

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)02-0250-08

论文索引信息: 李钢, 凌军, 张仁斌. 放射投影直方图的构建及结构化公路 AOI 提取算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(2): 250-257

放射投影直方图的构建及结构化公路 AOI 提取算法研究

李钢, 凌军, 张仁斌

(合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009)

摘要: 为了缩小车辆识别 AOI, 降低对本车状态的要求和行驶方向上车辆识别的难度, 提升车辆识别算法的鲁棒性, 提出一种基于放射投影直方图的结构化公路车道线提取方法, 建立了投影点选择评价模型及车道线区域角度划分模型。实验结果表明, 本方法适用于直车道线和具有一定曲率的弯道线检测, 对车辆的行驶方向要求较弱, 不仅可抗车辆遮挡、较强日光照射下形成的阴影干扰, 而且还可以抗车道线严重污损、长距离断线、减速带形成的强干扰。对强、暗光线有一定的适应能力, 具有较强的抗干扰能力。

关键词: AOI; 放射投影直方图; 投影点; 车道线提取

Study on construction of fan projection histogram and structured road AOI abstraction algorithm

Li Gang, Ling Jun, Zhang Renbin

(College of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009 China)

Abstract: A novel approach that based on fan projection histogram to obtain the lane of the structured road is proposed in the paper. The objectives of approach are to reduce the AOI of vehicle recognition, the demand of the vehicle status and the difficulty of vehicle recognition in the driving direction, as well as to strength the robustness of methods on vehicle recognition. Both models of choice appreciation of projection point and partition of regional angles of lanes are created. Results demonstrate that the method is suitable for both the straight lanes and lanes of moderate curvature. The method shows little dependence on the direction of the vehicle, which owns strong ability to resist the disturbances caused by the vehicle shades, intense sunshine and long serious lane absence. It can also resist the disturbance resulted from deceleration belt and adapt to stronger or weaker light to some extent.

Keywords: AOI; fan projection histogram; projection point; lane snatch

0 引言

基于视觉的辅助安全驾驶系统是近年来交通智能化领域研究的热点之一。以识别车道为前提, 缩小 AOI (area of interest), 更利于对障碍物 (包括车

辆) 的识别和车辆的自定位。目前, 运用车道的识别建立 AOI 区域的技术主要采用基于平面视觉的车道线识别。主要分为两大类: 一种是基于道路特征的方法^[1-5], 另一种是基于道路模型的方法^[6-10]。基于道路特征的方法难以从图像里远处、不太清晰、干扰大的位置正确提取车道。尤其是, 此方法对本

收稿日期: 2009-06-26; 修回日期: 2009-11-02

基金项目: 安徽省 2008 年科技攻关计划面上项目 (08010204253); 安徽省 2008 年度科技计划项目 (08020203013)。

第一作者简介: 李钢 (1956—), 男, 教授。2006 年于合肥工业大学获计算机应用技术专业博士学位, 主要研究方向为计算机视觉、计算机嵌入系统与智能控制、系统集成与质量控制。E-mail: gangchu@hfut.edu.cn。

车的行驶状态要求苛刻,如超车时,无法抗车辆遮挡、较强日光照射下形成的阴影干扰和车道线的严重污损、长距离断线形成的强干扰。基于道路模型的方法中最常见的是基于直线模型、采用 Hough 变换进行检测。但该算法不仅计算量较大,而且无法检出弯道。

提出了一种基于放射性投影^[11]直方图的车道识别算法。本算法不仅适用于直道,而且适用于有一定曲率的弯道;不仅可抗车辆遮挡、较强日光照射下形成的阴影干扰,而且还可以抗车道线严重污损,甚至长距离断线减速带形成的强干扰;对强、暗光线有一定的适应能力对本车行驶状态无特殊要求,如超车状态,具有较强的鲁棒性。

1 AOI 提取方法

1.1 算法的提出

首先对于原始图像进行灰度变换。在不同光照条件下,取阈值为灰度直方图自右向左,第一个峰值左边沿下降处的值,即可得到比较好的车道线提取效果。

如图 1 原始图像通过灰度变换为图 2。图 3 中取阈值为 245,二值化后得到图 4。将图像消隐线以上非感兴趣区置黑^[12],可得图 5。得到的图像中车道线占主要成分,不仅拥有近处的车道线,而且还拥有远处的车道线。

要实现对 3 条车道线的拟合,必须对车道线处的点正确划分。由于靠近左边车道的干扰点比较近,在远端,分属 3 条车道线的点同样比较近,加之可能存在的车道线的磨损(如左车道线)、可能出现的遮挡物(右车道线)以及中央的车道虚线,所以使用区域增长法无法获取车道线处的全部点。

针对上述问题,提出了基于放射投影直方图的车道线的分割方法。



图 1 原始 RGB 图像
Fig.1 Original RGB image



图 2 灰度图像
Fig.2 Grey image

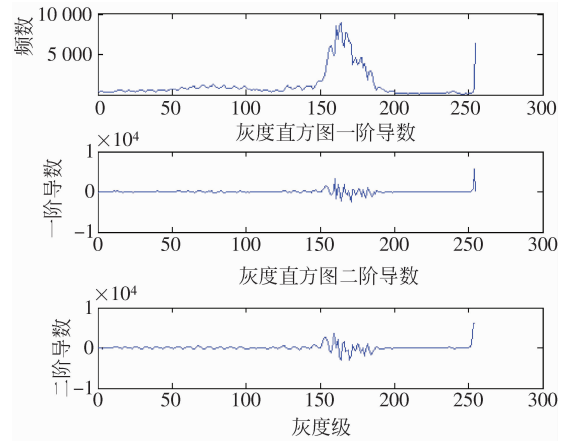


图 3 灰度直方图

Fig.3 Grey histogram



图 4 二值图像阈值为 245
Fig.4 Binary image threshold:245



图 5 消隐线上方置黑
Fig.5 Set the area above the elapse line as the black zone

1.2 基于放射投影直方图的 AOI 分割

以图 5 为例,只要在图像上高于车道线的地方寻找到投影点,必然可以通过其向下画两条斜线把 3 个车道线分隔开。现在问题分为 2 个:一个是如何找到投影点的位置;另一个是如何画这两条线,即如何对图 5 中点进行划分。针对第 1 个问题,1.2.1 提出了一种最佳投影点的测度模型(即投影点选择评价模型)及其搜索方法。针对第 2 个问题,1.2.2 建立了以放射投影峰值区为中心的各峰值区的拓展公式及拓展方法,即车道线区域角度划分模型。

1.2.1 最佳投影点测度模型及其求解

1.2.1.1 测度模型

1) 概念

(1)放射投影 以某点 a 为原点向四周旋转发出射线,在某角度上,射线照到图像上非零点,则在该角度上形成一个阴影。

(2)放射投影直方图 通过放射投影,统计所有角度或关心的角度上非零点的数目,形成一张以角度为横坐标,以非零点数目为纵坐标的 2 维统

计图。

(3) 放射投影峰值 放射投影直方图中波峰处的值。

(4) 放射投影峰值角 取放射投影峰值的角度。

(5) 放射投影峰值区 以放射投影峰值角为中心向左右两端拓展至第一个投影点数小于 5 的区域为止, 所形成的整个以波峰为中心的角度区域。

(6) 车道偏离度

$$L_D = \frac{D_M - (D_R + D_L)/2}{(D_R - D_L)/2} \quad (1)$$

D_R 、 D_L 、 D_M 分别为右、左、中车道线的放射投影峰值角。

2) 求解最佳投影点的测度模型

对消隐线上方置黑后的二值图, 以投影点为投影中心向下 180° 扫描, 统计出放射投影直方图。利用投影直方图求出非零角度的长度 PL 、放射投影峰值角、放射投影峰值区中所含非零点数 PAN 和整个投影区 ($0^\circ \sim 180^\circ$) 的非零点数 TPN 。将放射投影峰值角代入式(1), 可计算出车道偏离度 L_D 。

(1) 建立最佳投影点的测度函数

$$MR_EP = a_1 \times \frac{PL}{180} - a_2 \frac{PAN}{TPN} + a_3 \times |L_D| \quad (2)$$

目标: 求得使 MR_EP 取最小值的点。

式(2)中 $\frac{PL}{180}$ 项使得整个投影区非零角度的长度尽可能小;

$\frac{PAN}{TPN}$ 项使从该点投影后的非零点数更密集地集中在放射投影峰值区(因为通常车道线像素点大多应在放射投影峰值区)。

$|L_D|$ 项校正车道线倾斜, 因为车道线可能是直道也可能是有一定曲率的弯道; 在路面上行驶的车辆有可能在路面上的任一地方(左车道、右车道、两个车道的交界处)。从而保证本函数的适应面更广。

(2) 系数的确定

以图 1 为例, 在高速公路上能见到那么远的车道线, 一定程度上达到了极限, 即能对图 5 进行正确划分的系数, 对其他更弱约束的情形, 一般都可适用。如直道、不能在如此远处获取车道线的情形。

依据图 5, 搜索最佳投影点。通过优化算法可计算出系数 a_1 、 a_2 、 a_3 。这 3 个系数一般无需改动。多组实验表明, 使用 0.1、0.8、0.1 可以取得较好的划分效果。

图 6 示出了以 (103, 334) 为中心, 系数为 0.1、0.8、0.1 时, 在向左向右各 40 点, 向上 80 点的矩形范围内测度函数的值。最小值点在 (103, 330)。

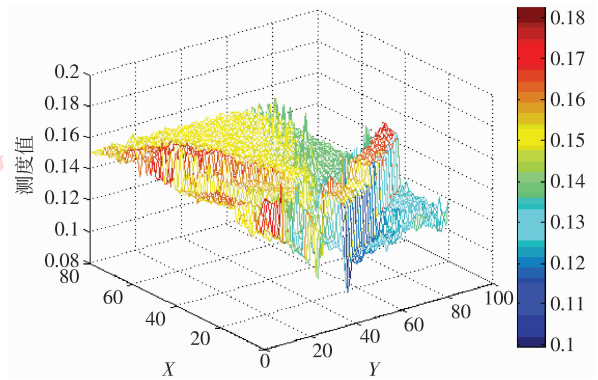


图 6 以 (103, 334) 为中心, 左右各 40 点, 向上 80 点区域内各点式(2)测度值。坐标原点: (103, 294)。系数: 0.1, 0.8, 0.1
Fig. 6 The formula (2) measure values of the points in the rectangle which bottom center is at point (103, 334). The rectangle's width is 40. Its height is 80. Coordinate origin: (103, 294). Co-efficient: 0.1, 0.8, 0.1

1. 2. 1. 2 寻找投影点的位置

1) 首次确定投影点搜索中心

(1) 求解最佳投影点

① 首先通过形态学算子开运算对消隐线上方置黑后的二值图去噪。可去除绝大多数噪声;

② 将车道线细化;

③ 找出细化后二值图中两个距离较远的最大连通区域;

④ 对这两个区域进行直线拟合;

⑤ 计算出两条直线的交叉点, 以交叉点为中心, 在其邻域按式(2)计算出最佳投影点;

⑥ 如该交叉点低于消隐线的下界, 即消隐线上方置黑后的二值图中最高点(当弯道时), 计算细化后二值图中最大区域的倾斜方向, 从交叉点按倾斜方向、向上搜索至消隐线, 按式(2)即可计算出最佳投影点。

(2) 求解次优投影点

为了满足实时性的要求, 可以次优投影点代替最佳投影点, 方法如下:

① 当交叉点在所有点的上方时, 可以直接以交叉点作为最佳投影点搜索中心, 在其 8 邻域内运用式(2)进行搜索;

② 由于当中央车道线在图片中偏向右时, 当车道远方向右时, 才可见到弯道, 而交叉点偏向左车

道,这时交叉点上方通常有非零点;而车道远方向左时,见不到弯道,交叉点通常在所有点上方,只需按①步即可。偏左情况类同。车道线方向的判别同(1)中⑥;

当交叉点低于消隐线的下界时,横向取交叉点所在行向上至消隐线,纵向向右截取这一小块图像,沿纵向投影,取得最右端点 k 的坐标。设点 m 的横坐标同交叉点横坐标,纵坐标为交叉点和 k 点的中心。设点 n 的横坐标为消隐线上方置黑后的二值图中车道线上最上面一行 -1 ,纵坐标和点 m 的纵坐标相同。自点 n 向上至消隐线搜索次优投影点。

2) 以后各帧的投影点的求解

由于前后帧间存在相关性,可以前一帧的投影点为中心进行 8 邻域搜索,以取最小测度值的点为新的投影点。

针对第 2 个问题:如何对投影角度($0^\circ \sim 180^\circ$)进行分割。建立了以放射投影峰值区为中心的各峰值区的拓展公式及拓展方法,即车道线区域角度划分模型。

1.2.2 AOI 点的划分

1) 概念

(1) 放射投影峰值区概率

$$P_{PPR} = \frac{N_{PPR}}{A_{PPR}} \quad (3)$$

N_{PPR} 为某放射投影区的点数; A_{PPR} 为所有放射投影区的点数。

(2) 放射投影峰值区的熵

$$E_{PPR} = - \sum_i (P_{PPR}(i) \times \log_2 P_{PPR}(i)) \quad (4)$$

放射投影峰值区的拓展指数

$$I_{PPR} = \frac{-\log_2 P_{PPR}}{E_{PPR}} \quad (5)$$

(3) 交叉度 定义数组 (a_1, a_2) 、 (a_3, a_4) 、 (a_5, a_6) 记 $IC(a, b)$ 为 a, b 逆序。对上述数组进行排序

$$CD = \begin{cases} \sum_{IC(i,j)} (a_i - a_j + 1) & \exists IC(i,j) \\ a_2 - a_3 + a_4 - a_5 & \neg \exists IC(i,j) \end{cases} \quad (6)$$

2) 放射投影峰值区的拓展

(1) 依据放射投影峰值区长度、放射投影峰值区的熵,获得拓展放射投影峰值区的长度,以放射投影峰值为中心向左右两边拓展,取得相应车道线拥有的投影角度。

投影峰值区的拓展公式如下:

$$MRL = RL \times MB^{I_{PPR}} \quad (7)$$

式中, MRL 为某放射投影区调整后的长度, RL 为某放射投影区的长度, MB 为底数, $MB \in (1, 2]$

(2) MB 的确定

根据初始放射投影峰值区可以得出 3 条车道线的投影区的初始角度数据,调整 MB 的值,运用式(7)拓展放射投影区角度,并按式(6)计算出它们的交叉度。当交叉度为最大负数时,就是划分车道线的最佳位置。

2 实验及结果分析

在 P42.8、内存 1 G 环境下,使用 Matlab 进行仿真实验,算法流程如图 7 所示。以图 1 所示的弯道为例,通过灰度变换(图 2)、二值化(图 4)、消隐线上方置黑(图 5)、开运算(图 8)、细化(图 9)、对距离较远的两个最大连通区域进行直线拟合(图 10)后,在图 11 中可见交叉点低于消隐线下界。通过运用式(2)可得次优投影点 $n(103, 334)$ (图 12)。以点 n 进行放射投影后,得到放射投影直方图(图 13)。

依据表 1 中数据提取出初始放射投影峰值区,即对车道线归属角进行初始划分。然后,再运用式(7)对初始放射投影峰值区进行拓展调整。对于图 5,计算得 $MB = 1.9$,交叉度 $CD = -90$ 。表 2 为初始、拓展放射投影峰值区对比结果。拓展后的各峰值区相对初始区有明显的改善。由实验可见,如图 14(c),直接利用初始放射投影峰值区,可以将图 5 中的左车道线分割出来,但中间和右边的车道线所获得的信息点不足。由图 14 和图 15 可见,拓展峰值区后,提取的车道线的像素点几乎都得到利用。

对划分出的各车道线采用二次曲线拟合。由图 16 可见,对超车、大面积遮挡、阴影、较强日光干扰下弯道,本算法提取出的 AOI 区域(蓝色线)比采用传统方法提取出的区域(红色线)要大。能识别出具有一定曲率的弯道。

对直道线拟合后的效果,如图 17,在前方存在 3 辆车的干扰下仍可以顺利提取出车道线。正确建立 AOI 区域。

护栏上强光形成的干扰,天桥、车辆投射下的阴影,近处车辆和多车形成的长度很大的遮挡,没有影响到车道线的提取和 AOI 的建立。

如图 18、19,本算法在强日光照射、低照度下仍可以正确提取出车道线,建立 AOI。

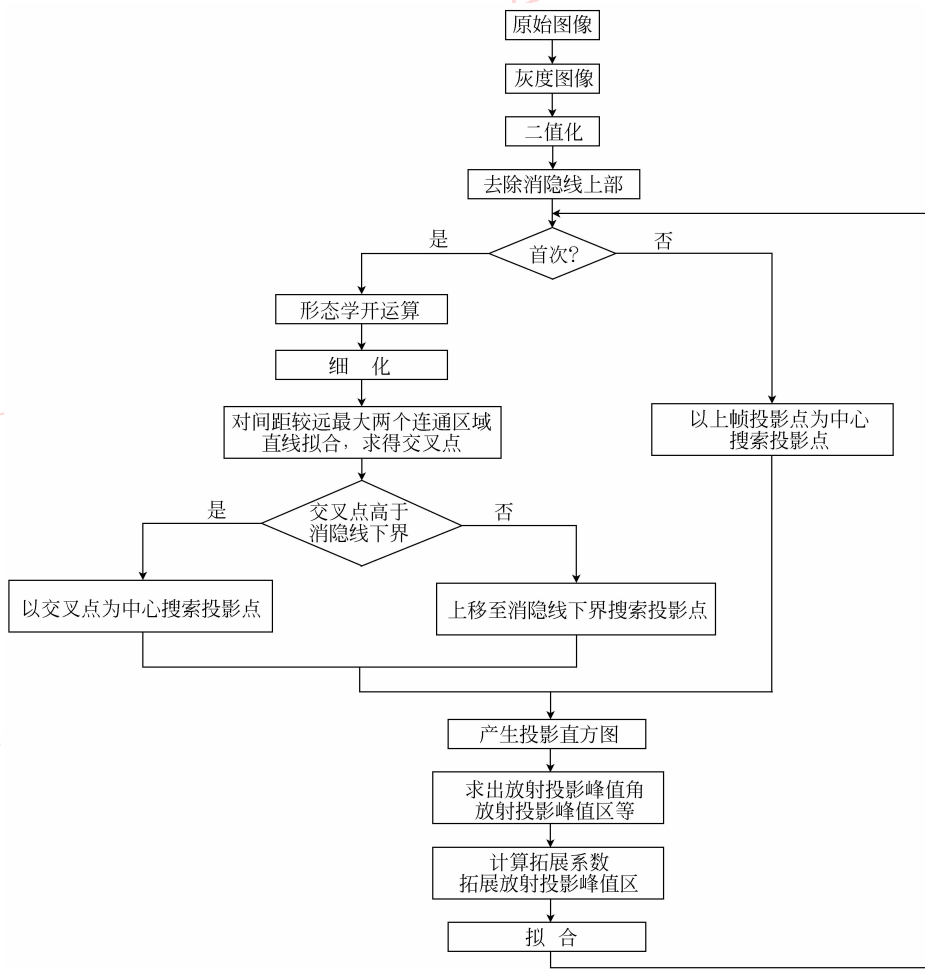


图 7 算法流程图

Fig. 7 Flow chart of the algorithm

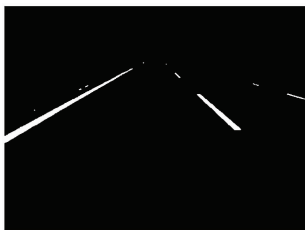


图 8 开运算抹去噪声

Fig. 8 Remove noise with opening operation



图 9 细化后

Fig. 9 After skeletonization



图 10 对细化后距离较远的两个最大连通区域进行直线拟合

Fig. 10 Linear fitness to the two biggest connective areas which are farther each other



图 11 直线拟合标记在 RGB 图上

Fig. 11 Mark result of linear fitness on RGB image

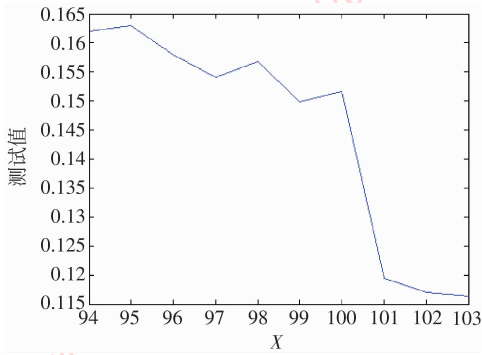


图 12 自点 $n(103,334)$ 向上 10 点的测度值取点 n 为次优投影分割点

Fig. 12 Measurement values of the ten points above point $n(103,334)$ select n as the suboptimal projection division point

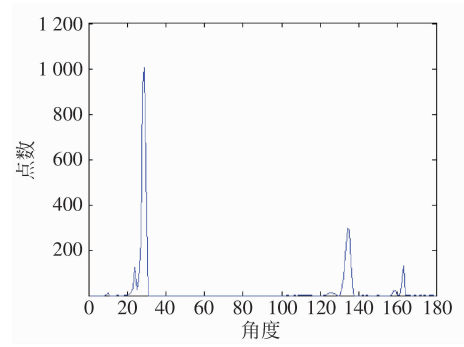


图 13 图 5 的放射投影直方图以点 $n(103,334)$ 为投影点

Fig. 13 The fan projection histogram of Fig. 5 projection point is $n(103,334)$

表 1 放射投影直方图统计数据 (对应于图 12)

Tab. 1 Statistic data in fan projection histogram of Fig. 12

车道	左	中	右
放射投影峰值角/度	29	134	163
放射投影峰值/点	1 005	297	133
放射投影峰值区/度	21 ~ 30	131 ~ 137	162 ~ 163

表 2 初始、拓展放射投影峰值区对比

Tab. 2 Comparison of initial and extended fan projection peak zone

车道	左	中	右
初始放射投影峰值角/度	29	134	163
初始放射投影峰值/点	1 005	297	133
初始放射投影峰值区/度	21 ~ 30	131 ~ 137	162 ~ 163
拓展后放射投影峰值区/度	22 ~ 36	123 ~ 145	148 ~ 178

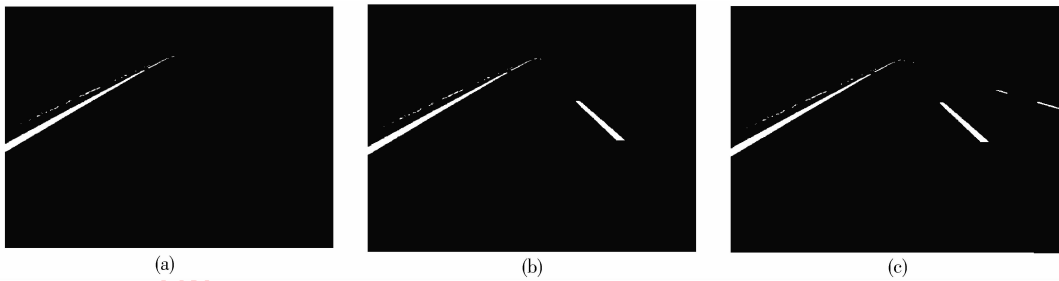


图 14 初始峰值区
Fig. 14 Initial peak zone

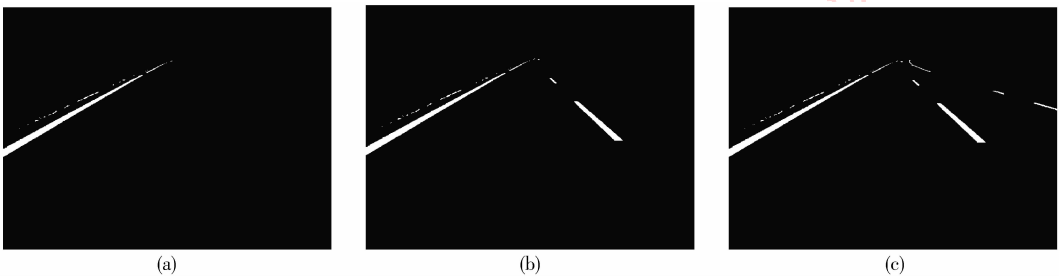


图 15 拓展峰值区后
Fig. 15 After extension of the initial peak zone



图 16 超车、大面积遮挡、阴影、较强日光干扰下弯道提取 (红色线 RF、HT 提取; 蓝色线本文算法提取)

Fig. 16 Snatching curves under disturbance of overtaking, large area shield and stronger sunlight (Red line: RF, HT; Blue line: our algorithm)



图 17 多车干扰下直道提取 (RF 只能提取本车道; HT、本文算法都可提取)

Fig. 17 Snatching straight lanes under disturbance of several vehicles (RF can only snatch the current lane; HT and our algorithm can snatch all)



图 18 本文算法在强日光照射下 AOI 提取

Fig. 18 AOI abstraction under the stronger sunlight with our algorithm



图 19 本文算法在低照度下的 AOI 提取

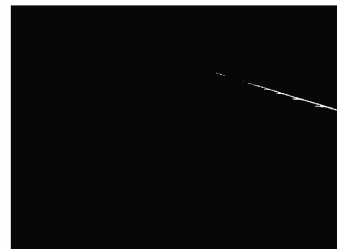
Fig. 19 AOI abstraction under weaker sunlight with our algorithm



(a)



(b)



(c)

图 20 本文算法对存在减速带干扰的车道线划分出的峰值区

Fig. 20 The peak zones divided by our algorithm under the disturbance of deceleration belt

对存在减速带干扰的车道线进行提取时,由前后帧间连续性可知,投影峰值区、峰值角必然连续,当放射投影直方图在峰值区间的像素超过阈值,且这些点不断增加时,可以断定进入了存在横道线、车道指示线路面。此时对图像水平投影直方图中超过指定阈值的行置黑,然后对该图像进行放射投影、拓展峰值区。抹去横向线的图像的峰值区数据由原始图像中对应于角度数据代替,然后再进行拟合。峰值区划分如图 20,拟合结果如图 21,本文算法与其他算法的比较如表 3 所示。



图 21 本文算法对带减速带干扰的车道线的提取结果

Fig. 21 Abstraction of lane under the disturbance of deceleration belt with our algorithm

表3 本文方法与其他算法的比较

Tab.3 Comparison of our method and other methods

算法	直道	弯道	处理时间	超车状态	AOI 提取面积	抗干扰能力
基于道路特征(RF)	可以	可以	短	不可	本道 小	大面积遮挡、污损,复杂路面无法识别
基于道路模型(HT)	可以	不可以	长	可以	直道 全路面	无法识别大面积遮挡、带减速带车道,只能识别直道
本文算法(FP)	可以	可以	较长	可以	全路面 大 可以有一定曲率	大面积遮挡、污损,明、暗光线、带减速带路面可识

3 结 论

提出了放射投影直方图这一概念,并在这一概念基础上建立了投影点选择评价模型,以合理地选择投影点。其次,建立了车道线区域角度划分模型,提出放射投影峰值区的拓展公式,不仅补充了信息点不足的车道线的信息点,而且减少了含噪声车道线中的噪声,充分利用了检出的车道线像素点。再次,基于上述两个关键模型,本算法对本车行驶状态无特殊要求,实现了超车状态下,在车辆遮挡、较强日光照射下形成的阴影干扰和车道线严重污损,长距离断线形成的强干扰下,正确对直道和有一定曲率的弯道提取 AOI。本算法可以对强、暗光线下和带减速带干扰下的车道进行 AOI 提取,具有较强的鲁棒性。

该算法不仅适用于单车道的检测,而且适用于多车道的检测,可以获取充分的 AOI,为后续建立在 AOI 上的车辆辨识,测距等提供强有力的基础。

该算法克服了使用 Hough 变换方法,只能提取直道的弊端;克服了传统方法对场景和行车状态的过强约束要求的弊端;克服了传统算法中只能对单车道进行较有效提取的弊端;克服了对车道线清晰度、连续性要求过强的弊端。

本文算法的投影点的系数的求解需要非常大的计算量,由于条件限制,没有办法计算出更合理的系数。此外,该算法需进一步改进,如采用分段处理方式,以应对较大曲率弯道的检测。

参考文献 (References)

- [1] Liao Chuanjin, Huang Xiyue, Cai Yi, et al. A lane finding algorithm based on edge detection and feature tracking[J]. Journal of Chongqing University, 2002, 25(1): 61-64. [廖传锦, 黄席樾, 柴毅, 等. 基于边缘提取和特征跟踪的道路检测算法[J]. 重庆大学学报, 2002, 25(1): 61-64.]
- [2] He Yuzhi, Lu Jianfeng. Lane detection based on the adaboost algorithm[J]. Journal of Jiangnan University, 2007, 6(6): 887-890. [何毓知, 陆建峰. 基于 Adaboost 的行道线检测[J]. 江南大学学报, 2007, 6(6): 887-890.]
- [3] Tian Min, Liu Fuqiang, Zhu Wenhong, et al. Vision based lane detection for active security in intelligent vehicle[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. Washington DC, USA: IEEE, 2006: 507-511.
- [4] Tsai L W, Hsieh J W, Chuang C H, et al. Lane detection using directional random walks [C]//Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Washington DC, USA: IEEE, 2008: 303-306.
- [5] Cheng H Y, Yu C C, Tseng C C, et al. Hierarchical lane detection for different types of roads [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Washington DC, USA: IEEE, 2008: 1349-1352.
- [6] Assidiq A A M, Khalifa O O, Islam R, et al. Real time lane detection for autonomous vehicles [C]//Proceedings of International Conference on Computer and Communication Engineering. Washington DC, USA: IEEE, 2008: 82-88.
- [7] Saudi A, Teo J, Mohd Hanafi Ahmad Hijazi, et al. Fast lane detection with randomized Hough transform [C]// Proceedings of International Symposium on Information Technology. Washington DC, USA: IEEE, 2008: 1-5.
- [8] Takahashi A, Ninomiya Y, Ohta M, et al. Rear view lane detection by wide angle camera [C]//Proceedings of IEEE Intelligent Vehicle Symposium. Washington DC, USA: IEEE, 2002, 1: 148-153.
- [9] Takahashi A, Ninomiya Y, Ohta M, et al. A robust lane detection using real-time voting processor [C]//Proceedings of IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems. Washington DC, USA: IEEE, 1999: 577-580.
- [10] Tian Bingxiang, Zheng Banggui, Hao Jing. Research on lane detection and tracking algorithm of highway [J]. Modern Electronic Technology, 2008, 31(9): 180-183. [田炳香, 郑榜贵, 吴晴. 高速公路车道线检测与跟踪算法研究[J]. 现代电子技术, 2008, 31(9): 180-183.]
- [11] Yang Fang. Research on vision information processing technology of host vehicle on structured road [D]. Changsha: Central South University, 2007. [杨芳. 结构化公路上自主车的视觉信息处理技术研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.]
- [12] Shi Zhongke, Cao Li. Detection and Analysis of Traffic Image [M]. Beijing: Science Publishing Press, 2007: 198. [史忠科, 曹力. 交通图像检测与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 198.]