

复杂地形下的道路识别

宋 蕾

(西北工业大学 自动化学院, 西安 710072)

摘要: 在智能车辆的研究中,道路识别是保障车辆安全行驶的首要任务。针对结构化道路中的特殊情况,即弯道和坡道的图像快速识别方法进行了研究,给车辆行驶的方向和速度控制提供了建议。并对更为复杂的道路情况(以盘山公路为例)提出了基于逆透视映射模型的识别方法。最后,通过实验结果验证了方法的有效性。

关键词: 道路识别; 坡道; 弯道; Hough 变换; 逆透视映射; 盘山公路

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)10-3964-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.097

Road recognition in complex terrains

SONG Lei

(School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Road recognition is the principal issue in intelligent vehicle to ensure the safe driving. Therefore, this paper discussed the fast vision-based recognition algorithm of some special structural roads, including ramp and curve. Based on the recognition results, it presented the vehicle control suggestion mainly on direction and velocity. And this paper proposed a IPM (inverse perspective mapping) based algorithm as well to solve the more complicated case. Particularly, mountain road images were tested in the experiments. The results prove the validity of the method.

Key words: road recognition; ramp; curve; Hough transform; IPM; mountain road

0 引言

机器视觉技术是智能车辆环境感知系统中最为重要的组成部分,也是发展最快的技术之一。道路检测作为其中最为重要的研究课题,其为车辆提供道路相关信息,保障车辆在道路区域安全行驶,避免脱离轨道造成事故^[1]。

道路检测技术通常借助于道路的一些特征,如颜色^[2,3]、纹理^[4]、边缘^[5-7]等。而对于结构化道路的检测,最常用的方法就是通过检测道路上的车道标线来识别道路。由于结构化道路在设计时遵循一定的标准,因此研究人员提出了一些方法用来辅助结构化车道的检测:

a) 寻找感兴趣区域(regions of interest),即特征可能存在区域;然后在感兴趣区域内寻找道路特征点。这样既可以缩小检测范围,提高计算效率,也可以提高检测的准确度,是道路检测中普遍采用的一种方法,如俄亥俄州大学的 Visionex Smart-eye I 系统^[8]。

b) 假设车道宽度一定,从而只检测近似平行的车道标线,如意大利的 PVR 系统^[9],这种方法可以较好地消除阴影的影响。

c) 建立道路模型。对道路形状进行假设,用多项式、回旋曲线、三角形、梯形等对道路进行重建,如 Parma 大学 MOB-LAB 就采用了三角形道路模型^[10],此外 VaMoRs^[11]、SCARF 系统^[12],文献[13~16]也采用了这种方法。道路模型方法最大的优势就是可以消除阴影和遮挡的情况。但是要建立一个实用性强的道路模型很难。

d) 精确的摄像机定标加上道路的先验知识的假设,可以

简化图像像素到实际世界坐标系的转换,如 ARGONAV^[17]。

尽管经过研究人员的多年努力,对车辆视觉导航问题提出了上述众多的算法,但是由于交通场景的复杂性和对实时性的特殊要求,车辆视觉导航方面的研究还面临很多挑战。目前的研究主要存在以下两方面的问题:道路标线的提取和识别方法鲁棒性不强;当前对道路检测的研究大多是基于道路平坦假设的,没有考虑地势较复杂的情况,如上下坡等。

因此,本文针对后者开展了多种地形下的结构化道路识别方法的研究,提出了一般结构化道路的快速识别方法,并给车辆行驶速度和方向提出建议;针对相对复杂的特殊道路,提出了基于 IPM 的识别方法;通过实验验证了方法的有效性,并在方法设计中考虑了实时性的要求。

在下文中,首先简单介绍了所采用的道路标线检测方法和数学模型;然后分别针对直道、弯道、坡道提出了快速识别方法,并对车辆行驶的速度和方向控制提出了参考建议;最后以类似盘山公路为例,针对此类特殊的结构化道路(背景复杂,且同时存在坡度和弯度),提出了基于 IPM 的识别方法。

1 道路标线检测

本文选择 YUV 空间中的亮度(即 Y)分量用于车道标线的检测。图 1 为一常见交通场景及其在 YUV 颜色空间的 Y 分量中所表现出来的特征。从图 1 中可以看出,(a)中亮度较高的像素点在(b)中值较大;相反,亮度较低的像素点对应的值较小。图 1(a)中的黄色和白色标线(见电子版)亮度均较高,可以一起被分割出来,但同时也会分割出一些亮度较高的噪声。

我国的公路设计以直线、圆曲线和缓和曲线为主,因此本

本文将着重讨论直行和转弯车道的识别。直行的车道线呈现线性特征,因此可以采用线性模型来描述: $y = kx + b$,其中 k 为该直线的斜率, b 为该直线在 y 轴上的截距。由于 Hough 变化对车道检测具有较强的鲁棒性,因此被普遍采用^[18]。线性模型经过 Hough 变换后得到车道线在极坐标下的表示形式 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$,其中 ρ 为从原点到直线的垂直距离, θ 为直线与 x 轴的夹角。只需确定参数 ρ 和 θ 就可以确定这条直线。



(a) 原图 (b) Y 分量
图 1 交通场景图像及其在 YUV 空间中的 Y 分量

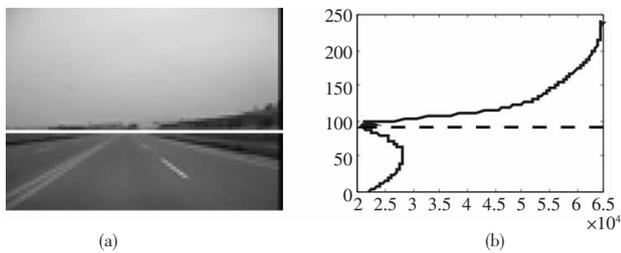
Hough 变换同样可以用于检测曲线,如圆形、抛物线、椭圆形。但由于曲线参数的增多,检测曲线的复杂度和计算量也大大高于直线检测。所以考虑到算法的实时性要求,在弯路情况,本文采用二次曲线对其进行描述: $y = ax^2 + bx + c$,只需确定参数 a, b, c ,就可以确定用来描述车道标线的二次曲线。

2 道路快速识别方法

2.1 道路区域检测

本文对路面区域的粗略划分首先需要找到道路消失平面即地平线分界线,然后定义分界线以下的区域为路面区域。路面区域检测不仅可以避免道路周围复杂环境(如植被、建筑物、交通指示牌等)给车道检测带来的影响(如图 1 中亮度值较高的天空区域),还可以减少图像处理的计算量。

由于路面区域相对周围环境的亮度较高,因此,本文对亮度分量采用投影法^[19]以提取路面分界线。图 2 中,对道路场景(a)的亮度分量进行了水平投影,如(b)所示。从水平投影可以看出,图像下方对应于路面区域有一个波峰,因此投影图中从下至上的第一个极小值(小于一定阈值)对应的水平位置被认为是分界线所在处,如图 2(a)中的横线所示。



(a) (b)
图 2 路面区域划分

2.2 直行及转弯道路的快速识别方法

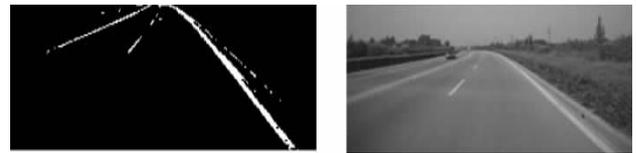
本文采取了分段处理的方法,将路面区域在垂直方向按照距离本车位置的远近分为近视野区域和远视野区域。近视野区域为图像路面区域底部的 3/4 区域,远视野区域为路面区域上部 1/4 区域。具体处理方法如下:

- a) 根据图像亮度的水平投影划分路面区域。
- b) 对路面区域的车道线进行分割。
- c) 从近视野区域的分割线段中 5 等分地选取特征点。
- d) 对两组特征点分别用 Hough 变换进行识别。
- e) 求车道线的交点坐标 (x_1, y_1) 。

f) 将远视野中的特征点与步骤 c) 得到的识别结果进行比较,当偏差的平方和 $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - b - ax_i)^2$ 大于一定阈值时,认为直线方程已经不能够准确描述远视野道路,此时,采用二次多项式拟合特征点,并至 g); 否则认为此公路为直行。

g) 若两车道的二次拟合曲线的交点位于 x_1 左侧,认为是左转弯道;反之,认为是右转弯道。

如图 3 所示,(a) 为经过划分后的路面区域亮度分量,(b) 为道路经过段处理后的结果。在二次拟合过程中本文采用了最小二乘法。最小二乘法拟合是一种整体逼近的方法,以拟合结果偏差的平方和最小为原则,从一系列已知离散点坐标得到一个解析函数。



(a) 亮度分量分割结果 (b) 分段处理结果
图 3 道路检测

2.3 上下坡道路的快速识别方法

从图 4 中可以看出,坡道从三维空间映射到二维图像空间的过程中不仅产生了形变,两车道线的交点与地平线的相对位置也发生了变化。上坡车道的车道线相交于地平线上方;相反,下坡车道的车道线相交于地平线下方。而平坦路面的车道线将相交于地平线上。本文正是利用这一规律,用近视野所提取的车道线的交点与地平线相比较,判断车道是否存在坡度。具体描述如下:

- a) 根据图像亮度的水平投影划分路面区域;
- b) 对路面近视野区域的车道线特征点进行 Hough 变换识别;
- c) 求车道线的交点坐标 (x_1, y_1) ;
- d) 若 $|y_1 - y| < \text{thresh}$ 则认为此道路为平坦路面, $y_1 - y < -\text{thresh}$ 为上坡, $y_1 - y > \text{thresh}$ 为下坡(实验中令 $\text{thresh} = 5$)。

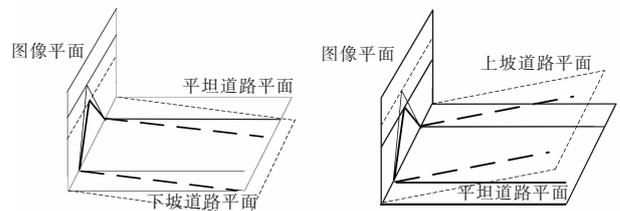


图 4 坡道映射模型

图 5 分别为下坡和上坡两种地形道路识别结果,验证了上下坡判断方法的可行性。



(a) 路面区域划分 (b) 车道线识别

图 5 上下坡道路识别

经过前面的讨论,对一般结构化道路的走向和坡道的识别可以用图 6 的流程表示,并可以相应地给出驾驶建议。

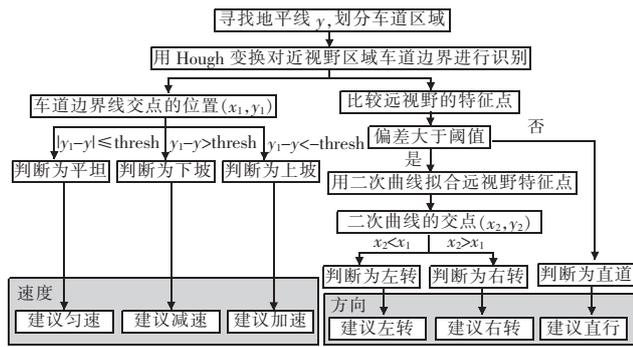


图 6 道路走向及坡道识别流程

3 基于 IPM 的复杂道路识别

有些特殊公路,如盘山公路虽然也是结构化道路,但由于依山而建,只能尽可能地满足道路修建标准,如车道宽度一致等。然而由于地形的影响,盘山公路普遍车道较窄,转弯半径小,始终存在上下坡的情况,且由于道路深处山脉中,周围的植被、岩石多,环境复杂,这就给道路识别带来了一定的困难。前面介绍的判断上下坡的方法是建立在寻找道路区域的基础上的,在这样特殊的路段,此前的道路区域划分方法已经不能够准确地划分出道路区域。因此,本章将以盘山公路为例,对这类特殊公路进行分析。

Mallot 等人^[20]于 1991 年提出了逆透视映射的方法(inverse perspective mapping, IPM), Bertozzi 等人在文献[21]中详细介绍了 IPM 方法及其在车道线检测和障碍物检测中的应用。由于 IPM 方法经过精确地标定,其结果可以真实且准确地重现交通场景,所以在此后的十几年中,IPM 方法被广泛地应用于交通场景的分析和信息提取。

3.1 图像逆透视映射

摄像机透视成像的原理就是将世界坐标系下的真实三维场景转换到图像坐标系下的二维场景中。由于视角的存在,距离摄像机越远的景物产生的畸变越大。逆透视映射(IPM)方法可以消除这种透视作用^[22,23],得到场景的俯视图(bird's eye view)。同时,保留了原图像的各种信息(颜色、亮度等)。IPM 转换公式如下所示^[24]:

$$x(r) = h \left\{ \frac{1 + [1 - 2(r-1)/(m-1)] \tan \alpha_v \tan \theta}{\tan \theta - [1 - 2(r-1)/(m-1)] \tan \alpha_v} \right\} \quad (1)$$

$$y(r, c) = h \left\{ \frac{[1 - 2(c-1)/(n-1)] \tan \alpha_u}{\sin \theta - [1 - 2(r-1)/(m-1)] \tan \alpha_v \cos \theta} \right\} \quad (2)$$

其中:

$$\alpha_u = \arctan \left[\frac{n-1}{\sqrt{(m-1)^2 + (n-1)^2}} \tan \alpha \right] \quad (3)$$

$$\alpha_v = \arctan \left[\frac{m-1}{\sqrt{(m-1)^2 + (n-1)^2}} \tan \alpha \right] \quad (4)$$

r, c 分别为图像平面中像素点所在行和列;所拍摄图像的大小为 $n \times m$; h 为摄像机架设高度; α 为摄像机视角的 $1/2$; θ 为摄像机安装的俯角。如图 7 所示。

3.2 IPM 道路模型

IPM 是建立在道路平坦的基础上的,即如果道路是水平的,则车道线经过 IPM 转换将变为若干条平行线。水平路面的转弯经过 IPM 转换后,变为几条曲率相同的曲线,且各车道

线间距相等(车道宽度相等),可以用一组二次曲线表示为

$$y = a(x - d_i)^2 + b(x - d_i) + c \quad (5)$$

其中: d_i 为第 i 条车道线在 x 轴上的平移距离。车道线拟合后得到的二次曲线是开口向下的,且左转车道线在二次曲线中轴线 $x = -\frac{b}{2a}$ 的右侧,而右转车道线在中轴线的左侧。根据这个性质可以判断车道的走向。

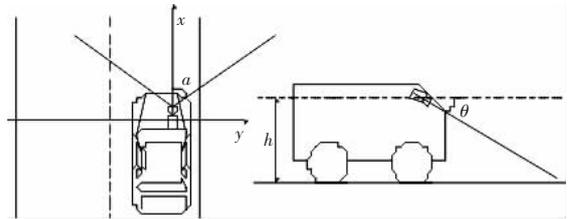


图 7 摄像机参数标定

道路的上下坡不符合 IPM 的假设条件,即须为水平路面,所以在 IPM 转换过程中存在形变。如图 8 所示, (a) 为水平直行道路,经 IPM 转换后,车道线为平行直线; (b) 为上坡直行路面,经转换后产生了形变,本应平行的车道线产生了夹角,且距离越远的路面越宽,路面呈现倒梯形; (c) 为下坡直行道路,距离越远路面越窄,路面呈现正梯形。因此,对盘山路段进行识别时正是凭借这一特征判断道路的上、下坡。

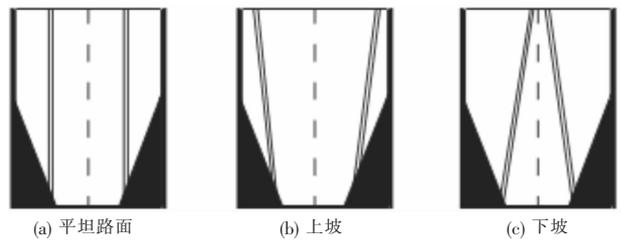


图 8 坡道 IPM 模型

3.3 盘山公路的识别

尽管 IPM 可以准确地还原三维场景,精确地测量道路的各种参数,但是其转换是对每个像素进行的,也就是要保留每个像素点的所有信息。与此同时,对于转换过程中的缺失区域还要用区域均值进行填充,可见这种运算是复杂而且费时的。因此,本文在 IPM 处理之前,首先对道路原图像进行了基于亮度的分割处理,提取出高亮度的道路标线区域;然后从标线区域选取特征点,并对其进行 IPM 转换;最后用二次曲线拟合 IPM 转换后的特征点,形成简单的道路 IPM 模型,以便进行分析。由于山路情况下前方路面的可见范围有限,且地形较复杂,车辆的行驶速度一般较慢。因此在判断车道走向的实验中,只分析前方 25 ~ 30 m 的道路情况,该区域即为感兴趣区域。

图 9 为一平坦左转山路的处理结果图, (a) 为感兴趣区域的 IPM 变换结果; (b) 为根据 IPM 转换后的特征点拟合得到的简易道路边界线。在转换的同时也可以得到道路宽度和前方距离等信息。

图 10 列举了可能出现的路况情况。从图中可以看到,右转车道线都分布在所在抛物线对称轴的左侧,而左转车道线均分布在对称轴的右侧。同时可以看到平坦路面经过 IPM 变换后道路等宽;下坡地形经过变换后,远处的路面宽度比近处窄;上坡情况正好相反,远处的路面宽度比近处宽。

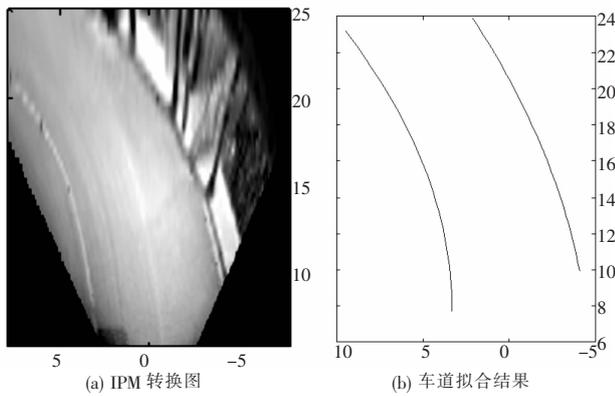


图 9 平坦左转山路识别

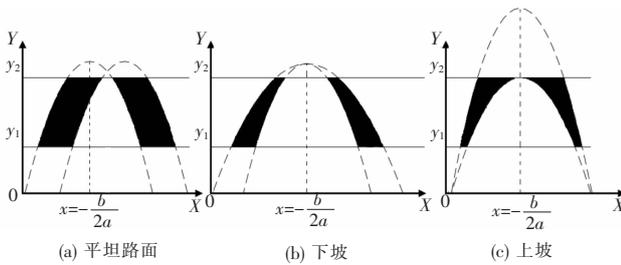


图 10 盘山公路 IPM 模型(黑色区域表示 IPM 转换后的路面,虚线表示用来拟合车道的二次曲线)

图 11 为两帧盘山道路图,从简易道路车道线曲线可以看出上述方法是可行的。

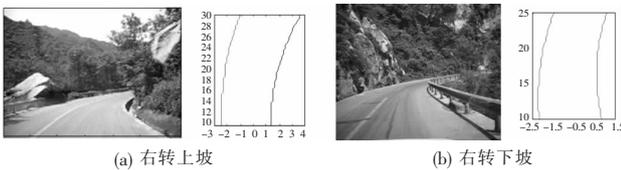


图 11 盘山公路识别

4 结束语

本文针对弯道、坡道和情况较为复杂的盘山公路的识别进行了讨论。针对简单道路,本文首先通过寻找地平线对路面区域进行了划分,并通过分段拟合识别了弯道。然后将道路消失点和水平线相比较,实现了坡道的识别。由于盘山道路的复杂性,本文引入了 IPM 方法,通过对道路标线特征点的处理,大大简化了该算法,提高了处理速度,且实现了弯道和坡道的同时识别。最后通过实验验证了方法的有效性。

参考文献:

[1] KASTRINAKI V, ZERVAKIS M, KALAITZAKIS K. A survey of video processing techniques for traffic applications [J]. *Image and Vision Computing*, 2003, 21(4): 359-381.

[2] CHIU K Y, LIN S F. Lane detection using color-based segmentation [C]//Proc of IEEE Intelligent Vehicle Symposium. 2005:706-711.

[3] CHENG Hong, ZHENG Nan-ning, LIU Tie. An approach of road recognition based mean shift and feature clustering[C]//Proc of the 6th International Conference on Signal Processing. 2002:1059-1062.

[4] RASMUSSEN C, KORAH T. On-vehicle and aerial texture analysis for vision-based desert road following [C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC:IEEE Computer Society, 2005.

[5] COLLADO J M, HILARIO C, De la ESCALERA A, et al. Adaptive road lanes detection and classification [C]//Proc of ACIVS. Berlin:

Springer-Verlag, 2006:1151-1162.

[6] ROTARU C, GRAF T, ZHANG J. Extracting road features from color images using a cognitive approach [C]//Proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2004:298-303.

[7] LEE J W, YI U K. A lane-departure identification based on LBPE, Hough transform, and linear regression [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2005, 99(3): 659-683.

[8] REDMILL K A. A simple vision system for lane keeping [C]//Proc of IEEE Conference on Intelligent Transportation System. 1997: 212-217.

[9] KIM K I, OH S Y, KIM S W, et al. An autonomous land vehicle PRV II: progresses and performance enhancement [C]//Proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 1995:264-269.

[10] BROGGI A. Robust real-time lane and road detection in critical shadow conditions [C]//Proc of International Symposium on Computer Vision. Washington DC:IEEE Computer Society, 1995:353-358.

[11] GRAEFE V, KUHNERT K D. Vision-based vehicle guidance [C]//Proc of International Conference on Industrial Electronix, Control, Instrumentation, and Automation. New York:Springer-Verlag, 1992:862-867.

[12] CRISMAN J, THORPE C. SCARF: a color vision system that tracks roads and intersections [J]. *IEEE Trans on Robotics and Automation*, 1993, 9(1): 49-58.

[13] EIDEHALL A, POHL J, GUSTAFSSON F. Joint road geometry estimation and vehicle tracking [J]. *Control Engineering Practice*, 2007, 15(12): 1484-1494.

[14] WANG Yue, TEOH E K, SHEN D G. Lane detection and tracking using B-snake [J]. *Image and vision computing*, 2004, 22(4): 269-280.

[15] HUH K, PARK J, HONG D, et al. Development of a vision-based lane detection system considering configuration aspects [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2005, 43(11): 1193-1213.

[16] 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.

[17] BERTOZZI M, BROGGI A, CONTE G, et al. Obstacle and lane detection on ARGO [C]//Proc of IEEE Conference on Intelligent Transportation System. 1997:1010-1015.

[18] DUDA R O, HART P E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures [J]. *Comm. ACM*, 1972, 15(1): 11-15.

[19] 陆宗骥. C/C++ 图像处理编程 [M]. 北京:清华大学出版社, 2005.

[20] MALLOT H A, BULTHOFF H H, LITTLE J J, et al. Inverse perspective mapping simplies optical flow computation and obstacle detection [J]. *Biological Cybernetics*, 1991, 64(3): 177-185.

[21] BERTOZZI M, BROGGI A. GOLD: a parallel real time stereo vision system for generic obstacle and lane detection [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1998, 7(1): 62-81.

[22] BERTOZZI M, BROGGI A, FASCIOLI A. Stereo inverse perspective mapping: theory and applications [J]. *Image and Vision Computing*, 1998, 16(8): 585-590.

[23] NIETO M, SALGADO L, JAUREGUIZAR F, et al. Stabilization of inverse perspective mapping images based on robust vanishing point estimation [C]//Proc of IEEE International Vehicles Symposium. 2007: 315-320.

[24] JOHNSON E, HAMBURGER R. Computer vision class project, weekly report, CS532016320 [R]. 2007.