

基于直线包络的交通标志快速定位方法^①

丁伟利^{②*} 申亚辉^{*} 王文锋^{**}

(^{*} 燕山大学电气工程学院 秦皇岛市 066004)

(^{**} 燕山大学车辆与能源学院 秦皇岛市 066004)

摘 要 为了提高快速定位交通标志的准确性,通过对场景中复杂的直线信息以及颜色信息的融合,提出了一种基于直线包络的快速定位交通标志的方法。该方法首先利用颜色信息以及统计直线信息获取目标候选区域,将交通标志进行粗定位,然后利用形态学运算获取连通区域,再利用交通标志的纵横比和内部孔洞信息将交通标志从目标候选区域中准确定位出来。实验表明该方法可以提高交通标志在夜晚等复杂背景中定位的准确性。

关键词 机器视觉, 连通区域, 城市道路, 直线包络, 单幅图像, 交通标志

0 引 言

随着经济快速发展,汽车数量持续增加,现有的通行能力已无法满足人们日益增长的交通需求,城市交通拥挤和堵塞现象日趋严重,交通事故、交通污染等问题所造成的损失已经成为世界各国所面临和必须解决的重大问题。智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)被认为是解决上述交通问题的最有效途径^[1]。进入 21 世纪以来,智能交通系统作为一个集成的系统^[2]得到了快速发展和推广,成为未来交通系统的发展方向^[3]。交通标志识别是智能交通系统中非常重要的环节^[4-6],而交通标志的定位是交通标志识别的前提,如何快速准确地定位交通标志显得至关重要。本文提出了一种基于提取直线包络的方法,用以提高快速定位交通标志的准确性。

1 相关工作

与道路交通安全相关的交通标志,主要有禁令、

警告和指示标志三大类,都包含特殊的颜色和形状等信息,快速准确的交通标志检测是实现交通标志成功判别的前提和保证。然而,光照因素对颜色信息存在较大影响,天气、阴影及复杂的背景给检测带来困难。

交通标志的定位主要依据是交通标志的先验信息,先验信息主要是指形状信息和颜色信息。基于颜色信息的图像分割是交通标志识别(traffic sign recognition, TSR)系统最常用的方法之一。文献[7]利用红色像素值分割图像。考虑到干扰因素,对图像红色像素值进行了如下变换:令 $R_0 = \max(0, (R_i - G_i) + (R_i + B_i))$, $G_0 = 0$, $B_0 = 0$ 。用 LOG 算子对分割图像进行边缘检测,并判断候选区域面积大小、高宽比和边角信息等是否满足标志特征,去掉不满足的干扰信息,实现预处理,不过文献中边角检测未能考虑到圆形标志。文献[8]在红绿蓝(RGB)空间通过一个阈值滤除部分干扰信息,并利用形状、边角信息等特征,检测交通标志。文献[9]介绍了一种基于颜色的指示性标志检测与提取的快速方法,包括对实景图进行色调不变的颜色增强、颜色聚类、形态滤波等步骤,最后由搜索到的特征点从增强后的

① 河北省自然科学基金(F2016203211)和燕山青年教师自主研究计划(15LGA014)资助项目。
② 女,1979 年生,博士,教授;研究方向:计算机视觉,虚拟现实;联系人,E-mail: weiye51@ysu.edu.cn
(收稿日期:2016-12-26)

彩色图像中抽取标志。文献[10]中直接在 RGB 空间选择一个阈值对红色区域进行分割,判断像素点是否满足判断条件 $R(x, y)/(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)) > TR$, 保留满足条件的像素区域,这些保留区域即可认定为红色区域。其中 $R(x, y)$ 、 $G(x, y)$ 、 $B(x, y)$ 、 TR 分别为像素点的 R 、 G 、 B 灰度分量和选定的分割阈值。

文献[11]提出了一种用于交通标志检测的颜色-几何模型,对图像的预处理方法主要是利用了色调、饱和度、亮度(HSI)模型的 H 分量来进行颜色提取,将实际图像转换为包含多个候选区域的图像,再判断候选区域面积大小、高宽比等是否满足条件,将不满足条件的区域滤除。

以上提到的交通标志定位方法,无论是基于 RGB 空间还是基于变换空间如 HSI,在颜色提取时都引入了大量噪声信息。例如,文献[11]提取红色标志时,把一部分白色、黄色等伪区域都当作了候选区域保留下来。针对大部分场景图,图像去噪过程可以把这些无用信息滤除。但如果图像背景为白色或者背景包含红色分量时,去噪效果并不理想。

针对上述问题,本文研究提出了一种新的解决方案,即融入直线包络信息的处理方法,该算法无需已知相机内参,仅通过提取单幅图像中的直线包络以及颜色阈值分割即可提取交通标志所在区域的候选目标,再通过形态学运算得到孤立的候选目标连通区域,然后标记连通区域,最后基于候选目标连通区域的孔洞面积阈值实现交通标志的准确定位。

2 颜色阈值的分割提取

颜色是交通标志最直观且最具有区分力的特征,用于将图像中与交通标志颜色相似的点提取出来,通常提取红色、蓝色、黄色等特点最鲜明的颜色。例如以红色作为特征,则将整幅图像中所有的点分为红色和非红色两类,并生成一幅二值图像;区域生长将前级得到的二值图像连接成若干连通区域,作为初步的感兴趣区域(region of interest, ROI);区域筛选将前级得到连通区域的特征进行筛选,得到最终的 ROI,从而降低误检率,减小后级分类模块的负

担。

图1给出了连通区域标记结果。以图1(a)为例,通过对图像进行蓝颜色感兴趣区域提取,得到图1(b)所示的候选区域并且通过形态学开运算和闭运算获得不黏连的独立区域。

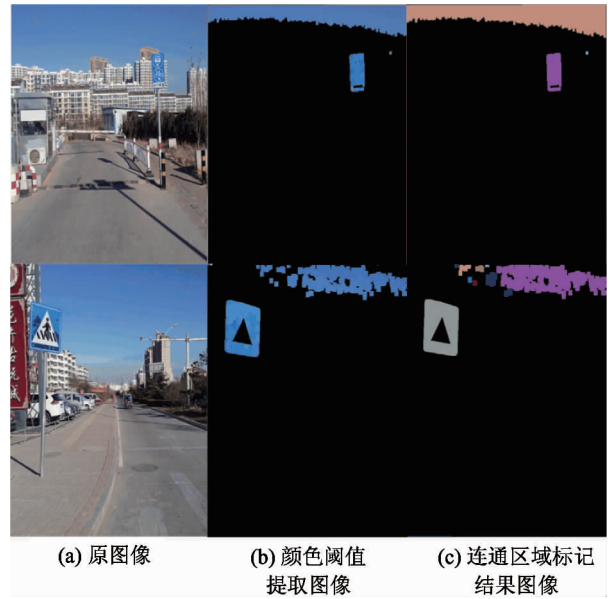


图1 连通区域标记结果

基本的形态运算是腐蚀和膨胀。设 $f(x, y)$ 为输入图像, $B(x, y)$ 为结构元素, $g(x, y)$ 是输出图像,其中 (x, y) 为图像平面空间的坐标点, f 为 (x, y) 点的灰度值, B 为 (x, y) 点的结构函数值, D_b 是 B 的定义域。在形态学中,结构元素是最重要最基本的概念。结构元素在形态变换中的作用相当于信号处理中的“滤波窗口”。灰度图像的腐蚀运算的数学定义为

$$g(x, y) = \min \{ f(x + x', y + y') - B(x', y') \mid (x', y') \in D_b \} \quad (1)$$

由式(1)可知腐蚀运算是由结构元素确定的邻域块中,选取图像值与结构元素值差的最小值。灰度图像的膨胀运算的数学定义为

$$g(x, y) = \max \{ f(x - x', y - y') + B(x', y') \mid (x', y') \in D_b \} \quad (2)$$

由式(2)可知膨胀运算是由结构元素确定的邻域块中,选取图像值与结构元素值和的最大值。在灰度形态学中,一般选择平坦的结构元素。所谓

“平坦”,就是指结构元素的高度为零。然后利用连通区域的标记获得一系列编码的连通区域,如图 1(c)所示。由图 1 可知,经过上述的有效处理,图像中可以减少大量冗余信息,能够更有效地得到图像中的重要信息。

3 交通标志定位

图 2 为交通标志定位过程。以图 2(a)为例,道路图像 2(b)标记连通区域标记后,交通标志定位过程主要分为 4 步:(1)在原图提取直线并且描绘出提取直线的包络,如图 2(c)所示;(2)利用包络线对城市场景进行分割,并得到包含大量直线信息的交通标志所在的城市道路区域;(3)遴选出此区域内所包含的候选目标连通区域;(4)利用连通区域内部的孔洞面积阈值,定位最终的道路两旁的交通标志,如图 2(d)所示。其中矩形内的感兴趣区域即为所定位的交通标志位置。

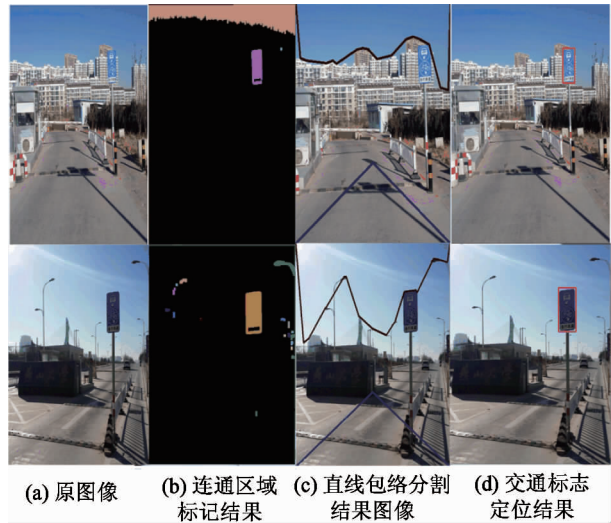


图 2 道路区域的交通标志

3.1 直线提取

局部直线识别算法^[12]即原图像经边缘检测后,9×9 窗口内典型的像素分布情况有 8 种。如图 3 所示,中心点表示当前像素,黑色点表示 9×9 窗口内的其他边缘像素。

由图 3 可知,如果 9×9 窗口内过中心的连续线条为直线,则需满足如下条件:

- (1)长度大于 9;
- (2)包含两个以上端点;
- (3)至少有一条可通过当前像素的边缘,且该边缘两端点之间满足直线最短原则:即端点间的直线距离 dis 近似等于边缘长度 L ,或直线度因子 $s = dis/L \geq T$, T 为阈值。

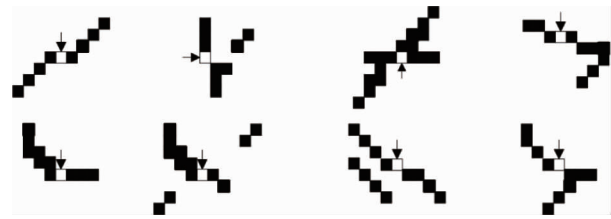


图 3 9×9 窗口内典型像素分布情况

上述 3 个条件中,第 1 条保证了直线具有一定的长度,可以过滤较短线段;第 2 条排除了封闭曲线的影响;第 3 条保证了窗口区域内直线的存在,可以准确剔除曲率较大的角点。因此,如果窗口区域内的边缘点满足上述 3 个条件,则中心像素点属于某直线的可能性最大,通过该像素且满足直线最短原则的边缘也最可能属于某直线。反之,当前像素点则一定不属于某直线,或仅属于某直线的边界(这种情况并不影响对于直线的判断)。

3.2 直线包络的城市场景分割

通常情况下,城市道路场景图像中的道路和天空不包含或仅包含较少的直线,而道路两旁的建筑物、树木、路灯则包含较多的直线。根据这一观察,本文根据直线的分布区域将图像分为道路、天空和直线区域三个部分。考虑到提取的直线束 V_u ,提取直线区域的问题可以转化为求直线束所组成点集的最小包围盒(或最小包络)问题,即对二维平面上的点集,求一个包含所有点的最小外接多边形。本文按如下方法求直线束的最小外围包络:

首先,将 V_u 中的直线根据图像的长度 N 平均划分长度为 T_d 的若干等份;然后对于等分后每一个大小为 $M \times T_d$ 的矩形窗,依此判断其是否存在直线,若存在,则选取该窗口中所有直线的最高点和最低点,记为最大值点 $P_i^{\max}(x_{i1}, y_{i1})$, $(0 < i \leq N/T_d)$ 和最小值点 $P_i^{\min}(x_{i2}, y_{i2})$, $(0 < i \leq N/T_d)$;最后选取每个窗口的极值点作为包络线的顶点,即定义直线

V_u 的包络线顶点为:

$$Q = \{(1, y_{11}), p_1^{\max}, \dots, p_{N/T_d}^{\max}, (M, y_{T_d1}), \\ (M, y_{T_d2}), p_{N/T_d}^{\min}, \dots, p_1^{\min}, (1, y_{12})\} \quad (3)$$

基于以上定义的直线区域包络,整个图像将被粗略分割为3个区域:道路区域 G 、直线区域 V 和天空区域 S 。由于道路交通标志主要集中在直线区域,因此,找到图像宽的二分之一,高的三分之二处的点称为重心点,重心点连接左下角和右下角,这样通过包络线分割可以将直线区域提取出来,并更准确的获得直线区域中的连通区域。与现有图像分割算法相比,本文算法对道路图像的分割结果具有更加明显的意义。

如图4所示,几种典型的道路场景图像,如道路两旁为树木、栅栏、建筑物,以及包含车辆、行人、交通标志等复杂情况的包络线提取结果。由图4可以看出,本文算法可以准确估计物体所在区域,且图像中包含的物体结构越多,如建筑物越多或树木越多时,包络线提取的直线区域越准确。



图4 基于包络线的城市道路场景分割结果

4 连通区域的标记

利用颜色阈值提取感兴趣区域后,会得到一系列的候选连通区域,需要对这些连通区域进行标记。本文采用的是种子填充方法^[13]。种子填充方法来源于计算机图形学,常用于对某个图形进行填充。

整体思路:选取一个前景像素点作为种子,然后根据连通区域的两个基本条件(像素值相同、位置相邻)将与种子相邻的前景像素合并到同一个像素

集中,最后得到的该像素集则为一个连通区域。

基于种子填充法的连通区域算法步骤:

(1) 扫描图像,直到当前像素点 $B(x, y) = 1$:

(a) 将 $B(x, y)$ 作为种子(像素位置),并赋予其一个标签,然后将该种子相邻的所有前景像素都压入栈中;

(b) 弹出栈顶像素,赋予其相同的标签,然后再将与该栈顶像素相邻的所有前景像素都压入栈中;

(c) 重复(b)步骤,直到栈为空,此时便找到了图像中的一个连通区域,该区域内的像素值被标记。

(2) 重复第(1)步,直到扫描结束。

扫描结束后,可以得到图像中所有已经标记的候选连通区域。

4.1 连通区域的定位

在分割好的道路区域中对交通标志进行粗定位,通过逐个统计连通区域的轮廓点总数为 N ,道路直线包络区域内,目标连通区域轮廓点的数量为 n ,计算 $p = n/N$ 这样通过阈值 p 即可判断,该连通区域是否可做下一步的候选目标区域。

4.2 连通区域的孔洞检测

在得到直线区域内的一系列目标连通区域后需要进一步筛选,根据交通标志的常识可知,交通标志绝对不是单一的一种颜色,所以用单一颜色提取的交通标志必然会出现孔洞,那么接下来采用检测二值化连通区域的孔洞内轮廓,通过内轮廓面积 S 阈值来判断其是否符合交通标志内部纹理。这样就完成了城市道路区域交通标志的精确定位。

本文算法的流程如图5所示。

5 实验结果与分析

为了检验提出算法的性能,本文对大量来自网络公布的、多篇论文中使用过的以及自己拍摄的城市道路图像进行分析,选取了多幅典型的城市道路图像作为样本进行实验,将本文算法分别与文献[7]的检测算法 LSE、文献[8]的检测算法 CSE、文献[11]的检测算法 CGM、文献[14]的 CAB 算法(颜色-面积阈值-边界不变矩检测算法),进行了对比。

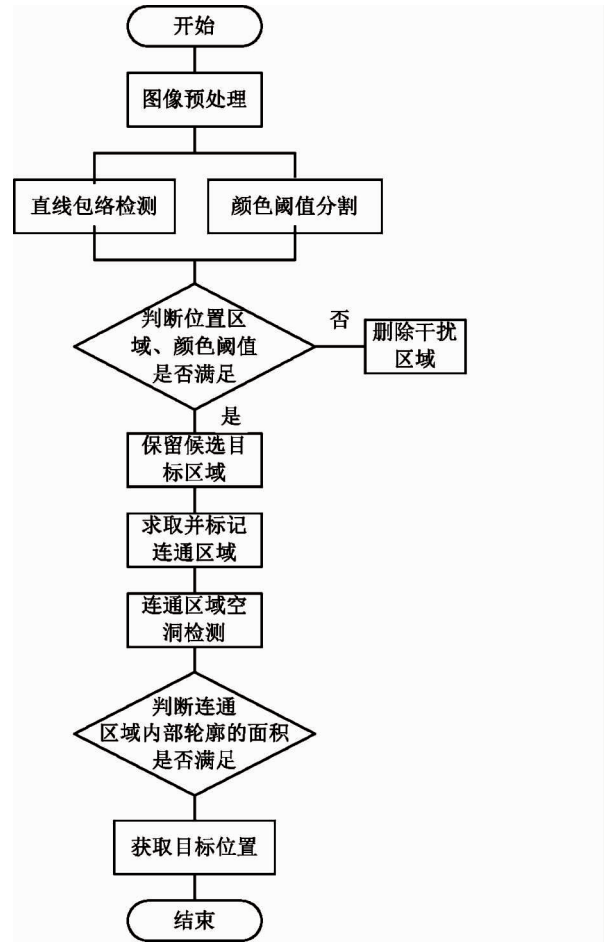


图 5 基于直线包络的城市道路交通标志定位流程图

图 6 是具有代表性的城市道路图像利用本文算法和 LSE 算法、CSE 算法、CGM 算法、CAB 算法运行出的结果图。图 6(a)是具有代表性的城市道路图像,图 6(b)~图 6(f)分别是利用 LSE 算法、CSE 算法、CGM 算法、CAB 算法和本文算法运行出的结果图。其中白色虚线矩形框所在位置分别为 LSE 算法、CSE 算法、CGM 算法、CAB 算法和本文算法定位的交通标志。其中 LSE、CGM 和 CAB 算法均将场景中的类似结构(交通标志右下角方框)误判为交通标志。

图 6 包含了建筑物较多且道路上有车辆干扰的复杂城市道路图像,可以看出城市道路图像中建筑物多少以及图像车辆等的干扰对本文算法影响很小,图 6 中只有本文算法和 CSE 算法检测到了正确的交通标志,但是 CSE 算法对于形状因素依赖比较大,所以不同角度获取交通标志图像对检测结果有很大的影响。需要指出的是本文算法需要图像中直

线区域包含物体,但对物体类别没有限制。本文算法首先统计道路区域的直线,获得道路区域的分割图像,通过颜色提取出候选区域,再运用形态学运算使其成为独立的连通区域,并且对这些连通区域进行标记,然后判断在道路区域中连通区域的孔洞面积,最后利用孔洞面积阈值来准确定位交通标志。

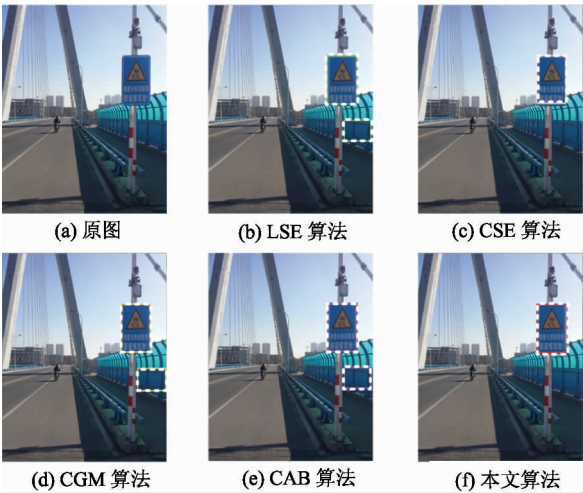


图 6 不同算法定位交通标志结果

6 性能评价指标

为了评价本文算法的性能,引入了一些评价指标^[15]:检测率(detection rate)和误检率(false detection rate)。假设采集到的交通标志的总数为 N ,检测到的交通标志候选区域为 N_d ,其中正确检测的数目为 N_{cd} ,错误检测的数目为 N_{fd} 。

检测率 DR:被正确检测到的交通标志的数目与交通标志的总数的比值。它反映了算法对交通标志区域的检测能力,检测率越高,说明算法对交通标志的接受能力越强。计算公式为

$$DR = N_{cd}/N \tag{4}$$

误检率 FD:被错误检测为交通标志数目与检测到交通标志总数的比值。它反映了算法对非交通标志即负样本的排除能力,误检率越小,说明检测算法对非交通标志的排除能力越强,算法的性能越好。计算公式为

$$FD = N_{fd}/N_d \tag{5}$$

图 7 给出了不同光照情况下交通标志定位的结果图。在该测试阶段本文主要针对光照对图像的影响

响进行测试,本文中进行测试的光照情况主要有晴天、阴天、晚上等情况。从图 7 可以看出,本文算法分别对阴天、晴天背光,晴天向光,晚上强光,晚上弱光情况下都有比较好的适应能力,能够定位出不同光照情况下的交通标志。但当亮度很低或很高时容易导致图像边缘信息丢失,致使交通标志无法定位。



图 7 本文算法定位交通标志的结果

图 8 和图 9 分别列出了三种形状的交通标志总计 200 张图片应用上述 CGM 算法、CAB 算法、CSE 算法、LSE 算法与本文算法在不同光照情况下定位

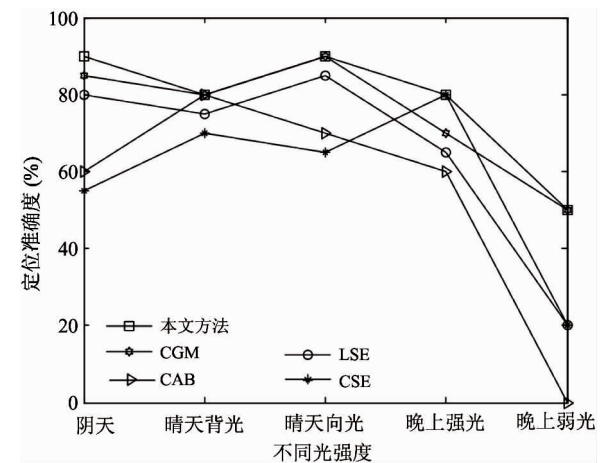


图 8 多种光照条件下不同算法的定位准确度

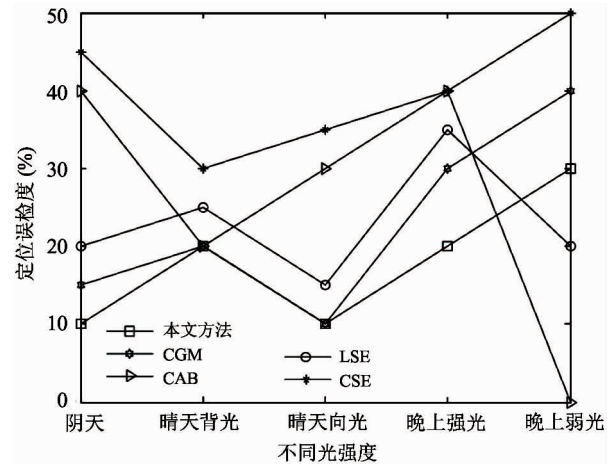


图 9 多种光照条件下不同算法的定位误差度

效果的对比,其中,阴天时交通标志的数目为 40,晴天背光数目为 60,晴天向光数目为 60,晚上强光数目为 20,晚上弱光数目为 20。

图 7、图 8 和图 9 表明,利用本文方法能够自动地、较为准确地定位出城市道路场景中的交通标志。

7 结 论

城市道路场景的交通标志定位对于交通场景理解、道路识别^[16]、无人驾驶技术^[17]、智能交通系统等具有重要意义。本文通过基于边缘方向编码策略,从单幅城市道路图像中提取图像的所有直线,然后根据直线区域的极值点提取直线包络,对图像进行区域分割,从而获得交通标志所在的直线密集区域,同时对原图像颜色分割得到一系列交通标志的候选连通区域,并且对这些连通区域进行标记,通过和直线包络区域比对进一步筛选出候选交通标志区域,最后通过求取连通区域孔洞的内轮廓面积得到准确定位的交通标志。本文算法对城市道路场景具有普遍适用性,但本文算法还存在许多问题需要进行深入的研究,如场景中的道路不符合本文假设,场景中有大雾等能见度低的情况下,均可能出现错误的定位结果。下一步工作主要考虑处理更加复杂道路场景中交通标志的定位和识别,扩大其应用范围。

参考文献

[1] 阳其凯,王坚,凌卫青. 基于本体和云服务的交通异

构数据集集成方法研究. 高技术通讯, 2015, 25(7): 694-702

[2] 李正熙. 中国城市智能交通系统产业化发展趋势. 自动化博览, 2015, 32(7): 60-62 + 74

[3] 温斯傲, 李志民, 郝博闻等. 交通标志检测研究综述. 智能计算机与应用, 2016, 6(3): 58-61

[4] Singh B. Recent trends in intelligent transportation systems: a review. *Journal of Transport Literature*, 2015, 9(2): 30-34

[5] Jin J, Fu K, Zhang C. Traffic sign recognition with hinge loss trained convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2014, 15(5): 1991-2000

[6] Sun Z L, Wang H, Lau W S, et al. Application of BW-ELM model on traffic sign recognition. *Neurocomputing*, 2014, 128(s1-2): 153-159

[7] Yang H M, Liu C L, Liu K H, et al. Traffic Sign Recognition in Disturbing Environments: Foundations of Intelligent Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2003. 2-261

[8] De l E A, Moreno L E, Salichs M A, et al. Road traffic sign detection and classification. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1997, 44(6): 848-859

[9] 郁梅, 郁伯康. 基于彩色图像的指示标志检测. 计算机工程与应用, 2000, 36(4): 169-172

[10] Soetedjo A, Yamada K. An efficient algorithm for traffic sign detection. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatic*, 2006, 10(3): 409-417

[11] 朱双东, 刘兰兰, 陆晓峰. 一种用于道路交通标志识别的颜色-几何模型. 仪器仪表学报, 2007, 28(5): 956-960

[12] 丁伟利, 王文锋, 张旭光等. 基于边缘方向图的建筑物直线特征提取. 光学学报, 2010, 30(10): 2904-2911

[13] 陆枫, 何云峰. 计算机图形学基础. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 2008

[14] 彭晓庆. 道路交通标志图像处理: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学工程学院, 2010

[15] 张代玉. 基于颜色信息和SVM的交通标志识别技术的研究与实现: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学信息科学与工程学院, 2011

[16] 孙斌. 基于激光辅助的机器视觉汽车测距技术研究. 见: 全国信息光学与光子器件学术会议, 杭州职业技术学院青年汽车学院, 2012. 140-145

[17] 王俊. 无人驾驶车辆环境感知系统关键技术研究: [博士学位论文]. 合肥市: 中国科学技术大学自动化系, 2016

A method for fast positioning of traffic signs based on linear envelope

Ding Weili *, Shen Yahui *, Wang Wenfeng **
(* Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)
(** Institute of Vehicles and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract

In order to improve the accuracy of fast positioning traffic signs, through the fusion of the complex linear information and color information in a scene, a fast positioning method based on linear envelope was proposed. The method uses color information and statistical line information to obtain the target candidate region for coarse positioning of traffic signs, and then, uses morphological operations to obtain regional connectivity, and uses the traffic sign aspect ratio and the void information to position the traffic signs from the target candidate region. The experimental results show that the proposed method can improve the accuracy of the traffic sign positioning in complex backgrounds like night.

Key words: machine vision, connected region, city roads, linear envelop, single image, traffic sign