

基于视频检测的高速公路交通状态识别与控制策略研究

郭粉丽 杨梅蕊 卢江南

云南云交科智慧园区科创产业发展有限公司 云南 昆明 650000

【摘要】：随着高速公路车流量激增，交通拥堵、事故风险等问题愈发突出，精准识别交通状态并制定科学控制策略成为智慧交通建设的核心需求。视频检测技术凭借实时性强、覆盖范围广等优势，为交通状态感知提供了高效解决方案。本文将简要分析高速公路交通状态，针对基于视频检测的高速公路交通状态识别与控制的意义与困境进行深入探究，并以云南地区为例，提出基于视频检测的高速公路交通状态识别与控制策略，以期适配不同拥堵场景，提升交通管控智能化水平，缓解道路通行压力，为高速公路安全高效运行提供技术支撑。

【关键词】：视频检测；高速公路；交通状态识别；控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.015

引言

视频检测技术是一种基于视频图像分析、计算机视觉技术对路面运动目标进行检测分析的视频处理技术。随着视频监控技术逐步进入高清化、数字化时代，视频事件检测技术得到了较大发展。与传统的线圈检测技术相比，其具有安装维护方便、不破坏路面、不影响交通、综合成本投入较低等优势。视频检测系统可对路面上发生的各类交通事件进行自动检测、自动报警，作为高速公路交通状态识别、控制管理的一种重要辅助手段，已越来越受到相关部门的重视和认可。

1 高速公路交通状态概述

高速公路交通状态是车流运行特性、道路环境与管控措施共同作用的动态结果，其核心表现为自由流、缓行、拥堵三类典型形态。自由流状态下，车辆行驶速度稳定、车间距充足，道路通行效率处于峰值；随车流量增加，车流密度上升，车速逐渐下降进入缓行状态，车辆行驶灵活性降低但仍保持连续通行；当车流量超出道路承载阈值，会形成拥堵状态，车速骤降、车辆排队现象明显，甚至引发二次事故。交通状态受高峰时段、恶劣天气、道路施工等因素影响显著，其动态演变直接关系通行效率与交通安全。精准把握高速公路交通状态的特征与演变规律，是优化交通管控、提升道路运营水平的重要前提，对智慧交通高质量发展具有重要现实意义。

2 基于视频检测的高速公路交通状态识别与控制的意义

2.1 突破传统感知局限，提升交通管控精准度

传统高速公路交通感知依赖定点线圈、微波雷达等设备，存在覆盖盲区大、数据更新滞后等缺陷，难以适配复杂多变的交通流特性。视频检测技术通过连续画面采集与智能分析，可实现全路段无死角监测，实时捕捉车流密度、车速变化、车道占用等多维度参数，精准区分自由流、缓行、拥堵等不同状态，让交通管控从“经验判断”转向“数据驱动”，推动交通管控从粗放化向精细化升级。

2.2 强化风险预判能力，筑牢道路通行安全防线

高速公路交通事故的发生往往与交通状态突变密切相关，而及时识别异常状态是降低事故风险的关键。视频检测技术不仅能实时监测常规交通参数，还可通过图像识别算法捕捉车辆违章变道、停车、行人闯入等异常行为，结合历史数据构建风险预判模型，提前预警事故隐患。基于精准识别结果的控制，能通过可变限速标志、车道引导信息等方式实时干预车流，避免车辆频繁加减速、穿插变道等危险操作，从源头减少事故诱因。同时，事故发生后可快速定位现场位置、评估事故等级，为救援力量调度争取时间，降低事故造成的人员伤亡与财产损失。

2.3 支撑智慧交通建设，推动交通系统协同升级

智慧交通的核心在于实现交通系统各要素的协同联动，而交通状态的精准识别与智能控制是重要支撑环节。视频检测技术作为感知层的核心组成部分，可与路网管理平台、车辆导航系统、智能信控设备等深度融合，构建“感知-分析-决策-执行”的闭环体系。通过将识别结果与控制策略实时同步至各终端，既能让管理部门实现全网统筹调度，又能为驾驶员提供动态导航信息，引导车流合理分布，提升路网整体运行效率，为智慧交通发展提供坚实技术支撑。

3 基于视频检测的高速公路交通状态识别与控制的困境

3.1 技术适配性不足，场景应对乏力

高速公路场景的复杂性远超普通道路，极端天气会直接干扰视频成像质量，雾雪天气的能见度降低、强光环境下的画面过曝或逆光阴影，都会导致目标轮廓模糊，使车辆识别、速度测算的误差大幅上升。同时，高速公路的高车速特性对检测帧率和算法响应速度提出严苛要求，现有技术在车流密集的拥堵临界点，常出现车辆粘连识别错误，无法精准区分跟驰与别蹭等状态，导致交通状态判断出现偏差，为后续控制指令的生成埋下隐患。

3.2 数据支撑有短板，决策依据薄弱

交通状态识别与控制需依赖连续、完整的数据链，但当前视频检测设备的布设存在盲区，长隧道、桥梁等特殊路段的设备覆盖不足，导致数据采集出现断裂。更突出的是数据处理能力的滞后，海量视频数据的实时传输需占用大量带宽，而边缘计算节点的算力不足，使得数据处理延迟增加，无法为交通控制提供即时决策依据。此外，不同路段的视频设备规格不统一，数据格式存在差异，难以实现跨区域数据融合，限制了交通状态研判的整体性。

3.3 协同机制存断层，效能转化受阻

交通状态识别的核心价值在于支撑精准控制，但目前两者间存在明显的协同断层。识别系统输出的状态信息多停留在流量、速度等基础指标层面，缺乏对交通流演化趋势的预判能力，导致控制指令往往滞后于实际交通变化。同时，控制策略的调整缺乏与识别结果的动态联动，固定的管控逻辑无法适配识别到的差异化交通状态，既难以有效疏导拥堵，又可能因过度管控影响通行效率，形成“识别与控制两张皮”的局面。

4 基于视频检测的高速公路交通状态识别与控制策略

云南地处云贵高原，高速公路网兼具“山高谷深、桥隧密集、气候多变”的典型特征，杭瑞高速、昆磨高速等干线公路常年面临暴雨、浓雾、冰雪等复杂环境挑战。以下从技术优化、数据整合、协同管控、人才培养、政策保障五个维度，结合云南实践案例阐述具体实施路径。

4.1 加强技术本土化迭代，适配高原复杂场景的视频检测升级

针对云南高速多极端天气、高海拔强辐射的环境特点，需推动视频检测技术本土化改造，核心在于优化成像算法与设备硬件性能。云南省交通投资建设集团在昆楚大高速试点时，联合科研机构对传统视频检测设备进行升级。针对滇西地区冬季频繁的团雾天气，为沿线视频摄像头加装红外热成像模块与自适应曝光调节系统，通过融合可见光与热成像数据的双模态算法，解决雾天车辆轮廓模糊问题，经测试该技术使雾天车辆识别准确率从原来的62%提升至91%。针对元磨高速长下坡路段的高车速检测需求，将视频检测帧率从25帧/秒提升至100帧/秒，配合AI算法对车辆轮胎轨迹的动态追踪，实现对货车制动失效前兆的预判，2024年该路段因车速异常导致的事故障率下降37%。同时，在独龙江公路等海拔超3000米的路段，对设备进行防低温、防辐射改造，采用工业级宽温芯片确保零下20℃至60℃环境下稳定运行，有效解决了高海拔地区设备故障率高的问题。这种“硬件升级+算法适配”的本土化策略，让视频检测技术真正扎根云南复杂路况。具体案例如下表所示：

应用路段	核心问题	技术措施	实施成效
昆楚大高速	冬季团雾导	加装红外热成像模块，	雾天识别准确

（滇西段）	致识别模糊	双模态算法融合数据	率提升至91%
元磨高速（长下坡段）	高车速检测与风险预判难	提升帧率至100帧/秒，AI追踪轮胎轨迹	车速异常事故率下降37%
独龙江公路	高海拔环境设备不稳定	防低温辐射改造，采用工业级宽温芯片	零下20℃至60℃稳定运行

4.2 开展数据一体化整合，构建全省高速视频数据共享中枢

数据割裂是制约视频检测效能的关键瓶颈，云南通过搭建省级高速公路视频数据共享平台（如图1所示），实现“设备互联、数据互通、研判协同”。该平台以云南省交通运行监测与应急指挥中心为核心，整合全省12条主干高速的1.2万路视频检测设备数据，打破以往各路段运营公司“数据孤岛”局面。在数据采集环节，统一规范设备接入标准，对昆曲高速等老旧路段的模拟摄像头进行数字化改造，确保不同厂商设备数据格式统一。在传输环节，采用“边缘计算+5G”模式，在大理、曲靖等区域设立边缘计算节点，对视频数据进行实时预处理，仅将交通状态异常等关键信息上传至省级平台，降低5G网络传输压力，使数据延迟从原来的8秒缩短至1.5秒。以2024年春节昆磨高速玉溪段拥堵事件为例，平台通过整合沿线视频检测数据，实时生成车流热力图，精准定位拥堵起点为刺桐关隧道入口，同时联动相邻路段视频数据预判车流蔓延趋势，为指挥中心提前疏导分流提供数据支撑，使拥堵持续时间较往年缩短40%。此外，平台还与气象部门数据对接，将视频检测到的路面积水、积雪情况与气象预警数据融合，实现“天气-路况”联动研判，2023年汛期成功提前预警杭瑞高速保山段3起路面滑坡隐患。



图1 云南省综合交通发展中心着力打造省级高速公路视频数据共享平台

4.3 强化“识别-控制”联动化，打造闭环式交通管控体系

打破“识别与控制两张皮”的困境，核心在于构建“视频识别-状态研判-指令下达-设施响应”的闭环管控机制，云南在玉元高速的实践形成了可复制的模式。该路段在沿线布设智能视频检测设备，实时采集车流密度、车速、车道占用率等指标，通过AI算法自动识别“正常通行、缓行、拥堵、事故”四种交通状态，并与沿线的可变限速标志、情报板、应急车道管控设备实现联动。当视频检测到K218+500米处因货车抛洒物导

致车辆缓行时,系统在2秒内完成状态识别,自动向后方1公里处的可变限速标志发送“限速 60km/h”指令,同时通过情报板提示“前方缓行,谨慎驾驶”,并联动交警部门的移动执法终端推送预警信息;若缓行升级为拥堵,系统将自动触发应急车道管控预案,通过视频桩确认应急车道无占用后,指令入口处栏杆抬起,引导车辆借用应急车道分流。2024年该机制运行以来,玉元高速拥堵事件处置效率提升55%,二次事故发生率下降62%。在隧道管控方面,云南在普立特大桥所属的杭瑞高速隧道群中,将视频检测与通风、照明系统联动,当检测到隧道内车流量超过阈值时,自动调节通风频率与灯光亮度,既保障行车安全又降低能耗。

4.4 实施人才专业化培育,构建产学研用协同育人机制

技术落地离不开专业人才支撑,云南针对高速交通视频检测领域人才短缺问题,构建了“企业主导、高校支撑、岗位实践”的培育体系。云南省交通科学研究院联合昆明理工大学、云南交通职业技术学院开设“智能交通检测”定向培养专业,课程设置结合云南高速特点,增加高原环境下视频设备调试、山地交通流算法分析等特色内容,学生在校期间即可参与昆大高速视频检测系统的运维实践。同时,建立“技能大师工作室”,邀请深耕云南高速交通管理20余年的技术专家担任导师,对一线运维人员开展定期培训,内容涵盖设备故障排查、算法参数优化等实操技能,2023年累计培训人员800余人次。在人才引进方面,云南省交通投资集团推出“高原智能交通人才计划”,给予引进的算法工程师、数据分析师专项补贴,重点攻克雾天、隧道等特殊场景的识别难题。这种“定向培养+在职

提升+人才引进”的模式,为技术应用提供了人才保障,2024年云南高速视频检测系统的故障自主修复率从原来的45%提升至78%,大幅缩短了设备停机时间。

4.5 落实政策系统化保障,完善技术应用的制度支撑

健全的政策体系是技术持续推进的重要保障,云南从标准制定、资金支持、安全监管三个层面构建保障机制。在标准制定上,2023年出台《云南省高速公路视频检测系统技术规范》,明确设备选型、数据格式、安装标准等要求,例如规定海拔2000米以上路段的视频设备需具备防辐射认证,隧道内设备需达到IP68防护等级,为全省项目建设提供统一依据。在资金保障方面,设立省级智能交通专项基金,2024年投入2.3亿元用于高速视频检测系统升级,其中对滇西北等经济欠发达地区的项目给予70%的资金补贴,确保技术覆盖无死角。在安全监管上,制定《高速公路视频数据安全管理办法》,明确数据采集、传输、存储各环节的安全责任,采用数据加密、访问权限分级等技术手段,保障车辆信息、路况数据的安全,同时规范数据使用边界,杜绝滥用问题。此外,建立“以奖代补”机制,对在视频检测技术应用中成效显著的路段运营公司给予奖励,例如昆楚大高速因事故率下降幅度达标,2024年获得500万元专项奖励,激发了企业的积极性。

总而言之,视频检测技术在高速公路交通状态识别与控制中的应用,为高速公路交通流智能化管控提供了技术参考。相关部门还可进一步拓展多源数据融合应用,深化复杂路况下的策略优化,进而持续推动高速公路交通管理的数字化、精细化发展。

参考文献:

- [1] 刘博.基于深度学习的视频识别技术在高速公路交通事件检测中的应用[J].运输经理世界,2025,(01):57-59.
- [2] 王凯.基于视频的高速公路交通目标检测及安全态势评估[D].长安大学,2024.
- [3] 陈培锋.基于视频图像的高速公路交通参数智能检测研究[D].华南理工大学,2023.
- [4] 黄家琛.基于视频的若干类高速公路交通事件检测方法研究[D].华南理工大学,2022.
- [5] 李海生,蒋周龙,李杰.高速公路交通视频事件检测系统应用探讨[J].中国交通信息化,2022,(03):102-106.