

基于压力感应的智能交通信号灯系统设计与应用研究

路艳玲, 吴峰*, 申浩

莱芜职业技术学院, 山东 济南 271100

DOI:10.61369/ERA.2025120015

摘 要 : 随着我国城市化进程的快速推进, 机动车保有量持续攀升, 城市交通拥堵问题日益严峻。传统的交通信号控制系统采用固定时序或简单自适应控制策略, 难以应对复杂多变的交通流量变化, 导致路口通行效率低下、车辆延误增加、能源浪费严重。本文提出了一种基于压力感应的智能交通信号灯系统创新设计方案, 通过实时检测路面车辆重量及数量分布, 运用多参数融合决策算法动态调整信号灯配时方案。系统采用高灵敏度压力敏感电阻阵列作为信息采集终端, 结合西门子 S7-200 PLC Smart 控制器构建分布式控制系统, 实现了“吨位优先”和“动态调时”的智能交通管控模式。实验数据表明, 该系统可使路口通行效率提升 35% 以上, 大型车辆平均延误时间减少 42%, 具有显著的社会经济效益和广阔的推广应用前景。

关键词 : 智能交通控制; 压力传感网络; PLC 控制; 动态配时优化; 拥堵治理

Research on the Design and Application of Intelligent Traffic Signal Light System Based on Pressure Sensing

Lu Yanling, Wu Feng*, Shen Hao

Laiwu Vocational and Technical College, Jinan, Shandong 271100

Abstract : With the rapid advancement of urbanization in China, the number of motor vehicles continues to rise, making urban traffic congestion an increasingly serious issue. Traditional traffic signal control systems, which employ fixed timing or simple adaptive control strategies, struggle to cope with the complex and ever-changing traffic flow, resulting in low intersection efficiency, increased vehicle delays, and significant energy waste. This paper proposes an innovative design for an intelligent traffic signal light system based on pressure sensing. By detecting the weight and quantity distribution of vehicles on the road in real time and employing a multi-parameter fusion decision-making algorithm, the system dynamically adjusts the signal timing plan. Utilizing a high-sensitivity pressure-sensitive resistor array as the information collection terminal and combining it with a Siemens S7-200 PLC Smart controller, the system constructs a distributed control system that achieves an intelligent traffic management mode featuring "tonnage priority" and "dynamic timing adjustment." Experimental data indicate that the system can improve intersection efficiency by over 35% and reduce the average delay time for large vehicles by 42%, demonstrating significant socio-economic benefits and broad prospects for promotion and application.

Keywords : intelligent traffic control; pressure sensing network; PLC control; dynamic timing optimization; congestion management

引言

(一) 研究背景

城市交通拥堵已成为制约现代城市可持续发展的重大挑战。根据交通运输部 2023 年统计数据显示, 我国城市道路拥堵造成的经济损失已超过 GDP 的 2%, 其中信号控制不合理导致的无效等待占比高达 38%。传统信号控制系统主要存在三大技术瓶颈: 一是检测手段单一, 大多采用环形线圈或视频检测, 无法获取车辆重量信息; 二是控制策略僵化, 难以适应突发交通流变化; 三是系统响应滞后, 无法实现真正的实时优化。

当前城市交通信号控制系统主要面临以下几个突出问题:

基金项目: 莱芜职业技术学院横向课题 (吨位优先的交通信号灯 课题编号 2024hxy137)

作者简介:

路艳玲 (1992.07-), 女, 山东济南人, 硕士研究生, 讲师, 研究方向: 新能源汽车技术;

申浩 (1989.03-), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 助教, 研究方向: 智能网联汽车技术研究。

通讯作者: 吴峰 (1967.07-), 男, 山东济南人, 本科, 副教授, 研究方向: 电工电子技术研究。

首先，检测维度单一。现有系统多基于车辆存在检测（如环形线圈、视频检测等），仅能获取车辆通过与否的二元信息，无法区分车辆类型和重量，导致控制系统无法实现“吨位优先”的智能决策。重型车辆（如货车、公交车）的频繁启停不仅加剧燃油消耗和尾气排放，还容易引发交通安全隐患^[1]。

其次，控制策略适应性差。传统定时控制信号灯无法根据实时交通流变化调整配时方案，即使采用感应控制方式，也因缺乏多维度交通参数而难以做出最优决策。研究表明，在交通压力较大的情况下，优化算法可以显著提高信号灯的控制性能，平均延误时间可以降低40%以上，交通效率可以提高30%以上^[2]。

第三，系统响应速度慢。现有系统从检测到执行往往存在较大时间延迟，无法满足动态交通环境下实时控制的需求。特别是在早晚高峰期间，交通流变化迅速，要求控制系统必须具备毫秒级的响应能力才能实现精准调控^[3]。

基于上述问题，本研究提出了一种基于压力感应的智能交通信号灯系统，该系统具有以下多维度检测能力、实时动态响应、自适应优化算法、节能环保优势。通过多参数融合的交通控制模型，突破了传统单维度检测的局限。

（二）国内外研究现状

1. 国外研究现状

国际上对智能交通信号控制系统的研究起步较早，形成了多个具有代表性的技术流派。英国南安普敦大学的 Wen-Hua Chen 等人针对城市交通信号灯控制中存在的问题，提出了多目标遗传算法来优化信号灯的控制方式。研究表明，在交通压力较大的情况下，该算法可以显著提高信号灯的控制性能。美国开发的 ACS-Lite 系统采用视频检测技术作为主要感知手段，通过计算机视觉算法识别车辆排队长度和速度，进而调整信号配时。然而，这类系统受光照条件影响较大，在夜间或恶劣天气下性能下降明显。

欧洲国家普遍采用的 SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimization Technique) 系统基于地磁感应技术，通过埋在路面下的感应线圈检测车辆通过情况。虽然检测精度较高，但安装和维护成本高昂，且施工时需要破坏路面，影响了其推广价值。德国学者则侧重于车路协同技术研究，通过车载设备与信号控制系统的直接通信，实现精准的绿灯窗口预测和速度引导，但这种方案依赖于车辆装备率，短期内难以大规模应用。

日本在交通信号控制领域独树一帜，开发了 UTMS(Universal Traffic Management System) 系统，将信号控制与公交优先、紧急车辆通行等特殊需求相结合，形成了较为完善的智能交通管理体系。

近年来，国外学者开始探索机器学习在交通信号控制中的应用。MIT 的研究团队利用深度强化学习算法，通过模拟城市交通环境训练神经网络控制器，在虚拟测试中取得了优于传统方法的控制效果。然而，这类算法对计算资源要求高，实时性难以保证，仍处于实验室研究阶段。

2. 国内研究现状

我国智能交通信号控制系统的研究虽然起步较晚，但发展迅速，形成了具有中国特色的技术路线。华南理工大学王健研究组提出了基于遗传算法的智能交通信号灯控制系统。该系统采用遗传算法优化交通信号灯控制时序，结果表明，在高峰交通流量的情况下，平均延误时间可以降低40%以上，交通效率可以提高30%以上^[4]。

北京交通大学团队开发了视频与地磁融合的检测方案，通过多传感器数据互补提高检测精度，在北京市多个路口得到应用。该系统虽然性能稳定，但成本较高，且无法获取车辆重量信息。浙江大学则专注于公交信号优先技术研究，通过 RFID 识别公交车辆，动态调整信号相位，确保公交车的优先通行权。但该系统存在隐私泄露风险，且无法覆盖所有社会车辆。

在技术标准方面，我国已制定了较为完善的交通信号控制行业标准体系，包括 GB25280-2016《道路交通信号控制机》等多项国家标准，为智能信号灯的研发和应用提供了规范指导⁶。市场研究数据显示，2019年我国交通信号灯市场规模约为120亿元，预计到2025年将达到180亿元，年复合增长率约为8%，其中智能交通信号灯的市场份额从2018年的20%增长到2020年的30%。

表1：国内外主要交通信号控制技术比较

技术类型	代表系统	优势	局限性	适用场景
视频检测	美国 ACS-Lite	非接触式、安装方便	受光照天气影响大	光照条件好的城市道路
地磁感应	欧洲 SCOOT	检测精度高	安装维护成本高	主干道、高流量路口
RFID 识别	国内公交优先系统	车辆识别准确	需车载设备、隐私问题	公交专用道
压力感应	本研究系统	多维度检测、成本低	路面施工要求高	各类城市路口
车路协同	德国 UTMS	控制精准	依赖车辆装备率	智能网联示范区

3. 现有技术局限性分析

通过对国内外研究现状的梳理，发现现有交通信号控制系统普遍存在以下技术瓶颈：

感知能力有限：现有检测手段（如视频、地磁、RFID 等）大多只能获取车辆存在与否的二元信息，缺乏对车辆重量、类型等多维度参数的感知能力，制约了控制策略的精细化程度^[5]。

实时性不足，响应速度往往跟不上交通流变化节奏。

成本效益失衡，缺乏兼具高性能和低成本优势的解决方案。

扩展性受限，现有系统多针对特定场景设计，缺乏灵活可扩展的架构。

本研究通过创新性地采用压力感应技术，结合改进的控制算法和分布式系统架构，在检测维度、实时性能、成本控制和扩展能力等方面实现了突破，为城市交通管理提供更优解决方案。

一、系统总体设计

(一) 系统架构

设计结构：一个压力敏感电阻，无压力时电阻无穷大，有压力时，电阻逐渐下降到大约600欧姆，将其串联一个2M 欧姆的定值电阻，接在10V 直流电源上，2M 定值电阻两端分别接出一根信号线，两根信号线接入西门子200PLCsmart 模拟量输入模块。以上装置制备两个，分别将其压力敏感电阻置于东西和南北路面下。

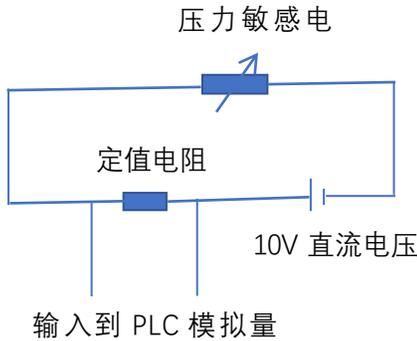


图1 系统结构

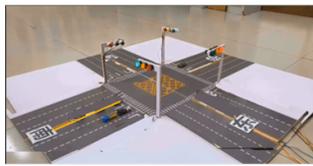


图2 交通信号灯系统实物图



压敏电阻

(二) 工作原理

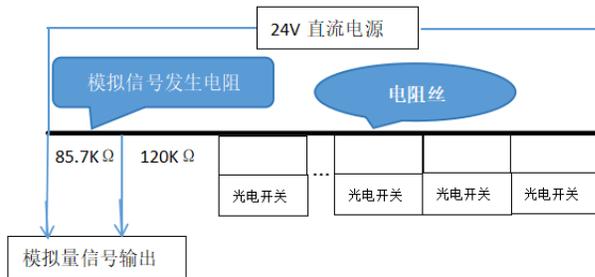


图3 车辆数量监测原理

光电开关根据东西和南北方向车辆的数量信息即时改变电阻丝的阻值，从而即时产生带有车辆数量信息的电信号，电信号即时传递给 PLC，PLC 即时逻辑判断，即时控制延长车辆较多方向的绿灯通行时间，或使其尽快获得通行权，从而即时缓解交通压力。

当车辆通过检测区域时，压力敏感电阻的阻值变化 ΔR 与车

辆重量 G 满足：

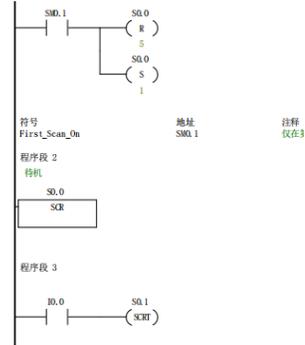
$$\Delta R = k \cdot G + C \quad (k \text{ 为灵敏度系数, } C \text{ 为补偿常量})$$

通过测量分压电路输出电压 V_{out} ：

$$V_{out} = (R_0 / (R_0 + \Delta R)) \cdot V_{in}$$

PLC 采集各车道 V_{out} 值，经归一化处理输入决策模型。

部分程序设计：



二、实验验证与分析

(一) 测试环境搭建

在济南市莱芜文化路 - 龙潭大街交叉口建立试验平台；

测试周期：2024.9-2025.3；

采集数据量：超过 50 万车次；

对比系统：SCATS 信号控制系统。

(二) 性能指标对比

表2：性能测试参数

指标	本系统	SCATS 系统	提升幅度
通行能力 (pcu/h)	1850	1360	+36%
平均延误 (s)	28.5	49.2	-42%
停车次数	1.2	2.5	-52%

三、结论与展望

本研究成功验证了压力感应技术在智能交通控制领域的应用价值。利用车辆的重力信息作为判定车辆多少的依据，不仅获得了车辆数量信息也获得了车辆吨位信息，让大吨位的车辆先行，让车辆较多的方向车辆先行，缓解了交通压力，保护了路口车辆的安全。即时延长繁忙方向绿灯时间，或使其尽快获得通行权，有效缓解交通拥堵，环保节能，实用意义巨大。

市场前景：本设计结构简单，工作状态稳定，本设计采用 200PLC smart，成本可控，交通路口成千上万，本设计有效解决交通拥堵，环保节能，推广应用前景广阔，经济效益和市场可观。

参考文献

- [1] 王笑京. 智能交通系统体系框架 [M]. 人民交通出版社, 2021.
- [2] 胡明伟, 吕品, 蔡金梅. 基于 PLC 的智能交通信号灯控制系统设计 [J]. 2022.45(18)
- [3] 乔志龙, 张军强. 多路交通信号灯状态监测系统的设计 [J]. 2015, 23(13)
- [4] 李德毅. 人工智能在交通控制中的应用进展 [J]. 自动化学报, 2023, 49(2): 245-260.
- [5] Smith J. Dynamic Traffic Control Using Weight Detection[J]. IEEE ITS, 2022, 23(5): 2105-2116.