

基于机器视觉的高速公路车辆行驶速度与区间状态研判方案研究

常健¹, 田浩¹, 江超¹, 周齐^{2*}, 唐浩东¹

¹山东高速淄博发展有限公司, 山东 淄博

²山东理工大学交通与车辆工程学院, 山东 淄博

收稿日期: 2025年7月15日; 录用日期: 2025年9月11日; 发布日期: 2025年9月22日

摘要

高速公路具有车辆行驶速度高、车流量大和行驶环境复杂多变等诸多特点, 传统的基于车辆车牌或单点摄像头识别的监测手段已难以满足对全路段车辆运行状态进行实时动态掌控的需求, 尤其是在匝道出入口、高峰拥堵及夜间等复杂等环境下, 存在识别准确率低、运行动态无法连续拼接、异常状态发现滞后等问题。本文依托S6济潍高速K35~K51区间沿线布置的视频监控装置, 基于机器视觉及时空轨迹推断技术, 构建了高速公路区间全路段车辆跟踪与异常状态识别技术方案, 以实现进入车辆全路段智能感知。基于布置在S6济潍高速K38+000和K38+510两处摄像头所获取的视频图像数据为样本, 进行了方案有效性的初步检验, 验证了其可行性与有效性。本文所构建的技术方案为高速公路全路段车辆跟踪与异常状态识别提供了技术支撑。

关键词

高速公路, 机器视觉, 车辆跟踪, 异常状态推断, 车辆重识别

Research on the Scheme of Expressway Vehicle Tracking and Abnormal State Recognition Based on Machine Vision

Jian Chang¹, Hao Tian¹, Chao Jiang¹, Qi Zhou^{2*}, Haodong Tang¹

¹Shandong High Speed Zibo Development Co., LTD., Zibo Shandong

²School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo Shandong

Received: Jul. 15th, 2025; accepted: Sep. 11th, 2025; published: Sep. 22nd, 2025

*通讯作者。

文章引用: 常健, 田浩, 江超, 周齐, 唐浩东. 基于机器视觉的高速公路车辆行驶速度与区间状态研判方案研究[J]. 交通技术, 2025, 14(5): 664-670. DOI: 10.12677/ojtt.2025.145066

Abstract

Expressway has many characteristics such as high vehicle speeds, large traffic volumes, and complex and changing driving environments. The traditional monitoring methods based on vehicle license plate or single point camera recognition are no longer able to meet the demand for real-time dynamic control of vehicle operating status throughout the entire road area, especially in complex environments such as ramp entrances and exits, peak congestion, and nighttime. There are problems such as low recognition accuracy, inability to continuously connect operating dynamics, and lagging detection of abnormal states. This article relies on the video surveillance devices installed along the K35~K51 section of the S6 Ji-Wei Expressway, and based on machine vision and spatiotemporal trajectory inference technology, constructs a scheme for vehicle tracking and abnormal state recognition throughout the entire section of the expressway, thus to achieve intelligent sensing of vehicles since entering the entire section. Based on the video image data obtained from the cameras deployed at K38+000 and K38+510 on the S6 Ji-Wei Expressway as samples, a preliminary test of the effectiveness of the scheme was conducted to verify the scheme's feasibility and effectiveness. The technical solution constructed in this article provides technical support for vehicle tracking and abnormal state recognition throughout the entire expressway section.

Keywords

Expressway, Machine Vision, Vehicle Tracking, Abnormal State Inference, Re-ID

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

相比于普通国省道，高速公路具有车辆行驶速度高、车流量大和行驶环境复杂多变等诸多特点。随着我国高速公路通车里程及车流量的不断增长，高速公路交通拥堵、超高速或过低速行驶等异常事件时有发生，给高速公路管理部门及使用者带来诸多挑战[1]。传统的基于车辆车牌或摄像头单点识别的监测方式难以满足对高速公路路域车辆运行状态进行实时动态掌控的需求，且存在监测准确率低、漏检率与误检率高等问题[2]。在此背景下，充分利用高速公路沿线布置的诸多视频监控装置，积极探索利用机器视觉和轨迹推断等先进技术，通过科学合理的方案设计实现对高速公路路域车辆速度测定与区间状态推断，对提高高速公路服务水平及智能化管理水平具有重要意义。

传统的高速公路巡检主要依靠对视频进行人工观察、手工记录等方式进行，受巡检经验和注意力所限，传统依靠人工的巡检方式存在容易忽略车辆异常状态和路域异常场景的风险，不仅耗时还容易出现遗漏情况[3]。异常事件从发生到被发现并且报告存在延迟，尤其是在非人工巡检时间段内，存在感知滞后等挑战。虽然目前安装在高速公路沿线的视频监控系统能够将实时采集的视频图像信息及时传送到调度中心，但对于诸多的异常场景(如超速行驶、低速行驶、交通拥堵等)仍需要人工盯视的方式进行，存在盲区遗漏和盯控疲劳等问题。

近年来，机器视觉与深度学习技术在交通监测领域取得显著进展。车辆检测方面，YOLO 系列算法凭借实时性优势广泛应用，但在高速公路远距离小目标、光照变化及遮挡场景下性能仍需提升[4]；车辆跟踪与重识别(Re-ID)领域，基于 Transformer 的特征提取与匹配方法(如 Swin Transformer)显著提升了跨

摄像头目标关联精度[5],而注意力机制通过聚焦关键区域进一步优化了复杂环境下的特征表达[6]。

为应对以人工盯视为主的高速公路巡检效率低、容易遗漏等挑战,本文依托 S6 济潍高速 K35~K51 区间沿线布置的视频监控装置,利用计算机视觉、深度学习、时空轨迹推断等先进技术,设计了高速公路短区间内车辆速度测定与状态研判方案,实现对进入高速公路车辆在较短区间内状态的智能感知;基于布置在 S6 济潍高速 K38+000 和 K38+510 两处摄像头所获取的视频图像数据为样本,对方案进行了初步检验,验证了其可行性与有效性。

2. 高速公路车辆状态监测难点分析

高速公路具有车流量大、车辆速度差异明显等诸多特点,为保障安全有序的行车环境,高速公路沿线每隔一段距离都会安装视频拍照设备,受摄像角度及范围的影响,所拍摄目标车辆大小变化十分明显(如图 1 所示),尤其是在车辆拥堵路段、匝道接入等复杂场景下,给高速公路车辆异常(超速与低速行驶、车辆散落物等)监测带来诸多挑战。



Figure 1. Comparison of vehicles' size between near and far targets captured by video camera on S6 Ji-Wei Expressway
图 1. S6 济潍高速视频摄像头所拍近远目标车辆大小对比图

此外,车辆在高速公路超高速或过低速行驶、以及超高速和过低速车辆之间存在的显著的速度差极易导致交通事故的发生。为保障行车安全和通行效率,并结合不同车辆的技术水平和性能,高速公路针对不同类型车辆进行了最高行驶速度与最低行驶速度限制(如图 2(a)所示),例如,在高速公路上行驶的小型载客汽车最高车速一般不得超过 120 公里/每小时,最低车速一般不得低于 100 公里/每小时。此外,也可以通过在高速公路设置区间测速装置(如图 2(b)所示),根据区间长度和行驶时间进行车辆行驶速度推算,进而为判定车辆超速行驶提供依据。



Figure 2. Speed limit measures for vehicles on expressway. (a) Speed limit signs; (b) regional speed measurement
图 2. 高速公路车辆限速措施。(a) 限速标志; (b) 区间测速

虽然上述措施在规范高速公路车辆按照规定速度行驶发挥了重要作用,但随着交通流量的增长,上述措施亦存在一些不足,如已有区间测速装置主要通过车牌识别技术测算车辆区间行驶速度,在能见度较低或在车牌遮挡条件下无法进行精准测定。此外区间测速装置一般需要安装在龙门架上,安装成本较高且相隔距离较长,对较短区间内的车辆超高速、过低速行驶以及其它可能的异常状态(如紧急停车等)无法进行精准感知。在此背景下,本文探索充分利用在高速公路沿线分布更为广泛的立柱式视频监控装置,基于机器视觉技术和轨迹推断技术,设计科学合理的方案对高速公路较短区间内的车辆速度和状态进行精准研判。

3. 方案总体框架及核心技术

基于机器视觉的高速公路短区间内车辆行驶速度与区间状态研判方案框架包括三个主要部分,分别为(1) 基于高速公路沿线立柱式视频监控系统的图像数据采集,(2) 基于改进 YOLO 算法的车辆识别与跟踪,以及(3) 基于时空关联的车辆短区间状态研判及应用。技术方案的总体框架如图 3 所示。

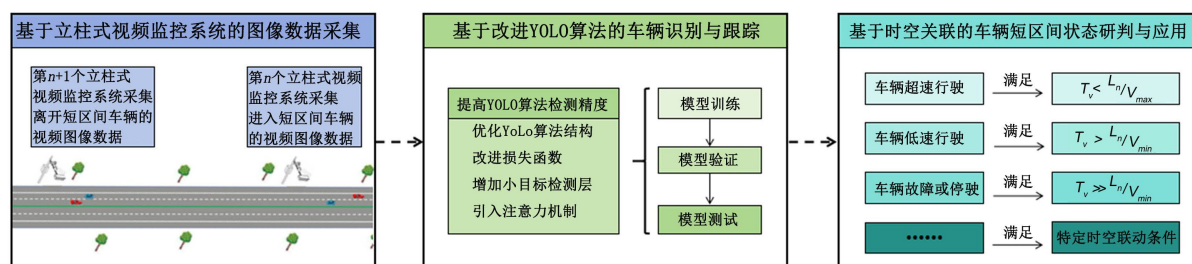


Figure 3. Overall framework of technical solution

图 3. 技术方案总体框架

3.1. 短区间车辆图像获取技术

基于车牌识别的高速公路区间车辆测速方案的视频监控系统需要安装在龙门架上,一般情况下,对每个车道都需要安装一台视频摄像装置,安装成本较高,且高速公路龙门架之间的间隔距离较远,无法有效监测短区间内的车辆异常状态;相比之下,高速公路沿线立柱式视频监控系统安装成本较低,且高速公路沿线已有的立柱式视频监控系统之间的距离更短,结合机器视觉、深度学习等技术,能够监测更短区间内的高速公路车辆异常状态。基于高速公路沿线立柱式视频监控系统的图像数据采集原理如图 4 所示。

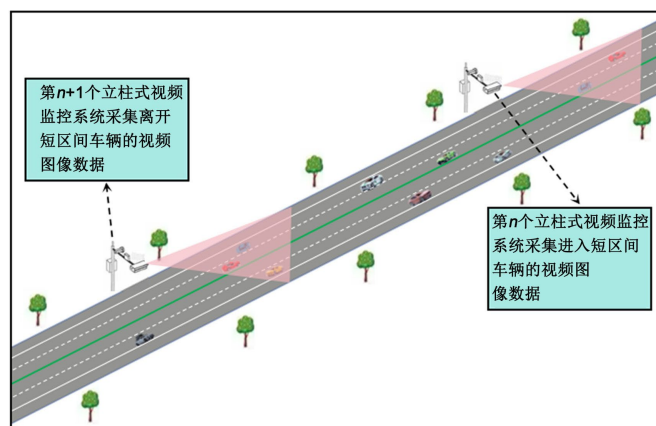


Figure 4. Principle of image acquisition based on the column type video surveillance system along expressway

图 4. 基于高速公路沿线立柱式视频监控系统的图像数据采集原理

3.2. YOLO 算法改进策略

作为实时目标检测算法的主要范例之一，YOLO (You Only Look Once)算法[7]因其在计算成本和检测性能之间优异平衡表现在诸多研究领域得到了广泛应用。YOLO 虽然能高效提取局部特征，但对远距离特征依赖关系的建模能力较弱，且对小目标检测精度有待提升。因此，需要通过多种措施方法，如优化结构设计、引入注意力机制、改进损失函数等更好地适应不同场景和环境中的目标检测任务。在本文中，主要通过引入 Swin Transformer 架构模型和 CBAM 注意力机制来提升 YOLO 算法性能(如图 5 所示)。其中，Swin Transformer 架构模型主要用以实现关键区域特征增强与时空关联建模以提高对高速公路车辆特征的提取，而 CBAM 注意力机制可以通过显式地建模通道和空间两个维度的注意力，提升卷积神经网络的特征表达能力。

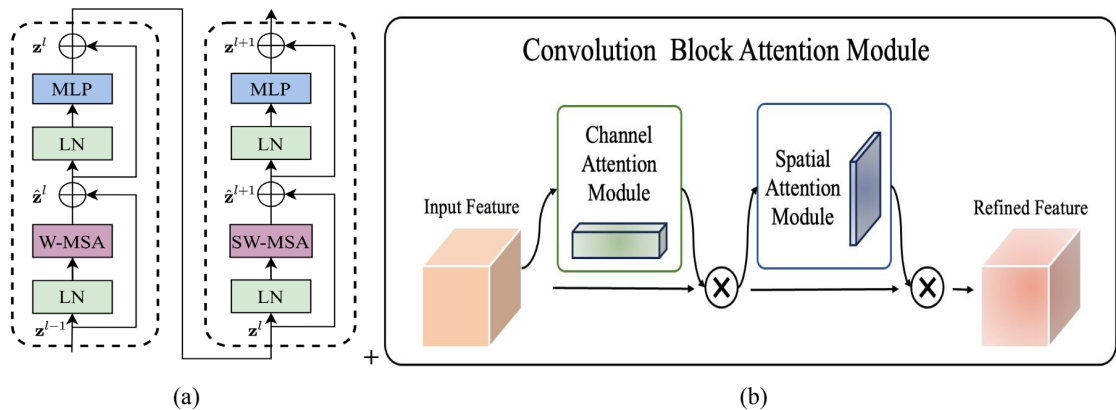


Figure 5. Improvement strategy for YOLO algorithm. (a) Swin Transformer; (b) CBAM attention mechanism
图 5. YOLO 算法优化策略。(a) Swin Transformer; (b) CBAM 注意力机制

3.3. 车辆重识别技术

为实现个体级跟踪，本文采用“特征提取 - 相似度匹配”两阶段方案：

- (1) 特征提取：基于 ResNet50 构建车辆重识别(Re-ID)模型，在 ImageNet 预训练基础上，使用高速公路车辆数据集(含 5000 辆、10 万张图像)微调，输出 2048 维特征向量。
- (2) 相似度匹配：计算摄像头 A 与 B 检测目标的特征向量余弦相似度，设置阈值 0.75 (通过验证集优化)，结合车辆行驶方向、速度等先验信息判定超过阈值则为同一车辆。

3.4. 时空联动车辆状态推断技术

在对 YOLO 算法进行改进的基础上，可以有效提升高速公路车辆特征的提取与识别，基于时空联动车辆状态推断技术，即特定时间内驶入和驶出高速公路短区间内不同类型车辆数量的累计值的对比分析，可以实现对监测的短区间内的车辆异常状态的初步判断。如，对于给定的高速公路区间长度 L_n 和已知的小型载客汽车的短区间最低限速 100 km/h，假定该区间内无出入口且已有的小型载客汽车数量为 0，若给定的驶入该短区间的立柱式视频监控系统 S_n 在给定的时间 T_n 抓拍并被检测出的小汽车数量为 C ，但被驶出该短区间的立柱式视频监控系统 S_{n+1} 在时间段 $T_n \sim T_n + L_n / 100$ 内抓拍并被检测出的小汽车数量小于上述数量值 C ，则可判断驶入该短区间内的小型载客汽车中有低速行驶或故障等异常状态。

3.5. 算法有效性验证

为验证方案框架和算法的有效性，以布置在 S6 济潍高速 K38+000 和 K38+510 两处摄像头所获取的

视频图像数据为样本，基于改进的 YOLO 算法和累计计数等技术，所设计的方案及算法架构自动检测出在监测起始时间 2025 年 5 月 8 日 10 点 21 分 1 秒，应驶入该区间的卡车和小汽车数量分别为 4 辆和 4 辆，而在累计时间段 10 点 21 分 1 秒~10 点 21 分 33 秒驶出该短区间内的卡车和小汽车数量分别为 3 辆和 4 辆(排除掉在该时间段内已存在该短区间内其它车辆)，由此可推断出在 10 点 21 分 1 秒驶入该区间内的 4 辆卡车中的某 1 辆存在过低速行驶甚至临时停靠等异常状态，应采取相应措施以保证该区间内车辆顺畅有效行驶，效果图见图 6 所示。



Figure 6. Algorithm effectiveness' verification results
图 6. 算法有效性验证结果图

3.6. 消融实验

为量化各改进模块的实际增益，验证 Swin Transformer 和 CBAM 在提升高速公路场景车辆检测性能中的作用，本文消融实验选取交并比为 0.5 时的平均精度均值(mAP@0.5)、精确率(Precision)、召回率(Recall)、推理速度(Frames Per Second, FPS)为指标，对比基线 YOLOv8 与各改进模型性能，如表 1 所示。通过科学对比，明确不同改进点对检测精度、召回率及速度的具体影响，为方案有效性提供量化支撑，也为后续算法优化方向提供依据，增强了研究的科学性和说服力。

Table 1. Comparison of experimental results
表 1. 实验结果对比

模型	mAP@0.5 (%)	Precision (%)	Recall (%)	推理速度(FPS)
基线 YOLOv8	68.2	72.5	65.8	32
+Swin Transformer	75.6	78.3	73.1	28
+CBAM	73.5	76.2	70.9	30
最终模型	82.3	84.1	80.5	25

4. 总结

本文聚焦高速公路短区间车辆行驶速度与异常状态监测需求，根据 S6 济潍高速 K35~K51 区间沿线立柱式视频监控装置，融合机器视觉、深度学习及时空轨迹推断技术，构建了一套完整的车辆跟踪与状态研判方案。

方案核心在于对 YOLO 算法的针对性改进：通过引入 Swin Transformer 模块增强长距离特征建模能力，集成 CBAM 注意力机制聚焦关键特征区域，有效提升了高速公路远距离小目标检测精度与复杂环境鲁棒性。同时，结合基于 ResNet50 的车辆重识别(Re-ID)技术，通过特征向量提取与相似度匹配，实现了

跨摄像头的车辆个体级跟踪,解决了传统车牌识别在遮挡、恶劣天气下的失效问题。消融实验结果显示,改进后的最终模型 mAP@0.5 达 82.3%,较基线 YOLOv8 的精确率、召回率均显著提高,验证了各改进模块的实际增益。基于 S6 济潍高速 K38+000 和 K38+510 路段的实测数据表明,方案可准确识别低速行驶、临时停靠等异常状态,实现了短区间内车辆状态的智能感知。

本研究为高速公路短区间车辆异常监测提供了技术支撑,其依托现有监控设备的设计思路降低了落地成本,可推广应用于其他道路的短区间车辆状态监测场景。后续研究将进一步扩展数据集的场景覆盖范围,优化模型轻量化部署,以提升极端环境下的监测稳定性与实时性。

参考文献

- [1] 王宇飞,徐丽丽,苗英辉.基于计算机视觉的高速公路检测监测系统[J].中国交通信息化,2024(2):76-79.
- [2] 董晔卉,涂倩怡,周子俊,罗建书.基于机器视觉的车辆轨迹检测技术[J].计算机科学与应用,2025,15(1):10-20.
- [3] 温美东.基于机器视觉的交通检测技术及应用研究[J].交通技术,2024,13(6):388-394.
- [4] Guo, H., Zhang, Y., Chen, L. and Khan, A.A. (2025) Research on Vehicle Detection Based on Improved Yolov8 Network. *Applied and Computational Engineering*, **116**, 161-167. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2025.20568>
- [5] Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., et al. (2021) Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer Using Shifted Windows. 2021 *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Montreal, 10-17 October 2021, 9992-10002. <https://doi.org/10.1109/iccv48922.2021.00986>
- [6] 敬辉,葛动元,姚锡凡.基于改进注意力与多尺度特征的车辆识别[J].计算机工程与设计,2024,45(10):3120-3127.
- [7] 安俊峰,刘吉强,卢萌萌,等.基于改进 YOLOv8 的地铁站内乘客异常行为感知[J].北京交通大学学报,2024,48(2):76-89.