

DOI: 10.13382/j.jemi.B2002990

# 双参数车辆行驶偏离提醒与预警策略研究\*

李 梦 韩帮国

(安徽信息工程学院 机械工程学院 芜湖 241000)

**摘要:**为提高车辆行驶偏离测量与干预的准确性,提出双参数偏离测量与干预策略。借助VBAI进行图像处理,利用最大类间方差法求解出不同环境下最佳二值化分割阈值。设计灰度采集线获得车道边缘点,借助Fit Line算法拟合边缘点完成车道线识别。根据预警模型对相对航偏角与像素距离比进行分析,将提醒或预警的干预结果显示在界面上。经道路实测,报警准确率在97.7%以上,处理速度高于1/42 s/帧。系统对提高行驶安全性,降低偏离引起的交通事故有着实际的应用价值。

**关键词:**最大类间方差法;Fit Line 直线拟合;双参数预警;VBAI

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 460

## Study on prompting and alarming strategy of two-parameter vehicle driving deviation

Li Meng Han Bangguo

(Department of Mechatronics Engineering, Anhui Institute of Information Engineering, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of driving deviation measurement and intervention, the strategy of two-parameter deviation measurement and intervention is proposed. VBAI was used for image processing, and the optimal binarization segmentation threshold under different environments was automatically solved by using the maximum inter-class variance method. The gray acquisition Lines were designed to obtain the lane edge points, and the Fit Line algorithm was used to fit the edge points to complete the lane line recognition. According to the prediction model, two parameters of the relative deviation angle and the ratio of pixel distance were analyzed, and the different intervention results of prompting or alarming were displayed on the interface. Measured by the road, the alarm accuracy was over 97.7%, and the processing speed was higher than 1/42 s/frames. The system has practical application value to improve driving safety and reduce traffic accidents caused by deviation.

**Keywords:** Maximum inter-class variance method; Fit Line fitting; double-parameter warning; VBAI

## 0 引言

随着汽车工业的发展,全球各国汽车保有量在逐年增高,与此同时带来的交通事故也越来越多。根据美国死亡率分析报告系统的数据库显示,从2014~2016年由车道偏离造成的恶性碰撞事故占所有碰撞事故的比率由15%上升到了36%<sup>[1]</sup>。若能够在车辆行驶过程中,检测出驾驶员非主动变道行为而仍存在的行车偏离情况,根据具体偏离情况进行分析与判断,对存在安全隐患的状态进行预警,通过声音或者图片形式给驾驶提示,敦促驾

驶员对车辆行驶进行调整,可以提高车辆的主动安全性,减少因车道偏离的事故发生<sup>[2]</sup>。

目前国内、外学者对车道线偏离预警的研究已经取得相对成熟的研究成果。AURORA系统<sup>[3]</sup>利用俯视镜头采集车道线两侧标记,通过数字转换器传输给Sun Space工作站,分析车辆当前位置进行预警,但是系统对硬件要求较高,且传输实时性受图像处理速度影响较大。Mobileye AWS系统<sup>[4]</sup>通过朝向前方的相机安装在后视镜附近,对前方道路、车辆、相对速度、车道线位置进行监测。物理量测量准确度高、实时性强,但功能较为单一,没有在此基础上设计有效的预警机制。付利军等<sup>[5]</sup>提出

收稿日期: 2020-03-04      Received Date: 2020-03-04

\* 基金项目:安徽省高校优秀青年人才支持计划(gxyq2019053)资助项目



一种边缘信息耦合的 Hough 变换车道线检测方法,将边缘像素最多的行作为兴趣区域的分界线,通过特定的梯度方向区域设置,在环境光照不均匀的道路情形下车道线识别率在 96.58% 以上,图片处理平均速度为 40.90 ms/帧,但该方法有效完成车道线识别后,未进一步根据识别结果,对行驶偏离进行预测。高峰等<sup>[6]</sup>提出基于 NI EVS 和 PXI 的机器视觉驾驶辅助系统,利用 VDM 编程快速实现识别功能,在 CarMaker 虚拟现实软件中构建出真实有效的测试场景,实现在仿真环境中的车道线识别与偏离预警。系统利用 PXI 采集卡与虚拟驾驶舱测试平台来实现,通过 demo 进行仿真设计,在不同路况下得到处理结果,虽不能利用平台展开实际道路试验,但对算法实过程有一定指导意义。于兵等<sup>[7]</sup>提出通过综合道路图像中两条车道线的斜率值来判断车辆偏离的程度,实验表明系统具有较好的车道识别能力,能够满足在公路环境中车道报警的要求。但系统输出只是判断了是否达到设定的偏离阈值,对偏离严重的情况没有进一步干预动作,无法有效实现辅助驾驶。彭湃等<sup>[8]</sup>提出采用 Kalman 滤波器建立兴趣区域,用最小二乘法对兴趣区域内的车道线进行拟合,得到车道线最优预测值,通过建立数学模型,在 MATLAB 中仿真出处理效果。车道线识别与偏离检测的平均准确率达到 93% 以上,图片处理速度 42 ms/帧以上,该方法针对离线图片或已拍摄的视频文件进行处理,无法在线采集与分析,需进一步优化。关闯等<sup>[9]</sup>提出一种车道线小时点的单目视觉车辆测距方法,利用概率 Hough 变换提取结构化道路车道线方程参数,求解车道远方消失点像素坐标值,实验表明测量距离误差不超过 10%,但未实现有效的偏离预警。段建民等<sup>[10]</sup>提出一种改进图像统计(SIS)阈值的车道线识别算法,利用兴趣区域确定车道线的相对位置,单车道的识别准确率达到 96.40%。蔡英凤等<sup>[11]</sup>提出计算兴趣区域灰度各向结构张量的旋度,选择变化趋势最大的像素点作为特征点,筛选后利用 Hough 变换拟合,识别准确率达到 94.72% 以上,仍未基于识别出的车道线设计后续的预警机制。杜恩宇等<sup>[12]</sup>提出一种基于 Gabor 滤波器的车道线检测方法,借助同心圆环近似技术设计,利用滤波器对不同方向计算,通过亚像素线性插值获得边缘点,借助 Hough 变换检测边缘直线,该方法在环境变换复杂的情况下容易误判,存在一定的识别误差。徐国晟等<sup>[13]</sup>提出利用可变卷积神经网络对复杂环境进行数据集训练,利用卷积、池化等操作运算,获得不同环境下的车道线识别结果,但在车道线出现不连续、破损时其边缘检测容易产生误差。Fang 等<sup>[14]</sup>提出新的矢量模糊联通度方法来检测与识别车道线边界,对预处理的图像计算出左、右车道线边界的曲率,利用矢量模糊联通度方法求出控制点,最后引入插值方法构建道路车道边界。该方法有良好的连

续性,对曲线的识别效果很好,但对于有棱角的边,车道线检测精度不够理想。王杰等<sup>[15]</sup>提出一种基于双边滤波的图像增强算法,改善弱光条件下获取原始图像,凸显车道线的特征。算法利用 MATLAB R2015b 仿真后,在凌晨与傍晚光线较弱时识别率为 92.5%,但该算法仍然没有提供有效的干预手段进行偏离预警。吴一全等<sup>[16]</sup>在车道线检测方法研究进展中针对环境适应性、模型复杂性、车道情况任意性、多帧信息准确性、处理速度、数据集训练量以及系统运行实时性等多维度对不同检测方向进行比较,可以总结出,自动驾驶技术中的车道偏离报警系统(lane departure warning system, LDWS)随着计算机视觉技术的快速发展,借助不同的实现原理,通过不同的平台及算法模型已广泛地应用于偏离报警系统。LDWS 系统的主要包括两部分组成,车道线的检测与车道偏离报警干预。车道线识别算法根据原理主要可以分为 3 类,1)基于路面颜色、纹理等特征进行识别,该方法在结构化路面及光照条件良好的状态下拥有很高的识别效果;2)是利用道路模型的直线、样条曲线、双曲线等进行拟合描述来实现车道线检测,这类方法的环境适应性强,对曲线与直线都适用,但算法复杂;3)为利用机器学习,通过对不同场景数据集的训练,利用模型学习与结果预测,实现车道线系数的回归求解,算法较为复杂,对数据集的覆盖面要求较高,同时对处理硬件要求较高,一般需要 GPU 而不是 CPU,运算量大且较难实现在线处理。

基于此,本文提出一种基于灰度采集与拟合的快速车道线识别算法,能够在图像处理硬件条件一般的条件下仍准确、高速地完成车道线的检测与识别过程。在此基础上构建车辆行驶偏离的预警机制,通过计算相对航偏角与相对车道像素距离比两个参数值,获得行驶偏离的实时状态。借助双参数预警干预策略,对行驶偏离的不同程度进行不同等级的划分,在输出界面上得到不同状态的提示窗,产生提醒与干预预警的不同效果,为车辆在高速行驶下的偏离严重可能产生的安全事故争取宝贵的反应时间。利用 VBAI(NI vision builder AI)平台,完成对图像的处理与数据输出,最终实现车道线的在线识别与偏离预警响应。

## 1 车道线识别预警系统设计

本文车辆行驶偏离预警系统由图像采集与预处理、车道线识别、偏离预警 3 部分组成。系统整体流程如图 1 所示。

本文借助 VBAI 搭建车道线的识别模型,通过图像预处理模块对实时采集的道路 RGB 图像进行灰度化、滤波,获得低噪、高质图像。车道线的识别利用最大类间方差法对不同环境状态中的灰度图进行阈值分割,获得最

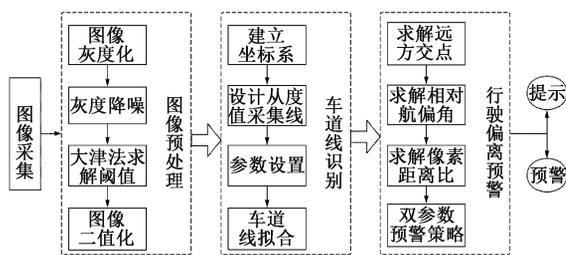


图1 系统框图

Fig. 1 The system block diagram

佳分割效果,增强了不同环境下的适应性与鲁棒性。对分割后的二值化图像进一步处理,获得左、右车道线的拟合线,以坐标原点为中心,设计向外辐射的多条灰色采集线,穿过车道线时,灰度值变换剧烈,超过设定阈值时记为车道边缘点,借助 Fit Line 算法对边缘点进行拟合,完成对车道线的识别。利用构建的预警策略对相对航偏角度值与像素距离比进行分析与判断,获得车辆偏离的实时数据,针对不同的偏离程度,产生不同的干预动作。利用双参数的测量提高了行驶偏离测量与判断的准确率,通过不同的干预动作也更大程度地降低安全事故隐患。

## 2 图像预处理

### 2.1 图像灰度化

利用车载相机完成对路面信息的实时采集,图像为彩色 RGB 图像,直接用于预处理与车道线识别检测会增加算法运行时间,影响处理速度。基于此,对原始彩色图像进行灰度化处理与降噪后的处理结果如图 2 所示。



(a) 原图 (a) Original image (b) 灰度与降噪结果 (b) Grayscale & noise reduction results

图2 图像灰度化与降噪

Fig. 2 Image graying and noise reduction

### 2.2 基于大津法的图像分割阈值计算

获得的车道线灰度图像在不同的像素点处其灰度值不同,为了更为准确地根据不同环境背景的采集图片计算出理想的分割阈值,本文采用大津法也称最大类间方差法,自动计算出分割目标与背景的最优阈值,极大提高算法的环境适应力。基本模型思路为图像中的像素按其灰度值特性可以分为背景与目标两类,若两类间的方差越大,则构成图像的两部分差别就越大,当部分目标像素被

错分到背景或者背景像素被错分为目标时,均将会导致类间方差减小。基于此,若计算出灰度值使得目标与背景的两类方差最大,则该灰度值即为理想分割阈值<sup>[17]</sup>。

假设被采集的图像被灰度值  $k$  分为  $A$ 、 $B$  两部分,出现的概率分别为  $P(A)$  和  $P(B)$ ,根据统计理论可知,两类的类间方差  $\sigma_B^2$  和类内方差  $\sigma_T^2$  为:

$$\sigma_B^2 = P(A)(\mu_0 - \mu_T)^2 + P(B)(\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (1)$$

$$\sigma_W^2 = P(A)\sigma_0^2 + P(B)\sigma_1^2 \quad (2)$$

式中:  $\mu_T$ 、 $\mu_0$  与  $\mu_1$  分别为整幅图像和  $A$ 、 $B$  两个类的灰度统计平均值;  $\sigma_0$  和  $\sigma_1$  分别为  $A$ 、 $B$  两个类各自的类内方差。若图像中有  $N$  个灰度级,根据直方图可知,灰度级  $i$  的像素点的个数为  $h(i)$ ,则各灰度级的概率可表示为:

$$P_i = h(i) / \sum_{i=0}^{N-1} h(i) \geq 0, \text{ 且 } \sum_{i=1}^{N-1} P_i = 1 \quad (3)$$

则  $A$ 、 $B$  两个类概率二者之和为 1,表示如下:

$$P(A) = \sum_{i=0}^k \bar{P}_i, P(B) = \sum_{i=k+1}^{N-1} \bar{P}_i \quad (4)$$

令  $P(A) = \omega(k)$ ,则相应的均值与方差统计值分别为:

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^k iP(i|A) = \sum_{i=0}^k i \frac{P_i}{\omega(k)} = \frac{\mu(k)}{\omega(k)} \quad (5)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^{N-1} iP(i|B) = \sum_{i=k+1}^{N-1} i \frac{P_i}{1 - \omega(k)} = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)} \quad (6)$$

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{N-1} iP_i, \mu(k) = \sum_{i=0}^k iP_i \quad (7)$$

$$\sigma_0 = \sum_{i=0}^k (i - \mu_0)^2 P(i|A) = \sum_{i=0}^k (i - \mu_0)^2 \frac{P_i}{\omega(k)} \quad (8)$$

$$\sigma_1 = \sum_{i=k+1}^{N-1} (i - \mu_1)^2 P(i|B) = \sum_{i=k+1}^{N-1} (i - \mu_1)^2 \frac{P_i}{1 - \omega(k)} \quad (9)$$

式中:  $P(i|A)$  和  $P(i|B)$  为两类中灰度出现的条件概率。整幅图像的统计方差  $\sigma_T^2$  为:

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (i - \mu_T)^2 P_i, P(A) + P(B) = 1 \quad (10)$$

因此两类的类间方差  $\sigma_B^2$  和类内方差  $\sigma_W^2$  可以进一步表示为:

$$\sigma_B^2 = \omega(k)(\mu_0 - \mu_T)^2 + [1 - \omega(k)](\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (11)$$

$$\sigma_W^2 = \omega(k)\sigma_0^2 + [1 - \omega(k)]\sigma_1^2 \quad (12)$$

由于  $A$ 、 $B$  两类的类内方差和类间方差之和即为整幅图像的方差,而  $\sigma_T^2$  与阈值  $k$  无关,因此当  $\sigma_B^2$  最大时,  $\sigma_W^2$  则一定取到最小值。即类间方差最大与类内方差最小。

根据判别式分析理论可知,类的分离性可由式(13)计算出。



$$\lambda = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2}, k = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2}, \eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \quad (13)$$

根据式(13),可选择 $\eta$ 作为分类分离性的度量标准。当图像灰度中搜索到阈值 $k^*$ ,使得类间方差 $\sigma_B^2$ 最大,则该阈值即为最优分割阈值,即:

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{0 \leq k \leq N} \sigma_B^2(k) = \max_{0 \leq k \leq N} \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (14)$$

由于车辆行驶过程中周围环境变化的实时性与复杂性,本文采用最大类间方差法对实时变换的道路环境单帧图像进行处理与运算,获得不同环境所对应的最佳阈值点,在此基础上进行二值化分割,为后续的车道线边缘点的识别与车道直线的拟合提供高质、优化的二值化图像处理结果。

### 3 车道线识别与预警

#### 3.1 近视场车道线识别

本文车道线的识别是通过对灰度变化边缘点进行直线拟合完成。识别算法对上步骤中得到的二值化图像进行灰度值度量,提取出灰度值变换的边缘点,采用 Fit Line 直线拟合算法对所有离散边缘点进行拟合,通过拟合成绩 LFS 对去除外围远点后直线的拟合精度进行评价,获得最优拟合直线<sup>[18]</sup>。

系统以图像坐标原点为中心,设计多条方向向外辐射的灰度采集线,计算采集线上所有的灰度值,对每个像素点以其为模板中心进行模板运算,获得图像中的孤立点与其邻域内像素点灰度值差异:

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{bmatrix} \cdot P = \sum_{i=1}^9 w_i P_i = w_1 P_1 + w_2 P_2 + \dots + w_9 P_9 \quad (15)$$

当结果高于门限阈值时,说明该孤立点邻域的灰度值有较大差异,将根据阈值 $T$ 来认定是否为边缘点。

$$|P| = \left| \sum_{i=1}^9 w_i P_i \right| \geq T \quad (16)$$

在理想阈值 $T$ 的基础上设定裕量(hysteresis),当搜索到大于等于“理想阈值量与裕量之和”的像素点时,定义为上边缘点,当寻找到小于等于“理想阈值量减去裕量”时,该点记为下边缘点。尽可能减小噪声干扰,提高边缘点分辨的精度<sup>[19]</sup>。

对检测到的所有离散边缘点进行 Fit Line 直线拟合优化算法处理。计算所有子集的像素点到直线的平均平方距离值。平均平方距离值(MSD)用于衡量拟合的直线质量,是数据集中所有像素点到拟合直线之间距离平方的平均值。MSD 数值越小,拟合直线越好。

算法不断去除最远外围点后拟合的直线,通过计算直线拟合成绩(line fit iteration, LSF)求解精度最高的直线。

$$LFS = \left(1 - \frac{MSD}{PR^2}\right) \times 1000 \quad (17)$$

其中, $PR^2$ 为像素半径,像素点越靠近拟合线,MSD 值越小,LFS 值越大。当拟合直线的成绩达到要求分数时,则返回最佳拟合直线<sup>[20]</sup>。

根据本文采集图像(尺寸为 2 736×3 648)与相机所在位置构建图像处理坐标系,以相机中心为坐标原点,构造多条向外辐射、角度不同的灰度值采集线。当灰度值采集线穿过或与车道线形成交点时,灰度值将产生较大变化,当超过设定的灰度阈值时,记为边缘点。图 3 所示为不同的灰度采集线穿过右侧车道线时,识别到的车道线内、外侧的边缘点。

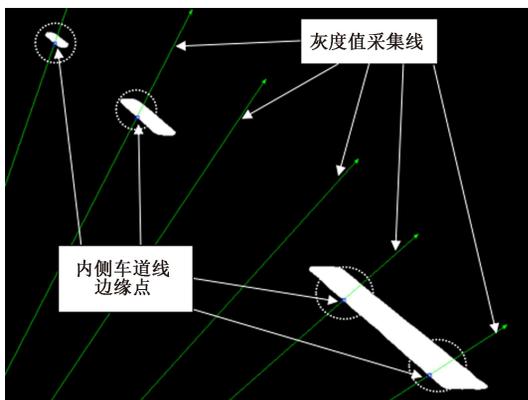


图 3 车道线边缘点

Fig. 3 Lane line edge points

针对识别得到的内侧边缘点,采用 Fit Line 直线拟合优化算法完成直线拟合。当 LFS 值最大时,返回得到最佳拟合直线,即识别出车道线内侧线,如图 4 所示为左、右两侧车道线内侧线识别效果。

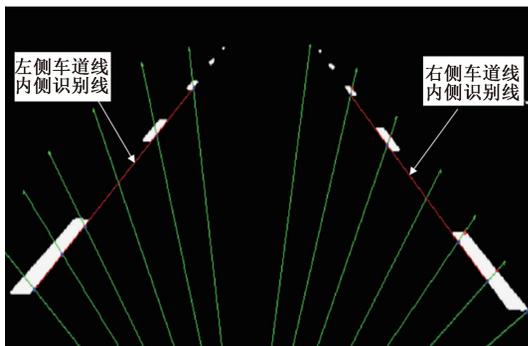


图 4 车道拟合线

Fig. 4 Lane fitting lines

#### 3.2 行驶偏离预警

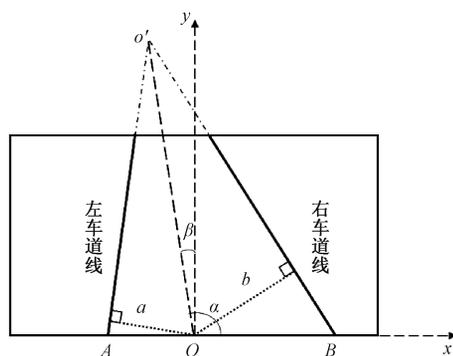
偏离预警系统建立在准确、有效的车道线识别基础



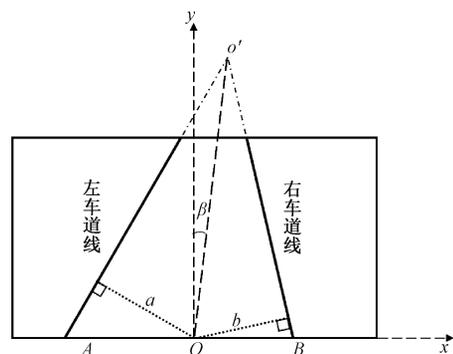
上实现。车辆行驶发生偏离时,一种为驾驶员意识偏离,主动变道或超车,此时需要开启转向灯。当未打开转向灯仍然产生的偏离行为为无意识偏离,当达到报警阈值,预警驾驶员注意安全驾驶。若驾驶员本身有变道意图,也将根据提示开启转向灯,提醒驾驶员遵守交通规则。本文借助构建的预警策略对相对航偏角与像素距离比两个参数进行综合分析,根据行驶偏离程度进行划分,当偏离严重时进行系统干预预警,当未达到偏离严重但进一步偏离存在安全隐患时,进行系统干预提示,并将不同的结果显示在输出界面上,达到预警效果。

### 1) 相对航偏角

相对航偏角是车辆行驶中衡量偏离车道中心线的一个重要指标,通过两侧车道线远方消失交点偏离光轴  $y$  轴的程度进行衡量。如图 5 所示,  $x$  轴为车辆的横轴,  $y$  轴为车辆纵向中轴线,也是相机的光轴。左、右车道线透视后的远方消失点记为  $o'$ , 车辆行驶偏离时,远方消失点离开相机光轴,行驶偏离的程度越大,相对航偏角度值越大。本文以坐标原点  $O$  为中心,以光轴  $y$  轴转至消失点的角度值记为相对航偏角(逆时针为正)。图 5(a)、(b)所示分别为车辆行驶左与右偏的示意图。



(a) 行驶左偏模型示意图  
(a) Schematic diagram of driving left skew model



(b) 行驶右偏模型示意图  
(b) Schematic diagram of driving right skew model

图 5 行驶偏离模型

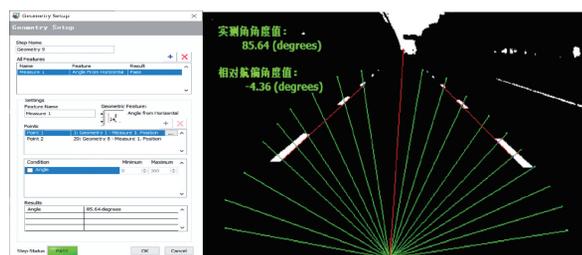
Fig. 5 Travel deviation model

角为正值,随着行驶偏离的加剧而增大。当车辆行驶右偏时,相对航偏角为负值,随着行驶偏离的加剧而减小。当超过设定阈值时,则进行预警,数学关系如式(18)所示。

$$\begin{cases} \beta \geq \beta_1 \\ \beta_2 < \beta < \beta_1 \\ \beta \leq \beta_2 \end{cases} \quad (18)$$

其中,  $\beta_1$  为左偏阈值,  $\beta_2$  为右偏阈值。由上述关系可得,当车辆行驶过程中实测相对航偏角  $\beta$  超过设定阈值  $\beta_1$  时,车辆行驶左偏严重,进行左偏预警。当实测相对航偏角  $\beta$  小于设定阈值  $\beta_2$  (为负数)时,车辆行驶右偏严重,进入右偏预警。当相对航偏角  $\beta$  处于两阈值之间时,将借助像素距离比的参数分析结果,作进一步偏离判断。

针对车道线拟合后的处理结果,计算出远方消失交点  $o'$  与  $x$  轴正方向的夹角角度值  $\alpha$ , 结果为  $85.64^\circ$ 。根据 5(a) 角度关系,求解出相对航偏角值,将角度实测值与航偏角结果显示在输出界面上,如图 6(b) 所示。



(a) 实测角度值  
(a) Measured angle values

(b) 输出结果界面  
(b) Output result interface

图 6 相对航偏角输出结果

Fig. 6 Relative deviation angle output

### 2) 像素距离比

为了提高车辆偏离测量的准确性,在相对航偏角测量的基础上,求解像素距离比。具体模型构建如下:

车辆行驶发生偏离时,坐标原点到两侧车道线的实际距离将不相等。图 5(a) 中,车辆行驶左偏,坐标原点到右侧车道线的实际距离  $b$  大于到左侧车道线的实际距离,随着行驶偏离的加剧,原点到两侧车道线的距离值差距也随之增大。基于此,提出利用原点到两侧车道线的距离比值  $\lambda = \frac{b}{a}$ , 作为进一步判断车辆行驶偏离的依据。

由于实际距离以米/m 为单位,而拍摄图像中的距离为像素距离。根据像素当量的标定原则可知,实际物理距离与像素距离在同一图像中的比值为定值。因此,相机原点到两车道线实际距离比  $\lambda = \frac{b}{a}$  与拍摄图像中坐标原点到两车道线的像素距离比  $\lambda' = \frac{b'}{a'}$  数值相等。通过像素距离比  $\lambda' = \frac{b'}{a'}$  的计算结果,作为判断车辆偏离提醒

根据以上偏离示意图,当车辆行驶左偏时,相对航偏



与预警的依据。其数学关系表达式如式(19)所示。

$$\begin{cases} \lambda' = \frac{b'}{a'} \\ \lambda' \geq T_{\text{左alarm}} \\ T_{\text{左prompt}} \leq \lambda' < T_{\text{左alarm}} \\ \lambda' \leq T_{\text{右alarm}} \\ T_{\text{右alarm}} < \lambda' \leq T_{\text{右prompt}} \end{cases} \quad (19)$$

式中:  $T_{\text{左prompt}}$  为车辆行驶左偏提示阈值;  $T_{\text{左alarm}}$  为车辆行驶左偏预警阈值;  $T_{\text{右prompt}}$  为车辆行驶右偏提示阈值;  $T_{\text{右alarm}}$  为车辆行驶右偏预警阈值。

当像素距离比超出左、右偏离预警阈值时,系统进行报警干预,界面输出红色报警界面。为了让驾驶员能够安全与规范驾驶,特别是在高速行驶过程中能够争取更有利的反应时间,系统设置左、右偏离提示阈值,像素距离比为达到预警阈值时,满足偏离提示条件是,系统输出粉色提醒窗,提示驾驶员注意行车安全,防止进一步的偏离加剧。当像素距离比处于左、右偏离提示阈值范围内,即  $T_{\text{右prompt}} < \lambda' < T_{\text{左prompt}}$  时,偏离符合安全要求,界面输出为绿色提示窗口,显示行驶正常。该改进的双参数车辆偏离预警策略如图 7 所示。

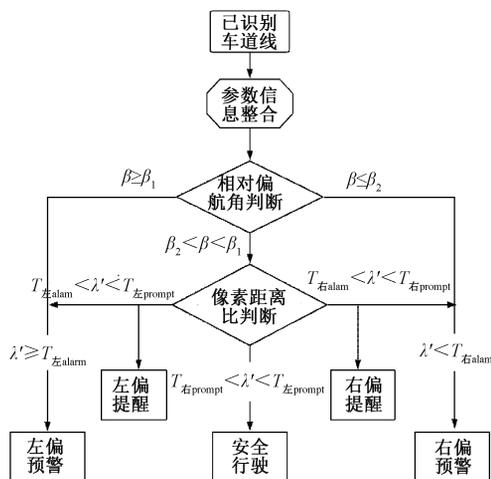


图 7 预警策略示意图

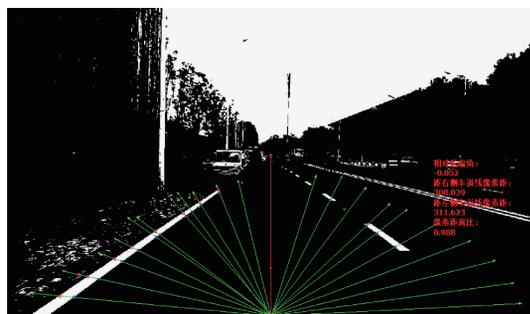
Fig. 7 Schematic diagram of warning strategy

## 4 实验与分析

为了验证本文车道线识别与改进预警算法的准确性与可靠性,进行实际的道路实验。选择在芜湖市弋江区大工山路、吴霞山东路、九华南路与花津南路路段,实验车辆为大众新款捷达。计算机平台为 Intel i5 CPU, 3.2 GHz, 4 GB 内存, Windows 10 32 位系统。视觉采集硬件选择相机(大恒 HV1300FM 1394 彩色), 镜头(3Mega

Pixel 5~55 mm, F1.4 IR), 安装在前挡风玻璃车辆纵向中轴线处。根据中国道路标准,城市道路中机动车道宽度为 3.5~3.75 m。新款捷达车尺寸(4 487 mm × 1 706 mm × 1 470 mm)可知,车辆宽度为 1.706 m,半宽为 0.853 m。

进行多组对照实验之前,首先进行道路的中间线标定,相机光轴处于两车道中心线时,测得相对航偏角度值为 90.052°, 测量误差为 -0.052°。实测像素距离比为 0.988, 误差值为 0.002。系统具有较高的识别精度与准确率,结果如图 8(a)所示。在此基础上设计多组对比实验,以车辆外轮廓左边界到左车道线、外轮廓右边界到右车道线的距离值为变量,每增加 0.01 m 为步进距离,记录实测的相对航偏角与像素距离比的变化关系,左、右车道线对比实验如图 8(b)所示。



(a) 道路中线标定结果

(a) Road centerline calibration results



(b) 步进0.01m距离左、右车道线对比实验

(b) Contrast experiment of left and right lane line with step 0.01m distance

图 8 标定与对比试验

Fig. 8 Calibration and contrast test

根据搭建的车道线识别与偏离预警系统,对不同步进距离的参加进行测量,包括相对航偏角度值、坐标原点分别到右、左车道线的像素距离值以及像素距离比值四个参数,将结果显示在输出界面上。根据车辆偏离情况,在保证安全行驶基础上设置左、右预警与提醒阈值。以车辆外轮廓边界到相应一侧车道线距离为 30 cm 为预警距离,安全因子缩放后,得到相对航偏角阈值为  $\beta_1 = 14^\circ$ ,  $\beta_2 = -14^\circ$ 。系统处于偏离预警时,其像素距离比阈值为



$$T_{\text{左alarm}} = 1.53, T_{\text{右alarm}} = 0.64。$$

当相对航偏角实测值  $\beta \geq \beta_1$  或  $\beta \leq \beta_2$  时,系统直接预警。当相对航偏角在阈值内,即  $\beta_2 < \beta < \beta_1$  时,将根据像素距离比进一步对偏离情况进行判断。当像素距离比  $\lambda' \geq T_{\text{左alarm}}$  或  $\lambda' \leq T_{\text{右alarm}}$  时,系统进行预警,输出红色报警界面。以车道线外轮廓边界到对应一侧车道线距离为 45 cm 为提醒距离,其阈值为  $T_{\text{左prompt}} = 1.38, T_{\text{右prompt}} = 0.72$ 。当像素距离比满足  $T_{\text{左prompt}} < \lambda' < T_{\text{左alarm}}$  或  $T_{\text{右alarm}} < \lambda' < T_{\text{右prompt}}$  时,系统进行提醒,输出粉色提示窗,提醒驾驶员注意安全与规范驾驶。当车辆行驶的像素距离比处于两提醒阈值内  $T_{\text{右prompt}} < \lambda' < T_{\text{左prompt}}$  时,车辆处于安全偏离范围,输出绿色提示窗,显示行驶正常。

通过道路试验,系统获得相对航偏角与像素距离比测量结果,并进行误差值统计。数据如表 1 所示。图片处理速度与文献算法比较,结果如表 2 所示。

表 1 行驶偏离参数与误差统计

Table 1 Driving deviation parameters and error statistics

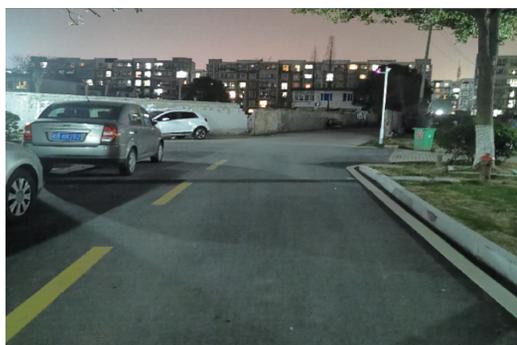
序号	相对航偏角/(°)	相对航偏角偏差值/(°)	像素距离比	与实际道路距离比偏差值
1	-2.92	0.054	0.93	0.005
2	-8.36	0.048	0.74	0.002
3	-11.22	0.042	0.66	-0.003
4	-17.80	0.046	0.62	0.002
5	4.14	0.044	1.13	-0.002
6	6.85	0.046	1.27	0.003
7	8.87	0.047	1.33	0.004
8	13.83	0.055	1.52	-0.003

表 2 图像处理速度比较

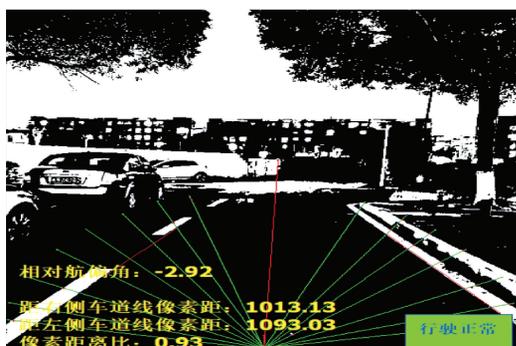
Table 2 Comparison of Image Processing Speed

算法	图片分辨率/ppi	每秒平均处理帧数/fps
文献[5]	1 280×720	40.90
文献[8]	1 280×720	42.00
本文	2 736×3 648	42.75

根据不同的拍摄环境,展开大量路上实验,部分图像处理预警输出结果如图 9 所示。



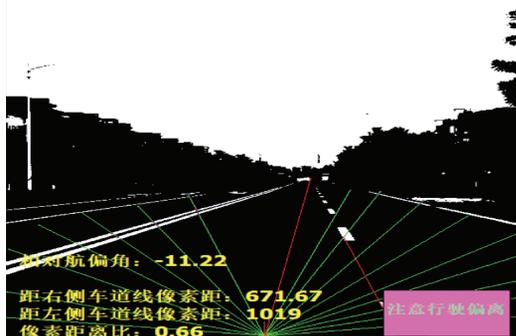
(a) 夜晚环境原图  
(a) Original night environment



(b) 夜晚环图图像境处理结果  
(b) Night - round image processing results



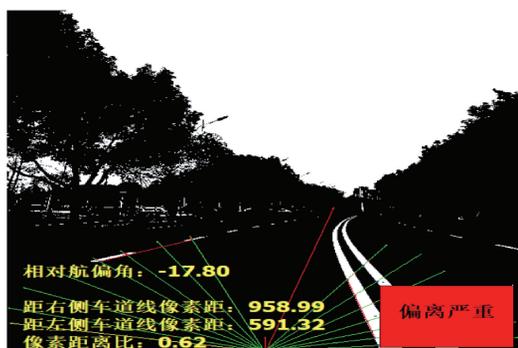
(c) 行驶偏离原图  
(c) Deviating original image



(d) 行驶偏离处理结果  
(d) Driving deviation handling results



(e) 弯道行驶原图  
(e) Original drawing of curve driving



(f) 弯道行驶处理结果  
(f) Curve driving results

图 9 道路实验

Fig. 9 Road Experiment

本文借助天津法自动求解最优图像分割阈值,通过 Fit Line 拟合算法快速识别出车道线内侧线。对不同环境路况进行大量实验,获得车道线识别准确率与文献[10-11]的对比结果,统计如表 3 所示,当灰度采集线设置为 22 时,车道线识别准确率达到 97.74%。

表 3 车道线识别准确率比较

Table 3 Comparison of lane line recognition accuracy

道路路况	帧数/ fps	准确率/%			
		本文采集 线=16	本文采 集线=22	文献[10]	文献[11]
晴天结构化道路	12 302	99.12	99.98	98.42	99.18
雨雾天气	11 325	97.93	98.67	96.56	97.19
车道路面遮挡	11 368	94.32	95.78	94.32	94.72
大曲率道路	11 382	95.74	96.53	96.40	97.62
平均准确率/%		96.778	97.740	96.425	97.178

## 5 结 论

车道线识别与偏离预警系统自研究以来,出现很多方法。基于不同的实现原理、借助不同的处理硬件、采用不同的软件建模等,其目的都是使得车道线的识别与行驶偏离的测量准确度、环境适应性在一定的硬件成本下得到较大提高,更好地应用于车道偏离报警系统。

1) 针对传统算法实现相对复杂,有些对硬件的要求也较高,本文提出一种新的识别方法,简化了算法难度,同时提高了车道线识别准确率。

2) 针对传统车道偏离预警系统的单参数预警模型,本文采用相对航偏角与像素距离比的双参数测量结果进行综合分析,更为准确地判断车辆行驶偏离的实时情况,以提示与预警的不同结果输出在界面上,进一步提高了驾驶的安全性,在偏离引起的交通事故中有着实际的应用价值。

## 参考文献

[1] STAUBACH M. Factors correlated with traffic accidents

as a basis for evaluating advanced driver assistance systems[J]. Accident: Analysis and Prevention, 2009, 41(5): 1025-1033.

[2] KUSANO K D, GABLER H C. Comprehensive target populations for current active safety systems using National crash databases[J]. Traffic Injury Prevention, 2014, 15(7): 753-761.

[3] CHENG C, ZONGXIN W. Design of a system for safe driving based on the Internet of vehicles and the fusion of multi-aspects information[C]. International Conference on Computational Intel, 2013: 692-696.

[4] SCANLON J M, KUSANO K D. Potential safety benefits of lane departure warning and prevention systems in the U. S. vehicle fleet[J]. Physical C Superconductivity, 2015, 210(3): 401-407.

[5] 付利军, 兰方鹏. 边缘信息耦合改进的 Hough 变换的车道线实时检测算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(8): 166-172.

FU L J, LAN F P. Edge information coupling improved Hough transform for lane line real-time detection algorithm[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2019, 33(8): 166-172.

[6] 高锋, 黄赛赛, 李希鹏. 基于 NI EVS 和 PXI 的机器视觉驾驶辅助系统开发技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(2): 30-34.

GAO F, HUANG S S, LI X P. Research on the development technology of machine vision driving aid system based on NIEVS and PXI[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016, 35(2): 30-34.

[7] 于兵, 张为公, 龚宗洋. 基于机器视觉的车道偏离报警系统[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2009, 39(5): 928-932.

YU B, ZHANG W G, GONG Z Y. Lane departure warning system based on machine vision[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2009, 39(5): 928-932.

[8] 彭湃, 王耀南, 凌志刚, 等. 一种适用于城市道路检测及偏离报警的方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 685-691.

PENG P, WANG Y N, LING ZH G, et al. A method suitable for urban road detection and deviation alarm[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(5): 685-691.

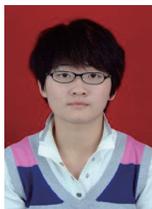
[9] 关闯, 魏朗, 乔洁, 等. 一种基于消隐点的单目视觉车辆测距方法[J]. 电子测量技术, 2018, 41(11): 83-87.

GUAN CH, WEI L, QIAO J, et al. A monocular vision vehicle ranging method based on blanking points[J]. Electronic Measurement Technology, 2018, 41(11):



- 83-87.
- [10] 段建民,张云飞,郑榜贵. 基于改进简单图像统计算法的车道线识别[J]. 计算机工程与设计,2018,39(3):842-847.  
DUAN J M, ZHANG Y F, ZHEN B G. Land line recognition based on improved simple image statistics algorithm [J]. Computer Engineering and Design,2018,39(3):842-847.
- [11] 蔡英凤,高力,孙晓强,等. 一种基于形态学特征的车道线识别方法[J]. 中国机械工程,2018,29(15):1863-1868.  
CAI F Y,GAO L,SUN X Q, et al. A lane line recognition method based on morphological features [J]. China Mechanical Engineering,2018,29(15):1863-1868.
- [12] 杜恩宇,张宇,李艳获. 基于Gabor滤波器的车道线快速检测方法[J]. 红外与激光工程,2018,47(8):314-321.  
DU E Y,ZHANG N,LI Y D. Fast detection method of lane line based on Gabor filter [J]. Infrared and Laser Engineering,2018,47(8):314-321.
- [13] 徐国晟,张伟伟,吴训成,等. 基于卷积神经网络的车道线语义分割算法[J]. 电子测量与仪器学报,2018,32(7):89-94.  
XU G SH,ZHANG W W,WU X CH, et al. Semantic segmentation algorithm of lane lines based on convolutional neural network [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2018,32(7):89-94.
- [14] FANG L L, WANG X H. Lane boundary detection algorithm based on vector fuzzy connectedness [J]. Cognitive Computation,2017,9(5):634-645.
- [15] 王杰,陈黎卿,黄莉莉,等. 基于Retinex的弱光条件下车道线识别方法[J]. 计算机与数字工程,2019,47(2):451-456.  
WANG J, CHEN L Q, HUANG L L, et al. Retinex recognition method for alighting line based on weak light condition [J]. Computer and Digital Engineering,2019,47(2):451-456.
- [16] 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,2019,40(12):92-109.  
WU Y Q, LIU L. Research progress of lane line detection method based on vision [J]. Journal of Chinese Instrumentation,2019,40(12):92-109.
- [17] 包丞啸,姜威,王玉潇. 基于大津法分割和局部最大梯度的自动聚焦算法[J]. 光学技术,2019,45(6):756-761.  
BAO CH X, JIANG W, WANG Y X. Automatic focusing algorithm based on Otsu segmentation and local maximum gradient [J]. Optical Technique,2019,45(6):756-761.
- [18] 宋岩,刘利民,韩壮志. 基于直线拟合比较斜率的机动起始点检测算法[J]. 探测与控制学报,2017,39(2):59-61.  
SONG Y, LIU L M, HAN ZH ZH. A mobile starting point detection algorithm based on linear fitting comparison slope [J]. Journal of Detection and Control,2017,39(2):59-61.
- [19] 姚宜斌,黄书华,孔建,等. 空间直线拟合的整体最小二乘算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(5):571-574.  
YAO Y B, HUANG SH H, KONG J, et al. Global least squares algorithm for spatial linear fitting [J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition),2014,39(5):571-574.
- [20] 朱冰,李伟男,赵健,等. 考虑驾驶人驾驶习性的自适应车道偏离预警策略[J]. 同济大学学报(自然科学版),2019,47(z1):171-177.  
ZHU B,LI W N,ZHAO J, et al. Adaptive lane deviation warning strategy considering driver's driving habits [J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition),2019,47(z1):171-177.

### 作者简介



**李梦**,2009年于安徽理工大学获得学士学位,2012年于安徽理工大学获得硕士学位,现为安徽信息工程学院讲师、中级工程师,主要研究方向为机器视觉测量与智能控制。

E-mail:mengli2@iflytek.com

**LI Meng** received her B. Sc. degree from Anhui University of Technology in 2009 and M. Sc. degree from Anhui University of Technology in 2012. Now she is a lecturer and intermediate engineer at Anhui Institute of Information Engineering. Her main research interests include machine vision measurement and intelligent control.