

Research on the Visibility Adaptive On Control Strategy of Automatic Auto Fog Light

Zhengqing Zhao

Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511434, China

Abstract

Low visibility during foggy weather is a significant contributing factor to traffic accidents, making the development of an intelligent fog light control system with environmental self-sensing capabilities imperative. This study investigates a visibility perception model based on image contrast and multi-source sensor fusion, designs adaptive fog light activation strategies tailored to driving conditions and environmental levels, and establishes a real vehicle testing platform for performance evaluation under various operating scenarios. The research findings demonstrate the system's response accuracy and control reliability in complex meteorological conditions, providing technical support for enhancing fog driving safety and vehicle intelligent lighting control systems.

Keywords

Automatic fog lights; Visibility perception; Control strategy; Multi-source sensing; Adaptive activation/stop

汽车自动雾灯的能见度自适应开启控制策略研究

赵正卿

广州汽车集团股份有限公司, 中国·广东 广州 511434

摘要

雾天低能见度是引发交通事故的重要诱因, 亟需构建具备环境自感知能力的智能雾灯控制系统。文章研究了基于图像对比度与多源传感融合的能见度感知模型, 设计了面向行驶状态与环境等级的自适应雾灯开启控制策略, 构建了实车测试平台并完成不同工况下的性能评估。研究结果验证了系统在复杂气象条件下的响应精度与控制可靠性, 为提升雾天行车安全与车辆智能照明控制水平提供了技术支撑。

关键词

自动雾灯; 能见度感知; 控制策略; 多源传感; 自适应启停

1 引言

在雾霾、高湿或光照弱的道路环境中, 能见度骤降直接影响驾驶员的视距判断与反应时间, 成为诱发交通事故的重要因素, 传统雾灯控制方式多依赖人工干预或固定逻辑触发, 难以实现对复杂环境变化的快速响应。为提升车辆照明系统对环境的适应能力, 构建具备能见度自感知与雾灯自主决策功能的控制系统成为技术发展的关键路径。文章基于图像对比度与红外光强信号构建能见度估算模型, 引入多源传感器融合策略提升识别准确性, 构建响应车速、灯光状态与天气等级的自适应控制逻辑, 设计实车测试方案对系统响应时效与误判率进行多工况验证, 旨在实现雾灯控制的精细化、智能化调度, 为车辆在低能见度条件下提供更安全、稳定的照明支持。

【作者简介】赵正卿(1987-), 女, 中国云南人, 硕士, 工程师, 从事控制科学与控制工程研究。

2 能见度感知模型构建

2.1 图像对比度识别模型开发

基于车辆前向摄像头采集的视频图像, 提取连续帧中目标区域的灰度信息, 构建对比度识别模型以判断图像清晰度并间接估算环境能见度。选用 Michelson 对比度公式衡量图像灰度差异, 公式为:

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

其中 $I_{\max}$ 与 $I_{\min}$ 分别表示图像局部区域的最大与最小亮度值, C 为该区域的灰度对比度值。在雾霾条件下, 图像灰度分布趋于平均, C 值明显下降, 系统依据连续帧中对比度变化趋势与数值下限设定能见度识别阈值。对图像进行网格划分后选取特定区域计算多个局部对比度值, 取加权平均作为全帧对比度指标, 有效降低边界反光干扰影响。经实测标定将对比度值映射为对应能见度区间, 构建雾灯控制策略的输入规则, 满足低延迟、低误判要求, 支持复杂天气条件下的快速识别与响应。

2.2 红外与光照强度联合感知机制

红外传感器用于捕捉车辆前方物体的热辐射变化,能有效感知在低照度、轻雾等可视边界模糊环境下的障碍物轮廓信息,环境光强传感器实时获取自然光照水平变化趋势,二者构成能见度识别的辅助通道^[1]。系统设定红外感应灵敏区间与光照强度动态阈值,在弱光和晨昏条件下增加红外通道数据权重,在强光或反光干扰环境中提升光照通道抑制能力。联合感知结果用于修正图像识别模块输出的灰度对比值,避免摄像头在强逆光、远光干扰等场景下出现误判,提升能见度判断在多气象、多时段条件下的稳定性。整体机制可实现不同来源感知数据的交叉验证,增强自适应控制策略的输入精度。

3 雾灯自适应控制策略设计

3.1 雾灯控制阈值分级设定

基于能见度感知模型的实时输出结果,系统将能见度范围划分为多个控制等级,分别对应不同的雾灯工作状态,形成明确的启闭触发逻辑[2]。分级设定以交通法规推荐能见度界值为参考基础,并结合车辆测试数据动态校准具体阈值,实现响应策略的可调节性与分布式控制特性。各级控制状态定义如下:

(1) 能见度大于 200 米,系统不启用雾灯,仅保留标准近光照明;

(2) 能见度处于 100 米至 200 米之间,系统预设前雾灯开启,后雾灯关闭状态,用于中轻雾条件下提升辨识度;

(3) 能见度处于 50 米至 100 米区间,系统同时启用前后雾灯,并锁定自动熄灭功能,防止误关;

(4) 能见度低于 50 米,触发强制前后雾灯开启并向车载通信模块发送警告信号,提示驾驶员前方环境高度风险;

(5) 感知系统判断能见度连续恢复超过设定周期,逐级释放雾灯状态直至恢复关闭模式。

等级判定采用 hysteresis 控制结构,在边界值附近引入上下限滞后区间,避免频繁切换导致控制抖动,保障雾灯控制稳定性与系统响应流畅性。

3.2 行车状态触发条件设置

为满足不同驾驶场景对雾灯控制响应条件的差异需求,系统需对车速、档位、灯光状态等动态参数进行状态感知与逻辑联动设定。低速行驶状态下雾灯使用频率高,系统自动降低能见度触发阈值,提高早期干预能力;在高速状态下控制逻辑延迟窗口缩短,提升响应速度,增强驾驶风险预警效果。系统引入档位识别模块,当车辆处于倒车或驻车状态时自动中断雾灯控制输出,防止误触发照明单元。

在灯光总成管理模块中设定自动大灯与雾灯之间的优先级管理逻辑,在强光、远光已激活条件下禁止前雾灯叠加,

避免光源干扰叠加影响前向能见度判断。系统状态检测周期保持在 50ms 以内,可实现对行车状态的高频率采样与实时处理,确保雾灯控制触发逻辑对车辆动态变化的跟踪精度。该状态驱动机制与能见度控制等级判定形成复合触发逻辑,构成自适应控制策略的多条件响应闭环结构。

3.3 多源数据控制策略融合方法

自动雾灯控制系统在动态环境中运行,需综合多类传感器数据完成能见度状态判定。不同传感器在响应时延、抗干扰性与数据分布特性方面存在结构差异,直接使用单一数据源易产生误判或丢失关键环境信息[3]。图像识别模块可实现对环境清晰度的区域判定,但在夜间或强逆光条件下识别准确性下降。红外传感器对物体热信号敏感,适用于低照度条件下的障碍感知,但受天气温差影响较大。光照传感器能反映整体环境亮度变化,在清晨、傍晚等阶段对环境感知能力强。为实现系统级的综合感知判断,需构建统一的数据融合模型,将各通道数据按环境特性进行动态加权,确保融合输出具备稳定性与可靠性。

系统设定图像识别结果为 D_1 、红外感应值为 D_2 、环境光照测量值为 D_3 ,构建融合判断值 D_f ,融合计算模型如下:

$$D_f = w_1 \cdot D_1 + w_2 \cdot D_2 + w_3 \cdot D_3$$

其中, w_1 , w_2 , w_3 分别代表三类数据源的权重系数,满足约束条件 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$,用于控制数据在融合判断中的影响比例。系统内设环境情景识别模块,根据外部光照变化、温湿度信息与历史数据趋势动态调整权重参数。夜间工况中,提升红外通道权重 w_2 并下调图像通道权重 w_1 ,在能见度高的晴天场景中,则优先使用图像识别值与光照测量值作为判断基础。融合判断值 D_f 经比较设定阈值后进入控制逻辑模块,作为雾灯启闭的核心判定依据,控制信号由主控单元发出并经总线下发至执行机构。

系统引入误差补偿与冗余容差结构,用于削弱偶发波动对融合结果的干扰影响。在连续采样周期中,采用滑动窗口均值与斜率判断方式校验的趋势稳定性,保障雾灯控制逻辑具备缓冲处理与防抖能力。

3.4 控制系统的工程部署适配性

控制系统采用嵌入式主控单元与边缘处理节点分布式结构,主控模块具备标准化 CAN 接口协议栈,可对接整车 BCM 或独立灯控模块实现控制指令转发,适配主流车规网络架构。电气接口采用双向隔离 IO 设计,具备过流保护与通信优先级预设能力,支持在 12V 与 24V 供电平台间无缝切换。系统内部参数配置可通过 OBD 端口写入或网关远程刷新,便于整车 OTA 集成。传感器安装方案基于车头预留接口布置,图像模块嵌入前风挡上沿,红外与光照单元集成于前保险杠两侧,线束布设遵循车规防护等级,具备抗震、耐腐蚀与屏蔽性能要求。控制逻辑具备自诊断与状态上报功能,支持与车载诊断系统联动开展异常检测与故障识别。

4 控制系统的工程实现方案

4.1 系统集成测试流程

控制系统采用分布式架构设计,核心计算单元基于 ARM Cortex-A7 双核嵌入式处理器,集成 Linux 系统以支持高并发的数据处理需求 [4]。主控模块通过 CAN-FD 接口接入整车通信总线,具备标准 ISO 11898 协议栈与自适应报文解析能力,能够兼容主流车型 BCM 数据格式。传感器端部署包含图像采集模组、红外热感传感器与可见光强度传感器三类单元,分别安装于前风挡、保险杠与车辆前舱区域,线缆统一接入预设的边缘节点处理器,边缘节点集成模数转换、电源稳定与瞬态抑制模块,具备宽温宽压运行能力。电气连接采用航插结构与屏蔽线缆,满足 IP67 等级的防尘防水与抗干扰需求。系统供电平台支持 12V/24V 双平台切换,内置 TVS 管阵列用于过压保护与浪涌抑制,控制输出接口设计为双向隔离 IO,可实现外部执行器件如雾灯模块的实时控制与状态回读,确保软硬件协同控制的稳定性。

4.2 雾灯响应延迟测定方法

系统嵌入方式以模块化部署为核心,主控单元通过 CAN-B 总线与 BCM 节点建立物理与逻辑联通关系,在车辆启动后完成初始化自检并主动注册功能模块,控制逻辑与灯控域之间建立基于事件驱动的报文通信通道,报文 ID 设定遵循整车域间交互规范,支持主/被动上报机制,数据帧结构包含控制指令字段、状态反馈位与冗余校验段 [5]。传感器布置遵循整车前脸空间布局与气流分布特性,图像模组与光照传感器固定于风挡上缘,借助遮阳板机构进行抗强光优化,红外单元嵌入保险杠下沿内腔,利用开孔导光设计提升感应角度。供电系统接口接入整车电源分配模块,配置独立熔断器与继电器控制单元以增强运行安全性,控制信号采用双线差分传输结构,避免因地线干扰引发误触发。系统内各单元具备软地址设定功能,可适应不同车型在网络拓扑、布线长度与报文资源上的差异性,整体实现方式满足主流乘用车与轻型商用车平台的工程移植条件。

4.3 控制精度多场景对比分析

调试流程以诊断模块为中枢控制平台,工程师可通过 OBD 接口或 CAN 调试终端进入系统调试模式,配置控制参数包括图像阈值因子、红外灵敏系数与环境融合权重等变

量,并支持在线调整与即时写入。系统配置文件以 XML 结构组织,嵌入主控存储区域并提供 OTA 升级接口,支持远程增量更新、参数回滚与异常校验逻辑,升级过程嵌入状态监测机制以避免写入中断风险。控制模块嵌入故障转移功能,当部分传感器信道丢失信号或读取异常时,系统依据默认降级策略启用备用逻辑保障控制连续性。物理硬件具备热插拔检测与电气隔离容错结构,插拔状态变化可触发中断并由系统记录事件日志,在后期运维中支持通过诊断软件对设备状态、信号流与控制回路进行溯源。控制节点集成健康状态上报协议,每运行周期自动生成 CRC 校验与时间戳数据并发送至 BCM 日志域,便于制造阶段与售后维护的快速定位与精细分析。

5 结论

文章构建了基于图像对比度、红外感应与光照强度融合的能见度感知模型,设计了面向环境等级与车辆状态的自适应雾灯控制策略,系统完成了软硬件一体化部署,构建了传感输入—逻辑判断—执行控制的闭环结构,具备嵌入式部署与平台化移植能力。系统架构融合多源传感器信息、分布式处理节点与 CAN 总线通信机制,能够实现复杂气象条件下的稳定能见度识别与精准雾灯控制输出。控制逻辑支持多条件复合触发与参数动态调整,适配整车网络与电源系统的工程环境要求。研究成果具备工程化实施的完整性与可拓展性,可为低能见度环境下的车辆智能照明控制提供技术支撑与应用基础。

参考文献

- [1] 王鹏.面向公路团雾分布式检测的能见度感知节点技术研究[D].哈尔滨工业大学,2023.
- [2] 薛竣耀.高速公路智能雾灯诱导系统技术研究与应用[J].云南水力发电,2022,38(03):185-187.
- [3] 李伟东,刘亚,周佩炫,等.浅谈一种低能见度下车辆雾灯自动开启的装置及方法[J].时代汽车,2021,(01):127-128.
- [4] 李建明,刘宇,张婷.基于视觉感知要素的能见度HMM模式测量方法研究[J].国外电子测量技术,2019,38(09):7-10.
- [5] 苗开超,周建平,陶鹏,等.自适应混合卷积神经网络的雾图能见度识别[J].计算机工程与应用,2020,56(10):205-212.