

复杂光照条件下交通标志牌检测

李文举¹, 陈 奇¹, 董天祯¹, 陆云帆¹, 韦丽华²

(1. 上海应用技术大学计算机科学与技术信息工程学院, 上海 201418; 2. 上海应用技术大学研究生部, 上海 201418)

摘要:在智能交通系统中交通标志牌检测存在准确率低和实时性差的问题,提出1种复杂光照条件下交通标志牌检测方法。该方法结合了亮度场景分类,RGB空间下颜色分割以及形状轮廓空间特征。首先根据图像亮度分布情况将图像分为逆光、阴暗、明亮和正常4种场景并进行自适应Gamma变换,消除光照对RGB颜色分量的影响,实现图像增强。然后利用基于RGB空间下改进的三分量色差法,提取图像中红色、黄色和蓝色目标区域,实现目标区域粗定位。最后利用形状轮廓空间特征实现交通标志牌精确定位。该方法抓住了不同光照条件下亮度分布差异的特点,综合利用了交通标志牌的颜色特征和形状轮廓空间特征。实验结果表明,该方法具有较高的鲁棒性和实时性。

关键词:交通标志牌;自适应Gamma变换;RGB颜色空间;形状轮廓空间特征

中图分类号:TP391.4

文献标志码:A

文章编号:2095-2783(2018)02-0131-05

Traffic signs detection in different lighting condition

LI Wenju¹, CHEN Qi¹, DONG Tianzhen¹, LU Yunfan¹, WEI Lihua²

(1. School of Computer Science and Information Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China;

2. Graduate Faculty, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: Traffic signs detection has the problems of low accuracy and poor real-time in intelligent traffic system (ITS). This paper presents a method for traffic signs detection under different lighting condition. The method combines image scene classification, color segmentation in RGB and shape contour features. Firstly, images will be divided into four categories including back-light, dark, bright and normal scenes, according to brightness. Then Gamma correction is used for image enhancement to extract the suspected targets by detection algorithm of RGB. Finally, we will select the suspected targets to find the traffic signs according to geometric features. The results show that the detection algorithm has robustness and timeliness.

Keywords: traffic signs detection; adaptive Gamma correction; RGB; geometric features

智能交通系统(Intelligent traffic system, ITS)^[1]作为1个研究领域热点,已受到广泛关注,而交通标志牌识别是其重要组成部分。交通标志牌识别系统主要包括标志牌检测,特征提取和标志识别3部分,其中标志牌检测作为关键问题之一,其关系到整个系统成功与否。

自然场景中存在多种干扰因素,其中复杂的光照条件给交通标志牌检测过程带来巨大困难。目前,标志牌检测研究主要分为基于颜色的检测方法和基于形状的检测方法^[2]。基于颜色的检测方法主要分为RGB空间和HSI空间下的标志牌检测^[3]。RGB空间下标志牌检测具有实时性高的特点,但R、G、B3个分量间存在复杂联系且极易受光照影响,复杂光照条件下无法满足鲁棒性要求。HSI空间下标志牌检测由于去除光照的影响上,可满足一定程度鲁棒性要求,但色彩空间转换运算量较大,消耗较长时间,无法满足实时性要求。基于形状的检测方法主要包括Hough变换法,拐角检测,径向对称变换和Haar^[4]等,虽具有一定抗噪能力,满足鲁棒性要求,但较高的计算量需消耗大量时间,无法满足实时

性要求。综上所述,对于不同光照条件下的标志牌检测,上述方法无法兼顾鲁棒性和实时性。

针对以上问题,提出1种复杂光照条件下交通标志牌检测方法。该方法充分利用场景亮度特点,交通标志牌颜色特征,以及形状轮廓空间特征,针对复杂光照问题创新图像增强方法,降低复杂光照条件对R、G、B分量的影响,实现RGB空间下的标志牌检测。首先根据亮度分布情况实现图像亮度场景分类并进行自适应Gamma变换,消除复杂光照对RGB分量的影响,实现图像增强。然后利用基于RGB空间下改进的三分量色差法提取目标区域,实现粗定位。最后结合几何特征和空间分布情况去除疑似无关区域,实现精确定位。实验表明,针对不同光照条件该方法具有较好的鲁棒性和实时性。

1 基于亮度的图像预处理

在图像预处理阶段,首先根据亮度分布情况进行亮度场景分类,包括阴暗场景、明亮场景、逆光场景和正常场景。然后进行自适应Gamma变换,实现图像增强。

收稿日期:2017-07-06

基金项目:国家重点实验室开放课题基金资助项目(201600033)

第一作者:李文举(1964—),男,教授,主要研究方向为模式识别、图像处理及计算机控制,wjli@sit.edu.cn

1.1 图像亮度场景分类

图像亮度场景分类将根据图像亮度分布情况分为阴暗场景、明亮场景、逆光场景和正常场景。为之后图像增强,改善图像质量做准备。在亮度直方图中,阴暗场景其大部分像素点都集中在低频区域。

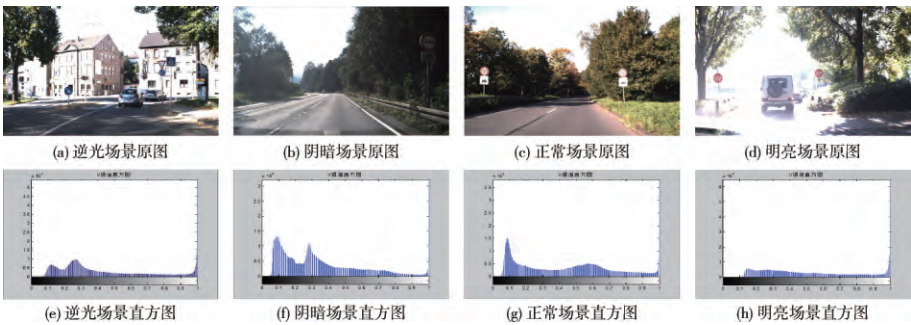


图 1 场景分类亮度直方图

根据亮度区域划分阈值,见表 1,分别计算不同亮度区域内像素点个数并计算其在所有像素点中所占比重。然后根据表 2 所示的场景分类范围将图像分为阴暗场景、明亮场景、逆光场景和正常场景。

表 1 亮度区域划分阈值

亮度区域	范围
低频区域	$[0, 0.4]$
中频区域	$[0.4, 0.7]$
高频区域	$[0.7, 1]$

表 2 场景分类范围

场景分类	范围
明亮场景	$P_{high} > 0.53, P_{low} < 0.35$
黑暗场景	$P_{low} > 0.51$
逆光场景	$P_{high} + P_{low} > 0.8, P_{low} > P_{middle}, P_{high} > P_{middle}$

明亮场景其大部分像素值都集中在高频区域。逆光场景在低频和高频区域都集中了大部分像素,而中间区域像素较少。正常场景中通常像素分布比较均匀。场景分类亮度直方图如图 1 所示。

1.2 自适应 Gamma 变换

自适应 Gamma 变换将根据亮度场景分类结果,自适应选取 Gamma 值降低光照影响,实现图像视觉效果增强,有助于提高 RGB 空间下颜色分割方法精确性。当 $\text{Gamma} > 1$ 时,可实现图像变亮效果。当 $\text{Gamma} < 1$ 时,可实现图像变暗效果。当 $\text{Gamma} = 1$ 时,图像不发生任何变化。自适应 Gamma 变换见表 3。

表 3 自适应 Gamma 变换

亮度场景	阴暗场景	明亮场景	逆光场景	正常场景
Gamma	2.2	0.5	1.2	1

自适应 Gamma 变换结果如图 2 所示,依次为逆光场景、阴暗场景、正常场景和明亮场景的对比结果。其中逆光场景、阴暗场景和明亮场景增强后的图像相较于原图明显降低了复杂光照的影响,改善了图像质量,实现图像增强。

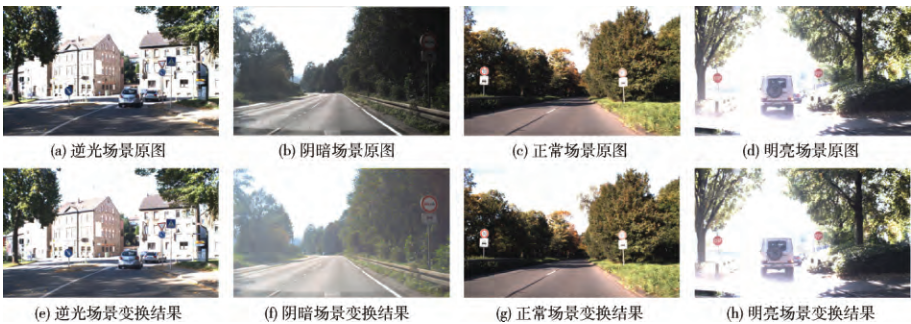


图 2 自适应 Gamma 变换结果

2 RGB 空间下交通标志牌粗定位

RGB 空间下的分割方法具有方法简单,实时性高的特点,因此对增强后的图像主要采取改进的三分量色差法^[5]和归一化 RGB 单阈值分割法^[6]提取

图像中红色、黄色和蓝色目标区域,实现目标区域粗定位。其中利用改进的三分量色差法处理增强后的阴暗场景,逆光场景和正常场景;利用归一化 RGB 单阈值分割法处理增强后的明亮场景。

2.1 改进的三分量色差法

RGB 颜色空间由 R 、 G 、 B 3 个颜色分量组成,根据分量间存在的差值关系提取红、黄、蓝 3 种颜色区域,实现目标区域粗定位。

RGB 空间下改进的三分量色差法:

$$\text{红} = \begin{cases} \text{特征算子: } \lambda R - G - B \\ \text{灰度值: } CA = \begin{cases} 0 & \lambda R - G - B < 0 \\ 255 & \lambda R - G - B > 255 \\ \lambda R - G - B & \text{其他} \end{cases} \end{cases}$$

$$\text{蓝} = \begin{cases} \text{特征算子: } \lambda B - G - R \\ \text{灰度值: } CA = \begin{cases} 0 & \lambda B - G - R < 0 \\ 255 & \lambda B - G - R > 255 \\ \lambda B - G - R & \text{其他} \end{cases} \end{cases}$$

其中 λ 为加权因子。

自适应加权因子算法:

1) 定义 num_red0 和 num_blue0 分别为 R 和 B 分量图上像素值为 0 的个数。

2) 计算 $k_0 = (\text{num_red0} + \text{num_blue0}) / 2 \times M \times N$

3) 判断,若 $k_0 > 0.98$ & $\lambda \leq 2$, 则 $\lambda = \lambda + 0.2$, 重新计算步骤 1 和 2。

2.2 归一化 RGB 单阈值分割法

由于 RGB 颜色空间对光照变化极其敏感,易受光照影响。经归一化后,对于光照较强时,该像素点的值不变,可有效消除强光影响,有利于提取红、黄和蓝 3 种颜色分量,实现目标区域粗定位。

归一化 RGB 单阈值分割法:

$$\begin{cases} r = R / (R + G + B) \\ g = G / (R + G + B) \\ b = B / (R + G + B) \end{cases}, \begin{cases} \text{红色区域} & r \geq 0.4, g < 0.3 \\ \text{蓝色区域} & b > 0.4 \\ \text{黄色区域} & r + g > 0.85 \\ \text{其他} & \text{其他} \end{cases}$$

RGB 空间下交通标志牌粗定位结果如图 3 所示,依次为逆光场景、阴暗场景、正常场景、明亮场景的原图和标志牌粗定位结果。根据亮度场景分类结果,自适应选择 RGB 空间下颜色提取方法,对不同光照场景下交通标志进行粗定位。实验结果表明,该颜色提取方法可有效对标志牌进行粗定位,避免颜色提取过程中出现漏检情况。

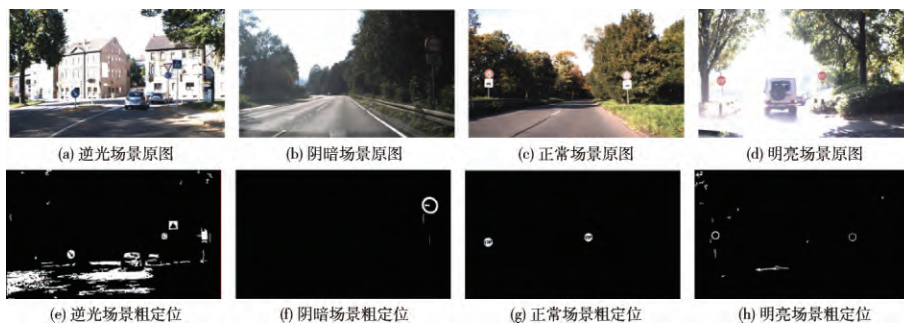


图3 RGB空间下交通标志牌粗定位结果

3 RGB 空间下交通标志牌精定位

对于 RGB 空间下标志牌粗定位结果,其中不仅包含标志牌目标区域,也包含少量无关区域。为进一步消除无关区域,实现目标区域精确定位,将结合几何特征^[7]和形状轮廓空间特征,包括:宽高比、周

长面积比、区域占比以及轮廓形状相似不变特征等。该过程可有效克服传统方法对图像平移、旋转、收缩敏感的问题,其中形状轮廓空间特征对不同形状设定不同判断标准。将轮廓坐标转为极坐标 (θ, ρ) ,根据 ρ 值的特征区分圆形、3 角形和矩形。RGB 空间下交通标志牌精定位结果如图 4 所示。

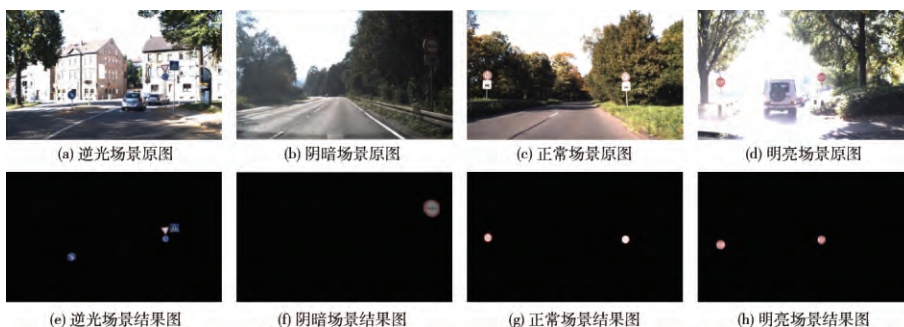


图4 RGB空间下交通标志牌精定位结果

标志牌几何特征和形状轮廓空间特征见表 3,根据宽高比、周长面积比、区域占比消除无关区域。然

后根据 θ, ρ 峰值个数与形状的关系对余下部分进一步筛选,实现标志牌精确定位。

表 3 几何特征

几何特征	范围
高宽比	(0.45,1.2)
周长面积比	(0.045,0.07)或(0,0.038)
区域占比	(0.58,0.63)

RGB 空间下交通标志牌精定位结果如图 4 所示,依次为逆光场景、阴暗场景、正常场景、明亮场景的原图和精定位结果图。实验结果表明,基于几何特征和形状轮廓特征可有效消除无关区域,实现精确定位。

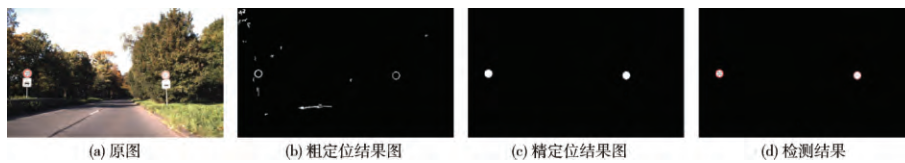


图 4 交通标志检测过程

特征对目标区域进行精确定位,去除无关区域,并与原图掩膜提取目标标志牌。

4.2 不同检测方法比较

表 4 为不同检测方法比较。对于不同光照场景,本文方法在检出率方面优于其他检测方法。基于边缘颜色对的标志检测^[9]关键在于对彩色边缘的检测并通过 BP 神经网络判断每一边缘点的颜色对,去除掉不符合的部分。虽能保证较高检测率,但复杂光照对彩色边缘检测影响较大且 BP 神经网络消耗较多时间,不满足实时性要求。局部 Hough 变换将给定的曲线转变为空间的点,即将曲线检测问题转化为寻找参数空间峰值问题。但随着参数空间维度增加,其计算量也将增大,影响检测实时性。基于多特征高可信度区域检测^[10]利用形状特征,纹理特征,颜色特征和高可信度函数自适应迭代算法获取图像中最优标志区域。虽具有较高检出率且较好光照条件适应性,但多特征的提取和迭代计算消耗较多时间,影响实时性。基于 HSI 和形状特征的检测具有方法简单,计算量少的优点,但阴暗、逆光条件下目标区域出现颜色退化,导致分割不完整而漏检,影响检出率。之外,还包括基于轮廓逼近^[11],边缘链码^[12]以及边缘相似性参数的标志检测方法,虽具有较好的检测效果,仍未克服强光或阴暗条件下漏检或误检情况。本文提出的方法对复杂光照条件下标志牌检测具有较强鲁棒性,为降低复杂光照对 RGB 空间的影响,在预处理阶段通过对光照场景进行分类,针对性的进行图像增强。结合改进的三分量色差法并引入形状轮廓空间特征可有效避免因旋转形变而造成漏检。此外本文方法平均检测时间约在 200 ms 以内,相较于 HSI 空间下的检测方法,基于 RGB 空间下的检测方法具有方法简单,计算量小的优势,省去了 RGB 到 HSI 空间的转换,节省了转换

4 实验结果及分析

4.1 交通标志检测过程

如图 4 所示交通标志检测过程,实验样本取自德国交通标志数据库(GTRSB)^[8]。首先,根据亮度情况对于输入图像进行场景分类,并根据分类结果进行自适应 Gamma 变换,消除了光照对 RGB 分量的影响,实现图像增强。然后,利用 RGB 空间下改进的三分量色差法和归一化 RGB 单阈值分割法对增强后的图像提取红色、黄色和蓝色区域,实现目标区域粗定位。最后,基于几何特征和形状轮廓空间

中大量计算时间,增强了实时性。

表 4 不同检测方法比较

方法	检出率/%
基于边缘颜色对检测	95.30
局部 Hough 变换	93.60
基于多特征高可信度区域检测	97.10
HSI + 形状	91.55
本文方法	97.60

5 结 论

本文提出 1 种复杂光照条件下交通标志牌检测方法,其特点是结合了亮度场景分类,RGB 空间下颜色分割以及形状轮廓空间特征,较好地实现了不同光照条件下的标志牌检测,实验结果表明该方法有助于提高准确率和降低检测时间,满足一定鲁棒性和实时性要求。其中亮度场景分类有助于提高算法的鲁棒性,可适应多种复杂光照条件;基于 RGB 空间下分割方法计算简单且运算量较少,有助于提高算法的实时性。此外,本文方法对破损遮挡情况不能完全准确检测,仍需进一步研究。

[参考文献] (References)

- [1] KHAN J, BHUIYAN S, ADHAMI R. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(1): 83-96.
- [2] 温斯傲, 李志民, 郝博闻, 等. 交通标志检测研究综述 [J]. 智能计算机与应用, 2016, 6(3): 1-5.
WEN Si'ao, LI Zhimin, HAO Bowen, et al. A summary of traffic mark detection [J]. Intelligent Computer and Application, 2016, 6(3): 1-5. (in Chinese)
- [3] ELLAHYANI A, ANSARI M E I, JAAFARI I E I.

- Traffic sign detection and recognition based on random forests [C] // IEEE Applied Soft Computing. [S. l.]: IEEE, 2016; 805-815.
- [4] SALTIN S, PETRELLI A, TOMBARI F, et al. Traffic sign detection via interest region extraction [C] // Pattern Recognition, Elsevierltd, 2015, 48 (4): 1039-1049.
- [5] 黄志勇, 孙光民, 李芳. 基于 RGB 视觉模型的交通标志分割 [J]. 微电子学与计算机. 2004, 21 (10): 147-149.
HUANG Zhiyong, SUN Guangmin, LI Fang. Traffic segmentation based on RGB visual model [J]. Microelectronics and Computer. 2004, 21 (10): 147-149. (in Chinese)
- [6] 薛玉利. 基于归一化 RGB 与椭圆相似度的圆形交通标志检测 [J]. 微型机与应用, 2015, 34 (24): 41-43.
XUE Yuli. Detection of circular traffic sign based on normalized RGB and ellipse similarity [J]. Microcomputer and Application, 2015, 34 (24): 41-43. (in Chinese)
- [7] 宋文杰, 付梦印, 杨毅. 一种面向无人驾驶汽车的高效交通标志识别方法 [J]. 机器人, 2015, 37 (1): 102-110.
SONG Wenjie, FU Mengyin, YANG Yi. An efficient traffic sign recognition method for unmanned vehicles [J]. Robot, 2015, 37 (1): 102-110. (in Chinese)
- [8] STALLKAMP J, SCHLIPSING M, SALMENA J, et al. Man vs computer: benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition [J]. Neural Networks, 2012, 32 (8): 323-332.
- [9] LI Wenju, LI Haifeng, DONG Tianzhen, et al. Traffic sign localization based on edge-color pair and feature filters [J]. ICIC Express Letters Journal. 2016, 10 (3): 727-732.
- [10] 叶阳阳. 交通标志检测和识别算法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
YE Yangyang. Research on traffic mark detection and recognition algorithm [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015. (in Chinese)
- [11] 卢艳君, 徐望明. 一种运用随机算法改进的图像检索方法 [J]. 武汉科技大学学报, 2015, 38 (1): 72-76.
LU Yanjun, XU Wangming. An improved retrieval method based on random algorithm [J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology, 2015, 38 (1): 72-76. (in Chinese)
- [12] 欧阳维力, 宋晓琳, 张伟伟. 基于自适应阈值与圆形相似度的禁令标志检测 [J]. 工程设计学报, 2014, 10 (5): 499-504.
OUYANG Weili, SONG Xiaolin, ZHANG Weiwei. Detection of ban mark based on adaptive threshold and circular similarity [J]. Journal of Engineering Design, 2014, 10 (5): 499-504. (in Chinese)