

# 车辆自主导航中的道路边界识别算法

徐杰<sup>1)</sup> 李晓虎<sup>2)</sup> 王荣本<sup>3)</sup> 施鹏飞<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(上海交通大学图象处理和模式识别研究所, 上海 200030)

<sup>2)</sup>(东南大学机械工程系, 南京 210096) <sup>3)</sup>(吉林大学交通学院, 长春 130025)

**摘要** 道路边界识别是车辆基于道路区域或边界信息自动导航的首要问题。根据驾驶员视觉处理经验和车辆运动轨迹方程, 总结出道路边界识别的先验知识与预测知识, 在所选取的二次曲线道路形状模型基础上, 分别利用边界识别算法和跟踪识别算法得到车辆起步和稳定行驶过程中的实时道路边界信息, 为车辆控制器计算出位置偏差和方向偏差两个参数, 以实现车辆基于前向单目视觉的自主导航。通过对实际路面试验结果的分析, 证明了该方法的有效性和准确性。

**关键词** 模式识别(520·2040) 机器视觉 自动导航 边界识别 边界跟踪

**中图法分类号**: TP273.5 TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)06-0674-05

## Road Edge Detection Technique for Auto-navigation of Vehicle

XU Jie<sup>1)</sup>, LI Xiao-hu<sup>2)</sup>, WANG Rong-ben<sup>3)</sup>, SHI Peng-fei<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Institute of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

<sup>2)</sup>(Department of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096)

<sup>3)</sup>(College of Transportation, Jilin University, Changchun 130025)

**Abstract** Road edge detection and tracking is a key technique for auto-navigation of vehicle based on the information of road edge or road region. This paper presents pre-knowledge based on human visual experience and prediction knowledge based on the kinematics equation of vehicle. With the selected road shape model, road edge detection and following for intelligent vehicle was executed by the combination of two modules. The road edge detection module is used to get the information about road edge when vehicle being started with the pre-knowledge, while the edge following module is started to predict the position of road edge when vehicle running stably with the prediction knowledge, then two control equation parameters-location and orientation deviation are calculated for auto-navigation of vehicle based on preview unique visual. In the concluding, this paper analyzed the result of the real road tracking experimentation, which proved the effective and precise of the presented method.

**Keywords** Pattern recognition, Machine vision, Auto-navigation, Edge detection, Edge following

## 0 引言

车辆的自动或辅助驾驶、驾驶员预警系统是智能交通系统(Intelligent Transportation System)的重要研究内容, 而道路边界的识别和跟踪是实现这一技术的首要问题, 也是近年来较为活跃的研究领域之一。Navlab 系列智能车<sup>[1]</sup>、动态机器视觉 EMS-

Vision<sup>[2]</sup>, 以及智能车辆 Demo 系列<sup>[3]</sup>等都是通过立体视觉, 或结合其他传感器信息来获得周围环境和道路信息, 用于车辆导航。上述这些视觉系统不仅复杂、昂贵, 而且对于中央处理器的性能要求很高, 从而限制了该技术在 ITS 中的普遍应用。

JUTIV-I 智能车辆系统采用前视单目视觉, 避免了 3D 视觉系统中复杂的图象配准和识别问题, 降低了系统的硬件配置要求, 对于自动导航技术应



置变化不大时,启动车辆跟踪识别算法.该算法在初始识别所得道路参数的基础上,根据车辆运动方程及道路边界的连续性,估计相邻两帧图象中道路边界位置及形状变化,限定匹配搜索范围,以提高识别的效率.

车辆行驶中路径跟踪过程如图2所示.

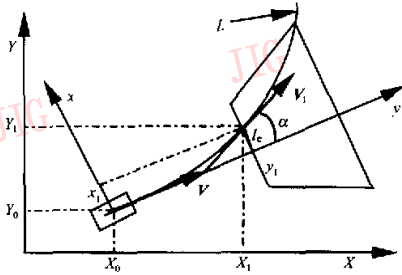


图2 路径跟踪

图2中, $xy$ 为像平面坐标系, $XY$ 为道路平面坐标系, $X_0, Y_0$ 为车辆当前位置, $X_1, Y_1$ 为车辆目标位置,梯形区域为当前时刻视野范围.曲线 $L$ 为期望得到的车辆行驶路径跟踪轨迹, $V_0$ 为车辆当前速度方向, $V_1$ 为根据当前帧图象识别得到的车辆预行驶速度方向.

车辆进入路径稳定跟踪时期,由于车辆行驶过程与道路边界都具有一定的连续性,相邻两次的识别结果具有较大的相关性.路径跟踪识别算法根据前一识别过程所得的道路边界参数,结合车辆运动状态方程来得到边界预测知识.

假设车辆匀速前进,车辆运动方程如下<sup>[5]</sup>:

$$\begin{cases} \dot{\alpha} = \arctan 4lk \\ \dot{y} = v \cdot \cos \varphi \\ \dot{x} = v \cdot \sin \varphi \\ \dot{\varphi} = \frac{v}{l} \tan \alpha \end{cases} \quad (2)$$

式中, $v$ 为当前车辆速度,由速度传感器测得; $\varphi$ 为车辆转向轮当前的角度,由转角传感器测得; $k$ 为道路曲率,直接由上一识别过程得到; $l$ 为车辆的轴距.

根据车辆当前行驶方向和转角方向、大小,道路边界预测参数为

$$\begin{cases} b' = b \pm dx \\ m' = m \pm da \\ k' = k \end{cases} \quad (3)$$

其中, $m', b', k'$ 和 $m, b, k$ 分别为当前和上次识别过程的道路边界参数,十和-的选择决定于 $\alpha$ 的符号.

跟踪识别算法的匹配函数根据与所预测道路边界的偏差来决定像素点的取舍,并综合像素点的位置、梯度强度、梯度方向3个属性指标.损失函数定义为

$$f(\mu, x) = e^{-\frac{x^2}{\mu}} \quad (4)$$

其中, $x$ 为当前行上像素点离所预测的较近一条道路边界的像素点数目, $\mu$ 为系数因子.匹配函数定义为

$$\begin{cases} t = \cos(X - m) \\ c = gf(\mu_1, x)f(\mu_2, t) \end{cases} \quad (5)$$

式中, $g$ 为像素点梯度强度; $X$ 为像素点梯度方向; $m$ 为像素点所在行上最近边界的切线方向.函数匹配过程中,在图象的每一行上,使 $c$ 达到最大值的像素点为道路边界点.

跟踪识别算法实现过程如下:

- (1) 读取车辆速度传感器和转角传感器的值,获得当前的速度和转向角;
- (2) 根据车辆运动方程和前帧图象识别结果预测边界位置参数;
- (3) 在图象矩阵列向上设定循环长度和步长,利用匹配函数检测当前行上左右像素点;
- (4) 根据道路边界模型,运用最小二乘法分别拟合出左、右边界,得到道路边界的参数方程.

算法采用隔行抽取像素点进行匹配检测,以减少匹配计算量,提高识别速度.考虑到某些行上可能存在识别失败,行数要大于曲线拟合所需数据量.跟踪识别过程中,相邻两次或多次识别的方位偏差较大,表明车辆进行了较大角度的转向操作;道路宽度偏差较大,表明道路状况变化,在其任何一种情况下程序都将转入初始识别算法.

算法最后计算道路消失点 $P(x, y)$ 如下:

$$\begin{cases} y = k_l x^2 + m_l x + b_l \\ y = k_r x^2 + m_r x + b_r \end{cases} \quad (6)$$

车辆当前的位置偏差 $l$ 、方向偏差 $\alpha$ 及道路宽度 $l$ 为

$$\begin{cases} k_l x_l^2 + m_l x_l + b_l = 0 \\ k_r x_r^2 + m_r x_r + b_r = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$l_c = \frac{x_l + x_r}{2} \quad (8)$$

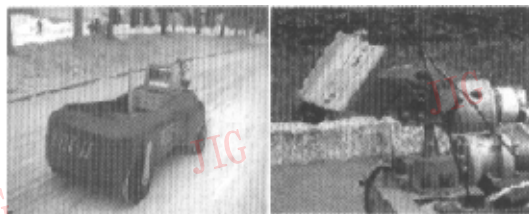
$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{y}{x - \frac{x_l + x_r}{2}} \quad (9)$$

$$l = |x_l - x_r| \quad (10)$$

### 3 试验及结果

JUTIV-Ⅱ 图象采集系统主要由前视 CCD、自动光圈镜头及图象采集卡组成。CCD 为 PAL 制隔行扫描,传输速度为 50 场/s,最低照度(灵敏度)大约 0.1lux。自动光圈镜头焦距为 8mm,水平视场角为 60°,垂直视场角为 45°,图象卡所提供图象大小为 768×576pixels。图象处理系统主要为 PⅢ 333 处理器,算法在 Visual C++6.0 编译环境中实现,在校园内做了多次实际路面试验。图 3 为实验现场照片。

图 4、图 5 为实验数据,从图中观察到前轮角度、方向偏差以及位置偏差在车辆启动时出现震荡,这是因为转向轮没有经过复位,初始位置与车辆轴线之间存在角度差异;而道路边界识别算法进行初始化边界识别时间较长(约 1~2s),进入跟踪识别算法(3~5s)后,边界识别的速度趋于正常,识别频率约为 10Hz。10s 到 45s 期间,路面上行人、车辆等干扰较少,识别频率达到 15~20Hz,识别算法运行稳定,车辆没有进行较大转向控制操作。其间前轮角度有规律地缓慢变化是由于车辆转向结构存在间隙以及路面上的冰雪造成车辆侧滑所引起的。第 45s 到 101s 期间,视野中出现的行人增多,干扰加剧,前轮角度变化频繁,车辆多次进行转向操作,但没有影响到识别算法的准确性。整个试验过程中,车辆前轮



(a) JUTIV-1 在实验现场

(b) CCD 摄像机



(c) 所识别左右边界及道路中线

图 3 实验现场图片

角度基本限定在  $\pm 5^\circ$  范围内,实现了道路边界的正确识别和车辆的稳定导航。另外,图中前轮角度的均值不为 0,是由于 CCD 安装位置与车辆纵轴没有严格对中,以及转向机构存在间隙、车辆行驶跑偏等外界因素造成的。

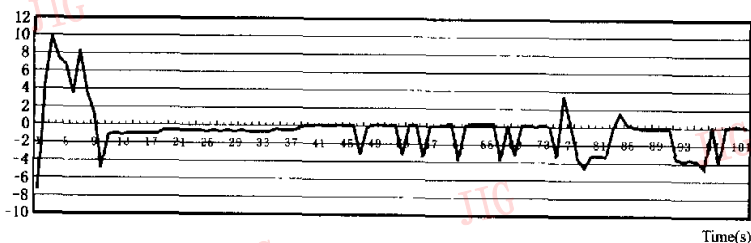


图 4 前轮角度变化曲线

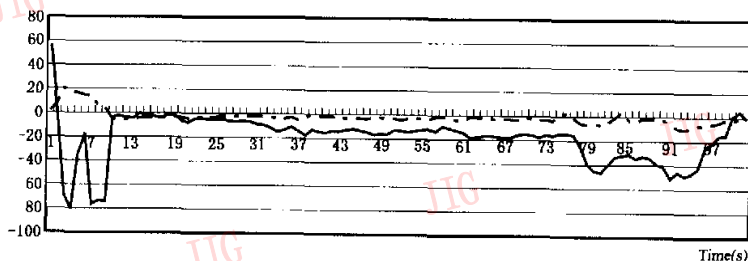


图 5 方向偏差(角度,实线)和位置偏差(4cm,虚线)变化曲线

## 4 结 论

针对道路边界的形状特征提出的二次曲线道路边界模型,可以在道路边界识别时,克服假边界(如行人、车辆、绿化带、阴影等)与其他干扰的影响.初始识别模块在根据道路边界特点以及驾驶员经验所归纳的先验知识基础上,识别道路边界,对于区域边界被噪声干扰或被遮挡而出现间断的情况具有很好的容错性,同时先验知识指导识别过程的搜索、匹配过程,提高了识别的效率和准确性;而跟踪算法根据车辆运动和道路边界的连续性,将之前已经识别的结果形成道路边界预测知识,较之先验知识更加准确,进一步缩短匹配搜索时间,提高识别的效率.

试验表明,所提出的道路边界识别算法输出结果可靠,具有一定的鲁棒性和实时性,能够为实际道路环境下的车辆导航提供准确的控制参数.进行试验的道路环境没有特殊限制,因此该算法可以应用于同类道路环境如高速公路、一般等级公路等,还可直接嵌入到驾驶员预警系统以减少交通事故的发生.

### 参 考 文 献

- 1 Dellaert F, Pomerleau D, Thorpe C. Model-based car tracking integrated with a road follower [A]. In: Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation [C], Leuven, Belgium, 1998,3,1889~1894.
- 2 Gregor R, Lutzeler M, Pellkofer M *et al.* EMS-Vision: a perceptual system for autonomous vehicles [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2002,3(1): 48~59.
- 3 Bellutta P, Manduchi R, Matthies L *et al.* Terrain perception for DEMO [A]. In: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium [C]. Dearborn, MI, USA, 2000;326~331.

- 4 Sandra Denasi, Giorgio Quaglia. Early obstacle detection using region segmentation and model based edge grouping [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Vehicles [C], Stuttgart, Germany, 1998;257~262.
- 5 Shin Kato, Kohji Tomita *et al.* Lane departure detection with an onboard vision system [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Vehicles [C], Stuttgart, Germany, 1998;74~80.



**徐 杰** 1975年生,现为上海交通大学图象处理和模式识别研究所博士研究生.主要研究方向为图象处理、图象分割等.



**李晓虎** 1976年生,东南大学机械工程系硕士研究生.主要研究方向为数字信号处理与分析、模式识别等.



**王荣本** 1946年生,教授,博士生导师.主要研究领域包括智能车辆自主导航、汽车安全辅助驾驶、现代物流机械等,发表论文50余篇.



**施鹏飞** 1939年生,教授,博士生导师,上海交通大学图象处理与模式识别研究所所长,IEEE高级会员.研究领域为图象分析、模式识别、智能技术与系统,发表论文80余篇.