

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108559

一种基于图像增强的交通信号灯识别方法*

刘珂琪¹ 董绵绵¹ 王鹏¹ 李晓艳¹ 吕志刚¹ 郭宝亿²

(1.西安工业大学电子信息工程学院 西安 710000; 2.西安工业大学工业中心 西安 710000)

摘要:针对现有传统算法在光照不均匀、背景复杂的情况下对交通信号灯的识别精度低、漏检率高的问题,本文提出了一种基于图像增强的交通信号灯识别方法。首先采用改进的迭代法对原图像进行处理;接着在HSV颜色空间中增强原图像的V通道亮度信息,利用自调节的颜色阈值范围筛选出交通信号灯的颜色候选区域;最后,分别提取原图像经过双处理后获取到的图像轮廓,结合两张图像中的轮廓信息筛选出信息相同的候选区域,并通过计算候选区域的面积、宽高比判断出交通信号灯的区域,从而完成交通信号灯的识别。实验结果表明,在光照不均匀和复杂背景条件下,该算法比现有其他传统算法的识别准确率提升了1.05%,并具有良好的实时性。

关键词:交通信号灯识别;改进的迭代法;HSV颜色空间;外接矩形

中图分类号: TP391;TP751.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050;520.6040

A traffic light recognition method based on image enhancement

Liu Keqi¹ Dong Mianmian¹ Wang Peng¹ Li Xiaoyan¹ Lyu Zhigang¹ Guo Baoyi²

(1. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710000, China;

2. Industrial Center, Xi'an Technological University, Xi'an 710000, China)

Abstract: Aiming at the problems of low accuracy and high missed rate of the existing traditional algorithms in traffic light recognition under the condition of uneven illumination and complex background, this paper proposes a traffic light recognition method based on image enhancement. First, an improved iterative method is used to process the original image. Then, the V-channel brightness information of the original image is enhanced in the HSV color space, and the color candidate regions of traffic lights are screened by self-adjusting color threshold range. Finally, the contour of the original image obtained after dual processing was extracted respectively, and the candidate area with the same information was screened by combining the contour information of the two images, and the area of the traffic signal light was judged by calculating the area and aspect ratio of the candidate area, so as to complete the identification of the traffic lights. Experimental results show that the proposed algorithm can improve the recognition accuracy by 1.05% compared with other traditional algorithms under the condition of uneven illumination and complex background, and has good real-time performance.

Keywords: traffic light recognition; improved iteration method; HSV color space; outer rectangle

0 引言

近年来,随着智能交通的不断发展,辅助驾驶技术成为研究学者的一大研究重点内容。根据数据显示,世界上色盲、色弱人群占比为8%^[1],并且城市环境中由于车辆拥堵造成交通事故的发生率高达30%^[2],而交通信号灯的状态识别技术可以让视力障碍群体具备驾驶汽车的能力,且有效的减少行车过程中的拥堵问题,既保障了驾驶安全,又加

快了智能化城市建设,除此之外,对交通信号灯准确实时的识别可以有效解决无人驾驶的安全问题。因此,研究交通信号灯的识别技术不仅具有深刻意义,也是未来智能交通的研究热点。

目前,国内外研究学者对交通信号灯的识别已进行了大量研究。Jia等^[3]将源图像从RGB空间中转换到HIS空间中,通过进行形态学处理提取出候选区域,并利用区域像素信息采取模板匹配的方法将信号灯状态准确的识别,但

收稿日期:2021-12-09

* 基金项目:国家自然科学基金(62171360)、陕西省科技厅项目(2019GY-058)、西安市科技计划项目(2020KJRC0037)、西安市未央区科技计划项目(201923)资助

这种方法计算量大,识别速度较慢。余泽东^[4]对图像进行二值化形态学预处理后,通过 Otsu 算法和 Hu 不变矩筛选出交通信号灯区域,并依据在 HSV 颜色空间中 H 分量对不同的颜色具有不同的分布这一特性判断出信号灯的类型,但这种方法容易受到复杂背景的干扰,且在光照强度大的情况下,不易判别颜色。Guo 等^[5]在 HSV 颜色空间中利用先验颜色阈值对交通信号灯的颜色进行滤波,获取到候选区域,并采用梯度直方图(HOG)特征和支持向量机(SVM)特征对交通信号灯的状态进行识别,但该方法容易受到复杂背景干扰,识别率低。吴泽峰等^[6]在源图像归一化后,采用 RGB 颜色空间对交通信号灯的颜色进行分割,并利用交通信号灯在背景板中的位置固定特征,提取水平和垂直方向上的投影特征值,最后通过模板匹配对交通信号灯进行识别,但该方法受拍摄时光线、距离等因素影响,适用性不佳。吴国庆等^[7]利用交通灯不同颜色在 RGB 颜色空间下通道直方图分布差异筛选出交通信号灯的颜色,再采用 Radon 变换对目标区域进行形状特征的滤波,从而识别出交通信号灯的状态,但该方法容易受到光照的影响,不利于颜色的提取。

针对以上国内外研究中光照、复杂背景等因素影响交通信号灯识别的问题,本文提出了一种基于图像增强的交通信号灯识别方法。首先,对源图像进行感兴趣区域提取,并采用改进的迭代法对源图像进行二值化;其次,在 HSV 颜色空间中对颜色通道进行分离并增强 V 通道分量再合并通道提取交通信号灯的颜色;最后,结合源图像两次处理的结果,提取轮廓筛选出两次结果中的共有区域,即交通信号灯的候选区域,并根据候选区域的外接矩形面积、宽高比对候选区域进行筛选,从而识别出交通信号灯。本文通过颜色增强与改进迭代法结合并筛选几何特征的方法,不仅提高了交通信号灯在光照影响下的识别准确率,而且在复杂环境下也具有较好的识别性能,同时,也保证了交通信号灯识别的实时性。

1 算法原理

1.1 确定感兴趣区域

感兴趣区域(ROI)是图像中的某一特定区域,对源图像提取 ROI 并进一步分析减少了图像处理算法的复杂性。在城市交通道路中采集到的图像中包含有车辆、路牌、树木等一些物体,而交通信号灯仅在图像中占据微小的部分,为了减少环境中无关物体的干扰,只对交通信号灯存在的区域进行图像处理。

由于城市道路交通信号灯的安装高度不低于 3 m^[8],在合理调整摄像头的安装位置及角度后,通过分析采集到图像表明交通信号灯的位置通常出现在图像上方 1/3 区域^[9],如图 1 所示。

为了防止图像中交通信号灯信息的丢失,本文将交通信号灯的感兴趣区域设置在图像上方 1/2 区域,如图 2 所示。

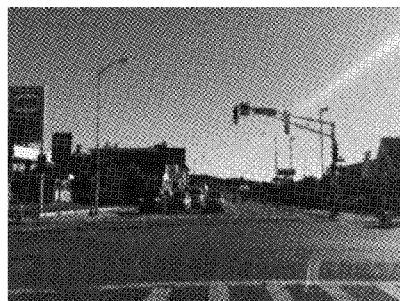


图 1 交通信号灯原图



图 2 确定感兴趣区域(ROI)

其坐标表达式如式(1)所示。

$$\begin{cases} X = 0 \\ Y = 0 \\ w = w_{src} \\ h = h_{src} \times 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

其中, X 、 Y 、 w 、 h 分别表示处理后图像的左上角 X 坐标、左上角 Y 坐标、图像的宽、图像的高, w_{src} 、 h_{src} 表示输入的原图像宽和高。

1.2 阈值分割

在图像确定出感兴趣区域之后需要对其进行二值化处理,而二值化处理则是选取合适的阈值对图像的前景和背景进行分割^[10],阈值选取的方法有人工经验选取和自适应阈值选取。人工经验选取需要对图像中的像素分析,设定一个阈值区间,在区间内不断地选取阈值获取二值化图像,通过对比对不同阈值下的二值化图像,选取出最佳阈值,该方法虽然可行,但在操作过程中耗费时间长且适用性差。因此,本文选用迭代法进行自适应阈值分割,对不同的图像可以根据其特点选出阈值,效率较高。为了保证图像在光照不均匀的情况下也能较好的选取出合适的阈值,本文通过对迭代法进行改进,减少光照对图像的影响,具有良好的效果。

首先,在对图像进行二值化之前,需要将原图像通过灰度化处理转化为灰度图像。根据人眼对颜色的感知情况,本文对图像进行灰度化时选用加权平均法,并依据人眼对绿色的感知程度高,对蓝色的感知程度低的准则对颜色权重进行分配,如式(2)所示。灰度化图像如图 3 所示。

$$\text{Gray}(i, j) = 0.3R(i, j) + 0.59G(i, j) + 0.11B(i, j) \quad (2)$$

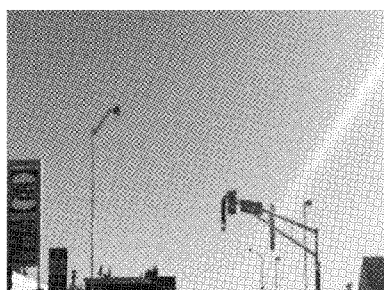
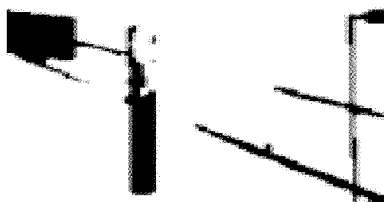


图3 灰度化图像

接着,在灰度化图像上,采用迭代阈值法分割的图像如图4(a)所示,其分割局部效果如图4(b)所示。



(a) 迭代法阈值分割效果



(b) 阈值分割局部效果

图4 迭代法阈值分割效果图

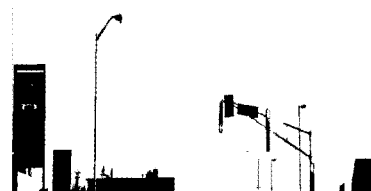
通过分析图像,交通信号灯在受到光照的影响时,二值化后的效果不能将前景交通信号灯区域与背景物体区域有效的区分开来,影响交通信号灯的状态识别。因此,本文提出了一种改进的迭代法对图像进行阈值分割,在光照不均匀的情况下,也能将交通信号灯区域分离出来。

迭代法在进行每一轮迭代阈值 T_i 的选取是分别取背景区域像素均值 m_0 与前景区域像素均值 m_1 的 $1/2$ 并进行加和得到的。背景区域像素均值与前景区域像素均值的权重各为 0.5 , 表达公式如式(3)所示。

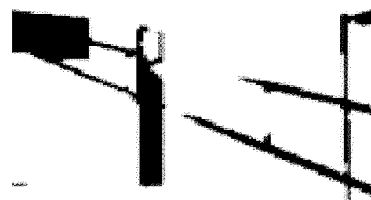
$$T_i = \frac{1}{2}(m_0 + m_1) = 0.5m_0 + 0.5m_1 \quad (3)$$

为了减少图像中不均匀光照对阈值分割的影响,本文让阈值接近图像前景,因此,增大前景区域像素均值 m_1 的权重,并相应的减少背景区域像素均值 m_0 的权重,经过实验测试,将前景与背景的权重分别调整为 0.7 和 0.3 ,即可有效的将交通信号灯区域从背景中分离出来,表达式如式(4)所示。改进后的迭代法阈值分割效果如图5所示。

$$T_i = 0.3m_0 + 0.7m_1 \quad (4)$$



(a) 改进后的迭代法阈值分割效果



(b) 改进后阈值分割局部效果

图5 改进后迭代法阈值分割效果图

1.3 颜色分割

交通信号灯的颜色筛选是识别交通信号灯的重要部分,因此,合适的颜色空间选择有利于对交通信号灯的颜色分割。RGB颜色空间是最基础的颜色空间,它将生活中可见的颜色用R(红)、G(绿)、B(蓝)3种最基本的颜色进行混合叠加形成。但由于R、G、B3个分量的相关程度较高,当其中的某一分量受到光照等因素的影响发生变化时,颜色也会发生变化,在分析交通信号灯的颜色时,较为复杂,不利于颜色分割。而HSV颜色空间则解决了RGB颜色空间的问题,通过H(色调)、S(饱和度)、V(明度)3个分量来描述颜色,且3个分量之间的相关程度小,可以根据交通信号灯红、绿、黄3种颜色在HSV颜色空间中的取值范围不同,将交通灯的颜色分割出来。因此,本文选取HSV颜色空间将原图(图2)进行图像转换^[11],转换后的图像如图6所示。



图6 HSV颜色空间图像

由于交通信号灯部分受到光照的影响,图像中的亮度信息不均衡,在HSV颜色空间中,交通信号灯的颜色与其实际颜色出现偏差,不利于颜色的筛选。为了解决这一问题,本文采取对HSV颜色空间下明度V通道增强的方法,将图像中光照均匀分布,准确且有效的筛选出颜色。

在HSV空间下分离H、S、V三通道^[12],V通道分离图像与其像素灰度直方图如图7所示。

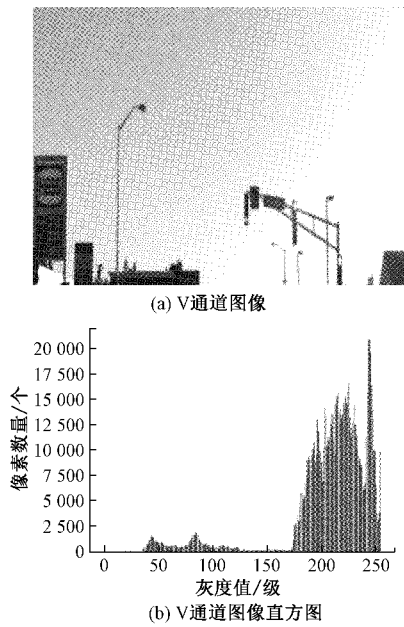


图 7 HSV 颜色空间处理

根据图 7 可以看出,在明度通道 V 下,图像像素的灰度值集中分布在 170~250 之间,表明了图像中存在局部过亮的部分,亮度信息不均匀,因此,对 V 通道图像进行直方图均衡化,将集中分布在 170~250 的灰度值均匀分布在图像的整个灰度范围内,消除了图像中不均匀的亮度信息,增强了交通信号灯的颜色。V 通道图像均衡化步骤如下:首先,在 HSV 颜色空间中,分离出明度 V 通道,并统计 V 通道图像中各灰度值所对应的像素个数,统计结果如图 7(b) 所示;其次,利用灰度变换函数将直方图归一化,计算出均衡化后图像中各像素点的灰度值,再次统计各灰度值对应的像素个数;最后,输出均衡化后的直方图。计算公式如下所示。

假设 V 通道图像中的像素个数为 N ;图像中灰度值 L 的取值范围为 $[0,1]$;灰度值为 r_k 的像素数目为 n_k ,则灰度值 r_k 的像素个数出现的概率表达式如式(5)所示。灰度变换函数 $T(r_k)$ 表达式如式(6)所示。

$$Pr(r_k) = \frac{n_k}{n}, 0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, \dots, l-1 \quad (5)$$

$$T(r_k) = \sum_{j=0}^k Pr(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, 0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, \dots, l-1 \quad (6)$$

利用 $T(r_k)$ 将 V 通道图像均衡化,并计算出 V 通道图像像素的灰度值以及其对应的像素个数。均衡化后 V 通道的图像和直方图如图 8 所示。

将 V 通道增强后,再与 H、S 通道合并,形成新的 HSV 颜色空间,并在新的空间模型下对源图像进行转换。转换后的图像如图 9 所示,可以看出,与传统的在 HSV 颜色空间下转换源图像相比(图 6),增强 V 通道后在 HSV 空间

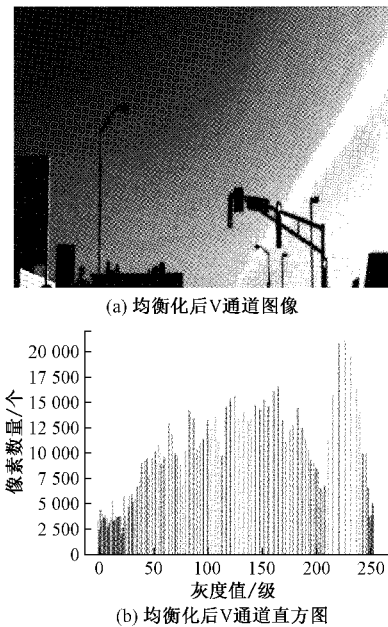


图 8 V 通道增强后效果图

下,减少了光照不均匀对图像质量的影响,交通信号灯的颜色信息比传统方法更清晰,对交通信号灯的颜色筛选具有良好的效果。



图 9 新的 HSV 颜色空间图像

源图像转换到 HSV 颜色空间后,利用交通信号灯的颜色特征及 HSV 颜色范围分布表,确定图像的颜色筛选范围^[13]。假设 Lower 为颜色下边界,Upper 为颜色的上边界,经过实验调试,本文将交通信号灯颜色的下边界阈值范围分别设置为 $[63, 0, 0]$ 、 $[60, 241, 217]$ 、 $[68, 131, 95]$,上边界 H 通道的阈值分别设置为 120、102、107,S 和 V 通道的上边界阈值均为 255。HSV 颜色筛选范围如表 1 所示。

表 1 交通信号灯 HSV 颜色筛选范围

信号灯颜色	下边界 Lower	上边界 Upper
红灯	$[63, 0, 0]$	$[120, 255, 255]$
绿灯	$[60, 241, 217]$	$[102, 255, 255]$
黄灯	$[68, 131, 95]$	$[107, 255, 255]$

在颜色筛选后,为消除源图像中其他物体对图像造成的噪声杂点,本文采用形态学处理来解决此问题。形态学

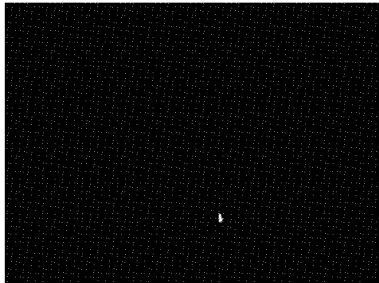
处理是利用基本的膨胀和腐蚀操作对图像进行的预处理工作,主要的运算操作开运算、顶帽、闭运算等都是基于膨胀和腐蚀操作完成的。膨胀和腐蚀的表达公式如式(7)与式(8)所示。

$$\text{膨胀: } A \ominus B = \{x: B(x) \subset A\} \quad (7)$$

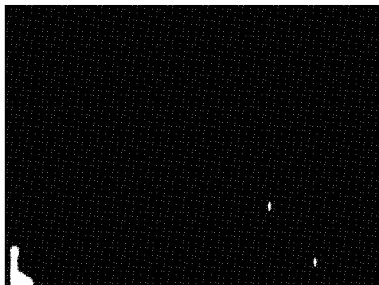
$$\text{腐蚀: } A \oplus B = \{y: B(y) \cap A \neq \phi\} \quad (8)$$

式中: A 为预处理图像像素点集合; B 为结构元素; x, y 为预处理图像中的每一个像素点。

通过式(7)、(8)进行先腐蚀后膨胀操作所形成的开运算处理可以有效的将图像中噪声杂点滤除掉;而先进行膨胀后腐蚀所形成的闭运算操作可以使被误分成许多小块的交通信号灯连接在一块。因此,本文采用先进行开运算后进行闭运算的操作,处理颜色筛选后的图像。其中为了能够遍历预处理图像中的每一个像素点,本文选取矩形形状的结构元素,并且根据预处理图像的大小,将结构元素的大小选取为 5×5 。形态学处理颜色筛选后的图像如图 10 所示。



(a) 绿色交通信号灯筛选结果



(b) 红色交通信号灯筛选结果

图 10 形态学处理颜色筛选后的图像

1.4 交通信号灯识别

经过以上部分的图像处理操作后,获取到源图像分别经过二值化和颜色分割处理后的两张图像。通过对比两张图像中的二值化信息,筛选并判断出交通信号灯区域。交通信号灯识别流程如图 11 所示。

本文将源图像经过双处理后获取到的图像分别记为 A 和 B 。假设 A = 源图像二值化后的图像,包含源图像中所有物体的二值化信息; B = 源图像颜色分割后的图像,包含源图像中交通信号灯颜色的二值化信息。首先,由于交通信号灯是一个实心的发光体,二值化后的图像形成一个连通区域,因此,仅需对 A 和 B 分别提取外部轮廓。其次,遍历 A 和 B 两张图像中的像素信息,若两个像素信息的位置

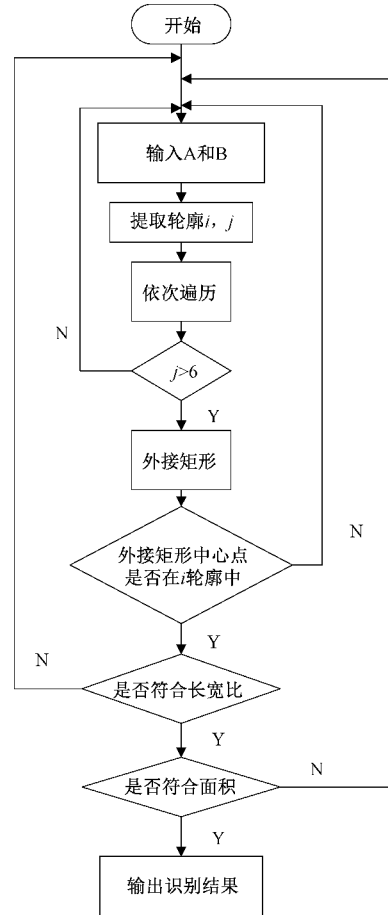


图 11 交通信号灯识别流程

差小于 1,则表明这两个像素点处于同一轮廓上,依次提取出图像中所有信息的轮廓。最后,将 A 和 B 两张图像中的轮廓信息分别存储在一个 list 中,其中每一个元素表示一个轮廓,记为 i 和 j 。

由于 A 和 B 两张图像中的二值化信息有相同区域也有不相同区域,且在颜色分割部分筛选出与交通信号灯颜色相同的部分,因此需要通过对比两张图像过滤掉不属于交通信号灯的部分,所以通过在 A 中的第 i 个轮廓中判断 B 中所有的轮廓像素,若 B 中存在轮廓像素大于 6,则对该轮廓进行外接矩形^[14],并判断该外接矩形的中心点是否在 A 中第 i 个轮廓中的内部或边缘,若存在,则表示 A 和 B 中有相同区域,该区域即为交通信号灯候选区域,完成第 1 步筛选。

在候选区域经过外接矩形后,根据交通信号灯的几何特征,对外接矩形框的面积和宽高比范围进行设置^[15],将不在设置范围内的区域过滤掉。通过对数据集的分析以及多次的实验调试后,本文将宽高比 $Ratio$ 的范围设置在 $0.7 \sim 1.3$,完成第 2 步筛选;将面积 $Area$ 的范围设置在 $140 \sim 1\ 000$,完成第 3 步筛选。如果候选区域的外接矩形框在范围之内,则输出的交通信号灯显示为本文最终的识别结果。宽高比以及面积范围的数学表达式如式(9)、(10)所示,其中 w, h 分别表示候选区域外接矩形框的宽和高。

$$\text{宽高比: } 0.7 \leq \text{Ratio} = w/h \leq 1.3 \quad (9)$$

$$\text{面积: } 140 \leq \text{Area} = w \times h \leq 1\ 000 \quad (10)$$

本文经过以上过程,可以将交通道路中的交通信号灯有效识别出来,但识别后需要对识别结果进行提示,用以提示驾驶者。因此,本文设计了界面将识别结果显示。在界面中主要显示部分为识别出的交通信号灯颜色,即红、黄、绿 3 种颜色。根据界面的大小将 3 种颜色的显示位置进行分布,其中红灯的显示位置为 $X=310, Y=160$,若有识别出红灯,则在界面中显示“Please stop”,位置为 $X=240, Y=360$;黄灯的显示位置为 $X=310, Y=0$;绿灯的显示位置 $X=310, Y=80$ 。交通信号灯识别结果界面显示位置如表 2 所示。

表 2 交通信号灯识别结果界面显示位置分布

识别结果	结果显示	显示坐标位置	结果提示	提示坐标位置
红灯	red	$X=310, Y=160$	Please stop	$X=240, Y=360$
绿灯	grcen	$X=310, Y=0$	无	无
黄灯	yellow	$X=310, Y=80$	无	无

2 分析与讨论

本文的软件实验环境为 Windows10 操作系统,采用 Python 语言对算法进行设计,在 Pycharm 运行环境中实现。数据集采用公开数据集:城市道路交通信号灯数据集和 Lara 数据集。

城市道路交通信号灯数据集均是背景较为简单,干扰较少的环境,本文采用含有交通信号灯的六段视频序列,共 1 234 帧图像,交通信号灯个数为 3 625 个,图像分辨率为 $1\ 920 \times 1\ 080$;Lara 数据集场景大多是城市中的复杂环境。数据集中包含 11 179 帧,交通信号灯个数为 8 661 个,图像分辨率为 640×480 。本文针对这两种处于不同环境下的交通信号灯实验数据集进行分析。两个实验数据集信息如表 3 所示。

表 3 实验数据集信息

数据集	环境	分辨率
城市道路数据集	光照影响	$1\ 920 \times 1\ 080$
Lara 数据集	环境复杂	640×480

本文采用的公开数据集均在白天的各种自然背景环境,基于以上两种不同环境下的数据集对本文的交通信号灯检测与识别算法进行实验分析。由于文献[4]与本文算法均采用传统算法对交通信号灯识别,而文献[4]采用 Ostu 算法和 Hu 不变矩筛选出信号灯区域,并根据在 HSV 颜色空间中 H 分量对不同的颜色有不同的分布特性,对交通信号灯的颜色进行判断并完成识别,在针对交通信号灯识别问题上与现有其他算法相比具有较高的识别准确率。因此,本文通过在不同数据集下对本文算法与文献[4]算法的实验结果进行分析比较,其中文献[4]的识别率为 96%,平均耗时为 119 ms,而本文算法的识别率为 97.05%,平均耗时为 157 ms。实验结果比较分析如表 4 所示。

表 4 实验结果比较分析

数据集	信号灯总数	文献[4]识别率/%	文献[4]平均耗时/ms	本文识别率/%	本文平均耗时/ms
城市道路数据集	3 625	96.1	120	97.30	153
Lara 数据集	8 661	95.9	118	96.80	160
总计	12 286	96.0	119	97.05	157

在城市道路数据集中,交通信号灯均处于在白天光照良好的情况,但良好的光照会使交通信号灯所受光照不均匀,导致交通信号灯颜色不饱和,不利于将交通信号灯从图像中分割出来,而本文则良好的解决了这一问题。对本实验数据集进行识别实验,部分典型的在城道路交通信号灯识别结果如图 12 所示,其中图 12(a)为原图像,图 12(b)为识别结果图,图 12(c)为识别结果的界面显示图。

在 Lara 数据集中,交通信号灯所处的城市环境干扰较多、车辆较多、背景复杂,在进行交通信号灯的识别时,容易造成误检及漏检,而本文基于图像增强的交通信号灯识别算法则大大提高了交通信号灯的识别准确率。对本实验数据集进行识别实验,部分典型场景的识别结果如图 13 所示,其中图 13(a)为原图像,图 13(b)为识别结果图,

图 13(c)为识别结果的界面显示图。

为了保证本文算法的可靠性,选取了日常生活中受光照影响以及复杂背景两种场景下的图片进行测试,经实验测试,本文算法在两种场景下都具有良好的识别性能。两种场景下部分图像的识别效果如图 14、15 所示,其中图 14(a)、15(a)为原图像,图 14(b)、15(b)为识别结果图,图 14(c)、15(c)为识别结果的界面显示图。

由以上实验结果显示分析可以看出,本文采用的算法在城市道路数据集和 Lara 数据集两个不同的公开数据集下均比文献[4]传统的基于 Ostu 算法^[16]和 Hu 不变矩^[17]的方法识别率更高,并且相比于 Lara 数据集中背景干扰多,造成交通信号灯漏检情况多的情况,在干扰较少的城市道路数据集中,本文的算法识别效果更好,但总体来说,

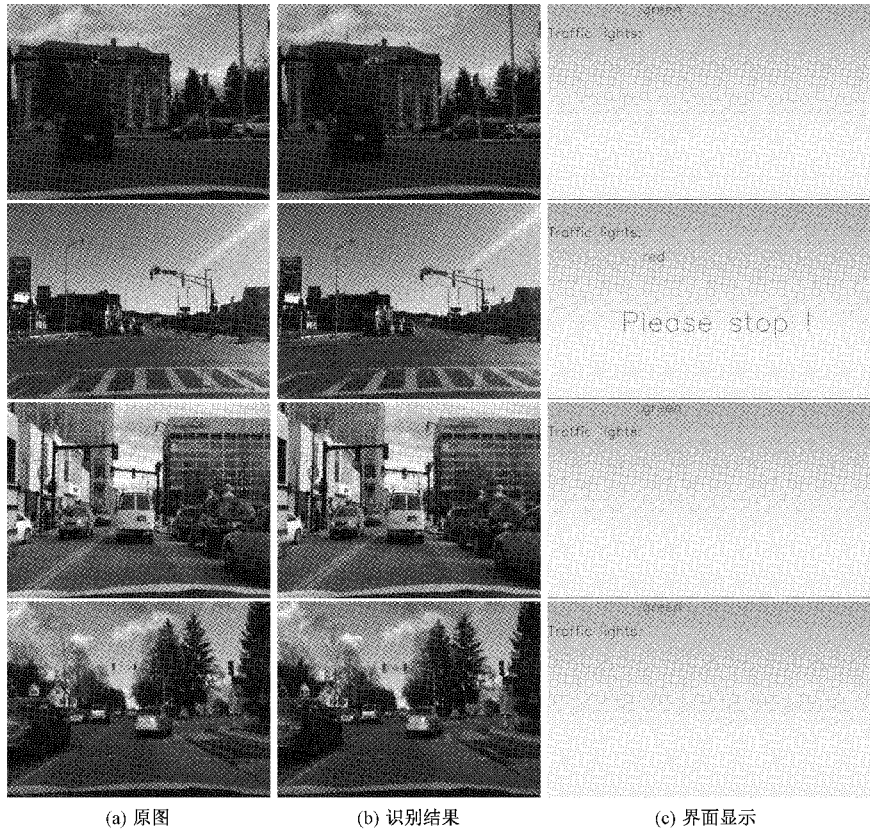


图 12 城市道路数据集下交通信号灯识别结果

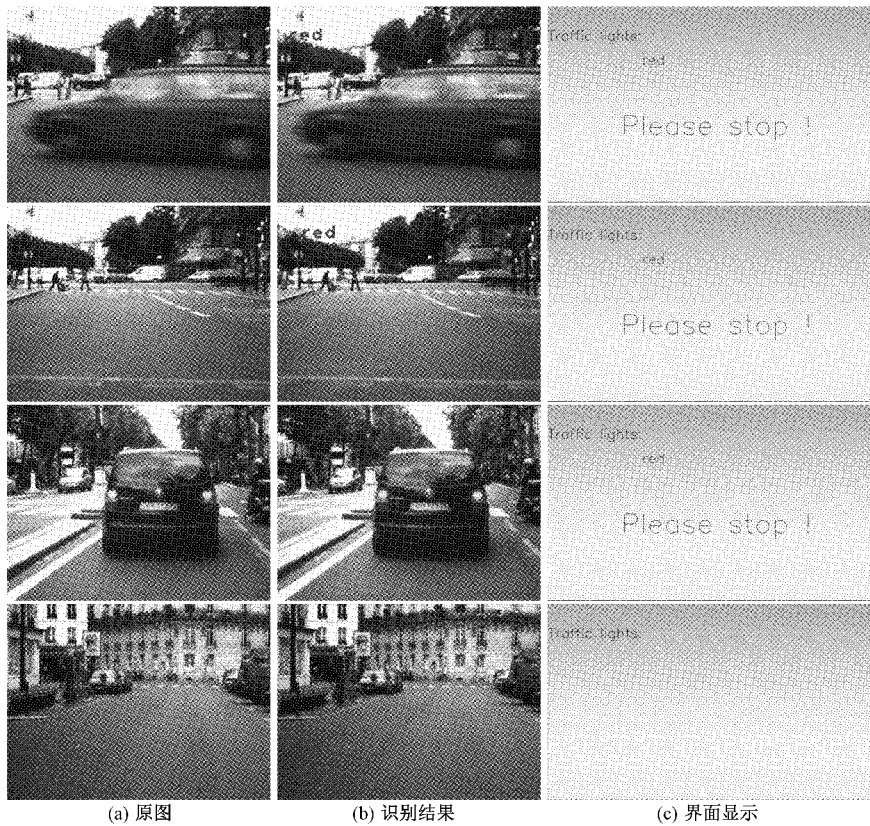


图 13 Lara 数据集下交通信号灯识别结果

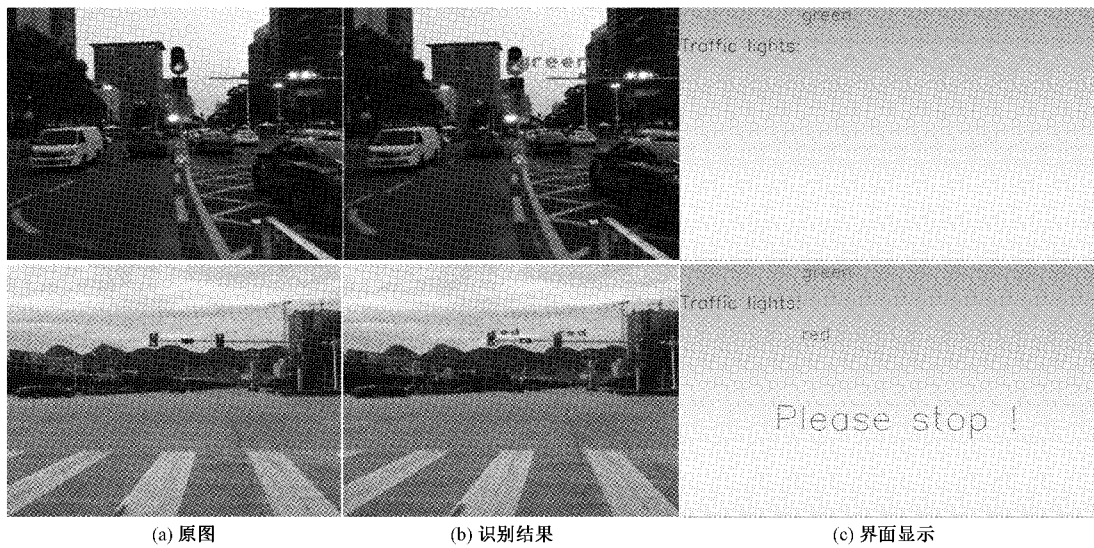


图 14 光照影响下交通信号灯识别结果

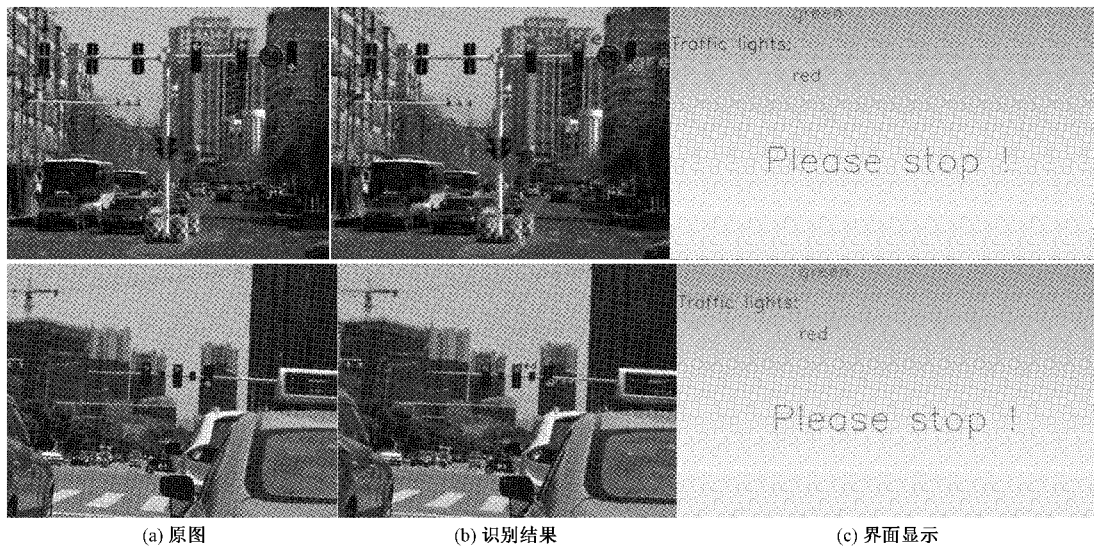


图 15 复杂背景下交通信号灯识别结果

本文采用的颜色增强与改进的迭代法结合的算法,有效地减少了光照不均匀对交通信号灯的影响,使得交通信号灯的识别率达到 97.05%,并且该算法在实时性上与文献[4]相接近,对同一张交通信号灯的图片处理速度耗时相差 0.038 s,均可保证算法的实时性。因此,本文算法相比于其他传统的算法识别效果更优。

3 结 论

本文针对城市交通道路中的交通信号灯图像,提出了一种基于图像增强的交通信号灯识别算法。该算法通过对 HSV 图像中的 V 通道进行增强使不均匀的光照均衡化,并结合颜色分割和改进迭代法后的图像结果筛选出信号灯候选区域,对候选区域进行几何特征判断,使交通信号灯能够在复杂背景下有效识别,在一定程度上提高了交

通信号灯的识别准确率。以上实验结果表明,本文算法在受到光照、复杂环境的干扰下均能够准确且高效地识别出交通信号灯。但是,本文算法的实时性仍需进一步的提高,未来工作的重点会在深度学习和目标识别等方面深入研究,并针对不同类型的交通信号灯进行识别,提高交通信号灯的识别性能。

参考文献

- [1] 麦树彬. 基于双目视觉的色盲辅助技术的研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.
- [2] 胡瑞海. 汽车追尾事故的仿真分析[J]. 机械制造, 2021,59(2):35-37.
- [3] JIA L,DONG Y. A new night traffic light recognition method[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019,1176(4):62-66.

- [4] 余泽东. 基于 otsu 算法和 Hu 不变矩的交通信号灯识别[J]. 武汉大学学报(工学版), 2020, 53(4): 371-376.
- [5] GUO M, ZHANG X Y, LI D Y, et al. Traffic light detection and recognition for autonomous vehicles[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2015, 22(1): 50-56.
- [6] 吴泽峰, 张重阳, 许明文. 基于投影特征值的交通信号灯检测与识别方法[J]. 现代电子技术, 2016, 39(9): 160-163.
- [7] 吴国庆, 王星星, 张旭东, 等. 基于图像处理的交通灯检测技术[J]. 现代电子技术, 2017, 40(8): 103-106.
- [8] 廖茂全. 道路交叉口信号灯设置规范及其设计研究[J]. 消防界(电子版), 2019, 5(5): 41-42.
- [9] 孟江曼. 基于视觉的交通信号灯检测与识别系统的设计与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.
- [10] BARROS W, DIAS L A, FERNANDES M. Fully parallel implementation of otsu automatic image thresholding algorithm on FPGA[J]. Sensors, 2021, 21(12): 4151-4152.
- [11] 顾明, 郑林涛, 尤政. 基于颜色空间转换的交通图像增强算法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(8): 1901-1907.
- [12] 董晓玉, 孔斌, 杨静, 等. 小尺度交通信号灯的检测与状态识别[J]. 测控技术, 2020, 39(11): 45-51.
- [13] 张杜娟. 基于肤色模型与颜色空间的目标识别算法[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(10): 54-58.
- [14] 乔允浩. 基于车载视觉的红绿灯自动识别技术研究[D]. 厦门: 厦门理工学院, 2018.
- [15] 吴磊, 张震, 程伟伟, 等. 圆形交通标志牌识别系统的仿生设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(3): 454-460.
- [16] 刘明兴, 刘泽平, 李斌, 等. 基于 OTSU 处理不均匀光照图像改进算法研究[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2020, 35(3): 27-32.
- [17] 冯霞飞. 复杂环境中交通信号灯的识别[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2018.

作者简介

刘珂琪, 硕士, 主要研究方向为图像处理。

E-mail: 1608302205@qq.com

董绵绵, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为无线通信与信息处理。

E-mail: dong_mm@aliyun.com