

一种基于改进 Hough 变换的车道线检测算法

卞建勇¹, 徐建闽²

(1 东莞职业技术学院 电子工程系, 广东 东莞 523808; 2 华南理工大学, 广东 广州 510640)

摘 要: 文中提出了一种适合于 DSP 的基于改进的 Hough 变换的车道标志线检测算法. 算法首先对经典 Hough 变换的前级处理过程——边缘提取中的边缘图像进行梯度运算, 然后利用获得的梯度运算结果来确定后续 Hough 变换过程中本该 360° 搜索的边缘方向这个参数, 同时基本不影响车道标志线检测结果的前提下对参数空间进行适当分块, 以减少车道标志线检测算法的运算量. 实验结果表明: 文中的方法不仅能够准确地检测出待检测路面的车道标志线, 而且能够实时的运行在 DM648DSP 硬件平台上, 获得了很好的车道标志线检测效果.

关键词: 梯度; Hough 变换; 车道标志线检测; DM648DSP

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)05-0157-05

A Lane Marking Detection Algorithm Based on Improved Hough Transformation

BIAN Jian-yong¹, XU Jian-min²

(1 Department of Electronic Engineering, Dongguan Polytechnic, Dongguan 523808, China;

2 South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper proposes a suitable for DSP's lane marking detection algorithm based on improved Hough transform, the algorithm first computes gradient of the edge image from the edge extraction which is just the pre-class process of the classical Hough transform, and then use the computed gradient results to determine the parameter of edge orientation which should be searched from 360 degree in the next process of Hough transform, further more the algorithm to reduce its computation divided the parameter space into many little blocks in the precondition of no affect lane marking detection results. Experimental results showed that: the method not only can accurately detect the lane marking, but also can run in DM648DSP hardware platform in real-time, and get a wonderful lane marking detection results.

Key words: gradient; Hough transform; lane marking detection; DM648DSP

1 引言

当前的交通参数视频检测系统(尤其是基于 DSP 硬件平台的交通参数视频检测系统)在计算车流和车道占有率时, 为了减少运算量, 通常是在每条车道设置一条以上的虚拟线圈, 对经过虚拟线圈的车辆进行检测统计, 但是当车辆在虚拟线圈位置跨道行驶比较多时就会出现比较大的检测误差. 比较好的解决方法就是只在同一行驶方向的路面仅设置一条虚拟检测

线圈, 同时对车道标志线进行检测以确定每条车道的具体范围, 对跨道车辆进行分析判断将其计入覆盖面积比较大的车道, 从而实现更加合理精确的统计. 国内外专家学者提出的车道标志线检测算法主要有两大类: 一类是基于模型的车道标志线检测算法^[1-9]. 基于模型的车道标志线检测算法主要是基于不同的道路图像模型(直线模型、样条曲线模型或双曲线模型等), 结合不同的识别技术(如 Hough 变换、神经网络等)来对车道标志线进行识别; 基于特征的车道标志

收稿日期: 2012-07-20; 修回日期: 2012-08-22

基金项目: 广东省工业科技攻关计划项目(2005A10101001)

线检测算法主要是结合道路图像中标志线的一些特征(如颜色特征、灰度梯度特征等),利用不同的识别技术(如 Hough 变换、模板匹配等)从所获取的图像中识别出车道标志线。基于模型的车道标志线检测算法本身算法比较复杂,运算量比较大,还很难满足实时性的需要。目前比较常用的是基于特征的车道标志线检测算法,尤其是基于灰度特征的车道标志线检测算法由于其运算复杂度相对较低,比较受欢迎。基于灰度特征的车道标志线检测算法通常是利用灰度梯度特征提取边缘图像,再结合 Hough 变换进行直线检测识别车道标志线。Hough 变换的优点是它对噪声不敏感,能够较好的处理图像中车道标志线部分不清晰等情况,但是经典的 Hough 变换运算量比较大,对存储空间需求比较大,尤其是应用于 DSP 硬件平台时有必要对其进行改进,基于此,本文提出了一种适合于 DSP 的基于改进的 Hough 变换的车道标志线检测算法。

假定已经对某交通视频序列图像仅在检测范围内设置了一条虚拟检测线圈,并在虚拟检测线圈区域内进行了背景提取,因此车道标志线检测只需对提取出的背景图像进行车道标志线检测即可。本文提出的基于改进的 Hough 变换的车道标志线检测算法主要包含以下三个步骤:背景图像边缘抽取、二值化、基于改进的 Hough 变换的背景图像车道标志线提取。

2 基于 Sobel 的背景图像边缘抽取

在通常情况下,车道标志线一般都具有比较强

$$\begin{array}{cccc}
 \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\
 \text{方向 0} & \text{方向 1} & \text{方向 2} & \text{方向 3} \\
 \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \\
 \text{方向 4} & \text{方向 5} & \text{方向 6} & \text{方向 7}
 \end{array}$$

图 1 八方向 Sobel 模板

针对交通路面视频的背景图像,结合路面的对称性,一般只需选择 0 至 3 这四个模板进行 Sobel 边缘提取,就可以获得不错的边缘抽取效果。

3 基于最大类间方差法的车道线边缘图像二值化

道路背景图像经过边缘抽取后可能仍然含有

的边缘,因此先对虚拟检测线圈区域内的背景图像进行边缘抽取。目前,用于边缘抽取的常用算法有:Roberts 算子、Laplace 算子、Prewitt 算子、Canny 算子、Sobel 算子等。综合考虑实时性和实际处理效果后,本文中选择了 Sobel 算子对背景图像进行边缘抽取。Sobel 算子是一种一阶微分算子,它利用像素邻近区域的梯度值,根据一定的阈值来作取舍,其优点是方法简单,处理速度快,而且可以得到连续的边缘。经典的 Sobel 算子为:设 $I(x,y)$ 表示像素点 (x,y) 的灰度值, $S(x,y)$ 表示边缘图像,定义:

$$I_x = \text{abs}([I(x-1,y+1)+2I(x,y+1)+I(x+1,y+1)]-[I(x-1,y-1)+2I(x,y-1)+I(x+1,y-1)]) \quad (1)$$

$$I_y = \text{abs}([I(x-1,y-1)+2I(x-1,y)+I(x-1,y+1)]-[I(x+1,y-1)+2I(x+1,y)+I(x+1,y+1)]) \quad (2)$$

则 $S(x,y) = \max(I_x, I_y)$, 式(1)和(2)中 I_x, I_y 分别表征了 X 方向和 Y 方向的灰度变化程度,即 X 方向和 Y 方向的方向梯度值, $S(x,y)$ 为 I_x, I_y 的较大值。适当选择门限 T , 若 $S(x,y) > T$, 则 (x,y) 为边缘点, 否则 (x,y) 为非边缘点。

经典的 Sobel 算子只有 X 和 Y 两个方向的模板,实际处理中,通常对算法进行改进,采用对应八个方向的八个模板,定义灰度梯度水平向右为方向 0, 然后顺时针依次转动 45 度分别为方向 1、2、3、4、5、6、7, 则八个方向模板如图 1 所示。

很多无用信息,需采用二值化对其进行处理以提取包含车道标志线在内的有用信息。由于天气、光线等不确定因素的存在,为提高处理结果的鲁棒性和自适应性,二值化要解决的是自动最佳阈值的确定问题,最佳阈值的确定算法主要有:最大熵法、二维直方图法、分水岭法、最大类间方差法等等。本文中采用最大类间方差法确定最佳阈值,该算法是由日本

学者大津于1979年提出的,又叫大津法,简称 Otsu,其准则就是使进行阈值处理后分离的像素类之间的类间方差最大^[10]。

假定图像原始灰度级为 M , 灰度级为 i 的像素个数为 n_i , 则总的像素数为:

$$N = n_0 + n_1 + \cdots + n_{M-1} \quad (3)$$

对灰度级进行归一化:

$$p_i = n_i/N, p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{M-1} p_i = 1 \quad (4)$$

令阈值为 k 时, 就可将图像灰度分成灰度级为 $\{0, 1, \dots, k\}$ 和 $\{k+1, k+2, \dots, M-1\}$ 的两类 C_1 和 C_2 , 则每一类出现的概率为:

$$\omega_1 = \sum_{i=0}^k p_i, \quad \omega_2 = 1 - \omega_1 = \sum_{i=k+1}^{M-1} p_i \quad (5)$$

令 $\mu(k) = \sum_{i=0}^k ip_i, \mu_\Gamma = \sum_{i=0}^{M-1} ip_i$, 则类 C_1 和 C_2 的均值分别为:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=0}^k ip_i}{\omega_1} = \frac{\mu(k)}{\omega_1} \quad (6)$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=k+1}^{M-1} ip_i}{\omega_2} = \frac{\mu_\Gamma - \mu(k)}{1 - \omega_1} \quad (7)$$

通过简单的转换可得两类的类间方差为:

$$\sigma_B^2(k) = \omega_1 (\mu_1 - \mu_\Gamma)^2 + \omega_2 (\mu_2 - \mu_\Gamma)^2 \quad (8)$$

最佳阈值 k^* 应该能使得类间方差最大, 即使得

$$\sigma_B^2(k^*) = \sum_{0 \leq k \leq M-1} \max\{\sigma_B^2(k)\} \quad (9)$$

最大类间方差法只需要计算直方图的 0 阶矩和 1 阶矩, 因此实时性得到了较好的满足。

4 基于改进的 Hough 变换的背景图像车道标志线检测

4.1 经典 Hough 变换

经典 Hough 变换是由 Paul Hough^[11] 于 1962 年以专利形式提出的, 它实现了一种从图像空间到参数空间的映射关系。其基本思想是源于点—线的对偶性, 即图像空间共线的点对应在参数空间里相交的线; 反过来, 在参数空间中相交于同一个点的所有直线(曲线)在图像空间里都有共线的点与之对应。Hough 变换经常用来在图像中寻找直线。假设有一条与原点距离为 ρ , 方向角为 θ 的一条直线, 如图 2 所示。则直线上的每一点都满足以下方程:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (10)$$

式中, ρ 是直线到原点的法线距离, θ 是该法线

与 x 轴的夹角。直角坐标系中的直线被映射到极坐标系的一点 (ρ, θ) , 而直角坐标系上的点则对应极坐标系上的一条正弦曲线。直角坐标系中任意两点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 所对应的正弦曲线在极坐标系上将相交于一点 (ρ, θ) , 进而通过点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 的直线上的所有点所对应的正弦曲线在极坐标系中都将相交于这一点。Hough 变换其实就是将图像中的每个特征点映射到参数空间的累加阵列的多个单元(累加器)中, 然后统计各个单元的计数值以获得局部极值, 因此, 直线检测问题就转化为极坐标系中寻找局部最大值的问题。

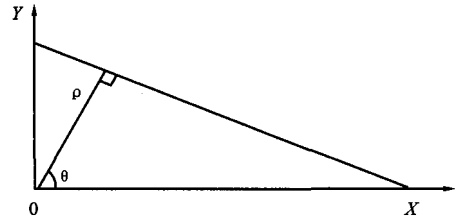


图2 直线的极坐标表示

如果使用经典 Hough 变换理论进行车道标志线检测, 则二值化边缘图像空间 $[x, y]$ 中的点对应参数空间 $[\rho, \theta]$ 中的一条曲线, 针对每一个边缘点, 求取其对应于每一个 θ 角度的 ρ , 若 ρ 的大小合适, 即该直线在图像平面内, 则在 Hough 平面内对应的 $[\rho, \theta]$ 坐标下增加一个单位, 将所有的边缘点逐个进行变换, 最后求取 Hough 平面内的极值, 即为原图像空间中对应的直线参数。显然对于每一个边缘点求取整个 $\theta \in (0, 2\pi)$ 空间对应的 ρ 值是相当费时的。

4.2 适合于 DSP 的改进的 Hough 变换

对于 TI 公司 DM648DSP 视频图像处理硬件平台来说, DSP 能够访问的内存空间远远没有 PC 机可访问的内存空间大, 对运算量比较大的视频图像处理算法应用到 DSP 时有必要对其进行适当的改进。由于经典的 Hough 变换算法非常复杂费时, 因此, 需要对经典 Hough 变换作适当的改进, 以减少算法的运算量。

假设 $I'(x, y)$ 表示二值化前的边缘图像, 则其在 X 方向和 Y 方向的方向梯度值可表示为 I'_x, I'_y , 边缘点 (x, y) 的梯度幅值为 $|\nabla I'| = \sqrt{I_x'^2 + I_y'^2}$, 边缘点 (x, y) 的梯度方向为 $\theta = \tan^{-1}(I'_y/I'_x)$ 。由此可见, 通过对二值化前的边缘图像的边缘点进行梯度计算, 就可以获得边缘的方向, 即 θ 值, 如果经典 Hough 变换法希望角度分辨率为 1 度, 则每次迭代要对每种可能的 θ 值计算 ρ 值, 于是对二值化边缘图

像中的每个边缘点要根据角度分辨率为 1 度的 360 个不同的 θ 取值计算 ρ 值, 并给 360 个累加器增值, 而通过计算边缘点梯度方向确定了 θ 的取值后, 对确定了 θ 值我们只需计算 ρ 值一次, 这样的改进就获得了一个 360 : 1 的加速。

最后再在改进的 Hough 变换算法中引入参数空间分块的思想, 即将参数空间划分成适当大小的累积区域, 对每个累积区域设置一个累加器, 在将平面直角坐标系中的点映射到参数空间形成曲线时, 对曲线进行量化处理, 即对 ρ, θ 进行量化处理, 量化后的点落于不同的累积区域时就对相应累积区域的累加器进行增值 1 的计算, 最终计算数值最大的累积区域就为峰值区域。算法在改进部分的具体处理流程如下:

(1) 根据图像大小选择适当的 ρ, θ 量化值 $\Delta\rho, \Delta\theta$, 将参数空间划分成 $m \times n$ 单元 (m, n 分别为 ρ, θ 的等分数), 每个区域的累加器记为 $A(m, n)$, $A(m, n)$ 初始化为 0。

(2) 根据点 (x, y) 和量化的 θ 值计算出 ρ 值。

(3) 在参数空间中, 找到 ρ, θ 对应的累积区域, 将相应的累加器增 1, 即 $A(m, n) = A(m, n) + 1$ 。

(4) 重复 (2)、(3) 步, 直到遍历图像平面中所有的点, 找出累加器中数值最大的累积区域所对应的参数。

实际操作过程中对参数空间划分时, 要在处理效果和算法对存储空间的需求之间选择一个折中的划分大小。

5 车道标志线检测实验

本文在 DM648DSP 硬件平台上对基于改进的 Hough 变换的车道标志线检测算法进行实验研究, 实验过程中由安装有天敏 VC8000E 视频采集卡的台式电脑采集 DSP 硬件平台的视频输出图像, 再通过台式电脑截图获得相关实验结果图像。

实验过程中使用的已经设定好路面检测区域的原始输入图像序列如图 3 所示。对图 3 所示的序列图像在虚拟检测线圈区域内进行背景提取后的背景图像如图 4 所示。图 5 为使用 Sobel 算子对图 4 所示的背景图像在虚拟检测线圈区域内进行边缘提取后获得的背景图像的边缘提取图像。图 6 为使用最大类间方差法对图 5 所示的边缘图像进行阈值确定并使用该阈值进行二值化后获得的边缘图像二值化图像。

在使用本文所介绍的改进的 Hough 变换进行

车道标志线检测时, 分别选取 ρ, θ 量化值 $\Delta\rho=10, \Delta\theta=5$, 并将参数空间分成了 120×36 个累积区域单元。图 7 为对图 6 进行改进的 Hough 变换在参数空间生成的参数空间曲线图像。图 8 为对图 7 所示的 Hough 变换参数空间曲线进行统计并进行最小二乘法直线拟合而获得的车道标志线图像。



图 3 原始输入图像

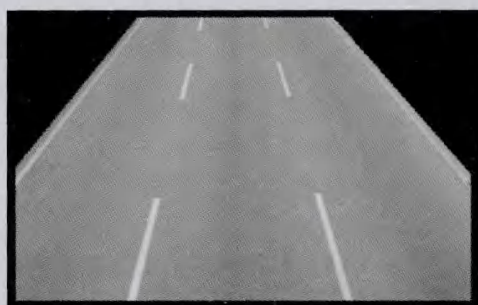


图 4 提取出的背景图像

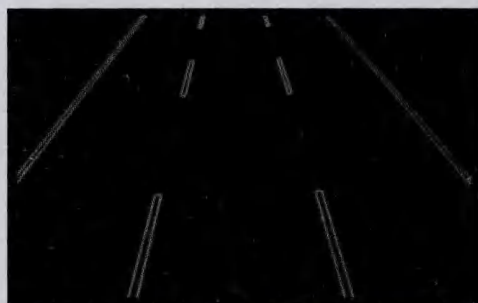


图 5 边缘提取图像

6 结束语

使用经典的 Hough 变换进行车道标志线检测时, 通常由于其算法复杂度和运算量都比较大, 而使得该算法很难被实时的应用到交通参数视频检测系统中, 尤其是主频更低的基于 DSP 硬件平台的交通参数视频检测系统更是不可能使用该算法, 因此, 本文提出了一种适合于 DSP 的基于改进的 Hough 变换的车道标志线检测算法, 该算法首先通过对图像



图6 边缘图像二值化



图7 参数空间曲线图像



图8 提取出的车道线图像

预处理过程中的边缘图像进行梯度运算,从而确定每个边缘点的梯度方向 θ ,对确定了 θ ,再进行 Hough 变换就只需计算 ρ 值一次,同时在基本不影响车道标志线检测结果的前提下,算法还对参数空间进行了适当的分块,以减少车道标志线检测算法的运算量.本文最后的实验结果表明:改进的 Hough 变换车道标志线检测算法在保证 DM648DSP 硬件平台实时性的前提条件下,准确地检测出了待检测路面的车道标志线,获得了很好的检测效果.

参考文献:

- [1] Assidiq A A M, Khalifa O O, Islam R, et al. Real time lane detection for autonomous vehicles[C]//International Conference on Computer and Communication Engineering. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2008:82-88.
- [2] MIN T, Fuqiang L, Wenhong Z, et al. Vision based lane detection for active security in intelligent vehicle[C]//IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. Shanghai: IEEE, 2006:507-511.
- [3] D'Cruz C, Jua Jia Z. Lane detection for driver assistance and intelligent vehicle applications[C]//International Symposium on Communications and Information Technologies. Sydney: IEEE, 2007:1291-1296.
- [4] HAO F, Haifeng W, Ze Z, et al. Vision-based lane detection for mobile robot navigation[C]//proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. Beijing: IEEE, 2008:3858-3863.
- [5] KLUGE K., Lakshmanan S. A Deformable-template approach to lane detection[C]//Proceedings of the Intelligent Vehicles '95 Symposium. Detroit: IEEE, 1995:54-59.
- [6] LAI A H S, Yung N H C. Lane detection by orientation and length discrimination[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2000, 30(4):539-548.
- [7] Watanabe A, Nishida M. Lane detection for a steering assistance system[C]//Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. [s. l.]: IEEE, 2005:159-164.
- [8] 陈军, 赵玉凡, 徐友春, 等. 基于启发式搜索的车道线识别算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(31):206-209, 229.
- [9] 卞建勇, 徐建闽, 胡跃明. 基于视觉和后推方法的智能车轨迹跟踪控制[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2008, 36(6):90-94.
- [10] 吴冰. 自动确定图像二值化最佳阈值的新方法[J]. 中国图像图形学报, 2001, 18(4): 283-286.
- [11] HOUGH P V C. Method and means for recognizing complex patterns[P]. U S: Patent 3069654, 1962.

作者简介:

卞建勇 男, (1980-), 博士, 副教授. 研究方向为智能控制、图像处理与模式识别.