

雾霾天气情况下的交通标志检测

薛玉利*

(山东青年政治学院 信息工程学院, 山东省高校信息安全与智能控制重点实验室, 济南 250103)

摘要: 针对雾霾天气不利于交通标志检测的问题,提出一种在雾霾天气下快速实现交通标志检测的算法.首先,通过暗原色原理对雾霾天气中获得的图像进行去雾处理,得到对比度增强的图像;然后,将图像转换为归一化红蓝图像,在不同阈值对该图像进行二值化,提取其连通区域,如果连通区域在几个阈值下的二值化图像均能保持形状不变,则选作感兴趣区域;最后,利用交通标志的形状信息将干扰区域去除,得到交通标志的检测结果.实验结果表明,雾霾天气的图像经过去雾处理后对比度增强,检测效率有明显提高;与使用单一阈值检测算法相比,最大稳定极值区域的检测效率更高.

关键词: 智能交通;交通标志检测;暗原色原理;最大稳定极值区域;雾霾天气

DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2016.04.013

Traffic Sign Detection under Fog and Haze Weather

XUE Yu-li

(Key Laboratory of Information Security and Intelligent Control in Universities of Shandong, School of Information Engineering, Shandong Youth University of Political Science, Jinan 250103, China)

Abstract: To solve the crucial issue of efficient traffic sign detection under fog and haze environment, a fast and robust detection algorithm is proposed in this paper. First, enhanced images are obtained by defogging with dark channel prior principle, which are further converted into normalized red-blue images. Then, different thresholds are applied to obtain series of binary images, where connected regions that remain unchanged are selected as the region of interest. Finally, interference regions are further removed by shape constraints of traffic signs, and the final detection results are obtained. Abundant experimental results show that image qualities under fog and haze weather are enhanced after defogging, and traffic sign detection performance is improved significantly. The detection efficiency is higher in the region of maximum stability comparing with the single threshold detection algorithm.

Keywords: intelligent transportation; traffic sign detection; principle of dark channel prior; MSERs; fog and haze weather

0 引言

雾霾天气下行车能见度低,视野不清,不利于驾驶员正确观察和判断前方和道路环境,车辆在行驶过程中极易发生追尾和碰撞事故.智能交通系

统能够实时识别交通标志信息并将其提供给驾驶员,减轻驾驶员的驾驶压力,有效保证驾驶安全,避免交通事故的发生.交通标志检测是该系统的第一步,对现代交通管理有重要意义.

收稿日期:2015-12-02

修回日期:2016-03-25

录用日期:2016-05-10

作者简介:薛玉利(1981-),女,山东济南人,讲师,硕士.

*通信作者:080593@sdyu.edu.cn

传统的雾天图像增强方法往往只能有限地提升降质图像的清晰度;基于大气散射模型的去雾算法建立在相关先验信息的基础上,利用各种最优化模型求解场景反射率来实现去雾,Fattal假定透过率和表面投影在局部是不相关的,估算出景物的反射率,进而推断场景光在空气中传播时的透过率;Tarel等假设大气耗散函数在一定区域中逼近最大值,而且局部变化平缓,利用中值滤波估计大气耗散函数;He等^[1]利用暗原色先验原理实现了单幅图像去雾处理,取得了绝佳的效果。

交通标志检测最常用的方法包括颜色分割方法和形状检测方法^[2]。文献[3]使用同样的特征提取和识别算法对各种交通标志检测算法进行了评价,提出颜色分割方法在执行速度和识别率方面均比形状检测方法效果好,形状检测方法可以用于颜色分割方法的补充.Greenhalgh等^[4]提出一种新的交通标志检测算法最大稳定极值区域(MSERs),并证明该算法对光照和对比度变化均具有鲁棒性。

我国最近几年雾霾频发,这种天气情况下获取的图像对比度不高,直接进行交通标志检测效果欠佳。针对雾霾天气情况下的交通标志检测,国内外研究较少,张国山^[5]采用双边滤波过滤图像中噪声的方法去除图像中的雾霾,然后将图像从RGB空间转换到HSV空间,随后进行Canny边缘检测,通过计算圆形度、矩形度等来检测交通标志。这种方法在颜色空间转换、Canny边缘检测和计算圆形度、矩形度时比较耗时。本文提出一种基于暗原色原理去雾和MSERs检测的算法,直接在RGB空间检测,无需颜色空间转换,首先利用暗原色原理对雾霾天气下的图像去雾,图像质量明显改善;然后利用不需要进行最优阈值选取的MSERs来检测交通标志,当连通区域在多个不同阈值的二值图像中均能保持形状不变时,选择该区域为感兴趣区域,再根据交通标志的形状信息去除干扰区域,最终得到交通标志的检测结果。

1 基于暗原色原理的去雾方法

1.1 雾天图像模型

雾天时大气散射模型中衰减模型和大气光成

像模型同时作用,导致目标图像的对比度和分辨率降低^[6]。雾天图像的光学模型为

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (1)$$

式中: $I(x)$ 是现在已有的图像(待去雾的图像); $J(x)$ 是要恢复的无雾的图像; A 是全球大气光成分; $t(x)$ 为透射率。去雾的目标就是通过已知的 $I(x)$ 复原 $J(x)$ 。

1.2 暗原色原理

He等人发现了暗原色先验理论,并提出了基于暗原色先验的单幅图像去雾方法。在绝大多数非天空的局部区域里,某一些像素总会有至少一个颜色通道具有很低的值。一般地,对于一幅图像 J , 其暗原色可以表达为

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y) \right) \quad (2)$$

式中: J^c 表示彩色图像的每个通道; $\Omega(x)$ 表示以像素 x 为中心的一个窗口,窗口大小为 $15 \cdot 15$ 。 J^{dark} 称为图像 J 的暗原色,其强度值总是很低并且趋近于0(除天空区域外)。

He等做了大量的统计实验,得出结论:绝大多数无雾图像中的暗原色都具有较低的平均强度值,即绝大多数无雾图像都符合暗原色先验规律。在有雾图像中,灰白色的雾导致原本应该很暗的暗原色变得灰白,强度变得较高,且在雾气越浓的区域具有越高的像素亮度值。利用暗原色先验理论能够简单有效地去除图像中雾的干扰,复原得到高质量的清晰图像。

1.3 计算透射率

透射率^[4]的计算公式为

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (3)$$

式中: $\omega = 0.95$, 这能够保证在去雾的时候保留一定程度的雾,使图像看起来真实。

由于透过率在一个局部区域内并不总是恒定的,式(3)计算的透射率包含一些“halo”效应。为了提高估计的精度,需要细化和平滑透过率图,本文采用文献[7]提出的guided filter方法来获得较好的透射率图。

1.4 估测大气光和恢复无雾图像

He通过暗原色来估测大气光成分 A 。首先从

暗原色图中按照亮度的大小取前0.1%的像素;然后在有雾图像 I 中寻找对应位置的具有最高亮度的点的值,作为 A 值.

无雾图像的恢复公式如下:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (4)$$

式中: $t_0 = 0.1$. 因为当投射图 t 的值很小时,会导致

J 的值偏大,从而使得图像整体向白场过度,一般可设置一阈值 t_0 , 当 t 值小于 t_0 时,令 $t = t_0$.

对雾霾天气情况下的图像进行去雾处理的效果如图1所示.从图中可以看出,对雾霾天气中的自然图像通过暗原色原理去雾,得到的恢复图像对比度和分辨率明显增强,交通标志也更加清晰.

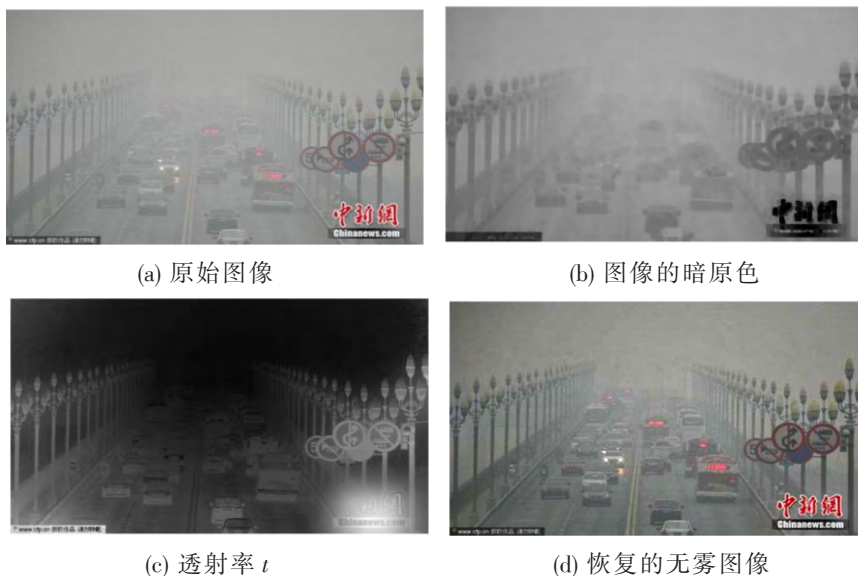


图1 无雾图像的恢复

Fig. 1 Restoration of no fog image

2 基于MSERs的交通标志检测

我国的交通标志按颜色可以分为红、蓝、黄色三种,红、蓝色交通标志一般被设计成红、蓝色边框,里面是白色的各种形状.因此在交通标志检测时,可以简化为对红、蓝色边框的检测,对检测到的红、蓝色边框进行孔洞填充,可以获得完整的交

通标志区域.

包含红、蓝色交通标志的图像,需要将其转换为归一化红蓝图像 Ω_{RB} ,转换公式为

$$\Omega_{RB} = \max\left(\frac{R}{R+B+G}, \frac{B}{R+B+G}\right) \quad (5)$$

利用式(5)得到归一化红蓝图像如图2所示.

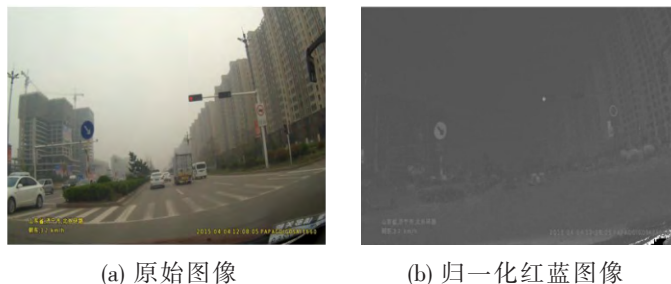


图2 归一化红蓝图像

Fig. 2 Normalized red blue image

从图2可以看出,原始图像中红色和蓝色的像素对应位置的 Ω_{RB} 值比其他颜色稍高些,因此归一化红蓝图像 Ω_{RB} 有利于检测红色和蓝色的交通

标志.将 Ω_{RB} 在不同阈值进行二值化,提取其连通区域,如果连通区域在几个阈值下的二值化图像均能保持形状不变,则选作感兴趣区域 ROI. 因为

交通标志的像素值绝大部分出现在70~190的范围内,所以将二值化的阈值范围定为[70,190],在保证检测准确率和速度的前提下,在该范围均匀选择24个阈值对归一化红蓝图像进行二值化^[4].

3 排除干扰区域

因为自然场景中存在与交通标志颜色相似的非交通标志区域,所以获得的ROI存在一些干扰区域.算法检测到的ROI大多数情况下是包含孔洞

的连通区域.为了去除干扰区域,首先将ROI进行孔洞填充,获得一个实心的ROI.假设该ROI的高度、宽度、周长分别为 $height$ 、 $width$ 、 $perimeter$, ROI的外接矩形边框的周长为 $boxper$.根据交通标志区域特有的形状信息,可以利用式(6)去除干扰区域,如图3所示.

$$\begin{cases} 5 \leq width \leq 100 \\ 5 \leq height \leq 110 \\ 0.5 \leq height/width \leq 5 \\ 0.3 \leq perimeter/boxper \leq 1.2 \end{cases} \quad (6)$$



(a) 获得的二值化图像



(b) 去除干扰的图像

图3 去除干扰区域

Fig. 3 Removal interference region

由图3可以看出,利用式(6)可以去除大部分的干扰区域,但是一些与交通标志形状相似的干扰区域无法彻底去除.

4 实验结果与分析

交通标志实景图是在汽车速度为30~80 km/h,由行车记录仪在雾霾天气下不同时间采集的城市道路图像,共有477幅图像,包含1 146个交通标志.图像大小为1 920×1 080,为减少计算量,处理时将其缩小为400×300.由先验知识统计发现,有效的交通标志一般出现在图像上方,为了节省计算量,将检测区域定在图像的上方2/3的位置.

为了进一步说明本算法对雾霾天气下交通标志检测的鲁棒性,我们与下面3种算法进行比较:

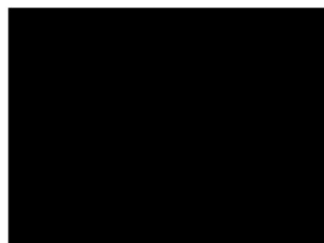
①基于归一化RGB颜色空间阈值分割的方法(NRGB);②基于归一化红蓝图MSERs提取的方法;③去雾后的NRGB方法.

本文实验用MATLAB2012b进行仿真实验,选取一幅雾霾天气的图像分别用NRGB、MSERs、去雾后的BRGB、去雾后的MSERs进行交通标志的检测,原始图像如图4所示,检测结果如图5-图8所示.

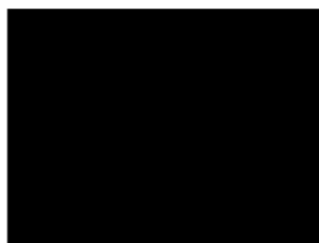


图4 原始图像

Fig. 4 Normal image



(a) 未检测到红色标志



(b) 未检测到蓝色标志

图5 NRGB 的检测结果

Fig. 5 Detetion results of NRGB

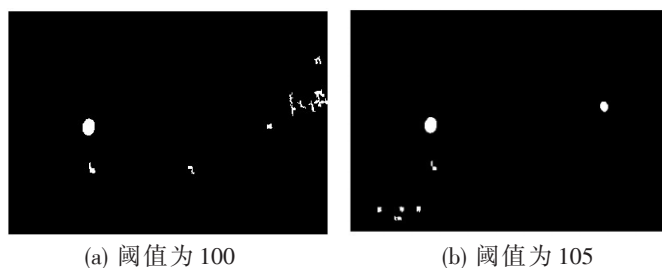


图6 MESR 的检测结果,在阈值为 100 时只检测到蓝色标志,阈值为 105 时检测到红色和蓝色标志.

Fig. 6 Detetion results of MSER

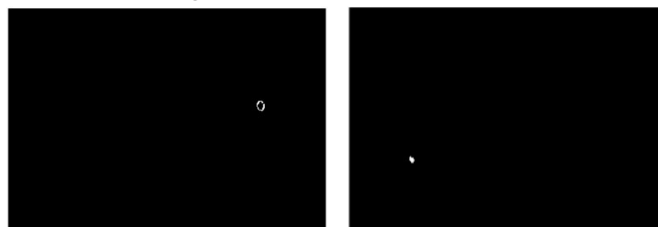


图7 去雾后的 NRGB 检测结果

Fig. 7 Detetion results of NRGB after defogging

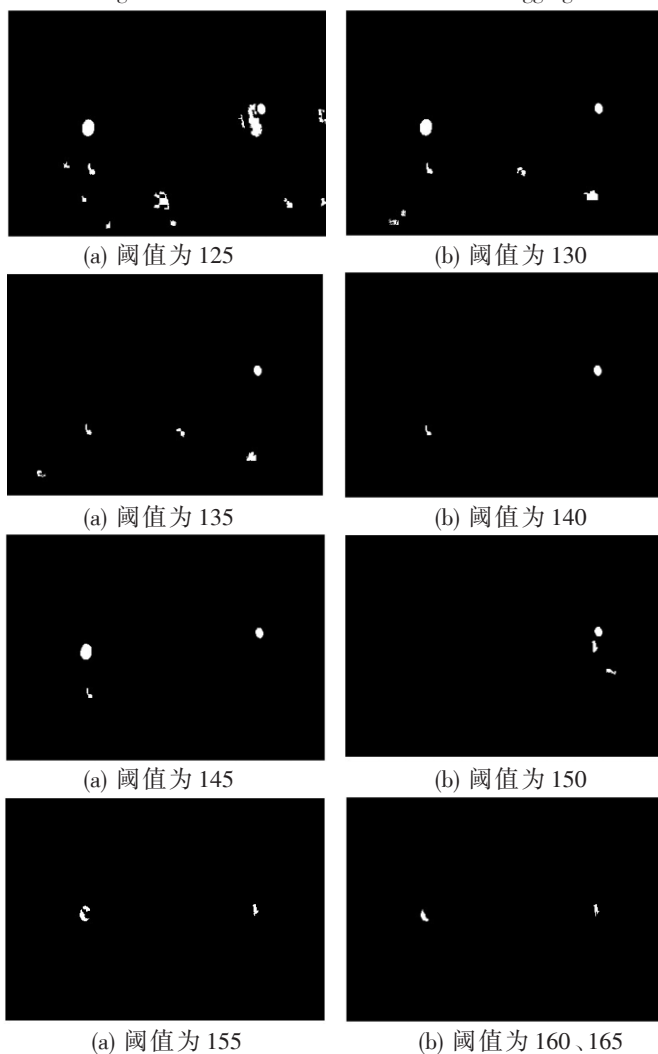


图8 去雾后的 MSER,阈值为 125、130、145 时检测到红色和蓝色标志,阈值为 135、140、150 时只检测到红色标志,阈值为 155、160、165 时只检测到蓝色标志(阈值为 160、165 时检测到的蓝色标志不完整).

Fig. 8 Detetion results of MSER after defogging

从图5~图8可以看出,NRGB方法采用单一阈值进行分割,在有雾霾的情况下的检测效果下降明显.MSERs方法因为采用多个阈值进行分割,在雾霾天气中对交通标志的检测效果比NRGB效果较好,但只有少数几个阈值能够检测出来交通标志.利用暗原色原理对雾霾天气的图像进行去雾处理之后,再对其进行NRGB方法,检测效果较直接进行NRGB方法要好,不过检测出交通标志的轮廓存在很多断裂的地方,导致交通标志提取不完全.对去雾后的图像进行MSERs方法后发现,可以在多个阈值检测出交通标志,并且其轮廓在多个阈值可以保持完整,更容易检测到交通标志.综上所述,雾霾天气情况下的自然场景图像较模糊,对比度降低,对其用暗原色原理去雾处理后,再利用MSERs方法提取交通标志,检测效率明显提高.对于本文数据库的检测结果如表1所示

表1 检测结果
Table 1 Detection results

方 法	交通标志总数	正确检测数	未检测标志数	检测效率/%
NRGB	1 146	406	740	35.4
MSERs	1 146	980	166	85.5
去雾的NRGB	1 146	724	422	63.2
去雾的MSERs	1 146	1 070	76	93.4

通过表1的统计数据可以看出,对雾霾天气中获得的图像进行去雾处理后,再使用NRGB和

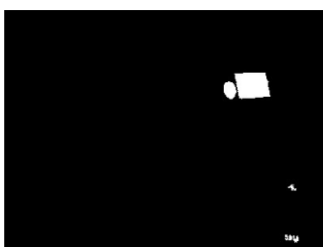
MSERs方法进行交通标志检测,其检测效率较直接使用相应方法有明显提高,这说明对雾霾天气情况下的图像进行去雾处理是必要的.本文提出算法的检测效率达到了93.4%,可以满足实际需要.从统计结果可以看出,MSERs的检测效率比NRGB的效率要高,这是因为MSERs在不同的阈值对图像进行二值化来提取连通区域,比NRGB直接采用一个阈值提取更加鲁棒,使得光照变化的影响对检测结果的影响更小.

本算法出现的漏检主要为距离较远和遮挡严重的交通标志.因为距离较远,交通标志比较小,加上雾霾的影响,不易检测到.在车辆继续行驶过程中,该交通标志逐渐变大,算法就会检测到该标志;对于遮挡严重的交通标志,在车辆行驶过程中,即使交通标志变大也无法检测到.

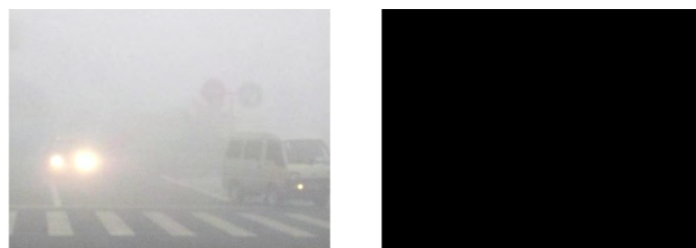
为比较本算法对不同雾霾天气情况下交通标志检测的效果,我们从图像库中找到轻度和中度雾霾天气的图像,从网上下载了一些重度雾霾天气的图像,采用本文算法,图9所示为该算法对轻度、中度和重度雾霾的处理结果.从图中可以看出,轻度、中度雾霾天气的图像可以将交通标志检测出来;重度雾霾情况下,图像的对比度降低太大,丢失了颜色信息和形状信息,虽然暗原色去雾效果较好,但是再使用MSERs进行检测也无法检测到该标志.因此本算法仅适用于轻、中度雾霾天气中的交通标志检测.



(a) 轻度雾霾时的检测结果



(b) 中度雾霾时的检测结果



(c) 重度雾霾时的检测结果

图9 不同雾霾程度的检测结果

Fig. 9 Detetion results of different haze weather

本算法以 MATLAB2012b 为开发环境,在 Win7 系统的 PC 机上完成仿真实验,处理器为 CORE i5,主频 2.4 GHz,内存 6 GB,对于 400×300 的图片的平均检测时间为 0.85 s.

5 结 论

本文提出了一种基于暗原色去雾结合 MSER 的交通标志检测算法,实验证明,该方法能够去除轻雾,增强自然场景图像,为后续的交通标志检测打好基础.检测时采用 MSER 的方法能够对光照条件变化更加鲁棒.经去雾处理后,雾霾天气下的交通标志检测效率更高.

本文算法的不足之处在于雾霾天气较重时,虽然去除了部分雾气,但是交通标志的颜色信息无法得到较好的复原,边缘也存在模糊的现象,因此无法检测出这种情况的交通标志.

参考文献:

[1] KAIMING HE, SUN JIAN, TANG XIAO-OU. Single image haze removal using dark channel prior[C].

Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009: 1956-1963.

- [2] A MOGELMOSE, M TRIVEDI, T MOESLUND. Vision-based traffic sign detection and analysis for intelligent driver assistance systems: Perspectives and survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012(13): 1484-1496.
- [3] H GOMEZ-MORENO, S MALDONADO-BASCON, P GIL-JIMENEZ, et al. Goal evaluation of segmentation algorithms for traffic sign recognition[J]. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst, 2010(11):917 - 930.
- [4] J GREENHALGH, M MIRMEHDI. Real-time detection and recognition of road traffic signs[J]. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst, 2012(13): 1498-1506.
- [5] 张国山,刘振. 雾霾天气下交通标志的检测与识别 [J]. 天津工业大学学报, 2015, 34(5): 71-75. [ZHANG G S, LIU Z. Traffic sign detection and recognition under haze weather[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2015, 34(5): 71-75.]
- [6] E J MCCARTNEY. Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles[J]. John Wiley and Sons , 1976: 123-129.
- [7] KAIMING HE, SUN JIAN, TANG XIAO-OU. Guided image filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2013(35): 1397-1409.