

基于优化 Prewitt 的高速夜间车道检测算法^①

黄海港, 沈永增, 闫纪如

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘 要: 针对夜间高速公路, 提出识别车道标志线的新型检测算法. 该算法采用改进的中值法滤波, 基于光密度差的 4 方向模板对数 Prewitt 边缘检测预处理图像, 得到二值化阈值 T. ROI 和左右车道线的确定大大减少运算量, 结合车道线宽度去除伪车道, 采用临时轨迹策略排除光线变化和前方车辆的干扰, 最后得到完整清晰的车道线. 实验证明该车道检测方法具有快速性、稳定性、准确性.

关键词: 中值法滤波; 对数 Prewitt; 二值化阈值; 临时轨迹策略; 车道检测

Nighttime Lane Detection of the Highway Based on Improved Prewitt

HUANG Hai-Gang, SHEN Yong-Zeng, YAN Ji-Ru

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: This study introduces a novel detection algorithm to recognize the lane markers on the highway at night. The proposed algorithm utilizes adapted median filtering and edged detection of the four direction template logarithmic Prewitt based on the difference of luminous density. It gives the threshold of binaryzation. Determine the ROI and sides lane line, so greatly reduce the amount of computation. We use lane marking width and temporal trajectory strategy to remove false lanes caused by lighting change, and vehicle occlusions. Finally we get complete clear lane line. The proposed method is proved to be fast, stability and accuracy.

Key words: median filtering; logarithmic Prewitt; the threshold of binaryzation; temporal trajectory strategy; Lane Detection

1 概述

当今社会, 交通事故已经成为了严峻的全球问题, 尤其是高速公路的不断发展, 交通事故的频繁发生更是给人们的生命和财产造成了巨大损失. 设计交通安全系统的目的在于减少交通事故的发生, 在驾驶辅助系统中, 车道检测起着至关重要的作用. 迄今为止, 已经有一系列基于视觉的车道检测算法, 它们通常采用不同的车道模型(白实线或白虚线), 或不同的道路模型(2D 或 3D, 直线或曲线), 还有不同的技术(Hough 变换, 模板匹配, 神经网络等). 车道检测有两种方法: 基于特征和基于模型匹配的方法^[1,2], 这两种方法需要从 CCD 摄像头获得清晰的车道线或可见的车道边缘. 换言之, 它们对光线的变化缺乏适应能力, 在夜间或光线不均匀的情况下不能发挥很好的作用. 本文提出

一种基于优化 Prewitt 的高速公路夜间车道线检测算法, 能很好的解决上述问题.

2 夜间道路图像的预处理

为了减少摄像机实时采集图像时产生的噪声并满足后续检测的要求, 需要进行图像预处理. 实验数据表明^[3] $f(x, y) = 0.30R(x, y) + 0.59G(x, y) + 0.11B(x, y)$ 所示的混合比例得到的灰度图像亮度最符合人眼的视觉特点.

2.1 改进的中值滤波

中值滤波在处理像素领域内的噪声点时, 噪声的存在不会影响该点的像素值计算. 对于一些类型的随机噪声, 中值滤波具有很理想的降噪效果, 而且伴随的模糊效应较低. 但是中值滤波效果跟滤波的窗口大

① 基金项目:2012 年度浙江省大学生科技创新活动计划(2012R403069)

收稿时间:2013-01-12;收到修改稿时间:2013-02-28

小有关, 太小去噪能力不佳, 太大则会使边缘模糊. 具体的改进方法如下: 逐行扫描图像, 在处理每一个像素时, 判断其是否是滤波窗口覆盖下邻域像素的极小或极大值. 如果是, 则用正常的中值滤波处理该像素; 如果不是, 则不处理. 在实践中此方法可以非常有效地去除突发噪声点, 且几乎不影响边缘.

2.2 基于光密度差的边缘检测

图像像素的灰度值 $g(x, y)$ 、入射光强 $i(x, y)$ 和物体表面反射率 $r(x, y)$ 的关系如式(1)所示^[4]:

$$g(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (1)$$

式(1)中, $r(x, y)$ 反映了物体本身的特性, 是快变化分量; 而 $i(x, y)$ 反映了成像的环境条件, 是慢变化分量. 因此在夜晚光照不均匀的情况下, 直接求图像上两点像素的差检测不到路面与车道线之间光强的变化. 只有求出路面与车道线之间反射率的变化才能检测出明显的车道线轮廓. 所以对式(1)取对数得到光密度表达式如下:

$$\log[g(x, y)] = \log[i(x, y)] + \log[r(x, y)] \quad (2)$$

再结合 Prewitt 算子, 可得到式(3):

$$\begin{aligned} L0 &= \{\log[P(x+1, y-1)] + \log[P(x+1, y)] + \\ &\quad \log[P(x+1, y+1)]\} - \{\log[P(x-1, y-1)] + \\ &\quad \log[P(x-1, y)] + \log[P(x-1, y+1)]\} \\ L90 &= \{\log[P(x-1, y+1)] + \log[P(x, y+1)] + \\ &\quad \log[P(x+1, y+1)]\} - \{\log[P(x-1, y-1)] + \\ &\quad \log[P(x, y-1)] + \log[P(x+1, y-1)]\} \end{aligned} \quad (3)$$

上式反映了光密度之差, 可以用于检测夜间车道线. 但是式(3)只检测了水平与垂直方向的边缘信息, 其他方向的边缘没有检测到, 造成部分边缘信息丢失, 易形成一些伪边缘, 使得边缘定位精度不高^[5]. 因此需要增加 6 个方向的模板, 分别为 45° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° . 在实际的运算中是取绝对值的, 所以取 0° 、 45° 、 90° 、 135° 模板对图像进行卷积计算, 模板见图 1. 这样提高检测精度的同时大大减少了计算量. 边缘检测效果如图 2 所示. 由 45° 、 135° 模板可得到式(4):

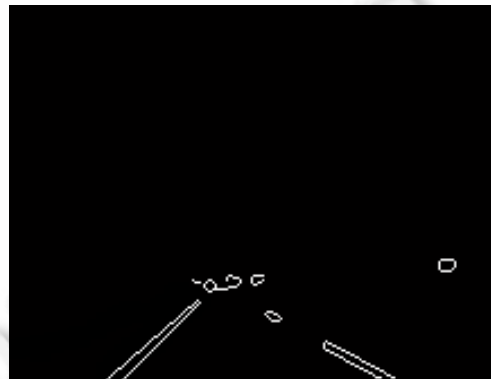
$$\begin{aligned} L45 &= \{\log[P(x, y+1)] + \log[P(x+1, y+1)] + \\ &\quad \log[P(x+1, y)]\} - \{\log[P(x-1, y)] + \\ &\quad \log[P(x-1, y-1)] + \log[P(x, y-1)]\} \\ L135 &= \{\log[P(x-1, y)] + \log[P(x-1, y+1)] + \\ &\quad \log[P(x, y+1)]\} - \{\log[P(x, y-1)] + \\ &\quad \log[P(x+1, y-1)] + \log[P(x, y+1)]\} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{array}{cc} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \\ 0^\circ \text{ 边缘方向} & 45^\circ \text{ 边缘方向} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \\ 90^\circ \text{ 边缘方向} & 135^\circ \text{ 边缘方向} \end{array}$$

图 1 Prewitt 算子 4 方向模板



(a) 原图



(b) 4 方向对数 Prewitt 边缘检测

图 2 边缘检测效果

2.3 选取二值化阈值

光密度的微分 $d[\log(I)] = dI / I$, 表现为光强的变化与光强的比值, 即对比灵敏度. 而对比灵敏度在中高强区域是一常量, 称为韦伯比, 约为 $0.02^{[6]}$. 因此, 在中高强区域, 光密度的变化与可辨认的光强变化是等值的. 利用这点可以将对数 Prewitt 边缘检测后的图像直接二值化. 夜晚光线较暗, 灰度在低强度区域, 所以用一段抛物线表示二值化阈值:

$$T = 2.5[(I - 30) / 30]^2 + 0.18 \quad (5)$$

实验表明:高速公路车道, 阈值受噪声干扰较大, 光密度差应比韦伯比大, 取 0.03, 能得到合适的二值化图 3.



图 3 二值化图

3 车道线识别

由于远景区域主要是天空区域, 并不包含车道线信息, 所以只处理底部到图片 1/4 高度, 即确定感兴趣区域 ROI(Region Of Interest)^[7]. 高速公路的车道线近似直线, 且图像左边为左车道, 右边为右车道. 如此, 大大减少了计算量, 提高了运算速度.

3.1 结合车道标志线宽度去除伪车道

扫描线从下到上逐行扫描图片, 在车辆在正常行驶时, 扫描线高度 H_i 和车道线宽度 W_i 有如下关系:

$$W_i = 21 - \left\lfloor \frac{H_i}{5} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{H_i}{20} \right\rfloor, 0 \leq i < \text{ROI 的高度} \quad (6)$$

$\left\lfloor \frac{H_i}{5} \right\rfloor$ 表示向下取整. 图 4 标示了扫描线高度 i 与对应车道线宽度 W_i . 对于每根扫描线, 把连续的对象点归类为车道线段. 检查每个车道线段的宽度, 看是否满足上式的条件, 如果宽度不接近式(6)的值, 移除线段上的对象点, 否则判定为车道线段. 式(6)成立的条件是摄像头在接近无限远处聚焦, 倾斜角度为 0.

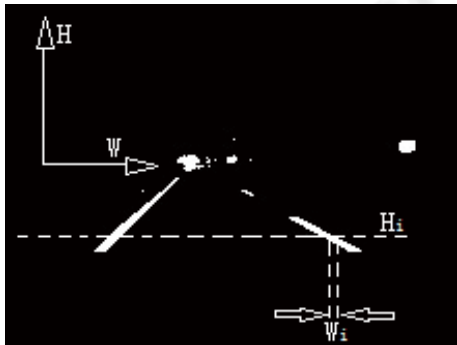


图 4 高度与宽度对应关系

3.2 车道线跟踪

车道线拟合用最小二乘法^[8]. 相邻两帧之间车道一般不会发生明显的变化, 由此可以设定两条车道直线斜率的约束条件. 首先, 记录当前帧斜率和它与上一帧车道线斜率的偏差. 然后, 判断偏差是否较大. 如果是, 丢弃车道线拟合结果并采用上一帧的数据代替当前帧. 如果不是, 更新记录信息. 这就是临时轨迹策略, 它能减少光线变化和附近车辆带来的干扰.

4 实验结果

从 CCD 摄像头获得的图像大小为 640*480, 实验路段是杭州绕城高速转塘到留下.

从视频中提取 500 帧图像进行实验, 图 5 中(a)和(c)是正常情况, (b)前方有车辆, (d)是从左到右变道, (e)是从右到左进行变道且道路上存在白块干扰, 实验表明在上述各种情况本算法都能发挥作用.

表 1 中, 本算法平均每帧图片的执行时间为 27ms, 加上获取车道和提取单帧图片的时间, 共为 41ms, 满足了高速的实时应用. 而先光密度差边缘检测再用 Hough 变换检测直线的方法, 检测一帧图像处理时间为 80ms. 本算法大大缩短了处理时间且并没有降低多少识别正确率.



图 5(a) 第 10 帧



图 5(b) 第 100 帧

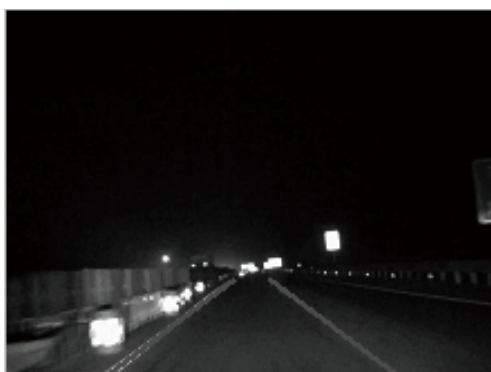


图 5(c) 第 239 帧

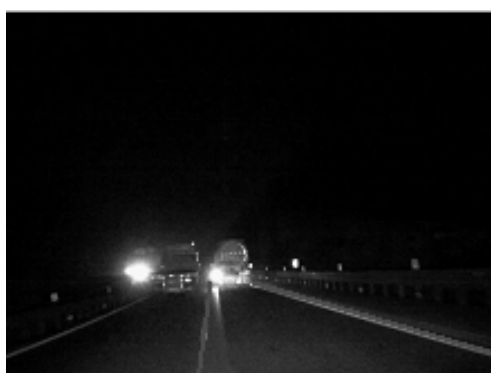


图 5(d) 第 362 帧



图 5(e) 第 480 帧

表 1

	识别率	单帧图片平均处理时间
Hough	98.75%	80ms
本文算法	98.21%	41ms

5 结论

本研究加入了浙江省新苗人才计划。高速公路上车流量大,车速快,除路段管理处,一般没有路灯,光照不均匀。针对这种情况,提出了本文算法。实际运算中,不需要进行对数 Prewitt 边缘检测,只要用阈值 T 进行二值化,然后进行车道线识别,大幅减少了运算时间。实践证明该算法在夜间高速公路上检测直线车道具有良好的实时性和鲁棒性,但对弯道的应用仍然需要进一步的研究。

参考文献

- 1 Kim ZW. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(1): 16–26.
- 2 王荣本, 余天洪, 顾柏园, 等. 基于边界的车道标识线识别的跟踪方法研究. 计算机工程, 2006, 32(18): 195–196, 239.
- 3 李晗. 基于机器视觉的高速车道标志线检测算法的研究[学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2006.
- 4 Gonzalez RC, Woods RE. 数字图像处理. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- 5 沈峰亭, 魏红. 基于改进 Sobel 算子的螺旋边缘检测. 微计算机信息, 2008, 1(1): 261–262.
- 6 陆宗骥. C/C++ 图像处理编程. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- 7 肖刚. 车道偏离预警系统的设计与实现[学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2010.
- 8 吴林成. 基于视觉的高速公路车道线检测算法研究[学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.