

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **6**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年6月 第17卷 第6期(总第194期)

## 目次

### 综述

- 人脸图像的年龄估计技术研究 ..... 王先梅, 梁玲燕, 王志良, 胡四泉(603)
- 图像统计模型参数估计中的期望最大值算法 ..... 李旭超(619)

### 图像处理和编码

- 鲁棒的梯度驱动图像修复算法 ..... 叶学义, 王靖, 赵知劲, 陈华华(630)
- 快速去块效应的线性规划方法 ..... 金剑秋, 刘春晓, 王勋, 章志勇(636)
- DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法 ..... 叶天语(644)
- Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取 ..... 冀峰, 高新波, 谢松云(651)

### 图像分析和识别

- 梯度点对约束的结构化车道检测 ..... 王永忠, 王晓云, 文成林(657)
- 多水平外区抑制的轮廓检测 ..... 闫超, 张建州(664)
- 基于局部投影与块 LBP 特征的图像检索 ..... 邹彬, 潘志斌, 胡森(671)

### 图像理解和计算机视觉

- 视觉陌生度驱动的增量自主式视觉学习算法 ..... 瞿心昱, 姚明海, 顾勤龙(678)
- 霍夫空间中多足球机器人协作目标定位算法 ..... 许家铭, 解仑, 王志良, 倪善超(687)

### 计算机图形学

- 虚拟 CCD 线阵星载光学传感器内视场拼接 ..... 张过, 刘斌, 江万寿(696)

“第八届数字电视与无线多媒体通信国际论坛”会议专栏

追踪盗版者的抗共谋数字指纹 ..... 李晓强, 张煌, 赵洋洋, 汪晶晶(702)

LBP 与鉴别模式结合的热红外人脸识别 ..... 谢志华, 伍世虔, 方志军(707)

电影中复杂事件的检索与识别 ..... 杜吉祥, 郭一兰, 翟传敏(712)

方向特征和网格特征融合的离线签名鉴别 ..... 杨丹凤, 吕岳(717)

视觉关注度的立体图像质量评价 ..... 张艳, 安平, 张秋闻, 张兆杨(722)

低开销的异构数据交换 ..... 赵凯, 赵正德(726)

灵活的多视点视频编码预测结构 ..... 张艳, 蔡灿辉(730)

跨层反馈在无线视频自适应编码中的应用 ..... 王焱中, 郑世宝, 张重阳, 刘勃(736)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 6 期

2012 年 6 月 16 日出版

主管单位 中国科学院  
主 办 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所  
主 编 李小文  
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn  
印刷装订 北京北林印刷厂  
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号  
总 发 行 北京报刊发行局  
订 购 全国各地邮局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 6 June 2012

## Contents

### Review

- Age estimation by facial image: a survey ..... Wang Xianmei, Liang Lingyan, Wang Zhiliang, Hu Siqian(603)  
Expectation maximization method for parameter estimation of image statistical model ..... Li Xuchao(619)

### Image Processing and Coding

- Robust gradient driving image inpainting method ..... Ye Xueyi, Wang Jing, Zhao Zhijing, Chen Huahua(630)  
Fast image de-blocking by linear programming ..... Jin Jianqiu, Liu Chunxiao, Wang Xun, Zhang Zhiyong(636)  
Perfectly blind self-embedding robust quantization-based watermarking scheme in DWT-SVD domain ..... Ye Tianyu(644)  
Weak edge detection using Mean-shift filtering and histogram enhancement ..... Ji Feng, Gao Xinbo, Xie Songyun(651)

### Image Analysis and Recognition

- Gradient-pair constraint for structure lane detection ..... Wang Yongzhong, Wang Xiaoyun, Wen Chenglin(657)  
Contour detection based on multilevel inhibition ..... Yan Chao, Zhang Jianzhou(664)  
Image retrieval method based on local projection and block LBP feature ..... Zou Bin, Pan Zhibin, Hu Sen(671)

### Image Understanding and Computer Vision

- Visual novelty driven incremental and autonomous visual learning algorithm ..... Qu Xinyu, Yao Minghai, Gu Qinlong(678)  
Target localization algorithm for cooperative multi-soccer robots based on Hough space .....  
..... Xu Jiaming, Xie Lun, Wang Zhiliang, Ni Shanchao(687)

### Computer Graphics

- Inner FOV stitching algorithm of spaceborne optical sensor based on the virtual CCD line .....  
..... Zhang Guo, Liu Bin, Jiang Wangshou(696)

### Special Issue of the IFIC' 2011

- Anti-collusion fingerprinting scheme capable of tracing pirate ..... Li Xiaoqiang, Zhang Huang, Zhao Yangyang, Wang Jingjing(702)  
Infrared face recognition using LBP and discrimination patterns ..... Xie Zhihua, Wu Shiqian, Fang Zhijun(707)  
Recognize and retrieval complex events in real movies ..... Du Jixiang, Guo Yilan, Zhai Chuanmin(712)  
Off-line signature verification based on combination of direction feature and grid feature ..... Yang Danfeng, Lv Yue(717)  
Stereo image quality assessment based on visual attention ..... Zhang Yan, An Ping, Zhang Qiuwen, Zhang Zhaoyang(722)  
Low overhead of heterogeneous data exchange ..... Zhao Kai, Zhao Zhengde(726)  
Flexible prediction structure for multi-view video coding ..... Zhang Yan, Cai Canhui(730)  
Cross-layer feedback based adaptive coding for wireless video transmission .....  
..... Wang Yaozhong, Zheng Shibao, Zhang Chongyang, Liu Bo(736)

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)06-0657-07

论文引用格式: 王永忠, 王晓云, 文成林. 梯度点对约束的结构化车道检测[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 657-663.

## 梯度点对约束的结构化车道检测

王永忠, 王晓云, 文成林

杭州电子科技大学自动化学院, 杭州 310018

**摘要:** 车道检测是无人驾驶车辆及车道偏离预警等系统的关键技术。针对复杂道路环境中, 阴影、路面破损及车辆遮挡等常造成车道检测不准确的问题, 提出利用结构化道路两侧车道线上常具有相反方向梯度的性质, 将两侧车道线的检测转化为梯度点对约束下的车道中线及宽度检测。然后分别采用平行透视投影模型及线性双曲线模型, 通过 Hough 变换获得了对车道消失点、宽度及车道中线等参数的估计, 最终实现了对不同形状结构化车道的检测。比较了本文算法与其他两种车道检测算法在不同复杂道路环境下的车道线检测性能, 结果表明了本文算法的有效性。

**关键词:** 车道线检测; 梯度点对约束; 线性双曲线模型; 平行透视模型; Hough 变换

## Gradient-pair constraint for structure lane detection

Wang Yongzhong, Wang Xiaoyun, Wen Chenglin

School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China

**Abstract:** The lane detection is a key step in unmanned vehicles and lane departure warning system. For improving the reliability of lane detection under complicated situation, such as shadows, damaged pavement and vehicle occlusion, the characters of structure lane that the gradient of both side lane marker have opposite directions is utilized, and the lane detection problem is converted to detect the middle line and width of lane based on gradient-pair constraint. Then the parallel perspective model and linear-hyperbola model are used respectively to estimate the vanishing point coordinate, lane width and parameters of middle line by Hough transform. Compared with the other two algorithms under complicated lane situation in extensive experiments, the results demonstrate the effectiveness of the proposed method.

**Key words:** lane detection; gradient-pair constraint; linear-hyperbola model; parallel perspective model; Hough transform

## 0 引言

车道线检测是实现无人车自动驾驶及车道偏离预警等系统的关键基础。近十几年来结构化道路检测一直是国内外的研究热点, 研究者提出了许多不同的车道检测方法, 并在实际中获得了一些成功的应用<sup>[1-2]</sup>。但在复杂的交通场景中, 结构化车道的检

测常面临着路边树木及建筑物阴影干扰、路面破损、车道上行驶车辆的遮挡以及路面其他交通标识的影响, 使得在复杂行车环境下实现准确可靠的车道线检测依然面临着很多困难。

现有的车道检测算法一般可分为基于特征的方法和基于模型的方法。基于特征的方法通常是通过提取路面的颜色<sup>[3]</sup>、纹理<sup>[4]</sup>或边缘<sup>[5]</sup>等特征, 利用区域增长或分类的方法<sup>[4,6]</sup>获得道路区域。此类方

收稿日期: 2011-09-28; 修回日期: 2012-02-29

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划子项(91016020); 浙江省自然科学基金项目(Y12F030013)

第一作者简介: 王永忠(1971—), 男, 讲师, 2009年于西北工业大学获得控制科学与工程专业博士学位, 主要研究为视觉运动目标的检测与跟踪、图像与视频处理、智能视频监控等, 已发表论文近20篇。E-mail: yzwang@hdu.edu.cn

法不需要建立车道的几何模型,可以适应任何形状的道路检测。但实际中大多数结构化道路的路面特征往往比较单一,难以提取具有较好可分性的道路特征,因而易受其他与路面相似的非道路区域的干扰。而基于模型的方法<sup>[7-14]</sup>是根据道路几何形状选择相应的车道模型,将车道的检测转化为对模型未知参数的估计。常用的车道模型有直线模型<sup>[7]</sup>、线性抛物线模型<sup>[8-9]</sup>、二次曲线模型<sup>[10]</sup>、线性双曲线模型<sup>[11]</sup>以及 B 样条曲线模型<sup>[12-14]</sup>等。相较于基于特征的方法,基于模型的方法只需较少的参数就可以描述整个道路,因而在结构化车道线检测中获得了较多的应用。但此类方法一般都是采用边缘检测方法获得车道线或道路边缘,然后利用 Hough 变换、RANSAC(random sample consensus)或最小二乘等方法估计相应的道路模型参数。显然阴影、遮挡及路面破损等都会造成车道边缘检测的不准确,使得最终得到的道路模型容易产生错误。

为了克服实际复杂交通场景下阴影、遮挡及路面其他地面交通标识对车道线检测的影响,提出一种新的基于梯度点对约束的车道线检测算法。该方法的主要思想是利用道路两边车道线上常具有相反梯度方向的性质,进一步提取结构化道路的几何特征,用具有相反梯度方向的点对作为约束,提取可靠的车道中点坐标;在此基础上,根据两侧车道线的平行透视模型<sup>[14]</sup>及基于线性双曲线函数描述的车道模型,分别利用两次 Hough 变换获得对车道消失点的坐标、车道宽度以及车道中线模型参数的估计,实现道路两侧车道线的检测。

## 1 基于梯度点对约束的车道检测

一般的基于模型的车道检测算法大多是利用检测到的边缘点直接估计道路模型参数,虽然 Hough 变换或 RANSAC 等方法在参数估计过程中对消除离群点的影响具有一定作用,但在复杂道路环境下,杂乱背景、阴影、车辆遮挡或其他交通标识常会产生大量的边缘点,从而使得直接利用检测到的边缘点进行道路模型拟合时,会产生较大的误差甚至是误检。因此,有必要对检测到的边缘点做进一步的约束。结构化道路两侧的车道线或道路边缘通常是平行的,并且在两侧车道线上的梯度往往具有相向或相反的方向。基于上述考虑,提出利用具有相向或相反梯度方向的边缘点对,作为道路检测的进一步

几何约束,并将结构化道路两侧车道线的检测转化为对道路中线模型以及道路宽度参数的估计。显然如果能够获得道路中线模型以及道路宽度参数,那么就可以很容易实现道路两侧车道线的检测。

### 1.1 梯度点对提取

首先对获得的帧图像利用 Sobel 算子进行边缘检测,为了消除噪声对边缘图像的影响,分别采用形态学滤波及连通域判别的方法,消除噪声及连通区域面积小于阈值的连通域,从而获得边缘图像  $I_b$ 。此外,根据 Sobel 算子的检测结果,还可以得到每个边缘点上水平方向的梯度值。

如图 1 所示,车道两侧标志线在水平方向上的梯度往往具有相向或相反的性质,定义水平梯度方向向左的边缘点为左梯度点,反之为右梯度点。

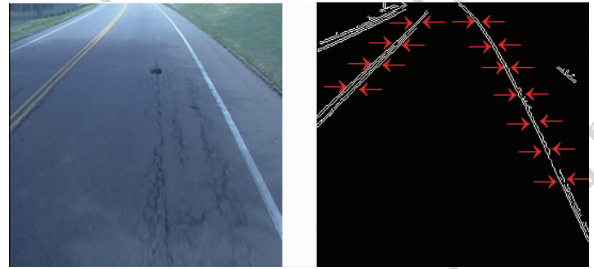


图 1 原始图像及梯度点对

Fig. 1 Original image and gradient-pair

提取梯度点对的过程如下:首先,在边缘图像的每一行中,统计水平梯度方向朝左的边缘点,构成该行的左梯度点集  $G_{left} = \{(u_i^l, v_i^l) \mid i = 1, 2, \dots, m\}$ ,同样统计方向朝右的边缘点,构成该行的右梯度点集  $G_{right} = \{(u_j^r, v_j^r) \mid j = 1, 2, \dots, n\}$ ,其中  $u$  和  $v$  分别表示边缘点的行坐标和列坐标,  $m$  和  $n$  分别表示该行中水平梯度方向向左和向右的边缘点个数;然后,将该行  $G_{left}$  中的每一个点分别与  $G_{right}$  中的每一个点进行组合,构成  $m \times n$  个水平梯度方向相反的点对;如果组成梯度点对的两个点之间的距离大于设定的阈值,则该梯度点对被认为是有效的梯度点对;最后,计算每个有效梯度点对的中点,构成该行的车道候选中线点集  $Mid = \{(u_i, v_i) \mid i = 1, 2, \dots\}$ ,同时计算有效梯度点对间的距离,构成该行的车道候选宽度点集  $Dis = \{(d_i, v_i) \mid i = 1, 2, \dots\}$ 。对图像中每一行的边缘点都作上述处理,可以提取到每一行的候选车道中线点集和候选车道宽度点集。

### 1.2 车道宽度及消失点坐标估计

在本文车道线检测算法中,需要估计车道的宽度。

显然,由于背景干扰、遮挡及阴影等,上述提取的候选车道宽度点集中包含了一些并非对应真实车道宽度的点对,因此需要相应的方法消除离群点的影响,获得真实的车道宽度。此外,因采用的车道中线模型为线性双曲线模型,故需要对车道的消失点进行估计。

国内外研究者已经提出了许多消失点检测方法:如高斯球映射方法,但该方法需要对摄像机的内部参数进行整定;在文献[11]中,通过计算两直线车道交点获得消失点的方法,需要分别获得两侧直线车道线模型,进行交点的求解;文献[14]则假设两侧的车道线为平行的直线,将道路图像分成大小不同的区域,在每个区域中利用 CHEVP (Canny/Hough estimation of vanishing points) 算法获得消失点坐标,但该算法对道路区域的划分不具有自适应性;而 Gabor 小波变换加投票法<sup>[15-16]</sup>则需要计算不同尺度及方向下的 Gabor 响应,计算复杂度较高。

与上述方法不同,本文直接利用获得的候选车道宽度点集,根据平行透视模型,实现对车道宽度以及消失点的估计。

如图 2(a) 所示,通常结构化道路在世界坐标系下是平行的,右侧车道标志线可看作是左侧车道标志线平移一定车道宽度  $D$  的结果,  $D = x^r - x^l$ ,  $x^l, x^r$  是世界坐标系下左右侧车道边界点  $P^L(x^l, y)$  和  $P^R(x^r, y)$  在  $x$  轴上的坐标值。经透视投影变换后,如图 2(b) 所示,在图像坐标系下,边界点  $p^l(u^l, v)$  和  $p^r(u^r, v)$  对应的车道宽度为  $d = u^r - u^l$ 。

根据透视原理,图像坐标系下的车道宽度  $d$  和世界坐标系下的车道宽度  $D$  满足关系<sup>[14]</sup>

$$d = k(v - vp_y) \quad (1)$$

式中,  $k = f^2 D / H(f^2 + vp_y^2)$ , 反映车道宽度经透视变换后满足的约束关系; $f$  为摄像机的焦距,  $H$  是摄像机相对地面的高度,  $vp_y$  是车道消失点在图像中行坐标,  $v$  是图像空间中车道边界点的行坐标值。显然,如果在图像中获得了每行  $v$  对应的车道宽度  $d$ , 则可以根据式(1)直接估计参数  $k$  和消失点坐标  $vp_y$ , 而不需要涉及摄像机参数。考虑到提取的候选车道宽度点集中包含了一些离群点,而 Hough 变换可以较好地克服离群点的影响,因此,根据梯度点对约束所获得的所有行的候选车道宽度点集,利用 Hough 变换实现式(1)中消失点坐标  $vp_y$  和平行透视投影参数  $k$  的估计。有了消失点坐标  $vp_y$  和平行透视投影参数  $k$ , 反过来可以利用式(1)计算图像中每行所对应的真实车道宽度。

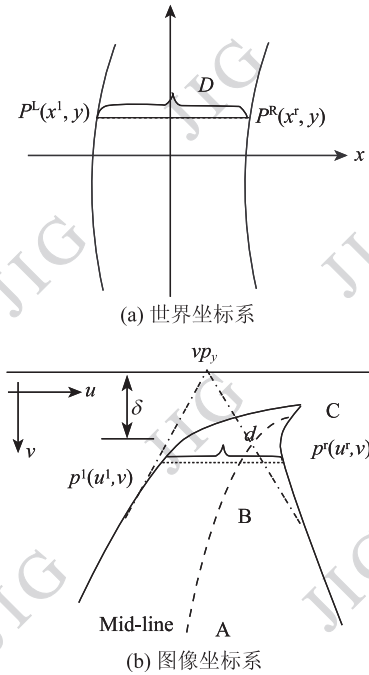


图 2 平行透视模型

Fig. 2 Parallel perspective model

### 1.3 车道模型参数估计

根据道路的先验知识,利用 2 维或 3 维曲线进行道路建模<sup>[7-14]</sup>,实现车道中线的检测。在不同的车道模型中,直线模型计算量小,但缺乏描述不同形状道路的能力;而 B 样条模型可以适用于不同形状的道路<sup>[12-14]</sup>,但易受噪声的影响,并且计算量较大。相对于上述模型,线性双曲线模型可以同时描述直线和曲线道路,且比 B 样条曲线模型简单。因此采用线性双曲线模型实现车道中线的检测,其表达式为

$$u = a / (v - vp_y) + b(v - vp_y) + c = f_1(v) + f_2(v) + c \quad (2)$$

式中,  $a, b, c$  是线性双曲线模型的参数,  $u, v$  分别是图像空间中车道中线的列坐标值和行坐标值,而  $vp_y$  是车道线的消失点的行坐标值,  $f_1(v) = a / (v - vp_y)$ ,  $f_2(v) = b(v - vp_y)$ , 可以看出,  $f_1$  对应一条双曲线,而  $f_2$  对应一条直线。在线性双曲线模型中,参数  $a, b, c$  选择不同的值,可以实现直线道路、左转弯道路和右转弯道路的检测,其几何意义如图 2(b) 所示。

在图 2(b) 中虚线为车道中线,对于远端道路 BC, 即当  $v - vp_y < \delta$  时,  $f_2(v) < b\delta$ , 且随着  $v$  减小,  $f_2(v)$  也相应减小,而  $f_1(v)$  会增大,可见此时  $u$  主要由  $f_1(v)$  项决定,即可以描述远端道路为曲线的状况。同理,对于近处道路 AB, 当  $v - vp_y > \delta$  时,

$f_1(v) < a/\delta$ , 且随  $v$  增大,  $f_1(v)$  减小, 而  $f_2(v)$  增大, 此时  $u$  主要由  $f_2(v)$  项决定, 从而可以实现近处道路为直线的检测。

在线性双曲线模型中, 参数  $a$  反映道路的弯曲程度, 参数  $b$  反映道路相对于图像坐标系原点的斜率, 参数  $c$  反映车道线相对于  $v$  轴的平移量, 参数  $vp_y$  是两侧车道线经透视变换后交点的行坐标, 既车道消失点的行坐标。为了描述车道的中线, 通常需要对式(2)中的 4 个未知参数进行估计, 这是一个非线性参数估计问题, 计算量较大。而本文利用平行透视关系已经获得消失点的行坐标  $vp_y$ , 因此可以将式(2)中的非线性参数估计问题转化为线性参数估计, 从而减小计算量。由于基于梯度点对获得的候选车道中线点集中不可避免地也会包含一些由阴影、遮挡或是背景干扰造成的离群点, 而基于全局投票思想的 Hough 变换对离群点比较鲁棒。因此在基于梯度点对约束获得候选中线点集  $Mid$  的基础上, 再次利用 Hough 变换对式(2)中的未知参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  进行估计, 从而获得待检测车道的中线模型。

在获得车道中线和车道宽度参数之后, 根据结构化车道两侧车道线平行的性质, 可以很容易实现两侧车道线的检测。假设根据式(2)检测到的车道中线点为  $L_{mid} = (u^z, v^z)$ , 则车道的左侧边界点  $L_{left} = (u^l, v^l)$  和右侧边界点  $L_{right} = (u^r, v^r)$  可以根据下式计算

$$\begin{cases} u^l = u^z - 0.5d = u^z - 0.5k(v - vp_y) \\ u^r = u^z + 0.5d = u^z + 0.5k(v - vp_y) \\ v^l = v^r = v^z \end{cases} \quad (3)$$

#### 1.4 算法流程

综上所述, 基于梯度点对约束及线性双曲线模型的车道线检测算法流程如下:

1) 利用 Sobel 算子和形态学滤波方法对原始图像进行边缘检测, 得到边缘图像  $I_b$ ;

2) 根据每个边缘点的水平梯度, 利用梯度点对约束获得车道中线候选点集  $Mid = \{(u_i, v_i) \mid i = 1, 2, \dots\}$  和车道宽度候选点集  $Dis = \{(d_i, r_i) \mid i = 1, 2, \dots\}$ ;

3) 根据车道宽度候选点集  $Dis$ , 利用 Hough 变换对式(1)的参数  $k$  和消失点  $vp_y$  的进行估计;

4) 根据车道中线候选点集  $Mid$ , 以及获得的消失点坐标  $vp_y$ , 再次利用 Hough 变换对式(2)中线性双曲线模型的参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  进行估计;

5) 根据获得的车道宽度信息以及车道中线模型, 利用式(3)实现两侧车道线的检测。

## 2 实验结果及分析

为了验证本文算法的有效性, 在多个视频中对本算法进行测试, 并与文献[8]以及文献[11]的算法进行比较。文献[8]采用道路区域分析、道路标识线检测等方法获得道路边界, 然后利用线性抛物线模型描述被跟踪道路。而文献[11]与本文一样采用了线性双曲线模型, 但该方法没有利用梯度点对及平行透视模型作为约束。测试视频一部分来自于公开测试库, 另一部分来自网上下载的视频以及自拍视频。测试视频 A 来自卡内基梅隆大学的车道检测数据库, 共 130 帧, 图像大小为  $240 \times 256$ ; 视频 B 为加州大学伯克利分校的车道检测视频, 共 923 帧, 分辨率为  $352 \times 240$ ; 视频 C 来自于优酷网, 视频共 4 000 帧, 图像大小为  $512 \times 288$ 。这些视频包含了不同的道路情况, 如曲线、直线、虚线和实线道路, 以及存在阴影、车辆遮挡、路面破损、其他交通标识及背景干扰等复杂情况。

对于 Hough 变换中参数的设置, 需要同时考虑参数估计的精度及计算的复杂度。根据在不同视频下多次实验的结果, 在实验中将参数  $k$  的范围设为  $-1.7 \sim 1.7$ , 量化区间为 120 个;  $vp_y$  的取值范围为  $-300 \sim 300$ , 量化区间为 600 个; 参数  $a$  的取值范围设为  $-4\ 000 \sim 4\ 000$ , 量化区间为 130 个; 参数  $b$  的取值范围设为  $-2 \sim 2$ , 量化区间为 20 个; 参数  $c$  的取值范围设为  $120 \sim 160$ , 量化区间为 20 个; 有效梯度点对的阈值取为 5 个像素。

### 2.1 车道中线检测

为了检验本文梯度点对约束方法的有效性, 首先在视频 A 上给出了车道中线的检测结果。

如图 3 所示, 这些道路图像包括直线道路、曲线道路、阴影及车辆部分遮挡等情况。图 3(a)(b) 显示在梯度点对约束下, 利用线性双曲线模型可以准确地实现曲线道路的中线的检测; 图 3(c) 中路面破损且存在一些阴影的干扰, 但本文算法还是能准确地检测出车道中线; 图 3(d) 中左侧车道线被车辆部分遮挡, 但本文算法依然能够准确地检测出车道的中线。需要指出的是, 本文主要是实现当前车道的检测, 在图 3 中存在多车道情况, 通过梯度点对约束及车道模型参数范围的设置, 可以实现对当前车道

中线的准确检测。

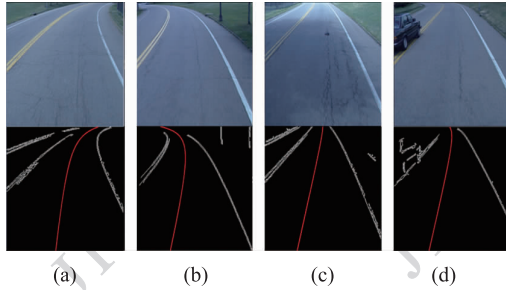


图 3 中线检测结果

Fig. 3 The results of mid-line detection

### 2.2 两侧车道线检测

在测试视频 A、B、及 C3 个视频中实验,并与文献[8,11]的算法进行比较。实验结果如图 4—图 6 所示,其中第 1 行为原图像,第 2 行为文献[8]检测结果,第 3 行为文献[11]检测结果,第 4 行为本文算法检测结果。

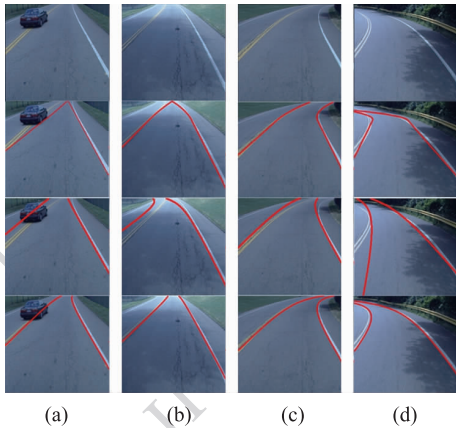


图 4 视频 A 上的部分车道线检测结果

Fig. 4 Some lane detection results on video A

从图 4 可以看出,视频 A 的图像包括了直线和曲线道路,并且存在阴影和车辆部分遮挡的道路等情况。在图 4(a)中,当车道线被车辆部分遮挡时,文献[8,11]中方法检测到的车道线发生了偏离,而本文方法可以准确地检测出两侧的车道线;在图 4(b)中,路面存在破损及阴影的干扰,文献[8]中的方法在近处能准确的检测到车道,但在远处发生了误检,文献[11]的方法对左侧车道线的检测也产生了较大的偏差,而本文方法可以准确的检测出左右两侧的车道线;图 4(c)是一个右弯曲道路,可以看出本文方法的检测效果要优于文献[8,11]的结果;在图 4(d)中,右侧有明显的护栏,这种情况下文献[8,11]都产生了较

大的误检,而本文方法仍然可以准确地检测出左右两侧的车道线。

图 5 为视频 B 上的部分实验结果。可以看出视频 B 包含了两侧都是虚线的道路场景、虚线实线相组合的道路场景、车道线破损和存在严重遮挡以及其他交通标识干扰等道路场景。在图 5(a)中车道线一侧为实线,一侧为虚线,且在远端处存在车辆的遮挡,文献[8,11]的方法在此场景下的检测结果不准确,而本文方法能够准确的检测出两侧的车道线;图 5(b)(c)中两侧车道线均为虚线,且车道近处存在严重遮挡,文献[8,11]的方法都产生了严重的误检,而本文方法能够克服遮挡的干扰,实现准确的车道线检测;图 5(d)中右侧车道线边缘存在其他交通标识的干扰,文献[8]的方法在远处产生了较大的偏差,而文献[11]和本文算法都能够准确地检测出左右车道线。

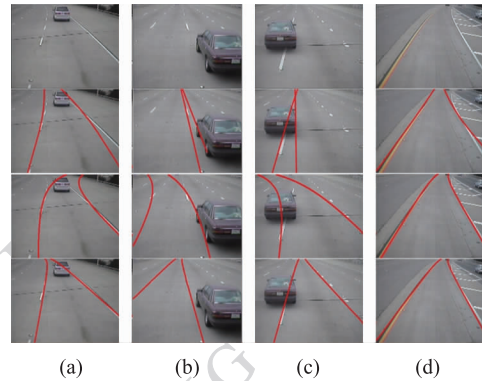


图 5 视频 B 上的部分车道线检测结果

Fig. 5 Some lane detection results on video B

图 6 为视频 C 上的部分实验结果。可以看出视频 C 包含更多的非道路区域,如护栏、隧道、光照变化

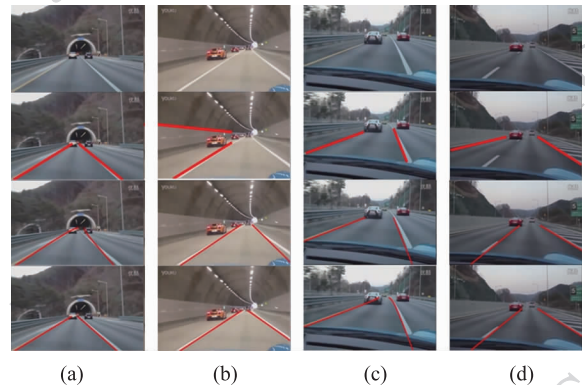


图 6 视频 C 上的部分车道线检测结果

Fig. 6 Some lane detection results on video C

及两侧的树木等干扰。在图 6(a)中,文献[8]及本文方法都能准确地检测到两侧的车道线,而文献[11]的方法在远端产生了一定的误差;在图 6(b)中,车辆行驶在隧道中,文献[8]的方法受墙壁上痕迹的干扰,产生了严重的错检,文献[11]的方法对右侧车道线检测的也不够准确,而本文方法能够准确地检测到两侧的车道线;在图 6(c)中,当前车道两侧车道线是很明显的长实线,因此 3 种方法都能实现准确地检测;而在图 6(d)中,由于左侧的车道线仅是一个短实线,并且周围还存在其他交通标识及车辆的干扰,文献[8]的方法产生了误检,而文献[11]和本文方法都能准确地检测到两侧的车道线。

从上述实验结果可以看出,本文算法通过梯度点对约束以及平行透视关系,进一步提取结构化道路的几何特征,与文献[8,11]方法相比,可以更好地克服阴影、遮挡、路面破损以及其他背景干扰对车道线检测的影响,而采用线性双曲线模型也可以准确地实现直线和曲线道路的描述。此外,分别利用两次 Hough 变换,实现对平行透视投影模型及线性双曲线模型未知参数的估计,也较好地克服了离群点的影响,从而提高了复杂道路环境下车道检测的鲁棒性。

需要指出的是,本文算法是以结构化道路两侧车道线上具有相向或相反水平梯度方向作为约束,提取相应的梯度点对。这种约束在很多结构化道路中是普遍存在的。但是当一侧车道线被遮挡过多甚至完全遮挡时,或是道路两侧车道线附近区域的颜色分布完全不一样,使得两侧车道线上的水平梯度方向相反的假设不成立时,本文算法就不能可靠地提取到中线点集和宽度点集,从而使得检测的车道线发生错误。对于上述问题,可以考虑利用 Kalman 滤波等方法对被遮挡的车道线模型参数进行预测和估计;或是利用道路区域分割及分类等方法,对颜色分布比较复杂的车道区域进行分割,获得相应的车道线边界,进而提取相应的车道中线或宽度点集,然后利用本文方法进行两侧车道线模型的参数估计。这些将是下一步研究的内容。

### 3 结 论

针对实际道路环境中阴影、路面破损及车辆遮挡等常造成车道线检测不准确的问题,提出一种新的梯度点对约束的结构化道路检测方法。该方法通过利用结构化道路两侧车道线上通常具有相反的水

平梯度,以及结构化道路两侧车道线一般是平行的性质,进一步提取了结构化道路所具有的几何特征,将两侧车道线的检测转化为对以线性双曲线模型描述的车道中线的检测,以及车道平行透视投影模型中消失点及车道宽度等参数的估计,并通过两次 Hough 变换,实现了对车道两侧车道线的检测。实验中通过在多个实际道路环境下进行测试及比较,结果表明本文算法在阴影、路面破损、其他路面标识以及车辆遮挡等复杂道路情况下,相对于其他两种车道检测算法,可以更准确地实现直线及曲线车道线的检测。

### 参考文献 (References)

- [1] McCall J C, Trivedi M M. Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: survey, system, and evaluation [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2006, 7(1): 20-37.
- [2] Kim Z W. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, 2008, 9(1): 16-26.
- [3] Wu X W, Peng Y X, Ding D H, et al. Color vision-based multi-level analysis and fusion for road area detection [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, Netherlands: IEEE, 2008: 602-607.
- [4] Zhou S Y, Gong J W, Xiong G M, et al. Road detection using support vector machine based on online learning and evaluation [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. La Jolla, USA: IEEE, 2010: 256-261.
- [5] Alefs B, Eschemann G, Ramoser H, et al. Road sign detection from edge orientation histograms [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Istanbul, Turkey: IEEE, 2007: 993-998.
- [6] Sha Y, Zhang G Y, Yang Y. A road detection algorithm by boosting using feature combination [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Istanbul, Turkey: IEEE, 2007: 364-368.
- [7] Collado J M, Hilario C, De la E A, et al. Detection and classification of road lanes with a frequency analysis [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Nevada, USA: IEEE, 2005: 78-83.
- [8] King H L, Kah P S, Li-Minn A, et al. Lane detection and kalman-based linear-parabolic lane tracking [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics. Hangzhou, Zhejiang: IEEE, 2009: 351-354.
- [9] Jung C R, Kelber C R. Lane following and lane departure using a linear-parabolic model [J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(13): 1192-1202.
- [10] Lu W N, Zheng Y C, Ma Y Q, et al. An integrated approach to

- recognition of lane marking and road boundary [C]// Proceedings of International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining. Australia: University of Adelaide, 2008; 649-653.
- [11] Chen Q, Wang H. A real-time lane detection algorithm based on a hyperbola-pair model [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Tokyo: IEEE, 2006; 510-515.
- [12] Aly M. Real time detection of lane markers in urban streets [C]//Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, Netherlands: IEEE, 2008; 7-12.
- [13] Xu H R, Wang X D, Fang Q. Structure road detection algorithm based on b-spline curve model [J]. Acta Automatica Sinica, 2011, 37(3): 270-275. [许华荣, 王晓栋, 方适. 基于 B 样条曲线模型的结构化道路检测算法[J]. 自动化学报, 2011, 37(3): 270-275.]
- [14] Wang Y, Teoh E, Shen D. Lane detection and tracking using b-snake [J]. Image and Vision Computing, 2004, 22(4): 269-280.
- [15] Kong H, Audibert J Y, Ponce J. Vanishing point detection for road detection [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Paris, France: IEEE, 2009; 96-103.
- [16] Moghadam P, Starzyk J, Wijesoma W. Fast vanishing point detection in unstructured environments [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(1): 425-430.