

警示灯智能化控制系统开发与远程监控技术应用

朱应平

温州商宇科技有限公司 浙江 温州 325000

【摘要】：警示灯是公共安全预警等场景的核心设备，传统控制模式存在响应滞后等问题，难以适配现代化需求。远程监控与智能化控制技术融合为解决问题提供有效路径。本文针对警示灯智能化升级需求，开展控制系统开发与远程监控技术应用研究。剖析不同场景下警示灯控制需求与监测要点，构建一体化智能化控制系统架构，重点研发本地控制系统、远程传输模块与远程监控管理系统。通过算法优化与技术融合，实现警示灯工作模式智能切换、状态实时监测、故障自动诊断与远程运维。研究成果完善理论体系，提升智能化水平与运维效率，为安全预警场景管理提供技术支持，有重要工程应用与社会安全意义。

【关键词】：警示灯；智能化控制；远程监控；嵌入式系统；无线通信；云平台

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.070

1 引言

1.1 研究背景与意义

随着城市化和工业生产智能化发展，公共安全与生产安全领域对警示灯应用要求提高。传统警示灯采用本地手动或简单时序控制，存在短板：控制上无法根据环境与风险动态调整，响应不灵活；管理上依赖人工巡检，成本高、故障发现滞后，易引发事故。

在交通疏导、工业生产、偏远区域公共安全预警场景中，传统警示灯也存在适配性差、难掌握运行状态、运维难等问题。

开展警示灯智能化控制系统开发与远程监控技术研究，理论上可构建技术体系、完善理论框架；实践上能精准调控警示灯状态、实时掌握运行情况与远程运维，提升预警效率与管理水平，降低成本，保障安全预警场景运行。

1.2 研究现状综述

国内外学者围绕警示设备智能化与远程监控有诸多研究成果。智能化控制方面，多以单片机、PLC 等为核心，部分引入传感器实现自适应调整；远程监控方面，重点在 GPRS、4G、LoRa 等无线通信技术应用；系统集成方面，部分构建云平台远程管理系统，引入故障诊断算法。

但现有研究存在不足：控制系统智能化不够，未实现多场景多参数协同自适应控制；远程监控实时性与可靠性待提升，复杂环境下通信易受干扰；系统兼容性与扩展性不足，难以统一管理不同警示灯；故障诊断精准度低，缺乏远程运维指导。

本文针对研究空白，开展相关研究，通过多技术融合与算法优化，提升系统性能，实现警示灯精准控制与高效管理。

2 警示灯智能化控制与远程监控需求分析

2.1 典型应用场景与控制需求

警示灯应用场景广泛，核心场景分交通疏导、工业生产、公共安全预警、特殊环境四类。交通疏导场景含城市路口等，需据车流、天气动态调警示灯闪烁频率等，高峰期与恶劣天气

提升强度与频率。工业生产场景含化工园区等，要与设备运行联动，异常时触发预警，有分级预警功能，适应恶劣环境。公共安全预警场景含火灾预警等，需快速响应，多设备协同，有应急供电。特殊环境场景如高海拔地区等，要有强抗干扰与低功耗特性，适配复杂通信与无人值守。

2.2 远程监控核心需求

远程监控核心需求有状态监测、故障诊断、远程控制与运维管理。状态监测要实时采集运行参数，保证准确实时；故障诊断要自动识别常见故障并预警；远程控制要通过远程终端下发指令，确保可靠精准；运维管理要有设备信息管理等功能，为运维人员提供指导，支持多设备集中管理。不同场景对通信方式等有差异需求，需灵活适配。

2.3 系统性能需求

智能化与远程监控系统需满足性能需求。控制性能上，响应时间小于 0.5 秒，控制精度发光强度误差小于 5%、闪烁频率误差小于 1Hz。通信性能上，无线传输延迟小于 1 秒，成功率大于 99%，有抗干扰能力，支持多方式切换。可靠性上，能 24 小时连续运行，无故障时间大于 10000 小时，有过温等保护。兼容性与扩展性上，支持不同警示灯接入，有标准接口与协议，支持功能扩展。功耗上，低功耗设计，电池供电可连续工作超 72 小时，适配偏远无人值守。

3 智能化控制系统总体架构设计

3.1 系统架构总体设计

基于需求分析，构建“感知层-控制层-传输层-管理层”四层架构的警示灯智能化控制系统。感知层实时采集运行状态与环境参数；控制层执行本地精准调控，集成故障诊断与数据缓存；传输层保障数据实时可靠传输；管理层实现远程监控、集中调度与可视化运维。各层通过标准化接口协同：感知层与控制层采用本地总线通信提升响应速度；控制层与传输层支持 LoRa/Wi-Fi/4G 等多模无线自适应切换；传输层与管理层经互联网加密传输确保安全。系统采用模块化分层设计，兼容性强，

便于功能扩展与后期维护，有效支撑多场景智能化警示应用。

3.2 感知层设计

感知层由状态感知模块与环境感知模块组成。状态感知模块负责采集警示灯的核心运行参数，包括光源工作状态、供电电压与电流、控制模块温度、闪烁频率与发光强度等；采用电流传感器、电压传感器、温度传感器、光强传感器等实现参数采集，传感器选用工业级产品，确保在恶劣环境下的测量精度与稳定性。

环境感知模块负责采集现场环境参数，根据应用场景差异化配置传感器：交通疏导场景配置车流传感器、环境光传感器、雨量传感器；工业生产场景配置温度传感器、湿度传感器、粉尘传感器、气体传感器；公共安全预警场景配置烟雾传感器、振动传感器；特殊环境场景配置气压传感器、风速传感器。感知层采用多传感器数据融合技术，提升参数采集的准确性与可靠性，同时具备传感器故障自检功能，确保采集数据的有效性。

3.3 控制层设计

控制层采用“嵌入式主控+驱动+本地存储”三模块架构。主控模块以高性能微控制器为核心，具备多接口、低功耗与强抗干扰能力，负责解析感知数据、执行控制逻辑、驱动警示灯并实现故障诊断。驱动模块适配警示灯类型，集成LED驱动、闪烁控制与亮度调节电路，精准调控工作模式与发光参数，内置过流、过压、过温三重保护。本地存储模块采用大容量Flash，存储运行参数、故障记录等关键数据，支持掉电保护；通信中断时保障系统独立运行，恢复后自动同步至管理层。另设本地手动控制接口，远程失效时可快速切换操作，显著提升系统可靠性与应急容错能力。

3.4 传输层设计

传输层采用多通信方式融合设计，支持4G/5G、LoRa、WiFi、蓝牙等无线协议，按场景智能切换：城市场景优先4G/5G保障高速实时传输；偏远/工业区启用LoRa，发挥低功耗、远距离优势；近距离调试维护采用WiFi/蓝牙提升便捷性。系统实时监测链路状态与传输质量，异常时自动切换备用链路，确保通信连续可靠。集成AES加密算法保障指令与数据安全，结合数据压缩技术降低传输负载，有效节约功耗与通信成本，全面提升系统适应性鲁棒性。

3.5 管理层设计

管理层基于云平台构建“云端服务器+多端客户端”架构，实现警示灯远程监控、集中管理与智能运维。云端服务器采用分布式存储保障数据安全可靠，具备实时处理海量设备数据能力，支持控制指令下发与智能故障预警。客户端涵盖Web端（设备管理、数据分析、参数配置）、移动端（状态实时查看、预警推送、远程操控）与桌面端（深度数据处理、系统维护升级），提供全场景可视化操作界面。系统集成精细化权限管理模块，

按用户角色动态分配操作权限，确保管理安全与操作规范，全面提升运维效率与系统可控性。

4 核心技术研发与优化

4.1 嵌入式控制系统研发

嵌入式控制系统是警示灯本地智能化控制核心，重点研发控制逻辑算法与驱动电路。控制逻辑算法用“多参数协同自适应控制”策略，综合分析环境与运行参数，动态调整警示灯工作模式，如在交通疏导和工业生产场景依不同参数确定发光强度、闪烁频率或触发分级预警模式。驱动电路优化采用恒流驱动技术精准调光，设计PWM调光电路平滑调节发光强度，加入EMC滤波模块提升抗干扰能力。系统集成故障诊断算法，能自动识别常见故障，存储并上传故障信息。

4.2 远程通信技术优化

为提升远程通信实时性与可靠性，开展通信技术优化。采用自适应通信速率调整技术，依信号强度与干扰情况动态调整速率；引入通信链路质量评估机制，为通信方式切换提供依据。针对通信干扰问题，采用跳频通信与抗干扰编码技术提升抗干扰能力，优化通信协议，用MQTT协议替代HTTP协议，减少数据传输量与延迟。

4.3 云平台数据处理与管理技术

云平台数据处理技术重点是海量运行数据的实时分析与高效存储。采用流式计算处理实时数据，大数据分析处理历史数据。数据存储采用“热数据+冷数据”分层策略。远程管理功能优化方面，开发设备生命周期管理、故障预警与运维指导、多设备协同管理模块，还具备系统升级功能，可远程实现嵌入式控制系统与客户端升级。

4.4 低功耗技术优化

针对偏远区域与无人值守场景低功耗需求，开展系统低功耗优化。嵌入式控制系统采用休眠唤醒机制，空闲或无预警时休眠，有预警或指令时唤醒。优化传感器工作模式，减少不必要采集操作。传输层采用低功耗通信模块与优化传输策略，减少数据传输次数。电源管理模块采用高效电源转换电路。供电模块与备用电池，无市电时通过太阳能供电，备用电池保障极端天气应急供电，实现长期稳定运行。

5 系统测试与性能验证

5.1 测试方案设计

为验证警示灯智能化控制系统与远程监控技术有效性，设计含功能、性能、环境适应性、可靠性测试的全面方案。测试对象有嵌入式控制系统、传输层通信模块、云平台管理层及整体系统集成效果。测试环境分实验室模拟与现场应用，实验室搭模拟平台模拟场景参数与状态；现场选交通疏导、工业生产、偏远区域公共安全预警场景实地测试。

功能测试验证智能化控制、远程监控、故障诊断、运维管理功能的完整性与准确性；性能测试验证系统响应时间、通信延迟等指标；环境适应性测试验证恶劣环境运行稳定性；可靠性测试通过长时间运行验证平均无故障运行时间与故障恢复能力。

5.2 核心测试结果

功能测试显示，嵌入式控制系统可多参数协同自适应控制，精准调整警示灯工作模式等；远程监控系统能实时采集显示参数，指令执行准确及时；故障诊断功能识别常见故障准确率超95%；运维管理功能可实现设备全生命周期管理，预警及时、方案可行。

性能测试表明，系统控制响应时间小于0.3秒，远程通信延迟小于0.8秒，数据传输成功率超99.5%，嵌入式控制系统休眠功耗低于50mW，电池供电可连续工作超96小时，云平台可稳定处理海量数据，支持超1000台设备同时在线管理。

环境适应性测试显示，系统在高温60℃、低温-40℃、高湿95%、粉尘100mg/m³及强电磁干扰环境下运行稳定。可靠性测试显示，系统连续运行12000小时无故障，平均无故障运行时间超10000小时，故障时可自动记录预警，部分简单故障可远程恢复。

5.3 测试结果分析与优化方向

测试结果显示，警示灯智能化控制系统与远程监控技术能满足不同场景需求，各项指标达设计目标，智能化、实时性与可靠性提升。但存在优化空间：极端电磁干扰下通信成功率下降；故障诊断算法对复杂故障识别准确率低；多设备协同预警同步性不足；云平台海量设备接入时数据处理效率待提升。

参考文献：

- [1] 王广政,马威,张志鹏,等.公路急转弯道车辆通行智能预警装置的设计与实现[J].中国公路,2022(23):102-103.
- [2] 陶刚,胡海兵,汪国庆,等.基于CC430的低功耗无线交通数据采集系统[J].微型机与应用.2016,(19).
- [3] 李素梅.城市道路交通安全设施类型设计及应用研究[J].建筑工程技术与设计.2018,(21).
- [4] 王冠华,蔡荣忠.一种节能警示灯的设计与实现[J].设备管理与维修,2022(16):84-85.
- [5] 全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会(SAC/TC 223).交通警示灯.第4部分:临时安全警示灯:GB/T 24965.4-2010[S].质检出版社.2010.

针对问题，提出优化方向：优化通信模块抗干扰设计；改进故障诊断算法，引入机器学习；优化多设备协同控制逻辑；优化云平台架构设计，结合云计算与边缘计算。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文围绕警示灯智能化控制系统开发与远程监控技术应用开展研究，得出结论：不同场景警示灯有差异化控制与远程监控需求，核心需求为多参数协同自适应控制、运行状态监测、故障诊断、远程运维管理与低功耗运行，为系统设计与技术研发提供依据。

构建“感知-控制-传输-管理层”四层架构，实现警示灯状态感知、模式控制、数据传输与远程管理。通过嵌入式系统算法、传输层通信优化、云平台技术优化，提升系统智能化、实时性与可靠性。

系统测试表明，优化后的控制系统能精准调整警示灯工作模式，远程监控系统可实时采集数据、下发指令，故障诊断准确率超95%，平均无故障运行超10000小时，各项指标达设计目标。研究成果完善理论体系，提供技术支撑。

6.2 未来展望

未来研究可从以下方向深化：智能化控制方面，引入人工智能算法实现精准控制与故障预测，研究协同联动技术构建预警网络；远程监控技术方面，探索5G+北斗融合通信，研究边缘计算技术；功能拓展方面，开发虚拟监控平台，增加健康评估功能；产业化与标准化方面，推动标准化研究，加强产学研合作，开展现场验证优化性能。通过创新与推广提升警示灯智能化与管理效率，保障公共与生产安全，推动行业升级。