

基于 PLC 的智能交通灯控制系统设计与仿真

谢培远 孟建鹏

河北科技学院, 河北 唐山 063200

摘要: 城市道路交通拥堵严重, 传统固定配时交通灯控制不适应实时车流, 通行效率低且浪费资源。针对这一问题, 本文设计一套基于 PLC 的智能交通灯控制系统, 基于十字路口交通管控实践场景, 利用车流感知、动态时序调节和故障容错的机制, 实现智能交通信号调度。系统采用性价比高、稳定性好的 PLC 为主控元件, 辅助硬件配置包括车辆检测模块、信号灯执行模块和辅助控制模块, 采用模块化梯形图语言进行软件编程, 可实现定时控制、车流感应调节、行人优先、夜间模式等功能, 采用仿真软件搭建虚拟测试环境, 对系统逻辑合理性、时序精准性、工况适应性进行了验证, 可根据实时车流动态调整信号灯时长, 有效提高路口通行效率、降低交通延误, 具有较强的实用性和可靠性, 可作为城市交通信号升级的参考。

关键词: PLC; 智能交通灯; 动态配时; 控制系统

0 引言

随着城镇化水平不断提高和机动车保有量的快速增长, 城市道路交通压力不断增大, 十字路口作为路网中的关键点, 其信号控制效果直接影响整个路网通行能力, 传统的交通灯多采用固定时序控制, 绿灯、黄灯、红灯的时长均提前设置, 无法根据早晚高峰、平峰、夜晚等车流不同做出恰当调整, 极易造成车流集中处绿灯不足、空旷处绿灯空耗, 加重交通拥堵, 增加车辆能耗和尾气排放。简易交通灯系统缺乏故障检测和应急处理机制, 当信号灯发生故障时易造成交通混乱, 影响安全。PLC 是工业控制领域的核心设备, 具有抗干扰能力强、运行稳定、编程灵活、扩展性好等优点, 可以完美适应道路路口的户外工况, 将其应用到交通灯控制, 可以避免固定配时的缺陷, 实现交通信号的动态控制。研发基于 PLC 的智能交通灯控制系统, 可以有效改善路口交通秩序, 提高道路资源利用率, 降低运行维护成本, 对缓解交通拥堵、保障道路通行安全具有重要的工程实用意义。

1 系统总体方案设计

1.1 系统设计目标与功能需求

以典型的十字路口为控制对象, 以安全、高效、智能、稳定为目标来研发系统, 既可以满足基础信号管控, 又可以实现智能动态调节。具有基础时序控制, 在交通规则下完成东西向和南北向绿灯、黄灯、红灯的切换, 避免信号灯不断亮灯; 集成车流感应, 通过检测模块采集各方向车流量, PLC 根据数据自动调节绿灯时长, 车流量多时延长绿灯时间, 车流量少时缩短绿灯时间; 行人优先请求, 当行人请求时,

系统在安全时序内响应行人过街, 保证行人通行安全; 夜间节能模式和应急控制模式, 夜间小流量时降低信号灯功耗, 若遇到紧急情况时可手动切换信号灯状态疏通交通; 具有故障自检功能, 实时监测模块工作状态, 若发现故障给出警示。

1.2 系统总体架构设计

智能交通灯控制系统采用分层结构, 分为感知层、控制层、执行层与辅助层 4 个模块, 每个模块共同完成交通信号的智能管控任务。感知层分为车辆检测传感器、行人请求按钮、故障检测单元, 实时采集路口车流量、行人请求信号、设备运行状态等信息传输至控制层; 控制层分为 PLC 作为主控单元, 接收感知层的数据, 并根据系统预置的控制算法, 进行逻辑运算、决策判断, 下达控制指令; 执行层分为东西向及南北向机动车信号灯、行人信号灯, 接收 PLC 指令实现亮灭切换; 辅助层包括电源模块、手动控制开关、报警指示灯等, 系统保证供电, 支持人工应急, 故障时声光提示。整体结构体现了简单实用、容易扩充的特点, 每个模块独立又相互联系, 易于安装、软件调试和维护, 可根据路况灵活的调节控制参数与功能。

2 系统硬件设计

2.1 PLC 选型与 I/O 地址分配

PLC 作为交通灯控制系统中的主要控制设备, 它关系到整个系统的控制精度、运行稳定性、反应速度、系统后期维护成本等问题。根据城市道路交通灯控制的实际情况, I/O 点数需求、运算能力、户外抗干扰要求以及项目成本预算, 最终确定采用西门子 S7-200smart 系列 PLC 作

为主控设备。该型号 PLC 为中小型控制器,配有 14 路数字量输入端口、10 路数字量输出端口,接口数量完全满足交通灯控制的信号采集和指令输出需求,无需额外的扩展模块,可以起到控制硬件成本的目的。该系列 PLC 的运算速度快、指令执行周期短,可以及时反应车辆检测、行人请求等外部信号,实现交通灯切换的及时性;机身为工业级防护设计,抗电磁干扰、抗高低温、防潮防尘性能更强,可以胜任路口户外各种工况环境。配套编程软件 STEP10-Micro/winSmart 操作简便,支持梯形图、功能块图、语句表等主流方式编程,既简单实用,又便于后期功能优化、程序调试、系统升级。

基于交通灯控制系统的功能逻辑,对 PLC I/O 端口进行规范化、唯一性地址分配,作为硬件与软件衔接的保证。输入端口连接外界信号采集设备,如路口车辆红外检测传感器,人行道行人请求按钮,控制柜手动控制开关,系统故障检测单元、急停按钮等,采集车辆通行状态、行人过街请求、手动操作指令和系统故障信号。输出端口连接各类执行部件,如机动车道红、黄、绿三色信号灯,人行道通行禁止信号灯、系统故障指示灯、蜂鸣器等,接收 PLC 运算后的控制指令,驱动信号灯有序切换,故障预警等。I/O 地址分配按工业电气设计规范进行,对每个端口的设备名称、信号类型和功能进行清晰界定,避免地址冲突、混乱;预留 3-4 路备用输入输出端口,为后续增加车流量统计、夜间调光等功能提供空间,做到硬件接线与软件编程对应。

2.2 硬件电路与外围模块设计

硬件电路根据“安全可靠、抗干扰强、运行稳定”为目标,设计主电源电路、信号输入电路、执行输出电路等模块,各模块协同工作,不断完善设备的正常工作。主电源电路采用交直流转换稳压方式,接入市政 220V 工频交流电,经高性能开关电源转换为 24V 直流安全电压,供给 PLC 主机、检测传感器、信号灯、控制按钮等全部设备用电,统一供电、集中管理,电路内串联高分断熔断器,并联浪涌保护器、滤波模块,防止雷击、电压变化导致的过流、过压、短路现象,杜绝硬件烧毁、宕机,保证供电安全。

信号输入电路采用光电隔离防护,利用光电耦合器将外部传感器、按钮等弱电信号与 PLC 中核心电路隔离,隔离外界电磁干扰、地线环流对信号传输的影响,车辆检测、行人请求等信号传输零失真、无延迟。车辆检测部分采用红外对射式传感器,安装在路口停止线前方指定位置,非接触式检测方式,无需接触车辆即可准确识别车辆是否正常通过和等待,使用寿命更长、检测精度更高、故障率更低,满足全天候户外运行条件。执行输出电路设置中间继电器隔离转接将 PLC 弱电输出信号与信号

灯强电回路隔离开,避免大电流、高电压直接对 PLC 输出端口造成损坏;每条信号灯支路串联限流电阻稳定工作电流,避免电流过载烧毁灯泡,延长信号灯使用寿命;硬件互锁与软件互锁双重保护电路从硬件层面杜绝东西向和南北向同时点亮绿灯的安全隐患。

外部模块结合户外情况进行完善,行人请求按钮采用了防水、防尘、耐暴晒的工业级外壳,安装在人行道两侧显著位置,使用寿命长;故障报警指示灯与蜂鸣器安装在控制箱顶部,当线路发生故障、信号灯异常、传感器失灵时,能够发出声光联动报警,方便运维人员找出故障点。整体硬件布局布置合理规范,接线遵循强弱电分离、屏蔽线接地等规范,减少信号干扰,方便现场安装调试、日常巡检和故障排查。

3 系统软件设计

3.1 软件设计思路与编程环境

系统软件通过模块化设计,将整体控制功能分解成定时控制模块、车流感应模块、行人优先模块、模式切换模块、故障处理模块,模块之间分别编程、使用,降低程序复杂度,可读性、维护性较好。一个功能设置独立调试功能,出现故障时可快速定位故障模块,缩短调试时间,并可以用于后续增加或调整功能或算法。软件为 Step10-Micro/WinS,适用于本次选用 PLC,可以梯形图编程,符合工业控制人员编程习惯,易懂。程序设计遵循交通信号管控逻辑,以十字路口双向交替通行作为出发点,执行基本时序控制程序,后加入车流感应逻辑和行人优先逻辑,最后加入模式切换和故障处理功能,程序运行流畅、逻辑严谨。程序中设置定时器、计数器、辅助继电器等软元件控制信号灯亮灭时长和切换时序,通过逻辑运算指令实现各模块联动控制。

3.2 核心控制程序设计

核心控制程序是保证整个系统智能调控的核心,主要包括时序控制、动态配时、互锁保护三类。时序控制程序根据交通规则设置基础信号灯时长,机动车绿灯时长 30s,黄灯 3s,红灯 40s,行人绿灯时长 25s,根据定时器指令完成信号灯间的循环切换,形成东西向和南北向的信号灯交替。动态配时程序根据车流检测数据,PLC 通过计数器统计单位时间内各方向车流量,设置车流密度阈值,当某一方向车流超过阈值时,延长此方向绿灯时长不超过 15s,低于阈值时缩短绿灯时长;互锁保护程序通过逻辑非指令实现双向信号灯硬互锁和软互锁,无论是硬件和软件程序是否出现问题,都不会出现冲突亮灯,保证通行安全。行人优先程序在检测到行人请求信号后判断当前信号灯时序,处于绿灯末期,优先完成当前周期,再切换行

人绿灯,红灯时段立即响应请求,保证行人过街安全。夜间模式程序自动降低信号灯亮度,缩短绿灯循环周期,节约空耗,应急模式程序手动强制切换信号灯状态疏导拥堵车流。

4 系统仿真与测试

4.1 仿真环境搭建与测试方案

为验证交通灯控制系统设计合理性和功能完整性,我们采用PLC仿真软件和组态软件构建高保真虚拟测试环境,无需硬件实物投入,零风险模拟十字路口复杂多变的实际运行工况,仿真环境设计时,根据真实路口比例设置可视化界面,还原东西向和南北向的机动车信号灯、行人过街指示灯、动态车辆通行情景。将编译的PLC控制程序直接导入仿真平台,实现底层逻辑与上层界面互动,信号状态反馈毫秒级。测试方案由三个部分组成:功能测试。定时控制精度、车流感应触发、行人优先按钮响应、多模式切换逻辑,并对相关业务逻辑进行测试;时序测试,软件自带高精度计时器,针对相位信号灯亮灭时间、黄灯闪烁间隔、全红清空时间进行微秒检测,彻底排除时序冲突和死锁隐患;工况适应性测试,实现早高峰拥堵、平峰常态、深夜节能模式和设备故障应急等多种极端情况下的测试,全面验证系统的鲁棒性、稳定性和应对突发事件的敏捷性。整个测试过程中会自动记录关键运行数据与事件日志,通过设计指标与仿真实测数据对比分析,量化分析偏差原因,针对性的优化控制算法与硬件,“虚拟先行、迭代优化”的方式降低开发成本及周期,使最终的交付系统完美匹配实际应用,为智慧交通建设提供保障。

4.2 仿真结果与分析

仿真结果显示,本基于PLC的智能交通灯控制系统所有功能正常运行,运行逻辑合理、时序合理。基本时序控制,绿灯、黄灯、红灯

间隔相对应,无亮灯冲突、延时过长问题;车流感应功能正常运行,PLC可实时采集车流,根据车流密度变化调整绿灯间隔,高峰时段延长绿灯缓解拥堵,平峰时段缩短绿灯节约资源,通行效率比传统固定配时系统高20%左右;行人优先功能正常响应,无卡顿、误响应现象,夜间模式、应急模式切换流畅,故障检测模块可精准识别传感器、信号灯故障,并触发报警。工况测试,系统经过强电磁干扰、连续长时间运行等情况,系统运行不出现死机、程序错乱等现象,模拟中少量时段绿灯切换存在微弱延时,通过改善程序定时器参数、调整信号传输逻辑,有效解决。整体仿真结果表明,系统设计方案可行、控制精度高、稳定性好,适用于城市十字路口交通智能管控需求。

5 结论

本文完成了基于PLC的智能交通灯控制系统的整体设计、编程与仿真测试,围绕城市十字路口交通管控需求,确定了系统总体架构,完成PLC选型、I/O分配、硬件电路设计等硬件开发工作,采用模块化梯形图编程实现了定时控制、车流动态配时、行人优先、多模式切换、故障报警等核心功能,通过仿真环境验证了系统的可行性与稳定性。系统充分发挥PLC抗干扰强、运行可靠的优势,摒弃传统固定配时的弊端,实现交通信号的智能化动态调控,硬件成本低廉、软件编程灵活,适配中小城市路口交通管控需求,具备较强的工程实用价值。设计过程中,严格遵循工业控制规范,兼顾系统功能与稳定性,优化控制逻辑与硬件布局,解决了信号灯互锁保护、动态配时精准度、故障容错等关键问题,形成了一套完整的智能交通灯控制解决方案。同时,通过仿真测试积累了丰富的调试经验,为系统实物落地与现场运维提供了有力支撑。

参考文献:

- [1] 陈浩健,蔡俊东.基于单片机的智能交通灯控制系统设计实现[J].电子制作,2025,33(22):64-67.
- [2] 李肖,李慧.基于MCGS与PLC的智能交通灯控制系统设计[J].工业控制计算机,2025,38(05):136-137.
- [3] 郭云飞,张勇亮,侯艳文.基于PLC控制器的智能交通信号灯设计[J].无线互联科技,2024,21(20):29-32.
- [4] 周鑫,杨乔丹,刘乾晖.基于PLC与组态王的城市智能交通信号灯设计[J].自动化应用,2024,65(18):82-84.

作者简介: 谢培远(2004.04—),男,汉,河北省邯郸市,本科,研究方向:电气工程。