

引用格式:曹景胜,李刚,石晶,等.基于类 Haar 特征和自适应提升算法的前车识别[J].科学技术与工程,2019,19(7):161-165
Cao Jingsheng, Li Gang, Shi Jing, et al. Front vehicle identification based on haar-like feature and adaptive boosting algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(7): 161-165

基于类 Haar 特征和自适应提升算法的前车识别

曹景胜^{1,2} 李刚¹ 石晶¹ 王冬霞³ 郭银景⁴
(辽宁工业大学汽车与交通工程学院¹,汽车及零部件关键技术协同创新中心²,
电子与信息工程学院³,锦州 121001;山东科技大学电子通信与物理学院⁴,青岛 266590)

摘要 针对汽车高级驾驶辅助系统(ADAS)中前方车辆识别率低的问题,基于机器视觉原理研究了前方道路图像中的类 Haar 特征;并进行积分图计算。在提取类 Haar 特征基础上,采用自适应提升(AdaBoost)算法进行正负样本训练并级联,得到训练好的模型;进而检测和识别汽车行驶中前方车辆。最后基于 OpenCV 计算机视觉库在 Visual Studio 开发环境中进行了算法实现和测试。结果表明,每帧视频图像识别时间小于 40 ms,检测率准确可靠,满足多场景、多工况下的前方车辆实时识别。
关键词 高级驾驶辅助系统 前车识别 机器视觉 类 Haar 特征 自适应提升算法
中图分类号 TP391.41 TP23; **文献标志码** A

当前汽车高级驾驶辅助系统(ADAS)发展迅速,成了汽车智能化和网联化的研究热点。道路前方车辆检测和识别作为 ADAS 中重要组成部分,是实现汽车驾驶主动安全、有效减少交通事故的关键技术^[1-3]。传统的车辆检测和识别基于超声波、毫米波雷达进行测距和感知,针对超声波雷达探测距离短,只能进行实验室研究和工程预研,不能满足国家规定的车辆测距范围标准;毫米波雷达可以长距离探测,满足高速公路要求的车间距离范围,但是成本高造成实际应用困难。随着嵌入式微处理器性能提速和图像处理算法的改进,机器视觉方法与技术逐渐在车辆检测、识别和跟踪方面成为主流。徐鹏等采用支持向量机(SVM)建立图像分类模型进行样本训练^[4],在低能见度环境下进行前方车辆识别;霍春宝等采用最大类间方差法(OTSU)对道路图像进行边缘检测和分割^[5],进行仿真和识别出图像中前方车辆;袁伟等基于图像中车底阴影的显著特征,并融合车尾水平和竖直边缘进行检测和识别^[6],提高了前车识别鲁棒性。

针对如何在原始图像中准确可靠的识别出前车问题,研究了类 Haar 图像特征,并进行积分图计算,在提取类 Haar 特征基础上,采用 AdaBoost 算法进行正负样本训练,产生弱分类器,并将弱分类器联合产生强分类器并级联,然后基于 OpenCV 计算机视觉库在 Visual Studio 开发环境中针对采集的原始图像进行检测和识别,满足多场景下的工程应用。

1 前车识别总体结构

研究前车识别的总体结构流程主要由图像样本训练和前车检测识别两大部分组成。在图像样本训练部分,主要是通过对前期采集的大量正负样本图像进行积分图计算,提取样本中类 Haar 特征;然后采用 AdaBoost 算法进行训练得到级联强分类器模型。在前车检测识别部分,当汽车在行驶过程中,通过高清摄像头实时采集前方道路图像。经过图像预处理、感兴趣区域(ROI)设置、边缘检测等输入到级联分类器模型进行检测,识别出原始图像中的前车。其结构流程图如图 1 所示。

2 类 Haar 特征提取

2.1 图像预处理

针对前期采集的各种工况(如晴天、黄昏、雨雪天气)大量汽车行驶的前方道路样本图像,由于光照的不同会造成特征提取准确率的下降;为降低光

2018 年 11 月 11 日收到
国家自然科学基金(51675257)、
国家自然科学基金青年基金(51305190)、辽宁省自然基金
面上项目(20180550020)和辽宁省教育厅重大科技
平台项目(JP2016014、JP2016004)资助
第一作者简介:曹景胜(1984—),男,汉族,山东阳谷人,硕士,实验
师。研究方向:汽车安全与智能化控制。E-mail: qcxycjs@lnut.
edu.cn。

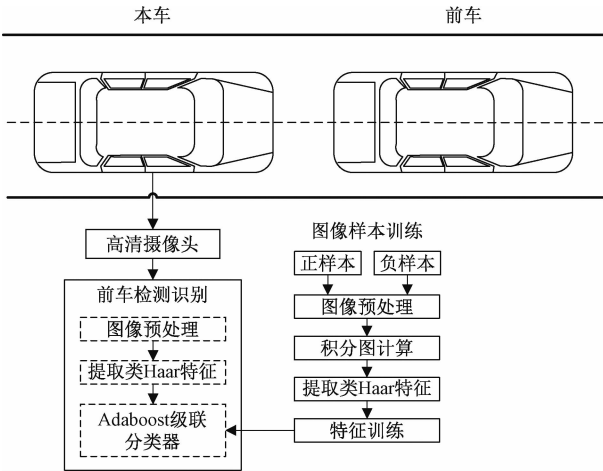


图1 前车识别结构

Fig.1 Front vehicle identification structure

照影响,首先要依据式(1)此进行图像光照修正(图像归一化)。

$$IMG_n(i,j) = \frac{IMG(i,j) - V_{ave}}{\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (x_k - V_{ave})}} \quad (1)$$

式(1)中, $IMG(i,j)$ 为原始图像[在 (i,j) 处的像素值]; $IMG_n(i,j)$ 为经过光照修正(图像归一化)后的图像[在 (i,j) 处的像素值], V_{ave} 为图像的平均值(图像中的所有像素值相加,然后除以像素的个数), M 为图像的像素总个数; x_k 为图像第 K 个像素点的像素值。

2.2 类 Haar 特征

类 Haar 特征是基于灰度图像的弱特征,它定义为图像中相邻区域内像素灰度值总和的差,即白色区域的像素和减去黑色区域的像素和^[7,8],表征了图像的灰度变化情况。例如:汽车背面垂直边缘比周围颜色要深,水平线条要比两侧颜色要深等。类 Haar 基本特征描述主要由边缘特征、线性特征、中心和对角线特征等组成。其表示框图如图 2 所示。

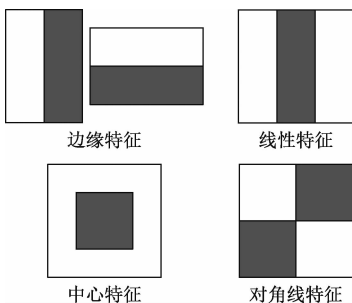


图2 类 Haar 特征表示框图

Fig.2 Haar-like feature representation block diagram

2.3 积分图计算特征值

针对图 2 中的类 Haar 特征表示框图进行特征值计算,即白色矩形的像素和减去黑色矩形的像素和,通过改变特征矩形的大小和位置,可以在图像中穷举出大量的类 Haar 特征,导致样本图像中的矩形特征数量巨大。如:在 24×24 像素大小的样本图像中,类 Haar 的边缘特征、线性特征、中心和对称线特征对应的矩形特征数量可以达到 16 万个。因此为了实现类 Haar 特征值实时快速计算,采用了积分图计算方法。其计算原理为,针对图像像素点,其对应积分图中的像素为该点位置左上角所有像素之和,即:

$$IMG_{in}(i,j) = \sum_{ii < i, jj < j} IMG_n(ii,jj) \quad (2)$$

式(2)中, $IMG_n(ii,jj)$ 为图像在 (ii,jj) 处的像素值; $IMG_{in}(i,j)$ 为图像在 (i,j) 处的积分图(该位置左上角所有的像素之和)。如图 3 所示,对于一副图像中的 A、B、C、D 区域,假设每个区域的右下角像素点分别为 a 、 b 、 c 、 d 像素点,则区域 D 的像素值和为:

$$\begin{cases} sum1 = IMG_{in}(d) + IMG_{in}(a) \\ sum2 = IMG_{in}(b) + IMG_{in}(c) \\ sum(D) = sum1 - sum2 \end{cases} \quad (3)$$

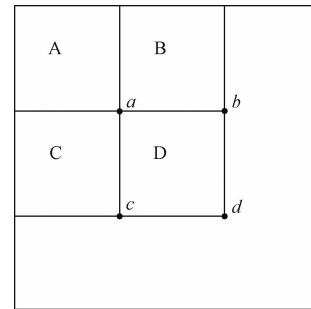


图3 图像区域的积分图计算图

Fig.3 Integral graph calculation map of image area

图像中任一子区域的像素累加和都可以通过式(3)简单运算求得。而类 Haar 特征值是两个矩阵像素和的差,所以特征值计算,只与此特征矩形端点的积分图有关^[9],无论此特征矩形尺度如何改变,只要遍历图像一次,就可以求得图像中所有类 Haar 特征值。具体计算步骤如下:

(1) 设 $P(i,j)$ 为 $IMG_n(i,j)$ 图像中点 (i,j) 处的像素值,设 $V(i,j)$ 为 $IMG_n(i,j)$ 图像中点 (i,j) 的 y 方向所有图像像素值之和,并初始化 $V(i, -1) = 0$ 。

(2) 设 $INT(i,j)$ 为 $IMG_n(i,j)$ 图像中点 (i,j) 的积分图,并初始化 $INT(-1,j) = 0$ 。

(3) 逐行遍历图像,依据式(4)和式(5):

$$V(i, j) = V(i, j-1) + P(i, j) \quad (4)$$

$$INT(i, j) = INT(i-1, j) + V(i, j) \quad (5)$$

递归进行计算 $V(i, j)$ 和 $INT(i, j)$ 的值。

(4) 遍历图像一遍, 当遍历到 $IMG_n(i, j)$ 图像右下角像素时, 积分图计算结束, 退出递归计算。

(5) 依据类 Haar 特征矩形端点处的积分图, 快速进行类 Haar 特征值计算和提取。

3 AdaBoost 算法训练级联

自适应提升 (adaptive boosting, AdaBoost) 算法是基于迭代思想针对一个样本训练集训练出不同的弱分类器, 然后把这些弱分类器集合起来, 最终构成一个强分类器^[10,11], 该算法解决了早期识别技术在执行时遇到的难题。为了提高在高速行驶环境下前车的检测和识别准确性和实时性, 经过 AdaBoost 算法训练后的强分类器进行级联, 实现使用较少的特征和较简单的分类器进行更快更好地识别出目标车辆。实现 AdaBoost 进行训练的算法步骤如下:

(1) 针对提取的特征样本图像 $PI_1, PI_2, \dots, PI_m$, 希望得到的结果输出 (即分类) 为 $PO_1, PO_2, \dots, PO_m$, 其中 $PO \in \{-1, 1\}$ 。

(2) 初始化每个特征样本图像的权值 $Q_1^{(1)}, Q_2^{(1)}, \dots, Q_m^{(1)}$, 其值都为 $\frac{1}{m}$ 。

(3) 进行迭代: $n = 1, 2, \dots, N$:

(a) 基于每一个特征样本图像的权值 $Q_i^{(n)}$, 拟合一个分类概率估计 $P_n(k) = P(PO = 1 | k) \in [0, 1]$, 表示特征样本属于分类结果 1 的概率;

(b) 取得本次迭代的弱分类器 $C_n(k)$:

$$C_n(k) = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{P_n(k)}{1 - P_n(k)} \right] \quad (6)$$

(c) 更新权值 $Q_i^{(n+1)}$:

$$Q_i^{(n+1)} = Q_i^{(n)} e^{-PO_i C_n(k_i)} \quad (7)$$

(d) 归一化权值, 使得:

$$\sum_i Q_i^{(n+1)} = 1 \quad (8)$$

(e) 取得最终的强分类器 $C_{str}(k)$:

$$C_{str}(k) = \text{sign} \left[\sum_{n=1}^N C_n(k) \right] \quad (9)$$

在强分类器 $C_{str}(k)$ 基础上, 进行多个强分类器级联, 对每一个输入待检测图像, 顺序通过各个强分类器, 只有通过前面强分类器检测后的图像才能送入后面的强分类器检测, 比较靠前的几级分类器可以过滤掉大部分不合格待检测图像, 只有通过所有强分类器检测的图像区域才是有效的目标车辆。

4 测试和分析

进行实验测试和分析选用的硬件平台为 Intel CORE i5 处理器、4G 内存; 软件方面基于计算机视觉库 OpenCV 2.4.9 版本, 采用 C++ 语言在 Visual Studio 2012 开发环境中进行了算法代码开发。用于训练级联的样本数据包括:

(1) 正样本: 选用了 8 670 张不同种类和型号的汽车背面图像, 并统一设置为 20×20 像素大小的尺寸。

(2) 负样本: 选用了 6 216 张建筑物等非汽车正面或者背面的图像, 设置为 20×20 像素大小的尺寸。

运行 OpenCV 自带的 opencv_createsamples.exe、opencv_haartraining.exe 等软件进行 Haar 特征计算提取和样本训练, 最终得到 Fcw_Cars.xml 分类器。基于该分类器开发了完整的软件工程, 在京沈、京哈等高速公路上实地采集的前方道路视频作为实验输入, 分别在车速为 80 km/h、100 km/h 的工况下和晴天、阴雨天等环境下进行算法执行, 得到的结果如图 4~图 7 所示。

通过图 4 和图 5 在京沈、京哈等高速公路真实环境的实地测试和实验, 如表 1 所示, 分析得出在速度 80~100 km/h 的较高速工况下前车识别准确率和识别时间有所差别, 在高速下, 算法采集到的原始



图 4 80 km/h 工况下的前车识别

Fig. 4 Front vehicle identification at 80 km/h



图 5 100 km/h 工况下的前车识别

Fig. 5 Front vehicle identification at 100 km/h

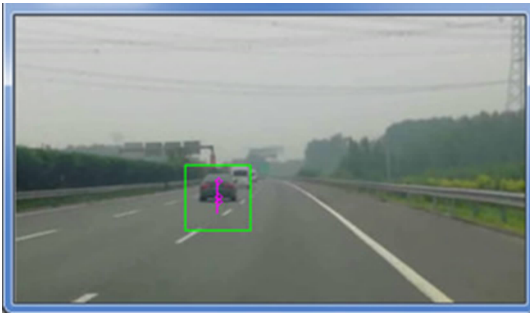


图 6 晴天环境下的前车识别

Fig. 6 Front vehicle identification in sunny environment



图 7 阴雨天环境下的前车识别

Fig. 7 Front vehicle identification in rainy environment

图像会出现模糊、虚影等现象,那么提取的类 Haar 特征误差率增大,进而训练识别的准确率也降低。通过图 6 和图 7 在同一速度、不同的天气环境下采集图像进行前车识别,准确度和识别时间基本差别不大,可以得出该算法在不同环境下图像背景和目

表 1 不同工况和环境下对比分析

Table 1 Comparative analysis under different working conditions and environments

对比分析	80 km/h 车速		100 km/h 车速	
	识别准确率/%	识别时间/ms	识别准确率/%	识别时间/ms
晴天	85 ~ 92	< 33	70 ~ 76	< 38
阴雨天	84 ~ 90	< 35	70 ~ 72	< 40

5 结论

道路前方车辆检测和识别是实现汽车驾驶主动安全、有效减少交通事故的关键技术,针对识别率低的问题,基于机器视觉研究了前方道路图像中的类 Haar 特征并进行积分图计算,同时采用 AdaBoost 算法进行正负样本训练并级联,得到训练好的模型,进而检测和识别汽车行驶中前方车辆。最后基于 OpenCV 计算机视觉库在 Visual Studio 2012 开发环境中进行了算法实现,并实地进行了测试和实验,结果表明,检测率准确可靠,满足多工况、多环境下的

前方车辆实时识别。

参 考 文 献

1 王战古,高松,邵金菊,等.复杂道路环境中前方车辆检测方法[J].科学技术与工程,2017,17(33):112-118
Wang Zhangu, Gao Song, Shao Jinju, et al. Front vehicle detection method in complex road environment[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(33): 112-118

2 罗棚豪,王培,李绍华,等.汽车辅助驾驶系统动态目标检测方法[J].计算机工程,2018,44(1):311-316
Luo Xuhao, Wang Pei, Li Shaohua, et al. Dynamic target detection method in motor vehicle assisted driving system[J]. Computer Engineering, 2018, 44(1): 311-316

3 徐邦振,汤一平,蔡国宁.基于机器视觉的轻量级驾驶辅助系统[J].计算机科学,2015,42(增刊2):520-524
Xu Bangzhen, Tang Yiping, Cai Guoning. Machine vision-based lightweight driver assistance system[J]. Computer Science, 2015, 42(S2): 520-524

4 徐鹏,王泽华.基于支持向量机的低能见度前车识别研究[J].华东交通大学学报,2018,35(1):69-74
Xu Peng, Wang Zehua. Study on low visibility of vehicle recognition based on support vector machine[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2018, 35(1): 69-74

5 洪浩,霍春宝,王京,等.基于改进 Otsu 算法在前方目标车辆识别中的研究[J].计算机技术与发展,2016,26(6):78-81
Hong Hao, Huo Chunbao, Wang Jing, et al. Research on front target vehicle identification based on improved Otsu algorithm[J]. Computer Technology and Development, 2016, 26(6): 78-81

6 程文冬,袁伟,张名芳,等.融合车尾边缘特征的前车识别与纵向车距检测[J].机械设计与制造,2017(7):152-156
Cheng Wendong, Yuan Wei, Zhang Mingfang, et al. Vehicle detection and longitudinal distance measurement based on fusion characteristics of rear edge[J]. Machinery Design & Manufacture, 2017(7): 152-156

7 宋晓琳,郭紫阳,张伟伟.基于阴影和类 Haar 特征的动态车辆检测[J].电子测量与仪器学报,2015,29(9):1340-1347
Song Xiaolin, Wu Ziyang, Zhang Weiwei. Dynamic vehicle detection based on shadow and Haar-like feature[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(9): 1340-1347

8 刘冬军,徐美华,龚露鸣,等.前方车辆检测的特征融合算法研究与实现[J].上海大学学报(自然科学版),2017,23(6):893-904
Liu Dongjun, Xu Meihua, Gong Luming, et al. Feature fusion for front vehicle detection and implementation[J]. Journal of Shanghai University(Natural Science Edition), 2017, 23(6): 893-904

9 王海,蔡英凤,林国余,等.基于方向可变 Haar 特征和双曲线模型的车道线检测方法[J].交通运输工程学报,2014,14(5):119-126
Wang Hai, Cai Yingfeng, Lin Guoyu, et al. Lane line detection method based on orientation variance Haar feature and hyperbolic model[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(5): 119-126

10 赵锐,尚文.状态监测视觉辨识技术研究[J].现代电子技术,2017,40(11):80-83
Zhao Rui, Shang Wen. Research on state monitoring and vision

identification technology[J]. Modern Electronics Technique, 2017, 40(11):80-83

11 张彦彬,陈晓春. 基于特征空间切分建模的变形手势跟踪算法[J]. 机器人,2018,40(4):401-412

Zhang Yanbin, Chen Xiaochun. The deformed gesture tracking algorithm based on feature space segmentation modeling [J]. Robot, 2018,40(4):401-412

Front Vehicle Identification Based on Haar-like Feature and Adaptive Boosting Algorithm

CAO Jing-sheng^{1,2}, LI Gang¹, SHI Jing¹, WANG Dong-xia³, GUO Yin-jing⁴

(College of Automobile and Traffic Engineering¹, Collaborative Innovation Center for Key Technologies of Automotive and Parts², College of Electronics and Information Engineering³, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China; College of Electronic, Communication and Physics, Shandong University of Science and Technology⁴, Qingdao 266590, China)

[**Abstract**] Aiming at the low rate of front vehicle recognition in the advanced driver assistance system (ADAS), the haar-like features in the road ahead image are studied based on the principle of machine vision, and the integral graph calculation is performed, the adaptive boosting (AdaBoost) algorithm is used to train the positive and negative samples and cascade to obtain the trained model on the basis of extracting the haar-like features, then detect and identify the vehicle in front of the vehicle. Finally, the algorithm is implemented and tested in the visual studio development environment based on open source computer vision library. The results show that the recognition time of each frame of video image is less than 40 milliseconds, the detection rate is accurate and reliable, and it can meet the real-time identification of front vehicle in multiple scenes and multiple working conditions.

[**Key words**] advanced driver assistance system front vehicle identification machine vision Haar-like feature adaptive boosting algorithm