

# 基于改进概率霍夫变换的车道线快速检测方法

邱东, 翁蒙, 杨宏韬

(长春工业大学电气与电子工程学院, 吉林 长春 130012)

**摘要:** 车道线是行车安全的重要参考。为提高无人驾驶行车过程中车道线检测的准确性和实时性, 提出一种基于改进概率霍夫变换的车道线快速检测方法。首先对获取的图像进行感兴趣区域提取, 根据车道线颜色的特殊性, 合理选取三色通道的比值对图片进行灰度化, 为增强阈值处理的鲁棒性, 采用大津二值化法对灰度图像进行二值化, 由于 Canny 算子具有良好的定位边缘的能力, 本次边缘提取算子选取为 Canny。接着分别从车道线长度、角度、车体和车道宽度 4 个方面提出 4 点约束条件对该算法加以改进, 剔除干扰线和伪车道线, 最后通过线性回归法拟合出正确车道线。实验结果表明, 该算法在快速检测车道线的同时保证了检测的准确率, 并将实验结果与其他算法进行比较, 证明了该算法的实时性和准确性优于其他算法。

**关键词:** 车道线检测; 大津二值化法; 约束条件; 累计概率霍夫变换; 核回归模型

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2020)05-0043-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2020.05.009

## A Fast Lane Line Detection Method Based on Improved Probability Hough Transform

QIU Dong, WENG Meng, YANG Hong-tao

(School of Electrical and Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Lane line is an important reference for traffic safety. To improve the accuracy and timeliness of lane line detection in driverless driving, a fast lane line detection method based on improved probabilistic Hough transform is presented. Firstly, the region of interest is extracted from the acquired image, according to the particularity of lane line color, the ratio of three color channels is selected reasonably to conduct gray-scale of the picture. In order to enhance the robustness of threshold processing, Otsu's threshold algorithm is used to binarize the gray scale image. The Canny operator, which has a great ability to locate the edge, is chosen in this study. Then, the algorithm is improved by putting forward four-point constraint conditions from four aspects of lane line length, angle, vehicle body and lane width to eliminate interference lines and pseudo-lane lines. Finally, the correct lane line is fitted by linear regression method. The experiment shows that the proposed algorithm can detect lane quickly and ensure the accuracy of lane detection. Comparing the experimental results with other algorithms, it is proved that the real-time and accuracy of the proposed algorithm is better than other algorithms.

**Key words:** lane line detection; Otsu's threshold algorithm; constraints; progressive probability Hough transform; kernel regression model

## 0 引言

车道线检测技术是无人驾驶的核心技术, 其检测的正确与否直接决定了行车是否安全<sup>[1]</sup>。2018 年春晚, 百度 Apollo 平台在珠海分会场的港珠澳大桥上上演了无人车驾驶<sup>[2]</sup>, 体现了中国自动驾驶技术的日渐成熟。目前, 基于国内外发展现状, 车道线检测的算法可大致分为两种, 分别是基于特征<sup>[3]</sup>和基于模型<sup>[4]</sup>的

分割方法。Y. Su 等<sup>[5]</sup>于 2018 年提出了一种基于立体平台鲁棒消失点约束的车道检测方法, 该方法在不考虑任何车道模型参数的情况下, 对直线车道和曲线车道都能实现良好的检测。J. Liu 等<sup>[6]</sup>提出了一种有效、鲁棒的高速公路车道检测算法。它利用霍夫变换拟合道路俯视图的车道线, 对所有的车道线进行聚类后, 提取每个类别中最具代表性的车道线, 然后进行后

收稿日期: 2019-04-24

修回日期: 2019-09-08

网络出版时间: 2019-12-18

基金项目: 吉林省智能机器人与视觉测控技术工程实验室建设(2019C010); 吉林省省级产业创新专项资金项目(2019C010); 吉林省科技发展计划技术攻关项目(20190303099SF); 长春市科技计划项目(17DY032)

作者简介: 邱东(1969-), 男, 教授, 研究方向为机器视觉与图像处理; 通信作者: 杨宏韬(1982-), 男, 讲师, 研究方向为非线性滤波。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20191218.1112.032.html>

处理。W. X. Wei 等<sup>[7]</sup>利用改进的 Hough 变换法实现车道线检测,通过比较前后两帧车道线的斜率,在先前检测到的车道线区域附近进行区域限制,设置感兴趣区域(ROI)并且执行对角点像素的搜索,以便对角点部分进行重建。尤小泉等<sup>[8]</sup>采用分块变换与预测相结合的方法,在极大降低算法复杂度的同时能够对弯道处的车道线进行有效的检测,能有效地降低计算量,提高车道检测的实时性。

文中就实时性和准确率两个方面提出一种基于改进概率霍夫变换的车道线快速检测方法。该方法首先对图像进行感兴趣区域提取,再合理选取红、绿、蓝三色通道的比例对图像进行灰度化处理,并通过中值滤波法对图片进行滤波去噪;在采用 OTSU 算法进行阈值处理之后,通过 Canny 算子对车道线进行边缘提取;其次从车道线长度、车道线斜率、车体宽度以及车道宽度 4 个方面对累计概率霍夫变换法增加 4 条约束条件以提高检测的准确率和实时性;然后运用改进的累计概率霍夫变换法进行车道线的检测,消除干扰线和伪车道线;最后通过回归分析法拟合出正确的车道线。

## 1 图像预处理及边缘提取

车辆行驶时,处理图像是实时的,为减少冗余的计算量以保证快速地计算数据,就必须对原始图像进行预处理。图像预处理的主要目的就是剔除无关信息,增强有关信息的可检测性。文中的图像预处理工作有:感兴趣区域(ROI)的提取、图像灰度化、滤波去噪和阈值处理。

### 1.1 感兴趣区域提取

相机所拍摄的图片有很大一部分对车道线的提取不起作用,如:护栏,天空,路灯等,反而加大了工作量,对此,需对无用的信息加以剔除以保证图片处理的实时性。由于相机以一定的位姿固定在车上,考虑到实际情况,取图片高度的 1/2,即将下半区域作为研究区域。原图如图 1(a)所示,感兴趣区域如图 1(b)所示。

### 1.2 图像的灰度化和去噪

为提高图像的处理速度,需对原始的 RGB 图像做灰度化处理,即将彩色空间的图像转换为灰度图像。一般情形下,灰度化公式采取:

$$\text{Gray} = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.144 \times B \quad (1)$$

其中,  $R, G, B$  分别为红、绿、蓝三色通道的值,取值范围为  $[0, 255]$ 。但以上式灰度化的图像会丢失大量色彩信息,为增强道路标识信息,又考虑到车道线一般为白色(255, 255, 255)和黄色(255, 255, 0),故本次图像灰度化采取为:

$$\text{Gray} = 0.5 \times R + 0.5 \times B \quad (2)$$

灰度图如图 1(c)所示。

相机在拍取照片时,都会带有一定的噪声,而噪声对图像处理会造成很多负面影响,中值滤波可以消除孤立噪声并且可以很好地保持边缘信息。中值滤波的基本思想是:根据模板的大小,将板内所有像素点的灰度值进行排序,选取中间的灰度值来代替邻域各像素点的灰度值,可表示为:

$$g(x, y) = \text{med}\{f(x - k, y - l), (k, l \in W)\} \quad (3)$$

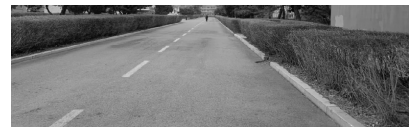
其中,  $g(x, y)$  为处理后的图像,  $f(x, y)$  为原图像,  $W$  为模板大小。本次模板选为  $3 \times 3$ 。



(a)原图



(b)车道感兴趣区域



(c)灰度化处理

图 1 预处理

### 1.3 阈值处理

灰度化处理及去噪之后需对图像进行阈值处理,将图像灰度值置为 0 或 255,经过归一化后即将灰度值置为 0 或 1。阈值处理后的图像不再涉及多级灰度值,使得处理变得简单。目前,阈值处理的方法可分为 3 种,分别是:全局阈值处理法、局部阈值处理法和自适应阈值处理法。全局阈值处理法(global threshold method)对每一幅图计算一个单一的阈值,将每个像素的灰度级与阈值作比较,若大于阈值,则为背景,若小于阈值,则为前景。局部阈值处理法(local threshold method)以像素的领域信息为基础来计算每个像素的阈值,若图像中一个像素的灰度级大于在该点阈值面的计算值,则将该像素点标记为背景,否则为前景。由于受光照、阴影等的影响,若对所有图像采用同一阈值进行图像二值化,会使图像处理变得不准确,甚至会过滤掉很多有用信息,因此,本次阈值处理采取自适应阈值算法—OTSU 算法来提高算法的鲁棒性<sup>[9-10]</sup>。OTSU 算法采用聚类的思想,将灰度值差异最大的两部分看作前景和背景,通过计算前景和背景的方差确定阈值的大小,可表示为:

$$G = W_0 \times (U_0 - U)^2 + W_1 \times (U_1 - U)^2 =$$

$$W_0 \times W_1 \times (U_0 - U_1)^2 \quad (4)$$

其中,  $U = W_0 \times U_0 + W_1 \times U_1$ 。 $W_0$  表示前景点数占图像总像素的比例,平均灰度为  $U_0$ ;  $W_1$  表示背景点数占图像总像素的比例,平均灰度为  $U_1$ 。当  $G$  取  $G_{\max}$  时,阈值  $T$  为最佳阈值,即  $T = W_0 \times U_0 + W_1 \times U_1$ 。天津二值化法处理结果如图 2(a) 所示。

### 1.4 边缘检测

常用于边缘检测的算子有 Sobel, Prewitt, Canny, Robert, Laplacian 等。Sobel 算子检测边缘的速度快,计算量小,由于引入了平均元素,因而对图像中的随机噪声有一定平滑作用,对灰度渐变低噪声的图像有较好的检测效果,但只能检测水平和垂直方向的边缘,对于纹理较为复杂的图像,边缘检测效果不理想。Robert 是一种利用局部差分算子寻找边缘的算子,定位比较精确,但由于不包括平滑,所以对于噪声比较敏感。Laplacian 算子获得的边界是比较细致的边界,反映的边界信息包括了许多的细节信息,但是所反映的边界不是太清晰。

由于 Canny 算子具有良好的抑制噪声和精确定位边缘的能力<sup>[11]</sup>,故本次边缘检测采用 Canny 算子。Canny 算子将图像与 Gauss 平滑滤波器进行卷积,得到信噪比(SNR)较高的图像,能起到很好地抑制噪声的效果;其次,通过卷积算子<sup>[12]</sup>:

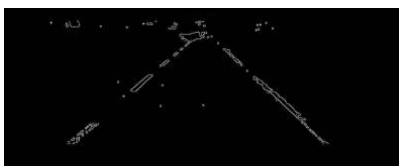
$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$S_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

求得  $x, y$  方向的一阶偏导数进而求出梯度的幅值和方位角;再通过非极大值抑制(NMS)保留幅值局部变化最大的点;最后采取双阈值进行边缘的检测和连接,通过高阈值得到的边缘图像,含有较少的虚假边缘,且边缘不可能实现闭合,若在断点的 8 邻域点中寻找满足的低阈值点,再根据收集新的边缘,就可实现图像边缘的闭合。边缘检测的结果如图 2(b) 所示。



(a) Otsu 算法阈值处理



(b) Canny 算子边缘检测

图 2 阈值处理及边缘检测

## 2 基于改进的累计概率霍夫变换车道线检测方法

### 2.1 对累计概率霍夫变换车道线检测算法添加约束条件

通过上述处理,已在很大程度上降低了图像处理的计算量,但如果用累计概率 Hough 变换法直接对图像进行车道线检测,由于受到临近车道线,护栏等影响,在提取本车道线时,在一定程度上降低了直线检测的准确性。因此,对基于累计概率 Hough 变换检测车道线法加以改进,通过车道模型进行分析,增加以下四个约束条件,模型如图 3 所示。

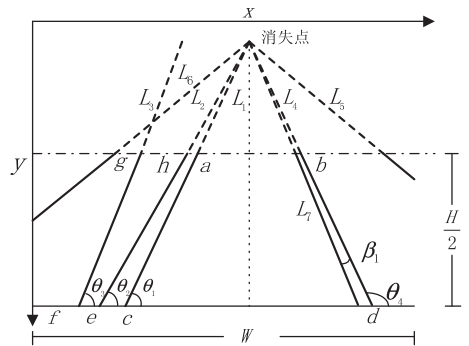


图 3 道路分析模型

(1) 对线段长度设定阈值。

在检测对向和同向车道分界线时,根据《道路交通标志和标线》规定,可跨越对向和同向行道分界线实线长不短于 2 m,间隔长不短于 4 m。由于相机固定在车上且通过逆透视变换标定完成,二者位姿不会发生改变,但受路面阴影、污迹以及路旁护栏等影响,会出现误检的情况。此时,对图像中检测的直线长度设定阈值,可有效删除干扰线,步骤为:通过逆透视变换获得鸟瞰图,根据图像中两像素点的距离与真实世界中两点距离的比例关系进行换算,若真实世界中直线的距离小于 1 m,就剔除该直线。

(2) 对左右车道线斜率设定阈值。

当车辆在本车道行驶时,左车道线斜率  $\theta_l = (0, \pi/2)$ ,右车道线斜率  $\theta_r = (\pi/2, \pi)$ ,则  $|\theta| = [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ 。由于车体本身有一定的宽度,且相机一般处于车体中央,结合实际情况,通过大量的实验验证,只对以下范围内的直线做检测:

$$\begin{cases} \theta_{\min} = \arctan \frac{H}{2W - W_c} \\ \theta_{\max} = \arctan \frac{3H}{W_c} \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $H$  表示图片的高度,  $W$  表示图片的宽度,  $W_c$  表示车体相对于图片的宽度。根据中国车道宽度标准(一般为 3.5 m)以及车辆宽度标准,结合实际情况,取  $W_c = \frac{4}{7}W$ 。

(3)以距离为条件筛除干扰线。

以车道线之间的宽度为前提,设定阈值,筛除干扰线。在图 3 中,计算所有直线与  $y = \frac{H}{2}$  的交点,根据实际情况与实验探究,设定距离阈值  $T = W/8$ ,若两直线之间的距离小于  $T$ ,则至少有一条直线为伪车道线。当确定一条候选线时,计算其余所有交点到该交点的距离,若小于  $T$ ,则剔除不符合条件的直线。对于图 3 模型,线段  $L_1, L_4$  为想得到的车道线,经计算可得点  $a, h$  之间的距离  $l_{ab} < W/8$ ,即可剔除线段  $L_2$ 。

(4)以角度为条件筛选伪车道线。

由于车道宽度是固定的,经过多次试验可知,在图像中单个车道的左右车线的角度不会小于  $12^\circ$ ,当确定一条候选线时,计算与两侧车道方向所有直线与候选线的夹角,若有与之夹角小于  $12^\circ$  的直线就剔除。为验证所选取角度的合理性,文中做了大量实验,选取 3 623 帧图片进行分析,在已知正确车道的前提下,基于消失点约束,计算每个车道左右两条线的夹角,表 1 为实验结果,表示能检测到的车道最小夹角和图片帧数占比情况。对于图 3 中的模型,若直线  $L_4$  为车道线,可计算所有直线与  $L_4$  的夹角,以  $L_4, L_7$  的夹角  $\beta_1$  为例,若  $\beta_1 < 12^\circ$ ,则剔除线段  $L_7$ 。

表 1 检测出的最小车道角度及占比情况

检测出的最小角度/ $^\circ$	占比/%
30 ~ 35	19
20 ~ 25	28
12 ~ 20	53

### 2.2 累计概率霍夫变换法检测直线的原理

由于经典 Hough 变换计算量较大,很难保证实时性,为改善这个不足,文中采用累计概率霍夫变换 (PPHT)对直线进行检测,PPHT 是经典霍夫变换的一种改进算法<sup>[13-14]</sup>。经典 Hough 变换的基本思想是利用点和线的对偶性,将图像中的曲线转换为参数空间的一点<sup>[15-16]</sup>。其在图像中沿着线累积点,以获取 Hough 参数空间  $(r, \theta)$  的投票,根据设定的阈值,最终确定图像空间中的曲线。笛卡尔坐标和参数空间  $(r, \theta)$  中的直线方程表示为:

$$f(x, y) = kx + b - y = 0 \tag{7}$$

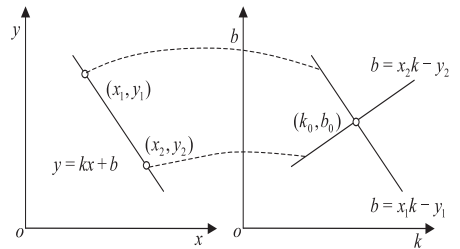
$$f(r, \theta) = x \cos\theta + y \sin\theta - r = 0 \tag{8}$$

式(7)中,  $k$  表示直线的斜率,  $b$  表示截距;式(8)中,  $r$  表示到几何垂线的距离,  $\theta$  表示  $r$  与  $X$  轴之间的夹角。由于空间参数与线的参数有关,又可表示为:

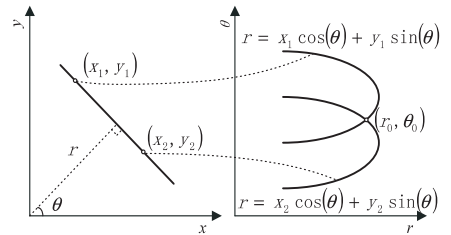
$$y = \frac{r}{\sin\theta} - \frac{x}{\tan\theta}, dy = -\frac{dx}{\tan\theta} \tag{9}$$

对平面直角坐标系而言,若图像中有一条直线,那么直线上所有点在参数空间上对应无数条直线,而这

些直线必定相交于同一点,即可确定对应的  $k, b$ ,这就达到了检测直线的目的;对极坐标系而言,直线上所有点在参数空间对应无数条曲线,而曲线相交对应的点即可确定  $r, \theta$  的值,原理如图 4 所示。计算时,在参数空间中建立一个二维数组累加器  $A$ ,但不同的坐标系所对应的取值不同,平面直角坐标系的二维数组累加器分别对应  $k$  和  $b$  的取值范围,极坐标系中对应  $r$  和  $\theta$  的取值范围,在参数计算表决结果中计算出  $A(k, b)$  或  $A(r, \theta)$  的峰值,但在寻找直线时,不直接选取最大的峰值,一般会选取前几个峰值所对应的参数以保证直线检测的准确性。



(a)平面坐标系下的 Hough 变换原理



(b)极坐标系下的 Hough 变换原理

图 4 Hough 变换原理

与经典 Hough 不同的是,PPHT 无需对边缘每一个像素点进行检测,只需从点集中随机选取一个像素点进行分析。PPHT 算法具体步骤如下:

- (1)从每个区间点集中随机选取一个像素点,且每个区间对应一个累加器,在参数空间下计算  $\theta$  对应的  $r$  值,对应的累加器  $A(r, \theta)$  加 1;
- (2)从点集中删除该点并更新累加器;
- (3)根据设定的阈值,若累加器的值大于阈值,则表示已检测到直线,最后再删除该直线上所有的点;
- (4)重复以上 3 个步骤,直至点集为空。

### 2.3 回归分析拟合直线

经概率霍夫变换后,累加器阈值选取的不恰当会出现误检的情况,再者受噪声的影响,检测出的直线可能不连续也可能偏离原直线,会带来更差的效果;除此之外,对于虚线车道,检测出的直线原本就断断续续,但都处于同一直线上。针对这些问题,采用回归分析对检测出的直线进行拟合。对直线上的像素点建立的一元回归模型可表示为:

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{10}$$

考虑到文中要检测的是车道线,回归模型的选取

应具备稳健性和良好的边界自适应性,因此本次回归模型选取为核回归(kernel regression, KR)模型。根据 Taylor 级数展开估计邻域内像素点的值,展开式可表示为:

$$\begin{aligned}
 f(x_i) &\approx f(x) + f^{(1)}(x)(x - x_i) + \\
 &\frac{1}{2!}f^{(2)}(x)(x - x_i)^2 + \dots + \\
 &\frac{1}{N!}f^{(N)}(x)(x - x_i)^N = \\
 &\alpha_0 + \alpha_1(x - x_i) + \dots + \\
 &\alpha_2(x - x_i)^2 + \dots + \alpha_N(x - x_i)^N
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

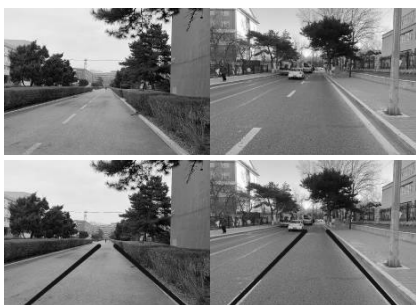
其中,  $f^{(i)}(x)$  和  $\{\alpha_n\}^N$  分别表示回归函数的  $i$  阶导数和微分信息,而  $\{\alpha_n\}^N$  可用加权最小二乘法求得,可表示为:

$$\begin{aligned}
 \min_{\{\alpha_n\}} \sum_{i=1}^p [y_i - \alpha_0 - \alpha_1(x - x_i) - \alpha_2(x - x_i) - \dots \\
 - \alpha_N(x - x_i)^N]^2 K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

其中,  $K$  为核函数,  $h$  为窗宽。通过以上步骤可以很好地实现直线拟合。

### 3 实验结果与分析

为充分验证文中方法具有较高的准确性、实时性和鲁棒性,本次实验采用经典霍夫变换法以及文献[17]中的方法与文中方法作比较。文献[17]的基本思想是:利用投影原理等先验知识改进区域生长法,接着分割图像并划分道路的边界区域,然后通过融合边缘检测数据得到准确的车道线特征点集合,车道检测中则采用 Hough 变换提取直线段来匹配道路直线模型<sup>[17]</sup>。本次实验基于的硬件平台是: Intel (R) Core (TM) i7-7700 CPU3.60 GHz, 内存为 8 G, 系统为 WIN10, 软件为: VS2013+OpenCV3.0.0。为充分验证文中算法的优越性,本次实验选取 7 种不同的路况进行测试,分别是普通路况(路面无任何干扰因素)、带有污迹的路况、带有阴影的路况、带标志符干扰的路况、反光路面、强光照路况以及晚间路灯照射的路况,路况原图与测试结果如图 5 所示。



(a) 普通路况及其检测结果



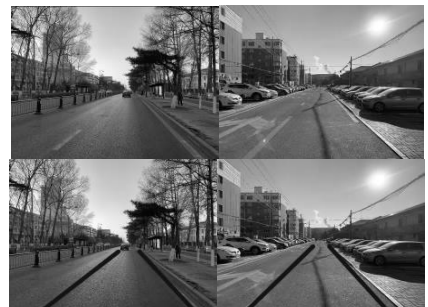
(b) 带污迹的路况及其检测结果



(c) 带阴影的路况及其检测结果



(d) 标志符干扰及其检测结果



(e) 反光路面、强光照情形及其检测结果



(f) 晚间路灯照射路况及其检测结果

图 5 不同环境下的车道线检测结果

表 2~表 4 为三种方法在实时性和准确性的比较结果。为加强对比性以及验证文中方法的普遍适用

性,本次对比在三种路段分别进行试验,第一个路段为普通路段,视频总帧数为 3 698 帧,实验结果对应表 2;第二个路段为有大量阴影的路段,视频总帧数为 1 689 帧,实验结果对应表 3;第三个路段为晚间路灯照射路段,视频总帧数为 2 612 帧,实验结果对应表 4。通过三种路段的结果可知,文中方法相比于经典霍夫变换法在实时性和正确性上具有很大优势,相比于文献[17]中的方法具有较好的实时性,在正确率上也稍有优势。实验结果表明,即使在道路有污迹、阴影、标志符等干扰信息、路面反光、强光照以及晚间路灯照射的路面上,也能很好地检测出车道线,具有很好的鲁棒性。

表 2 不同算法在普通路段中的识别率和准确率比较

算法	正确帧数	错误帧数	准确率 /%	每帧平均时耗/ms
经典霍夫变换法	3 402	296	92.145	69.3
文献[17]所提方法	3 587	111	96.998	27.2
文中算法	3 563	135	96.349	18.9

表 3 不同算法在有大量阴影路段中的识别率和准确率比较

算法	正确帧数	错误帧数	准确率 /%	每帧平均时耗/ms
经典霍夫变换法	1 520	469	89.994	85.3
文献[17]所提方法	1 604	85	94.497	34.5
文中算法	1 614	75	95.556	21.6

表 4 不同算法在晚间路灯照射路段中的识别率和准确率比较

算法	正确帧数	错误帧数	准确率 /%	每帧平均时耗/ms
经典霍夫变换法	2 324	288	88.974	87.1
文献[17]所提方法	2 455	157	93.989	32.2
文中算法	2 462	150	94.257	24.3

#### 4 结束语

针对传统霍夫变换法检测车道线实时性不高等问题,提出一种基于改进概率霍夫变换的车道线快速检测算法。首先通过一系列的图像预处理工作来提高图像处理的运算速度,接着运用 Canny 算子进行边缘检测,然后对累计概率霍夫变换法增加 4 个约束条件,运用改进后的 PPHT 检测直线,最后通过核回归模型拟合出正确车道线。实验结果表明,该方法弥补了传统霍夫变换法运算耗时、准确率低的缺点,相比于其他算法具有较好的实时性、准确性和鲁棒性。

#### 参考文献:

- [1] PARK S K, KIM B S, JEONG S H, et al. Lane estimation using lateral histogram in radar based ACC system [C]//European radar conference. Italy: IEEE, 2014: 193-196.
- [2] 甄文媛. 百度无人车春晚跑出“中国速度”[J]. 汽车纵横, 2018(3): 62-63.
- [3] MA C, XIE M. A method for lane detection based on color clustering [C]//Third international conference on knowledge discovery and data mining. Phuket: IEEE, 2010: 200-203.
- [4] JITPAKDEE P, PRAVITHANA N. A novel method of trend lines generation using hough transform method [J]. International Journal of Computing, 2017, 6(4): 125-135.
- [5] SU Y, ZHANG Y, LU T, et al. Vanishing point constrained lane detection with a stereo camera [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(8): 2739-2744.
- [6] LIU J, LOU L, HUANG D, et al. Lane detection based on straight line model and k-means clustering [C]//2018 IEEE 7th data driven control and learning systems conference (DDCLS). [s. l.]: IEEE, 2018: 527-532.
- [7] WEI X W. Research on lane detection and tracking algorithm based on improved Hough transform [C]//2018 IEEE international conference of intelligent robotic and control engineering (IRCE). [s. l.]: IEEE, 2018: 24-27.
- [8] 尤小泉, 彭映杰. 结合分块 Hough 变换与 Kalman 预测的车道线检测方法 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(24): 7087-7092.
- [9] MONTALVO M, GUIJARRO M, RIBEIRO Á. A novel threshold to identify plant textures in agricultural images by Otsu and principal component analysis [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2018, 34(6): 4103-4111.
- [10] 廖延娜, 李梦君. 基于双自适应遗传算法的 Otsu 图像分割研究 [J]. 计算机与数字工程, 2018, 46(6): 1217-1221.
- [11] 赵芳, 周旺辉, 陈岳涛, 等. 改进的 Canny 算子在裂缝检测中的应用 [J]. 电子测量技术, 2018, 41(20): 107-111.
- [12] 杨鼎鼎, 陈世强, 刘静漪. 基于车牌背景和字符颜色特征的车牌定位算法 [J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(12): 216-221.
- [13] MATAS J, GALAMBOS C, KITTLER J. Robust detection of lines using the progressive probabilistic Hough transform [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2000, 78(1): 119-137.
- [14] 张悦旺. 基于改进 Hough 变换的车位线识别方法 [J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(11): 3046-3050.
- [15] 操昊鹏, 曾卫明, 石玉虎, 等. 基于 Hough 变换和总体最小二乘法的电力线检测 [J]. 计算机技术与发展, 2018, 28(10): 164-167.
- [16] LIU W, ZHANG Z, CHEN X, et al. Dictionary learning-based Hough transform for road detection in multispectral image [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017, 14(12): 2330-2334.
- [17] 陈功醇, 贾志绚. 基于视觉传感器的车道线检测算法 [J]. 传感器与微系统, 2014, 33(11): 125-128.