

# 一种基于雷达和机器视觉信息融合的车辆识别方法<sup>\*</sup>

王宝锋, 齐志权, 马国成, 陈思忠

(北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081)

**[摘要]** 为提高先进驾驶员辅助系统对车辆前方环境识别的准确性, 提出一种基于雷达和视觉传感器信息融合的车辆识别方法。系统工作前预先对毫米波雷达和摄像头进行联合标定, 并确定雷达坐标系和摄像头坐标系的变换关系。车辆识别过程中, 首先根据雷达信息确定图像坐标系中的车辆识别感兴趣区域; 然后对感兴趣区域进行对称性分析获得车辆对称中心, 并对车辆底部阴影特征进行分析处理完成车辆边缘检测; 最后根据逆透视变换得到车辆识别宽度, 根据识别宽度对识别结果进行验证。结果表明该算法具有较强的环境适应性和准确率, 弥补了单一传感器在车辆识别中的不足。

**关键词:** 车辆识别; 雷达; 机器视觉; 信息融合

## Vehicle Detection Based on Information Fusion of Radar and Machine Vision

Wang Baofeng, Qi Zhiquan, Ma Guocheng & Chen Sizhong

School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081

**[Abstract]** For increasing the detection accuracy of advanced driver assisted system of the frontal surroundings of vehicle, a vehicle detection method based on the information fusion of radar and vision sensor is put forward. Before the system starts operation, a co-calibration of millimeter-wave radar and camera is conducted, and the transformation relationship between radar and camera coordinates is obtained. The process of vehicle detection starts with the determination of the region of interest (ROI) for vehicle detection in image coordinates based on radar information. Then a symmetry analysis is performed on ROI to get the symmetrical center of vehicle, and the features of vehicle bottom shadow are analyzed and processed with vehicle edge detection completed. Finally, through inverse perspective mapping the width of vehicle is obtained, based on which the results of detection are verified. It is demonstrated that the algorithm proposed has strong environment adaptability and good accuracy, remedying the defects of vehicle detection with single sensor.

**Keywords:** vehicle detection; radar; vision sensor; information fusion

## 前言

汽车追尾事故是公路交通中最多发也是车辆运行过程中最危险的事故之一, 其中 91% 的追尾事故是由于驾驶员注意力分散 (打盹、打电话等) 引起的, 如果提前 0.5s 提醒驾驶员采取措施, 60% 的追尾事故可以避免, 而如果提前 1s 提醒驾驶员则追尾事故避免率则可高达 90%<sup>[1]</sup>。先进驾驶员辅助系

统 (advanced driver assistance system, ADAS) 可以通过传感器实时监测前方车辆的运行情况, 能够及时提醒驾驶员前向碰撞危险, 防止追尾事故的发生; 同时又可以减轻驾驶员驾驶强度, 缓解驾驶疲劳。

随着低成本高性能图像传感器的不断普及和图像处理技术的不断发展, 基于视觉的车辆识别方法越来越多地应用于驾驶员辅助系统中, 国内外学者对此进行了大量研究。文献[2]中提出了一种应用单目视觉进行车辆检测的方法, 该方法以车辆底部

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(51005019)资助。

原稿收到日期为 2013 年 10 月 10 日, 修改稿收到日期为 2014 年 1 月 30 日。

阴影为特征,采用了自适应双阈值对图像进行预处理,并利用能量密度验证的方法进行车辆跟踪,具有较高的识别精度。文献[3]和文献[4]中均利用 Haar 特征的方法进行车辆识别,其中文献[4]在灰度 Haar 特征的基础上,提出了基于边缘 Haar 特征的车辆识别方法,有效降低了目标误检率。车辆尾部对称性是车辆又一重要特征,而基于对称性特征的车辆识别方法中,图像采样窗口尺寸的确定是算法的关键,文献[5]中采用多尺寸窗口和聚类技术对图像进行对称性分析完成车辆寻找,文献[6]中更是采用了全尺寸(从一个像素到最大宽度)窗口对图像进行对称性分析,二者对于采样窗口的确定都有一定的盲目性,大大增加了算法的运算量。此外,基于视觉传感器车辆的距离信息较难获得,且距离较远时精度较差,只能在一定范围内进行车辆识别<sup>[7]</sup>。

针对单一导航系统在汽车行驶环境识别过程中的不足,本文中采用基于雷达和视觉传感器融合的车辆识别方法。算法利用了雷达目标精确的位置信息对图像中车辆识别感兴趣区域(region of interest, ROI)进行动态规划,然后通过对称性分析和车辆底部阴影确定车辆在图像中的位置、边界和宽度。在对称性分析中,基于透视变换的自适应采样窗口的应用减少了算法运算量,基于底部阴影和宽度的车辆验证方法降低了目标误检率,提高了识别精度。

## 1 雷达和机器视觉的空间同步

雷达和摄像头用来采集信息,感知前方道路环境,本文中采用 76-77GHz Delphi ESR 毫米波雷达和大恒 GV400UM 单目摄像头作为传感器。雷达和摄像头安装位置如图 1 所示,雷达固定于车辆保险杠上方中央,摄像头固定于汽车前风窗玻璃下。完成雷达和摄像头安装之后,对其进行参数标定,摄像

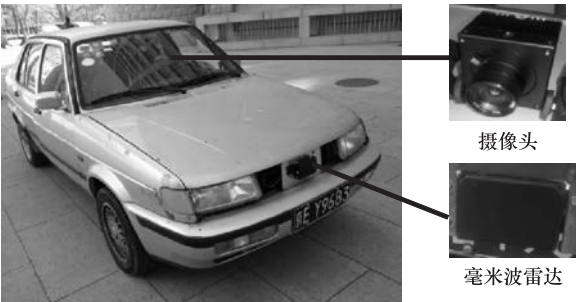


图1 雷达/摄像头安装位置图

头的标定采用标准棋盘角点提取的方法,首先采集不同位置关系与姿态下的标准棋盘图像,然后利用 Matlab 工具箱标定程序对棋盘图像进行角点提取,并根据棋盘实际尺寸和位置关系最终确定摄像头内外部参数。根据摄像头内外部参数和雷达与摄像头的位置关系获得二者坐标系空间转换关系,即透视变换:

$$(x_i,y_i)=T(x_R,y_R,z_i) \tag{1}$$

式中: $x_R,y_R,z_i$  分别为目标在雷达坐标系中横向位置、纵向位置和垂直高度; $x_i,y_i$  分别为图像中相应目标的横坐标和纵坐标。

## 2 基于雷达信号的车辆识别感兴趣区域规划

### 2.1 雷达信号预处理

将雷达各原始目标信号投影到图像中得到雷达原始数据图,如图 2 所示。可以看出,雷达探测到的原始目标信号包含所有探测到的障碍物,包括树木、护栏、桥墩和噪声等,所以须先对雷达返回的目标信号进行预处理,剔除目标噪声。根据透视原理,目标距离摄像头越远,图像中对应的目标体积越小,特征越不明显;而且辅助驾驶系统只须对主车道和旁侧车道内的目标进行识别即可满足安全要求。因此,在结合文献[8]中所提出的安全车距模型的要求下,将车辆前方横向 10m 宽,纵向 70m 远的矩形范围定义为识别区域,并剔除该范围以外的信号。对于识别区域内的目标再根据其速度与相对位置关系进行分析,有效剔除路边护栏和隔离带等静止目标,最后获得潜在车辆目标,如图 3 所示。



图2 雷达原始数据图

### 2.2 车辆识别感兴趣区域的动态规划

车辆识别感兴趣区域的确定包括区域位置和区域大小的确定。首先利用透视变换将 2.1 节中预处



图3 预处理后雷达数据图

理后的雷达目标映射到图像中,得到对应的点  $O_1$ ,理论上该点位于图像中对应的目标轮廓中心,因此将该点作为车辆识别感兴趣区域的中心。

根据道路交通相关法规和 GB 1589—2004 对车辆外廓尺寸的要求,以预处理后的雷达目标的坐标位置为中心,将垂直于雷达坐标纵轴,宽 2.5m,高 2m 的矩形区域作为车辆尾部所在的平面,利用透视变换将该区域投影到图像中,得到像素尺寸为  $m \times n$ ,中心为  $O_1$  的矩形图像窗口,如图 4 所示,该窗口为原始感兴趣区域,其尺寸足以容纳车辆在图像中投影。

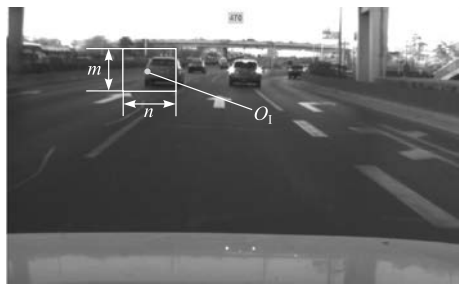


图4 原始车辆识别感兴趣区域初始位置和大小

由于车辆在加减速、弯道行驶和经过起伏路面时,会造成悬架和轮胎的变形,引起车身侧倾和俯仰,导致摄像头外部参数发生变化,从而使图像中对应的雷达目标发生偏移,甚至偏离出车辆边界。因此,本文中对原始感兴趣区域进行修正,区域中心  $O_1$  位置不变,高度依然为  $m$ ,宽度拓展为  $2n$ ,得到修正后的车辆识别感兴趣区域,如图 5 所示。

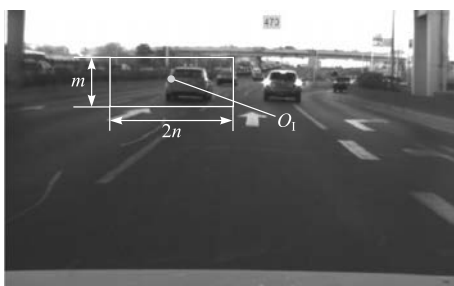


图5 修正后的车辆识别感兴趣区域

以 2.2 节确定的  $m \times n$  像素尺寸的窗口为采样模板,以单位像素为步长对车辆感兴趣区域进行横向采样,得到不同图像窗口序列  $W_i, i=1, 2, 3, \dots, 2n-1, 2n$ 。由于光照条件的不同和摄像头相对于车辆角度的变化,直接利用灰度信息进行对称性运算不但精度低而且运算量大,因此本文中利用 Canny 算子对窗口图像  $W_i$  进行边缘提取,得到二值化边界图像  $W_{e_i}$ ,然后对车辆尾部边缘信息进行对称分析。在对称性分析中,引入对称度的概念,首先沿图像中轴将边界图像  $W_{e_i}$  分为左半图  $I_{\text{left}}$  和右半图  $I_{\text{right}}$  两部分,然后对左右半图进行对称性运算,得出对称度  $S_i$  为

$$S_i = 1 - \frac{\sum |I_{\text{left}} - I_{\text{right}}^*|}{\text{Sum}(W_{\text{edge}})} \quad (2)$$

式中  $I_{\text{right}}^*$  为右半图  $I_{\text{right}}$  的镜像。

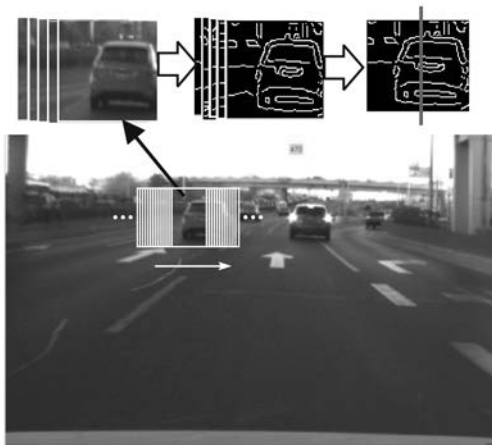


图6 车辆识别感兴趣区域对称性分析示意图

### 3 基于特征的车辆识别

#### 3.1 车辆识别感兴趣区域对称性分析

对称性分析中,采样窗口的尺寸是算法性能的关键,窗口太大对称特征不明显,且运算量大;窗口太小车辆轮廓不能充分容纳。如图 6 所示,本文中

完成各图像窗口对称度计算后,得到车辆识别感兴趣区域内的对称度曲线,如图 7 所示。对称度曲线呈明显的单峰特性,对称度最大的窗口即为车辆识别窗口,该窗口中轴即为车辆对称轴线,该窗口边界图像记为  $W_e$ 。

#### 3.2 车辆识别窗口验证

图7 感兴趣区域对称度曲线

通过对车辆识别感兴趣区域的对称性分析,确定了车辆识别窗口的位置。但是除了车辆,图像中的桥墩、交通牌等障碍物边缘也具有很强的对称性,因此需要对车辆识别窗口做进一步的车辆特征提取和分析。车辆底部无论在任何光照条件下都呈现出明显的阴影特征,根据该特征不但可以对桥墩、交通牌等干扰目标进行剔除,而且可以对车辆下边缘进行有效判断。

本文中采用图像灰度阈值的方法对车辆底部阴影进行求取。在车辆前方路面区域选取100×400的像素矩阵 $M_p$ ,计算该矩阵像素灰度的平均值 $\bar{v}$ 。该矩形区域覆盖整个车道宽度,虽然偶尔会有车道线和车道标识线干扰,但能够反映路面灰度的基本信息。以 $\bar{v}$ 为灰度阈值对原始图像进行二值化处理得到车辆底部阴影图像,如图8所示。图中可以看出,通过基于 $\bar{v}$ 的灰度阈值处理,车辆底部阴影被有效提取出来。

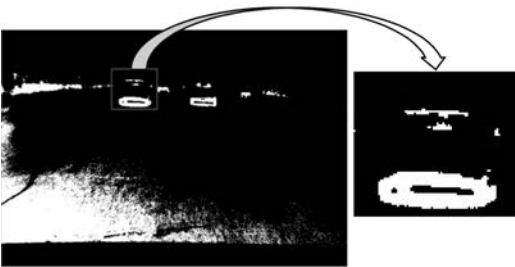


图8 车辆底部阴影图像

根据3.1节确定的位置,在该图中提取车辆识别窗口得到 $W_s$ 。首先进行车辆底部阴影验证,对窗口 $W_s$ 的下半部分进行连通区域识别并获得阴影面积 $S_v$ ,计算阴影面积比 $P_s$ :

$$P_s = \frac{2S_v}{W_s}$$

(3)

如果 $P_s$ 大于门限值 $T_s$ ,则证明该车辆识别窗口中目标为车辆。

3.3 车辆边缘识别

如图9所示,对二值化窗口 $W_s$ 和 $W_e$ 做并集运算,然后对得到窗口下半部分进行封闭空间填充和边缘平滑滤波而得到 $W_e$ 。找出车辆底部阴影中最长的线 $L_b$ 作为车辆下边界,则 $L_b$ 长度为车辆宽度, $L_b$ 左右端点向上的垂线分别作为车辆左右边界线。根据 $L_b$ 在图像中的位置和长度对其做逆透视变换,得到车辆识别宽度 $V_w$ (小数点后保留两位精度),由于车辆高度信息对驾驶员辅助系统没有参考价值,车辆顶部边界不做识别,车辆高度默认为车辆宽度。GB 1589—2004 要求车辆宽度上限为2.5m,虽无下限要求,但实际中四轮车辆宽度一般都大于1.6m。考虑识别过程中的误差,本文中设车辆宽度上限 $V_{w\_max}=2.7m$ ,下限 $V_{w\_min}=1.5m$ ,并据此对车辆识别宽度 $V_w$ 进行判断:

$$p = (V_{w\_max} - V_w)(V_w - V_{w\_min})$$

(4)



图9 车辆边缘识别

如果 $p \geq 0$ 则说明识别到的车辆是真实的,否则不是车辆目标。最终完成车辆识别如图10所示,该示意图中识别出的车辆信息如表1所示。



图10 车辆识别结果

表1 示意图车辆识别结果

目标编号	车辆型号	真实宽度/m	识别宽度/m	识别误差/m
34	福特-Focus	1.84	1.80	0.4
48	日产-THIDA	1.76	1.76	0



4 实验结果

为验证车辆识别算法的性能,在北京三环路进行实车实验采集视频和雷达数据,并进行离线数据

处理。算法采用 Matlab 编写,图像分辨率为 752×480。多工况的车辆识别结果如图 11 所示,所包含的工况有单目标车辆识别、多目标车辆识别、主车道车辆识别、旁侧车道车辆识别和弯道行驶车辆识别。



图 11 不同工况下车辆识别结果

5 结论

本文中提出了一种基于雷达和视觉信息融合的车辆识别方法,算法利用雷达信息对车辆识别区域

进行动态规划,并基于特征分析完成感兴趣区域的车辆识别和验证。实验结果表明,该算法对不同的车型和不同运行工况具有较强的适应性和准确性。车辆识别是车辆检测系统的初始化过程,本文中仅  
(下转第 736 页)

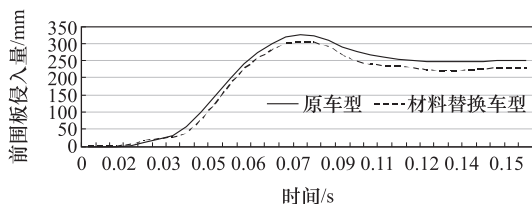


图5 前围板侵入量变化曲线

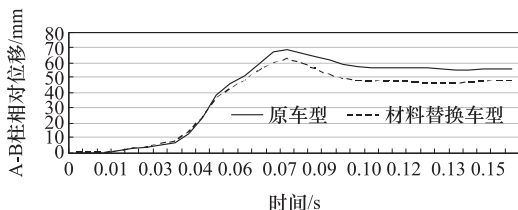


图6 A-B柱相对位移变化曲线

## 4 结论

本文中提出了一种多材料车身选材方法。基于模糊折衷决策理论,综合考虑零部件多种性能,通过调查问卷和专家打分法,量化评价顾客需求和定性的零部件性能指标,进而建立模糊折衷决策原始矩阵,并采用质量屋方法获得材料属性权重,从而获得加权规范化决策矩阵。最后通过计算海明距离和相对贴适度,得到零部件的材料排序方案。实例应用和仿真分析结果表明,采用该方法获得的多材料车身结构性能较原车身有明显改善。本文中提出的车

身选材方法为车身设计提供了新的思路。

## 参考文献

- [1] Abdelraoof Mayyas, Qin Shen, Ahmad Mayyas, et al. Using Quality Function Deployment and Analytical Hierarchy Process for Material Selection of Body-in-White[J]. Materials and Design, 2011, 32:2771-2782.
- [2] Rathod M K, Kanzaria H V. A Methodological Concept for Phase Change Material Selection Based on Multiple Criteria Decision Analysis with and without Fuzzy Environment[J]. Materials & Design, 2011, 32:3578-3585.
- [3] Girubha R Jeya, Vinodh S. Application of Fuzzy VIKOR and Environmental Impact Analysis for Material Selection of an Automotive Component[J]. Materials & Design, 2012, 37:478-486.
- [4] Rao R V, Davim J P. A Decision-making Framework Model for Material Selection Using a Combined Multiple Attribute Decision-making Method[J]. Advance Manufacture Technology, 2008, 35:751-760.
- [5] Jung G, Kim S M, Kim S Y, et al. Effects of Design Factors of the Instrument Cluster Panel on Consumers' Affection[C]. Proceedings of the International Multi-conference of Engineers and Computer Scientists 2010, Vol III, March 17-19, Hong Kong, 2010.
- [6] Shemshadi A, Shirazi H, Toreihi M, et al. A Fuzzy VIKOR Method for Supplier Selection Based on Entropy Measure for Objective Weighting[J]. Expert Systems with Application, 2011, 38:12160-12167.
- [7] 徐玖平,吴巍.多属性决策的理论与方法[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [8] 邵建旺,彭为,靳晓雄,等. SUV 白车身静态刚度试验研究[J]. 汽车技术, 2009(4):41-44.
- [9] 姜国峰,成波,金哲,等. 燃料电池客车氢系统碰撞安全性仿真分析与评价[J]. 汽车工程, 2010, 32(9):774-778.


(上接第 678 页)

对车辆识别进行研究,在后续研究中将开展基于车辆识别结果的车辆跟踪研究。

## 参考文献

- [1] National Transportation Safety Board: Special Investigation Report [R]. 2001.
- [2] 郭磊,李克强,王建强,等. 一种基于特征的车辆检测方法[J]. 汽车工程, 2006, 28(11):1031-1035.
- [3] Choi H C, Park J M, Choi W S, et al. Vision-Based Fusion of Robust Lane Tracking and Forward Vehicle Detection in A Real Driving Environment[J]. International Journal of Automotive Technology, 2012, 13(4):653-669.
- [4] Kim Giseok, Cho Jae-Soo. Vision-Based Vehicle Detection and Inter-Vehicle Distance Estimation for Driver Alarm System[J]. Optical Review, 2012(6):388-393.
- [5] Soo Siang Teoh, Thomas Bräunl. Symmetry-based Monocular Vehicle Detection System[J]. Machine Vision and Applications, 2012, 23:831-842.
- [6] Giancarlo Alessandretti, Alberto Broggi, Pietro Cerri. Vehicle and Guard Rail Detection Using Radar and Vision Data Fusion[J]. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 2007, 8(1):95-105.
- [7] 郭磊,刘志峰,王建强,等. 雷达与机器视觉的空间同步方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(11):1904-1907.
- [8] Moon S, Yi K. Human Driving Data-based Design of a Vehicle Adaptive Cruise Control Algorithm[J]. Vehicle System Dynamics, 2008, 46(8):661-690.

# 一种基于雷达和机器视觉信息融合的车辆识别方法

作者：[王宝锋](#)，[齐志权](#)，[马国成](#)，[陈思忠](#)，[Wang Baofeng](#)，[Qi Zhiquan](#)，[Ma Guocheng](#)，[Chen Sizhong](#)  
作者单位：[北京理工大学机械与车辆学院, 北京, 100081](#)  
刊名：[汽车工程](#)   
英文刊名：[Automotive Engineering](#)  
年，卷(期)：2015 (6)

引用本文格式：[王宝锋](#). [齐志权](#). [马国成](#). [陈思忠](#). [Wang Baofeng](#). [Qi Zhiquan](#). [Ma Guocheng](#). [Chen Sizhong](#) [一种基于雷](#)  
[达和机器视觉信息融合的车辆识别方法](#)[期刊论文]-[汽车工程](#) 2015 (6)