

Research on the Application of Highway Video Surveillance System in Traffic Situation Awareness

Yingying Fan

XinJiang Transportation Planning Survey and Design Institute CO., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

With the continuous expansion of the highway transportation network and the significant increase in traffic operation complexity, the traditional traffic management mode relying on manual inspection and single detection equipment is no longer able to meet the practical needs of real-time, comprehensive, and refined perception of traffic operation status. Video surveillance systems, with their advantages of wide coverage, rich information dimensions, and strong intuitiveness, have gradually become an important data source for traffic situation awareness systems. This article takes the highway video surveillance system as the research object, and based on the theoretical connotation and technical system of traffic situation awareness, systematically analyzes the application mechanism of video surveillance in traffic flow recognition, event detection, and operation status evaluation. Research suggests that building a traffic situation awareness system with video perception as the core and multi-source data fusion can help promote the transformation of highway traffic management from experience driven to data-driven, and from passive response to active warning.

Keywords

highway transportation; Video monitoring system; Traffic situation awareness; Intelligent Transportation

公路视频监控系统在交通态势感知中的应用研究

樊莹莹

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

随着公路交通网络规模的持续扩展与交通运行复杂性的显著提升,传统依赖人工巡查与单一检测设备的交通管理模式已难以满足对交通运行状态实时、全面与精细化感知的现实需求。视频监控系统凭借覆盖范围广、信息维度丰富与直观性强等优势,逐步成为交通态势感知体系的重要数据来源。本文以公路视频监控系统为研究对象,在梳理交通态势感知理论内涵与技术体系的基础上,系统分析视频监控在交通流识别、事件检测与运行状态评估中的应用机理。研究认为,通过构建以视频感知为核心、多源数据融合的交通态势感知体系,有助于推动公路交通管理由经验驱动向数据驱动、由被动响应向主动预警转型。

关键词

公路交通; 视频监控系统; 交通态势感知; 智能交通

1 引言

在交通需求持续增长与公路网络高度集约化运行的背景下,交通运行状态呈现出明显的动态性、不确定性与突发性特征。如何对交通流运行态势进行实时感知、准确识别潜在风险并实施有效调控,已成为现代公路交通管理的重要课题。交通态势感知作为智能交通系统的重要组成部分,其核心在于通过多源信息采集与分析,对交通系统运行状态进行综合研判与趋势预测,为交通组织优化与应急处置提供决策支持。基于此,有必要从交通态势感知的整体框架出发,对

公路视频监控系统的技术路径进行系统研究,以揭示其在现代交通管理中的价值与发展方向。

2 交通态势感知的理论起源与内涵界定

交通态势感知理论源于态势感知(Situation Awareness)在复杂系统运行管理中的应用拓展,其核心思想在于通过对系统运行信息的持续获取与综合分析,实现对系统当前状态、演化特征及未来趋势的整体把握。在交通领域,该理论强调以交通系统为研究对象,将分散、异构的交通运行数据转化为可理解、可判断、可预测的态势信息,从而为交通管理决策提供认知基础^[1]。从内涵上看,交通态势感知并非单纯的数据采集或指标计算,而是一种涵盖“感知—理解—预测”的系统性认知过程。在感知层面,交通态势感知关注对交通运行基础信息的全面获取,包括交通流参数、道路运行

【作者简介】樊莹莹(1989-),女,中国甘肃平凉人,硕士,高级工程师,从事工程咨询(投资)/电子、信息工程研究。

状态、交通设施运行情况以及外部环境因素等；在理解层面，则通过对多源交通信息的关联分析与模式识别，揭示交通运行状态背后的结构特征与作用机理，实现对拥堵形成、事故诱因及运行风险的识别；在预测层面，进一步基于历史数据与实时信息，对交通态势的演化趋势进行推断，为交通组织优化与主动干预提供前瞻性依据。

相较于传统以断面指标或经验判断为主的交通监测方法，交通态势感知更加强调系统性、动态性与整体性，其理论价值在于突破单点、静态的管理视角，将交通运行视为一个持续演化的复杂系统。这一理论特征决定了交通态势感知在技术实现上必须依托多源信息融合与智能分析手段，而视频监控系统所具备的场景覆盖能力与信息表达优势，使其成为交通态势感知体系中的重要感知基础。

3 公路视频监控系统的技术体系与运行机理

3.1 公路视频监控系统的体系结构与功能构成

在交通态势感知框架下，公路视频监控系统已由传统以图像采集与人工查看为主的单一监控形态，逐步演进为集感知、分析与服务于一体的综合技术系统。从体系结构上看，现代公路视频监控系统通常呈现出“前端感知—网络传输—平台处理—业务应用”的分层架构特征，各层级在功能定位与技术实现上相互支撑、协同运行。

前端感知层是视频监控系统实现交通态势感知的基础，其核心任务在于对公路交通运行场景进行连续、稳定的信息采集。相较于城市道路，公路场景具有线性延展距离长、环境条件复杂、监控点位分散等特点，这决定了前端设备在选型与部署上需要兼顾覆盖范围、成像质量与运行可靠性。通过在互通立交、长大纵坡、隧道及事故多发路段等关键节点布设视频采集设备，可实现对交通运行关键状态的重点感知，为后续态势分析提供有效数据来源^[2]。

网络传输层承担着视频数据实时传输与汇聚的功能，是保障态势感知时效性的关键环节。由于公路视频数据体量大、连续性强，传输系统不仅需要具备足够的带宽与稳定性，还需通过分级传输与边缘处理等方式，降低中心平台的处理压力。在这一过程中，部分视频分析功能逐步向前端或近端节点下沉，有助于实现交通异常的快速识别与初步处置。

平台处理层是视频监控系统实现“由看见到理解”转变的核心。该层通过对视频数据进行解码、存储与智能分析，

将原始图像信息转化为结构化的交通数据与态势信息。通过引入统一的数据管理与分析框架，平台处理层能够实现对多路视频信息的集中处理与综合研判，为交通态势感知提供系统支撑。业务应用层则面向公路交通管理实际需求，将视频态势分析结果以可视化或决策信息的形式输出，为交通运行监测、事件处置与调度指挥提供支持。通过这一分层体系的协同运行，公路视频监控系统得以在交通态势感知中发挥由基础感知向综合认知延伸的作用。

3.2 视频感知信息向交通态势要素转化的运行机理

视频监控系统在交通态势感知中的关键价值，并不体现在视频画面的直观呈现本身，而在于其能够通过技术手段将连续的视觉信息转化为可用于分析与决策的交通态势要素^[3]。从运行机理上看，这一转化过程实质上是一个由非结构化数据向结构化认知信息演进的过程，涉及目标识别、特征提取与态势映射等多个环节。

在视频信息初级处理阶段，系统通过对连续图像序列的分析，实现对交通参与者及道路要素的识别与分离。通过时序建模方法，可以从视频流中提取车辆运动轨迹与空间分布特征，为交通流参数计算提供基础。在这一阶段，视频数据仍主要以局部特征的形式存在，其价值体现在对交通运行状态的定量描述能力上。在中级处理阶段，视频感知结果开始与交通运行机理相结合，通过对车辆行为模式与交通组织特征的分析，实现对交通运行状态的理解。例如，通过对车辆速度变化、排队长度及占道行为的综合分析，可以识别交通拥堵、异常停车等运行状态。这一阶段的核心在于将分散的感知结果进行关联整合，使其反映出道路运行的整体特征^[4]。在高级处理阶段，视频监控系统进一步服务于交通态势感知的预测与预警目标。通过对历史视频态势数据与实时运行状态的对比分析，可以识别交通运行的演化趋势与潜在风险。当视频感知结果与其他交通信息源形成协同印证时，系统对交通态势的判断将更加稳健，为管理部门提前干预提供依据。

如图1所示，公路视频监控态势感知体系由前端视频感知、边缘计算与预处理、网络传输、平台处理、特征提取与指标计算、多源数据融合、态势理解与预测以及业务应用等环节构成，各环节以数据流与业务流耦合形成闭环。

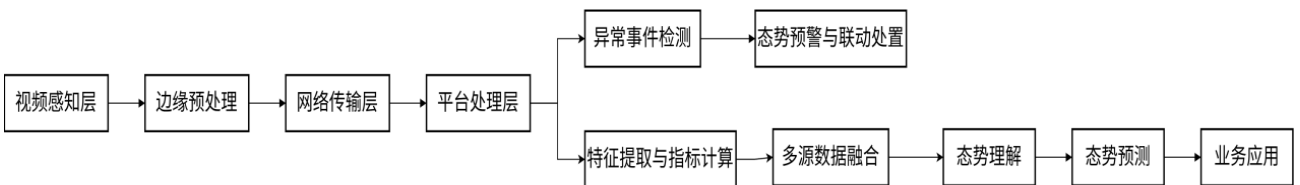


图1 公路视频监控系统驱动的交通态势感知闭环架构与数据流

4 公路视频监控系统在交通态势感知中的关键应用模式

4.1 基于视频感知的交通运行状态识别与态势判定

在交通态势感知体系中，交通运行状态识别是实现态势研判与管理决策的基础环节。依托公路视频监控系统，可对交通运行过程进行连续观测，并通过车辆时空分布特征的分析，识别道路运行状态的阶段性特征。从技术实现角度看，视频感知能够在较大空间尺度上同步获取多车道、多方向的交通运行信息，使交通流状态的识别不再局限于单一断面，而是扩展至路段乃至区域层面。

在交通态势感知应用中，视频监控系统通常通过对车辆数量、运行速度及队列演化特征的综合分析，对公路运行状态进行判定。当交通流处于稳定运行状态时，视频感知结果表现为车辆运动连续、速度波动较小；而在交通需求快速增长或通行能力受限的条件下，视频画面中车辆密度与运行节奏的变化能够直观反映交通状态由畅通向拥挤乃至拥堵的演化过程。通过对上述变化特征的量化分析，可实现对交通运行状态的分级识别，为交通态势评估提供基础依据^[5]。与传统检测手段相比，基于视频监控的交通状态识别更加强调整体性与可解释性。管理人员不仅能够获取定量化的运行指标，还可结合视频画面直观理解交通态势变化的形成机理，从而提高态势判定结果在实际管理中的可用性。这种“数据—场景”相结合的感知模式，有助于弥合技术分析结果与管理认知之间的差距，是视频监控系统在交通态势感知中发挥独特优势的重要体现。

4.2 交通异常事件识别与态势预警中的视频应用

交通异常事件是影响公路运行安全与交通态势稳定的重要因素，其发生往往具有突发性强、扩散速度快的特点。公路视频监控系统在交通态势感知中的另一核心应用，正体现在对交通异常事件的识别与态势预警支持方面。通过对视频中车辆行为与运行模式的持续分析，系统能够在事件发生初期识别异常征兆，为管理部门争取处置时间。

在异常事件识别过程中，视频监控系统并非仅关注单一画面的突变特征，而是通过对车辆运行行为偏离正常模式的识别，实现对事故、故障停车及异常减速等事件的判定。当异常事件出现时，其影响通常会迅速反映在交通运行态势上，如局部车速骤降、排队长度快速增长等。视频监控系统能够同步捕捉事件本身与其引发的交通态势变化，为事件影响范围与严重程度的评估提供直观依据。在交通态势感知框架下，异常事件识别的意义不仅在于快速发现问题，更在于

将事件信息纳入整体态势研判过程。当视频感知到的异常事件与交通流状态变化形成叠加效应时，系统可对潜在的态势风险进行综合评估，并触发相应的预警机制。这种由“事件识别”向“态势预警”延伸的应用模式，使视频监控系统在公路交通管理中由被动监视转变为主动支撑，有效提升了交通态势感知的前瞻性与协同性。

4.3 视频监控与多源数据融合的态势感知模式

单一视频数据在复杂交通环境下仍存在一定局限性，如遮挡问题与识别误差等。为提升交通态势感知的稳定性与鲁棒性，有必要将视频监控数据与浮动车数据、气象信息及道路设施状态数据进行融合。通过构建统一的数据模型与融合算法，可以实现多源信息的互补验证，从而提高态势感知结果的可信度。在公路交通管理实践中，多源数据融合有助于形成对交通运行状态的立体化认知，推动交通管理决策由局部优化向系统优化转变。在融合多源数据的基础上，可进一步构建交通态势评估指标体系，对公路运行状态进行综合评价。视频监控系统提供的直观信息与定量参数，为态势评估模型的构建提供了重要支撑。通过对交通态势等级的动态评估，管理部门能够更加精准地实施分级管控与资源配置，提升公路运行管理的整体效能。

5 结论

公路视频监控系统在交通态势感知中的应用，体现了现代交通管理向智能化、精细化方向发展的必然趋势。本文从交通态势感知理论出发，系统分析了视频监控系统在交通流识别、事件检测与态势评估中的作用机理，并论证了其在多源数据融合体系中的核心价值。研究表明，依托智能视频分析技术与数据融合方法，视频监控系统能够显著提升交通态势感知的时效性与准确性，为公路交通运行管理提供有力支撑。

参考文献

- [1] 粟双全,杨飞,杨瑞松,等. 高速公路施工现场AI视频监控系统技术及应用[J].公路工程,2025,50(04):223-231.
- [2] 王吏. 高速公路隧道智能视频监控系统设计与实现[J].运输经理世界,2025,(11):136-138.
- [3] 王迪倩,曾启明. 高速公路隧道高清视频监控系统改进工艺[J].运输经理世界,2024,(29):154-156.
- [4] 魏坚强. 高速公路视频监控系统设计分析[J].运输经理世界,2024,(24):142-144.
- [5] 孟振,马少雄,田庆. 基于云技术的高速公路视频监控系统研究与设计[J].科技创新与应用,2024,14(11):32-36.