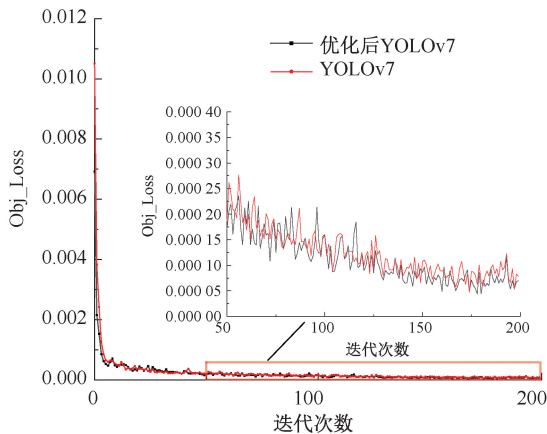
在实际场景中,部署所提出的消防车道占用检



(a) 定位损失(Box_Loss)



(b) 分类损失(Cls_Loss)



(c) 置信度损失(Obj_Loss)

图 5 训练损失函数曲线

Fig. 5 Training loss function graphs

测系统。该系统结合实时监测和目标检测算法,确保检测的自适应性和准确性。检测系统的实地应用和效果如图 6 所示,针对车辆及消防车道检测精度普遍在 90% 以上,图片推理时间在 0.08 s 以内,视频检测速度达到 37 帧/s 以上。



图 6 模型检测效果

Fig. 6 Model detection effect

Python 本身不直接支持 GUI 开发,但凭借其扩展性,支持多种 GUI 库,其中,PyQt5 为高效开发选择^[13]。因此,选择 PyQt5 为软件的 GUI 开发框架。

检测页面包括功能选择、检测结果展示、车道占用检测和检测信息 4 个核心部分。在功能选择环节,选择模型训练权重,当检测结果生成后,它们会被清晰地呈现在界面的右端,用户就能够直观地查看和评估检测效果。除检测结果外,实时检测精度也会被同步展示,为用户提供关于模型性能的直接反馈。这种实时的反馈机制有助于用户及时了解模型的运行状态。

在西安某小区部署实时监测系统,使用无人机



(a) 未开启占用检测结果



(b) 开启占用检测结果

图7 消防车道占用检测交互界面展示

Fig. 7 Fire lane occupation detection interactive interface display

搭载 2 000 万像素传感器,稳定悬停于消防车道上空进行实时拍摄。如图 7a 所示,系统自动识别消防车道区域并进行车辆检测,2 种类别的识别精度都在 80%以上。启动占用检测功能后,如图 7b 所示,通过目标检测算法识别并统计消防车道区域内停放的车辆数量,而不检测区域外的车辆。这个过程不仅用于确认是否有车辆占用,并给出占用数量。

4 结 论

1) 引入模块和 Slim-Neck 结构,增强模型的多尺度特征表示能力的同时减少模型复杂度;引入 SimAM 注意力模型,减少轻量化对检测精度影响。

2) 对模型性能和优化的比较评估结果显示,优化后的模型消防车道和车辆识别准确率均超过 80%;参数量减少 20.5%,浮点计算数降低 11.3%,检测速度提高 42.4%,达到 48.6 帧/s。

3) 使用 PyQt5 部署交互式界面并在陕西省西安市某小区消防车道区域应用。系统识别消防车道区域并进行车辆占用预警。未来研究方向考虑更多应用场景如消防车占用消防车道,拓宽对其他占用车辆种类检测,不断完善系统性能。

参 考 文 献

[1] 陕西交通广播. 西安一小区着火致 2 人死亡 居民:消防通道被占[EB/OL]. (2019-05-05). https://news.china.com/dtxw/13000844/20190505/35824578_1.html.

[2] 张玉涛,张玉杰,李亚清. 凹型结构建筑外立面火灾蔓延特性模拟研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(8): 70-78.
ZHANG Yutao, ZHANG Yujie, LI Yaqing. Simulation study on fire propagation characteristics on facade of concave structure buildings [J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(8): 70-78.

[3] 张增超,李强,孙红雨,等. 基于地磁传感器和 UWB 技术的停车位车辆检测方法与实现[J]. 传感技术学报, 2019, 32(12): 1 917-1 922.
ZHANG Zengchao, LI Qiang, SUN Hongyu, et al. Parking vehicle detection method and implementation based on geomagnetic sensor and UWB technology [J]. Journal of Sensing Technology, 2019, 32(12): 1 917-1 922.

[4] 丁冰,杨祖蓂,丁洁,等. 基于改进 YOLOv3 的高速公路隧道内停车检测方法[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(23): 234-239.
DING Bing, YANG Zulang, DING Jie, et al. Detection method of highway tunnel vehicle stopping based on improved YOLOv3 [J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(23): 234-239.

[5] 赵逸如,刘正熙,熊运余,等. 基于目标检测和语义分割的人行道违规停车检测[J]. 现代计算机, 2020(9): 82-88.
ZHAO Yiru, LIU Zhengxi, XIONG Yunyu, et al. Detection of illegal sidewalk parking based on object detection and semantic segmentation [J]. Modern Computer, 2020(9): 82-88.

[6] 张鑫,陈黎. 基于多尺度特征融合的消防车通道占用检测[J]. 计算机技术与发展, 2022, 32(10): 51-57, 64.
ZHANG Xin, CHEN Li. Fire truck passages occupancy detection based on multi-scale feature fusion [J]. Computer Technology and Development, 2022, 32(10): 51-57, 64.

[7] 郑雅羽,王济浩,冯杰. 基于改进实例分割网络的步行道违停车辆检测算法[J]. 高技术通讯, 2020, 30(6):

561-569.

ZHENG Yayu, WANG Jihao, FENG Jie. An illegal sidewalk parking car detection algorithm based on improved instance segmentation network [J]. High-tech Communication, 2019,30(6):561-569.

[8] 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[C]. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,2023:7 464-7 475.

[9] 李华,吴立舟,薛曦澄,等. 基于计算机视觉的高处临边作业安全巡检[J]. 中国安全科学学报,2023,33(9):69-75.

LI Hua, WU Lizhou, XUE Xicheng, et al. Computer vision based safety inspection of high abutting edges [J]. China Safety Science Journal,2023,33(9):69-75.

[10] 刘泽锋,韩豫,李文涛,等. 视觉联合交集下施工危险区域侵入行为动态感知方法[J]. 安全与环境工程,2023,30(4):18-25.

LIU Zefeng, HAN Yu, LI Wentao, et al. Dynamic perception method of intrusion behavior in construction dangerous areas under visual joint intersection [J]. Safety and Environmental Engineering,2023,30(4):18-25.

[11] DU Dawei, ZHU Pengfei, WEN Longyin, et al. VisDrone-DET2019: the vision meets drone object detection in image challenge results [C]. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops, 2019: DOI: 10.1109/ICCVW.2019.00030.

[12] 梁晓,李俊. 基于改进 YOLOv7 的红外无人机目标检测方法[J]. 电光与控制,2023,30(12):38-43,92.

LIANG Xiao, LI Jun. An infrared UAV target detection method based on improved YOLOv7 [J]. Electronics Optics & Control,2023,30(12):38-43,92.

[13] 王晓辉,聂小华,常亮. 基于 Qt 的专用有限元软件 GUI 模块的设计与开发[J]. 计算机应用与软件,2020,37(1):21-26,65.

WANG Xiaohui, NIE Xiaohua, CHANG Liang. Design and development of GUI Module for special finite element software based on Qt [J]. Computer Applications and Software,2020,37(1):21-26,65.



作者简介: 李华 (1979—),女,陕西西安人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事企业风险评估与安全管理、建筑安全监测与监控、公共安全与应急管理等方面的研究。E-mail: lihua@xauat.edu.cn。