

基于车载影像数据的高速公路车道线高精度检测方法

郭珍娣¹ 辛飞²

1 江苏海洋大学，江苏 连云港 222000；2 连云港农发置业有限公司，江苏 连云港 222006

摘要：本文研究高精地图车道线检测方法，旨在提升检测速度与正确率。通过分析车载影像，利用单目相机分别检测直线和曲线车道线，结合卡尔曼滤波增强复杂场景性能，实验表明算法正确率高、误检率低。

关键词：车道线检测；车道线定位；边缘算子；霍夫变换；卡尔曼滤波

High-precision Detection Method of Expressway Lane Line Based on Vehicle-borne Image Data

Guo,Zhendi¹ Xin,Fei²

1Jiangsu Ocean University, Lianyungang, Jiangsu, 222000, China

2Agricultural Development Real Estate Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222006, China

Abstract: This paper studies the lane line detection method for high-precision maps, aiming to improve the detection speed and accuracy. By analyzing the vehicle-mounted images, a monocular camera is used to detect straight and curved lane lines respectively. The Kalman filter is integrated to enhance the performance in complex scenarios. Experiments show that the algorithm has a high accuracy rate and a low false detection rate.

Keywords: Lane line detection; Lane line positioning; Edge operator; Hough transform; Kalman filter

DOI: 10.62639/sspis14.20250204

引言

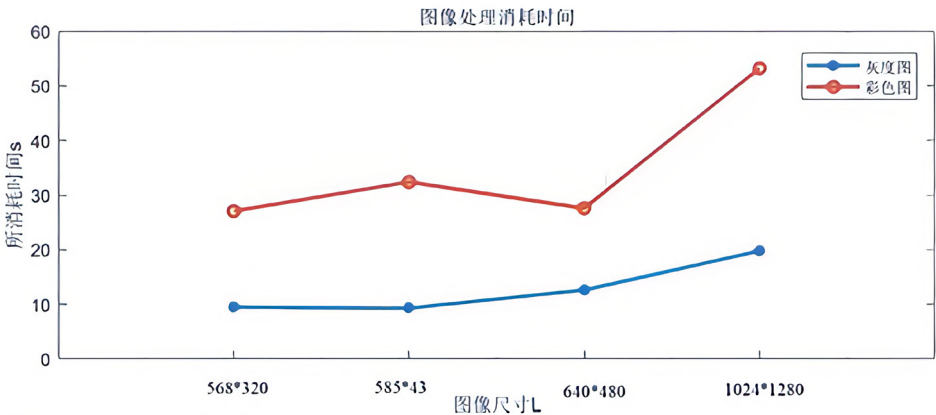
随着科技进步，计算机处理器处理大规模数据能力提升，推动辅助驾驶技术发展，汽车传感器增多让辅助驾驶成为现实。高精度地图作为关键部分，含丰富道路语义和环境感知信息，对辅助驾驶至关重要。它需通过互联网和信息交互实现静态信息集成更新，车辆对数据实时性、动态性需求高。车道线信息准确性是辅助驾驶基础，属静态数据层，含虚实、曲率等信息，涉及从车载影像提取及更新。车载影像含大量道路信息，

车联网下车辆协作贡献数据，可实现计算任务调度与交互。

一、车载影像处理

（一）车道线灰度化

车道线检测算法中，庞大的数据量影响时空复杂度，可对图像灰度化处理，过滤冗余色彩、保留边缘特征，有效减少算法复杂度、提升效率。为验证效果，本文采集四种图像格式数据，在统一算法下测试。



实验表明，图像灰度化可减少信息冗余，缩短实验耗时，缓解内存压力，提升后续车道线检测速度。

（稿件编号：IS-25-4-1015）

作者简介：郭珍娣（2004-），性别：女，民族：汉族，籍贯：江苏省徐州市，学历：本科，职称：学生，研究方向：空间信息获取和应用，空间数据可视化表达。

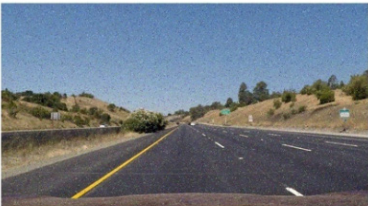
基金项目：连云港市重点研发计划（产业前瞻与关键核心技术）：“连云港 30 万吨航道海底浅地层检测关键技术研究”（项目编号：22CY080，2022-2024）。

(二) 图像平滑处理

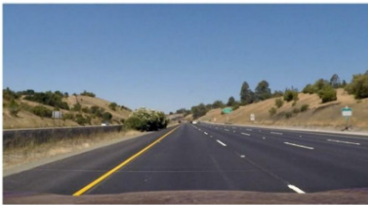
自然因素易使采集图像含噪声、质量下降，需平滑处理。图像平滑有空域法和频域法：前者直接处理像素空间，通过窗口均值计算实现平滑；后者将图像转至频域，用滤波器弱化高频、保留低频以增强图像。



(a) 原图



(b) 添加椒盐噪声



(a) 图像平滑

图 2 图像平滑处理效果

添加椒盐噪声的图像及平滑处理后的效果表明，平滑处理可有效去噪并改善图像质量。

二、车道线检测算法

(一) 基于透视变换的霍夫变换车道线直线检测

基于透视变换的霍夫变换车道线检测算法步骤如下：

- 1. 选择感兴趣区域，剔除背景干扰；
- 2. 对梯形车道线区域进行透视变换，转为平行车道线的鸟瞰图，再对鸟瞰图通过加权平均函数灰度化，并采用中值滤波降噪；

- 3. 经中值滤波后，利用边缘检测算子通过高低阈值提取车道线边缘；
- 4. 完成图像预处理后，用改进算法进一步提取目标物边缘；
- 5. 通过霍夫变换检测车道线，最后利用变换矩阵将鸟瞰图中检测到的车道线映射回原图像。



(a) (b) 透视变换后直线检测

图 3 透视变换后直线检测效果

(二) 基于滑动窗口和多项式拟合车道线曲线检测

高速匝道行驶时，传统霍夫变换因车道线近远景视场方向差异，易致直线拟合检测不准。通过比较连通区域与直线方向关系判定曲直，夹角 $\delta > 5^\circ$ 时为弯道。

车道线曲线检测算法中，用于曲线拟合的方法有贝塞尔曲线、三次样条插值、最小二乘法等^[1]，文采用了最小二乘法。

为提高检测精度，进一步定位车道线像素：

- 1. 结合车道曲线在图像中的特点，利用图像直方图累加灰度值为 255 的像素数目，确定车道线位置；
- 2. 采用窗口多项式拟合检测算法，定位单条车道线像素；
- 3. 根据提取的像素坐标点序号，通过多项式拟合出车道线。该方法通过方向判别与多步拟合，提升了弯道场景下的车道线检测精度。

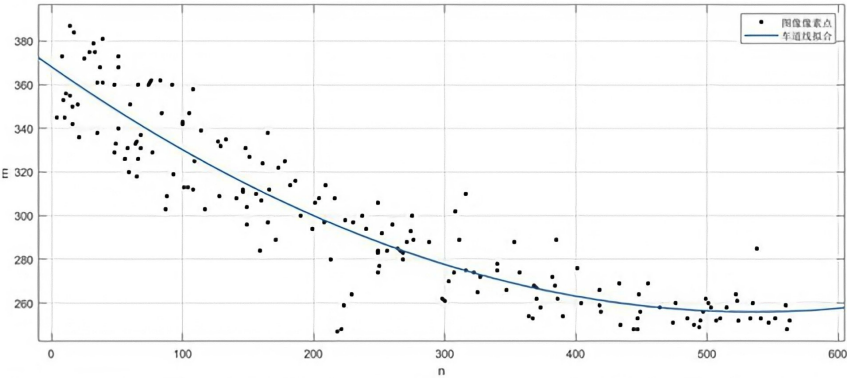


图 4 车道线曲线检测结果

(三) 实验结果分析

实验地点选取连云港周边的高速公路, 对不同场景下车道线检测算法展开实验。



图 5 实验地点

由上图可知, 在高速公路地面无干扰的情况下, 本文算法可以很好的检测除车道线。



图 6 检测效果

由上图实验结果可知, 针对高速公路曲率较小的弯道, 本文算法较好的拟合出了车道曲线。

(四) 基于卡尔曼滤波的车道线跟踪

高速公路车道线检测易因阴影、交通标识等漏检或误检, 利用车道线特征以前一时刻参数预测下一时刻, 卡尔曼滤波可有效解决。

卡尔曼滤波器是高效、误差范围小且持续稳定的自回归滤波器, 既能预测下一时刻位置, 也能依上一时刻参数优化当前车道线位置^[2-3], 其通过反馈机制实现滤波估计, 主要依靠状态方程和观测方程:

$$X_k = \varphi_{k,k-1}X_{k-1} + B_{k-1}W_{k-1} + \omega_{k-1}$$

$$Z_k = H_kX_k + v_k$$

高速公路场景中车道线直线变换小, 可依斜率特性确定动态区域。本文算法借一次多项式斜率与截距追踪位置, 前几帧初始化设直线参数为初始向量。

卡尔曼滤波器预测下一帧数据需初始化赋值, 算法中某帧输入参数 X_0 由上一帧车道线拟合参数确定, 提升下一帧车道线位置健壮性^[4]。

公式预测参数值覆盖车道线全区域。

$$Q = \begin{bmatrix} [c \cdot \theta_{t+1}]^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [d \cdot b_{t+1}]^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [c \cdot v_{t+1}]^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [d \cdot v_{t+1}]^2 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} [m \cdot \theta_{t+1}]^2 & 0 \\ 0 & [n \cdot b_{t+1}]^2 \end{bmatrix}$$

(五) 实验结果分析

为验证算法在车道线跟踪中的效果, 采集高速公路虚线、弯道场景数据, 检测效果如图所示。

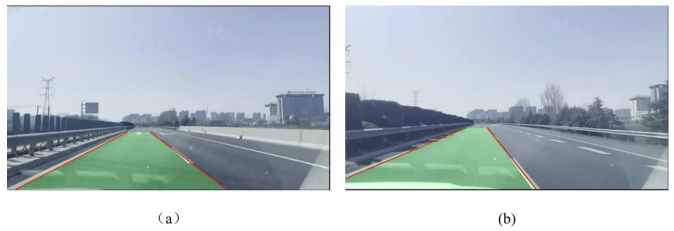


图 7 实地检测效果

从图 7 可见, 本文跟踪算法在虚线多且不连续情况下, 检测效果良好。



图 8 弯道实地检测效果

从图 8 中可以看出车道线在弯道进行跟踪时候, 也表现出良好的检测效果。

三、总结与展望

本文利用两帧车道线参数优化预测未知车道线, 降低误检率, 三种道路场景下检测正确率达 93.8%。针对车辆突然变道、路面标识复杂等导致的检测丢失问题, 引入卡尔曼滤波器提升鲁棒性, 三种环境下检测正确率均值为 91.87%。研究局限于高速公路车载影像与 GPS 数据, 未来需融合多源数据构建综合地图以实现厘米级精度, 同时结合多种传感器优化车道线检测模型。

参考文献:

- [1] 吴一全, 刘莉. 基于视觉的车道线检测方法研究进展[J]. 仪器仪表学报, 2019(12):18.
- [2] 郭笙听, 李子印, 赵储. 结合 Hough 变换与 Kalman 滤波的车道线检测方法[J]. 中国计量大学学报, 2017, 28(4):7.
- [3] Borkar A, Hayes M, Smith M T. Robust lane detection and tracking with ransac and Kalman filter.[C]// IEEE International Conference on Image Processing. IEEE, 2010.
- [4] 彭红, 肖进胜, 程显, 等. 基于扩展卡尔曼滤波器的车道线检测算法[J]. 光电子·激光, 2015, 026(003):567-574.