

一种基于扫描线和区域生长的行车偏移检测算法

瞿洋 江朝晖 冯焕清

(中国科学技术大学电子科学与技术系, 合肥 230026)

摘要 驾驶疲劳是引发高速公路车祸的重要原因之一,而根据行车偏移信息则可以评估疲劳状态。为了实时检测到行车偏移信息,提出了一种基于扫描线与区域生长相结合的视频图像分析算法,从而实现了多种道路车道标线和行车偏移的自动检测。该算法还采用自适应感兴趣区域选择方法以及根据车道状况确定帧处理策略的方法,使运算速度满足实时要求。采用该方法获得的行车偏移信息将给后续的驾驶疲劳分析提供必要的数据库。

关键词 驾驶疲劳 行车偏移 扫描线 区域生长

中图分类号: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)01-0104-06

An Algorithm for Lane Departure Detection Based on Scan line and Region Growing

QU Yang, JIANG Zhao-hui, FENG Huan-qing

(Department of Electronic Science & Technology, USTC, Hefei 230026)

Abstract Driving fatigue is one of the main causes that result in highway crashes. The information from lane departure detection can evaluate the state of driving fatigue. This paper presents an algorithm combining scan line and region-growing method based on video images analysis, in which lane-marking recognition and driving deviation detection are realized. We use the region of interest (ROI) to figure out the current track of the driving vehicle, and give a frame disposal strategy concerning the track's parameter so as to meet the need for real time management. The result of our algorithm will provide necessary data for the future analysis of driving fatigue.

Keywords Driving fatigue, lane departure, scan line, region-growing

1 引言

驾驶疲劳(driving fatigue)是机动车驾驶员在长途连续行车过程中产生的生理、心理机能衰退以及反应水平和操控效率下降的行为,同时驾驶疲劳也是高速公路上引起货运汽车车祸的重要原因^[1]。在我国,高速公路是经济建设成就的重要标志之一,但同时高速公路上发生各种交通事故的几率也呈逐年上升的趋势,其中不乏疲劳驾驶引发的事故!因此,如何及时检测到疲劳状态并报警,以及采取措施消除疲劳是一个很有意义的研究课题。

驾驶疲劳的生理和心理表现主要为:感官功能

减退、注意力分散、动作不灵活、操控不到位、判断能力降低、情绪急躁和厌倦,进而出现困倦和瞌睡,等。驾驶疲劳的评测方法主要有主观评测、生理参数分析、体征评测、操控性能评测等。其中操控性能(方向盘操作、行车轨迹等)与疲劳程度有着密切的联系^[2,3],因为疲劳导致方向盘操作变形,车辆无法保持在车道中心行驶,而是按蛇行轨迹行驶以及在转弯处出现偏离出车道等情况,所以检测出车辆行驶轨迹或偏移情况则可以判断出驾驶员的疲劳状态。通过道路的视频图像获取行车偏移信息是一种非接触、简便、可靠的方法,其作为车载安全辅助系统之一已经获得人们广泛接受和认可^[4,5]。

基于视频的行车偏移检测系统的核心是车道检

基金项目:国家自然科学基金、GM 联合基金项目(60422201)

收稿日期:2005-10-25;改回日期:2005-11-03

第一作者简介:瞿洋(1981~),男。2003年获中国科学技术大学学士学位,2006年获中国科学技术大学硕士学位,现为解放军电子工程学院电子系助教。主要研究方向为通信电子对抗和雷达对抗。E-mail:quyang@mail.ustc.edu.cn

测。目前的许多车道检测算法主要是应用在智能交通和自动驾驶系统中,而针对驾驶疲劳研究的行车偏移检测算法则较少。主要车道检测算法描述如下:

文献[6]用基于直线车道的模型,将自然边界作为道路识别的依据,主要研究了无车道标线的道路的识别。该算法是采用像素级特征和帧图像特征来识别道路边缘,可称为全局道路边界模型。但该算法对弯道的识别效果较差,且对于双车道或多车道情况的分析也具有局限性。

文献[7]采用区域生长的方法研究了高速公路上的弯道识别。该算法提出了一种弯道模型,用于对道路近端与远端分别进行处理。其不足的是区域生长点需要手工寻找,无法自动实现检测。该算法对于各种复杂道路也没有进行更深入的分析和讨论。

文献[8]和文献[9]的GOLD(generic obstacle and lane detection system)和RALPH(rapidly adapting lateral position handler)系统则利用重组图像抽取道路信息。GOLD系统采用了立体视觉的方法检测车道和障碍物,由于其重组图像和立体视觉处理过程中计算量非常大,因而系统设计了复杂的并行SIMD(single instruction, multiple data)硬件结构,以达到实时运行的目的。RALPH系统采用了次采样,虽可以降低重组图像的计算复杂度,但由此将导致图像分辨率降低而可能使车道检测出现困难。

文献[10]采用了基于B-样条分析的道路检测

算法。该算法不需要摄像机的参数,而是用一系列控制点来确定道路的形状。同时,将车道标线或车道边界的检测转化为对车道中心的检测。该算法不足的是对于道路模型有特定要求。

本文的目标是获取高速公路上的行车偏移信息。高速公路上车道标线明显,并且具有统一规格,因此可以作为道路识别的依据。由于检测算法应该满足实时要求,且适用于各种道路情况特别是弯道,一般不考虑障碍物检测,因此本文提出一种扫描线和区域生长相结合的算法,同时自适应获取车辆当前所处区域以减小搜索范围,并根据车道状况确定帧处理策略,该算法不仅实现了车道标线和行车偏移的快速检测,而且为后续的驾驶疲劳检测提供了有力的保证。

2 行车偏移检测算法

本文提出的行车偏移检测算法主要包括阈值分割、线性扫描和区域生长、感兴趣区域选择、行车偏移检测4个部分的内容。

2.1 车道线分割阈值和区域生长阈值

本文算法中,对图像进行线性扫描以寻找车道生长点以及后面的区域生长都需要对图像进行阈值分割,由于这两个阈值都是车道标线与路面区域的分割点,因此可使用同一阈值。图1(a)为一幅道路的灰度图像,图1(b)为图1(a)的灰度直方图。

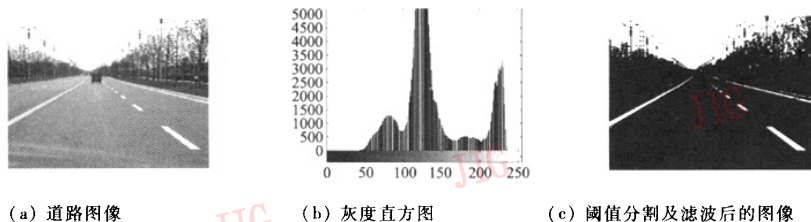


图1 道路图像和阈值分割示意图

Fig.1 Road image and threshold dividing

因为道路图像的灰度直方图中有比较明显的双峰,所以本文采用经典的最大类间方差阈值分割算法进行分割。这种最大类间方差算法是在最小二乘原理的基础上推导得出的一种能自动确定阈值的方法,其算法简单,处理速度较快,是一种在工程上被广泛应用的阈值选取方法。其基本思想如下:

把图像中的像素按灰度值用阈值 t 分成 c_0 和 c_1 两类,其中, c_0 由灰度值在 $0 \sim t$ 之间的像素组成, c_1

由灰度值在 $t+1 \sim L-1$ (L 为图像灰度级数)之间的像素组成,按下式计算 c_0 和 c_1 之间的类间方差:

$$\sigma^2(t) = N_1(t) \times N_2(t) \times (\mu_1(t) - \mu_2(t))^2 \quad (1)$$

式中, $N_1(t)$ 为 c_0 中所包含的像素数; $N_2(t)$ 为 c_1 中所包含的像素数; $\mu_1(t)$ 为 c_0 中所有像素数的平均灰度值; $\mu_2(t)$ 为 c_1 中所有像素数的平均灰度值;从0到 $L-1$ 依次改变 t 值,取使方差 σ 为最大的 t 值即为最佳阈值 S ,即

$$S = \underset{t \in [0, 1, \dots, L-1]}{\arg} \sigma^2(t) \quad (2)$$

为了消除图像中的噪声并保持较清晰的边界信息,应对阈值分割后的图像再用 3×3 的模板进行一次中值滤波。图 1(c) 是对图像进行阈值分割及中值滤波后的处理结果。

2.2 线性扫描和区域生长

具体算法步骤如下:

(1) 从二值化图像中部开始等间隔地横向扫描若干条线,这样每条扫描线就对应于一组 0-1 序列,首先通过对此序列进行分析来找出其中连续 1 (白线) 的位置,并记录下其端点坐标 $p_i = (x, y)$;然后将其中左端点的横坐标写入矩阵 R ,纵坐标由扫描线位置矩阵 T 得到,同时,将连续 1 的像素数(即白线宽度)写入对应的矩阵 K ;

(2) 线性扫描时扫描线数量的选择以能够扫描到虚白线为宜,一般取 4~5 条。从图像中下部开始扫描也避免了引入图像上部一些不必要的干扰信息。此外,为了避免噪声和其他物体被误当作白线,本文设置了白线宽度阈值,用以区分白线与噪声。虽然车道标线的宽度有一定的规格,但由于图像的透视投影效应会导致白线宽度上下不同,因此宽度阈值应同时考虑扫描线位置 T_i 和图像宽度 w 和高度 h 。本文实验取的白线宽度上限阈值和下限阈值(像素数)分别为

$$D_{\min} = \frac{T_i}{M} \times \frac{w}{50} \quad D_{\max} = \frac{T_i}{M} \times \frac{w}{20} \quad (3)$$

对于不同规格的道路,白线和道路的宽度都会有所不同,应根据实际情况做适当调整;

(3) 由步骤(1)中线性扫描得到的白线位置及宽度数组在经过步骤(2)中白线宽度阈值筛选后,即得到可信的车道标线种子点位置数组,再根据白线位于左半平面或右半平面将其分别写入矩阵 P_L (下角 L 代表 left) 和 P_R (下角 R 代表 right),留待下一步进行区域生长。

以图 1 所示道路图片为例,取扫描线条数 $n = 5$,从 0.5m 处开始扫描到 0.9m 截止(图 2),经过线性扫描后,即生成扫描线位置矩阵 T ,白线位置矩阵 R 和白线宽度矩阵 K 。图 3 为第 1 条扫描线扫描的结果,其对应于矩阵 K 、 R 和 T 的第 1 列,图像的横坐标代表图像宽度,纵坐标代表扫描线上的灰度值,由于是对二值图像进行扫描,所以灰度值均为 1。同理,3 个矩阵的第 2 到第 5 列就对应于第 2 到第 5 条扫描线的扫描结果。由式(3)就可以计算出白线

宽度的上、下限阈值,然后用这两个阈值对矩阵 K 和 R 进行筛选后,再根据左右位置即可得到种子点矩阵 P_L 和 P_R 。

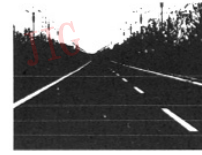


图 2 扫描线示意图

Fig. 2 Scan line

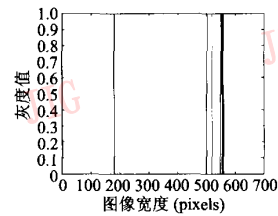


图 3 第 1 条扫描线扫描结果

Fig. 3 Result of the first scan line

扫描线扫描结果(图片大小为 480×640):

$$T = [240 \quad 288 \quad 336 \quad 384 \quad 432]$$

$$R = \begin{bmatrix} 170 & 81 & 2 & 538 & 1 \\ 502 & 412 & 1 & 1 & 1 \\ 551 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 557 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 12 & 18 & 15 & 25 & 1 \\ 19 & 14 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P_L = \begin{bmatrix} 170 & 240 \\ 81 & 192 \\ 2 & 144 \end{bmatrix}$$

$$P_R = \begin{bmatrix} 412 & 192 \\ 538 & 96 \end{bmatrix}$$

(4) 区域生长算法的主要思想为:对于每个种子点,首先从种子点开始先横向依次扫描每个像素点,如果该像素点的灰度大于前述区域生长阈值,则将该点涂黑(灰度值赋 0),然后继续扫描,直到遇到灰度小于区域生长阈值的点,即认为其为边界点,同时记录其坐标位置;最后横向扫描结束后再扫描上一行和下一行,依次类推,直到所有符合要求的点皆

扫描完毕。这样由记录下的边界坐标点进行曲线拟合即可得到车道方程。仍然以图 1 为例来进行处理,图 4(a)为其区域生长结果,图 4(b)为区域生长

后曲线拟合的结果,该图像的横、纵坐标分别代表图像的宽和高,实线车道用三阶多项式拟合,而虚线车道只取较短的一条,用一阶多项式拟合。

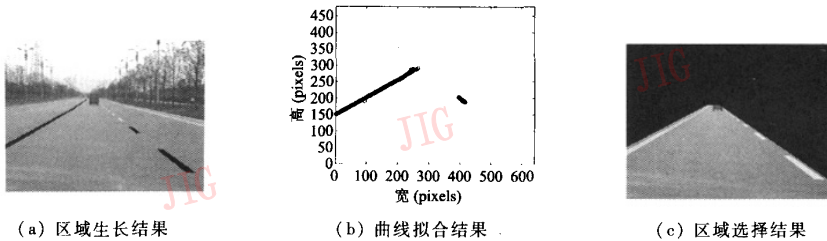


图 4 车道标线检测与区域选择

Fig. 4 lane detection and region of interest (ROI)

经过曲线拟合后得到的车道方程多项式的各项系数分别为:

实线车道方程的系数为

$$f_{line} = 0.0000 \quad -0.0005 \quad 0.5636 \quad 149.4361$$

虚线车道方程的系数为

$$f_{dot} = -0.7795 \quad 512.7170$$

(5) 本文算法在进行区域生长时,采用的是 8 连通邻域,由于在车道线远端消失处路面有可能出现天空和车道标线连成一片的情况,因此,为了防止区域生长越界,本文设置了横向生长阈值加以控制,这个阈值的选择同车道线宽度阈值类似,即

$$t_{grow} = \frac{p_i(y)}{M} \times \frac{w}{20} \quad (4)$$

$p_i(y)$ 为区域生长当前行在图像中的纵坐标位置。

2.3 感兴趣区域选择和帧处理策略

为了提高运算速度并且避免图像中其他信息对车道检测的干扰,本文进行了感兴趣区域选择,用以搜索车辆当前所在的车道(见图 4(c))。具体实现步骤如下:

(1) 由区域生长的结果,并根据白线生长的长度判断其为实白线或虚白线或噪声点,再对虚白线进行曲线拟合,得到的方程为

$$y = k_1 \times x + b_1 \quad (5)$$

(2) 根据虚白线的斜率 k_1 的正负即可以判定所处的车道。对于双车道来说,若 $k_1 < 0$,则当前车道为左车道;若 $k_1 > 0$,则当前车道为右车道。对于多车道,则 k_1 有正也有负,情况比较复杂,但由于受摄像机视角限制,旁边道路的标线在图片中处于上端或远端,且比当前车道的标线细(如本文图 1(a)所示,也可看成是一种多车道情况),因此一般情况下它们要么不会被扫描线扫描到,要么会被白线阈值过滤掉。此时留下的就必然是当前车道的左右标线

了。后续的处理方法类似,本文不再讨论。

(3) 若当前车道为左车道,则找出左实白线进行曲线拟合;若当前车道为右车道,则找出右实白线进行拟合,即得到以下实白线方程:

$$y = k_2 \times x + b_2 \quad (6)$$

这里是对图 1 所示的直线道路进行拟合,若为弯道,则需代入 2.2 节步骤(4)中曲线拟合得到的三阶车道方程。

(4) 从实白线点中,通过找到纵坐标最小值 y_{min} ,即可得到以下区域的上沿方程:

$$y = y_{min} \quad (7)$$

区域的下沿方程为

$$y = 0 \quad (8)$$

区域左(或右)边沿方程为

$$x = 0 \text{ 或 } x = w \quad (9)$$

其中, w 为图像的宽度。

(5) 联立式(5)~式(9)即可得到当前车道区域,而对于没有虚线的车道,则取左右实白线之间的区域。

对每一帧图像在找到当前车道区域后,下一帧的处理就在已找到的区域内进行。如果区域选择过于接近车道线边缘或者两帧图像之间跳变过大,那么就有可能使得当前帧所选区域不适合下一帧图像。为此本文方法做出以下几点改进:

(1) 对于找到的区域进行适当放大;

(2) 帧处理策略 在帧处理的选择上需要把车道情况考虑进来,对于直线车道,道路变化情况不大,每秒选择处理的图像帧数可以较小,若车道曲率较大时,则每秒处理的帧数相应增加;

(3) 当出现区域选择错误时,则下一帧区域选择为整幅图像。

2.4 行车偏移检测

在计算行车偏移时,为了减小由于拍摄角度

(即车辆前进的方向角)对结果造成的误差,可通过计算从视点(即图像最下端的中心点)到当前车道左右边界距离的比值来确定车辆当前所处的位置。由式(10)计算可得车辆到当前车道右边界的距离:

$$d = d_2 \times \frac{W}{d_1 + d_2} \quad (10)$$

其中, d_1 为视点到左边线的距离(像素数), d_2 为视点到右边线的距离(像素数), W 为车道宽度(m)。

整个算法的流程如图 5 所示。

3 实验结果和讨论

为了验证本文算法的效果,采用实际视频图像进行了行车偏移检测实验。实验中,首先随车在城郊公路上拍摄了各种视频录像,解压为视频帧后,再用本文算法进行处理。计算环境为:P4 1.8G CPU、512MB 内存计算机,采用 MATLAB 编程。图 6 显示了各种不同道路的线性扫描和区域生长以及区域选择的结果。图 7 为一段左转弯的行车偏移检测结果,总长 150 帧,实际处理 50 帧。图中纵坐标表示车辆到右边线的距离,车道宽度为 3m。

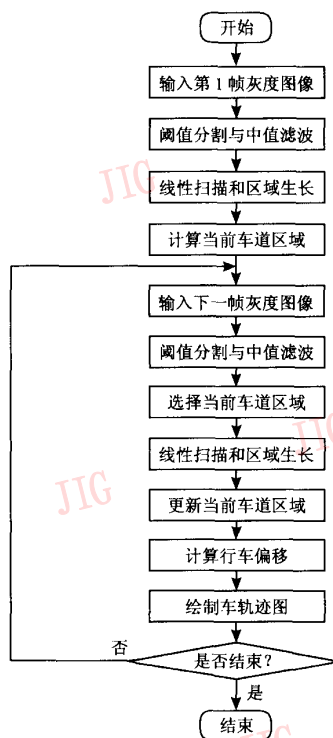


图 5 算法流程图

Fig. 5 The flow chart of this algorithm

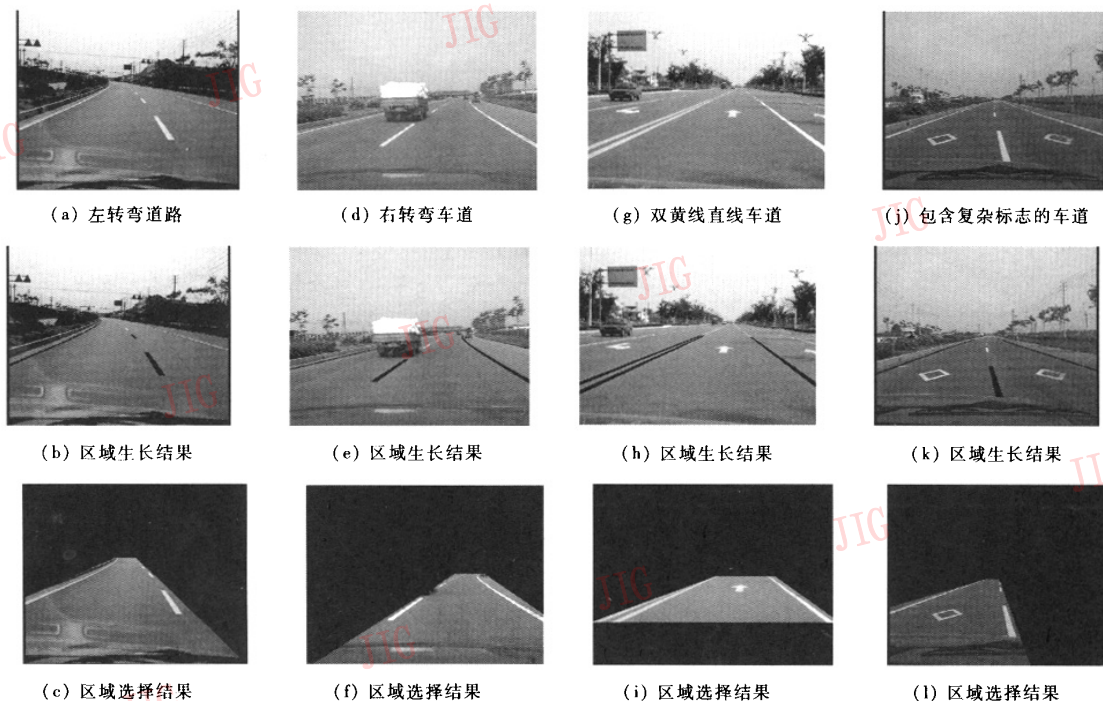


图 6 各种道路的处理结果

Fig. 6 Results of several sorts of road

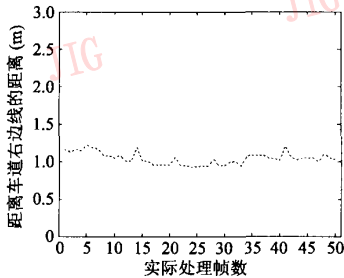


图7 行车偏移检测结果

Fig. 7 The result of lane departure

实验结果表明,对于多种道路情况,本文算法都能准确地跟踪当前车道区域,并能计算出行车偏移。由于本文算法采用多条扫描线扫描,因此部分解决了车道标线残缺及阴影干扰的问题。在上述计算环境下,处理每帧耗时300ms左右。改用VC实现后可进一步提高运算速度,可完全达到实时处理的要求。

需要指出的是,由于基于视频图像分析的车道检测算法往往会受到诸如光线剧烈变化、恶劣天气等自然条件的影响,因此如何圆满的解决上述所有问题一直是个难题,现有的各种已经投入使用的系统往往也只能解决其中部分问题。进行夜间车道检测时,由于有车前小灯照明,故道路图片的质量基本没有问题,但需要采用不同的灰度图像二值化算法。由于夜间天空的灰度值较小,在整幅图像中白线等高亮标志所占比例很少(2%左右),且灰度直方图中只有一个很高的单峰,因此白线等高亮标志分布在这个波峰的右边谷以右。根据这一特点以及白线所占比例的统计值来确定二值化阈值,其初步实验效果较好。

4 结 论

本文针对高速公路上的驾驶疲劳检测问题,提出了一种基于扫描线和区域生长的车道检测算法,从而实现了车道标线和车辆行车偏移的自动检测,该算法可适用于多种不同的道路情况。由于本算法是采用多条扫描线和进行多点区域生长,因而大大增加了结果的准确性和可靠性;同时由于引入感兴

趣区域选择和帧处理策略,从而减少了运算时间,提高了效率。实验结果表明,本文算法既有较高的准确性,而且速度上也符合实时处理要求。这样采用本文方法获得的行车偏移信息就为后续进行的驾驶疲劳分析提供了必要的信息。本文方法也可以应用于智能交通系统和自动驾驶辅助系统之中。

参考文献 (References)

- 1 Marvin McCallum U S, Merrill Mitler, Gerald Krueger, *et al.* Commercial Transportation Operator Fatigue Management Reference [EB/OL]. <http://scitech.dot.gov/research/human/docs/fatigue/fmr07-03.doc>.
- 2 Fairlough S H. Monitoring driver fatigue via driving performance [J]. *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver*, 1997, 130(2): 221 ~ 235.
- 3 Renner G, Mehring S. Lane departure and drowsiness—two major accident causes—one safety system [A]. In: 4th World Congress on Intelligent Transport Systems [C], Berlin, Germany, 1997.
- 4 Lee S, Kwon W, Lee J W, A vision based lane departure warning system [A]. In: IEEE/SRJ International Conference on Intelligent Robots and Systems [C], Seoul, Korea, 1999: 160 ~ 165.
- 5 Kreucher C, Lakshmanan S, Kluge K. A driver warning system based on the LOIS lane detection algorithm [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Vehicles [C], Stuttgart, Germany, 1998: 17 ~ 22.
- 6 Xu You-chan, Wang Rong-beng, Li Ke-qiang, *et al.* A linear model based road identification algorithm [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(7): 858 ~ 864. [徐有春, 王荣本, 李克强等. 一种基于直线模型的道路识别算法研究 [J]. *中国图象图形学报*, 2004, 9(7): 858 ~ 864.]
- 7 Liu Tao, Huang Xie-yue, Zhou Xin, *et al.* Recognition algorithm of motorway curl road [J]. *Journal of Chong-qing University*, 2003, 26(7): 24 ~ 27. [刘涛, 黄席樾, 周欣等. 高速公路弯道识别算法 [J]. *重庆大学学报*, 2003, 26(7): 24 ~ 27.]
- 8 Bertozzi M, Broggi A. GOLD: a parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1998, 7(1): 62 ~ 81.
- 9 Pomerleau D. RAL PH: Rapidly adapting lateral position handler [A]. In: Proceedings of IEEE Symposium on Intelligent Vehicles [C], Detroit, MI, USA, 1995: 506 ~ 511.
- 10 Wang Yue, Teoh Eam Khwang, Shen Ding-gang. Lane detection and tracking using B-Snake [J]. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(4): 269 ~ 280.