

文章编号: 2095-2163(2021)04-0139-05

中图分类号: TP29

文献标志码: A

# 基于视觉的车道线检测技术研究

刘康婷, 高 坤, 赵奉奎

(南京林业大学 汽车与交通工程学院, 南京 210037)

**摘要:** 环境感知技术是汽车自动驾驶的基础, 车道线检测技术是环境感知的关键部分。本文提出一种基于视觉的车道线检测技术。首先, 运用“张正友标定法”对单目相机参数标定; 然后将图像转换成鸟瞰图, 并使用 LaneRidge 检测器对车道线进行分离; 其次, 使用随机抽样一致算法 RANSAC 拟合车道线, 并对虚实车道线进行分类; 最后, 在 MatLab 平台上对本文提出的车道线检测算法进行验证。实验结果表明, 本文提出的车道线检测算法能够准确拟合车道线, 并对虚实车道线进行分类。本研究能够确保车道线检测的实时性和准确性, 从而为智能交通系统的应用打下基础, 提高智能汽车行驶的安全性。

**关键词:** 车道线检测; 视觉; 相机参数标定; RANSAC

## Research on Vision-based Lane Line Detection Technology

LIU Kangting, GAO Kun, ZHAO Fengkui

(College of Automobile and Traffic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**[Abstract]** Environmental perception technology is the basis of automatic driving, and lane detection technology is the key part of environmental perception. Therefore, this paper proposes a research on vision-based lane detection technology. Firstly, "Zhang Zhengyou calibration method" is used to calibrate the parameters of monocular camera; then the image is converted into an aerial view, and lane ridge detector is used to separate lane lines. Random sampling consensus algorithm (RANSAC) is used to fit lane lines and classify virtual and real lane lines. Finally, the lane detection algorithm proposed in this paper is verified on MATLAB platform. The experimental results show that the lane detection algorithm can accurately fit the lane line and classify the virtual and real lane lines. This study can ensure the real-time and accuracy of lane detection so as to lay the foundation for the application of intelligent transportation system and improve the safety of intelligent vehicles.

**[Key words]** Lane line detection; Vision; Camera parameter calibration; RANSAC

## 0 引言

当代汽车工业发生了革命性的变化, 道路日趋复杂, 汽车数量逐年攀升, 交通事故发生率也在增加。其中, 人为因素成了道路安全问题的主要来源, 要想有效解决这一重大难题, 必须把未来汽车研究的方向转移到智能交通系统上来<sup>[1]</sup>。智能交通系统包括道路、车辆以及驾驶人三大主体, 如何有效采集道路信息, 反馈给车辆以及驾驶员, 减少交通事故的发生是目前智能交通系统所要解决的问题。

汽车智能化是解决该问题的重要步骤。有研究者在汽车上安装环境感知传感器, 如基于激光雷达的汽车防撞预警系统, 实现对周围车辆的准确检测, 并在车距过近时及时进行声光报警, 有效减少了车辆间的碰撞所带来的安全隐患<sup>[2]</sup>。图像处理<sup>[3]</sup>在汽车智能化方面发挥着重要的作用, 可实现车道线

检测、障碍物识别、交通标志识别等功能。其中车道线检测技术是汽车自动驾驶的基础, 研究人员常使用 Hough 变换<sup>[4]</sup>、最小二乘法<sup>[5]</sup>之类的方法来识别车道线, 为完善车道线检测的一系列算法提供必要的理论依据。但如果道路状况比较复杂并且不断变化, 道路标志被行人或障碍物遮挡, 天气情况不好时, 这些算法可能无法检测, 还存在计算量大, 精度不高, 受噪声干扰严重等问题。

为了解决这一问题, 本文采用“张正友标定法”对相机参数进行标定, 并利用基于随机样本共识 (RANSAC) 的鲁棒曲线拟合算法拟合车道线, 并对所提算法进行了验证。

本文所研究的车道线检测技术包括 3 大过程。首先, 相机参数标定, 这是视觉系统正常工作运行的基础; 其次, 道路图像处理, 建立车辆坐标系, 完成原始图像和车辆坐标系的转换, 把原始图像转换为鸟瞰图, 并

**基金项目:** 江苏省高等学校自然科学基金项目(17KJB150024); 南京林业大学青年科技创新基金(CX2019018)。

**作者简介:** 刘康婷(1999-), 女, 本科生, 主要研究方向: 汽车电子; 高 坤(1998-), 男, 本科生, 主要研究方向: 汽车电子; 赵奉奎(1986-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 智能汽车环境感知。

**通讯作者:** 赵奉奎 Email: zfkseu@163.com

**收稿日期:** 2020-12-04

从道路表面分离出车道线;最后,采用 RANSAC 算法拟合出车道线并对其进行虚实的分类。

## 1 相机标定与图像处理

### 1.1 相机参数标定

相机参数标定通常包括 3 种方法:自标定法、传统标定法以及张正友标定法<sup>[6]</sup>。自标定法标定结果的精度比较低,鲁棒性差;传统标定法对需要标定的对象的精度要求很高,计算过程也相对更复杂;本文选择了张正友标定法,此种标定方法对标定目标的精度要求不高,实验过程也比较简单,标定的结果精度较高。

张正友标定法使用一个打印出来的棋盘格就可以进行标定,如图 1 所示。以棋盘格为标定板,对棋盘格拍照后,可以用相应的图像检测算法得到每一个角点的像素坐标。张正友标定法将世界坐标系固定在棋盘格上,则棋盘格上任意一点的物理坐标均为 0。于是,可以利用每一个角点的像素坐标和每一点的物理坐标来进行相机参数标定,得到相机的内外参数矩阵和畸变参数。

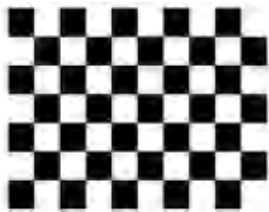


图 1 棋盘格

Fig. 1 Checkerboard

张正友标定法中因为光学透镜失真会引起镜头的畸变,相机畸变类型分为径向透镜畸变、枕形畸变、桶形畸变等。对透镜畸变进行矫正,计算径向变形位置,将发生变形的点在成像仪上的位置表示为  $(X, Y)$ ,  $(x, y)$  为调节后的点的坐标,其中  $k_1, k_2$  和  $k_3$  为径向畸变系数,  $r$  为图像像素点到图像中心的距离。调节公式为式(1) ~ 式(3):

$$X = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6), \quad (1)$$

$$Y = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6), \quad (2)$$

$$r^2 = x^2 + y^2. \quad (3)$$

当镜头和像平面不平行时,会发生切向畸变。 $(x, y)$  为调节后的点的坐标,其中  $P_1$  和  $P_2$  为镜头的切向畸变系数,调节公式为式(4) ~ 式(6):

$$X = x + [2 P_1 xy + P_2 (r^2 + 2 x^2)], \quad (4)$$

$$Y = y + [2 P_2 xy + P_1 (r^2 + 2 y^2)], \quad (5)$$

$$r^2 = x^2 + y^2. \quad (6)$$

调节镜头畸变,接下来在 MATLAB 中标定,得到相机的内外参数,首先要选择合适的标定校准板,整个过程中,要保持相机静止,对校准板不同的角度,不同的位置进行拍摄采集,保存拍摄到的图片。进而进行角点的提取,运行校准程序来获取相机相应的内外外部参数,具体在 MATLAB 中校准流程如图 2 所示。



图 2 相机参数标定流程图

Fig. 2 Flow chart of camera parameter calibration

经过程序标定,得到相机内部参数见表 1。

表 1 相机内部参数

Tab. 1 Camera internal parameters

参数	坐标
focalLength(相机焦距)	[309.4362, 344.2161](以像素为单位)
principalPoint (相机光学中心)	[318.9034, 257.5352] (像素坐标中的光学中心)
imageSize(图像尺寸)	[480, 640]

通过旋转矩阵和平移向量得到相机的外部参数,相机相对于路面的高度和向地面的倾斜度,分别为  $height = 2.1798 \text{ m}$ ,  $pitch = 14^\circ$ 。将以上得到的内外参数配置存储在 monoCamera 对象中,综上完成了相机参数标定。

### 1.2 原始图像和车辆坐标系间坐标的转换

摄像机所拍摄到的图像是以数组的形式储存的,数组中每一个元素的值就是图像的灰度值。如图 3 所示,在图像上定义直角坐标系  $u - v$ ,每一个像素的坐标  $(u, v)$  表示该像素点在数组中的列数和行数,所以  $(u, v)$  是以像素为单位的图像坐标系坐标<sup>[7]</sup>。

在地面上找到车辆坐标系的原点  $O_2$ ,在摄像机的焦点定义的摄像机中心的正下方。建立如图 4 所示的车辆坐标系,其中,  $X$  轴通过  $O_2$  垂直于路面向上,  $Y$  轴指向车辆行驶的方向,  $Z$  轴垂直于  $Y$  轴并平行于路面。

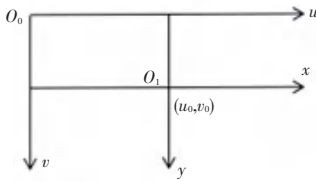


图 3 图像定义下的直角坐标系

Fig. 3 Cartesian coordinates based on image definition

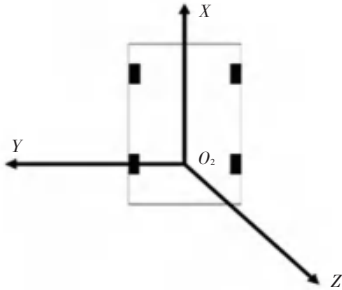


图 4 车辆坐标系

Fig. 4 Vehicle coordinates

摄像机拍摄的图像坐标与车辆坐标之间的转换关系如式(7)所示,根据式(7),完成图像坐标系和车辆坐标系之间的转换。

$$\begin{pmatrix} \hat{e}x_1 \\ \hat{e}y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{e}cos & -\hat{e}sin \\ \hat{e}sin & \hat{e}cos \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{e}x_1 \\ \hat{e}y_1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

单目相机对象 monoCam 检查从摄像机捕获的图像,并确定图像中车辆的位置。根据前文标定结果设置相机的固有参数,指定焦距、像平面的主点和输出图像的大小,单位是像素。将坐标系之间的转换假定为平坦道路,基于一个全息矩阵,将成像平面上的位置映射到路面上的位置。

### 1.3 鸟瞰视图转换

本论文使用逆向透视图创建鸟瞰图,使用 MATLAB 中 birdEyeView 对象,反透视图映射创建 2D 场景的鸟瞰图。其是二维  $(x, y)$  到三维  $(X, Y, Z)$ ,再到另一个二维  $(\hat{x}, \hat{y})$  空间的映射,其中不要求投影平面与图像平面互相平行。

透视变换矩阵变换公式(8)为:

$$\begin{pmatrix} \hat{e}X \\ \hat{e}Y \\ \hat{e}Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{e}a_{11} & \hat{e}a_{12} & \hat{e}a_{13} \\ \hat{e}a_{21} & \hat{e}a_{22} & \hat{e}a_{23} \\ \hat{e}a_{31} & \hat{e}a_{32} & \hat{e}a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{e}x \\ \hat{e}y \\ \hat{e}1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

其中透视变换矩阵式(9):

$$A = \begin{pmatrix} \hat{e}a_{11} & \hat{e}a_{12} & \hat{e}a_{13} \\ \hat{e}a_{21} & \hat{e}a_{22} & \hat{e}a_{23} \\ \hat{e}a_{31} & \hat{e}a_{32} & \hat{e}a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{e}x \\ \hat{e}y \\ \hat{e}1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

要移动的点即源目标点为  $\begin{pmatrix} \hat{e}x \\ \hat{e}y \\ \hat{e}1 \end{pmatrix}$ ,要移动到目的

$$\begin{pmatrix} \hat{e}X \\ \hat{e}Y \\ \hat{e}Z \end{pmatrix}$$

完成鸟瞰图转换,创建一个用于执行鸟瞰图变换的对象,定义要转换为鸟瞰视图的相机前面的区域。在相机前方设置 3~30 m 的区域,同时在相机两侧分别设置 6 m 的区域,将输出图像宽度设置为 250 像素,通过将长度设置为 NaN,可以自动根据宽度计算输出长度,加载由传感器捕获的图像,最后,将输入图像转换为鸟瞰图像,转换结果如图 5 所示。

## 2 车道线检测

### 2.1 灰度处理

本文采用 LaneRidge 检测器从道路表面中分离车道线,该技术具有简便、有效的优点。LaneRidge 采用指数函数线性组合形式的最佳边缘提取算子网,该方法既能控制噪音影响又可以得到较准确的检测效果。该算法的实质就是利用一个准高斯函数对图像作平滑运算,以含有方向信息的一阶微分找到导数最大值。

利用该算法将鸟瞰图图像转换为灰度图像,如图 6 所示,车道标记的大约宽度设置为 25 cm。



图 5 鸟瞰视图



图 6 灰度图像

Fig. 5 Aerial View

Fig. 6 Gray image

### 2.2 RANSAC 算法拟合车道线

RANSAC 算法的基本思想是根据随机选择的两个点来计算出两个点所表示的模型方程,然后将所有的数据点套到这个模型中计算误差,进而找到所有满足误差阈值的点<sup>[8]</sup>。迭代运行程序选出被支持的最多的模型,作为拟合的解完成拟合。数据包括有效数据和无效数据,有效数据即符合所选模型且偏差较小的数据,反之则为无效数据。在有效数据占比远大于无效数据时,可以采用最小二乘法来拟合曲线,但是当无效数据过多时,最小二乘法就会失效,所以需要新的算法 RANSAC 来进行曲线的

拟合。与最小二乘法相比，RANSAC 的优点在于其在一般以及特殊情况下包括有效数据占总数据的比重的大或小都能够准确拟合出最佳曲线，鲁棒性较强。而最小二乘算法在无效数据过多时不能准确拟合曲线，会很大程度发生偏离的情况。因此，本论文选用准确性和实用性较好的 RANSAC 算法。

为保证道路车道线拟合的准确性，需要选取四个数据点来建立抛物线模型方程，所有的数据点都将套入此模型，并将所有满足误差阈值的有效点进行再次拟合，直到得到最佳曲线。

RANSAC 算法拟合车道线<sup>[9]</sup>流程图如图 7 所示。首先，对图像中的点集初始化，并在其中随机抽取 4 个数据点，用所抽取的 4 个数据点进行曲线的拟合，然后判断其它点到曲线的距离，若距离大于设定的阈值，则为无效点，返回第二步继续抽取，若距离在设定范围之内，则将其列入有效点集的行列，并累计加 1，接着判断有效点数是否大于设定数值  $n$ ，若不大于  $n$  则再次回到第二步，重新选择 4 个数据点，如大于  $n$  将所有得到的有效点拟合成抛物线，记录最佳的拟合结果，一直到达设定的迭代次数，则完成拟合。

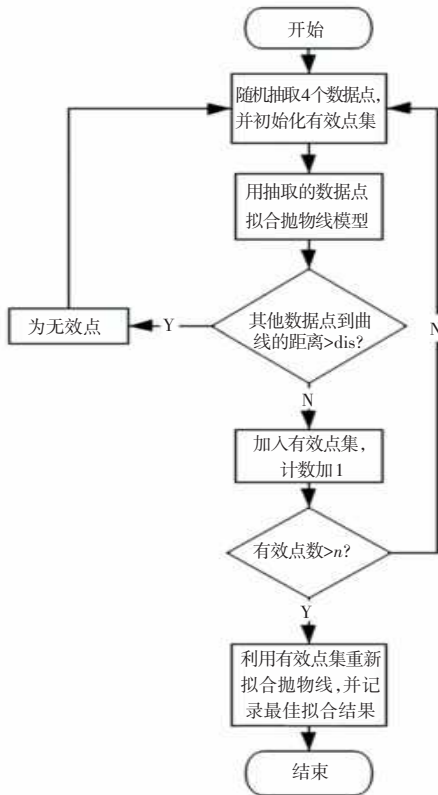


图 7 随机抽样一致算法 (RANSAC) 拟合车道线流程图

Fig. 7 Flow chart of lane line fitting based on random sampling consensus algorithm (RANSAC)

### 2.3 虚实车道线检测

虚、实车道线决定了车辆能否变道，本文研究了

虚、实车道线的分类方法。由于单条实线之间没有空隙，虚型车道线之间具有空隙，本文根据判断单条车道线之间有无间距来判断车道线的虚实。

对车道线进行分类的程序流程图如图 8 所示。首先找到车道候选边界线，然后判断单条车道线之间的最小距离，若距离大于 0，则得到左侧车道最小边界距离，最终形成虚形车道线；若距离不大于 0，则得到右侧车道线的最小边界距离，最后将所有有效数据点拟合得到实车道线。

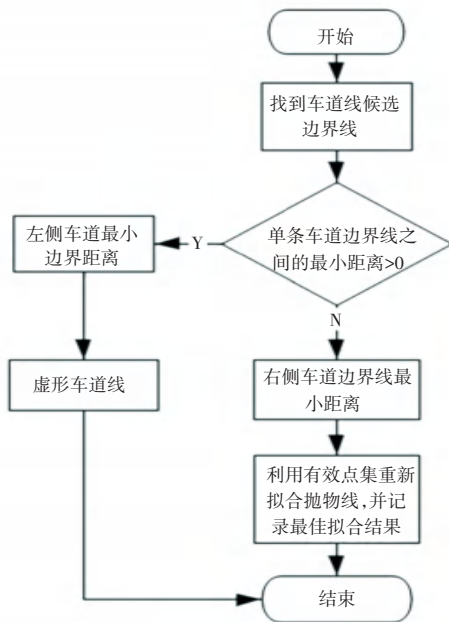


图 8 虚实车道线分类检测流程图

Fig. 8 Flow chart of virtual and real Lane classification detection

利用实际拍摄的图像对算法进行验证，图像处理结果如图 9 所示。图 9 分别展示了车道线拟合结果和虚实线分类结果，由图 9 可知，所提算法能够准确检测车道线，并对虚实车道线进行准确的分类。



图 9 虚实车道线拟合图像

Fig. 9 Display of virtual and real lane lines

### 3 结束语

车道线检测与识别技术是汽车安全辅助系统中 (下转第 148 页)