

# 结合形态学的结构化车道线快速识别算法<sup>①</sup>

陈功醇<sup>1</sup>, 马玉贤<sup>2</sup>, 贾志绚<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(太原科技大学 电子信息工程学院, 太原 030024)

<sup>2</sup>(太原科技大学 教育信息技术中心, 太原 030024)

<sup>3</sup>(太原科技大学 交通与物流学院, 太原 030024)

**摘要:** 为解决结构化车道线识别算法中存在的约束条件多, 计算过于复杂等问题, 提出一种基于形态学的车道线快速识别算法. 该算法首先对道路图像进行中值滤波, Sobel 算子增强边缘, 利用直方图特征分割图像, 然后划分感兴趣区域, 接着构造具有车道特征的形态学结构元素去提取车道线, 最后概率霍夫变换拟合车道线. 实验对比结果表明, 针对结构化道路, 该算法简单有效, 计算量小, 具有良好的实时性.

**关键词:** 车道线识别; 形态学; 结构化道路; 霍夫变换; 感兴趣区域

## Fast Detection Algorithm for Structured Lane with the Morphology

CHEN Cong-Chun<sup>1</sup>, MA Yu-Xian<sup>2</sup>, JIA Zhi-Xuan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(School of Electronic and Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

<sup>2</sup>(Information Technology Center of Education, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

<sup>3</sup>(School of Transportation and Logistics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** In order to solve the problem in the structured lane recognition algorithm which includes many constraints and complicated calculation, this paper presents a fast lane detection algorithm based on morphology. Firstly, this work gets pre-process in road image by handled Median filter. Sobel operator is to enhance edge. A characteristic histogram threshold method is adopted to segment images. And region of interest is disposed with the detection results. Secondly, by constructing morphological structure elements with the feature of lane start to extract the lane line. Finally, Hough transform have been fitting with the best line of lane. The contrast experiment shows that algorithm provides a high real-time, less calculation and simple and effective approach to structured lane.

**Keywords:** lane detection; morphology; structural road; hough transform; region of interest (ROI)

实时、可靠的车道线检测一直是智能交通研究中的一项关键技术, 在车辆定位以及自主导航中起着非常重要的作用. 当前最常用的车道线识别方法都是基于模型的, 主要有直线模型、二次曲线模型、样条曲线模型<sup>[1-3]</sup>等, 其实是利用车道线几何模型与图像中车道线特征点相匹配, 实现车道线的识别. 其中直线模型实时性高, 建模方程简单, 但精度差; 曲线模型契合度高, 但约束条件多, 计算复杂, 降低了系统的实时性.

形态学是一种应用于图像处理和模式识别领域的新方法<sup>[4]</sup>, 它在应用时能极大的简化图像数据, 并在

去除不相干结构的同时保持图像原有的形状特性. 本文以直线模型为基础, 利用形态学原理简单、计算量小的特点, 提出一种结合形态学和 Hough 变换的车道线识别方法, 构造具有车道线特征的结构元素, 快速准确的检测出车道线.

## 1 图像预处理

车载 CCD(Charge Coupled Device, 电荷耦合器件图像传感器)拍摄的图像中, 通常还有很多噪声和无用信息. 因而必须先对原始图像进行预处理, 最大程度地强化车道标志线信息, 滤去噪声, 除去干扰, 为更好地进行车道标志线识别做准备. CCD 摄像机采集的

① 基金项目:太原科技大学校级创新基金(20125007)

收稿时间:2013-10-24;收到修改稿时间:2013-11-18

图像多为彩色图像, 所以第一步需要把彩色图像转变为灰度图像.

### 1.1 滤波及增强处理

灰度化之后, 对图像进行 3×3 窗口的中值滤波处理, 这一步可以去除大部分椒盐噪声和脉冲干扰, 同时还可以保护图像尖锐的边缘<sup>[5]</sup>. 接着, 用改进后的 Sobel 算子增强图像中的边缘信息. 由于车道线边缘位于图像左右倾斜方向上, 为了突出车道线方向抑制其他方向的边缘, 采用的两个 Sobel 算子分别是 45°方向的 G<sub>R</sub> 模板和 145°方向的 G<sub>L</sub> 模板, 如图 1.

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & -2 \\ 0 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & -2 & 0 \end{bmatrix}$$

图 1 改进后的 Sobel 模板

### 1.2 基于直方图特征的图像分割

阈值选取是关键, 它的好坏直接影响到图像的后续处理. 目前对道路图像分割处理使用最多的是最大类间方差法<sup>[6]</sup>, 是由日本学者 Otsu 于 1978 年提出的, 又称为大津法. 该方法基于图像的灰度直方图, 以目标和背景的类间方差最大或类内方差最小为阈值选取准则, 实际也证明该方法对于求解图像分割的阈值准确性较好, 唯一不足计算量大. 针对这种不足, 本文利用直方图特征的来分割图像, 获得包含车道线的二值化图像.

具体方法是取道路图像的灰度直方图中双峰间靠近第一个峰值的谷底对应的灰度值为阈值. 这样做的理由是在结构化道路中路面亮度均匀, 与天空、树木或天桥等背景差异显著, 故道路图像的灰度直方图成双峰状, 于是利用直方图特征进行图像阈值分割. 本方法与大津法相比, 略显粗糙, 部分细节会被削弱, 但原理简单还减小了计算量, 对车道线的分割效果还是不错的. 图 2 是分割对比试验.

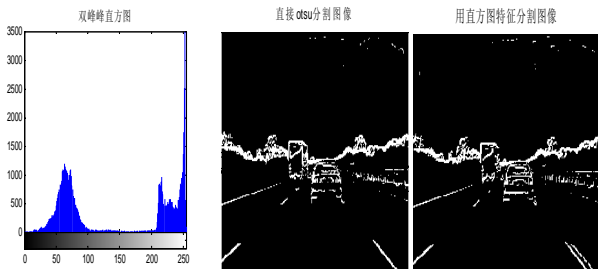


图 2 分割对比试验图

### 1.3 划分有效道路区域

车道线检测出来以后, 可以假定车道线在相邻的几帧中斜率变化不大, 因为结构化道路的特性, 可以采用一种基于投影的方法来确定图像中有效的道路区域(ERO), 进而得到感兴趣区域(ROI).

对图像进行灰度滤波增强处理之后, 图像中只包含亮度信息, 用  $f(i,j)$  表示图像中像素点  $(i,j)$  的灰度值, 则一幅  $M \times N$  的图像的投影表示如下: 首先求取图像中  $i$  行像素点按水平方向投影的灰度均值,  $X_i$  表示第  $i$  行像素总灰度的平均值, 如式(4).

$$x = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(i,j) \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (4)$$

根据这些灰度均值, 可以画出整幅图像的水平投影. 分析投影图, 找出图中第一个极小值(或小于一定阈值)对应的水平位置  $i$ , 即为道路区域与图像上部分天空的分界线位置.

## 2 车道线检测

### 2.1 形态学检测车道线

数形态学是建立在集合代数基础上, 用集合论方法来描述几何结构. 它的基本运算包括膨胀(符号为  $\oplus$ )、腐蚀(符号  $\ominus$ )、开运算和闭运算<sup>[7]</sup>. 简单的说, 膨胀使图像的暗细节被消弱, 亮区域的范围得到增强, 腐蚀则正好相反. 结构元素是形态学基本算子的集合, 结构元素的选取直接影响图像处理的效果和质量. 因此, 如何确定结构元素的形状和大小是算法的关键.

本文参考了文献<sup>[8]</sup>中的思想, 把左右车道线看成斜率变化的直线. 由于视觉原因, 现实中平行的车道线在图像中表现为带有一定斜率的直线, 统计结果发现, 由摄像头位置及车身移动导致的车道线的斜率变化范围大致在 30°~60°. 于是, 对车道线的检测问题可以等价于对斜率变化在 30°~60°的直线检测问题. 综合考虑, 本文确定的结构元素为: 方向为  $\pm 45^\circ$ , 大小为 5 的线结构,

$$B1 = [(2,2), (-1,-1), (0,0), (-1,-1), (-2,-2)],$$

$$B2 = [(-2,2), (-1,1), (0,0), (1,-1), (2,-2)].$$

如图 3 所示, 其中 方向的线结构 B1 用于提取左车道线, 方向的线结构 B2 用于在提取右车道线.

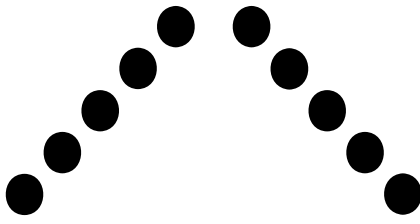


图 3 线结构元素

具体的提取左右车道线过程(假设  $f$  为道路图像)如下:  
得到左右车道线

$$L=f \otimes B1 \otimes B2 \quad (5)$$

$$R=f \otimes B2 \otimes B1 \quad (6)$$

车道线特征

$$C=f-L \cup R \quad (7)$$

在车道线被检测到之后,可以划分 ROI. 以左车道为例, 设其直线方程为  $y_l=kx+b$ , 则左车道线的 ROI 表示为

$$\begin{cases} y_l = k(x+10)+b \\ y_r = k(x-10)+b \end{cases} (0 < y \leq \text{height}) \quad (8)$$

其中  $\text{height}$  为道路有效区域的高度, 单位  $\text{pixels}$ . 公式中的数字 10 是我们假定的车道线宽度, 这是实验分析实际车道线的结果.

## 2.2 划分感兴趣区域

现在我们可以假定车道线在相邻的几帧中斜率变化不大, 后期车道线检测只需在 ROI 中进行, 提高了系统的实时性. 若在 ROI 内检测不到车道线, 说明车辆发生了较大的偏移, 此时应该把检测范围扩大到 ERO. ROI 如图 4 中虚线框所示.

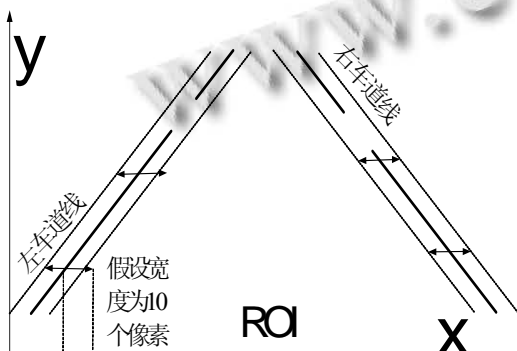


图 4 划分 ROI 示意图

## 2.3 Hough 变换拟合车道线

经阈值分割后, 二值图像中的车道线特征已经很明显. 本文采用概率 Hough 直线模型拟合车道线, 它抗噪性能强, 对直线断裂、局部遮挡等缺陷不敏感, 适合用于检测不连续的车道线. Hough 变换(HT)是一种广泛应用的直线提取方法, 它基于图像空间点向参数空间对应位置投票累加并搜索参数空间峰值来获得直线方程<sup>[9]</sup>.

为满足鲁棒性要求, 在 ROI 中对左右两边图像分别进行 Hough 变换. 由于车道线是有像素宽度的, 所以会检测出 4 条直线, 为了视觉效果, 左右两边都只取一条内侧车道线. 算法判别标准是, 对左边两条直线分别计算它们与坐标 Y 轴的交点, 取值小的那条直线, 对右边两条直线分别计算它们与 X 轴的交点, 取值小的那条直线. 同时只要其中一边没有直线拟合成功, 就说明算法失效, 则从下一帧图像开始重新进入预处理模块. 算法失效的原因有很多, 如摄像位置剧烈变化, 阴影遮挡等等.

## 2.4 车道线识别流程图

本文给出的车道线识别算法主要包括两大模块: 图像预处理和车道线检测. 由于采集到的 CCD 图像包含大量椒盐噪声和干扰, 必须首先进行预处理, 即利用灰度处理、中值滤波操作消除噪声, 用改进的 sobel 边缘增强法和基于直方图特征的阈值分割等操作使图像的特征更加明显, 同时划分道路有效区域(ERO); 车道线检测模块在二值图像基础上首先划分感兴趣区域(ROI), 减小运算量, 进一步提高处理图像的速度, 然后利用构造的线结构元素集合数学形态学方法检测车道线, 最后用 HT 拟合出左右车道线. 算法流程如图 5 所示.

## 3 仿真实验结果与分析

在 VC++6.0 开发环境下, 借助 opencv1.0 开源计算机视觉库编程验证算法的可行性, 并采用 PETS2001 视频序列进行实验. 试验用计算机为 IntelCPU,P7570,2.26GHz,3GB 内存.

为验证上述算法的实时性和鲁棒性, 选取 PETS2001 视频中的 500 帧图像序列进行实验仿真, 图像大小是  $320 \times 240$ , 识别每帧图像总共耗时 47ms, 识别率提高到 91%, 实时性达到系统要求.

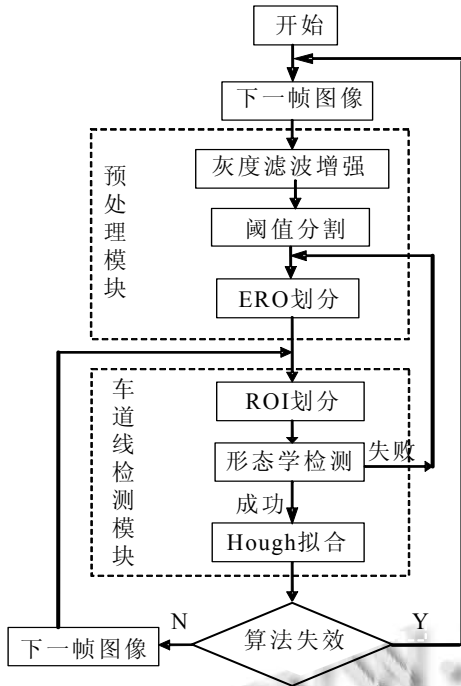


图 5 车道线识别算法

另外，对于由车辆干扰，桥梁遮挡等情况引起的车道部分被遮挡，算法也表现出较强的鲁棒性，取得了良好的检测效果。如图 6-8 是具有代表性的三帧图像的车道线识别过程，从左至右依次分别是原图，分割后的二值图像，车道线识别图像，其中用 2 条黄线标记出的左右车道线。



图 6 正常情况的车道线识别过程



图 7 有车辆遮挡的车道线识别过程

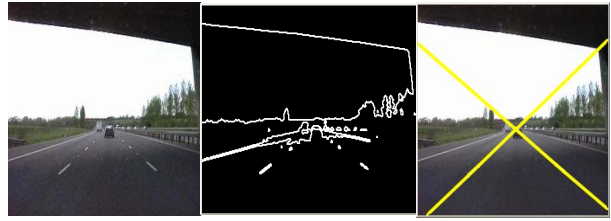


图 8 桥梁干扰的车道线识别过程

### 4 结语

本文在直线模型的基础上，提出一种基于形态学改进的车道线识别方法，该算法创新点是，原理简单，构造出具有车道线特征的形态学结构元素，减少了不相关线条，间接减小了后期 hough 变换拟合的计算量。

(1)在图像预处理中通过改进的 sobel 算子增强图像边缘，又采用基于直方图特征的阈值法分割图像，方法简单，有效。

(2)车道线检测模块不仅在 ROI 中处理，而且采用形态学检测车道线，大大减少了 Hough 变换拟合计算量，提高了实时性。由于加入了算法失效判别，能及时处理突发状况，更适合实际应用。

(3)形态学检测出的车道线宽度只有 1,2 个像素宽度，所以说该方法检测的车道线不仅具有较高的实时性，而且具有较高的定位精度。该算法在阴天和部分车道线遮挡等情况下，能准确识别出左右车道线，然而在车辆严重干扰时识别效果较差，需要完善算法，增强鲁棒性。

### 参考文献

- 1 余厚云,张为公.直线模型下的车道线跟踪与车道偏离检测.自动化仪表,2009,30(11):1-7.
- 2 Aly M. Real time detection of lane markers in urban streets. Intelligent Vehicles Symposium. Piscataway. USA. IEEE. 2008. 7-12.
- 3 Kim ZW. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios. IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(1): 16-26.
- 4 岳洪伟,李扬,蔡肯.数学形态学在图像处理中的应用与展望.影像技术,2006,(2):21.
- 5 刘瑞祯,于仕琪. OPENCV 教程: 基础篇.北京:北京航空航天大学出版社, 2007:131-132.
- 6 范九伦,赵凤.灰度图像的二维 Otsu 曲线阈值分割法.电子学报,2007,35(4):751-752.
- 7 潘建平,李治.数学形态学多结构元素的道路提取.计算机工程及应用,2010,46(11):233-234.
- 8 雷涛,樊养余.基于形态学结构元素建模的车道线检测算法.计算机应用,2009,39(2):441.
- 9 康文静,丁雪梅.基于改进 Hough 变换的直线图形快速提取算法.光电工程,2007,34(3):105-106.