

## 基于显著图与傅里叶描述子的交通标志检测

余超超, 侯 进, 侯长征

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 611756)

**摘 要:** 在交通标志检测过程中, 存在标志尺寸变化、旋转失真、投影失真以及部分被遮挡等问题。为此, 提出一种基于显著图和傅里叶描述子的交通标志检测算法。采用频率调谐方法得到显著图并将其二值化, 初步定位交通标志区域。通过提取区域外层轮廓, 利用轮廓周长和长宽比特征滤除干扰信息, 对合格轮廓进行凸壳处理, 得到归一化凸壳傅里叶描述子, 并与标准数据对比得到检测结果。实验结果表明, 该算法检测率可达 95% 以上, 同时满足交通标志检测的实时性要求。

**关键词:** 交通标志检测; 显著图; 轮廓; 凸壳; 傅里叶描述子

中文引用格式: 余超超, 侯 进, 侯长征. 基于显著图与傅里叶描述子的交通标志检测[J]. 计算机工程, 2017, 43(5): 28-34.

英文引用格式: Yu Chaochao, Hou Jin, Hou Changzheng. Traffic Sign Detection Based on Saliency Map and Fourier Descriptor[J]. Computer Engineering, 2017, 43(5): 28-34.

## Traffic Sign Detection Based on Saliency Map and Fourier Descriptor

YU Chaochao, HOU Jin, HOU Changzheng

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**【Abstract】** Aiming at the problems in traffic sign detection process, such as that traffic sign shows dimensional changes, rotation distortion, projection distortion or the sign is partially occluded, in this paper, a traffic sign detection algorithm based on saliency map and Fourier Descriptor (FD) is proposed. Firstly, the Frequency Tuning (FT) method is used to get the saliency map. Secondly, binary operation is utilized on saliency map to achieve binary image and get the regions of traffic sign. By extracting outer contour of the regions, features of contour length and aspect ratio are utilized to filter interference information. Thirdly, the convex hull processing is applied for the eligible contours and FDs of convex hull are extracted and normalized. Finally, detection results are obtained according to the comparison with standard data. Experimental results demonstrate that the detection rate of the proposed algorithm is more than 95%. This algorithm meets the real-time performance requirement of traffic sign detection.

**【Key words】** traffic sign detection; saliency map; contour; convex hull; Fourier Descriptor (FD)

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.05.005

### 0 概述

近年来, 国内外掀起了一股无人驾驶汽车研究的热潮。交通标志识别作为无人驾驶系统的一个重要组成部分, 其研究也引起了学者们的广泛关注。交通标志能反映路况信息, 指引驾驶员安全驾驶。事实证明, 驾驶员由于疲劳等因素对交通标志疏忽而引起的交通事故屡见不鲜。研发出一种快速高效的交通标志识别系统, 能提醒驾驶员注意道路上的交通标志, 甚至在识别交通标志后自发地做出相应

的操作, 这对于避免交通事故的发生具有重要意义。

关于交通标志识别系统的研究最早可追溯到 1987 年<sup>[1]</sup>, 随后关于该研究, 研究者提出很多方法。目前, 通常将一个完整的交通标志识别系统分为检测和识别 2 个部分。在检测部分, 由于交通标志常被设计成特定的颜色和形状, 因此现阶段应用最多的方法是利用交通标志的颜色和形状特征对其进行检测。基于颜色的检测方法根据颜色特征对捕获的图像进行颜色分割, 去除背景干扰, 初步定位交通标志区域。到目前为止, 诸如 RGB, HSV, HSI, CIElab

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (61371165); 成都市科技惠民技术研发项目 (2015-HM01-00050-SF); 四川省动漫研究中心 2015 年度科研项目 (DM201504)。

作者简介: 余超超 (1990—), 男, 硕士, 主研方向为智能交通、计算机视觉; 侯 进 (通信作者), 副教授、博士; 侯长征, 硕士。

收稿日期: 2016-07-25 修回日期: 2016-09-12 E-mail: bruceyu\_2016@126.com

等多种颜色空间被应用于颜色分割。文献[2-3]使用RGB空间进行颜色分割。RGB为图像原始空间,直接利用RGB空间进行颜色分割能减少图像处理时间,保证检测实时性,但RGB空间各通道相关性较大,易受光照影响,在阴雨天等光线较暗的情况下颜色分割效果较差。文献[4]使用的颜色空间为HSI。文献[5]使用CIElab空间。HSI及CIElab空间更符合人眼对颜色的感知且对光照不敏感,鲁棒性较好。但将RGB转换到其他空间需要消耗一定时间,检测实时性受到了一定限制。基于形状的检测方法针对交通标志的形状特征(以圆形、矩形、三角形为主)对其进行检测。文献[6]利用霍夫变换的方法检测圆形、三角形。该方法不易受光照影响,但计算复杂度高、实时性差,并对标志被遮挡和发生形变的情况鲁棒性较差。文献[7]在颜色转换后采用形状匹配的方法,通过增加模板数量来提高鲁棒性。文献[8]采用边缘链码存储边缘点,通过设定边缘阈值,采用曲线拟合的方法检测圆形交通标志。上述方法虽能提高鲁棒性,但实时性较差。在识别部分,一般通过提取标志特征再进行分类。文献[9]通过提取加速鲁棒性特征(Speeded Up Robust Feature, SURF)并采用近似最近邻算法(Approximate Nearest Neighbor, ANN)与模板进行交通标志的匹配分类。文献[10]在提取标志特征后,采用前馈神经网络(Neural Network, NN)作为分类器识别交通标志,并通过添加各种状态下的标志图片作为训练集来提高识别率。文献[11]采用改进的支持向量机(Support Vector Machine, SVM)进行分类,在减少支持向量需求量的同时提高了识别率。

在交通标志检测和识别过程中,一个好的检测结果往往是正确识别的前提。由于室外环境的复杂性和多变性,造成交通标志的检测存在许多困难。针对现有检测算法存在的不足,并考虑对算法鲁棒性和实时性的高要求,本文结合交通标志的颜色和形状特征,提出一种基于显著图和傅里叶描述子(Fourier Descriptor, FD)的交通标志检测算法。首先对彩色图像进行显著性检测及二值化处理,初步定位交通标志,然后通过遍历连通区域提取轮廓,再对轮廓进行过滤操作和凸壳处理,最后提取凸壳傅里叶描述子并与标准数据进行比较,得到检测结果。

## 1 交通标志检测

为区分自然和人造场景,交通标志通常被设计成特定的颜色和形状,根据颜色分类交通标志有红色、蓝色、黄色等,根据形状分类有圆形、矩形、三角形、正八边形(本文当作圆形检测),通过这些先验信息可对交通标志进行精确定位。本文算法流程如图1所示。

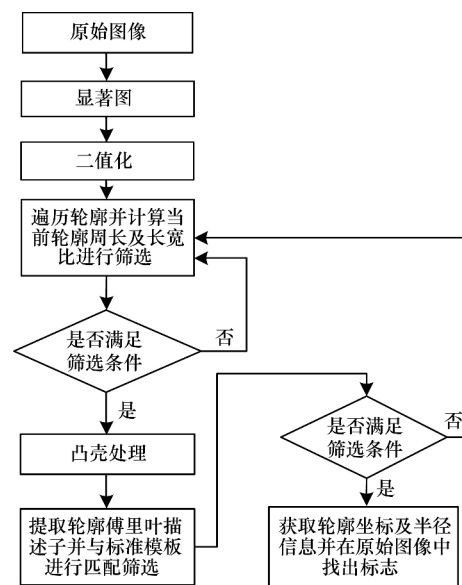


图1 本文交通标志检测算法流程

### 1.1 基于显著图的交通标志初定位

根据交通标志的颜色显著性,可通过构建显著图的方法对其进行初步定位。文献[12]提出一种经典的显著性目标检测法,该方法融合多尺度的颜色、亮度、方向特征,通过计算跨尺度的局部中央周边差得到显著图。为得到高分辨率显著图,本文采用文献[13]提出的基于频率调谐(Frequency Tuning, FT)的显著性检测方法,该方法运算速度快、抗噪声能力强,能够满足交通标志检测的实时性和鲁棒性要求,其具体实现步骤如下:

1) 将图像从RGB颜色空间转换到Lab颜色空间,并通过下式计算得到各分量像素平均值 $u_L$ ,  $u_a$ ,  $u_b$ 。

$$u_L = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W L(i, j) \quad (1)$$

$$u_a = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W a(i, j) \quad (2)$$

$$u_b = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W b(i, j) \quad (3)$$

其中 $H$ 为图像的高度; $W$ 为图像的宽度; $(i, j)$ 为像素点坐标; $L$ 为亮度特征; $a$ ,  $b$ 分别为颜色特征。

2) 对Lab空间图像进行高斯低通滤波处理,得到模糊图像的各分量像素值 $L(i, j)$ ,  $a(i, j)$ ,  $b(i, j)$ 。

3) 计算高斯滤波后像素与图像像素平均值之间的距离。

$$S_L(i, j) = (L(i, j) - u_L)^2 \quad (4)$$

$$S_a(i, j) = (a(i, j) - u_a)^2 \quad (5)$$

$$S_b(i, j) = (b(i, j) - u_b)^2 \quad (6)$$

4) 融合各分量特征,最终得到每个像素对应的显著性值,如式(7)所示。

$$S(i, j) = S_L(i, j) + S_a(i, j) + S_b(i, j) \quad (7)$$

通过式(7)可得到交通标志显著图,再进行式(8)所示的处理得到二值化图像,结果如图2所示。

$$B(x, y) = \begin{cases} 255 & S(x, y) > T \\ 0 & S(x, y) \leq T \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $T$  为阈值。通过大量测试可知,  $T = 50$  时分割效果最佳。

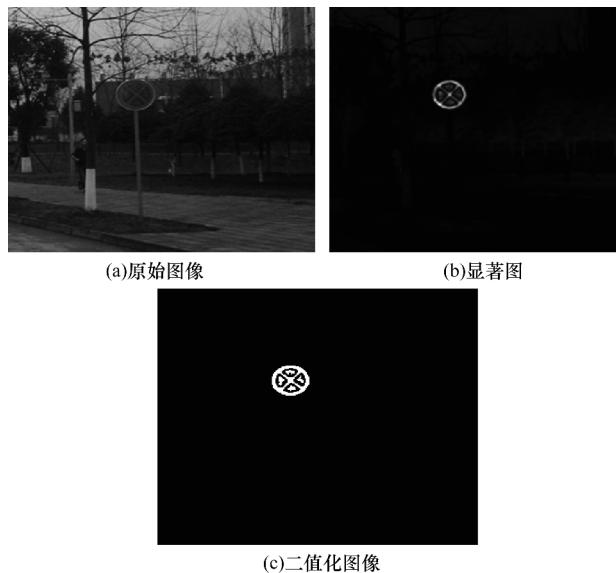


图2 交通标志初定位

利用传统的颜色空间模型对图像进行分割,容易受光照及天气条件变化影响,造成误检较多。将本文方法与文献[2]的RGB归一化阈值分割法(NRGB)、文献[8]的HSI空间分割法进行比较,结果如图3所示。可以看出,本文方法检测误差较小,其意义在于能缩小后续交通标志精确定位的搜索空间。

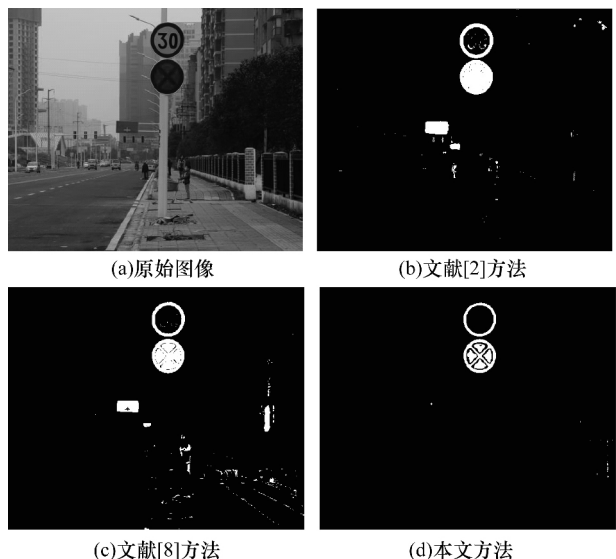


图3 分割结果对比

## 1.2 轮廓过滤

经显著性检测,可以剔除大部分背景区域,但依然存在小的干扰噪声和不规则干扰区域,本文采用形态学处理方法去除干扰。

为方便行人和司机注意,交通标志通常被设计成特定的比例大小。在交通标志检测过程中,只有当车载相机与交通标志的距离在一定范围内,其检测才有意义,因为距离太远会影响识别效果,太近则不利于实时处理,所以交通标志的轮廓大小也存在一定范围。本文采用遍历联通区域的方法,通过设定轮廓周长阈值来滤除非交通标志区域。轮廓模型如图4所示,每个轮廓对应一个边缘点序列(逆时针),假定第  $j$  个轮廓共有  $n$  个序列点,记  $P_j(i)$  为该轮廓上的第  $i$  个点,其坐标为  $(x_j(i), y_j(i))$ 。

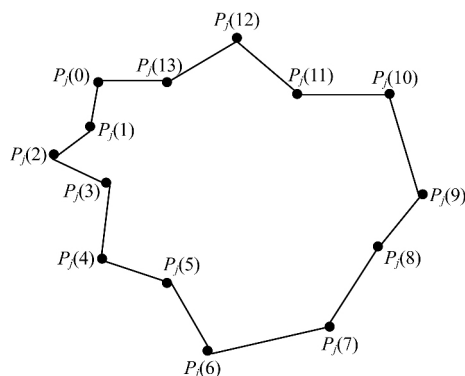


图4 轮廓模型

根据两点间距离公式,求出轮廓的周长如下:

$$L_j = D(P_j(0), P_j(1)) + D(P_j(1), P_j(2)) + \dots + D(P_j(i-1), P_j(i)) + \dots + D(P_j(n-1), P_j(n)) \quad (9)$$

通过设定阈值  $\lambda_1, \lambda_2$ , 即当  $\lambda_1 \leq L_j \leq \lambda_2$  时保留轮廓,否则滤除。本文在实验中分别令  $\lambda_1 = 120$ ,  $\lambda_2 = 350$ 。

同时考虑交通标志的比例特征,其轮廓长宽比在一定范围内,因此,可根据此信息滤除过分狭长的干扰区域。轮廓长宽示意图如图5所示。

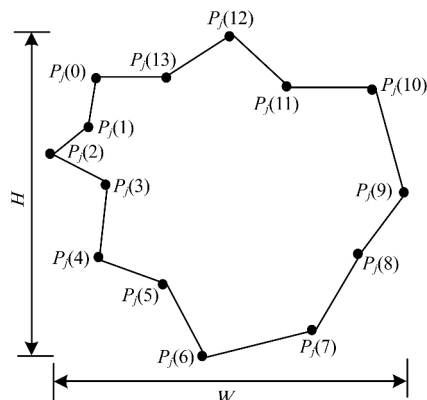


图5 轮廓长宽示意图

区域长宽比  $ratio = W/H$ , 其中  $W = \max(x_j(i)) - \min(x_j(i))$ ,  $H = \max(y_j(i)) - \min(y_j(i))$ 。

通过设定阈值  $\lambda_3$ , 使得当  $1/\lambda_3 \leq ratio \leq \lambda_3$  时保留轮廓, 否则滤除。本文设定  $\lambda_3 = 1.9$ 。如图 6 所示, 经轮廓过滤, 能滤除大部分干扰区域。

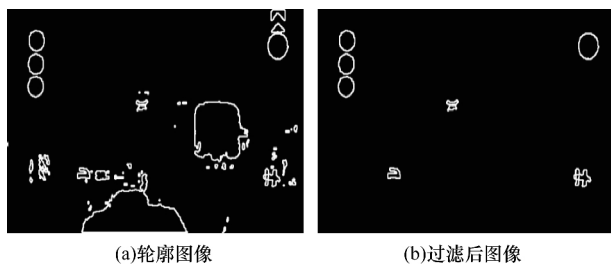


图 6 轮廓过滤效果

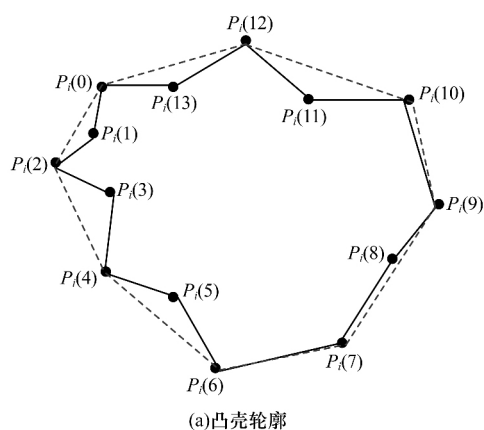
### 1.3 凸壳处理

在自然环境下, 交通标志可能会被障碍物遮挡, 造成其轮廓存在一定残缺。针对文献[14]无法检测被遮挡交通标志的不足, 本文采用凸壳处理的方法滤除高维信息, 增加轮廓稳定性, 能够较好地解决被遮挡的问题。

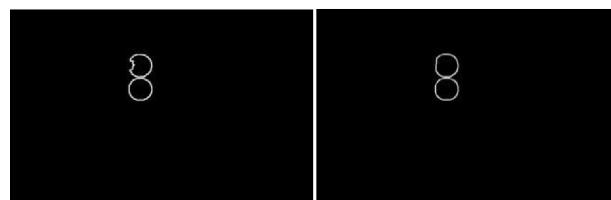
凸壳是包含目标轮廓的最小凸集, 其顶点必定在边缘上。凸壳处理实质是在轮廓边缘上找出凸壳顶点并将其相连的过程。在求取凸壳的算法中, 以 Graham 法<sup>[15]</sup>最为经典, 但该算法时间复杂度为  $O(n \lg n)$ , 效率较低。鉴于此, 本文采用文献[16]提出的第一个算法, 利用多边形顶点有序性的有利条件, 通过对多边形顶点进行 2 次检查求出凸壳顶点。第 1 次检查依据多边形顶点的有序性, 判定顶点在线段的哪一侧及角点的大小, 决定顶点是被保留还是删除。将第 1 次检测留下的点按多边形顶点顺序连接, 顶点角的大小按递增排列。对这些顶点的排列执行第 2 次检查, 用 Graham 扫描法删除非凸壳顶点, 最后得到凸壳顶点。该算法的时间复杂度为  $O(n)$ , 可加快凸壳处理速度。部分被遮挡交通标志如图 7 所示。轮廓凸壳处理效果如图 8(a) 所示, 其中实线为实际轮廓, 虚线为凸壳轮廓。处理前后图像如图 8(b) 和图 8(c) 所示, 可以发现, 经凸壳处理后的轮廓变得更接近标准的圆形。



图 7 部分被遮挡的交通标志



(a) 凸壳轮廓



(b) 凸壳处理前图像

(c) 凸壳处理后图像

图 8 凸壳处理效果

### 1.4 基于傅里叶描述子的轮廓检测

周长、长宽比可以作为轮廓筛选的简单特征, 但显然这些特征表述还不够充分。根据交通标志特有的形状信息, 本文通过提取凸壳傅里叶描述子作为重要特征对轮廓做进一步分类。

#### 1.4.1 傅里叶描述子提取

傅里叶描述子是物体边界曲线的傅里叶变换系数, 由于其具有旋转、平移、尺寸不变性, 因此被广泛应用于物体形状识别<sup>[17]</sup>。利用传统的离散傅里叶变换提取轮廓傅里叶描述子, 为保证形状精度, 采样点数  $N$  一般很大, 因此, 增加了傅里叶变换的运算量。为提高运算速度, 必须减少  $N$  的数量。本文借鉴文献[17]的思想, 采用边界曲线多边形近似方法对近似的各条直线段进行连续傅里叶变换代替传统的离散傅里叶变换, 大幅减少了采样点数。记  $P(l)$  为多边形上的动点, 其坐标为  $(x(l), y(l))$ 。假定将  $x-y$  平面看成复平面且  $p(l) = x(l) + jy(l)$ , 则可进行式(10)所示的变换, 得到傅里叶描述子。

$$f(k) = \frac{1}{L} \int_0^L p(l) e^{-j \frac{2\pi k l}{L}} dl \quad k=0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$

其中  $L$  为多边形周长。傅里叶描述子与形状的大小、方向和曲线的起始位置有关。为得到具有尺寸、旋转、平移不变性的傅里叶描述子, 需对其归一化。传统的归一化傅里叶描述子为  $f(k)$  与  $f(1)$  模的比值, 其计算简单且能保持旋转、平移、尺寸不变性, 但将模作为轮廓特征丢失了相位信息, 不利于准确检测。因此, 本文采用新的归一化傅里叶描述子<sup>[17]</sup>, 如式(11)所示。

$$d(k) = \frac{f(k)}{e^{j\frac{2\pi}{L}(k-l)} f(1)} \quad k=1, 2, \dots, N-1 \quad (11)$$

其中  $\mu$  为边界起始点平移弧长。新定义的归一化傅里叶描述子包含相位信息,可以避免由于相位信息缺失而引起的形状混淆,提高检测精度。

#### 1.4.2 标准数据库建立

在比较待测轮廓与标准轮廓之前,建立交通标志轮廓傅里叶描述子数据库,包括标准的圆形、矩形、三角形,以及常见室外环境发生投影失真的标志轮廓数据,这样能有效减少由于投影失真造成的检测失误。标准数据轮廓如图 9 所示。

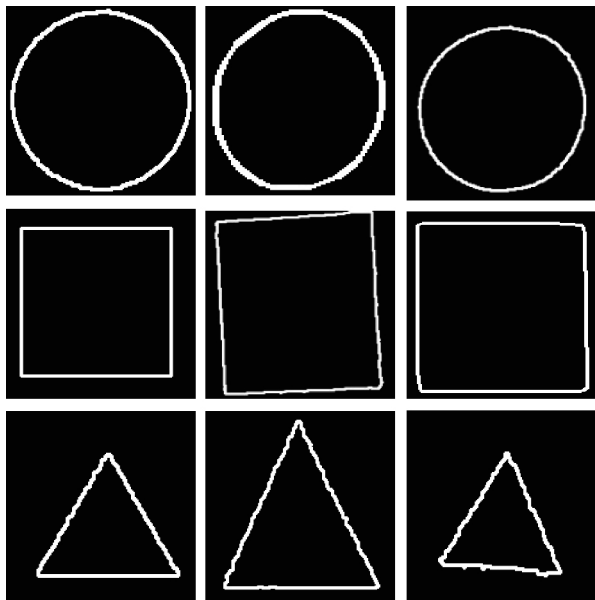


图 9 标准数据轮廓

#### 1.4.3 欧式距离计算

为对轮廓进行分类,需设计一个量度。本文采用欧式距离计算待测轮廓与标准轮廓间的差异。由于边缘描述形状的能量大多集中在低频部分,傅里叶变换的高频部分一般很小且易受高频噪声干扰,因此,一般用低频分量计算形状间的差异。本文取  $k$  的最大值为 20,则距离计算公式为:

$$D_{i,s} = \sqrt{\sum_{k=2}^{20} \|d_{\text{test}}(k) - d_{i,s}(k)\|^2} \quad (12)$$

$$D_{\min} = \min(D_{i,s}) \quad (13)$$

其中  $d_{\text{test}}(k)$  为待测轮廓傅里叶描述子;  $d_{i,s}(k)$  为标准轮廓傅里叶描述子;  $D_{\min}$  为  $D_{i,s}$  的最小值,  $D_{\min}$  越小,表明轮廓越相似。通过设定阈值  $\lambda_4$ , 即当  $D_{\min} < \lambda_4$  时判定轮廓为标志轮廓,并返回原图像找出其位置,否则滤除。本文采用  $\lambda_4 = 0.12$ 。

## 2 实验结果与分析

实验环境为一台华硕笔记本电脑,主频 2.53 GHz,

内存 4 GB。在 Windows 8 环境下利用 VS2013 和 OpenCV 函数库对图像进行处理。实验过程中,分别采用拍摄于国内的交通标志图片和德国交通标志检测基准库(GTSDB)<sup>[18]</sup>进行实验,实验前图像均归一化为  $640 \times 480$  大小。

### 2.1 国内交通标志实验

为验证算法的有效性,采集了 2 100 张国内各种复杂条件下(包括阴雨天、大雾以及交通标志被遮挡等情况)的交通标志图片,共 3 406 个标志用于计算检测率,这些标志中包括圆形、矩形、三角形交通标志,其检测数据如表 1 所示。

表 1 国内标志检测实验数据

形状	标志数	正确检测数	漏检测数	检测率/%
圆形	1 478	1 409	69	95.33
矩形	1 102	1 037	65	94.10
三角形	826	799	27	96.73

通过参考其他方法与文献的实验数据,本文从检测率和检测时间 2 个方面与一些经典方法进行对比实验。对比方法包括基于颜色与形状的检测方法<sup>[14]</sup>、霍夫变换法<sup>[6]</sup>、AdaBoost + Haar<sup>[9]</sup>、HOG + LDA<sup>[18]</sup>、Model-based<sup>[19]</sup>、Viola-Jones<sup>[20]</sup>, 所得实验数据如表 2 所示,其中“-”表示文献并未具体说明检测时间。可以看出,本文检测率均高于其他方法,且实时性优于颜色+形状检测方法和霍夫变换法。AdaBoost + Haar 和 Viola-Jones 检测率与本文算法接近且实时性优于本文算法,但该方法分类器训练代价较大,不易实现,并且无法检测未被训练的交通标志,存在局限性,而本文算法能够检测任意交通标志。因此综合考虑,本文算法相对现有方法有一定优势。

表 2 交通标志检测方法对比

检测方法	检测率/%	平均检测时间/s
颜色+形状	84.75	3.000
霍夫变换	90.00	0.400
AdaBoost + Haar	94.30	0.050
HOG + LDA	83.73	-
Model-based	82.50	0.050
Viola-Jones	93.00	0.167
本文算法	95.38	0.362

部分实验检测结果如图 10 所示,其中图 10(a)为复杂背景下交通标志;图 10(b)为发生旋转失真标志;图 10(c)为发生投影失真标志;图 10(d)为部分被遮挡标志。检测到的交通标志在原图中用方框标出。



图 10 国内交通标志检测结果

## 2.2 GTSDb 标志实验

为进一步验证算法的有效性,使用 GTSDb 数据集进行测试。本文选取 GTSDb 数据库中的 300 张交通标志图片共 476 个标志,计算检测率和时间。检测实验数据如表 3 所示,从中可知整体检测率为 92.3%。通过统计计算,平均检测时间为 0.376 s。部分检测结果如图 11 所示,其中,图 11(a) 为晴天环境下标志;图 11(b) 为阴天环境下标志;图 11(c) 为雾天环境下标志;图 11(d) 为部分被遮挡标志。

表 3 GTSDb 标志检测实验数据

形状	标志数	正确检测数	漏检测数	检测率/%
圆形	284	263	21	92.60
矩形	85	78	7	91.79
三角形	107	99	8	92.52

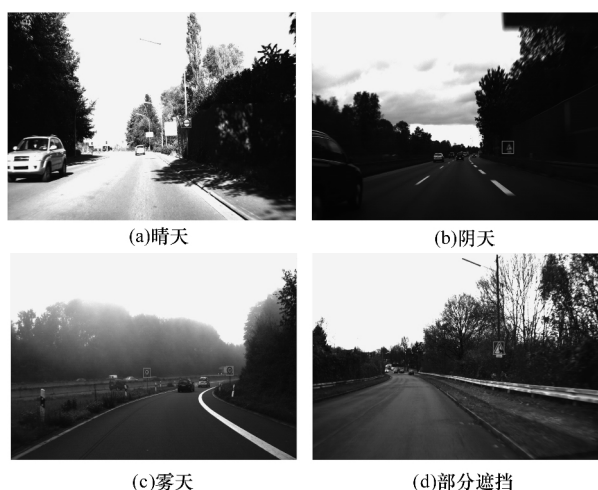


图 11 GTSDb 交通标志检测结果

## 2.3 结果分析

实验数据表明,使用 GTSDb 数据库所得检测率要略低于国内数据所得检测率,所需检测时间也更

多,这与 GTSDb 标志整体所处环境更复杂是一致的。大量测试结果表明,利用本文算法对旋转失真、投影失真、尺寸变化等情况及各种天气环境鲁棒性较好,并能检测部分被遮挡的标志,检测率高且实时性较好。然而,在实验过程中也发现部分漏检和误检,分析其原因在于部分标志重叠在一起及存在与交通标志颜色和形状都高度相似的干扰物体。

## 3 结束语

本文提出一种基于显著图和傅里叶描述子的交通标志检测算法,结合交通标志的颜色和形状特征对其精确定位。本文算法的主要特点在于:采用显著图分割,避免了传统分割方法误差较大的缺点;通过凸壳处理解决了标志被遮挡的问题;利用提取傅里叶描述子的轮廓分析法解决了标志发生旋转、平移、尺寸变化等问题。通过与现有方法比较证明了本文方法的优越性。但本文算法在凸壳处理后会使得非交通标志轮廓变得平滑,容易将其检测为标志轮廓,使误检率增高。此外,其对重叠在一起的标志也无法准确检测。因此,下一步将针对以上不足对算法进行改进。

## 参考文献

- [1] 邓雄伟. 自然环境下道路交通标志的检测与识别研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [2] Zhang Min, Liang Huawei, Wang Zhiling, et al. Real-time Traffic Sign Detection and Recognition for Intelligent Vehicle[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014: 1125-1131.
- [3] Cai Zixing, Gu Mingqin. Traffic Sign Recognition Algorithm Based on Shape Signature and Dual-tree Complex Wavelet Transform[J]. Journal of Central South University, 2013, 20(2): 433-439.
- [4] Saponara S. Real-time Color/Shape-based Traffic Signs Acquisition and Recognition System[J]. Proceedings of the SPIE, 2013, 8656: 759-767.
- [5] Lopez L D, Fuentes O. Color-based Road Sign Detection and Tracking[C]//Proceedings of International Conference on Image Analysis and Recognition. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2007: 1138-1147.
- [6] Houben S. A Single Target Voting Scheme for Traffic Sign Detection[C]//Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2011: 124-129.
- [7] Liang Ming, Yuan Mingyi, Hu Xiaolin, et al. Traffic Sign Detection by ROI Extraction and Histogram Features-based Recognition[C]//Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2013: 1-8.
- [8] 张静, 何明一, 戴玉超, 等. 多特征融合的圆形交通标志检测[J]. 模式识别与人工智能, 2011, 24(2): 226-232.

- [9] Chen Long ,Li Qingquan ,Li Ming ,et al. Traffic Sign Detection and Recognition for Intelligent Vehicle [C]// Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Washington D. C. ,USA: IEEE Press 2011: 908-913.
- [10] Moura T ,Valente A ,Sousa A ,et al. Traffic Sign Recognition for Autonomous Driving Robot [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Autonomous Robot System and Competitions. Washington D. C. , USA: IEEE Press 2014: 303-308.
- [11] Maldonado B S ,Acevedo R J ,Lafuente A S ,et al. An Optimization on Pictogram Identification for the Road-sign Recognition Task Using SVMs [J]. Computer Vision and Image Understanding 2010 ,114( 3) : 373-383.
- [12] Itti L ,Koch C ,Niebur E. Model of Saliency-based Visual Attention for Rapid Scene Analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence ,1998 ,20( 11) : 1254-1259.
- [13] Achanta R ,Hemami S ,Estrada F ,et al. Frequency-tuned Salient Region Detection [C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Washington D. C. , USA: IEEE Press 2009: 1597-1604.
- [14] 张志佳 ,李文强 ,张 丹 ,等. 基于颜色与形状特征的交通标志检测方法 [J]. 计算机技术与发展 ,2015 , 25( 7) : 174-178.
- [15] Graham R L. An Efficient Algorithm for Determining the Convex Hull of a Finite Planar Set [J]. Information Processing Letters 1972 ,1( 4) : 132-133.
- [16] 周培德 ,付梦印. 寻求简单多边形凸壳的线性时间算法 [J]. 计算机工程与科学 2002 24( 3) : 1-2 ,44.
- [17] 王 涛 ,刘文印 ,孙家广 ,等. 傅里叶描述子识别物体的形状 [J]. 计算机研究与发展 2002 39( 12) : 1714-1719.
- [18] Houben S ,Stallkamp J ,Salmen J ,et al. Detection of Traffic Signs in Real-world Images: The German Traffic Sign Detection Benchmark [C]//Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks. Washington D. C. ,USA: IEEE Press 2013: 1-8.
- [19] Belaroussi R ,Tarel J P. Angle Vertex and Bisector Geometric Model for Triangular Road Sign Detection [C]// Proceedings of 2009 Workshop on Applications of Computer Vision. Washington D. C. ,USA: IEEE Press , 2009: 577-583.
- [20] Brkić K ,Pinz A ,Šegvić S. Traffic Sign Detection as a Component of an Automated Traffic Infrastructure Inventory System [C]//Proceedings of Annual Workshop of the Austrian Association for Pattern Recognition. Stainz ,Austria [s. n. ] 2009: 1-12.

编辑 金胡考

( 上接第 27 页)

## 参考文献

- [1] 李 明. VANET 中基于 802. 11p 的信道分配机制研究 [D]. 长春: 吉林大学 2015.
- [2] IEEE. IEEE 802. 11: Wireless LAN Medium Access Control ( MAC) and Physical Layer ( PHY) Specifications: Medium Access Control ( MAC) Enhancements for Quality of Service ( QoS) [Z]. 2010.
- [3] Deng D J ,Ke C H ,Chen H H ,et al. Contention Window Optimization for IEEE 802. 11 DCF Access Control [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication ,2008 , 7( 12) : 5129-5135.
- [4] 李骁驰. 基于 4G-LTE 与 WAVE 的车联网无线通信平台构建与性能测试 [D]. 西安: 长安大学 2015.
- [5] 刘 业 ,吴国新. 基于 802. 11p/WAVE 的车联网连通性模型及其应用研究 [J]. 通信学报 ,2013 ,34( 6) : 85-91.
- [6] 步俊凌. 车联网 WAVE 标准的原型及仿真研究 [D]. 大连: 大连理工大学 2014.
- [7] 简 鑫. 机器类通信的队列模型与过载控制研究 [D]. 重庆: 重庆大学 2014.
- [8] 黄廷辉 ,伊 凯 ,崔更申 ,等. 基于非均匀分簇的无线传感器网络分层路由协议 [J]. 计算机应用 ,2016 , 36( 1) : 66-71.
- [9] 罗 霞 ,刘 澜. 交通管理与控制 [M]. 北京: 人民交通出版社 2008: 173-181.
- [10] 马万经 ,杨晓光. 基于车道的单点交叉口公交被动优先控制模型 [J]. 中国公路学报 2010 23( 5) : 96-101.
- [11] 蒋阳升 ,胡 路 ,蒲 云. 随机到达车辆信号交叉路口的 Markov 链排队模型 [J]. 西南交通大学学报 ,2010 , 45( 4) : 621-626.
- [12] 马万经 ,聂 磊 ,杨晓光. 单点定时信号最优控制模型及仿真分析 [J]. 系统仿真学报 ,2007 ,19( 19) : 4543-4547.
- [13] 马佳荣 ,赵祥模 ,马峻岩 ,等. 基于 VANET 的高速公路事故消息快速广播机制 [J]. 计算机工程 ,2015 , 41( 11) : 8-12.
- [14] 杨 森. 大规模无线传感器网络性能分析 [D]. 上海: 上海交通大学 2013.
- [15] Filali F. LTE and IEEE 802. 11p for Vehicular Networking: A Performance Evaluation [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking , 2014( 1) : 89.

编辑 陆燕菲