

智能寻迹小车车道识别与轨迹控制算法研究

自动化2103班：张蕾 指导教师：陈晨 论文类型：毕业论文

摘要：针对智能驾驶技术中车道识别与轨迹控制的核心问题，设计了基于计算机视觉的车道识别系统及模型预测控制（MPC）的轨迹跟踪算法。基于脊线滤波特征提取结合RANSAC算法设计车道识别系统实现车道线高效检测。同时基于车辆运动学模型与MPC理论构建MPC控制器实现预设轨迹准确跟踪。通过MATLAB仿真验证，车道识别系统对双车道检测成功率达82%，实线车道检测率95.27%，虚线车道检测率84.18%。轨迹控制算法中扩展状态空间MPC控制器跟踪横向误差控制在-0.184-0.071m，速度波动范围缩小至9.5-10.5m/s，有效提升了智能小车行驶的准确性与稳定性。

关键词：车道识别；脊线检测；RANSAC算法；轨迹控制；MPC算法

1 研究背景与意义

随着人工智能发展，我国汽车工业快速进步，但交通事故频发，多数因驾驶员人为失误导致。为此，智能驾驶技术成为研究热点，其环境感知、路径规划、车辆控制三大核心环节协同保障行驶安全。车道线检测和车辆轨迹跟踪控制是智能驾驶核心内容。研究车道识别算法，实现精准车道线识别与标识。设计高效轨迹控制算法，提升小车行驶稳定性和可靠性。

2 车道识别系统设计

2.1 系统架构

车道识别系统采用多模块协同架构实现从图像采集到结果输出的完整技术链路。系统架构如图2.1所示。



图2.1车道识别系统架构

2.2 预处理模块

预处理环节通过逆透视变换（IPM）生成鸟瞰图，聚焦车辆前方3-13m、横向 $\pm 6m$ 的兴趣区域（ROI），剔除天空、建筑等无关信息，同时采用加权灰度化方法（权重R=0.299, G=0.587, B=0.114），将彩色图像转换为灰度图，降低计算复杂度。

2.3 检测与特征提取

检测模块采用脊线滤波增强车道线特征，设计自适应脊线检测算法，以车道线实际宽度为参数构建检测窗口，通过局部灰度对比实现中心线增强，数学表达式如下：

$$L(x,y)=2I(x,y)-(I_l(x,y)+I_r(x,y))-|I_l(x,y)-I_r(x,y)| \quad (2.1)$$

其中， I_l 与 I_r 分别为以像素(x,y)为中心的左右领域平均灰度值。

滤波后对图像进行归一化处理，将像素值映射至[0,1]区间，提升后续处理稳定性。特征提取环节通过自适应阈值分割生成二值图像，选取总像素数的97.5%作为阈值基准，结合连通域分析剔除小于30像素的噪声块，并通过形态学操作优化车道线特征。采用抛物线模型 $y=ax^2+bx+c$ 拟合车道线，结合RANSAC算法与最小二乘法，从含噪声数据中筛选内点，提升拟合精度。

2.4 后处理与结果分析

后处理模块通过车道边界长度（不小于ROI宽度40%）和信号强度（大于最大强度20%）筛选有效边界，根据边界与传感器的相对距离确定自我车道，计算车道中线坐标：

$$y_{center}=\frac{y_{left}+y_{right}}{2} \quad (2.2)$$

输出模块在原始视频中标记车道线（左右车道用红色，中线用绿色），并检测传感器与中线的偏移量，设置0.9m偏移阈值，超出时报警。

实验选取550帧视频结果测试，左车道线（实线）有524帧成功检测标记，26帧漏检，右车道线（虚线）有463帧成功检测标记，87帧漏检，左右车道线同时检测成功的结果有451帧，左右车道线同时漏检帧仅有14帧。

由上述实验数据可知，车道线检测算法性能表现较好。在严苛的双车道同时检测标准下，算法的成功检测率仍可以达到82%，体现了强大的场景适应性。针对实线车道线，算法的成功检测率高达95.27%，充分验证了算法对规则线条的精准捕捉能力。而面对存在间断特征的虚线，算法的成功检测率也能达到84.18%，有效克服了传统算法易漏检的难点。

3 轨迹控制系统设计

3.1 控制框架

基于车辆运动学模型，本文设计了一种基于MPC的预测控制器，来实现车辆在道路行驶条件下的轨迹跟踪控制，控制框架如图3.1所示。

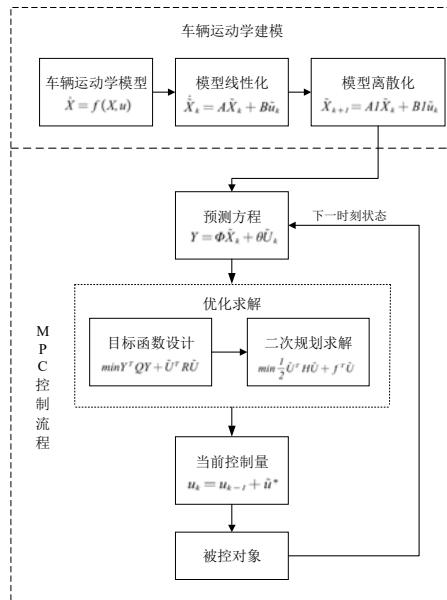


图3.1控制框架

3.2 状态误差模型与预测

离散的线性误差系统模型表达式：

$$\tilde{X}(k+1)=A\tilde{X}k+B\tilde{u}k \quad (3.1)$$

得到关于前一状态量误差与控制量误差和后一状态量误差的关系即可通过当前的状态量误差和控制量误差预测下一状态量误差。

基于离散状态误差模型，通过迭代计算构建多步预测方程，根据预测时域状态误差序列，总结预测模型表达式：

$$Y=\Phi\tilde{X}k+\Theta\tilde{U}k \quad (3.2)$$

3.3 MPC控制器设计

基础MPC控制器目标函数为： $\min Y^T QY + U^T RU$ ，通过二次规划求解最优控制序列。其中Q为状态误差权重矩阵，R为控制输入权重矩阵。

扩展状态空间MPC控制器将控制量纳入状态向量，建立新的状态方程，推导新的状态误差预测模型：

$$Y1=\Psi\zeta(k)+\Theta\tilde{U}(k) \quad (3.3)$$

引入控制增量约束，目标函数为： $\min Y^T Q Y + U^T R U + \rho \varepsilon^2$ ，通过约束控制增量抑制突变，提升控制平滑性。

3.4 仿真实验分析

采用双移线轨迹进行仿真，结果如图3.2所示。

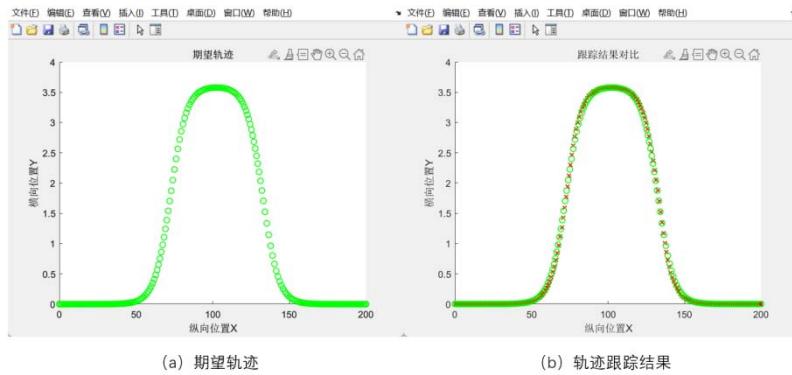


图3.2 仿真结果

基础MPC控制器横向误差收敛于-0.098-0.052m，速度波动范围8.809-11.138m/s，但转向时控制量调整较快。

扩展状态空间MPC控制器增加控制增量约束（速度 $\pm 0.5\text{m/s/step}$ ，前轮转角 $\pm 15^\circ/\text{step}$ ），横向误差收敛于-0.184-0.071m，速度波动缩小至9.5-10.5m/s，有效抑制了加减速冲击，提升了行驶稳定性。

两种控制器对目标轨迹的控制效果都较优，但是扩展状态空间MPC控制器增加了控制增量的约束，抑制控制量突变，使控制量变化平缓，在轨迹跟踪精度与控制平滑性之间取得更好平衡，提高了车辆行驶的稳定性，为智能车辆在动态环境中的安全行驶提供了更优解决方案。

4 总结

研究设计的车道识别系统在550帧视频测试中表现优异，双车道同时检测成功率达82%，实线车道检测率95.27%，虚线车道检测率84.18%，验证了算法对不同车道类型的准确性。轨迹控制算法中，两种MPC控制器均能实现轨迹跟踪，扩展状态空间MPC在控制平滑性上更优，满足智能驾驶对安全性和舒适性的需求。