

文章编号: 2096-1618(2024)06-0702-10

基于颜色空间结合的地面交通标志检测算法

王晓娅, 任锐, 文成玉

(成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:针对传统的检测算法存在过度引入噪声,以及错误地进行边缘定位而导致误检、漏检等现象,提出一种基于 HSL 和 Lab 颜色空间结合的地面交通标志检测算法。区别于传统的检测算法利用物体的物理特征对物体进行边缘响应而达到检测目的,该算法高度依赖物体的颜色特征,对带有鲜明颜色特征的物体的检测效果较优。观察发现,路面上的交通标志,车道线、斑马线等往往都是明亮的白色和黄色,因此,该算法可以更好地应用于实际交通场景下的地面交通标志。实验结果表明,该算法针对普通场景和复杂场景下的地面交通标志检测的效果均优于传统检测算法,对噪声的抗干扰能力以及对真实边缘的定位能力更强。

关键词:边缘检测;颜色空间;交通标志;HSL;Lab

中图分类号:TP391.9

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2024.06.009

0 引言

随着时代的发展,车辆占据比例日趋增加,汽车行进道路路况复杂,交通标线种类繁多且年久失修等因素使驾驶员疲于应对,自动驾驶技术应运而生。该技术极大地提高了出行成本和效率,增加了人们的出行体验感,减少了拥堵、交通事故等发生概率。而地面交通标志是自动驾驶技术的研究核心之一。因此,对地面交通标志自动且精准的检测与识别,有着十分深远的研究意义。针对地面交通标志检测方法的研究,王棚飞等^[1]提出一种结合先验知识和图像匹配的地面交通标志检测识别方法,为克服光线变化影响,采用自适应阈值二值化进行交通标志提取,再通过图像匹配完成导航箭头标志的识别分类;罗文婷等^[2]基于 Canny 算法,通过将过滤噪声的方式由高斯滤波替换为维纳滤波的改进,提高了算法获取图像阈值的适应力度。这些传统的地面交通标志检测算法的应用场景并不多,不能很好地对其进行迁移使用,存在很多局限性。

就地面交通标志而言,其本身带有极强的边缘特征。因此,基于理论分析,对带有交通标志的图像可以使用传统的边缘检测算法对其检测,边缘可以通过一阶导数或二阶导数检测得到。基于一阶导数的检测方法是查找图像最大值或最小值作为对应的边缘位置,将边界定位在梯度最大的方向。基于二阶导数的检测方法则采用拉普拉斯算子过零点或者非线性差分表示的过零点来进行边缘检测。在实际的交通场景检测任务中,路面会存在各式各样的非交通标志,如下水道井盖、树木或汽车投射于路面的阴影等。这些非交

通标志会对智能交通系统的检测产生一定程度干扰,即视为噪声干扰。噪声在数字信号处理的过程中同交通标志一样,表现为高频信号,所以传统的边缘检测算法在实际检测任务中同样对噪声的边缘产生响应,从而造成检测效果不理想。

为得到更理想的检测效果,于善新等^[3]在传统的 Canny 算法的研究基础上,提出 Canny-Cauchy 算法,对椒盐噪声图像进行自适应中值滤波预处理,再用柯西分布函数的一阶导数作为边缘检测函数,以抑制噪声;郑欢欢等^[4]将 Sobel 算子由原本的 3×3 模板替换为 5×5 模板,减少了噪声的平滑效果;文永革等^[5]使用 Roberts 算子通过充分考虑 8 个的邻域信息来抑制噪声干扰。这些传统的基于微分算子的边缘检测算法,虽然在抗噪性能方面有一定的进步,但在某些检测任务中因为图像梯度变化过大,过度地响应边缘从而产生错误的边缘,同样会导致检测效果不达标。

针对上述问题,本文旨在研究和分析基于 HSL 和 Lab 颜色空间结合的方法分别在普通场景和复杂场景下地面交通标志检测中的应用。将探讨不同的方法和技术,包括颜色空间转换、颜色特征提取等,以提高交通标志的检测准确性和鲁棒性。同时,将讨论可能的挑战和限制,并提出未来研究的方向和潜在的改进方法。通过对基于 HSL 和 Lab 颜色空间结合的交通标志检测算法的深入研究,可以为提高道路交通安全性和智能化水平做出贡献,并为智能交通系统的发展提供有力的支持。

1 相关工作

颜色空间是一种将颜色、视觉和机器或者其他编码方式结合起来的颜色描述模型。基于颜色空间的检

测算法是一种常用的计算机视觉技术,用于识别和跟踪特定颜色的物体或区域,具体实现过程是对目标图像的所有像素点进行筛选,将符合特定阈值的像素设置为白色,不符合的像素点设置为黑色。常见的颜色空间包括 RGB、HSL、Lab 等,如图 1 所示。

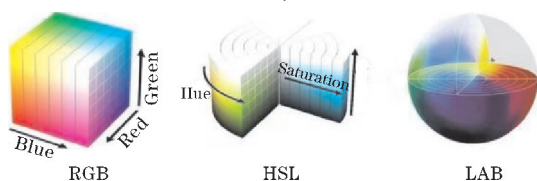


图1 3种颜色空间示意图

从文献的研究来看,颜色空间被广泛应用于人脸、文本或车牌识别、基于内容的图像恢复及增强(亮度增强、色彩增强)、医学影像的再研究等。GARG A 等^[6]利用颜色空间中的 HSL 空间,对低亮度图像进行图像亮度增强操作。Lu G 等^[7]基于 Lab 颜色空间,去掉 L 通道,统计颜色空间下剩余分量通道的直方图,并寻找直方图里的峰值将其与对应颜色和场景进行匹配,通过两步操作实现对行人的检测。在实际应用中,颜色空间偏好及其优化取决于具体应用场景。

1.1 RGB 颜色空间

RGB 颜色空间是一种将颜色表示为红色、绿色和蓝色 3 个通道的颜色模型。在 RGB 颜色空间中,每个像素由 3 个分量表示,可以用一个由 3 个数字组成的元组来表示,其中,数字的取值范围为:0~255,元组中数字的大小分别对应红、绿、蓝 3 种颜色的强度值。(255,0,0)表示红色,(0,255,0)表示绿色,(0,0,255)表示蓝色。基于 RGB 颜色空间的检测算法通常使用阈值分割来实现物体的检测,即将图像中所有像素点的 RGB 值与预设的阈值进行比较,只有符合要求的像素点才被认为是物体的一部分。RGB 颜色空间通常用于显示器和数字图像处理中,因为电脑屏幕上显示的颜色都是由红、绿、蓝 3 种颜色的光合成而成。在数字图像处理中,可以使用基于 RGB 颜色空间的算法来进行图像处理和分析。如图像的增强、滤波、边缘检测、物体检测和分割等。

尽管 RGB 颜色空间的描述简单方便,但它不是一个感知的颜色空间,这意味着 RGB 具有不均匀的颜色分布,与人类视觉系统不匹配。该颜色空间下的图像易受光照强度的影响,从理论上讲,若应用于实际的交通场景的鲁棒性和普遍性将会不那么理想,因为交通场景会随天气的变化而产生不同的光照强度。

1.2 HSL 颜色空间

HSL 颜色空间则是将颜色信息表示为色相 H、饱和度 S 和亮度 L 3 个通道的颜色模型。在 HSL 颜色空间中,H 通道表示颜色在色轮上的位置,通常取值范围

为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。在色轮上, 0° 表示红色, 60° 表示黄色, 120° 表示绿色, 180° 表示青色, 240° 表示蓝色, 300° 表示洋红色。H 通道可以用于确定颜色的基本色调;S 通道表示颜色的饱和度或纯度,通常取值范围为 0~100%,该通道用于描述颜色的鲜艳程度或浓淡程度,值越高表示颜色越鲜艳,越低表示颜色越灰暗;L 通道表示颜色的亮度或明度,通常取值范围为 0~100%。L 通道用于描述颜色的明亮程度或暗淡程度,值越高表示颜色越明亮,越低表示颜色越暗淡。HSL 颜色空间的优点在于将颜色信息的亮度和饱和度分离出来,使算法更加稳健和灵活,具有更好的人类可读性和理解性,同时可以更方便地进行颜色操作和调整。HSL 颜色空间也常用于检测具有特定颜色的物体或区域,如草地、天空、皮肤等。

该颜色空间模型是 RGB 颜色空间的非线性转换。HSL 颜色空间具有敏锐、非线性和依赖机器的三大特征,通常用于颜色可视化领域,该颜色空间从不同颜色信息里消除了光照强度的影响,增强了彩色阈值的抗干扰能力,降低了噪声的灵敏度。

1.3 Lab 颜色空间

Lab 颜色空间是一种将颜色表示为亮度 L、色度 a 和色度 b 的三通道颜色模型。它是一种无偏差的颜色空间,可以更好地反映人类视觉系统对颜色的感知特性。在 Lab 颜色空间中,L 通道表示亮度,a 和 b 通道表示颜色的色度,a 通道表示从绿色到红色的变化,b 通道表示从蓝色到黄色的变化,Lab 颜色空间是一种人类视觉系统不敏感的颜色空间,它可以更准确地区分颜色之间的差异。基于 Lab 颜色空间的检测算法通常用于处理一些复杂的场景,如低光照、颜色变化等。

Lab 颜色空间是一个广受喜爱的模型,因为它不仅包含了全面的颜色范围,而且是一种根据人类颜色感知系统的线性表示。最重要的是,当将亮度表示和颜色表示分开时,可以消除由亮度不足或者曝光引起的误差,即:Lab 颜色空间同 HSL 颜色空间一样,也是通道可分离的颜色模型,且光照强度的变化对颜色表示通道影响不大。

2 地面交通标志检测算法

2.1 透视变换

透视变换是一种图像处理技术,可以将一个视角下的图像转换为另一视角下的图像。透视变换通常用于将一个斜着拍摄的图像转换为正面视角的图像,或者将一个非矩形的区域变换为矩形区域,以方便进行图像处理时达到更加理想的效果。定义 (x, y, z) 为原始图像像素点的直角坐标, (X, Y, Z) 为原始图像像素点的齐次坐标, (X', Y', Z') 为变换之后的图像像素点

的齐次坐标。透视变换的通用公式为:

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ 为变换矩阵, 包含3个子矩阵,

分别产生不同的变换作用。 $M_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 用于产生

线性变换, $M_2 = \begin{bmatrix} a_{13} \\ a_{23} \end{bmatrix}$ 用于产生图像透视变换, $M_3 = \begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}$ 用于产生平移。

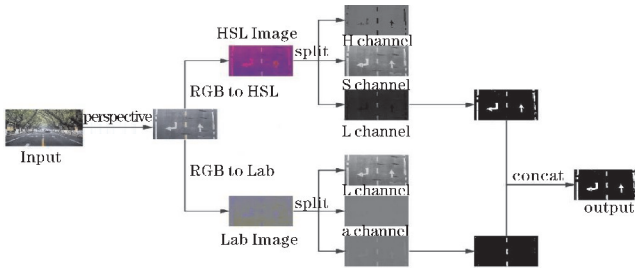


图2 本文算法步骤

将 Z 进行归一化处理, 得到归一化后的齐次坐标点 $X' = \frac{X}{Z}$, $Y' = \frac{Y}{Z}$, $Z' = \frac{Z}{Z} = 1$ 。由于 $Z' = 1$, 如此, 一个二维点在齐次坐标下就可以表示为一个三维向量, 则 (X', Y') 就是原图像对应的像素点的二维平面坐标经过变换后的二维平面坐标:

$$X' = \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \quad (2)$$

$$Y' = \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \quad (3)$$

在透视变换中, 求解出的变换矩阵就可以将一个不规则的图形转换为一个规则的图形。



(a) 原图



(b) 透视变换结果图

图3 透视变换示例

图3(a)就是将一副包含地面交通标志的“透视”图像, 通过定义一个感兴趣区域将感兴趣区域部分图像利用透视变换操作转化为“鸟瞰图”, 便于后续空间检测, 这一操作在一定程度上对检测效果具有一定的提升作用。图中的感兴趣区域包含白色实线、黄色虚线、转弯箭头及直行箭头的区域, 透视变换结果如图3(b)所示。

2.2 颜色空间转换

RGB 颜色空间是图像处理中最基本、最常用、面向硬件的颜色空间。人眼对于这3种颜色分量的敏感程度是不一样的, 在单色中, 人眼对红色最不敏感, 蓝色最敏感, 所以 RGB 颜色空间是一种均匀性较差的颜色空间。如果颜色的相似性直接用欧氏距离来度量, 其结果与人眼视觉会有较大的偏差。对于某一种颜色, 很难推测出较为精确的3个分量数值来表示。所以, RGB 颜色空间适合于显示系统, 却并不适合于图像处理。因此, 基于本实验上一步的透视变换处理后, 先后对图像进行 RGB 颜色空间到 HSL 颜色空间和 Lab 颜色空间的转换。

2.2.1 RGB 到 HSL 的转换

对于 RGB 空间中的一个颜色, 定义它的 RGB 值表示为 (r, g, b) , 其中 r, g, b 的取值是 $[0, 255]$ 。RGB 颜色空间到 HSL 颜色空间的转换过程如下:

首先将 RGB 值标准化为 $[0, 1]$ 的小数值。

$$r' = \frac{r}{255}, \quad g' = \frac{g}{255}, \quad b' = \frac{b}{255} \quad (4)$$

其次选取标准化后的 r', g', b' 值的最大值和最小值, 分别定义为 M, m 。

HSL 颜色空间下的 l, s, h 的公式如下:

$$l = \frac{M+m}{2} \quad (5)$$

$$S = \frac{M-m}{1 - |2l-1|} = \begin{cases} \frac{M-m}{M+m}, & l \leq 0.5 \\ \frac{M-m}{2-M-m}, & l > 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

$$h = \begin{cases} 0, & M=m \\ \frac{g'-b'}{M-m} \times 60^\circ + 0^\circ, & M=r' \text{ and } g \geq b \\ \frac{g'-b'}{M-m} \times 60^\circ + 360^\circ, & M=r' \text{ and } g < b \\ \frac{b'-r'}{M-m} \times 60^\circ + 120^\circ, & M=g' \\ \frac{r'-g'}{M-m} \times 60^\circ + 240^\circ, & M=b' \end{cases} \quad (7)$$

将对图3经透视变换处理的图像进行颜色空间转换,得到如图4所示的HSL颜色空间图像及各通道分离结果。

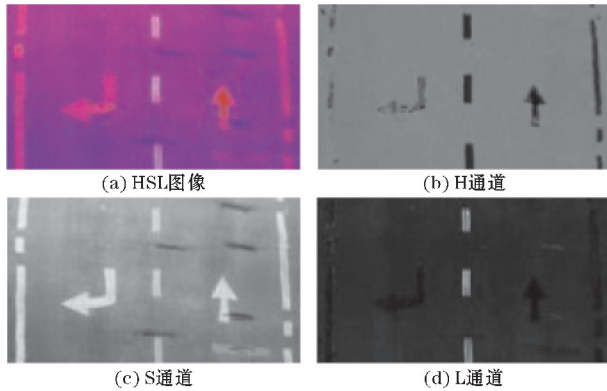


图4 HSL 图像及各通道分离结果

2.2.2 RGB 到 Lab 的转换

RGB 颜色空间不能直接转换为 Lab 颜色空间,需要借助 XYZ 颜色空间。把 RGB 颜色空间转换到 XYZ 颜色空间,之后再吧 XYZ 颜色空间转换到 Lab 颜色空间。RGB 颜色空间到 Lab 颜色空间的转换过程如下:

第一步同式(6)。

其次为解决 RGB 空间的非均匀性问题,对标准化的 RGB 值应用一个非线性转换,通过一个矩阵 Q 将基于 RGB 颜色空间的图像转为 XYZ 颜色空间,其下 x_0 、 y_0 、 z_0 值表示如下:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\text{其中, } Q = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix}$$

基于以上两步操作,计算 x_0 、 y_0 、 z_0 值的白点校正,即将 x_0 、 y_0 、 z_0 值除以参考白点的 XYZ 值,最后进行 Lab 空间的转换,计算 Lab 值,计算公式如下:

$$L = 116 \times f\left(\frac{y_0}{y_n}\right) - 16 \quad (9)$$

$$a = 500 \times \left[f\left(\frac{x_0}{x_n}\right) - f\left(\frac{y_0}{y_n}\right) \right] \quad (10)$$

$$b = 200 \times \left[f\left(\frac{y_0}{y_n}\right) - f\left(\frac{z_0}{z_n}\right) \right] \quad (11)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}}, & t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

其中, $x_n = 95.047$, $y_n = 100.0$, $z_n = 108.883$

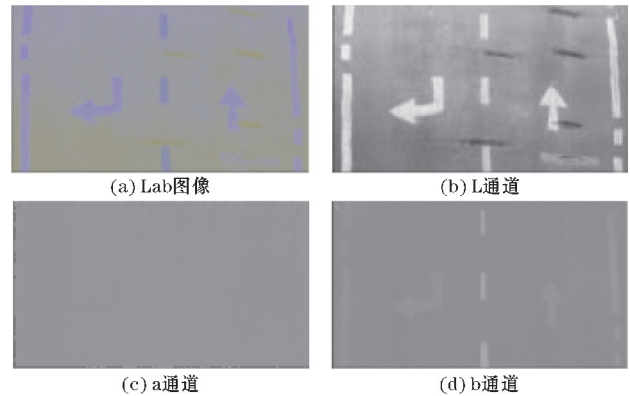


图5 Lab 图像及各通道分离结果

2.3 连通区域分析法

连通区域分析也称为连通组件标记或区域标记,是一种图像处理技术,用于将图像中具有相同像素值且相互连接的像素组织成为连通区域。连通区域分析可以将检测图像分割为不同的区域,从而实现图像中的前景提取,便于后续在图像中追踪道路标志。连通区域分析主要涉及图像的像素连接性和等价关系。连通区域分析的基本思想是遍历图像中的像素,根据像素的连接性和等价关系进行像素的标记和合并,从而识别和分析连通区域。

像素相邻区域(即像素的连接性),用于确定哪些像素应该被视为相邻的,表示像素之间的连接关系。常见的像素相邻有4邻域和8邻域,如图6所示。

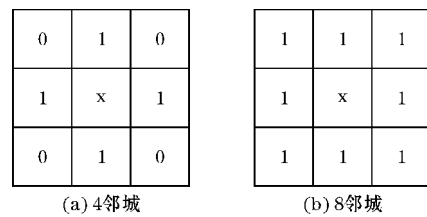


图6 像素相邻区域

等价关系用于确定像素之间的关联性,即哪些像素属于同一个连通区域。在连通区域分析中,通常使用等价关系来判断像素之间是否属于同一连通区域。等价关系可以通过并查集数据结构来实现。

通过利用连通区域的信息,可以实现对图像中的目标、结构和特征的提取和分析,从而实现更加智能和自动化的图像处理和理解。

2.4 基于 HSL 和 Lab 结合的检测算法

在 HSL 颜色空间中, L 通道测量了像素的相对亮度值,用于描述颜色的明亮程度或暗淡程度,值越高表示颜色越明亮,越低表示颜色越暗淡。对于白色物体,它们的亮度值较高,接近最大值。因此,在 L 通道中,

白色物体的像素值较大,而其他颜色的像素值较小。通过对 L 通道进行阈值处理,将亮度较高的像素(即接近白色的像素)提取,实现白色物体的检测。同样地,在 Lab 颜色空间下,b 通道表示从蓝色到黄色的变化。黄色物体在 Lab 颜色空间中的 b 通道值较大,而其他颜色的像素值较小。因此,通过对 b 通道进行阈值处理,可将 b 通道值较大的像素提取,实现黄色物体的检测。基于以上理论分析,针对地面上的交通标志,也可以采用对 L 通道和 b 通道设置合适的阈值的方法,过滤掉像素值较低的其他像素点,保留对应通道下像素值大的像素点,实现基于物体颜色特征的检测。

对一幅图像的颜色空间描述通常以颜色分布直方图的形式来呈现,定义 $h(m)$ 为量化通道颜色分布的确切像素数量, $I(x,y)$ 表示每一个 RGB 像素的颜色分量, T 是从 RGB 颜色空间到 HSL 颜色空间或 Lab 颜色空间的变换, Q 表示像素数量,则表达式如下:

$$h(m) = \sum_{x=0}^{x-1} \sum_{y=0}^{y-1} \begin{pmatrix} 1, m = Q[T \cdot I(x,y)] \\ 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

对图 4 和图 5 分离的各个通道图像进行颜色分布直方图统计,如图 7、图 8 所示。

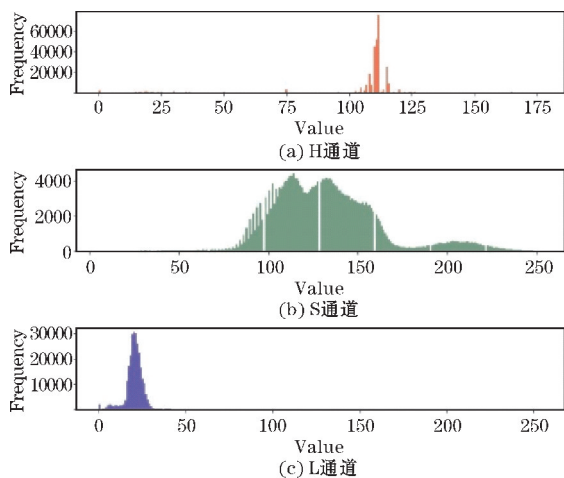


图 7 HSL 颜色空间直方图

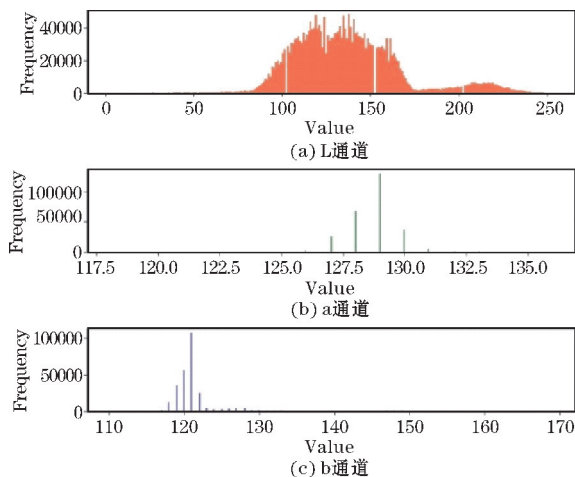
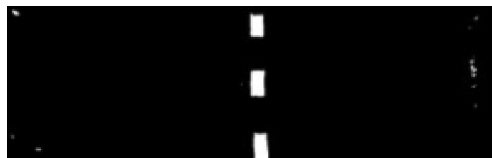


图 8 Lab 颜色空间直方图

在实际的交通场景中,路面上的交通标志基于颜色划分大致只包含白色和黄色两种颜色。即使是在下雨天、阴天等复杂天气的影响下,地面交通标志的颜色特征也是非常明显,并且优于其物理特征。基于以上分析,将一副图像中的白色区域和黄色区域分开处理,使用 HSL 颜色空间下的 L 通道和 Lab 颜色空间下的 b 通道分别进行提取,然后将利用了两个通道提取的图像组合在一幅图像上,就能够得到一个比较好的提取结果。提取结果如图 9 所示。



(a) L 通道结果图



(b) b 通道结果图

图 9 不同颜色空间通道下提取结果

3 实验结果及分析

为验证基于 HSL 和 Lab 颜色空间结合颜色的检测算法在复杂场景下的优越性,设计两组对比实验分别展示边缘检测算法的效果。两组实验分别定位普通场景和复杂场景,基于控制变量原则,对比 Roberts 检测算法、

Sobel 检测算法、Canny 检测算法及本文提出的检测算法的检测效果。同时,本文算法是基于颜色空间进行展开的,为保证本文算法的丰富性和全面性,还增加 3 个基于各自颜色空间单独检测的对比实验。

3.1 普通场景下的检测结果

针对普通场景,选取如图 10 所示的地面交通标志

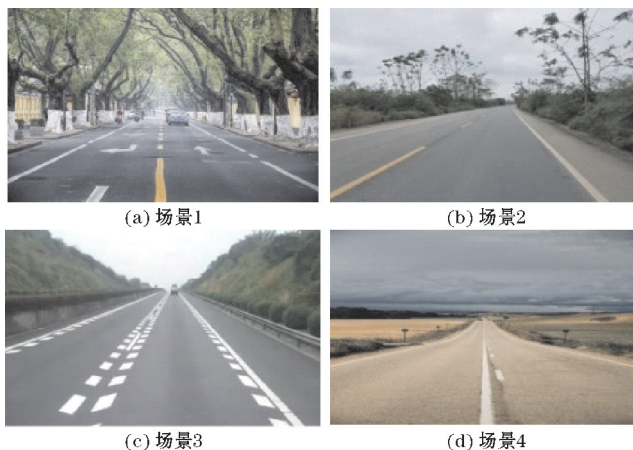


图 10 普通场景图

不存在磨损、遮挡及阴影等特殊情况的图像。图中地面交通标志种类基本齐全,包含白色实线,白色虚线,黄色虚线及转弯箭头和直行箭头等,包括实际交通场景下的城市道路、高速道路及乡村道路上的各类地面交通标志。

首先对图像进行感兴趣区域选取,记录该区域顶

点坐标,经透视变换处理,得到图 11 所示的变换后的图像,并将其作为检测算法输入的原始图像。在此类普通场景下,图像中的车道线、箭头及其他地面交通标志的物理形态较为清晰。如此,实验中使用的检测算法基于理论分析的角度,大致能够准确地识别和定位这些标志。

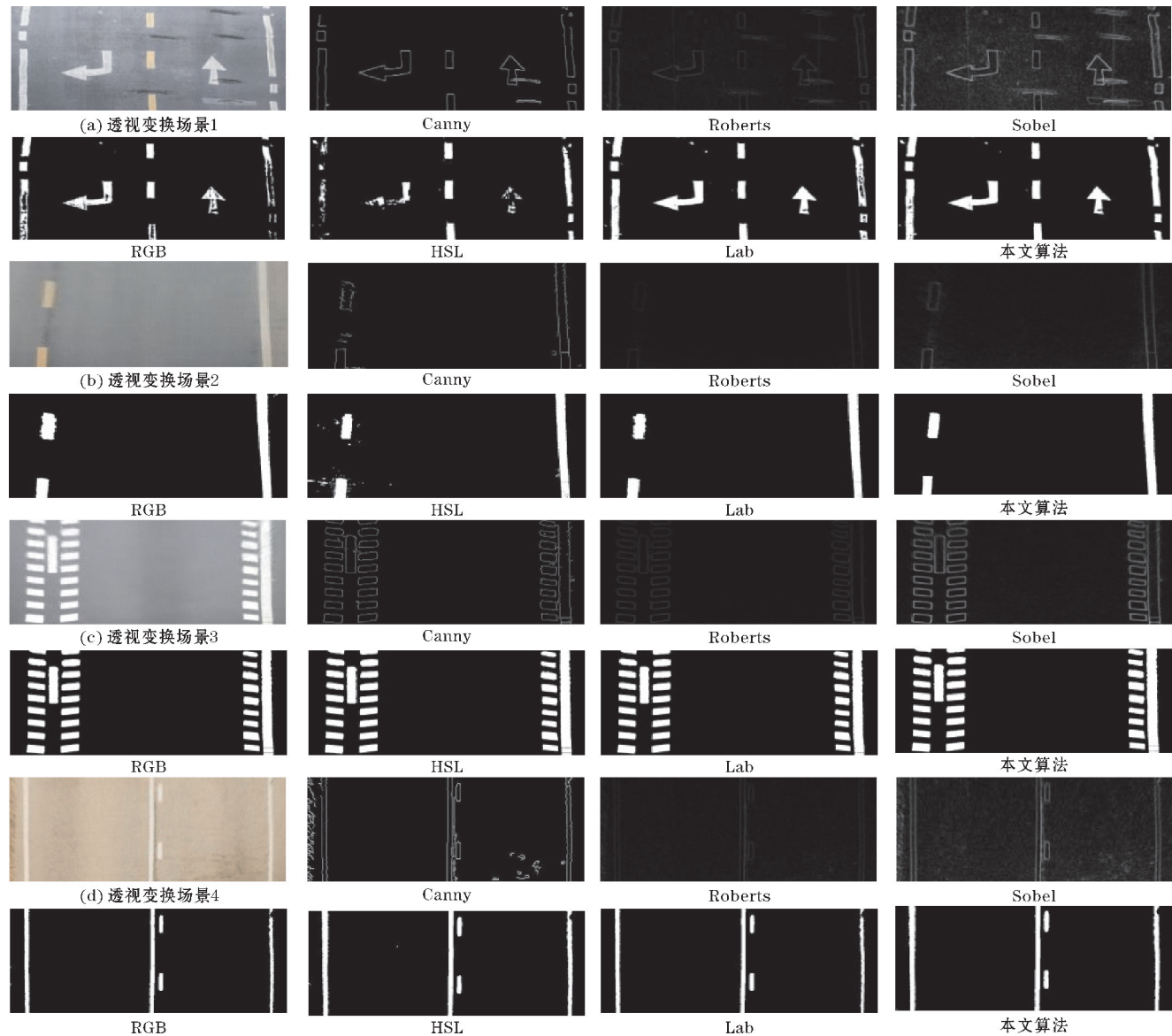


图 11 普通场景下不同算法检测结果

传统的边缘检测算法,通过捕捉到不同类别标志的形状、方向和纹理等特征,并将其与预定义的标志模板进行比对、匹配与识别,大致也能将地面标志的轮廓勾勒并描绘出来,有一定的检测提取效果。然而,对于图 11(a)的这类图像,由于原图像中存在井盖等非交通标志,使用 Roberts 算法和 Sobel 算法由于像素点本身直接参与运算,算法不能有效抑制噪声干扰,导致检测结果过度地对边缘响应,图像中存在大量噪声;Canny 算法使用较少的运算消耗来对图像进行分析,抗干扰能力较 Roberts 和 Sobel 算法表现出不错的性能,但对于图像中黄色车道虚线仍存在漏检及对噪声过度响

应的现象。
纵观图 11 可以看到使用不同检测算法的结果,总体来说基于颜色空间的检测算法表现优于传统的基于边缘检测算法的表现。这是由于地面交通标志线条本身带有明显的颜色特征,虽然也有明显的诸如形状的物理特征,但地面上存在的其他物体同样具有物理特征,故此,基于边缘的检测算法不能很好地将交通标志和非交通标志进行区分。基于颜色空间的算法刚好适用于本文的应用场景,并且能通过调节阈值的方式过滤掉非交通标志,只保留需要的交通标志。本文所

提出的基于 HSL 和 Lab 颜色空间结合的检测算法在此场景下表现出十分优异的检测效果:只针对带有明显颜色特征的车道线和箭头进行检测和提取,不存在漏检误检现象,取得令人满意的性能表现,具有较高的检测准确性。

3.2 复杂场景下的检测结果

实际交通场景往往还存在着大量的复杂场景,且复杂场景居多。从大量实际复杂交通场景中选取具有一定代表性的图像,如图 12 所示。图 12(a)由于存在大雾,导致图中交通标志线条清晰程度低。图 12(b)对应于夜晚场景,车道线被树影遮挡、光照不如白天充足,且由于昏黄灯光的照射,交通标志线条颜色有所失真。图 12(c)为隧道内有大幅度弯道的场景,同样因为灯光原因造成车道颜色变化。图 12(d)为雨天弯道情景,路面的积水会产生一定程度的反光。



图 12 复杂场景图

同普通交通场景下的检测步骤类似,首先将图像进行感兴趣区域划分,然后对截取的感兴趣区域进行透视变换处理,最后基于不同算法进行检测,其检测结果对比如图 13 所示。

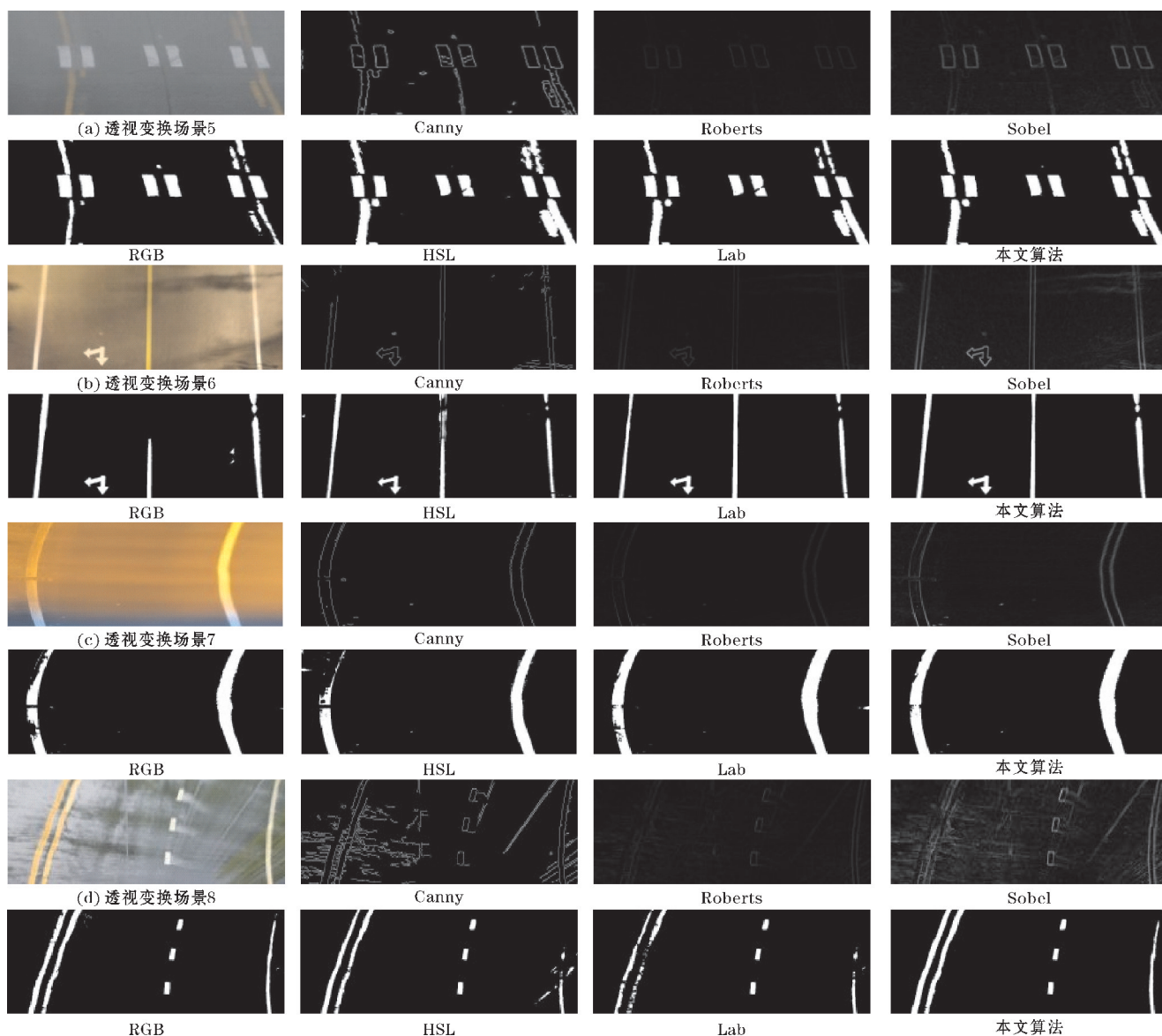


图 13 复杂场景下不同算法检测结果

从图 13 可以看出,Canny 算法存在一定程度的误检情况,错误地将非车道线的边缘也描绘出来,实际上对应于原始图像的这些像素点是树影,并非地面标志。Roberts 算法和 Sobel 算法同时存在漏检和误检的情况,且实际输出图像直观视觉效果亦不理想。这是由于 Sobel 算法使用简单的卷积核对图像进行边缘检测,其运算过程高度依赖像素值的变化情况,当图像中存在噪声干扰时,这些算法会对噪声进行过度响应,将噪声误判为边缘,导致检测结果中存在噪声点。同样地,Canny 算法虽然采用了一些噪声抑制技术来处理图像,能够更准确地检测图像中的边缘,对噪声有着较好的抑制效果,但其也将图像中明暗交替位置(树影)的边缘提取出来,显然也没有达到预期效果。

在基于颜色空间的检测算法中,RGB 和 HSL 的表现结果存在明显不足,存在少量噪声点,但与基于边缘检测的算法相比较,对于可见度低、存在阴影干扰及颜色失真的图像的检测效果也存在一定优势。复杂场景下的检测结果图及以上分析再次证明了,地面交通标志这类带明显颜色特征的物体的检测与基于颜色空间的检测算法更加适配,本文所提出的基于 HSL 和 Lab 结合的检测算法即使是在复杂交通场景也能保持较高的准确性和鲁棒性。

3.3 连通区域分析

本文在使用组合颜色空间进行道路交通标志提取的基础上,对地面交通标志的提取结果进行连通区域分析,自动识别出路面图像中交通标志的位置,从而为道路图像处理和理解提供支撑。

实验中对普通场景下图 10 的检测结果,以及复杂场景下图 12 的检测结果分别进行连通区域分析,并将分析结果用边界框标识在原图中,实验结果如图 14 所示。

图 14 中,第一列图 14(a)、(d)、(g)和(j)为普通场景图 10 的透视变换图,图 14(m)、(p)、(s)、(v)为复杂场景图 12 的透视变换图,第二列为路面图片的 HSL 和 Lab 颜色空间的检测结果,第三列为连通区域分析结果。

从普通场景和复杂场景的连通区域分析可以看出,本文提出的组合 HSL 和 Lab 颜色空间的道路交通标志检测算法,可以有效地识别路面信息,并对路面的交通标志进行提取检测。

3.4 实验结果

表 1 为不同交通场景下的 RGB 图像分别转换为

HSL 颜色空间下的 L 通道图像所用时间和 Lab 颜色空间下的 L 通道图像所用时间。对比发现,无论在何种状态下进行 L 通道的转换,Lab 颜色空间所耗费的时间更长。这是因为在对 RGB 图像进行颜色空间转换时,RGB 到 HSL 的 L 通道的转换只需要寻找 RGB 各通道下像素点的最大值和最小值,并将其相加,得到平均值,即为 L 通道下各点的像素值;而 RGB 到 Lab 的 L 通道的转换需要经过更复杂的矩阵运算,运算时间更长,则计算效率更低。

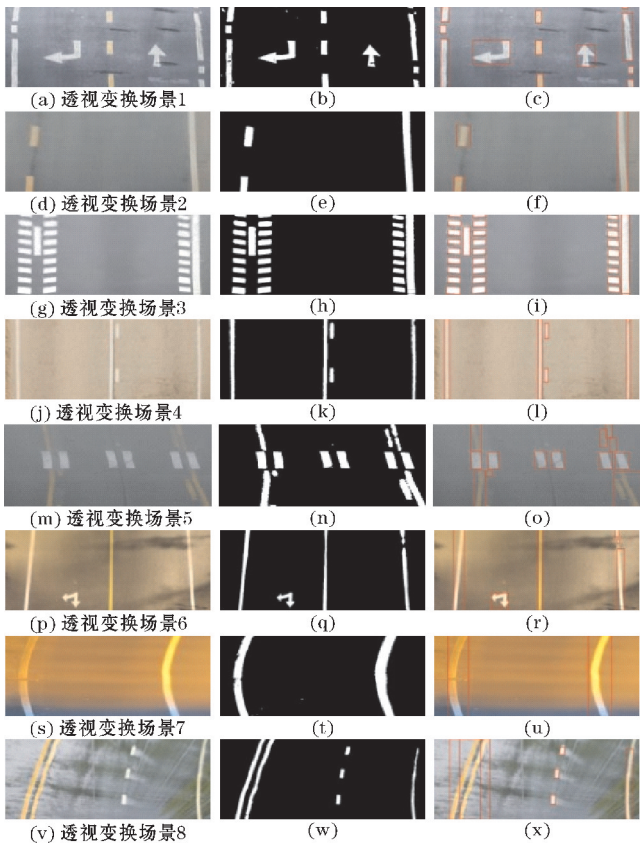


图 14 连通区域分析图

表 1 不同颜色空间 L 通道的转换时间			单位:s
对应场景	HSL	Lab	
场景 1	0.005	0.260	
场景 2	0.015	0.252	
场景 3	0.001	0.304	
场景 4	0.001	0.259	
场景 5	0.004	0.263	
场景 6	0.010	0.224	
场景 7	0.001	0.369	
场景 8	0.001	0.344	

由于不同颜色空间的转换是基于各个通道独立进行转换的,故而通道是可分离的。基于以上分析,选择

将 Lab 的 L 通道的结果替换成 HSL 的 L 通道,与 Lab 的 b 通道的结果进行结合的办法,通过设置合适的阈值,得到检测效率更高、质量更好的图像。

为得到更好的实验效果,基于图 1 的 HSL 颜色空间和 Lab 颜色空间模型及理论分析,要想在 L 通道过滤掉除白色以外的颜色和在 b 通道过滤掉黄色以外的颜色,就需要把对应通道的阈值设置得足够高,才能尽可能地提取出物体的轮廓,对地面交通标志得到理想的检测效果。实验所用阈值如表 2 所示。

表 2 L 通道和 b 通道阈值

对应场景	L 通道	b 通道
场景 1	(180,255)	(195,255)

4 结束语

提出一种基于 HSL 和 Lab 颜色空间结合颜色的地面交通标志检测算法。算法使用颜色空间转换的方式,对经透视变换处理后的图像进行两次颜色空间的转换,并根据地面交通标志鲜明的颜色特征选择 HSL 与 Lab 颜色空间下的两个通道(L 通道和 b 通道),分别对带有白色和黄色的标志进行过滤提取,最后将其结合。基于颜色空间结合的图像,对其进行连通域分析,在原本的路面图像中,标记出其中的交通标志,实现对地面交通标志的检测。经对比实验,与传统的边缘检测算法,如 Sobel 检测算法相比,本文算法对噪声的抗干扰能力以及对各种交通场景下地面交通标志的提取效果更好,普遍适用性更强。所述的结合颜色空间的算法对其他领域算法的改进提供了一些思路,譬如,本文算法可以和基于深度学习的算法结合使用,或许将获得更优异的性能。

本文算法也存在一定的缺点。在对图像进行预处理的时候,带有更多复杂背景信息的图像的透视变换结果,会直接影响到检测的性能。对于待检测的标志,其颜色特征会变弱,使用本文算法未能得到最佳的检测结果,存在些许漏检情况。而这类图像的透视变换结果图像往往存在如下特征:位于图片下方的图像越清晰,位于图片上方的图像越模糊,且上方模糊图像的颜色特征也远远不如下方清晰图像。这是由于视觉上越远的位置,其像素点越少,透视变换需要满足变换前后图像中填充的像素点数量保持一致,“远处”的像素点数量有限,只能通过插值的方式去填充“假的”像素点,导致上方图像变得模糊且削弱了其颜色特征,从而未达到理想检测效果。后续研究可以针对此问题寻找

保留更丰富的颜色特征的方法。

参考文献:

- [1] 王棚飞,刘宏哲,袁家政,等.一种基于图像匹配的地面交通标志实时识别方法[J].计算机科学,2014,41(6):317-323.
- [2] 罗文婷,李中轶,李林,等.基于改进 Canny 算法的道路标线自动识别及定位[J].西南交通大学学报,2018,53(6):1253-1260.
- [3] 于新善,孟祥印,金腾飞,等.基于改进 Canny 算法的物体边缘检测方法[J].激光与光电子学进展,2023,60(22):1-19.
- [4] 郑欢欢,冯治东,李瑞华.基于 sobel 算子的道路图像边缘检测算法[J].榆林学院学报,2023,33(2):60-63.
- [5] 文永革,何红洲,李海洋.一种改进的 Roberts 和灰色关联分析的边缘检测算法[J].图学学报,2014,35(4):637-642.
- [6] GARG A, PAN X W, DUNG L R. LiCENt: Low-light image enhancement using the light channel of HSL [J]. IEEE Access, 2022, 10: 33547-33560.
- [7] LU G, PENG L, ZHANG L, et al. Two-step pedestrian searching method based on Lab color space; proceedings of the 2015 [C]. IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2015.
- [8] ZHANG Y, DONG Z, ZHANG K, et al. Illumination variation-resistant video-based heart rate monitoring using LAB color space [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2021, 136: 106328.
- [9] ZHANG F, WU X, GU C. Detection of Road Surface Identifiers Based on Deep Learning [C]. proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing (AIAM), 2019.
- [10] ZHU Z, LIANG D, ZHANG S, et al. Traffic-Sign Detection and Classification in the Wild [C]. proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- [11] YANG W, ZHANG W. Real-time Traffic Signs Detection Based on YOLO Network Model [C]. proceedings of the 2020 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC), 2020.

- [12] TIAN J, YUAN J, LIU H. Road Marking Detection Based on Mask R-CNN Instance Segmentation Model[C]. proceedings of the 2020 International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning (CVIDL), 2020.
- [13] SARAVANAN G, YAMUNA G, NANDHINI S. Real time implementation of RGB to HSV/HSI/HSL and its reverse color space models[C]. proceedings of the 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2016.
- [14] MA Y, HAVYARIMANA V, BAI J, et al. Vision-Based Lane Detection and Lane-Marking Model Inference: A Three-Step Deep Learning Approach [C]. proceedings of the 2018 9th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Programming (PAAP), 2018.
- [15] JONG-MIN P, HYUN-CHUL C, SE-YOUNG O. Comparison of Color Spaces in Fitting Robustness of Active Appearance Model [C]. 2009 International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2009), 2009.
- [16] JAYASINGHE O, HEMACHANDRA S, ANHET-TIGAMA D, et al. CeyMo: See More on Roads -A Novel Benchmark Dataset for Road Marking Detection [C]. proceedings of the 2022 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 2022.
- [17] BASAK J K, MADHAVI B G, PAUDEL B, et al. Prediction of Total Soluble Solids and pH of Strawberry Fruits Using RGB, HSV and HSL Colour Spaces and Machine Learning Models[J/OL] 2022, 11(14): 10.3390/foods11142086.

Ground Traffic Sign Detection Algorithm based on Color Space Combination

WANG Xiaoya, REN Rui, WEN Chengyu

(College of Communicating Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu, Chengdu 610225, China)

Abstract: A ground traffic sign detection algorithm based on the combination of HSL and Lab color space is proposed to address the excessive introduction of noise in traditional detection algorithms and the occurrence of false or missed detection caused by incorrect edge positioning. Unlike traditional detection algorithms that utilize the physical features of objects in images to perform edge response on objects for detection purposes, this algorithm highly relies on the color features of objects and has excellent detection performance for objects with distinct color features. Observation shows that traffic signs on the road, such as lane markings and zebra crossings, are often bright white and yellow. Therefore, this algorithm can be well applied to ground traffic signs in actual traffic scenarios. The experimental results show that the algorithm performs better than traditional detection algorithms for ground traffic sign detection in both ordinary and complex scenes, with stronger anti-interference ability to noise and positioning ability to real edges.

Keywords: edge detection; color space; traffic signs; HSL; Lab