

城市主干道道路智能化交通管理系统设计与优化研究

石鑫于磊

北京中机车辆司法鉴定中心 北京 100000

摘要: 随着城市化进程的加速,城市主干道交通拥堵、事故频发等问题日益严峻,传统交通管理模式已难以满足现代交通需求。本文聚焦城市主干道道路智能化交通管理系统,从系统架构、关键技术、核心功能模块等方面进行设计研究,并针对现存问题提出优化策略。通过实际案例验证,智能化交通管理系统可显著提升主干道通行效率、降低事故率,为城市交通管理提供科学依据与技术支持。

关键词: 城市主干道;智能化交通管理;系统设计;优化策略

1 引言

1.1 研究背景与意义

城市化进程的加速使城市人口和机动车数量急剧增长,城市主干道作为城市交通的核心脉络,承载着大量交通流量。然而,传统交通管理依赖人工经验与固定配时,难以应对动态变化的交通需求,导致主干道拥堵频发、事故率上升^[1]。据统计,我国超大城市高峰时段主干道平均车速不足25公里/小时,交通拥堵导致的经济损失占GDP的5%—8%。在此背景下,智能化交通管理系统应运而生,其通过物联网、大数据、人工智能等技术,实现交通状态实时感知、智能决策与精准控制,对提升主干道通行效率、降低事故率、优化环境质量具有重要意义。

1.2 国内外研究现状

国外在智能化交通管理领域起步较早,美国、日本、欧洲等国家和地区已建成较为成熟的智能交通系统。例如,美国洛杉矶的智能交通系统通过实时交通数据采集与分析,实现信号灯动态配时,使主干道通行效率提升20%;日本东京的智能交通管理系统整合了交通监控、公共交通调度等功能,有效缓解了城市交通压力。我国智能化交通管理研究虽起步较晚,但发展迅速。近年来,北京、上海、广州等城市纷纷开展智能交通系统建设,在交通信号控制、交通监控、智能停车等领域取得显著成果。然而,我国智能交通系统建设仍存在数据孤岛、技术瓶颈、资金投入不足等问题,制约了系统的进一步发展。

2 城市主干道道路智能化交通管理系统设计

2.1 系统架构设计

城市主干道道路系统遵循“感知—数据—决策—执行—交互”的分层逻辑,构建五层分布式架构,包括感知层、网络层、平台层、执行控制层和用户交互层。

感知层: 作为系统的“神经末梢”,感知层通过多

源设备采集交通流、事件、环境等数据,覆盖“人—车—路—环境”全要素。固定设备包括视频监控、地磁传感器、雷达、ETC等,用于检测车辆类型、排队长度、车辆速度等信息;移动设备包括GPS浮动车、手机信令、公交IC卡等,可获取车辆轨迹、速度、客流等数据;环境设备包括气象传感器、PM2.5监测仪等,用于监测温度、降水、能见度、排放数据等环境信息。



图1 系统架构图

网络层: 网络层负责将感知层采集的数据传输至平台层,采用多种通信技术满足不同设备的传输需求^[2]。对于高清视频、车路协同等大带宽、低延迟数据,采用5G通信技术,确保端到端延迟 $\leq 10\text{ms}$;对于地磁、积水传感器等低功耗设备,采用NB-IoT/LoRa通信技术,覆盖广、功耗低,电池寿命 ≥ 5 年;同时,部署光纤网络用于感知设备与平台的有线连接,保障关键数据(如信号控制指令)的稳定性。此外,在网络层部署边缘计算节点,实现数据就地处理,减少传输延迟。

平台层: 平台层是系统的核心,构建数据中台+AI中台的双中台架构。数据中台负责全量数据的接入、治理与存储,整合感知层、政务系统、互联网平台等多源数据,通过清洗、融合、标注等操作形成标准化交通数据集,并采用“热存储+冷存储”模式存储数据,实时数据存于内存数据库(Redis),历史数据存于分布式数据库(Hadoop)。AI中台集成计算机视觉、深度学习、强化学习等算法,开发交通流预测、信号控制优化等模型,并将训练好的模型封装为API接口供应用层调用,同时通过“在线学习”机制利用新数据持续优化模型。

执行控制层：执行控制层将决策支持层的决策结果转化为具体动作，控制交通设施与服务。包括信号控制，通过信号灯控制器调整相位与配时；诱导控制，通过可变车道标志、电子诱导屏引导车辆分流；公交优化，通过公交调度系统调整班次与路线；事件处置，触发报警系统、通知救援车辆等。

用户交互层：用户交互层面向不同角色提供个性化服务。为交通管理部门提供可视化dashboard，实时显示路况、事件、信号灯状态等信息，并生成决策支持报告；为驾驶员提供手机APP，推送实时路况、动态路径规划、电子眼提醒等服务；为行人与公共交通用户提供公交电子站牌、路口行人诱导屏等服务，显示到站时间预测、绿灯剩余时间等信息；为企业提供物流平台、出租车公司调度建议等服务，优化货车路线、车辆调度。

2.2 关键技术选型

物联网技术：物联网技术是实现感知层设备连接与数据传输的关键。采用LoRa连接地磁传感器，利用其低功耗、广覆盖的特点，实现对路口流量的长期稳定监测；采用5G连接视频监控，满足高清视频大带宽、低延迟的传输需求；采用NB-IoT连接公交IC卡，实现低成本、小数据量的客流数据传输^[3]。

大数据处理技术：大数据处理技术用于处理海量交通数据，提取有价值信息。采用SparkStreaming处理实时交通流数据，延迟 ≤ 1 秒，实现对交通状态的实时监测；采用Hive进行离线分析，如统计上月拥堵热点，为交通规划提供依据；采用Tableau生成可视化报告，直观展示交通数据，辅助决策。

人工智能技术：人工智能技术为交通状态评估、预测与优化提供智能支持。采用聚类算法（如K-Means）分析交通流特征，识别拥堵类型（常发性拥堵/偶发性拥堵）；采用时间序列模型（如LSTM）预测未来15—60分钟路段旅行时间，误差控制在10%以内；采用强化学习（如DQN）优化信号灯配时，以最小化车辆延误与排队长度为目标；采用遗传算法优化路径诱导，平衡路网流量分布。

2.3 核心功能模块设计

2.3.1 交通状态感知模块

该模块实时获取路网交通流参数，识别交通状态。通过视频监控、地磁传感器、GPS浮动车等设备采集数据，利用YOLOv8模型识别车辆，通过轨迹跟踪计算排队长度，误差 $\leq 5\%$ ；地磁传感器通过车辆通过时的磁场变化计数，每5分钟上传一次数据；GPS浮动车通过地图匹配将GPS点关联到道路，计算路段平均速度。输出交通状态热力图（每1分钟更新一次）和路段旅行时间预测（未

来15分钟）。

2.3.2 智能信号控制模块

智能信号控制模块根据实时交通流量动态调整信号灯配时。传统方法采用韦伯斯特公式基于历史流量计算固定配时，适用于交通流稳定的路口；智能方法采用强化学习，将路口视为“环境”，信号灯配时视为“动作”，车辆延误视为“奖励”，通过DQN模型学习最优动作。例如，某交叉路口东向排队长度为200米时，模型输出东向绿灯时长延长至40秒，西向绿灯缩短至25秒，最终延误减少20%。输出信号灯配时方案（每5分钟更新一次）和路口延误统计（每小时生成报告）。

2.3.3 交通诱导与信息服务模块

该模块为用户提供动态路径规划与实时路况信息，平衡路网流量。采用A*算法结合实时旅行时间生成“最短时间路径”，如“走XX路，比原路线节省8分钟”；诱导策略采用“分散式诱导”，引导部分车辆走次要道路，避免“集中式诱导”导致新的拥堵；信息发布通过电子诱导屏（覆盖主干道）、手机APP（覆盖私家车）、公交站牌（覆盖公共交通用户）多渠道发布。输出动态路径建议和路况预警（如“前方2公里发生事故，预计拥堵30分钟”）。

2.3.4 交通事件检测与处置模块

该模块实时检测事故、抛洒物、行人闯入等事件，自动触发处置流程。事件检测方面，视频监控采用FasterR-CNN模型识别事故车辆，准确率 $\geq 95\%$ ；地磁传感器检测到车辆长时间停留（超过5分钟）触发异常报警；GPS浮动车速度突然下降（如从60公里/小时降至10公里/小时）结合地图数据判断是否为拥堵或事故^[4]。处置流程包括系统自动向交警发送事件信息（位置、类型、图片），调整周边信号灯配时（如减少事件方向绿灯时长，增加其他方向绿灯时长），通过诱导系统引导车辆分流（如“前方事故，建议绕行XX路”），通知救援车辆（120/110）并跟踪处置进度。输出事件报警信息、处置进度跟踪和事件影响评估（如“本次事故导致XX路拥堵2公里，延误15分钟”）。

3 城市主干道道路智能化交通管理系统优化策略

3.1 数据采集与处理优化

提升数据采集精度与时效性：针对传统地磁识别、视频分析、声波传感等技术在应对瞬时交通情况时存在的时效性和精准度局限，采用多传感器融合技术，结合视频监控、地磁传感器、雷达等设备的数据，提高数据采集的准确性和实时性。例如，在视频监控无法清晰识别车辆时，地磁传感器可提供车辆通过的辅助信息，确

保数据的完整性。

加强数据治理与融合：建立完善的数据治理机制，对采集到的多源异构数据进行清洗、标注、关联等操作，提高数据质量。同时，加强不同部门、不同系统之间的数据融合，打破数据孤岛，实现数据的共享与协同利用。例如，将交通管理部门的数据与气象部门的数据融合，分析恶劣天气对交通的影响，为交通管理提供更全面的决策依据。

3.2 智能控制策略优化

引入深度学习等高科技手段：传统交通控制策略多采用简单的周期化和绿灯时长调节方式，导致交通流堆积和速度失控现象严重。未来可尝试基于大数据分析和深度学习的智能化交通控制手段，如利用深度强化学习模型根据实时交通流量、历史规律和事件触发等因素，动态调整信号灯配时，实现交通流的最优分配。

实现区域协同控制：打破单个路口的控制局限，实现多个路口信号灯的云端协同，根据路网整体交通状况

进行联动控制。例如，当主干道上游路口出现拥堵时，提前调整下游路口的信号灯配时，引导车辆分流，避免拥堵蔓延。

3.3 用户服务优化

优化技术手段及人机交互方式：针对部分用户智能交通接口不友好的问题，优化系统界面设计，采用简洁明了的操作界面和直观的图表展示方式，提高用户的使用体验。同时，开发个性化服务功能，根据用户的历史出行数据和偏好，为用户提供定制化的交通信息服务，如推荐最优出行路线、实时交通预警等。

加强宣传与推广：通过多种渠道加强对智能化交通管理系统的宣传与推广，提高市民对系统的认知度和使用意愿。例如，开展交通知识宣传活动、在公共场所设置宣传海报、通过社交媒体平台发布系统使用指南等，引导市民积极利用智能交通管理系统规避交通拥堵，提高出行效率。

4 案例分析

表1 实际案例解析

序号	案例名称	实施时间/ 引入时间	主要内容	具体成效
4.1	朔州市城市道路智能交通综合管控系统项目	2014—2015年	1.交通指挥中心建设 2.电子警察系统 3.高清卡口及测速系统 4.道路监控系统 5.交通信号控制系统（对现有信号灯联网，统一建设控制系统和规范，更换设备） 6.交通诱导系统（在3个交通流量大的主干道安装交通诱导大屏，传递情报信息）	1.城市道路通行效率显著提升 2.交通事故发生率明显下降 3.市民出行更加便捷
4.2	北京市智能化交通管理系统应用成效	2019年（较2018年对比）	1.交通信号控制（实时感知交通流量，动态调整信号灯配时） 2.智能停车诱导（实时显示停车场空闲情况，引导车辆找停车位） 3.智能执法模块（利用视频监控和智能识别技术，自动识别和处罚交通违法行为）	1.2019年道路拥堵指数较2018年下降5%，平均车速提高10% 2.停车资源利用率提高20%，停车时间缩短15% 3.交通执法效率和准确性提高

结语

本文对城市主干道道路智能化交通管理系统展开设计与优化研究，构建五层分布式系统架构，涵盖多层面，经关键技术选型与核心功能模块设计，实现多种功能，并针对现存问题提出优化策略。实际案例显示，该系统能提升主干道通行效率、降低事故率。展望未来，随着技术进步，系统将更智能化、绿色化、人性化，人工智能等技术将融合创新提供精准决策支持，系统会注重绿色出行与人性化服务，同时跨部门协同管理和多元化服务模式也将成趋势。

参考文献

[1]申悦,李中英.基于人工智能的智能交通管理系统设计[J].信息记录材料,2025,26(08):71-73.

[2]陈欢.基于智能交通的道路管理系统发展与应用[J].信息系统工程,2025,(04):20-23.

[3]牟珊珊.智能交通管理系统对交通运输效率的影响与评估[J].中国设备工程,2023,(S2):98-100.

[4]张建华,吕威.城市智能交通管理系统建设应用存在的问题与对策思考[J].武汉公安干部学院学报,2023,37(04):21-27.