

基于边缘提取和特征跟踪的道路检测算法

廖传锦, 黄席樾, 柴毅, 汪先矩, 刘卫红

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

摘要:研究了汽车辅助驾驶系统中的计算机视觉问题。一方面,用小波变换对高速公路上的道路边缘进行检测;另一方面,利用灰度以及几何特征实时跟踪和检测车道边缘,通过建立道路边缘模型,采用数据拟合的方法确定边界轨迹方程,从而估算出公路的延伸方向,实现汽车的自动防偏,并为解决汽车智能辅助驾驶系统的避障问题提供了有力的保证。

关键词:计算机视觉;小波变换;Hough变换;特征跟踪

中图分类号:TP 391.4

文献标识码:A

汽车智能辅助驾驶系统讨论汽车前向后向行驶的主动安全问题,其应用背景为高速公路或标准高等级公路。汽车前向后向行驶安全防撞系统是靠一对 CCD 摄像机来实现的。CCD 摄像机作为唯一的视觉传感器,可视为完全基于摄像机的视觉系统。因其在主动安全、防撞、防撞的广阔应用前景而受到各国的关注。几个工业发达的国家已相继将其纳入 90 年代初期开始重点研究的开发的“智能运输系统”和“智能车路系统”之中。

一个完善的汽车安全行驶智能辅助操作系统通常需要实现道路检测、障碍物检测和防偏、防撞安全行驶三部分功能。其中道路检测部分就是分析汽车前方图像,检测出汽车在道路上的位置,从而确定汽车的行驶方向,一般实现汽车“防偏安全行驶”。笔者将计算机视觉技术应用用于汽车智能辅助驾驶操作系统中的道路检测,采用了基于边缘检测和特征跟踪的算法寻找车道边缘,大大提高了算法的实时和效率。

1 车道边缘检测算法

1.1 图像的边缘提取

根据 Marr 视觉理论可知,识别一个对象是从其轮廓开始的,一幅图像不同部分的边缘往往是模式识别最重要的特征。在计算机视觉中,图像的边缘提取是一个非常基本的研究课题。多年来,人们提出了许多边缘检测算法,例如,Canny 算法、Marr 算法、Sobel 算法

等,但由于实际景物表面反射和纹理不同,加上成像过程所混杂的噪声,使得对所得到的图像分析处理变得十分复杂。普通的边缘检测算法对此类图像难以取得较好的效果。

由 Mallat 和 Meyer 提出的多分辨率分析(MRA)进而形成的小波理论是边缘检测的十分理想的工具。本文中,我们利用 Mallat 思想和理论进行了车道边缘提取,取得了满意的效果。

1.2 基于小波的图像边缘提取算法

先考虑一维的情况,对于一些特殊的小波函数 $\Psi(x)$,小波变换的极大值对应于信号的突变点,通常选择平滑函数 $\theta(x)$ 的一阶导数作为该小波函数。假设待测信号 $f(x) \in L^2(R)$,尺度函数为 $\varphi(x)$,则 $f(x)$ 在尺度 2^j 和位置 x 上的二进离散小波分解关系如下:

$$S_{2^{j+1}} f(x) = S_{2^j} f \cdot \Psi_{2^j}(x)$$

$$W_{2^j} f(x) = f \cdot \Psi_{2^j}(x)$$

笔者选择了三次样条函数作为平滑函数,则 $\Psi(x)$ 是一个紧支集的二次样条小波函数,它的离散滤波器系数为:

表 1 $\Psi(x)$ 的离散滤波器

n	H	G
-1	0.125	0
0	0.375	-2
1	0.375	-2
2	0.125	0

收稿日期:2001-06-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(69674012)

作者简介:廖传锦(1977-),男,四川简阳人,重庆大学硕士生。主要研究方向为光电检测与图像处理。

在信号域中,可以按下列关系进行小波分解,易于在计算机上实现。

$$\begin{cases} S_{2^{j+1}}(k) = [h]_{+2^j} \cdot S_{2^j}(k) \\ W_{2^{j+1}}(k) = [g]_{+2^j} \cdot S_{2^j}(k) \\ S_1(k) = f(k) \end{cases}$$

其中, $[\cdot]_{+m}$ 分别表示在滤波器的相邻系数间插入 $m-1$ 个零而得到的离散滤波器。将其推广到二维情况,则图像的离散小波分解的递推关系为:

$$\begin{cases} S_{2^{j+1}}f = S_{2^j}f \cdot [h, h]_{+2^j} \\ W_{2^{j+1}}(k) = S_{2^j}f \cdot [h, g]_{+2^j} \\ W_{2^{j+1}}(k) = S_{2^j}f \cdot [g, g]_{+2^j} \end{cases}$$

最后利用最大模算法,求出小波模的极大值对应位置即为图像的边缘。图 1 为图 2 的处理结果。



图 1 实际图像



图 2 边缘提取结果

基于小波变换的图像边缘提取算法:论文中所选取 $L^2(R)$ 的样条小波函数 $\Psi(x)$,它是紧支集的小波函数。它的特点是:在每个网格上是光滑的分片多项式;支集小、对称性好。小波函数支集小能保证时间-频率局部性好,稳定性好;光滑性好能保证频域里衰减速度快,实时性好。

1.3 Hough 变换求取车道边缘方程

完成边缘提取后,下一步就需要求取车道的边缘方程。以前的研究表明,综合考虑直道和弯道的情况下发现,对于车道的轨迹线采用二次多项式拟合就可以

达到相当高的精度。因此,在本文中,就使用它来作为车道边缘轨迹线的参数模型。

为了找出图中道路边缘点所构成曲线的的参数,利用了 Hough 变换。首先,建立一个在空间的三维直方图。对每个边缘点,给所有与该点的 Hough 变换所对应空间的直方图一个增量,当对所有边缘点实施完这种操作后,包含的方格将具有局部最大值。然后对空间的直方图进行局部最大值搜索,可以获得边界曲线的参数。

具体实现时,要求离散参数空间。为了提高计算的效率,研究发现:通常情况下,左车道位于图像的左半平面,右车道位于图像的右半平面,利用这个约束条件,可以大大减少参数的搜索范围,从而提高了算法的速度和效率。图 3 即为通过 Hough 变换所求出的车道边缘。

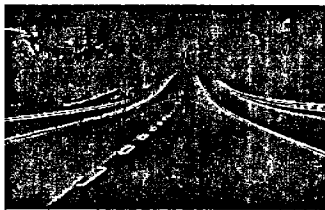


图 3 Hough 变换后找出的车道边缘线

2 车道边缘线的实时跟踪

上述算法能够准确的找到车道的边缘,但其速度和效率仍然不够。因此需要进一步改进算法。

由于本系统处理速度(主要由图像处理速度决定)已达到 4 帧/s,因此在正常情况下,相邻帧图像中车道边缘的位置变化很小。因此,提出一种基于特征跟踪的车道边缘提取算法。下面,简要介绍这种算法。

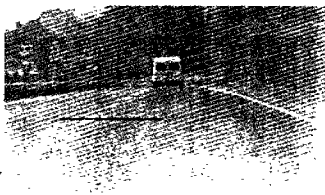


图 4 实际图像

2.1 车道的边缘提取

图 4 中一条长度为 100 像素的扫描线(图中水平黑线段)上的各点的灰度值曲线如图 5 所示。

由此,可以很容易的建立图 6 所示的车道边缘特征模型。

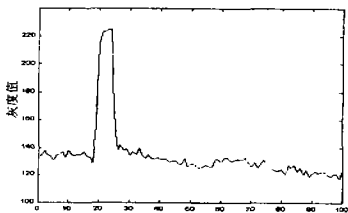


图 5 扫描线上各点的灰度曲线

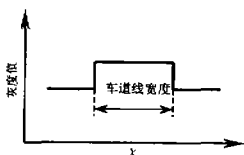


图 6 车道线的特征模型

这样,即可利用边缘提取算子 $g[i]$, 求出车道边缘,从而确定其位置。

$$g[i] = \begin{cases} -1 & i = -W(x), -(W(x)-1), \dots, -1 \\ 0 & i = 0 \\ +1 & i = 1, \dots, (W(x)-1), W(x) \end{cases}$$

$W(x)$ 为图像坐标下车道的边缘宽度,它与 x 坐标成线性关系,也就是说,在不同的扫描行上,可以采用不同宽度的特征模板进行匹配。

2.2 车道线宽度的估计推导

图 7 表示了系统的坐标系。其中 $O-XYZ$ 为世界坐标系, S 为图像平面, $o-xy$ 为图像坐标系,摄像机

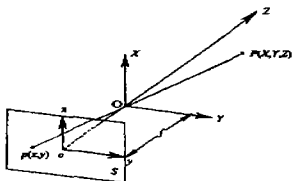


图 7 系统的坐标系

的光轴与地面平行。因此,对于空间任意一点 $P(X, Y, Z)$, 其世界坐标 (X, Y, Z) 与图像坐标 (x, y) 存在如下关系(其中 f 表示焦距):

$$\begin{cases} x = f \frac{X}{Z} \\ y = f \frac{Y}{Z} \end{cases}$$

在上述坐标系下,根据投影关系和几何关系,图像中车道边缘线上左右对应两点 P_1, P_2 的坐标存在如下关系:

$$\begin{cases} x_1 = f \frac{Y_1}{Z_1}, x_2 = f \frac{Y_2}{Z_2} \\ y_1 = f \frac{Y_1}{Z_1}, y_2 = f \frac{Y_2}{Z_2} \\ Z_1 = Z_2, x_1 = x_2 \\ Y_1 - Y_2 = W_{true} \end{cases}$$



图 8 特征提取结果



图 9 拟合出的车道边缘线

其中, $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 分别为 P_1, P_2 在摄像机坐标系下的坐标; $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2)$ 分别为 P_1, P_2 在世界坐标系下的坐标; W_{true} 表示车道线的真实宽度,它为一个常数。

由于摄像头与汽车底盘所形成的平面平行,所以近似有 $X_1 = X_2 = -H$, H 表示摄像机离地面的距离。

联立求解,可以得到图像坐标系下车道的宽度 $W(x) = y_2 - y_1 = -kx$, 其中 $k = W_{true}/H$ 为常数, x_1

$= x_2 = x_0$

根据前几帧图像检测出的车道边缘信息,预测出当前帧车道可能出现的位置,然后用扫描线进行扫描,根据上述特征模型,找出当前帧图像的车道边缘及特征点,将检测出的车道边缘特征点进行二次多项式拟合,即所求的车道边缘线方程。

3 结 论

由于汽车安全行驶辅助操作系统要求的实时性很高,根据系统选定的采样周期,必须在 0.25s 之内处理完一帧图像并送出指令,所以车道边缘的检测必须在 0.15 s 左右完成。利用笔者所提出的算法已能满足这个要求。关于障碍物的识别与跟踪,实现智能辅助驾驶问题,将在以后的论文中叙述。

参考文献:

[1] TURK MATTHEW A, MORGENTHALER DAVID G, GREMBAN

KEITH D, MARRA MARTIN, VITS-A Vision System for Autonomous Land Vehicle Navigation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence., 1988, 10(3): 324 - 361.

[2] KUAN DARWIN, PHIPPS GAGY, CHUAN HSUEH A, Autonomous Robotic Vehicle Road Following [J], IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence., 1988, 10(5): 648 - 658.

[3] MALLAT STEPHANE, ZHONG SIFEN, Characterization of Signals from Multiscale Edges[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence., 1992, 14(7): 710 - 732

[4] OH SE - YOUNG, LEE HEONG - HOON, CHOI DOO - HYUN. A New Reinforcement Learning Vehicle Control Architecture for Vision - based Road Following[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence., 2000, 49(3): 997 - 1005

[5] BEHRINGER REINHOLD, MULLER NIKOLAUS, Autonomous Road Vehicle Guidance from Autobahnen to Narrow Curves[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation., 1998, 14(5): 810 - 815

A Lane-Finding Algorithm Based on Edge Detection and Feature Tracking

LIAO Chuan-jin, HUANG Xi-yue, CHAI Yi, WANG Xian-ju, LIU Wei-hong

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper do some research on the problem of computer vision on autonomous vehicle navigation system on highways. This algorithm first extracts the lane edges by means of wavelet transformation. Then the feature model of the lane markings is built, Which are tracked them in real time. Finally in terms of the parameterized model for the appearance of the lane in the image it fits the lane and get the road direction. This information assures that the whole system can realize lateral control and longitude control.

Key words: computer vision; wavelet Transformation; hough transformation; feature tracking

(责任编辑 吕赛英)