

# 交通红绿灯检测识别方法研究

葛立勇

浙江交通职业技术学院，浙江杭州，310000；

**摘要：**在交通领域，针对红绿灯的视频检测技术变得愈加重要，本文综述了国内外在交通红绿灯定位与识别技术方面的研究进展，并指出了现有研究存在的问题，如红绿灯目标难以精准定位、红绿灯颜色易混淆以及识别算法存在延时等。

**关键词：**红绿灯；视频检测；深度学习算法

**DOI：**10.69979/3041-0673.24.11.001

## 引言

随着城市快速发展和汽车数量的急剧增加，道路交通安全问题日益凸显。在众多交通违法行为中，闯红灯因其严重后果而备受关注。为了有效遏制这类行为，对机动车闯红灯的精准检测显得尤为重要。然而，要实现闯红灯行为的准确检测，前提条件是能够精准识别当前红绿灯的状态（红灯、黄灯和绿灯）。

目前行业内普遍采取的监测手段主要是通过信号线将红绿灯控制器与信号检测器相连，再通过 RS485 信号线将红绿灯状态信息传递给监控相机<sup>[1]</sup>。这种方法在稳定性和准确性方面表现出色，但同时也伴随着施工成本高、设备费用贵和问题排查难等问题。这些不利因素的存在，制约了智能交通道路监测的高速发展。

为了克服上述挑战，研究学者们正积极探索新型监测技术和装备。视频监控技术以其独特的优势，正逐渐成为交通红绿灯状态监测的新趋势。通过先进的视频分析和图像处理技术，可实现实时、准确地红绿灯状态识别，为智能交通管理和执法提供更为便捷、高效的手段<sup>[2]</sup>。智能视频监控技术的引入，有望大幅降低检测成本，提高交通监控系统的智能化水平。

红绿灯的视频检测技术可以根据其检测逻辑分为交通红绿灯定位技术和交通红绿灯识别技术两大部分。

## 1 交通红绿灯定位技术

交通红绿灯定位技术它主要负责确定红绿灯在图像中的准确位置，为后续的特征提取和分类识别提供基础。目前主要有基于图像处理的定位技术和基于机器学习的定位方法。谭思奇（2022）<sup>[3]</sup>提出了基于候选区域法的交通信号灯检测与识别算法 DBA-Faster R-CNN（网络能够聚焦于图像中的交通信号灯，从而减少其他背景

的干扰，提取到更为准确的交通信号灯特征信息），与基于回归的交通信号灯检测与识别算法 DSSD-YOLOv5s 两种方法（在主干网络中采用了基于密集连接的残差结构 CSPD-x，加强主干网络对交通信号灯特征提取的能力）。

### 1.1 基于图像处理的定位技术

传统的定位方法主要采用基于图像处理的定位技术，通过边缘检测、角点检测等方式，提取图像中的红绿灯特征，如形状、颜色，再利用这些特征在图像中进行匹配和搜索，以确定红绿灯的准确位置。

边缘检测技术可以有效的减少数据量，剔除图像中的冗余信息，在精简结构的基础上，又能保留图像结构的重要属性。Sobel、Laplacian、Canny 等都是边缘检测算法中非常经典且常用的优秀算法，但是也存在着各自比较明显的缺点，因此在使用场景上具有一定的局限性。；例如使用 Sobel 算法时，它边缘定位的精度不够高；使用 Laplacian 算法时，它对于噪声敏感度极高，容易产生双边缘且不能检测边缘方向；使用 Canny 算法时，阈值自适应和检测率不够灵敏<sup>[4]</sup>。

#### （1）Sobel 算法

Sobel 算子是一种离散微分算子，它基于图像灰度函数的一阶离散差分来工作，通过计算图像中每个像素点的梯度强度和方向来识别图像中的边缘，核心在于像素矩阵的卷积运算，其本质是对指定的图像区域的像素值进行加权求和<sup>[5]</sup>。但是在加权计算的过程中，它利用的是像素点上下、左右的邻点灰度加权差来检测边缘的，这就导致检测出的边缘宽度过大，从而会影响边缘检测的精度。

#### （2）Laplacian 算法

Laplacian 算子可以计算图像中每个像素点的二阶导数来显示出灰度值变化。在图像的边缘，像素点的灰度值变化是最明显的，因此可以通过这个对比数值来定位边缘的位置。而且 Laplacian 算子具有旋转不变性，因此能够检测任意方向的边缘，且对边缘的粗细和强度变化较为敏感。但是在实际的使用过程中，噪声也会造成灰度值的剧烈变化，导致图像边缘的误判，因此需要结合噪声过滤技术来对图像进行一个预处理。

### (3) Canny 算法

Canny 算法融合了多阶段算法，相比较 Sobel 和 Laplacian 算法，具备高准确性、低错误率、高效性等优点，在边缘检测的应用中是较为广泛的。但正是因为它是多种算法的融合，在使用的过程中算法的复杂性和计算量也会较大，会消耗掉大量的算力，导致在进行大规模图像处理的过程中会出现性能受限的问题。

## 1.2 基于机器学习的定位技术

目前在视频检测领域应用最广泛的检测算法是深度学习算法，深度学习模型能够自动从大量数据中学习并提取出有用的特征，与传统的特征提取方法相比，深度学习具有更强的泛化能力和更高的识别精度。深度学习目标检测算法可以分为两大类，一类是以 Faster R-CNN 等为代表的两阶算法，准确率高，但是实时性较低；另一类是以 SSD、YOLO 为代表的单阶算法，检测效率高，但是精度相比较略有下降。两阶算法和单阶算法的划分依据是问题的复杂程度和解决方式。

### 1.2.1 两阶算法

两阶算法在计算的过程中可以分为两个阶段：第一阶段是对目标物体坐标进行筛选，第二阶段是对目标进行二次分类和坐标提取。这就导致了采用两阶算法时，模型的复杂程度和计算量较高，检测速度较慢，相应的检测的准确率会得到一定程度的提高。因此在实时检测的应用过程中，当出现数据量较大，检测场景较为复杂的情况时，可能会导致检测结果延迟。常见的两阶算法主要有 R-CNN、Fast R-CNN、Faster R-CNN。

#### (1) R-CNN 算法

R-CNN 是首个两阶段目标检测算法，使用 Selective Search 方法从原始图像中筛选出若干候选框，然后将每个候选框中的图像缩放的固定尺度送入卷积网络提取特征，最后通过支持向量机 (SVM) 方法对特征进行分类。这个算法的准确率极高，但是效率极低，而且对

于存储和计算资源的依赖度极高。

#### (2) Fast R-CNN 算法

Fast R-CNN 是在 R-CNN 算法的基础上进行优化和升级，通过合并特征提取和分类训练两个过程，大大的提升算法的效率；引入 ROI Pooling 层，将大小不一的候选框映射到大小统一的目标框中，有效的降低了数据的运算量；但是由于其候选框的筛选过程还是依赖于 Selective Search 方法，导致其在目标物体的实时检测的应用中还存在限制。

#### (3) Faster R-CNN 算法

Faster R-CNN 是首个端到端的目标检测算法，它在 Fast R-CNN 的基础上引入了区域提议网络 (Region Proposal Network, 即 RPN)，解决了图像中候选框的筛选问题，摆脱了对 Selective Search 这个外部方法的依赖，使得算法变得更加简洁和流畅，解决了在实时检测中的限制。

### 1.2.2 单阶算法

相比于两阶算法，单阶算法在计算的过程中，没有单独的目标筛选的过程，直接对目标的坐标位置进行计算并对目标进行分类，结构简单，有利于进行端到端的训练。单阶算法的运行速度大大提升，更能适应对实时性要求高的应用场景，但是在检测的精准性上略有下降。常见的单阶算法主要有 YOLO 系列、SSD 算法和 Retina-Net。

#### (1) YOLO 系列

YOLO 算法是一种基于全卷积神经网络的目标检测算法，可以直接对目标图像进行分类和检测，具备非常高效的端到端的检测速度，符合交通场景里实时检测的需求。自从 2015 年提出以来，持续性的进行问题的优化和性能的提升，从 YOLOv1 到 YOLOv9，历经 9 个版本的迭代，已经能够更加适应复杂的应用场景。

#### (2) SSD 算法

单发多盒探测器 (Single Shot MultiBox Detector, SSD) 算法，直接在原始图像上进行卷积操作，同时进行目标分类和位置回归，速度比 R-CNN 系列算法更快。优点为速度快，可以在较短的时间内完成目标检测任务。相对于 R-CNN 系列算法，不需要进行区域建议，整个流程较为简单。检测速度和精度比较均衡，能够在速度和准确度之间取得平衡。缺点是在小目标的检测上表现不如 R-CNN 系列算法。对于不同大小的目标，需要不同

尺度的特征图进行检测，所以需要额外的网络设计<sup>[6]</sup>。

### (3) Retina-Net

Retina-Net 通过采用 Focal Loss 和 FPN（特征金字塔网络）结构有效的提升了检测的准确性，弥补了单阶算法在检测精度上的缺陷。相比两阶算法，Retina-Net 可以直接进行目标分类，不需要提前进行候选框筛选，具备明显的运算速度的优势；但是相比其他的单阶算法，却需要进行更多的卷积计算，更加的耗时。

## 1.3 红绿灯定位技术问题

在对图像中的红绿灯坐标进行检测定位时，不论是采用基于图像处理的定位技术还是基于机器学习的定位技术，由于存在设备安装不规范、背景环境复杂、易出现遮挡情况等问题，会导致定位得到的红绿灯坐标位置与实际位置有偏差甚至完全偏离的情况，从而直接影响后续的红绿灯状态识别结果（图 1）。目前为保证检测的稳定性，绝大部分的设备厂家会要求施工人员在设备调试时，手动的在监控设备界面对红绿灯的位置进行标注，目的就是为告诉算法直接对目标区域进行颜色检测，可略过红绿灯定位的步骤。



图 1 红绿灯目标难以精准定位

## 2 交通红绿灯识别技术

交通红绿灯的识别技术主要是用来判定当前红绿灯的颜色，为后续的应用提供基础，主要分为基于颜色和形状特征的算法和基于深度学习的算法。

### 2.1 基于颜色和形状特征的识别算法

基于形状特征的识别可以将红绿灯与周围其他颜色相近的物体进行区分，降低误识别的概率；基于颜色识别的算法可以检测红绿灯当前表面颜色；两者的融合可以实现交通红绿灯的颜色识别。

形状识别可以通过轮廓特征提取（通过边缘检测算法提取轮廓特征）、形状描述（通过描述目标特征进行比较）和匹配模版（通过对比预设图案进行识别）三种方式来实现。

颜色识别可以通过颜色空间转换（将 RGB 转换为更

易提取的空间颜色）、颜色直方图（对比当前颜色和预设颜色模版）和颜色矩（计算颜色的一阶矩、二阶矩、三阶矩数值）三种方式来实现。

### 2.2 基于深度学习的识别算法

凭借高效、精准的识别效果，深度学习算法已经在交通信号灯的识别里得到了广泛的应用。周爱玲等（2023）<sup>[7]</sup>提出使用针对城市道路交通信号灯目标小，背景环境复杂造成的识别率低的问题，提出了一种基于 YOLOv5s\_MCO 算法，通过 MobileNetv2（降低模型的参数量与计算量）和 CBAM（通道和空间的增强）优化，降低模型参数与计算量，同时增强特征识别能力，提升对小尺度目标的检测精度，相比较原有 YOLOv5s 算法提升了 1.33% 的准确率。王春霞（2023）<sup>[8]</sup>针对雨天和雾天等复杂的天气条件下交通信号灯的检测问题，提出了基于深度学习的解决办法。在雨天环境，通过引入坐标注意力机制和深度可分离卷积，提升了 YOLOv5 对交通信号灯的检测精度。在雾天环境，利用 BiFPN 特征融合方法，增强了网络对模糊失真图像的辨识能力。此外，还提出了一种改进的轻量化 YOLOv5 算法，大幅降低了模型大小，提升了实时性，使其更适用于嵌入式系统的部署。姚子兵<sup>[9]</sup>针对复杂场景下交通信号灯的检测存在检测精度低的问题，提出一种基于 Caffe 深度学习框架，对 Faster R-CNN 目标检测算法提出二项改进：改进锚设计和采用特征融合。

Shustanov A（2017）<sup>[10]</sup>等提出交通标志的识别通常分为定位和分类两个步骤，可以使用图像预处理和交通标志定位算法来实现。主要利用改进的广义 Hough 变换（GHT）算法结合简单的模板匹配算法。结合卷积神经网络进行对象的分类和描述了设计卷积神经网络的过程。最后，使用 GPU 可以实现对视频序列帧的实时处理。Huy Khanh Hua（2023）<sup>[11]</sup>等使用两种方法来改进交通信号灯的检测和识别方法。首先，利用 K 均值聚类算法压缩图像数据，加快训练时间。其次，基于 You Only Look Once（Yolov5）模型引入了实时交通信号灯信号（红、黄、绿）的识别。

### 2.3 红绿灯识别技术问题

采用当前主流的深度学习算法对红绿灯的颜色进行识别时，存在红绿灯颜色易混淆和识别算法延时的问题。

### (1) 红绿灯颜色易混淆

在实际检测过程中发现,红绿灯颜色误判的原因主要包括以下 3 点: 1) 当光线条件较为复杂时,如早上太阳刚升起、中午阳光刺眼、傍晚太阳落山前或下雨后路边积水光线反射严重时,模型易将红灯和黄灯混淆,无法准确区分出两种灯的颜色(图 2 中的①); 2) 当电压不稳定或设备运行时间过久时,信号灯本身的颜色就会存在偏差,导致模型无法正确识别(图 2 中的②); 3) 检测目标像素点太小,导致设备无法正确识别[12]。



图 2 红绿灯颜色易混淆

### (2) 识别算法存在延时

在红绿灯颜色变换过程中,定位和识别的速度不够快,存在高延时的问题,从而导致整体误检率较高[13]。其次,现有交通信号灯的规格并不完全统一,包含不同安装方向(横向,纵向),不同标识符(箭头,圆形等)和不同外壳类型(带护罩,裸露)等因素,这种非标准化的外形,对定位和识别算法的鲁棒性提出了巨大挑战。

## 3 结语

当前针对交通红绿灯进行定位和识别的技术各的优缺点和局限性,在实际应用中,可以根据具体需求和场景选择合适的算法。随着硬件性能的提升,深度学习算法凭借其高效、精准的特性已经逐渐取代传统检测方式,成为目标检测领域的主流算法。但是针对部分特殊场景,仍存在识别效果不佳的问题,需要进行定向的优化。

### 参考文献

[1]袁建华,赵永进.我国道路交通信号控制的发展与变迁[J]. 道路交通管理, 2022, (03): 10-12.  
[2]周爱玲. 基于深度学习的城市道路交通信号灯识别研究[D]. 广西科技大学, 2023.

[3]谭思奇. 基于深度学习的道路交通信号灯检测与识别方法研究[D]. 重庆交通大学, 2022.

[4]唐瑞尹,彭岸辉,李巍,等. 基于 YOLOv5 和图像处理的按摩机器人穴位贴定位方法[J/OL]. 机械设计与制造, 1-7[2025-01-13].

[5]魏香香. 基于 FPGA 的视频图像边缘检测硬件加速器设计[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2022.

[6]蔡劲松,李伟. 基于改进 Faster R-CNN 算法的行人识别系统设计与研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2023, 35(20): 163-167.

[7]周爱玲,谭光兴. 基于 YOLOv5s 的交通信号灯检测算法[J]. 广西科技大学学报, 2023, 34(04): 69-76.

[8]王春霞. 面向雨雾环境的交通信号灯检测方法研究[D]. 重庆交通大学, 2023.

[9]姚子兵. 基于改进 Faster R-CNN 的交通信号灯检测[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(11): 274-276.

[10]Alexander Shustanova, Pavel Yakimova. CNN design for real-time traffic sign recognition [C]. 3rd International Conference Information Technology and Nanotechnology, 2017, 201: 718 - 725.

[11]Huy Khanh Hua, Khang Hoang Nguyen, Luyl-Da Quach. Traffic lights detection and recognition method using deep learning with improved yolo v5 for autonomous vehicle in ROS2[C]. Proceedings of the 2023 8th International Conference on Intelligent Information Technology, 2023, ICIIT '23: 117-122

[12]潘立全. 基于卷积神经网络和注意力机制的交通信号灯检测研究[D]. 西北师范大学, 2023.

[13]Ren, S.; He, K.; Girshick, R.; Sun, J. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2017, 39: 1137 - 1149.

作者简介: 葛立勇, 1989.11.02, 男, 浙江台州人, 工程师, 硕士, 浙江交通职业技术学院, 研究方向: 电子信息类。