

高速公路智慧交通与医疗及消防智能融合救援方案

周阳, 李广*

甘肃农业大学管理学院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2025年2月17日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月11日

摘要

随着交通领域的智能化发展, 交通视频监控、线上消防(如微信江苏消防报警服务)和线上120(如微信重庆“视频120”)等新兴服务模式正迅速崛起。然而, 目前这些平台在处理高速公路交通事故时, 无法感知事故信息以及选择救援方案, 仍需人工干预, 比较影响救援的时效性。针对此问题, 本文提出了一种基于深度学习的高速公路事故智慧救援平台, 首先, 通过目标检测和目标分类算法精准识别人员和车辆以及类型, 结合逻辑判断是否发生交通事故; 借助人体姿态识别技术, 判断人员是否受伤; 同时, 利用语义分割算法检测道路是否出现火焰和烟雾; 根据这些信息自动决策事故等级, 并启用对应的救援方案, 将事故的关键信息上报至救援单位; 智慧救援平台不仅解决了事故感知滞后的问题, 而且提高了救援效率, 保障了高速公路的安全。

关键词

深度学习, 目标检测, 语义分割, 姿态识别, 智慧救援, 智慧交通

Integrated Rescue Plan for Intelligent Transportation, Medical and Fire Protection on Highways

Yang Zhou, Guang Li*

College of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu

Received: Feb. 17th, 2025; accepted: Apr. 3rd, 2025; published: Apr. 11th, 2025

Abstract

With the intelligent development of the transportation field, new service models such as traffic

*通讯作者。

video monitoring, online fire protection (such as WeChat Jiangsu Fire Alarm Service), and online 120 (such as WeChat Chongqing "Video 120") are rapidly emerging. However, at present, these platforms cannot sense accident information and select rescue plans when dealing with highway traffic accidents, and still require manual intervention, which affects the timeliness of rescue. In response to this problem, this article proposes an intelligent rescue platform for highway accidents based on deep learning. Firstly, through target detection and classification algorithms, it accurately identifies personnel and vehicles as well as their types, and combines logical judgment to determine whether a traffic accident has occurred. With the help of human pose detection technology, it judges whether personnel are injured. At the same time, it uses semantic segmentation algorithms to detect whether there is flame and smoke on the road. It automatically determines the accident level based on this information, activates corresponding rescue plans, and reports the key information of the accident to the rescue unit. The intelligent rescue platform not only solves the problem of delayed accident perception, but also improves the efficiency of rescue and ensures the safety of the highway.

Keywords

Deep Learning, Object Detection, Semantic Segmentation, Pose Recognition, Intelligent Rescue, Intelligent Transportation

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

随着城市化进程的加速和车辆保有量的持续增长,高速公路作为连接城市间的重要交通枢纽,其运营管理的复杂性和挑战性日益凸显。高速公路交通流量大、车速快、事故频发,不仅给行车安全带来巨大隐患,也对高速公路运营管理提出了更高要求。传统的交通管理和应急响应模式已难以满足当前高速公路运营的实际需求,亟需引入更加智能化、高效化的管理系统。

智慧交通系统(Intelligent Transportation System, ITS),作为推动交通管理现代化的关键引擎,融合了物联网、大数据、云计算及人工智能等前沿科技,实现了对交通流量、路况信息及安全态势的全方位、实时性监测与管理。这一系统不仅在提升交通流畅度、缓解拥堵状况、降低事故风险方面展现出卓越成效,更引领了交通管理向智能化、精细化方向迈进。然而,面对高速公路上突如其来的火灾、交通事故等紧急状况,单纯依赖 ITS 的力量尚显单薄,亟需与消防、医疗等应急系统构建起无缝对接、高效协同的联动机制,以确保在紧急关头能够迅速响应、精准施策,有效应对并妥善处置各类突发事件,保障高速公路的安全畅通与公众的生命财产安全。

智慧交通系统与消防、医疗等应急系统构建起无缝对接,有助于以下几点:

1. 提高应急响应速度

高速公路智慧交通系统与消防及医疗系统的联动,可以实现对高速公路上突发事件的实时监测和快速响应。通过智慧交通系统的数据分析和预警功能,一旦发现火灾或交通事故,系统可以立即自动报警,并同步将事故信息推送至消防和医疗部门,实现多部门之间的信息共享和协同作战。这种联动机制能够极大地缩短应急响应时间,为救援工作争取宝贵时间。

2. 提升救援效率

智慧交通系统与消防及医疗系统的联动,还可以实现救援过程中的信息共享和协同作战。消防部门

可以通过智慧消防平台实时了解火灾现场的详细情况, 包括火势大小、蔓延方向、被困人员位置等, 从而制定更加科学合理的灭火救援方案。医疗部门则可以根据伤员情况, 提前准备相应的医疗设备和药品, 确保伤员能够得到及时有效的救治。这种协同作战模式能够显著提升救援效率, 最大限度地减少人员伤亡和财产损失。

3. 增强安全保障能力

高速公路智慧交通系统与消防及医疗系统的联动, 不仅可以在事故发生后提供及时有效的救援服务, 还可以通过数据分析和预警功能, 提前发现潜在的交通安全隐患, 制定预防措施, 防止事故的发生。同时, 通过加强与其他相关部门的合作与交流, 共同构建高速公路安全保障体系, 提高整体的安全保障能力。

4. 推动智慧交通发展

高速公路智慧交通系统与消防及医疗系统的联动研究, 不仅是对现有交通管理模式创新和完善的, 更是对未来智慧交通发展的重要探索和实践。通过该领域的研究和应用, 可以推动智慧交通技术的不断升级和普及, 为高速公路运营管理提供更加智能化、高效化的解决方案, 促进交通运输行业的可持续发展。

当前, 在高速公路上发生交通事故时, 事故救援主要依靠高速公路监控中心人员通过电话呼叫相应道路救援服务。监控中心人员利用实时监测交通流量和路况信息, 需时刻用电话形式上报给消防和医疗, 为消防和医疗资源的调度提供科学依据。但该方法存在监控人员中心事故感知低且救援不及时风险。因此, 如何在高速公路发生交通事故时能及时且准确地制定道路救援方案, 成为首要考虑的问题。

为了有效解决上述问题, 本文将采用深度学习技术, 深入挖掘并结合现有技术和平台。这一研究不仅对高速公路的人工智能应用有所助益, 更将对智慧交通领域产生深远影响。它为智慧交通系统的持续优化提供了坚实的理论支持, 有助于推动智慧交通的进一步发展。

文章对智慧交通的发展具有重要意义, 它主要从以下几个方面做出了贡献:

(1) 事故感知

智慧交通, 可有效地整合环境、能源及土地资源, 是实现城市或公路稳定可持续发展的重要方式之一[1]。智慧交通不仅运用于城市交通, 也广泛应用于高速公路, 以改善高速公路交通情况, 并将现有资源进行充分利用推进“智慧公路”建成。从而实现综合、高效、可持续的多模式交通运输系统[2]。通过深度学习技术[3], 借助目标检测和目标分类算法[4]精准识别人员和车辆以及类型, 结合逻辑判断是否发生交通事故; 借助人体姿态识别技术[5], 判断人员是否受伤; 利用语义分割算法[6]检测道路是否出现火焰和烟雾。当道路发生交通事故时, 事故感知能够迅速报告警情, 高速公路监控中心也能在第一时间监测到事故现场情况, 为救援工作提供宝贵的时间。

(2) 智能救援

根据事故感知检测的事故信息自动决策事故的等级, 并启用对应的救援方案, 将事故的关键信息上报至救援单位, 如发生人员受伤, 自动将人员受伤图片或视频发送线上 120 急救中心; 倘若检测到明火或者烟雾, 自动将事故现场图片或视频发送线上消防。实现快速、有效的报警操作, 从而更好地保障人民群众的生命财产安全。

2. 主要技术剖析

2.1. 技术框架

基于深度学习的事检测功能, 结合线上消防和线上 120 的救援数据, 可以实现高速公路事故自动应对策略。

当事故感知检测到高速公路上的车辆事故时, 如图 1 所示的智能道路救援流程, 它会根据高速公路摄像头的点位信息(包括摄像头的坐标位置)以及事故的严重程度, 通过微信接口迅速将救援请求发送给线上 120 和线上消防, 以便进行及时的道路救援。这种自动应对策略不仅提高了救援效率, 而且有效保障了道路交通的安全与顺畅。

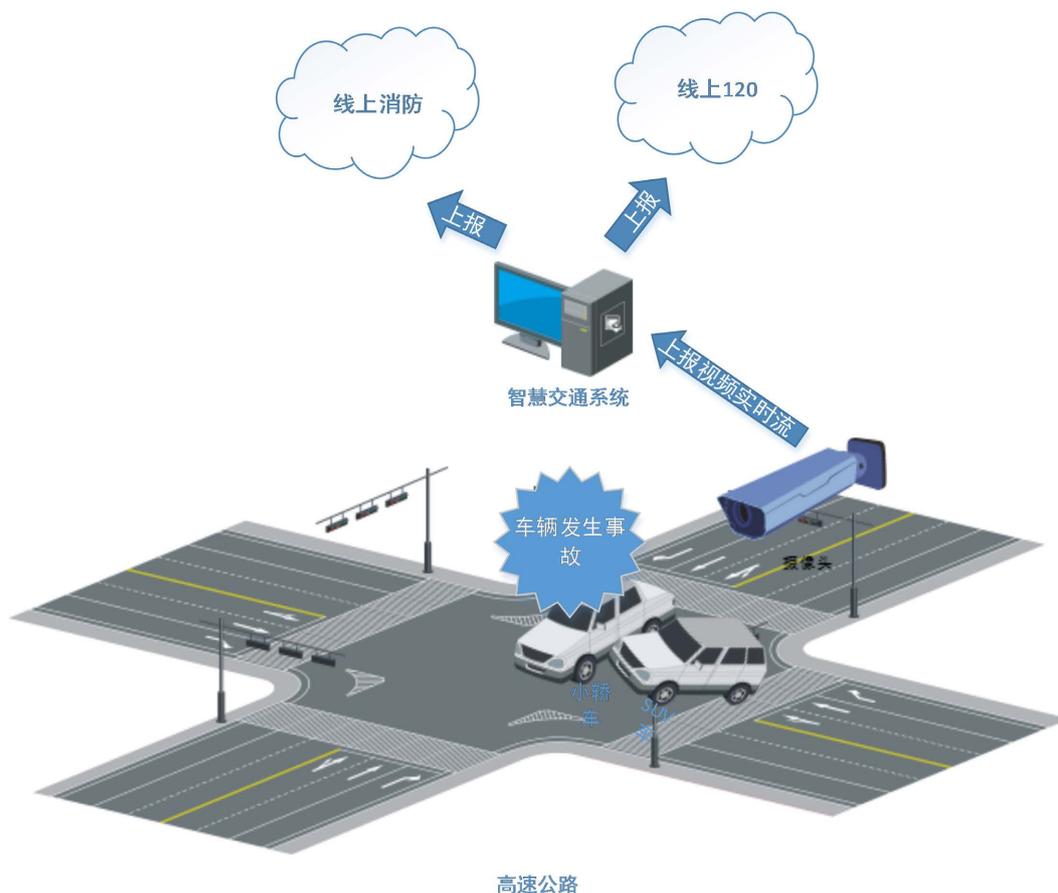


Figure 1. Intelligent road rescue
图 1. 智能道路救援

2.2. 事故感知

2.2.1. 道路交通异常识别算法

事故感知在保障交通安全方面起着至关重要的作用。为了实现这一目标, 该平台利用了道路交通异常识别算法, 分别针对交通事故、明火和人员跌倒情况检测, 算法功能如下描述:

(1) 交通事故检测: 通过像素追踪目标检测算法[7], 可实时分析视频画面中的人员和车辆, 并进一步通过目标分类算法精确识别人员和车辆类型。结合每一帧的识别结果, 可获取车辆的行进车道、计算车速[8]和车辆距离[9]、碰撞速度以及人员行走速度。

利用光流算法-LK 金字塔算法的金字塔方法, 初始情况下, 使 I^0 为原始图像, 从 I^0 计算 I^1 , 从 I^1 中计算 I^2 , 令 L 代表金字塔的层数, 每层金字塔图像都有一个剩余光流量 d^L 和初始光流量 g^L , 根据 L 层光流计算结果估计第 $L-1$ 层光流的初始值, 再根据初始值计算第 $L-1$ 层的上的剩余光流量, 依次类推, 直至计算出最底层的原始图像的光流。最终的光流值就是所有层的分段剩余光流的叠加, 其算法公式:

$$d = \sum_{L=0}^{L_m} 2^L d^L$$

交通事故检测流程图如图 2 所示。

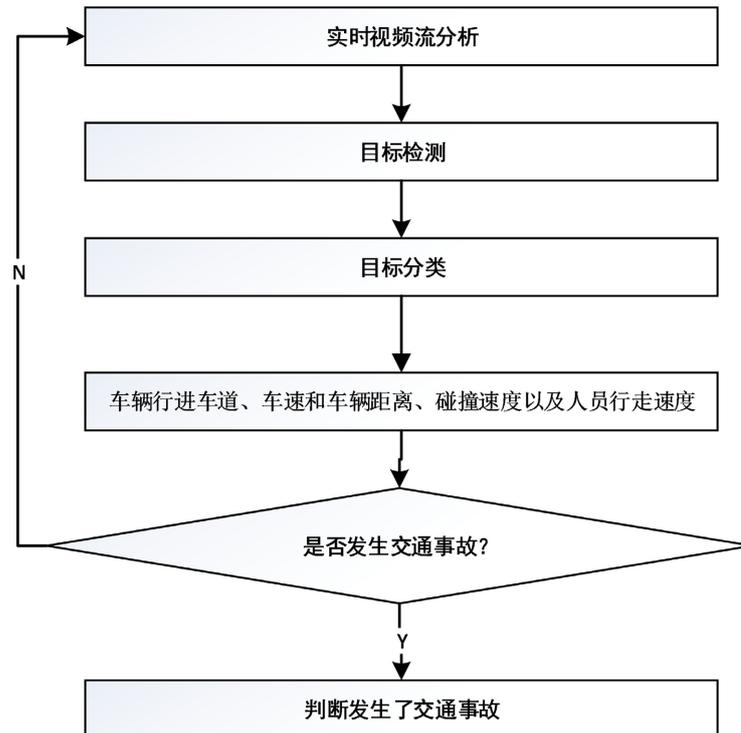


Figure 2. Traffic accident detection

图 2. 交通事故检测

交通事故检测算法应用在实际高速公路, 其算法检测出事故样本的部分示例, 见图 3 交通事故样本, 标注其名称 traffic accident, 交通事故相似度 0.8。



Figure 3. Traffic accident samples

图 3. 交通事故样本

交通事故检测模型的数据集选取实际高速公路的实时视频流, 确保数据集的多样性和代表性。同时

也包含不同的天气/光照情况、交通流量和事故类型等场景。其性能指标分别为检出率(系统检出交通事故数/数据集总事故数 × 100%)、误报率(检测错误的事件数/检测总事件数 × 100%)、平均检测时间(事故发生到系统检测出交通事故告警所需的平均时间)。见表 1, 交通事故检测与其他算法对比后交通事故检测对于 3 个性能指标而言, 效果更好。

Table 1. The comparison of traffic accident detection with other algorithms

表 1. 交通事故检测与其他算法对比

	场景差算法	随机森林	交通事故检测
检出率	简单场景效果好, 但复杂场景(光照变化、遮挡等)检出率和准确率较低	通过提取图像特征进行分类实现交通事故检测, 较场景差算法检出率和准确性有所提升, 复杂场景仍然存在一定局限	自然提取图像中深层次特征并通过大量数据训练得到准确的检测模型。检出率和准确性较高, 且在复杂场景下, 能保持较高的检测性能和稳定性
误报率	复杂场景误报多	复杂场景误报多	误报较低
平均检测时间	平均检测时间最长	平均检测时间一般	平均检测时间较短, 具有较高的实时性和响应速度

(2) 明火检测: 对于路面而言, 汽车行驶过程中可能会遭遇自燃或交通事故导致的起火等突然状况, 也可能是路面温度过高导致的易燃易爆物品的起火, 或者其他原因, 严重影响道路安全。

由于火焰并非具有固定的形状和颜色, 因此, 目标检测算法无法精准有效地捕捉视频中的明火, 可使用语义分割算法[10]; 与目标检测算法不同的是, 语义分割算法是将像素分类, 为图像中的每个像素赋予正确的语义标签; 但是, 夜间的车辆开启车灯时, 很容易误识别为火焰, 会导致出现大量的误报, 因此, 考虑到火焰在出现之前, 一般会伴随大量的烟雾, 为了提高检测的准确率, 可以融合烟雾检测作为补充条件, 其同样使用语义分割算法。

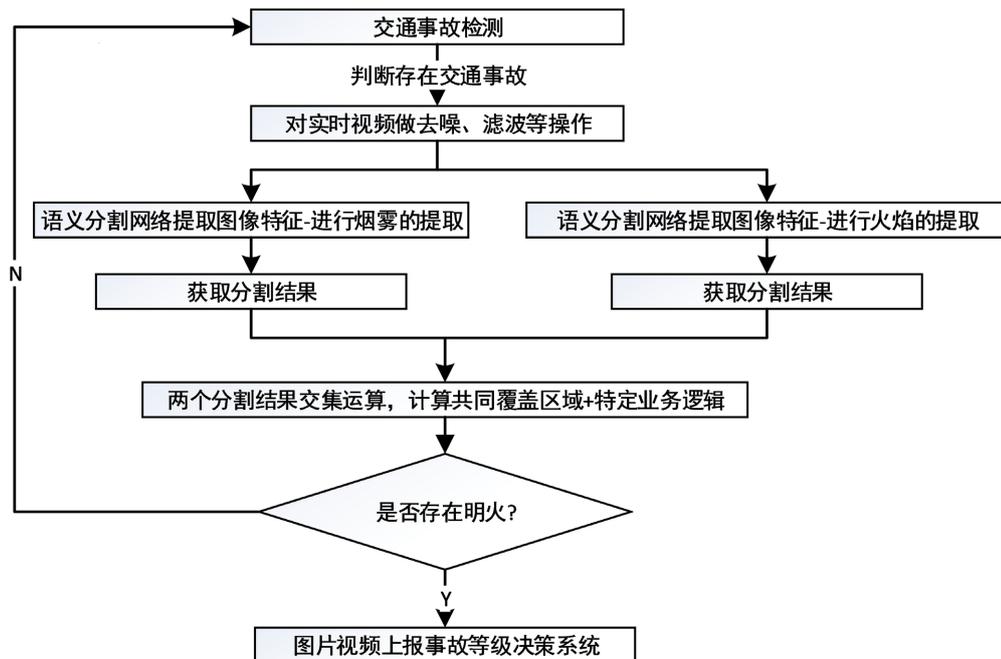


Figure 4. Fire detection

图 4. 明火检测

首先, 利用预处理对视频图像进行如滤波、去噪和图像增强等操作, 提高视频图像的质量; 然后, 通过语义分割网络[11]提取图像特征, 其中, 先进行烟雾的提取, 再进行火焰的提取[12], 获得分割的结果; 最后, 根据两个分割结果进行交集运算, 计算共同覆盖区域, 再结合业务逻辑判断是否出现了明火。明火检测流程图见图 4。

需要注意的是, 烟雾检测算法作为辅助条件, 不仅可以提高算法的稳定性, 降低火焰的误检率, 而且还可以独立作为一种异常识别算法发挥功能。

明火检测需要设置 4 个方向的参数设置:

(1) 模型训练参数: 设置合适的批量大小(batch size)、跳帧数、学习率(learning rate)、迭代次数(epochs)等参数, 以确保模型能够充分学习并收敛。

(2) 图像预处理参数: 根据采集到的图像质量, 调整去噪、滤波等预处理操作的参数, 以提高图片质量并减少噪音干扰。

(3) 语义分割算法参数: 提取火焰和烟雾特征的形状、颜色、纹理等, 以实现火焰的自动识别和定位。

(4) 智慧交通系统参数: 明火检测事件设置告警级别、烟雾浓度等参数, 以确保在检测到明火时能够及时触发报警。

为了验证所使用的明火检测算法的有效性, 进行了如下试验:

(1) 数据集准备: 收集大量包含明火和非明火场景的视频数据(其中包含烟雾和不包含烟雾), 并进行数据标注, 并明确标注出明火位置、大小等信息。

(2) 模型训练与优化: 使用标注的数据集对明火检测模型进行训练, 并采取反向传播算法不断优化模型参数。通过交叉验证等方法评估模型性能和准确率, 确保模型能够准确识别明火和烟雾。

(3) 实地测试检测效果: 在高速公路的不同路段、不同时间段进行测试, 记录检测准确率、误报率、漏报率等指标。同时观察算法在不同光照、复杂背景等场景下的表现。

(4) 对比分析: 将明火检测算法与其他语义分割算法进行对比分析, 评估算法优劣。

(5) 优化算法: 根据实地测试的结果和对比分析, 对明火检测算法进一步优化和改进, 以提高准确性和鲁棒性。

语义分割算法与明火检测数据对比, 见表 2, 其明火检测实验结果如图 5。

Table 2. Comparison between semantic segmentation algorithm and open flame detection data

表 2. 语义分割算法与明火检测数据对比

	语义分割算法	明火检测
准确率	普通图像数据集测试, 准确率达 80~90%, 但对含有烟雾图片识别率将降低至 50~60%	实时视频下, 准确率 75~90% (受遮挡、烟雾、光线变化影响)
召回率	在普通图像场景下, 召回率取决于算法对各类物体的检测完整性, 对于常见物体类别召回率达到 75%~85%	白天或隧道光线充足且成像质量高的情况下, 召回率达 90% 以上; 夜晚或大雾等天气, 召回率为 86%
运行效率	0.1~0.5 s	最快速度为 1 帧内只要 1 张采集图片检测到火焰, 即上报告警
应用场景	识别道路、车辆、行人等不同语义区域	识别道路、车辆、行人等不同语义区域; 火灾监控: 及时发现火灾隐患; 消防安全: 辅助判断明火情况



Figure 5. Fire detection result
图 5. 明火检测结果

(3) 人员跌倒检测: 如果出现人员跌倒在路面上, 很容易发生交通事故。对于人员跌倒, 由于摄像头采集的视频没有深度信息, 也无法批量地通过标定计算空间信息, 因此, 考虑姿态识别和时序网络建模人员跌倒的行为。



Figure 6. Human pose recognition
图 6. 人体姿态识别

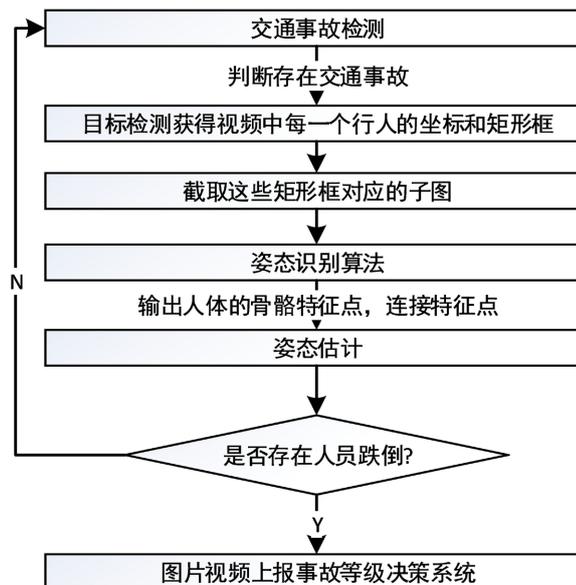


Figure 7. Falling action detection
图 7. 人员跌倒检测

首先, 利用目标检测算法获得视频中每一个行人的坐标和矩形框; 然后, 截取这些矩形框对应的子图, 输入至姿态识别算法[13], 并输出人体的骨骼特征点, 连接特征点即可进行姿态的估计, 一般情况下, 可通过不同特征点的空间几何关系判断人员的姿态[14], 例如, 当头、腰和脚在一条直线且垂直水平线时, 如图 6 所示为站立状态; 最后, 结合人员的姿态估计和运动轨迹, 利用长短期记忆网络[15]或者循环神经网络[16]等, 输出人员是否受伤的结果[17], 如图 7 流程图。

2.2.2. 智能救援决策系统

不同类型的交通事故的严重等级、所需的救援资源和应急方案有所差异, 尤其是同时出现道路交通异常时, 如何制定处置方法涉及到重要的调度; 因此, 需要设计关键的影响因素, 并量化影响因子, 为每一种交通异常计算严重等级和分数, 从而匹配对应的应急预案。

对于交通事故, 其影响因素包括: 事故类别(小车与人碰撞、大车与人碰撞、小车与小车碰撞、小车与大车碰撞、大车与大车碰撞等更多细分车型)、是否起火、是否拥堵、事故时间、车流量、天气状况(晴天、阴天、雨天、雾天、雪天)和温度等[18]; 类似地, 对于明火, 其影响因素包括车流量、是否拥堵、火焰高度、火焰面积和烟雾面积等; 对于人员跌倒, 其影响因素包括跌倒时间、跌倒时长、跌倒车道、车流量、天气状况和温度等。

这些信息需要进行合理的量化, 以及设计影响因子, 而且考虑利旧现有数据, 然后通过数据治理、数据清洗和数据处理输入至决策系统, 可采用神经网络算法或支持向量机算法, 交通异常等级可采用分类算法的形式, 交通异常分数可采用回归算法的形式, 最终决策系统将根据图 8 匹配对应的救援方案。

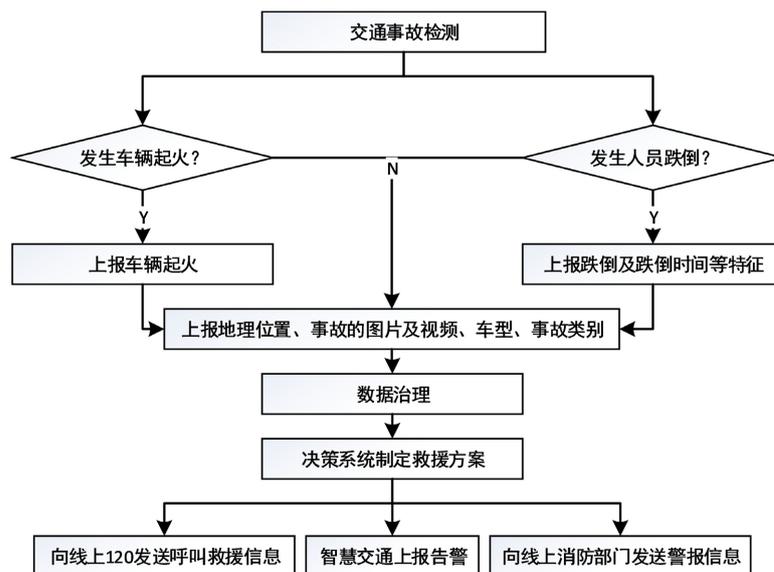


Figure 8. Decision making system

图 8. 决策系统

2.2.3. 决策系统告警增加位置信息接口

当智慧交通系统启动的道路交通异常识别算法触发警报时, 系统会在高速公路监控中心弹出一个提示框, 同步将信息传输至决策系统, 决策系统根据警报图片或视频, 并据此制定道路救援方案。

当发生小车与小车、小车与大车、大车与大车、小车与人、大车与人碰撞等相撞, 辅助天气、温度、拥堵及车流量信息, 智能救援决策系统做出对应方案。如发现明火, 决策系统提醒监控中心并同步触发位置信息接口(调用雷达获取位置信息), 并向线上消防部门发送警报信息。若发生人员受伤, 决策系统提

醒监控中心并同步触发位置信息接口, 并依据事件告警的图片和视频, 确认人员状况。随后, 将事件发生的视频作为依据, 上报给线上 120 进行紧急呼叫救援处理。

智能救援决策系统集成智慧救援平台、线上消防系统、线上 120 系统的关键信息, 实现多部门之间的信息共享和系统作战。同时根据拥堵及车流量信息、事故等级、消防和医疗需求等因素, 为消防和 120 医疗系统的资源调度提供决策支持。加之智慧交通系统与消防、医疗系统建立联动机制, 确保在紧急情况下能迅速启动写作流程, 实现多部门之间的无缝衔接和高效协同。

2.3. 线上消防

传统消防处理事故与系统联动消防处理事故对比, 见表 3, 体现系统联通消防处理事故(线上消防系统)的及时性和准确性。

Table 3. Comparison of fire treatment accidents

表 3. 消防处理事故对比

	传统消防处理事故	系统联动消防处理事故
报警方式	手工报警, 存在一定滞后性	决策系统给线上消防系统上报告警提示, 及时性高
位置准确度	依靠人工传达位置, 准确度差	位置信息通过雷达获取, 准确度高
事故级别	无法知晓交通事故级别	根据图片和视频判定事故级别

线上消防系统与智慧救援平台联动, 增加了决策系统上报告警的接口。该接口运行流程如下:

(1) 线上消防系统接收到决策系统发送的告警信息, 包括事故发生的详细地点坐标、事故现场的视频或图片。这一流程的具体操作过程可参考图 5 所示的决策系统图。

(2) 消防系统根据接口传输的事故现场视频或图片, 进行详细的事故级别判断, 并据此制定相应的消防救援方案。这一步骤确保了快速、准确的事故响应, 有效提升救援效率和成功率。

智慧救援平台与消防系统的集成采用 MQTT 作为通信协议, 协定数据格式和传输方式, 确保传输的数据可靠。其接口如下:

(1) 火灾告警接口: 当智慧救援平台发现火灾情况, 并触发明火告警信息, 该告警状态为待处理, 同步将事故发生的详细地点坐标、事故现场的视频或图片信息发送给消防系统。便于消防系统判断事故级别并执行相应的救援方案。当明火算法检测到火灾已消除, 会将该告警状态设置为已消除。并上报给消防系统, 便于火灾情况跟踪。

(2) 道路交通实时接口: 当智慧救援平台触发明火告警时, 将智慧救援平台采集的交通流量、车辆速度、车道占用、拥堵情况等信息通过接口每 5 分钟实时发送给消防系统, 便于为消防救援提供最优路径规划, 实现资源的优化配置和高效利用。

(3) 救援车辆到达预估接口: 消防系统根据消防车位置、预计到达事故现场时间等信息每 5 分钟实时反馈给智慧救援平台, 便于现场实时掌握消防车动态。

2.4. 线上 120 救援

传统医疗救援与系统联动医疗救援进行比较, 见表 4, 充分展示系统联动医疗救援(线上 120)的及时性和精准性。

线上 120 急救中心与智慧救援平台建立了紧密的合作关系, 通过增加上报告警接口, 实现了信息的快速传递。具体流程如下:

(1) 线上 120 急救中心接收到决策系统发送的告警信息, 包括事故发生的详细地点坐标、事故现场的

视频或图片。这一流程的具体操作过程可参考图 5 所示的决策系统图。

(2) 120 救护系统根据接口传输的事故现场视频或图片, 进行详细的医疗救助级别判断, 并据此制定相应的急救方案。这一步骤确保了及时、准确的医疗救助, 为伤者争取宝贵的救治时间。

智慧救援平台与线上 120 急救中心的集成采用 MQTT 作为通信协议, 协定数据格式和传输方式, 确保传输的数据可靠。其接口如下:

(1) 人员跌倒告警接口: 当智慧救援平台发现人员跌倒情况, 并触发人员跌倒告警信息, 该告警状态为待处理, 同步将事故发生的详细地点坐标、事故现场的视频或图片信息发送给线上 120 系统。便于 120 急救中心判断事故级别并执行相应的救援方案。当人员跌倒算法检测到跌倒情况已消除, 会将该告警状态设置为已消除。并上报给线上 120 系统, 便于人员跌倒伤亡情况跟踪。

(2) 道路交通实时接口: 当智慧救援平台触发人员跌倒告警时, 将智慧救援平台采集的交通流量、车辆速度、车道占用、拥堵情况等信息通过接口每 5 分钟实时发送给线上 120 系统, 便于 120 急救中心快速响应, 派遣救护车并规划最优救援路线。

(3) 救援车辆到达预估接口: 120 急救中心根据救护车位置、预计到达事故现场时间等信息每 5 分钟实时反馈给智慧救援平台, 便于现场实时掌握救援车动态。

Table 4. Medical rescue comparison

表 4. 医疗救援对比

	传统医疗救援	系统联动医疗救援
报警方式	手工拨打 120 请求救援, 存在一定滞后性	决策系统给线上 120 急救中心上报告警提示, 及时性高
位置准确度	依靠人工传达位置, 准确度差	位置信息通过雷达获取, 准确度高
事故级别	无法知晓医疗事故级别, 无法准确判断出所需医疗设备数量	根据图片和视频判定医疗事故级别, 可准确判断出所需医疗资源

3. 结束语

本文得出的主要结论如下:

结合高速公路智慧交通系统与消防、120 医疗救护系统, 可在事故感知事故发生后的第一时间迅速制定出高效的道路救援方案, 从而显著提高救援响应速度, 提升救援效率。

智慧救援平台将大幅缩短救援所需时间, 进一步强化人工智能在智慧公路方面的精准性和稳健性。未来, 智慧交通、消防和 120 救护数据的深度融合, 将为高速公路安全领域带来激动人心的前景, 为构建更加智能、精准的交通管理系统开辟全新的可能性。

参考文献

- [1] 黄楠. 复杂多行程车辆路径问题的精确算法研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2022.
- [2] 曹小曙, 杨文跃, 黄晓燕. 基于智慧交通的可达性与交通出行碳排放: 理论与事件[J]. 地理科学进展, 2015, 34(4): 418-429.
- [3] 白强. 机器视觉中语义分割及目标抓取的深度学习技术研究[D]: [博士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- [4] 钟兴军, 吴俊琦. 一种基于目标检测的动态环境下视觉定位系统[J]. 现代电子技术, 2024, 47(2): 160-164.
- [5] 吴宏涛, 刘一帆. 一种多特征加权融合的事故识别算法[J]. 山西交通科技, 2024(2): 139-142.
- [6] 张文超. 基于图神经网络的人体姿态识别关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2023.
- [7] 陈菁菁. 基于卷积神经网络的图像语义分割算法研究[D]: [硕士学位论文]. 绵阳: 西南科技大学, 2023.
- [8] 李甜, 林贵敏, 余焯楷. 改进 YOLOv5s 的车辆目标检测研究[J]. 时代汽车, 2024(1): 16-18.

- [9] 李国进, 胡洁, 艾娇燕. 基于改进 SSD 算法的车辆检测[J]. 计算机工程, 2022, 48(1): 266-274.
- [10] 高铁男, 巩建强. 我国道路交通事故特征及致因分析[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(11): 4013-4023.
- [11] 张学涛. 基于深度学习的道路图像语义分割算法研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2019.
- [12] 马龙杨. 基于语义分割网络的车道线检测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆邮电大学, 2023.
- [13] 姚楠, 吴曦, 蔡越, 等. 一种基于火苗跳动建模的明火检测方法及系统[P]. 中国专利, CN111191575B, 2022-09-23.
- [14] 李超, 陈曾平, 杨霄鹏, 等. 基于 Wigner-Ville 分布的空间目标多姿态角特征融合识别算法[J]. 电子学报, 2008, 36(3): 531-536.
- [15] 孙宏贤, 徐兰. 基于长短期记忆网络的高速公路车辆变道轨迹预测模型[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(12): 316-321.
- [16] 黄祥洲, 汤斯亮, 张引, 等. 观点型问题机器阅读理解中混合词向量和层叠循环神经网络联合训练方法的应用(英文) [J]. 信息技术与电子工程前沿, 2020, 21(9): 1346-1356.
- [17] 武溟暄, 葛晓波, 丰博, 等. 基于神经网络的虚拟人姿态仿真方法[J]. 计算机集成制造系统: 2024, 30(5): 1620-1633.
- [18] Bochkovskiy, A., Wang, C.Y. and Liao, H.-Y.M. (2020) YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. arXiv:2004.10934.