面向“感知—决策—处置”的全链条智能执法指挥体系与应用

姚俊 晏洋
苏州市交通运输应急指挥中心 江苏 苏州 215006

摘 要 针对交通运输执法指挥中态势感知滞后、跨部门协同不足、处置响应低效及异常行为隐蔽等核心问题，本文提出一种基于多源数据融合与智能算法的执法指挥全链条体系。该体系整合视频监控识别、车辆轨迹分析及跨部门业务数据协同等技术，构建“感知—决策—处置—反馈”的闭环执法指挥架构，实现执法场景动态监测、异常行为精准识别与指挥调度智能联动。体系针对苏州市危险品运输违规典型场景进行应用，最终依托苏州市交通运输执法监管平台完成实践验证。应用结果表明，该体系有效提升了执法指挥的智能化水平与响应效率，为交通运输行业精准治理提供了可推广的技术支撑与实践范式。

关键词 交通运输；智能执法指挥；全链条；多源数据融合；异常行为识别；闭环治理

An End-to-End Intelligent Law Enforcement Command System and Application Based on “Perception-Decision-Execution”

Yao Jun, Yan Yang
Suzhou Transportation Emergency Command Center, Suzhou 215006, Jiangsu Province, China

Abstract Addressing core issues in transportation law enforcement command, such as delayed situational awareness, insufficient inter-departmental coordination, inefficient response handling, and concealed abnormal behaviors, this paper proposes an end-to-end law enforcement command system based on multi-source data fusion and intelligent algorithms. This system integrates technologies such as video surveillance recognition, vehicle trajectory analysis, and inter-departmental business data coordination to construct a closed-loop law enforcement command architecture of “perception–decision–execution–feedback,” achieving dynamic monitoring of law enforcement scenarios, precise identification of abnormal behaviors, and intelligent coordination of command and dispatch. The system was applied to typical scenarios of hazardous material transport violations in Suzhou City and validated in practice through the Suzhou Transportation Law Enforcement and Supervision Platform. Application results demonstrate that the system effectively enhances the intelligence level and response efficiency of law enforcement command, providing scalable technical support and practical models for precision governance in the transportation industry.

Key words Transportation; Intelligent Law Enforcement Command; Full-Chain; Multi-Source Data Fusion; Abnormal Behavior Recognition; Closed-Loop Governance

本研究以市级执法监管专题数据库为基础，汇聚监控视频、车辆轨迹、许可审批、执法记录等多源异构数据，开发融合智能识别与协同调度的全链条智能执法指挥模型。通过对执法场景特征的深度提取与多维度比对，实现异常行为实时预警与指挥指令智能推送，同时针对典型违规场景构建专项识别机制，为交通运输执法指挥提供系统化、智能化的解决方案。

1 国内外研究综述

在“交通强国”“数字交通”等国家战略的引导下，我国交通运输执法智能化建设已进入加速阶段。交通运输部推动的非现场执法试点工作，依托ETC门架、智能卡口、动态称重等设备，实现了超载超限、违法停车等行为的自动化识别，有效拓展了执法覆盖范围；北京、上海、广州等城市构建的“交通大脑”平台，整合多部门数据资源，为全链条执法指挥的态势决策提供了基础数据支撑。在学术研究领域，学者们针对具体执法场景开展技术突破，如基于改进的YOLO系列算法的车辆特征识别、基于图神经网络的轨迹异常分析等，在单一技术领域形成了较为成熟的解决方案，但尚未实现与全链条执法指挥流程的深度融合[1]。

国际上，欧美等发达国家较早开展智能执法指挥技术研究与实践。美国联邦汽车运输安全管理局（FMCSA）构建的

SafetyMeasurementSystem（SMS），依托车辆GPS轨迹数据与Roadsideinspection记录，实现对货运车辆违规行为的动态评分与预警，为全链条执法指挥的风险预判提供了数据依据[2]；德国则依托GIS技术与多模态图像识别融合系统，实现了道路运输车辆合规性的自动化判断，尤其在危险品运输轨迹监控方面形成了成熟技术体系，可支撑全链条执法指挥中“感知—处置”的场景化落地。

综合国内外研究现状可见，当前交通运输执法指挥智能化研究普遍面临三大核心缺口：一是多源数据协同机制不完善，难以支撑全场景态势感知，无法满足全链条执法指挥的前端数据需求；二是执法指挥全流程集成度低，缺乏“感知—决策—处置”的系统化设计，未能形成闭环的智能执法指挥体系；三是模型适配性与可推广性不足，未能形成适配我国交通治理场景的全链条技术范式。基于此，本文结合我国交通运输执法实践，提出“感知—决策—处置”全链条智能化路径，填补现有研究在执法指挥系统集成方面的空白，探索可复制、可落地的技术方案与应用模式。

2 智能执法指挥体系设计

2.1 多源数据融合的执法态势感知环节

执法态势感知是智能指挥的基础，针对传统态势感知滞后、视角片面的问题，本研究构建了融合多维度数据的立体化感知环节。该环节首先整合路网结构、执法点位分布、运输企业空间布局、重点监管区域等静态数据，构建执法基础态势图层，通过GIS技术将静态数据可视化呈现，明确不同区域的执法优先级与资源配置基准，为执法力量初始部署提供依据。

在动态态势建模层面，环节基于实时监控数据、车辆流量数据、异常行为报警数据，采用时空图卷积神经网络（ST-GCN）提取交通运行动态特征：将路网划分为若干时空单元，以单元内车辆流量、平均车速、报警频次为特征值，通过滑动窗口算法实现执法态势更新，实时捕捉路网拥堵、违规行为高发等动态变化。

在风险态势评估层面，环节融合动态态势数据与历史执法记录、企业信用等级、违规行为复发率等数据，构建多因子风险评估架构，采用层次分析法确定各因子权重，通过加权求和输出区域执法风险等级（高、中、低），高风险区域自动触发执法资源强化调度机制，中低风险区域则维持常规监测频率。

2.2 跨部门协同的执法指挥决策环节

针对跨部门执法协同不足、流程壁垒明显的痛点，本研究设计了“数据协同—规则协同—处置协同”的三层指挥决策环节。

在数据协同层，基于前文构建的数据治理机制，通过市级政务数据共享平台实现交通、公安、港航等部门的实时数据互通——例如，交通部门的营运许可数据与公安卡口的车辆轨迹数据实时关联，港航部门的船舶AIS数据与应急管理部门的气象预警数据同步更新，彻底打破“数据孤岛”，为协同决策提供全景式数据支撑[3]。

在规则协同层，环节梳理跨部门执法权责边界，构建统一的执法规则引擎：通过封装不同违规场景的处置流程与责任划分标准，实现“发现—决策—指令—处置”的规则化流转。例如，当系统识别到危险品运输车辆超范围行驶时，规则引擎自动触发“港航部门提供许可路线、公安部门规划拦截点位、交通部门执行现场核查”的协同流程，避免部门间职责重叠或推诿。

在处置协同层，环节采用多智能体强化学习算法构建执法资源调度架构：将每个执法单元视为智能体，以“处置响应时间最短”“资源利用率最高”为优化目标，综合考虑执法人员位置、装备配置、处置距离等因素，实现执法力量的最优分配与动态调整。同时，环节建立指令下达与结果反馈的闭环机制——执法人员通过移动终端接收处置指令，完成现场执法后实时上传结果，系统自动记录流程节点，确保处置过程可追溯、可评估。

2.3 多维度协同的执法处置执行环节

执法处置是“感知—研判—处置”全链条落地的核心，直接决定执法指挥的响应效率与执行效果。传统执法处置存在显著痛点：执法资源调度依赖人工指派，未结合实时态势与资源匹配度，响应滞后；跨部门权责划分模糊，高风险场景易出现“多头管”或“无人管”；处置流程缺乏标准化管控，证据采集不完整且结果难追溯。为此，本研究构建了多维度协同的执法处置环节，通过智能调度、流程标准化与证据闭环，实现处置的智能化与规范化。

该环节以“响应时效最优、权责边界清晰、处置过程可溯”为核心目标，依托态势感知的风险等级数据与指挥决策的协同指令，搭建“资源调度—流程管控—证据闭环”三层执行架构。其中，资源调度作为处置环节的运力核心，聚焦执法力量最优配置问题。

该层面采用多智能体强化学习（MARL）算法，将执法人员、车辆、专业装备分别封装为对应智能体，联动前端实时数据，接入区域风险等级、处置指令优先级，同步采集执法单元位置、装备状态、处置距离等动态参数。以响应时间最短、资源利用率最高为双目标，通过算法迭代生成最优方案：高风险

指令触发时自动匹配适配装备与就近执法、公安力量，遇任务冲突则调度备用资源池，解决传统人工调度的滞后性问题。

3 苏州市公路危险品运输违规识别与预警及全链条模型应用

苏州市作为长三角交通枢纽，公路危险品运输需求旺盛，监管压力突出，当地将“感知—决策—处置”全链条智能执法指挥模型应用于公路危险品运输场景，推动监管从传统人工模式向全流程智能化转型。

感知环节以多源数据融合构建立体化监测体系，为全链条模型筑牢数据基础。依托“六库底座”中的高速公路数据库，系统接入“两客一危”车辆实时轨迹数据，结合高速公路ETC门架、动态称重设备，同步采集车辆位置、载重、行驶速度等关键参数；高速出口等重点点位部署搭载改进YOLOv3算法的视频监控设备，精准识别车辆号牌、车型及危险品专属标识。同时，借助路侧边缘计算节点，实时比对车辆实际行驶轨迹与交通部门许可路线，若出现无报备偏离或超载等异常情况，立即触发本地预警，有效解决传统监测“碎片化”问题[4]。决策环节通过跨部门数据协同与智能分析，实现“感知信息”到“处置需求”的高效转化。依托苏州市级政务数据共享平台，交通部门的危险品运输许可数据与公安卡口轨迹数据实时联动，快速核验车辆行驶合规性；构建“行为违规度+企业信用+区域风险”三维评估体系，采用层次分析法确定各维度权重，据此划定“红、黄、蓝”三色风险等级。配套的规则引擎根据风险等级自动匹配处置方案，例如高风险情况会触发交通、公安、应急多部门联动机制，为后续处置环节提供清晰指引。

处置环节通过智能资源调度与跨部门协同联动，实现违规事件的高效响应。系统采用多智能体强化学习算法，以“响应时间最短、资源利用率最高”为目标，动态调度执法力量。例如，当高速路段识别到危险品车辆违规后，系统可快速调度就近配备专业设备的交通执法车辆与公安警车，明确拦截点位；应急部门同步调配相关救援物资，大幅缩短现场核验、拦截处置的整体流程耗时。处置过程中，执法人员通过移动终端实时上传结果至苏州市交通运输执法监管平台，确保全流程可追溯、可复盘[5]。

综上，全链条智能执法指挥模型在苏州公路危险品运输场景的应用成效显著，为全国公路危险品运输智能执法领域提供了可复制、可推广的实践范式。

4 结束语

本文针对交通运输执法中存在的态势感知滞后、跨部门协同不足、处置响应低效等问题，构建了“感知—决策—处置—反馈”全链条智能模型。该模型通过多源数据融合打破部门壁垒，利用智能算法实现态势精准评估与异常行为实时识别，借助协同机制优化执法资源调度，形成闭环治理体系。

在苏州市交通运输执法监管平台的验证结果表明，该模型在危险品运输违规等场景中展现出良好的适应性，有效提升了执法指挥的智能化水平与响应效率，降低了执法成本，增强了执法决策的精准性与公信力。

尽管本模型在实践中取得了良好效果，但仍存在进一步优化的空间，未来可从以下方向深化研究：强化跨区域协同能力：构建区域一体化执法指挥数据共享平台，突破行政区域限制，实现跨地市执法协同与违规行为追踪；融合新兴技术提升性能：引入车路协同（V2X）、数字孪生等技术，构建虚实融合的执法指挥场景，提升态势感知的全面性与处置方案的精准性；拓展业务融合应用：将执法指挥模型与运输企业信用评价、货运市场调控等业务系统深度融合，实现“执法-监管-服务”一体化发展；提升模型可解释性：开展智能模型决策过程的可解释性研究，构建符合执法规范的透明化决策机制，增强执法结果的公信力。

综上，本文提出的执法指挥全链条智能模型为交通运输智慧治理提供了系统化的技术路径，对推进“人工智能+交通运输”战略落地、构建现代化交通治理体系具有重要的理论与实践意义。

参考文献

[1]王西雪.“数字执法”新模式下大数据方法论在交通运输综合执法管理中的应用[J].大数据时代,2025(1):16-20.

[2]沈大骏.科技赋能交通运输执法现代化转型研究[J].市场周刊,2025,38(26):175-178.

[3]吴玉广,吴仁坤.智能交通技术提升道路安全执法效率的策略研究[J].人民公交,2025(10):188-190.

[4]岳鹏翥.数字化驱动下的交通智慧执法建设实践研究[J].运输经理世界,2024(35):77-80.

[5]刘向东.交通运输智慧执法建设思路与应用研究[J].运输经理世界,2023(33):58-60.

（本文编辑 吴文博）

