

实时矩形交通限速标志识别系统

张燕昆, 洪初阳, WANG Charles

(哈曼国际中国研究中心 核心技术研发部, 上海 200233)

摘要: 交通限速标志识别系统是汽车辅助驾驶系统的重要组成部分, 本文提出了一种实时矩形交通标志识别系统. 首先采用多尺度多区域的局部二值模式(LBP)特征训练 Adaboost 分类器进行交通限速标志的检测, 然后利用线性预测的算法进行标志跟踪. 识别预处理阶段, 首先采用投影分析的方法对交通标志进行旋转校正, 然后采用基于积分图的自适应二值化方法将图像进行二值化, 再利用连通区域标记方法得到包含限速标志数字的最小矩形区域. 识别时首先采用主元分析(PCA)进行特征向量提取, 然后用聚类的方法构建二叉树的线性支持向量机进行分类识别. 在普通笔记本电脑系统配置下, 通过大量的实际道路场景的视频数据测试, 系统取得了98.3%的正确识别率, 平均处理速度达16帧/s.

关键词: 交通限速标志; 辅助驾驶系统; 局部二值模式; 主元分析; 二叉树; 支持向量机

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2010)06-0540-05

A real time rectangular speed limit sign recognition system

ZHANG Yan-kun, HONG Chu-yang, WANG Charles

(Harman International, Shanghai RD Center Corporate Technology Group, Shanghai 200233, China)

Abstract: Speed limit sign recognition is one of the important components for a driver assistance system. An efficient real time rectangular speed limit sign recognition system was proposed. The system framework design considered the computation load and hardware resources for a driver assistance system. First, multi-scale overlapping local binary pattern (LBP) image features were used to train an AdaBoost cascade classifier for sign detection. Then a simple linear prediction method was used to do the tracking task. In the recognition stage, the projection method was used to correct the rotation angle and then the integral image based adaptive threshold algorithm was applied to segment the speed limit number, and then the principal component analysis (PCA) was used for feature vector extraction. Finally, a clustering based binary tree of a linear support vector machine was designed for the classification task. The system achieved a 98.3% recognition rate with an approximate frame rate of 16fps in video files for the laptop computer system during actual road tests.

Keywords: speed limit sign; driver assistant system; local binary pattern; PCA; binary tree; support vector machine

伴随着电子技术、计算机技术和人工智能技术的飞速发展,越来越多的车辆开始配备智能辅助驾驶系统. 交通限速标志识别系统是智能辅助驾驶系统的一个重要组成部分,它能提醒驾驶者当前公路的最高限速从而让驾驶者调整相应的车速,达到安

全驾驶的目的^[1].

交通限速标志识别通常分成2个部分^[2]:1)限速标志的检测,也就是从车内安装的摄像机拍摄到的场景图像中实时检测出限速标志;2)对限速标志进行识别,也就是识别出具体的数字(限制的车速).

近年来,很多研究者对交通限速标志识别进行了研究.大量的工作集中在圆形限速标志上,圆形限

速标志广泛地应用于欧洲、亚洲和澳洲的国家^[3]. 很少对美国等国家的矩形交通限速标志进行研究. 本文主要研究矩形交通限速标志识别系统.

1 相关工作

基于视频的交通限速标志识别是计算机视觉领域中一个难题,近年来很多研究者进行了这方面的研究. G. Loy 和 N. Barnes 利用径向对称变换(radial symmetric transformation, RST)进行圆形、正多边形等交通标志的检测. 这种方法主要是利用交通标志形状的对称信息. RST 可以看作是霍夫(Hough)变换的推广,这种方法对圆形比较有效,具有平面内的旋转不变性. 相比霍夫变换,它更加有效和具有鲁棒性^[3].

C. Bahlmann 等人^[4]提出了一种基于颜色、形状和运动信息的圆形交通标志识别系统. 圆形交通标志检测时,在颜色信息的基础上,他们提出了一种融合颜色信息和形状信息的 Adaboost 检测方法. 采用 7 种颜色表示待识别的目标,然后用 Haar 小波提取特征. 识别阶段,采用线性判别分析(linear discriminant analysis)提取特征向量,贝叶斯分类器进行分类.

C. G. Keller 等人在文献[5]提出了一个美国矩形限速标志识别系统. 在检测时,首先采用改进的径向对称变换进行矩形目标初步检测,然后再用基于 Haar 小波特征的 Adaboost 分类器进行进一步的精确检测,从而消除误检测的限速标志. 获得限速标志区域后,首先进行了一些校正、分割和归一化,然后采用线性判别分析提取特征向量,贝叶斯分类器进行数字识别,为了提高识别率和稳定性,他们采用了多帧投票融合的识别策略.

在系统研究了 Keller 等人的方法并进行了实现后,针对辅助驾驶系统的特点:实时性和较低的硬件资源占用,本文提出了一种高效的矩形交通限速标志识别系统.

2 系统的关键技术

2.1 限速标志的检测

对于交通标志的检测,很多研究者采用了基于 Haar 小波特征的 Adaboost 检测方法. 基于 Haar 小波特征的 Adaboost 检测器方法被成功地应用于人脸检测与目标检测中^[6]. Haar 小波可以采用积分图进行快速计算,因此通常情况下能满足实时性要求.

对于辅助驾驶系统,需要在较低的硬件配置下,系统具备实时性,而且尽可能地少占用资源. 在 Adaboost 框架内,Haar 小波特征太多,例如,对于一个 14×18 大小的训练样本,12 种 Haar 小波对应的特征达 40 000 多个. 近年来, Ojala 等人提出了一种更为简单的图像特征提取方法:局部二值化模式(local binary pattern, LBP)特征^[7],它被广泛应用于纹理分析、目标识别和图像检索等领域中. 相比 Haar 小波, LBP 计算速度更快,占用资源更少. Zhang 等人将 LBP 扩展为多块区域的局部二值模式(mutil-block local binary pattern, MB-LBP)^[8],用于训练 Adaboost 检测器进行人脸检测,其性能比基于 Haar 小波特征的好. 本文采用多尺度具有重叠的 MP-LBP 特征来训练 Adaboost 检测器进行矩形限速标志的检测.

MB-LBP 特征的详细计算方法可以参考文献[8]. 跟 Haar 小波特征一样, MB-LBP 可以通过积分图计算快速得到. 多尺度具有重叠的 MB-LBP 特征的计算伪代码如下:

```
int offset = img.width + 1;
for (int x = 0; x < img.width; x++)
    for (int y = 0; y < img.height; y++)
        for (int w = 1; w <= img.width/3; w++)
            for (int h = 1; h <= img.height/3; h++)
                if ((x + 3 * w <= img.width) && (y + 3 * h <= img.height))
                    features.push_back(Feature(offset, x, y, w, h));
```

2.2 限速标志的跟踪

检测到限速标志后,采用线性预测的方法对交通标志进行跟踪. 跟踪的作用一方面是消除检测器的误检测(false positives, 把不是限速标志的目标检测为限速标志),因为对于误检测的目标,它在下一帧中出现在同一位置附近的概率很低;另一方面是在后续的图像序列中,检测范围可以在很小的区域内进行,这样可以降低系统的负担和提高检测率. 图 1 显示了线性预测的流程图.

线性预测的方法是在检测到具有交通标志的第 1 帧后,后续帧的检测区域(ROI)就在以前一帧交通标志为中心,很小的矩形区域范围内进行. 矩形的高度和宽度分别为前一帧限速交通标志大小的 3 倍. 一旦在后续的图像帧中没有检测到限速标志目标,检测器在随后的视频序列中,又重新开始在整个

图像的范围内进行检测。

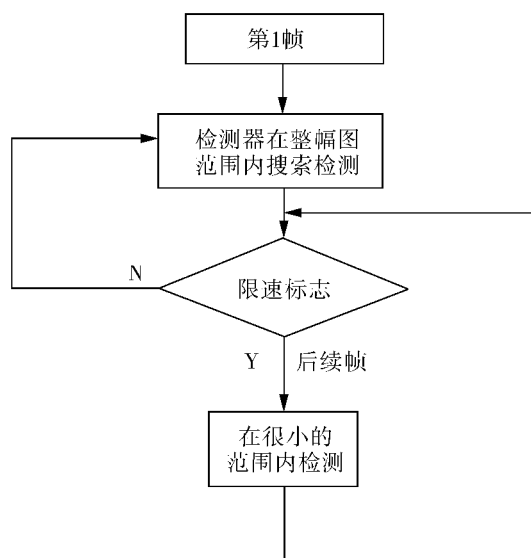


图1 线性预测跟踪流程图

Fig. 1 linear prediction tracking diagram

2.3 限速标志数字的校正和分割

检测到限速标志目标后,在进行识别之前,首先要把数字区域分割出来.对于矩形限速标志,由于车的晃动、道路、人为等因素的影响,它的2条边相对于图像平面的 X 轴和 Y 轴是不平行的,经常有轻微的旋转,因此首先需要对其进行旋转校正。

当矩形限速标志的两边分别与图像平面的 X 轴和 Y 轴平行时,它的外边缘在垂直和水平方向具有最大的梯度^[3],C. G. Keller通过直方图投票的方法来求取旋转角.这里采用一种更加有效而简单的方法来进行校正。

首先将Adaboost检测器检测到的限速标志区域扩展1/4,这主要是保证它的4条边都在区域内.在扩展后的区域内,分别进行垂直投影和水平投影得到其对应的投影曲线,然后对投影曲线进行一阶差分,求出它们一阶差分的极大值的加权均方值.假定旋转角位于 $[-100, 100]$ 区间范围内,这在实际大部分情况下是成立的.旋转扩展后的矩形区域20次,每次步长为 1° ,每一次都求出水平和垂直投影曲线对应的一阶差分极大值的加权均方值.这样就分别得到20个加权均方极值.将这20个极值排序,最大值的对应的角度就是最终的旋转校正角度.整个校正流程如图2所示。

校正后,要对数字区域进行分割.这里采用基于积分图的自适应阈值方法先将校正后的目标图像进行二值化^[9-11].这种方法的特点是能够消除光照变

化,而且速度非常快.在二值化的基础上,利用连通区域标记的方法求出含有数字的最小矩形区域,这个矩形区域对应的灰度图像块就作为最终的待识别区域.最后将图像块归一化为同样的大小。

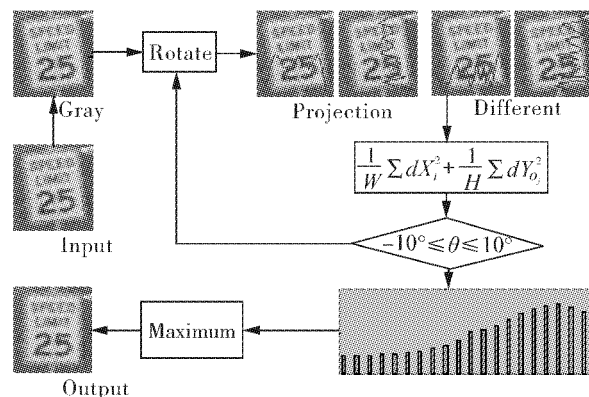


图2 旋转校正过程流程图

Fig. 2 The diagram of rotation correction

2.4 限速标志的识别

限速标志的数字识别是个数字的问题.但与通常数字识别问题不同的是,限速标志的数字由于光照、标志残损、汽车高速行驶时导致的运动模糊等因素的影响,其质量一般都很差.因此,设计一个鲁棒性很强的分类器是相当关键的。

首先采用主元分析(principal component analysis, PCA)对归一化后的灰度图像进行特征向量提取.然后采用基于聚类的二叉树线性支持向量机构建分类器。

采集的交通限速标志共有16个类别:10,15,20,...,80,85.首先采用无监督聚类的方法对这16个类的训练样本的特征向量进行聚类,找出它们之间的相似性.根据它们的相似性,设计的二叉树线性支持向量机如图3所示。

在树的根部,将所有的数字部分归为一类(正样本),其他非数字(包括检测器误检的非限速标志目标以及是限速标志目标但质量退化不能识别的)归为另一类(负样本).在到达第1个树节点的右边,负样本终止;左边部分,根据末位数字0和5分为2类:即10,20,...,80和15,25,...,85.根据聚类的结果,对这2类分别进一步构建二叉树,如此不断的拓展二叉树,直到所有的类识别完为止。

实际系统中,当车通过一个限速标志路段时,检测器可以检测到多帧含有限速标志的图像.为了提高识别的稳定性,采用文献[3]中多帧投票的策略来提高实际系统的识别率。

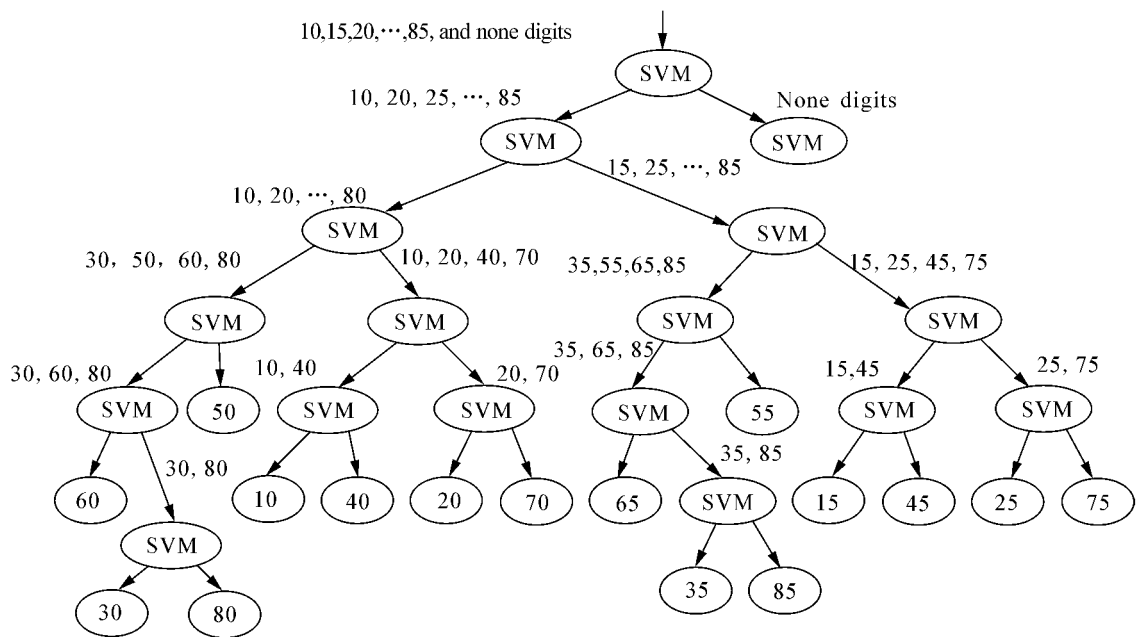


图3 基于聚类的二叉树线性支持向量机的结构

Fig.3 Architecture of the binary tree support vector machine

3 实验分析

将一个笔记型电脑计算机系统放置在车里,摄像机通过支架固定,通过1394接口与电脑连接进行实际视频数据的采集.摄像机的分辨率为640×480,帧率为30帧/s,图像为24位的彩色图像.视频数据具有多样性,包括了不同路段、不同时间段(早上、中午、黄昏、夜里)和不同天气情况下(晴天、阴天)的各种数据.数据集中一共包含了85个限速标志路段的视频序列,超过10 000帧含有限速标志和100 000多帧不含有限速标志.测试硬件平台的配置为P8400 2.26GHz,1GB RAM.

3.1 限速标志检测的结果分析

手工从2 863帧含有限速标志的视频序列中分割出限速标志目标,将其归一化为14×18大小作为正样本.负样本从不含有限速标志的图像序列中选取,共5 000个负样本.另外,通过bootstrapping的方法得到另外的2 100个负样本.这样一共有7 100个负样本.图4是一些用于训练的正样本图像.



图4 用于训练Adaboost检测器的一些正样本图像

Fig.4 The positive sample images for adaboost training

测试时,采用了近25 000幅视频序列,其中含有限速标志的2 210幅.测试图像序列与训练用的图像序列没有重叠.正确检测这里定义为当图像中有限速标志并且能被人眼所感知时,检测器能正确地检测出;误检测定义为图像中的非限速标志被检测为

限速标志.

系统的检测器获得了99.1%的正确检测率,只有12个误检测.为了和基于Haar小波特征的Adaboost检测器进行比较,采用同样的训练样本训练基于Haar小波的Adaboost检测器,Haar小波特征选取了常用的12种不同类型.表1是两者结果的综合比较.

表1 MB-LBP和HAAR小波的比较

Table 1 Comparson detection results of MB-LBP and Haar wavelet

算法	总的特征数量	正确检测率/%	误检测个数	训练时间/h	检测时间/(帧·s ⁻¹)
MB-LBP	1 530	99.1	12	132	0.052
Haar	47 952	97.6	16	144	0.080 2

从表中可以看出,基于多尺度的MB-LBP的Adaboost检测器的性能要好于基于Haar小波Adaboost检测器.

3.2 限速标志识别的结果分析

将分割出的含有限速标志数字的灰度图像块归一化为12×8大小.先利用PCA将特征维数从96维降为40维,实验表明,增加维数不影响SVM的识别结果.图5是一些限速标志目标经过旋转校正、分割以及归一化后的图像示例.



图5 归一化后训练二叉树线性支持向量机的样本图像

Fig.5 The normalized training samples for BTSVM

对于二叉树的每个节点的线性支持向量机,根

部的训练样本最多,每类1 000个,随着树的深入递减,树末端的训练样本为每类50个。

在2 210帧测试图像上,二叉树线性支持向量机的正确识别率为88.35%,而直接采用RBF核函数的非线性支持向量机的正确识别率为84.05%。这也说明了设计的基于聚类的二叉树的线性支持向量机的性能要比非线性的支持向量机的性能要好。

3.3 系统总的性能分析

采用了60个不同限速标志路段的视频进行系统测试。这60个不同限速标志路段的视频时间长达40 min左右,总的帧数近70 000多帧。系统正确识别定义为当车经过一个限速标志时,多帧投票识别输出的结果和实际的限速标志一致。投票的数目采用10帧二叉树线性支持向量机的输出进行投票,当有6帧以上输出结果相同时,该输出就作为系统最终的识别结果。当输出的相同结果数小于6时,系统就不输出。

在60个路段的视频上,系统只有1个限速标志路段识别错误,主要原因是该限速标志刚好位于转弯路段,检测到的限速标志的帧数不多,无法满足投票机制。也就是说在测试视频数据库上,系统总的识别率为98.3%。性能方面,整个系统模块的处理速度平均为16帧,CPU占用率一直控制在40%以下。

4 结束语

介绍了一种高效的矩形交通标志识别系统。该系统整个流程的设计基于辅助驾驶系统的需要,在较低硬件配置下达到实时处理的要求,并且具有较低的资源占用。系统通过大量的实际道路视频序列的测试,取得了较好的性能。未来的工作,一方面是对系统进行更大规模的实际测试;另一方面进行平台的移植和优化,进行系统整合。

参考文献:

- [1] BARGETON A, MOUTARDE F, NASHASHIBI F, BRA-DAI B. Improving pan-European speed-limit signs recognition with a new "global number segmentation before digit recognition" [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, Netherlands, 2008: 349-354.
- [2] KELLER C G, SPRUNK C, BAHLMANN C, GIEBEL J, BARATOFF G. Real-time recognition of US speed signs [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, Netherlands, 2008: 518-523.
- [3] LOY G, BARNES N. Fast shape-based road sign detection for a driver assistance system [C]//IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Sendai, Japan, 2004: 70-75.
- [4] BAHLMANN C, ZHU Ying, RAMESH V, PELLKOFER M, KOEHLER T. A system for traffic sign detection, tracking, and recognition using color, shape, and motion information [C]//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Las Vegas, USA, 2005: 255-260.
- [5] VIOLA P, JONES M. Robust real-time object detection [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137-154.
- [6] 陈春燕, 章品正, 罗立民. 基于粒特征和连续 Adaboost 的人脸检测 [J]. 智能系统学报, 2009, 4(5): 446-452. CHEN Chunyan, ZHANG Pinzheng, LUO Limin. Face detection using real Adaboost on granular features [J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2009, 4(5): 446-452.
- [7] OJALA T, PIETIKAINEN M, M&ENPää T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- [8] ZHANG Lun, CHU Rufeng, XIANG Shiming, LI S Z. Face detection based on multi-block LBP representation [C]//Proceedings of IAPR/IEEE International Conference on Biometrics. Seoul, Korea, 2007: 11-18.
- [9] BRADLEY G, ROTH G. Adaptive thresholding using integral image [J]. Journal of Graphics Tools, 2007, 12(2): 13-21.
- [10] FEI B, LIU J. Binary tree of SVM: a new fast multiclass training and classification algorithm [J]. IEEE Trans on Neural Networks, 2006, 17(3): 696-704.
- [11] 张铭钧, 尚云超, 杨杰. 基于灰度-梯度不变矩的水下目标识别系统 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 6: 653-657. ZHANG Mingjun, SHANG Yunchao, YANG Jie. Recognition system for underwater objects based on gray and grads invariant moments [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2009, 6: 653-657.

作者简介:



张燕昆,男,博士.主要研究方向为计算机视觉、人脸检测与识别、三维计算机视觉;发表学术论文7篇。



洪初阳,男,硕士,主要研究方向为图像处理、图像分割和机器视觉等。



Wang Charles, 博士,主要研究方向为视频分析、模式识别等。发表论文多篇,同时拥有多项专利。