

一种基于直线模型的车道线识别算法研究 *

樊 超, 狄 帅, 侯利龙, 石小凤
(河南工业大学 信息科学与工程学院, 郑州 450001)

摘 要: 为了更好地满足车道标志线识别算法的实时性和鲁棒性要求,提出了一种新的、有效的车道标志线识别算法。将图像灰度化后,采用中值滤波去除图像采集过程中引入的噪声,应用方向可调滤波器进行边缘提取,在提取过程中对原图像进行感兴趣区域划分并采用边缘分布函数法确定方向可调滤波器的初始方向角。提出使用基于梯度加权的霍夫变换对车道标志线进行识别,通过建立梯形感兴趣区域的方法实现对车道标志线的实时跟踪,并对多段实地采集的视频进行实验测试。结果表明:基于方向可调滤波器与梯度加权的霍夫变换相结合的车道标志线识别方法,简化了对车道标志线信息特征参量的估计;不仅大大缩减了算法的执行时间,而且使算法的鲁棒性得到很大的提高。

关键词: 方向可调滤波器; 边缘分布函数; 梯度加权霍夫变换; 车道标志线识别; 车道标志线跟踪

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0326-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.090

Linear model based lane mark identification algorithm

FAN Chao, DI Shuai, HOU Li-long, SHI Xiao-feng
(School of Information Science & Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to meet the requirements of the real-time and robustness of lane mark identification algorithm, this paper proposed a lane mark identification algorithm. Turning the color image into grayscale, filtering out noise by median filter and extracting the lane mark edge by steerable filter were introduced firstly. To determine the initial direction angle of the filter, the image was divided into interest regions and the algorithm of edge distribution function (EDF) was used. Then, put forward the identification algorithm based on gradient weighted Hough transform. Finally, performed the real-time tracking of the lane mark by establishing trapezoid areas of interest, and verified the validity of the proposed method by experiments by using several videos. The results show that the combination of steerable filter and gradient weighted Hough transform simplifies the information characteristics of the lane mark estimation, which also greatly reduces the execution time and makes the robustness of the algorithm greatly improved.

Key words: steerable filter; edge distribution function; gradient weighted Hough transform; lane mark identification; lane mark tracking

0 引言

车道标志线的正确识别是智能车辆实现自主导航和一些安全辅助驾驶系统(如车道偏离预警系统等)正常工作的基本前提。目前,已经提出了很多基于视觉的车道标志线识别方法。按照识别方法的不同总体上可分为两大类,即基于特征和基于模型。这些方法通常利用不同的道路模型(2D 或 3D、直线或曲线)和不同的车道线提取技术(Hough 变换、模板匹配、神经网络技术和小波技术等)^[1~5]。此外,车道线识别算法还可以分为基于频率域或空间域两种方式。大部分车道线识别算法都工作在图像的空间域,但也有算法工作在图像的频率域。文献[6]中就提出了一种使用频率域特征进行车道线识别的算法。

当道路路面结构不均匀、光照变化以及其他车辆的存在使得道路图像变得复杂时,上述方法有时会出现误识别。究其原因,大部分是由于道路图像预处理效果不好所致。因此,本文

针对实际交通环境,提出一种新的、有效的预处理方法;同时,为了进一步提高算法的实时性和鲁棒性,提出一种改进的 Hough 变换方法进行车道标志线的识别。

1 道路图像预处理

车载视觉系统采集到的图像中除了含有车道线信息外,通常还有很多噪声和干扰信息;道路图像预处理的目的是最大程度地强化车道标志线信息,除去干扰与噪声,为更好地进行车道标志线识别作准备。

1.1 灰度化与滤波处理

车载视觉系统采集的图像为彩色图像,为了加快处理速度,通常把彩色图像转换成灰度图像。图像灰度化的方法主要有:直接使用 G 作为转换后的灰度,取 $R、G、B$ 三个分量中的最大值、最小值、算术平均值等。这里采用取三个分量的算术平均值对原始彩色图像进行灰度化处理。

图像的滤波处理主要分为空间域和频域两种方法,前者是

对图像的像素直接进行处理,后者是以修改图像的傅里叶变换为基础。考虑到车载系统实时性要求,一般采用空间域滤波。本文采用中值滤波处理方法,该方法是一种局部平均的平滑技术,对脉冲干扰和椒盐噪声的抑制效果较好,在一定条件下可克服线性滤波器(如最小均方滤波、均值滤波等)带来的图像细节模糊,有效保护图像的边缘^[7]。图 1 给出了原始彩色图像和经过灰度化及中值滤波处理后的图像。

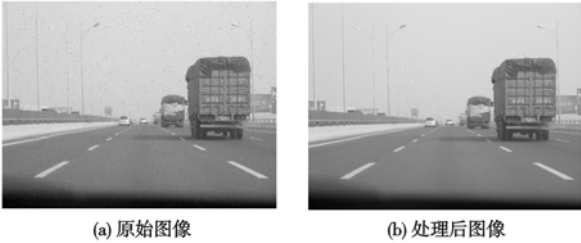


图1 灰度化与中值滤波

1.2 基于方向可调滤波器的车道标志线边缘提取

根据 Marr 视觉理论可知,识别一个对象是从其边缘开始的,一幅图像不同部分的边缘往往是模式识别最重要的特征。在车道线边缘检测方法中应用最广泛的是各种梯度算子,如 Sobel、Prewitt、Canny 等。但是这些边缘检测算子在使用过程中并没有考虑车道线的方向特征。应用此类算法对整幅图像进行运算时,不仅耗时较长,不利于实时性的要求,而且又会将图中其他边缘一并提取,给后续的车道线识别增加困难。鉴于此,提出应用方向可调滤波器进行边缘提取。

1.2.1 基于可变窗口的方向可调滤波器

经过对车载视觉系统获取的道路图像进行分析,根据其车道线识别的重要程度将图像按图 2 划分为三个区域:左车道线存在区域 A_1 、右车道线存在区域 A_2 以及不考虑区域 A_3 ,设整幅图像平面面积为 S ,区域 A_1 、 A_2 、 A_3 的面积分别为: $7S/24$ 、 $7S/24$ 、 $5S/12$ ^[8]。



图2 道路图像分区示意

由于 A_3 区域主要为天空区域,基本不含有车道标志线信息,边缘提取时直接将其作为背景处理,即只在区域 A_1 、 A_2 中进行边缘提取,以提高识别系统的实时性。

方向可调滤波器的基本思想是用一组不同方向的基本滤波器的线性组合来实现一个滤波器在任意方向上的响应,该响应可以看做是方向角的函数,通过控制其方向角的值来决定该滤波器的输出^[9]。本文选取二维高斯函数的一阶导数作为基本滤波器,其表达式分别如式(1)~(3)所示^[10]。

$$G(x,y) = \exp(-(x^2 + y^2)) \tag{1}$$

$$G_1^{0^\circ} = \frac{\partial}{\partial x} \exp(-(x^2 + y^2)) = -2x \exp(-(x^2 + y^2)) \tag{2}$$

$$G_1^{90^\circ} = \frac{\partial}{\partial y} \exp(-(x^2 + y^2)) = -2y \exp(-(x^2 + y^2)) \tag{3}$$

其中,式(1)为高斯函数,式(2)(3)分别是方向为 0° 、 90° 的基本滤波器。对式(2)(3)进行线性组合即可得到任意方向的滤波输出,如式(4)所示:

$$G_1^\theta = G_1^{0^\circ} \cos \beta + G_1^{90^\circ} \sin \beta \tag{4}$$

式中, β 为方向可调滤波器的方向角。

1.2.2 基于边缘分布函数法(EDF)的方向角 β 的确定

在车道线的初始识别时,并不知道车道线的方向,也就不能给出式(4)中所需的方向角 β 。为此,本文采用边缘分布函数法对车道线方向进行确定^[11]。

设一幅灰度图像为 $I(X,Y)$,其梯度方程如下式所示:

$$G(I(x,y)) = \left[\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y} \right]^T \approx (D_x, D_y)^T \tag{5}$$

式中, D_x 、 D_y 分别为利用 Sobel 算子计算得到的 x 与 y 方向的梯度。由此,可以计算梯度的幅值和相角:

$$|G(I(x,y))| = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \approx |D_x| + |D_y| \tag{6}$$

$$\beta(x,y) = \arctan \frac{D_y}{D_x} \tag{7}$$

根据式(6)(7),通过对感兴趣区域的梯度方向进行统计即可得到左、右车道线的初始滤波方向角。由于 EDF 方法计算量稍大,考虑到系统的实时性,该方法仅用于初始识别以及跟踪算法失效后重新启动初始识别算法情况下的方向角确定。

1.2.3 边缘提取效果对比

为了比较方向可调滤波算法对车道线边缘提取的效果,以图 3(a)作为原始图像,分别使用 Sobel、LoG、Canny 算子以及方向可调滤波算法对车道线边缘进行提取,提取效果分别如图 3(b)~(e)所示。

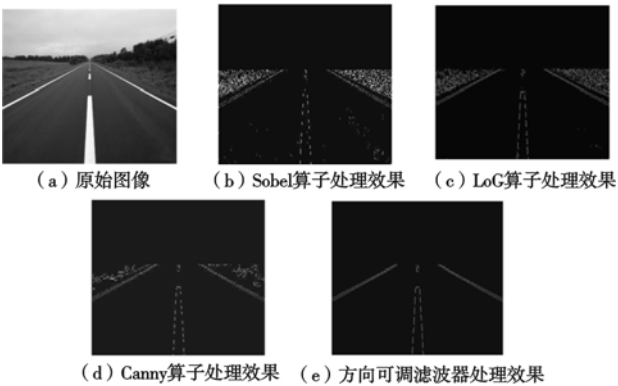


图3 几种边缘提取方法效果对比

从图 3 中可以看出,相比其他边缘提取算子,方向可调滤波器能更好地提取车道线信息,抑制噪声。通过对每种算法处理后图像中车道线上点的灰度值总和 m_1 以及图像中所有点的灰度值总和 m_2 进行统计,得到的结果如表 1 所示。

表 1 灰度值总和统计

边缘提取方法	m_1	m_2	$k = m_1/m_2$
Sobel 算子	2219	12306	0.180
LoG 算子	2147	8050	0.267
Canny 算子	2187	3949	0.554
方向可调滤波器	2253	2457	0.917

从表 1 中的统计数据可以看出,相比于其他几种边缘提取方法,采用方向可调滤波算法在有效提取车道线边缘的同时,能够最大限度地抑制与车道线边缘无关的背景噪声点,从而增强了车道线与背景的对比度,为后续车道线的准确识别与跟踪奠定了良好的基础。

2 基于梯度加权 Hough 变换的车道标志线识别

在对道路图像进行预处理后即可进行车道线的识别。车道线的识别主要包括特征点的确定,以及根据这些特征点并结合车道线约束条件进行车道线拟合。对于直线型车道线模型而言,常采用经典的 Hough 变换方法来进行车道线识别。

由于经典 Hough 变换实现的是从图像空间到参数空间的映射关系,所需计算量较大。鉴于此,考虑到车载系统中对车道线识别算法的实时性以及有效性的要求,本文在经典 Hough 变换的基础上采用基于梯度加权的霍夫变换 (gradient weighted Hough transform) 方法进行车道线的识别^[12]。

为了进一步缩短算法的执行时间,这里采用对左、右车道线进行独立、并行的识别方法。为描述方便,以左车道线的识别为例。在图 4 中,车道线边缘附近的梯度指向为灰度值变化最快的方向,即垂直于车道线边缘方向。由图 4 中的几何关系可以得到,梯度向量 D 与 x 轴正向的夹角 $\alpha = \arctan(D_y/D_x) = 0$,再根据式 (7) 可以得到 $\beta = \theta$,即对应左车道线的参数 θ 就等于 EDF 方法确定的左车道线的方向角 β 。这样,待求的只有一个参数 ρ_l 了。为加快求解速度,这里采用基于梯度加权的方法求解 ρ_l ,具体算法如下:

a) 令 $g(x,y) = \begin{cases} |\nabla I(x,y)| & \text{if } |\beta(x,y) - \alpha| < T_\alpha \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$, 则 g (x,y) 表示相对于 α 方向的边缘二值图像。其中, T_α 是一个角度阈值,此值的选取可参照利用 EDF 方法求取方向角过程中,角度量化的间隔来选取,本文选取 $T_\alpha = 2^\circ$ 。

b) 设 $(x_i, y_i) (i = 1, \cdots, n)$ 是图像 $g(x,y)$ 上的非零像素点坐标,令 $C(\rho_k, \alpha) = \sum_j g(x_j, y_j)$ 。其中, (x_j, y_j) 是 $g(x,y)$ 上的点且满足表达式 $\rho_k = x \cos \alpha + y \sin \alpha$ 。

c) 满足式 $C(\rho_\alpha, \alpha) = \max_{\rho_k} [C(\rho_k, \alpha)]$ 的 ρ_α 就是对应于左车道线的 ρ_l 。

d) 由 ρ_l 再结合图 4 可求得左车道线在图像空间中的方程为 $y = -x \cot \alpha + \frac{\rho_l}{\sin \alpha}$ 。

相比于经典 Hough 变换法,基于梯度加权的 Hough 变换算法不仅可以大大缩减车道线的识别时间,而且由于这种算法通过对像素的梯度幅值进行累加,因此相比于经典 Hough 变换累加整个边缘像素的方法而言,势必会减小与边缘无关的像素点对识别过程的影响,从而提高识别算法的鲁棒性。利用上述方法同理可推出对应于右车道线在图像空间中的方程。

3 基于梯形感兴趣区域的车道标志线跟踪

在进行车道标志线跟踪时,由于图像采集速度很快(最快可以达到 100 fps),相邻两帧图像中车道标志线的位置不会发生突变。为此,采用建立感兴趣区域的方法,在感兴趣区域内利用文中所述的车道标志线识别方法进行识别。由于投影投射影响,图像底部与图像中央部分的车道标志线偏离的距离会有所不同,在建立感兴趣区域时,不采用与前一帧中识别出的车道标志线平行的感兴趣区域的方法,而是建立一个非平行的感兴趣区域。如图 5 所示,实线表示前一帧图像中识别出的车道标志线,虚线在图像中所夹区域为建立的感兴趣区域, D_l 和 D_r 分别为左、右感兴趣区域^[13]。考虑到本文所研究的车道线模型和实际的需要,设置各感兴趣区域顶部宽度为 20 个像素,下部宽度为 30 个像素。

4 实验结果与分析

为了验证算法的有效性,利用车辆在城际高速公路上所采集的多段视频,针对经典识别算法和本文提出的识别算法分别进行了仿真实验,所用微机 CPU 为 2 GHz,内存为 1 GB,编程语言为 MATLAB 和 C++。

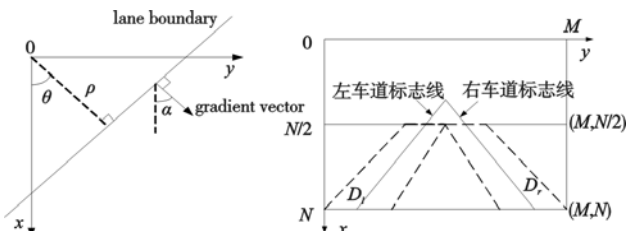


图4 α 和 ρ 、 θ 之间的关系 图5 感兴趣区域示意

图像传感器置于汽车前挡风玻璃后部中央位置,采集速率 25 fps。图 6(a) 为本文算法识别结果,其中第 1 帧为识别帧,其右侧有三辆卡车的干扰,左侧有白色面包车的干扰,同时也有右侧卡车造成的阴影的影响;车道线识别用黑线进行标记,后续三帧为抽取的跟踪结果,跟踪算法平均耗时约为 45 ms/帧,正确识别率为 99%。

分别使用 Canny 算子进行道路边缘提取和利用经典的 Hough 变换进行车道线识别,结果如图 6(b) 所示。从图 6 中可以看出,在识别帧和跟踪第二帧图像中由于阴影和路上车辆等障碍物的影响使其出现了误识别,因而不得不重新启动识别算法;而路面阴影、障碍物等干扰较少的跟踪第一帧和第三帧实现了正确的识别,这说明,本文算法相比经典算法具有更高的鲁棒性。同时,跟踪算法平均耗时约为 125 ms/帧,这说明相比经典算法,本文算法具有更高的实时性。

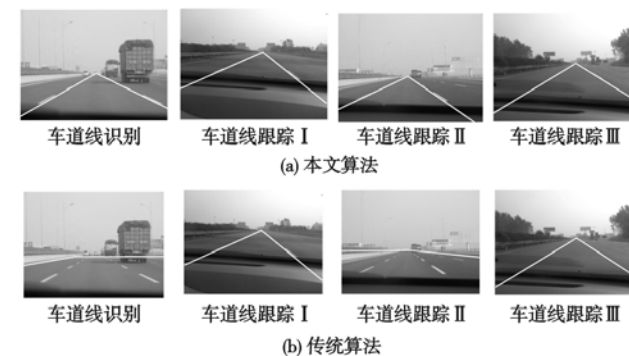


图6 本文算法与传统算法的车道线识别与跟踪比较

5 结束语

本文提出一种新的、有效的基于直线模型的车道标志线识别方法,通过仿真分析以及对实际道路图像的实验验证,结果表明该算法具有很好的实时性和鲁棒性。

a) 采用了一种有效的预处理算法,运用中值滤波来减少噪声的影响,应用方向可调滤波器对其边缘进行提取,并与传统的边缘提取算子进行对比,结果证明本算法无论是有效性还是实时性方面都优于传统算法。

b) 为了更好地应用预处理过程中得出的参数和克服传统霍夫变换方法耗时多的弊端,提出使用基于梯度加权的霍夫变换对车道线进行识别。

c) 基于方向可调滤波器与梯度加权的霍夫变换相结合的车道标志线识别方法,简化了对车道标志线信息特征参量的估计,相比以往算法,大大提高了识别算法的实时性和鲁棒性。

d) 当路面上存在严重干扰时容易发生车道标志线的误识别,这种情况下的车道标志线的可靠识别还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] WANG Yue, SHEN Ding-gang, EAM K T. Lane detection and tracking using B-Snake[J]. Image Vision Compute, 2004, 22(4): 269-280. (下转第 332 页)

率 = 无鬼影合成数 / 总组数。从表 2 数据对比可以看出: a) 采用聚类的方法, 对初匹配进行提纯, 有效减少了 RANSAC 算法初始迭代特征点数, 提高了系统运行效率; b) 预筛选法可以消除误匹配, 尤其是选取在相似区域或运动物体上的伪匹配, 在提高算法效率的同时, 一定程度上也提升了配准的精度, 从而降低了配准鬼影出现的概率, 提高了合成图像无鬼影融合率; c) 改进后的基于特征点对的最佳缝合线多分辨率融合算法较传统的缝合线融合算法虽然时间效率上相差无几, 但无鬼影融合的比率却大大提高, 性能优于传统算法; d) 整体来看, 本文算法不管从时间上还是图像融合质量上, 性能较传统算法都有较大提升。



图 7 经典最佳缝合线方法拼接结果 图 8 改进后算法拼接结果

尽管如此, 改进的算法仍不能 100% 保证合成图像不出现鬼影, 原因是多方面的。但手动去添加一些特征点, 可增加本文融合算法的鲁棒性, 提升无鬼影融合率。

4 结束语

本文算法鲁棒性较强, 适应于各种复杂场景下包含运动物体的图像的拼接, 支持大图片, 尤其是旋转拍摄图片的拼接, 稍作推广后, 也可用于 360° 全景图的拼接, 有极大的推广应用前景。文中算法也有不足之处, 如计算时间稍长, 不能用于实时的图像拼接系统。

参考文献:

- [1] BROWN M, LOWE D G. Automatic panoramic image stitching using invariant features [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2007, 4(1): 59-73.
- [2] CHEN Jiun-hung, CHEN Chu-song, Chen Yong-sheng. Fast algorithm for robust template matching with M-estimators [J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 2003, 51(1): 230-243.
- [3] CHEN Fu-xing, WANG Run-sheng. Fast RANSAC with preview model parameters evaluation [J]. *Journal of Software*, 2006, 16(8): 1431-1437.
- [4] KASAR T, RAMAKRISHNA A G. Block-based feature detection and matching for mosaicing of camera-captured document images [C] // Proc of IEEE Region 10 Conference, Symposium on Applications of Holography in Mechanics. New York: ASME, 2007: 1-4.
- [5] 邹北骥, 阮鹏, 向逸. 一种精确匹配的全景图自动拼接算法 [J]. *计算机工程与科学*, 2010, 32(8): 60-63.
- [6] FANG Xian-yong, ZHANG Ming-min, PAN Zhi-geng, et al. A new method of manifold mosaic for large displacement images [J]. *Journal of Computer Science and Technology*, 2006, 21(2): 218-223.
- [7] AGARWALA A, DONTCHEVA M, AGRAWALA M, et al. Interactive digital photomontage [J]. *ACM Trans on Graphics*, 2004, 23(3): 294-302.
- [8] DAVIS J. Mosaics of scenes with moving objects [C] // Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1998: 354-360.
- [9] EFROS A, FREEMAN W. Image quilting for texture synthesis and transfer [C] // Proc of Annual Conference Series on Computer Graphics Proceedings. 2007: 227-239.
- [10] 赵亮. 柱面全景图全自动拼接系统研究与实现 [D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- [11] 张媛, 高冠东, 贾克斌. 运用特征点匹配的柱面全景图像快速拼接算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2009, 3(3): 247-250.
- [12] 范鹏轩. 虚拟现实系统关键技术和算法的研究及应用 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.
- [13] um. 2004: 37-42.
- [8] WANG Rong-ben, YU Tian-hong, JIN Li-sheng, et al. Edge extraction method study based on maximum entropy for linear lane identifying and tracking [C] // Proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2005: 849-854.
- [9] 张荣, 王勇, 杨榕. TM 图像中道路目标识别方法的研究 [J]. *遥感学报*, 2005, 9(2): 220-224.
- [10] 郭磊, 李克强, 王建强, 等. 应用方向可调滤波器的车道线识别方法 [J]. *机械工程学报*, 2008, 44(8): 214-218.
- [11] JUNG C R, KELBER C R. A robust linear-parabolic model for lane following [C] // Proc of the 17th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 72-79.
- [12] GORMAN F O, CLOWES M. Finding picture edges through collinearity of feature points [J]. *IEEE Trans on Computers*, 1976, 25(4): 449-456.
- [13] 贾阳, 王荣本, 余天洪, 等. 基于熵最大化边缘提取的直线型车道标识线识别与跟踪方法 [J]. *吉林大学学报: 工学版*, 2005, 35(4): 420-425.

(上接第 328 页)

- [2] McCALLJOEL C, TRIVEDIMOHAN M. An integrated, robust approach to lane marking detection and lane tracking [C] // Proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2004: 533-537.
- [3] KIM Z W. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios [J]. *IEEE Trans on Intelligent Transportation Systems*, 2008, 9(1): 16-26.
- [4] DANESU R, NEDVSCI S. Probabilistic lane tracking in difficult road scenarios using stereovision [J]. *IEEE Trans on Intelligent Transportation Systems*, 2009, 10(2): 272-282.
- [5] SATZODA R K, SATHYANARYNA S, SRIKANTHAN T. Hierarchical additive Hough transform for lane detection [J]. *IEEE Embedded Systems Letters*, 2010, 2(2): 23-26.
- [6] KREUCHER C, LAKSHMANAN S. LANA: a lane extraction algorithm that uses frequency domain features [J]. *IEEE Trans on Robotics and Automation*, 1999, 15(2): 343-349.
- [7] DAGAN E, MANO O, STEIN P, et al. Forward collision warning with a single camera [C] // Proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2004: 37-42.