

智能感知驱动下的高速公路施工风险识别与应急响应机制研究

凌世雄*, 张家鑫

浙江雷博人力资源开发有限公司 浙江杭州

【摘要】在高速公路建设日益复杂的背景下,施工过程中面临的安全风险类型日趋多元,传统的人工监测与应急响应机制已难以满足高效率、高精度的管理需求。随着人工智能、物联网与边缘计算等技术的迅猛发展,智能感知系统在施工场景中的集成应用,为动态风险识别与快速响应提供了技术支撑。本文聚焦“智能感知驱动”视角,系统梳理高速公路施工中主要风险类型,探讨智能感知系统如何实现多源数据融合与实时预警,并构建契合施工周期特征的应急响应机制,以期提升工程安全管控的科学性、主动性与实效性。

【关键词】智能感知;高速公路;施工风险识别;应急响应机制;构建研究

【收稿日期】2025 年 10 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 11 月 15 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250276

Research on expressway construction risk identification and emergency response mechanism driven by intelligent perception

Shixiong Ling*, Jiaxin Zhang

Zhejiang Leibo Human Resources Development Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 Against the backdrop of increasingly complex expressway construction, the types of safety risks encountered during the construction process are becoming increasingly diverse, and traditional manual monitoring and emergency response mechanisms can no longer meet the management demands for high efficiency and high precision. With the rapid development of technologies such as artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), and edge computing, the integrated application of intelligent perception systems in construction scenarios provides technical support for dynamic risk identification and rapid response. This paper adopts an "intelligent perception-driven" perspective, systematically reviews the main types of risks in expressway construction, explores how intelligent perception systems can achieve multi-source data fusion and real-time early warning, and constructs an emergency response mechanism that aligns with the characteristics of the construction cycle, aiming to enhance the scientific nature, proactivity, and effectiveness of engineering safety management.

【Keywords】 Intelligent perception; Expressway; Construction risk Identification; Emergency response mechanism; Construction research

当前我国交通基础设施建设进入提质增效新阶段,高速公路工程规模持续扩大、施工环境日益复杂,施工安全风险呈现出高频次、多发性、突发性等特征,给传统的风险管理体系带来严峻挑战。同时,人工识别效率低、信息反馈滞后、应急响应链条松散等问题突出,亟需借助新一代信息技术手段进行系统重构。智能感知技术凭借其在环境识别、状态

感知与数据联动方面的优势,已在工业、建筑、交通等领域展现出广泛应用潜力,为高速公路施工风险治理提供了技术革新的新路径。因此,研究以智能感知驱动的风险识别与应急响应机制,对于提升工程本质安全水平和现代化治理能力具有重要现实意义。

1 智能感知驱动下的高速公路施工风险识别机制设计意义

*通讯作者: 凌世雄

在高速公路建设场景中, 风险因素常常具有隐蔽性、动态性和交互性, 若不能实现及时、精准的识别, 极易引发次生灾害与施工中断, 带来人员伤亡和经济损失。智能感知系统通过融合视频监控、激光雷达、传感网络等多源设备, 能够实时获取施工现场的环境数据、机械状态与人员行为等关键信息, 打破了传统依赖人工巡查的局限, 推动风险识别从“事后响应”向“事中预警”乃至“事前预控”转变。构建以智能感知为核心的风险识别机制, 不仅有助于提升施工安全管理的主动性和准确性, 更为实现全周期、全要素、全天候的智能化管控提供了技术基础, 是推动数字化转型与本质安全提升的重要抓手。

2 智能感知驱动下的高速公路施工风险识别机制设计难点

2.1 感知边界模糊限制全景覆盖

在高速公路施工现场, 传感设备的部署受限于地形地貌、结构遮挡和布设成本等因素, 容易造成感知盲区和覆盖重叠。部分边缘区域或临时作业区未被充分监控, 导致信息采集存在断点, 不利于全面掌握风险分布状态。此外, 不同感知设备间感知范围不一致, 存在空间冗余或空缺区域, 难以实现多源协同下的全景数据融合。这种边界模糊性使系统在高动态环境中存在隐性安全盲点, 不利于突发风险的及时识别和前置控制, 影响识别机制的完整性与时效性。

2.2 目标细粒复杂干扰特征提取

施工现场存在多类型机械设备、人员作业状态和材料堆放等复杂目标, 其形态特征高度异构, 动态行为交叉频繁。加之现场背景变化剧烈, 如光照不均、尘土遮挡、气候变化等因素, 导致图像和传感数据中的有效特征易被干扰, 致使模型难以提取稳定、具有代表性的细粒度风险指标。尤其在拥挤场景下, 局部遮挡和目标重叠情况普遍, 极易造成误检或漏检, 降低智能系统的准确性与鲁棒性, 严重制约风险识别机制的精细化能力与可靠性。

2.3 数据时序多变冲击算法泛化

施工环境具有典型的非稳定时序特征, 风险事件的发生受作业阶段、机械运行状态、人员流动密度等多重因素交织影响, 导致感知数据的时间分布高度非均匀。此类数据时序性、突发性与关联性增强了模型训练的难度, 传统静态样本驱动算法在

实际场景中表现出泛化能力不足的问题。一旦现场条件发生微变, 模型易出现识别精度下降、适应性不足等情况, 难以支撑高频次、高变动施工场景下的风险动态识别需求, 制约机制在实际工程中的通用性与实用性。

2.4 响应链条延滞削弱处置效率

尽管智能感知系统能够实现风险的初步识别与预警, 但在响应机制联动过程中, 仍存在多环节响应滞后与处置链条断裂的问题。当前多数项目尚未实现感知前端、数据平台、决策系统与应急执行单位之间的高效协同, 信息传递链冗长、指令下达路径分散, 常造成响应时间延长, 影响风险控制的时效性。此外, 系统对不同风险等级的响应优先级设置不够精准, 导致资源调度失衡与处置节奏失控, 不仅削弱整体机制效率, 也增加了施工现场应急管理的不确定性。

3 智能感知驱动下的高速公路施工风险识别机制设计方法

3.1 融合多源数据构建感知体系

构建完整的风险识别机制需依托多源感知数据的协同采集与集成处理。工作人员应结合视频监控、激光雷达、惯性导航、温湿度传感器及人员定位系统等感知终端, 通过布设逻辑优化、频域调整与信号干扰抑制策略, 实现现场多维状态信息的稳定采集。同时, 通过边缘计算节点的部署, 强化数据的实时预处理能力, 减少上传延迟与网络负载。平台侧需构建统一数据接入与清洗标准, 确保各类感知数据在时序、结构与语义层面具备融合基础, 从而建立稳定、覆盖全面的智能感知网络体系。

比如, 在“贵南高速隧道智能化建设”项目中, 工作人员需要在典型高风险区位如隧道掌子面、临时洞室、风机井等地段, 分层布设红外热成像摄像头、激光雷达传感器、环境监测模块与人员定位终端, 形成覆盖空间立体化、功能多样化的感知网络体系。系统通过边缘网关对视频、温湿度、甲烷浓度、粉尘指标等数据进行初步筛选与结构化处理, 减轻中心服务器压力并提升响应速度。平台侧设立统一数据清洗与标准转换接口, 保证不同来源的数据在格式、时间戳、语义内容等方面高度兼容, 支持后续深度融合分析与场景建模。整体感知体系不仅增强了数据的连续性与全面性, 还为实现风险识别的精度提升与异常预警提供了稳定的数据支撑。

3.2 细化场景标签训练识别模型

为提高风险识别的准确性与适应性, 工作人员应基于施工实际流程划分具体作业场景, 如路基施工、桥梁架设、隧道作业等, 并在每一场景下进行风险因子与行为模式的精细标签构建。通过分层标注技术, 提取设备运行状态、人员行为姿态、环境状态变化等关键特征, 构建多维语义标签体系, 以强化模型对复杂场景的感知理解能力。在模型训练阶段, 应采用增强学习、迁移学习等策略, 提升模型在多变环境中的泛化能力, 确保识别机制在不同阶段具备持续有效性。

比如, 在“成南扩容智慧施工管控平台建设”项目中, 工作人员需要依据施工组织安排和作业流程特征, 将施工区域划分为桥面模板搭设、混凝土浇筑、高处作业、临时用电等十余类风险场景, 并对各类场景中常见的风险行为进行逐帧标注与结构化归类, 形成具备行为特征与空间位置双重标签的数据集。随后, 通过引入深度学习中的注意力机制对重点区域数据进行训练强化, 使模型能够聚焦关键行为节点, 提高对高频高危动作的识别精度。模型部署后结合实时图像流与人员轨迹数据进行自动识别, 显著提高了系统对违规操作、越界行为、设备误动作等风险因素的响应速度与覆盖广度, 构建了场景化、动态化的风险识别矩阵。

3.3 优化时空算法实现动态追踪

施工风险具有明显的空间关联与时间演化特征, 工作人员需构建适配多场景的时空感知算法, 提升风险演变过程的动态追踪能力。通过引入时序建模结构与空间关联图谱, 在感知数据中建立节点间逻辑关系, 捕捉不同风险事件之间的时空耦合模式。模型训练中应采用滑动窗口与事件驱动机制, 识别风险指标的突变特征与行为路径。同时引入动态阈值调节机制, 使系统具备环境适应性与状态弹性, 实现施工全周期中风险要素的持续识别与实时预测。进一步而言, 时空算法设计还需融合作业工序逻辑与人员协同关系, 针对不同施工阶段构建层级分明的追踪规则集, 提升系统在跨场景、跨工点动态切换中的稳定性与可解释性。构建多维时空参数矩阵, 将静态风险因素与动态变化趋势有机整合, 实现面向施工进度、人员密度、气象扰动等多变量条件下的动态融合与实时演算, 为精准预警和前置干预提供关键支撑。

比如, 在“广佛肇高速智慧管控提升工程”项目中, 工作人员需要应对多工点同步施工带来的作业状态快速变化, 通过布设高频采样的 GNSS 定位装置与惯性测量单元, 采集关键节点设备和人员的空间位置信息, 并与作业进度系统进行实时联动, 构建动态时间轴下的作业行为数据库。基于此, 项目研发团队研发多层级图神经网络算法, 识别施工区域内多个风险因子之间的空间依赖关系, 进而捕捉隐蔽性风险的潜在路径传播机制。同时引入长短期记忆网络 (LSTM) 等时序模型, 对环境扰动、人员集中度变化等现象进行趋势预测, 使系统具备风险演化方向的预判能力与干预时间窗口的智能判断能力。平台还设置了可视化界面用于实时展示风险热力分布和风险轨迹演化过程, 辅助管理者进行动态研判与策略调整, 实现施工区域在不同作业周期内的时空闭环监管, 有效支持多场景下的动态感知与主动防控。

3.4 打通业务系统实现联动闭环

实现识别机制向应急响应机制的高效转化, 需推动感知系统与项目管理、调度指挥、应急处置等业务系统间的数据互通与流程集成。工作人员需建立标准化接口协议与消息传递机制, 确保识别结果可在多个系统间同步传递与调用。系统架构上, 应设置风险等级预警模型与任务派发引擎, 实现风险事件的即时研判、任务分配与资源调度。通过建设联动规则库与响应策略模板, 构建“感知—判断—响应—反馈”的闭环链条, 推动机制从风险识别向主动防控与自动干预全面升级。各子系统需实现状态联动、策略同步与任务对接, 保障风险信息流在决策系统、执行系统与监督系统间顺畅流通, 减少响应过程中的人为滞后与信息断层, 提升响应协同能力与现场执行效率。

比如, 在“京雄高速智能预警与应急联动系统”项目中, 工作人员需要建立多层级系统集成机制, 将施工现场的智能感知平台与指挥调度中心、应急处置单元、安全责任考核系统之间打通信息通道, 确保各系统在事件发生后可即时响应。平台通过 AI 模型识别出现场某设备状态异常并触发三级风险预警后, 立即将预警结果同步至指挥端, 由系统自动匹配处置方案并推送任务至施工管理终端与物资调配中心。响应过程中, 处置状态与现场反馈数据自动回传至平台数据库, 形成风险处置全流程的数据

闭环。整个过程中,系统还可结合历史风险处置案例与当前场景特征,对处置结果进行智能评估与调整建议输出,为后续机制优化提供数据支持。该机制大幅度减少了人工确认环节与指令传输延迟,提高了应急联动的响应准确性与执行效率,推动高速公路工程风险管理从“信息分散”向“流程闭环”的智能治理转型。

4 结语

综上所述,本文主要研究了智能感知技术在高速公路施工风险识别与应急响应机制中的应用路径,从多源数据融合、模型训练优化、时空算法构建到系统联动闭环等方面,系统阐释了其机制设计的现实意义、关键难点与技术方法。研究旨在构建具备高实时性、高精度和高协同性的智能化风险防控体系,以提升施工现场安全管理的主动性与科学性,助力重大工程项目在复杂环境中实现本质安全与智能治理的深度融合。

参考文献

- [1] 包伟鹏. 智能网联环境下高速公路改扩建施工期的交通诱导方法[D]. 江苏:东南大学,2023.
- [2] 杨晓乾,李昂. 沥青路面就地热再生智能施工系统构建[J]. 建筑机械,2025(5):56-58.
- [3] 罗志高. 智能传感器在高速公路智慧工地的应用[J]. 西部交通科技,2024(8):186-188.
- [4] 韩立中. 高速公路施工中的智能化安全监测与预警技术研究[J]. 建筑工程技术与设计,2023,11(7):10-12.
- [5] 曹才勇,杨春会,周栋,等. 基于 BIM 的 CSC 平台在高速公路施工管理中的应用研究[J]. 湖南交通科技,2023,49(2): 162-167,188.
- [6] 郭家驹,唐飞. 高速公路施工工点数字化安全管控系统应用[J]. 建筑安全,2024,39(9):51-53,58.
- [7] 廖鹏翔,房怡博. 沥青混凝土面层施工质量动态智能管控要点[J]. 工程施工与管理,2025,3(6).
- [8] 刘祥胜,黄鹏,叶雨霞,等. 高速公路改扩建工程智慧运营监控系统构建及应用[J]. 交通世界,2025(8):1-4.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS