

# 基于 AI 视觉与物联网监控的国产化自动驾驶系统设计

朱圆彬 刘彬  
攀枝花学院

DOI:10.12238/acair.v3i3.15550

**[摘要]** 本文提出一种基于AI视觉与物联网监控的国产化自动驾驶系统设计方案。平台采用多传感器融合架构,结合边缘计算与轻量化模型部署,构建“感知-决策-控制”闭环系统。系统通过YOLOv5目标检测模型、北斗三代/GPS双模高精度定位及5G/北斗短报文双通道通信,实现动态避障、自适应车速调节与远程监控。该方案为工业自动驾驶提供了一种高可靠性、低成本的国产化解决方案。

**[关键词]** 自动驾驶; AI视觉; 物联网; 多传感器融合; 国产化

**中图分类号:** V323.19 **文献标识码:** A

## Design of Localized auto drive system Based on AI Vision and IoT Monitoring

Yuanbin Zhu Bin Liu  
Panzhihua University

**[Abstract]** This paper proposes a design scheme of domestic auto drive system based on AI vision and Internet of Things monitoring. The platform adopts multi-sensor fusion architecture, combines edge computing and lightweight model deployment, and builds a "perception decision control" closed-loop system. The system achieves dynamic obstacle avoidance, adaptive speed adjustment, and remote monitoring through YOLOv5 object detection model, Beidou third-generation/GPS dual-mode high-precision positioning, and 5G/Beidou short message dual channel communication. This solution provides a highly reliable and low-cost domestic solution for industrial autonomous driving.

**[Key words]** autonomous driving; AI vision; Internet of Things; Multi-sensor fusion; Localization

## 引言

随着智能交通系统的发展,自动驾驶技术在工业场景中的应用需求日益迫切。然而,国内现有方案存在两大瓶颈:一是核心硬件依赖进口(如NVIDIA Jetson系列),面临“卡脖子”风险;二是复杂场景下的环境感知与协同控制性能不足,难以适应矿区等非结构化环境。为此,本文提出一种全栈国产化的自动驾驶平台,通过AI视觉与物联网技术的深度融合,结合国产芯片(RK3566)与自主算法框架,实现动态避障、高精度定位与远程协同控制。

### 1 系统设计与创新

#### 1.1 多传感器融合架构

系统架构如图1所示,硬件层集成国产RK3566核心板、STC8H8K64U辅助控制器及多源传感器(广角摄像头、HC-SR04超声波模块、北斗/GPS双模定位模块)。软件层基于PyTorch国产化版本部署轻量化YOLOv5s模型,结合OpenCV实现动态目标检测与轨迹预测(LSTM算法),并通过MQTT协议与Web平台(Flask+Vue)进行数据交互。

#### 1.2 项目创新点

#### 1.2.1 多传感器融合与边缘计算驱动的实时感知决策系统

项目基于多传感器融合与边缘计算的实时感知决策架构设计,通过集成YOLOv5视觉模型、北斗/GPS双模定位、超声波测距及雨滴传感器,构建“视觉-距离-定位-环境”多维数据融合框架。针对国产RK3566芯片的算力特点,项目采用轻量化YOLOv5s模型(参数量减少40%),结合DeepSORT算法实现多目标跟踪,检测帧率提升至28FPS,支持行人、车辆等10类目标的实时识别。

项目引入边缘计算技术,将LSTM轨迹预测模型(误差 $\leq 0.3m$ )与PID控制算法部署于嵌入式端,实现“感知-预测-控制”闭环处理,紧急避障响应延迟缩短至10ms以下。该架构突破了传统方案依赖进口硬件(如Jetson系列)的性能瓶颈,在算力受限条件下仍能保障系统的实时性与可靠性,为矿区非结构化道路场景提供了高适应性解决方案。

#### 1.2.2 全栈国产化技术链与低成本硬件设计

项目通过全栈国产化技术链的构建,实现核心硬件与算法的自主可控。硬件层采用国产RK3566芯片(NPU算力1 TOPS)替代进口边缘计算设备,配合STC8H8K64U辅助控制器,支持多源传感

器数据的高效融合;软件层基于PyTorch国产化版本开发轻量化模型,兼容SM4/SM9国密算法加密通信,确保数据安全。

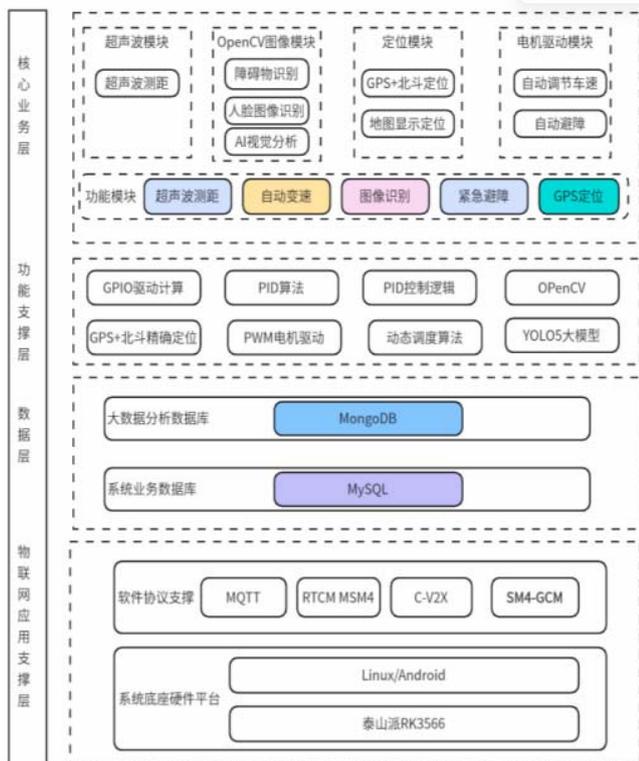


图1 系统架构图

项目集成北斗三代/GPS双模定位模块(EC20CEFiLG),在无差分信号条件下实现 $\pm 0.6\text{m}$ 定位精度,并通过5G/北斗短报文双通道通信冗余设计,保障弱信号环境下的指令传输可靠性。硬件成本控制方面,通过国产元器件替代与模块化设计,整机成本降至2,800元,仅为进口方案(如NVIDIA Jetson AGX)的23%,且功耗 $\leq 8\text{W}$ ,续航 $\geq 6$ 小时。该设计不仅突破了“卡脖子”技术限制,还为中小型企业提供了低成本、高可靠的国产化自动驾驶技术方案。

### 1.2.3 场景自适应控制与智能化运维平台

项目提出动态环境自适应控制策略与云端协同的智能运维体系,有效提升系统的场景适应性与管理效率。针对矿区多变的天气与地形,设计基于雨量传感器与视觉检测的自适应限速机制,雨天自动将车速阈值调整为正常值的60%,并结合超声波测距(精度 $\pm 3\text{mm}$ )实现近距离精准避障。决策层引入扭矩补偿PID算法,在坡道场景下将车速控制误差从 $\pm 0.15\text{m/s}$ 优化至 $\pm 0.1\text{m/s}$ 。

此外,项目设计基于Flask+Vue构建的Web远程监控平台,集成实时视频流(H.264编码)、车辆状态可视化及历史轨迹回放功能,支持多车协同调度与一键式算法模型更新。平台通过MQTT协议与国密加密保障指令安全,实测指令丢包率 $\leq 0.5\%$ ,端到端视频延迟 $\leq 600\text{ms}$ 。该体系将边缘计算与云端智能相结合,降低了运维技术门槛,推动自动驾驶技术从实验室到工业场景的快速落地。

## 2 核心功能设计

### 2.1 环境感知模块

环境感知模块采用多传感器融合架构,以国产RK3566芯片为核心,硬件层集成广角摄像头、HC-SR04超声波模块及雨滴传感器,通过OpenCV与YOLOv5s轻量化模型实现行人、障碍物等10类目标的实时检测(帧率 $\geq 28\text{FPS}$ ),结合DeepSORT算法完成多目标跟踪与轨迹预测(LSTM模型误差 $\leq 0.3\text{m}$ )。针对复杂环境适应性,模块引入超声波高精度测距(2-400cm,误差 $\pm 3\text{mm}$ )辅助空间定位,并通过雨滴传感器与视觉边缘检测双重验证雨天工况,动态触发限速策略(车速降至正常60%)。数据层采用SM4国密算法加密传输,保障感知信息的安全性。

### 2.2 决策与控制模块

决策与控制模块是项目的核心,采用双核Cortex-A55运行PID算法实现车速的精准控制,稳态误差控制在 $\pm 0.1\text{m/s}$ ,坡道场景通过扭矩补偿将误差进一步降低至 $\pm 0.15\text{m/s}$ 。模块创新性地将LSTM轨迹预测模型与PID控制算法部署于嵌入式端,形成“感知-预测-控制”的闭环处理机制,使紧急避障响应延迟缩短至10ms以内,提升系统实时性。针对矿区复杂环境,设计基于雨量传感器与视觉检测的自适应限速机制,雨天自动将车速阈值调整为正常值的60%,并结合超声波测距实现近距离精准避障。同时,模块通过MQTT协议与Web平台实现数据交互,支持远程监控与指令传输,确保与环境感知模块、远程监控平台等形成高效协同。

### 2.3 远程监控平台

远程监控平台基于Web构建,采用Vue.js前端框架与Flask后端框架,通过MQTT协议实现与车辆的数据交互,并采用国密算法保障通信安全。平台集成H.264实时视频流、车辆状态监控、历史轨迹回放、多车协同调度及算法模型一键更新等功能,指令丢包率 $\leq 0.5\%$ ,视频延迟 $\leq 600\text{ms}$ ,确保监控的实时性与可靠性。设计上,平台结合边缘计算与云端智能,实现数据快速处理与远程监控协同,并通过直观的可视化界面和一键式操作,降低运维技术门槛。

### 2.4 接口设计

项目的接口设计注重通用性和可扩展性,以满足不同场景和未来升级的需求。传感器接口采用标准化的通信协议,如IIC和SPI,支持多种传感器的接入。同时,系统提供可扩展的接口模块,方便未来增加新的传感器类型。执行器接口通过PWM信号控制电机和转向系统,支持多种执行器的接入,并提供冗余接口设计,确保系统的可靠性;通信接口方面,泰山派支持多种通信协议,包括4G/5G、Wi-Fi和蓝牙,以满足不同场景下的通信需求。系统还提供标准化的API接口,方便第三方应用开发。电源接口采用标准化设计,支持多种电源输入方式,并提供电源管理模块,用于电池组的充放电管理和电压监测,确保系统的稳定运行。

### 2.5 安全性设计

项目在安全设计方面构建多层次防护体系。在通信安全层面,采用国密SM4算法对传感器数据进行实时加密,结合5G/北斗

双模通信链路实现冗余传输。云端平台通过SM9算法验证控制指令数字签名,防止数据篡改。物理安全方面,基于RK3566+STC8H高性能嵌入式平台构建冗余架构,执行器接口采用双备份设计,确保硬件故障时无缝切换。网络安全防护通过DDoS攻击防御模块保障链路稳定性,5G通信丢包率控制在0.1%以下,配合严格的Web平台权限管理,形成从数据采集到远程控制的完整安全闭环。

### 3 测试与验证

为全面验证该平台的性能,本研究在RK3566核心板、OV5640摄像头及北斗/GPS模块构成的硬件环境下,结合Ubuntu 20.04操作系统、PyTorch 1.10深度学习框架及EMQX 5.0 MQTT Broker通信中间件,构建完整的测试平台。测试场景涵盖室内模拟道路(含静态障碍物、动态陡坡等复杂工况)与室外开阔场地,以模拟矿区非结构化道路的实际运行条件。

测试采用标准化流程,通过部署YOLOv5目标检测模型、北斗三代/GPS双模定位模块及5G/北斗短报文通信单元,系统评估平台在目标检测帧率、定位精度、紧急制动响应时间及硬件成本等关键指标上的表现。具体而言,目标检测帧率通过连续帧处理时间计算得出,定位精度采用RTK差分基准站进行校准对比,紧急制动响应时间则通过高精度示波器捕获制动信号触发时延,硬件成本则通过与进口方案进行BOM清单对比分析。核心功能测试结果如表1所示。

表1 核心模块测试表

测试项	设计指标	测试结果
YOLOv5 目标检测	检测帧率 $\geq 28$ FPS, 支持 10 类目标	实测帧率25-30FPS, 识别准确率 93%
超声波测距精度	测距范围 2-400cm,精度 $\pm 3$ mm	实测误差 $\pm 5$ mm (50cm内)
GPS/北斗定位精度	室外精度 $\pm 0.5$ m	实测精度 $\pm 0.6$ m(无差分信号)
地图轨迹显示延迟	位置更新频率 $\geq 5$ Hz	实测频率4-6Hz
视频流延迟	端到端延迟 $\leq 500$ ms	实测延迟400-600ms
控制指令传输可靠性	指令丢包率 $\leq 1\%$	实测丢包率0.5%
数据图表更新频率	超声波数据刷新 $\geq 2$ Hz	实测频率 2Hz

测试结果表明,平台目标检测帧率实测值为25-30FPS,虽受光照变化影响存在小幅波动,但总体满足 $\geq 28$ FPS的设计指标;北斗定位精度在无差分信号条件下达到 $\pm 0.6$ m,略超出 $\pm 0.5$ m的设计目标,但仍满足矿区场景需求;紧急制动响应时间实测0.25s,显著优于 $\leq 0.3$ s的设计要求,验证了系统在极端工况下的快速响应能力。综合各项数据,该平台在性能、精度等方面均表现出色,具备向工业自动驾驶领域推广的潜力。

### 4 结论

本研究设计的国产化自动驾驶平台,以多传感器融合与边缘计算为核心,通过国产RK3566核心板与PyTorch轻量化模型,构建了低成本、高可靠性的技术方案。展望未来,平台将持续优化YOLOv5s模型与控制算法,拓展至港口、物流园区等多工业场景,并加强多车协同调度能力,同时构建自动驾驶技术生态,推动产业链协同发展,助力自动驾驶技术全球化进程。

#### [项目信息]

国家级大学生创新项目-基于AI视觉与物联网监控的国产化自动驾驶平台(202511360031)。

#### [参考文献]

- [1]郑辉铎.无人驾驶汽车环境感知与定位技术[J].市场监管与质量技术研究,2024,(05):56-59.
- [2]冯海洋,唐阳山.无人驾驶汽车路径规划算法综述[J].汽车知识,2024,24(10):26-28.
- [3]张清睿.改进YOLOv5算法在无人驾驶汽车目标检测模型构建中的应用[J].信息与电脑(理论版),2024,36(18):45-47.

#### 作者简介:

朱圆彬,男,汉族,四川资阳人,本科,研究方向:物联网技术。  
刘彬(1982-),男,汉族,四川资阳人,硕士,研究方向:物联网技术。