

# 道路区域分割的车道线检测方法

鲁曼, 蔡自兴, 李仪

(中南大学信息科学与工程学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:** 为了满足无人驾驶车在高速公路行驶的实时性和鲁棒性要求, 提出了一种基于道路区域分割的车道线检测方法. 该方法分道路区域分割和车道线检测 2 个阶段. 在道路区域分割阶段, 首先提取的道路颜色值, 然后在二值边缘图像中搜索连通域, 通过将连通域的颜色特征值与道路颜色特征值比较来快速定位道路区域, 并将这一区域划分为车道线检测的感兴趣区域. 车道线检测阶段则使用改进的概率 Hough 变换方法提取车道线点, 并使用最小二乘法对车道线点集进行拟合, 获得车道线模型的参数. 实验证明该方法相比传统的利用标准 Hough 变换算法准确率提升 23%, 有效地排除了道路区域外的直线像素干扰, 具备较好的鲁棒性和实时性.

**关键词:** 车道线检测; 区域分割; 概率 Hough 变换; 感兴趣区域

**中图分类号:** TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2010)06-0505-05

## A lane detection method based on road segmentation

LU Man, CAI Zi-xing, LI Yi

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** A lane detection method was developed based on road segmentation to satisfy the real-time and robustness requirements of an automated vehicle when driven on the highway. The proposed method was divided into two phases of road segmentation and lane detection. After extracting the color feature of the highway, the road segmentation phase quickly located the road region through searching connected regions of binary edge images and comparing the color feature of connected regions with the highway, and then set the road region as the region of interest (ROI) for lane detection. An improved probabilistic Hough transformation method was used to extract the lane pixels in the lane detection phase, and the least squares method was used for fitting the lane pixels to get the parameters of the lane model. Experiments show that the accuracy is improved 23% by the proposed method compared with the conventional method using standard Hough transformation, and linear pixels outside the road region were effectively ruled out. The proposed method has high robustness and real-time performance.

**Keywords:** lane detection; region segmentation; probabilistic Hough transform; ROI

在智能车辆和无人驾驶车的研究领域, 基于机器视觉的车道线检测是实现车道偏离报警、车道保持等主动安全功能的一项关键技术<sup>[1]</sup>. 到目前为止, 已经提出和发展了多种基于视觉的适用于不同车道线的检测算法. 这些算法采用了不同的道路模型(如直线或曲线模型<sup>[2]</sup>)和不同的识别技术(如 Hough 变换法<sup>[3]</sup>、模板匹配法<sup>[4]</sup>、神经网络法<sup>[5]</sup>

等). 在车道线大部分被遮挡、各种交通参与者存在的情况下, 利用标准 Hough 变换检测直线的传统算法(以下简称传统方法)虽然简单, 但往往会出现误识别; 而目前的一些复杂算法虽然抗干扰能力强, 但是实时性又不能满足智能车快速行驶的要求. 针对高速公路的特点以及对车道线识别的实时性和鲁棒性的要求.

在智能车获取的图像中, 道路的路面是道路在图像中的总体特征, 路面上的标志线为局部特征, 先把握总体特征, 再处理局部特征, 有助于图像的处理和理解. 而且道路图像中还存在除车道线外具备线形特征的物体, 如路面栏杆、修剪的树木等, 不分割

收稿日期: 2009-11-15.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90820302, 60805027); 国家博士点基金资助项目(200805330005); 湖南省院士基金资助项目(2009FJ4030).

通信作者: 鲁曼. E-mail: sophia.luman@gmail.com.

出道路区域很容易导致车道线的误检测. 所以将车道线检测分为道路区域分割和道路区域车道线检测2个阶段. 其中道路区域分割阶段利用道路的颜色特征分割出高速路的路面区域, 而车道线检测阶段在路面区域检测车道线.

## 1 基于颜色的道路区域分割

提出了一种基于道路区域分割的车道线检测方法, 其实现流程如图1所示.

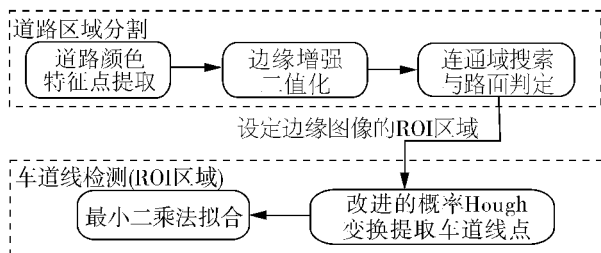


图1 车道线检测实现流程

Fig. 1 Flow chart of lane detection

车道线位于道路区域, 在车道线检测之前先进行道路区域分割可以有效排除图像背景的影响.

道路区域分割一般利用图像中道路的边缘、颜色或是质地等信息. 智能车辆拍摄到的高速公路图像一般包含树木、天空、山脉等背景, 边缘信息复杂, 确定道路边界很困难, 而道路的质地信息又难以表述, 因此提出了一种基于颜色的道路区域分割方法, 能快速、准确地定位道路区域.

### 1.1 颜色特征值的提取

基于颜色的道路区域分割的第1步是要获得道路的颜色信息. 一般情况下, 用于拍摄道路状况的摄像头位于智能车的头部中间位置, 并且保证拍摄到的图像数据底部为道路区域. 因此从图像底部提取像素点作为道路颜色特征点.

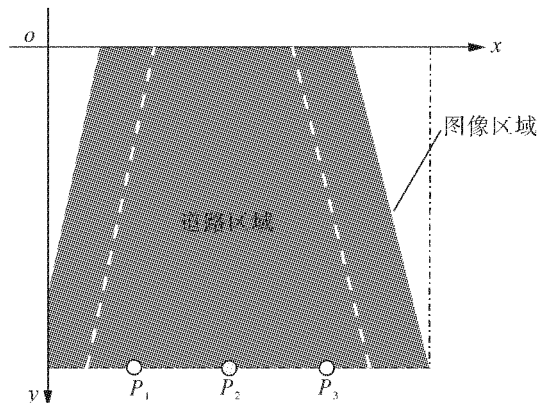


图2 颜色特征点初始提取位置

Fig. 2 Initial positions of feature points extraction

如图2所示, 初始提取的3个特征点分别为 $P_1$ 、 $P_2$ 和 $P_3$ , 它们分别位于图像底部的1/4、1/2和3/4

的位置. 由于提取的特征点可能存在车道线白点的干扰, 为了保证提取的道路特征点是可靠的, 还需要通过比较这3个特征点来剔除干扰点.

两两比较3个特征点的灰度值, 记录得到的3个灰度差值. 若有2个灰度差值大于色差阈值 $T_d$ , 则这个灰度差值的涉及到共同点将被剔除, 剩下的点为有效特征点, 并将其加入有效特征点集合. 改变特征点提取的位置, 重复提取特征点过程多次, 最后取有效特征点集合中所有点的灰度均值作为道路颜色的特征值. 具体算法如下:

1) 设置初始提取位置分别为图像底部的1/4、1/2和3/4处, 设置循环次数 $N$ 为0, 最大循环次数LOOPMAX, 初始化有效特征点集合 $S$ 为空;

2) 提取候选特征点 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ , 并计算 $P_1$ 、 $P_2$ 和 $P_3$ 之间的灰度差值的绝对值, 分别记为 $cmp_{12}$ 、 $cmp_{23}$ 和 $cmp_{13}$ .

3) 比较 $cmp_{12}$ 、 $cmp_{23}$ 和 $cmp_{13}$ , 剔除不合格特征点, 将剩下的点加入集合 $S$ ;

4) 循环次数 $N$ 增1, 如果 $N < LOOPMAX$ , 将 $P_1$ 提取位置向右上方移动 $10 \times 10$ 窗口, 将 $P_2$ 提取位置向正上方移动10个像素, 将 $P_3$ 的提取位置向左上方移动 $10 \times 10$ 窗口, 转向2);

5) 计算有效特征点集合中所有点的灰度均值并记为 $T$ .

3)中筛选特征点的具体过程描述如下:

Begin

If  $cmp_{12} < T_d$  and  $cmp_{23} < T_d$  and  $cmp_{13} < T_d$   
then

Add  $P_1$ 、 $P_2$  and  $P_3$  to set  $S$ ;

Else if  $cmp_{12} > T_d$  and  $cmp_{23} > T_d$  and  $cmp_{13} < T_d$  then

Add  $P_1$  and  $P_3$  to set  $S$ ;

Else if  $cmp_{12} > T_d$  and  $cmp_{23} < T_d$  and  $cmp_{13} > T_d$  then

Add  $P_2$  and  $P_3$  to set  $S$ ;

Else if  $cmp_{12} < T_d$  and  $cmp_{23} > T_d$  and  $cmp_{13} > T_d$  then

Add  $P_1$  and  $P_2$  to set  $S$ ;

End if

End

最大循环次数LOOPMAX的设定和图像大小及图像中道路部分在图像中所占比例有关, LOOPMAX的取值应能保证特征点提取位置位于道路区域为宜 ( $LOOPMAX < \text{图像宽度}/20$ ). 灰度差值阈值 $T_d$ 的选取和光照条件有关(实验设定 $T_d = 25$ ). 通过改变

特征点的提取位置重复取点来获得道路颜色的特征值,在一定程度上克服了光照和阴影等因素对远近路面造成的色差影响。

## 1.2 连通域搜索与路面判定

提取了原始图像的道路颜色特征值后要通过搜索连通域来找出路面区域。本文采用了文献[7]中的基于上下边缘点匹配的连通域搜索方法,该方法应用于二值边缘图像,通过扫描边缘图像的上下边缘点来提取图像的连通域。二值边缘图像可通过 Sobel 算子边缘增强和 OTSU<sup>[8]</sup>求得全局阈值后再二值化得到。

搜索到各连通域后分别统计其所有像素的灰度值,求出灰度均值作为该连通域的颜色特征值。若连通域的颜色特征值和提取的道路颜色特征值的差值在某一较小范围内,则认为该连通区域为道路区域的一部分。最后将所有满足这一条件的连通域合并得到道路区域。

对图3所示的原始图像进行基于颜色的道路区域分割后得到如图4所示的道路区域。

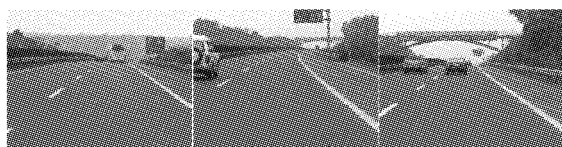


图3 原始图像

Fig. 3 Original images

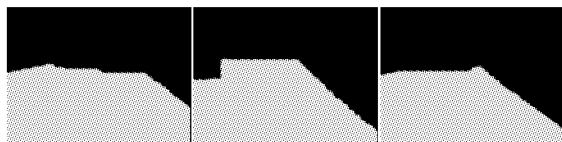


图4 道路区域图像

Fig. 4 Road region images

## 2 改进的概率 Hough 变换提取车道线点

在道路区域分割完成之后,设定道路区域为边缘图像的 ROI,对边缘图像的 ROI 应用改进的概率 Hough 变换提取车道线点,然后对车道线点集使用最小二乘法进行拟合得到车道线模型的参数。

### 2.1 改进的概率 Hough 变换方法提取车道线点

在以前的研究中,广泛采用的是标准 Hough 变换直线检测方法,近年来也有一些研究采用了概率 Hough 方法。二者主要区别在于标准 Hough 变换是在图像空间到参数空间的映射全部完成之后统计各个累加器的计数是否大于累加阈值,从而确定是否存在直线并获得相应直线上的点的集合。而概率

Hough 的映射和直线检测是交替进行的,每次将图像空间中的点映射到参数空间后都会检查各个累加器的计数是否超过了累加阈值,这样最长直线被最早检测到的概率最大,减少了检测直线的运算量。

由于高速公路中存在虚线型的车道线,因此上述2种方法中的累加阈值的取值至关重要,若累加阈值偏大,则虚线型车道线会被漏检,累加阈值偏小,则会检测出图像的噪声点。但车道线检测中累加阈值的取值是难以确定的,也很难找到满足要求的自适应取值方法。针对这一难题,在概率 Hough 变换的基础上设置了车道线总长阈值,在超过累加阈值的可能车道线中提取车道线,具体算法如下:

给定一个全局累加阈值  $T_h$  和一个车道线总长度阈值  $T_r$ ,

1) 将参数空间量化为多个子空间,量化宽度为  $\Delta q$ ,并为每个子空间设置一个初始值为0的累加器  $\text{acc}(\cdot)$ ;将边缘图像中的 ROI 区域的边缘点都加入到未映射的点列表。

2) 检查未映射点列表是否为空,如果为空,算法结束。否则从列表中随机选取一个点并将它映射到参数子空间,相应的累加器加1;

3) 将已经映射的点从列表中删除。

4) 检查累加器的值是否比阈值  $T_h$  大,如果不是则转向2)。

5) 计算未映射点列表中在这条直线上的点继续累加,若累加器的值比  $T_r$  大,则删除累加器中这条直线上的点,设置累加器为0,记录所有该直线上的点;否则,删除累加器中这条直线上的点,设置累加器为0;

6) 转向2)。

在上述算法中,设置了累加阈值和车道线总长度阈值2个阈值就实现了直线的粗检测和精检测,即当直线长度累计超过累加阈值时初步确定存在这样一条直线,然后有针对性地去寻找这条直线上的点,如果最后直线总长度累计超过车道线总长阈值,则确定这是一条车道线。

累加阈值设置为虚线型车道线子段的最大长度,车道线总长阈值设置为 ROI 区域最大宽度的一半。量化宽度  $\Delta q$  视检测精度而定,但由于不同车道线映射到参数空间差异较大,量化宽度的可取较大值来减小算法的空间和时间复杂度。

### 2.2 拟合车道线模型

由于提取的是存在于某一参数子空间的所有车道线点,因此最后还需要通过拟合提取出的车道线点得到车道线模型的参数。

根据高速公路设计要求,道路由直线、圆曲线和缓和曲线3种线型要素构成.直线是最常用的要素之一,其曲率为零.智能车在高速公路中采用最多的是直线道路模型,并且视频前后帧的直线参数变化可用于计算无人驾驶车的偏航角.

由于道路区域中存在的直线干扰是很小的,可以认定这些点都是车道线点,使用最小二乘法对车道线上的点进行拟合计算,得到车道线直线模型  $y = kx + b$  的参数  $k$  和  $b$ .

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2},$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - k \sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

### 3 实验结果

实验采用 C++ 编程实现,图5是图3中的原始图像进行车道线提取后的结果图.

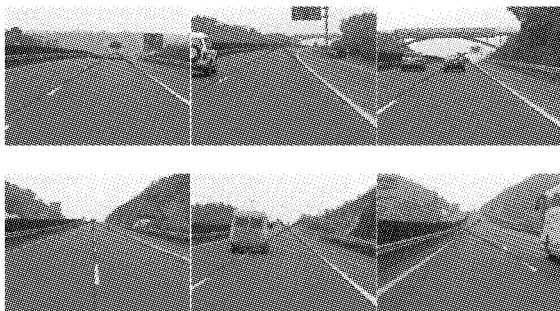


图5 本文方法的车道线检测结果

Fig.5 Results of lane detection using the proposed method

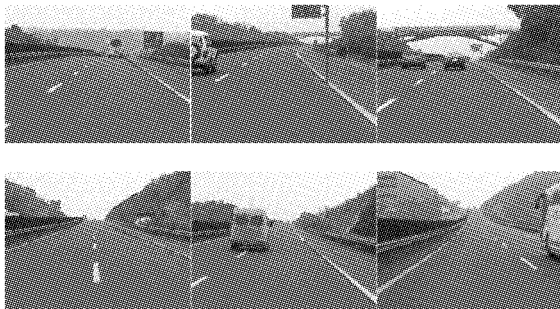


图6 传统方法的车道线检测结果

Fig.6 Results of lane detection using traditional method

2 除图5中的最后一幅图中因为道路区域存在大车辆边缘的干扰造成车道线拟合有所偏差外,其余都非常准确地检测出车道线.

对提出的方法和传统方法进行了比较实验,实验结果表明,其准确率较传统方法提升了23%,效率也有略微提高.图6是使用传统方法对图3进行

车道线检测的结果图,存在一些误检测和漏检测车道线的情况.

下面是对200幅  $320 \times 240$  的图像进行实验后的统计结果,如表1所示.车道线的准确评价采用了人工标定 GT(ground truth) 方法.

表1 2种方法的实验比较

Table 1 The results of two methods		
方 法	平均执行时间/ms	准确率/%
传统的方法	143	72
本文的方法	137	95

### 4 结 论

实验表明,本文方法不仅能够快速定位道路区域,还能够有效去除图像中的车道外直线像素的干扰,对道路区域的车辆遮挡车道线的情况也表现出了较好的鲁棒性.同传统的利用 Hough 变换检测直线的方法相比,准确率和效率都得到了提高,具有如下特点:

1) 提出了一种基于颜色的道路区域分割方法,能够准确定位道路区域,但对于部分图像会存在一部分道路被剪切的现象;

2) 对概率 Hough 变换进行了改进,并将其应用于车道线点集的提取,能够快速获得道路区域的直线像素,但会受道路区域大型车辆边缘的干扰.

本文的方法在识别道路区域的基础上检测车道线,符合人类感知逻辑;另外由于嵌入了道路区域分割部分,因此该方法还能适用于无车道线的乡村公路的道路检测.

### 参考文献:

- [1] TASI J F, HUANG S S, CHAN Y M. Road detection and classification in urban environments using conditional random field models[C]//Proceedings of 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. Toronto, Canada, 2006: 963-967.
- [2] HSIAO P Y, YEH C W, HUANG S S, et al. A portable vision-based real-time lane departure warning system; day and night[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 4(58): 2089-2094.
- [3] GUO Y, BAI Z, LIU Y. Genetic algorithm and region growing based road detection in SAR images[C]//IEEE 2007 3rd International Conference on Natural Computation. Haikou, China, 2007(4): 330-334.
- [4] LI Q, ZHENG N N, CHENG H. Springrobot: a prototype autonomous vehicle and its algorithms for lane detection[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004, 5(4): 300-308.

- [5]张荣,王勇,杨榕. TM图像中道路目标识别方法的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(2): 220-224.

ZHANG Rong, WANG Yong, YANG Rong. Researches on road recognition in landsat TM images[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(2): 220-224.

- [6]HE Y, WANG H, ZHANG B. Color-based road detection in urban traffic scenes[J]. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, 2000, 12(5): 309-317.

- [7]谢贵,彭嘉雄. 基于上下边缘点匹配的连通域搜索算法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2002, 30(4): 64-68.

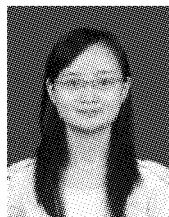
XIE Gui, PENG Jiaxiong. An algorithm for searching connective regions based on matching between the points of up-contour and down-contour[J]. Journal of Huangzhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2002, 30(4): 64-68.

- [8]HUANG D, WANG C. Optimal multi-level thresholding using a two-stage Otsu optimization approach[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(2): 275-284.

- [9]ASSUDIQ A A M, KHALIFA O O, ISLAM R, et al. Real time lane detection for autonomous vehicles[C]// Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering 2008. Kuala Lumpur, Malaysia, 2008:

82-88.

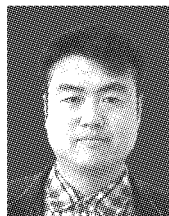
作者简介:



鲁曼,女,1986年生,硕士研究生,主要研究方向为图像处理与机器视觉。



蔡自兴,男,1938年生,教授,博士生导师,国际导航与运动控制科学院院士、中国人工智能学会副理事长、中国自动化学会理事。主要研究方向为人工智能、机器人、智能控制,发表学术论文500余篇。



李仪,男,1979年生,讲师,博士,主要研究方向为智能车系统、机器视觉等。

## 第7届自然计算国际会议暨第8届模糊系统和知识发现国际会议

### The 7th International Conference on Natural Computation

### The 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery

The 7th International Conference on Natural Computation (ICNC'11) and the 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD'11) will be jointly held from 26-28 July 2011, in Shanghai, China. Shanghai, an open city on the coast and a famous historical and cultural city, is a gate to the Yangtze River delta. It is a municipality under the direct jurisdiction of the Central Government, the largest economic and trade center, a comprehensive industrial base and the leading port in China. Attractions include Yuyuan Garden ("Happy Garden" built in Ming Dynasty), Shanghai Museum with 120,000 pieces of rare relics, Shanghai World Financial Center, Jade Buddha Temple (Song Dynasty), Oriental Pearl TV Tower, Zhujiajiao Water Town, and Expo 2010 site.

All papers in conference proceedings will be indexed by both EI Compindex and ISTP, as well as the IEEE Xplore (IEEE Conference Record Number for ICNC'11: 18082; IEEE Conference Record Number for FSKD'11: 18083). ICNC-FSKD 2005 to 2009 papers have already been indexed in EI Compindex. Extended versions of selected best papers will appear in an ICNC-FSKD special issue of International Journal of Intelligent Systems, an SCI-indexed journal (impact factor: 1.194).

Website: <http://icnc-fskd.dhu.edu.cn/>.