

# 车辆尾灯灯语的检测与识别<sup>①</sup>

田 强<sup>1,2</sup>, 孔 斌<sup>2</sup>, 孙翠敏<sup>1,2</sup>, 王 灿<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学技术大学 信息科学技术学院, 合肥 23007)

<sup>2</sup>(中国科学院 合肥智能机械研究所, 合肥 230031)

**摘要:** 针对有效利用车辆灯语信息的问题, 提出了一种基于图像的车辆尾灯灯语的检测识别新方法. 该方法首先利用颜色、对称性特征在图像中检测出车辆尾灯对, 并对车辆尾灯进行连续的跟踪. 然后使用参数优化的最小二乘支持向量机(Least Squares Support Vector Machines, 简称 LS-SVM)对得到的车尾灯状态进行分类判别. 最后结合状态历史信息, 综合推断出各前方车辆当前灯语含义. 以实车拍摄的白天道路视频进行实验, 可以看到由识别出的灯语信息能够准确判断出前方车辆刹车、转向、灯不亮, 表明该检测识别方法有效.

**关键词:** 无人车; 机器视觉; 灯语识别; 车尾灯检测; 支持向量机(Support Vector Machine)

## Detection and Recognition the Signals of Vehicle Taillight

TIAN Qiang<sup>1,2</sup>, KONG Bin<sup>2</sup>, SUN Cui-Min<sup>1,2</sup>, WANG Can<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

<sup>2</sup>(Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** In this paper, a new algorithm of taillight signals detection and recognition based on image is proposed. Firstly, the algorithm detects and tracks vehicle taillights using color and symmetry features of the images. Secondly, we employ parameters-optimized Least Squares Support Vector Machines (LS-SVM) to classify the current states of detected taillights. Finally, we set up state chains from past frames to recognize the signals of taillights. Through the experiments on the real road, we can see that the recognized signals can correctly indicate the behaviors of brake and turn of preceding cars, which shows that our algorithm is valid.

**Key words:** unmanned vehicle; machine vision; light signal recognition; taillight detection; Support Vector Machine (SVM)

对车辆所行驶道路环境的感知, 是无人驾驶车辆的一个重要组成部分. 获得并理解道路环境从而使无人车的行驶更加智能化. 目前环境感知主要是运用车载各类传感器, 来获得车辆行驶环境的有用信息, 比如研究比较多的车道线的检测、道路的检测、前方车辆、行人或者是障碍物的检测<sup>[1-3]</sup>, 另外对交通标志、交通信号灯的检测识别也取得了一定的成果<sup>[4]</sup>. 然而对交通流中周围车辆驾驶行为的感知研究却比较少. 车尾信号灯是车辆行驶中向外界发出信号的一种重要方式, 对车尾灯的状态组合进行规定从而形成灯语. 灯语可以表达车辆行驶状态、行驶意图等有用信息.

我国交通法规约定的灯语有 12 种, 常见的灯语比如左右车尾灯若同时为红灯常亮则灯语为刹车; 如果是左车尾灯为黄灯并且是闪烁状态, 同时右车尾灯为不亮, 则灯语为左转或向左变道. 因此获取并理解灯语对于实现多车行为交互和实现无人驾驶车融入城市交通流都具有重要意义. 目前, 车尾灯的检测主要用在辅助夜间车辆的检测上, 本文实现了白天车尾灯的检测和灯语的识别.

文中首先对车尾灯进行检测, 通过颜色信息和位置信息检测得到配对的两侧尾灯. 然后对尾灯对的状态设计特征向量, 使用 LS-SVM 进行当前状态的判别,

① 基金项目: 国家自然科学基金(91120307, 91320301)

收稿时间: 2015-03-10; 收到修改稿时间: 2015-04-29

结合获得的车灯状态时序信息，最终得到灯语信息。

### 1 车尾灯的检测

车尾灯一般对称分布在车辆尾部的左右两侧，是汽车灯具集中的一个区域。通常尾灯区域有纹理、边缘、形状和颜色信息。许远昂<sup>[5]</sup>等使用纹理来进行尾灯的检测，范红武<sup>[6]</sup>等使用边缘进行尾灯定位，赵阳<sup>[7]</sup>等使用形状和位置信息预估出尾灯位置，上述方法丢失了车尾灯明显的颜色特征。颜色信息通常具有更好的环境、光照、距离适应性，在白天、夜间、雨、雪、雾天气下也比较稳定。另外，注意到虽然尾灯的形状是非常多样的，但是在完好无损的情况下，左右灯组在车辆尾部位置是对称的<sup>[8]</sup>。所以本文使用颜色信息检测车尾灯并利用左右灯组对称的条件，将可能是同一辆车的车尾灯进行配对，进一步确定车尾灯对。

#### 1.1 颜色分割

使用颜色信息检测车尾灯区域，首先需要选择合适的颜色空间模型，通常使用的颜色模型有：YCrCb、L\*a\*b、RGB 和 HSV<sup>[9,10]</sup>。对采集到的真实交通环境下的道路视频在上述空间中进行实验发现，单独使用某一个颜色空间不能取得很好的分割效果。这里结合使用了 HSV 颜色空间和 RGB 颜色空间。

HSV 模型是现在夜间车尾灯检测使用较多的颜色空间模型。Ronan O'Malley<sup>[11]</sup>等收集并统计了大量车尾灯的样本，发现夜间车尾灯在 HSV 空间分布上会比较集中，从而可在 HSV 空间设置分割阈值实现对车尾灯的检测。本文对白天车尾灯红色区域的颜色分布进行了统计，相比夜间时更分散，根据统计结果设置车尾灯区域分割的阈值条件如式(1)、式(2)，式中色调(H)饱和度(S)均已归一化。

$$(342^\circ < H < 360^\circ) \text{ or } (0^\circ < H < 15^\circ) \tag{1}$$

$$0.45 < S < 1.0 \tag{2}$$

RGB 颜色空间是显示器系统最常用的色彩空间。RGB 模型中 R、G、B 三分量分别对应光的三原色：Red、Green、Blue。在车尾灯检测中更关注红、黄色分量，这里对 R、G、B 分量进行变化<sup>[12]</sup>。设定(x,y)位置红色、绿色、蓝色分量为 R(x,y)、G(x,y)、B(x,y)，变换后(x,y)位置像素值大小为 F(x,y)，取值由式(3)得到。

$$F(x,y) = f_R + f_Y \tag{3}$$

其中

$$f_R = \max(0, \min(R(x,y) - B(x,y), R(x,y) - G(x,y)))$$

$$f_Y = \max(0, \min(R(x,y) - B(x,y), G(x,y) - B(x,y)))$$

定义变换得到的图为 Rdif。

实验中发现，HSV 颜色空间可以很好的将亮度和色度信息进行分离，从而使得色度具有在不同光照条件下的稳定性，检测得到二值图，如图 1 所示，得到的二值图定义为 Rbin。然而难以根据 Rbin 得到完整、准确的整个车尾灯区域。另外，注意到 RGB 颜色空间通过分量差值变换，得到的 Rdif 对红、黄色更加敏感，并且可以保留完整的车尾灯区域。如图 2 所示。

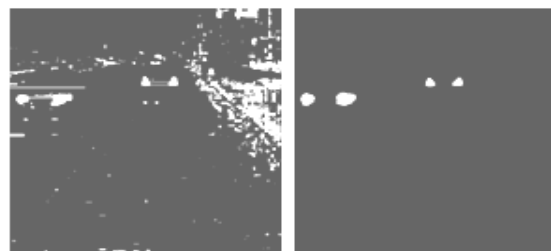


图 1 HSV 检测结果



图 2 RGB 检测结果

所以这里将 HSV 空间得到的 Rbin 进行高斯变换，得到的数值作为加权系数，那么在满足阈值条件的车尾灯区域都有不为 0 的加权系数值，并且在中心位置处值最大。使用得到的系数对 RGB 中的 Rdif 做非线性变换，从而可以有针对性的对车尾灯区域进行增强。图像中检测到车尾灯区域并得到增强后，使用最大类间方差法(OTSU)进行阈值分割，明显改善了分割效果。如图 3 所示。



(a)未变换之前的分割 (b)变换后的分割

图 3 分割出车尾灯

### 1.2 跟踪算法

为了更好的实现前方车辆车尾灯的检测,设计跟踪检测算法.跟踪检测算法既可以减少误检率提高检测速度,又可以获得车灯状态的时序信息,从而结合识别出的状态得到当前灯语信息.最简单有效的跟踪算法是基于 Kalman 滤波的跟踪方法.

为了实现多目标的跟踪,对 Kalman 滤波跟踪方法进行改进,使用位置、大小将前后帧尾灯对关联.另外,灯对中如果其中一个尾灯没有检测到,本文假设该灯 Kalman 滤波的预测位置作为当前检测到的位置,并用尾灯对中另一个尾灯的信息复制给它,保持之前的灯语状态,这样可以很好的降低漏检.

### 1.3 对称性匹配

检测出的车尾灯需要知道哪些是属于同一辆车,即组成一个车尾灯对.考虑到一般而言同一辆车上的车尾灯区域是保持在一个水平线上的,并且车尾灯对是镜像对称的,所以左右两个车尾灯的形状、大小、纹理、颜色分布,理论上应是相同的.根据这些信息,设计匹配算法来对车尾灯候选区域进行配对.



图 4 匹配验证

如图 4 为检测出的两个车尾灯候选区域,假设 A、B 区域面积差值的绝对值为  $absS$ ,两者中的较小者为  $S$ .则面积需要满足式(4).计算出两个候选区域的中心位置,求两区域中心位置在垂直方向上的距离,即图中的  $y\_distance$ .  $y\_distance$  满足式(5).其中  $height$  为 A、B 区域高度的较小值.为了消除  $x$  方向上相距较近区域引起的错误匹配,还需要对水平方向上的距离进行约束.即图中的  $x\_distance$  需要满足式(6).其中  $width$  为 A、B 区域宽带的较小值.系数  $K$ 、 $G$ 、 $M$ 、 $N$  均为经验值可根据实际情况设置.

$$absS < K * S \tag{4}$$

$$y\_distance < G * height \tag{5}$$

$$M * width < x\_distance < N * width \tag{6}$$

如图 5 为匹配完成的车尾灯对,其中绿色框中标出的是检测出来的车尾灯,红色框标出来的是匹配的一组车尾灯对.

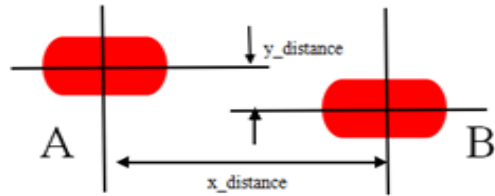


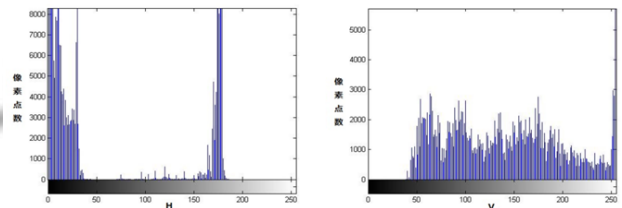
图 5 尾灯配对检测

## 2 灯语的识别算法

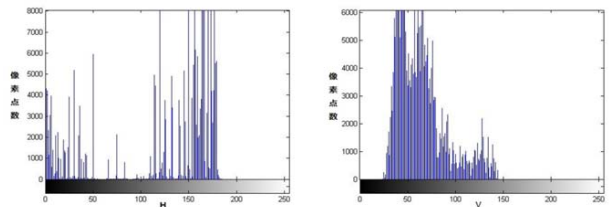
灯语通过车尾灯状态的组合来表示.本文只识别其中 3 类比较重要且常见的信号分别为:刹车、转向或变道(包括:左转或向左变道、右转或向右变道)、灯不亮.灯语状态的识别可看作状态的分类问题,SVM 是很好的两类分类方法,并可以推广到解决多分类问题,其改进形式 LS-SVM 求解速度更快、具有实用性.据此本文首次提出了将 LS-SVM 用于灯语识别的方法.

### 2.1 特征提取

首先考虑转向和非转向(包括刹车、灯不亮)两类状态.转向时只有单侧黄灯闪烁,相对于非转向时,两侧车灯区域在色调  $H$ 、亮度  $V$  分量上都具有较大的差异,如图 6 为单侧黄灯亮时,灯亮一侧和灯不亮一侧车灯色调  $H$ 、亮度  $V$  分量上的直方图.



(a)灯亮一侧,  $H$ 、 $V$  分量



(b)灯不亮一侧,  $H$ 、 $V$  分量

图 6 转向灯两侧  $H$ 、 $V$  分量直方图

通过相关系数能够表达直方图之间的差异,所以

分别计算训练样本中两侧车灯  $H$ 、 $V$  分量的相关系数, 作为特征进行分类器的训练.  $H$  分量的相关系数为  $r_1$  计算如式(7), 其中  $H_1, H_2$  分别为左右两侧灯区  $H$  分量的直方图.  $V$  分量的相关系数为  $r_2$  计算如式(8), 其中  $V_1, V_2$  分别为左右两侧灯区  $V$  分量的直方图.

$$r_1 = \sum_I \min(H_1(I), H_2(I)) \quad (7)$$

$$r_2 = \sum_I \min(V_1(I), V_2(I)) \quad (8)$$

然后考虑刹车和灯不亮两种状态. 刹车灯通常有两种, 本文识别的刹车灯是指以左右对称方式放置在灯组内的刹车灯.

两边红色的灯若同时点亮则判为刹车, 观察到在刹车灯亮和不亮时, 其  $H$ 、 $S$ 、 $V$  分量都会发生变化, 如图 7:

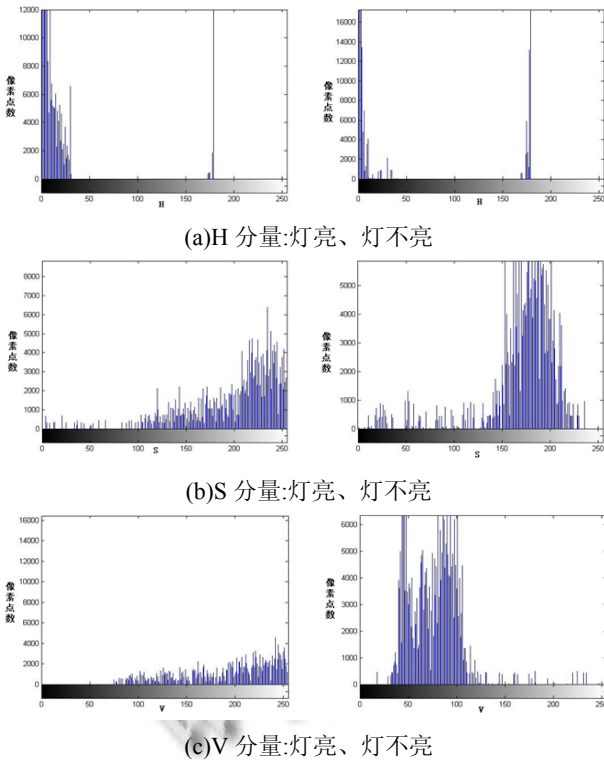


图 7 刹车灯亮灭时,  $H$ 、 $S$ 、 $V$  分量直方图

所以可以使用  $H$ 、 $S$ 、 $V$  分量的直方图  $H_h(r)$ 、 $H_s(r)$ 、 $H_v(r)$  组合成一个新的向量  $H(r)$  如式(9), 将  $H(r)$  作为 SVM2 分类器的特征.

$$H(r) = \begin{cases} H(r), 0 \leq r < 256 \\ H(r), 256 \leq r < 512 \\ H(r), 512 \leq r < 768 \end{cases} \quad (9)$$

### 2.2 识别策略

如图 8 所示, 使用两层分类器:

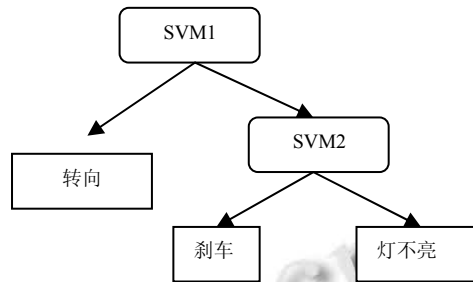


图 8 分层 SVM 识别算法

通过离线训练得到分类器模型. 训练均使用 RBF 核, 5 倍交叉验证, 并使用网格搜索得到最优参数. 识别时在检测到待识别的一对车尾灯时, 输入模型 SVM1、SVM2 进行判断, 判断出类别即为所识别结果. 第一层分类器 SVM1 使用特征  $r_1, r_2$  判别当前检测到的车尾灯对是否为转向信号, 如果是转向信号则根据两侧的亮度大小进行简单的判断就可以确定为左转或者右转, 标记为 TURN LEFT 或者 TURN RIGHT; 如果不是转向灯, 则当前车尾灯对两侧灯可能全亮也可能全不亮, 使用第二层分类器 SVM2 进行判断. SVM2 使用联合特征向量, 可以判断出当前灯对是否为刹车, 如果是刹车则识别为刹车信号, 标记为 STOP; 如果不是则当前状态判为灯不亮. 另外, 由于转向灯整个过程呈闪烁状态, 所以灯不亮可能为转向灯过程的其中一个状态, 可以根据之前对车灯状态的跟踪时序信息进行判断: 如果在一定帧数之前车尾灯状态为转向, 则此时灯不亮识别为转向; 否则识别为灯不亮, 标记为 OFF.

### 3 实验结果与分析

本文使用的车载相机为 STC-TC33USB, 分辨率为 640x480(RGB, 8bits), 从真实道路环境中拍摄的连续视频中随机取出 5959 幅图片作为测试图像库. 对图片中的车尾灯对进行检测, 检测出其中车尾灯 2875 次.

检测结果表明, 本文车尾灯检测算法在多种光照环境下可以有效检测出车尾灯, 如图 9 分别为高架桥下复杂光照环境(光照不均匀, 有阴影和强光照区域)和光照均匀(强光照)路段时的检测效果.





图 9 不同光照条件检测效果

车尾灯错误检测主要受到其他光源和路边其他物体干扰, 如交通信号灯和交通标志牌, 分别如图 10(a)、(b):

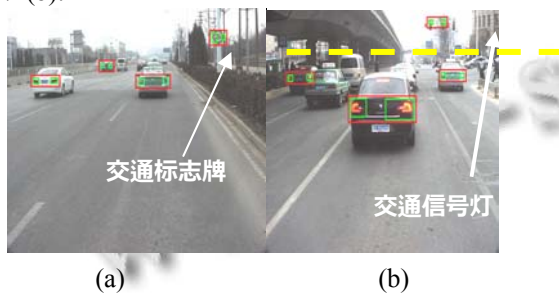


图 10 其他光源和路边标志干扰

使用跟踪算法依据帧间连续信息, 可以去除部分路边误检. 通过设置感兴趣区域也可以减少交通信号灯的干扰, 将图像上半部分视作空中或较远位置, 不做检测, 图 10(b)中把黄色虚线下方选做感兴趣区域 (ROI).

车尾灯漏检, 主要由于前方车辆距离较远, 或者光线较弱, 使得车尾灯区域不明显, 从而未被检测出.

另外, 尾灯对进行检测时, 并排行驶的车辆间会比较容易出现错误匹配, 如图 11:



图 11 错误匹配

以检测出来的车尾灯对作为测试数据, 其中包括灯不亮尾灯对 1670 个, 刹车尾灯对 951 个, 转向(左、右)尾灯对 254 个, 并使用现有亮度变化的识别方法和 SVM、LS-SVM 训练得到的模型做灯语识别测

试. 灯语识别结果如表 1 所示.

表 1 灯语识别正确率测试结果

灯语 方法	灯不亮 (%)	刹车 (%)	转向(%)	平均耗时(ms)
亮度变化	81	72	68	31
SVM	95	89	82	84
LS-SVM	91	87	79	53

实验结果表明使用亮度变化的识别方法在光照复杂的真实道路环境中失效, 它根据经验设置的经验阈值不能在光照发生变化时得到调整从而导致识别率大大降低; 而 SVM 和 LS-SVM 方法都有较高的准确率, 因为该方法避免了阈值、参数的选择问题, 具有更好的适应性. 另外 SVM 具有比 LS-SVM 方法更高的检测准确率, 但是 LS-SVM 的检测速度更快. LS-SVM 作为 SVM 的改进, 它构造了新的二次损失函数, 从而将二次规划问题变成了求解线性方程问题, 提高了求解速度, 能够克服大规模问题存在的训练速度较慢的缺点, 但不能保证其解为全局最优解. 所以考虑到系统的实时性、实用性, 在准确率可接受范围下本文选用 LS-SVM. 灯语检测识别结果如图 12 所示.



(a) 识别出刹车信号



(b) 识别出转向信号



(c) 识别出灯不亮

图 12 灯语识别结果示例

## 4 结论

灯语是真实道路环境中车辆之间进行信息交互最直接、有效的方式之一。获取并理解周围车辆的灯语信号,进而可以预估其驾驶行为,对无人驾驶车辆安全自然的融入到道路交通流中具有重要意义。本文对车尾灯对的检测与灯语的识别方法进行了研究,并取得了一定成果。文中使用尾灯的颜色和位置信息,结合使用HSV和RGB颜色空间,检测出车尾灯对。然后使用两层LS-SVM分类器灯语识别算法,对检测出来的车尾灯对进行灯语分类,并结合跟踪检测中保存的历史状态最终实现刹车、转向、灯不亮的识别。另外通过实验分析,本文识别算法比较依赖尾灯检测的好坏,文中检测算法的漏检、误匹配还较多,所以通过车辆的检测来进一步定位尾灯位置和确定匹配关系是算法改进的一个方向。使用更具有代表性的样本和特征,并改进LS-SVM分类模型也是进一步研究中改善识别算法的一个主要因素。

### 参考文献

- 1 徐友春,李克强,连小珉,赵玉凡.智能车辆机器视觉发展近况.汽车工程,2003,25(5):438-443.
- 2 徐友春,王荣本,李克强,赵玉凡.一种基于直线模型的道路识别算法研究.中国图象图形学报,2004,9(7):858-864.
- 3 顾柏园,王荣本,余天洪,郭烈.基于视觉的前方车辆探测技术研究方法综述.公路交通科技,2005,22(10):114-119.
- 4 朱双东,陆晓峰.道路交通标志识别的研究现状及展望.计算机工程与科学,2006,28(12):50-52.
- 5 许远昂.车牌定位算法与车尾灯定位研究[硕士学位论文].西安:西安电子科技大学,2008.
- 6 范红武,韩柯,孙亮,等.基于视觉自主车的尾灯灯语识别方法研究.电脑知识与技术,2010,6(34):9790-9792.
- 7 赵阳,刘红娅.车辆灯语检测与识别技术研究及仿真.装备学院学报,2012,23(3):93-97.
- 8 Casares M, Almagambetov A, Velipasalar S. A robust algorithm for the detection of vehicle turn signals and brake lights. IEEE Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance. Beijing, China. 2012. 386-391.
- 9 S.Nagumo H, Hasegawa NO. Extraction of forward vehicles by front-mounted camera using brightness information. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 2003, 2. 1243-1246.
- 10 Cabani I, Toulminet G, Bensrhair A. Color-based detection of vehicle lights. Proc. of Symposium on Intelligent Vehicles. 2005. 278-283.
- 11 O'Malley R, Jones E, Glavin M. Rear-lamp vehicle detection and tracking in low-exposure color video for night conditions. Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(2): 453-462.
- 12 李仪.城市环境中交通对象检测与识别研究[博士学位论文].长沙:中南大学,2013.