

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2209853

# 基于深度学习的非机动车头盔佩戴检测方法研究<sup>\*</sup>

朱 硕<sup>1</sup> 黄剑翔<sup>2</sup> 汪宗洋<sup>3</sup> 许芯浚<sup>1</sup> 边松岩<sup>1</sup>

(1. 无锡学院电子信息工程学院 无锡 214105; 2. 南京信息工程大学电子信息与通信工程学院 南京 210044;  
3. 江苏省集萃深度感知技术研究所 无锡 213003)

**摘要:**近年来,由于电动车驾驶人未佩戴头盔行车导致的交通事故频频发生,造成了较大的人身伤害与损失,调查显示事故多在交通路口发生,为此,有必要开展交通路口电动车驾驶人头盔佩戴行为的监测与管控。本文利用机器视觉传感器收集大量电动车及驾驶人目标数据,制作相应的数据集,将处理后的数据集在 Pytorch 框架上利用改进的 YOLOv5 神经网络进行训练,获得最优权重参数;实验对比发现,改进后的 YOLOv5 算法对于电动车和头盔的检测精度分别达到了 92% 和 98%,比原始神经网络的识别准确度可提高 1% 至 2%。最终联合使用训练改进的 YOLOv5 模型和 Sort 算法,在检测电动车佩戴头盔情况的同时,对其进行跟踪标号,以此实现对交通路口违规电动车驾驶行为的有效管控。

**关键词:**神经网络;检测跟踪;数据处理;数据集;头盔检测

**中图分类号:** TN919.8 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1040

## Research on non motor vehicle helmet wearing detection method based on deep learning

Zhu Shuo<sup>1</sup> Huang Jianxiang<sup>2</sup> Wang Zongyang<sup>3</sup> Xu Xinjun<sup>1</sup> Bian Songyan<sup>1</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering, Wuxi University, Wuxi 214105, China;

2. School of Electronic Information and Communication Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 3. Institute of Deep Perception Technology, JITRI, Wuxi 213003, China)

**Abstract:** In recent years, traffic accidents caused by electric vehicle drivers driving without helmets have occurred frequently, resulting in great personal injury and loss. The investigation shows that most accidents occur at traffic intersections. Therefore, it is necessary to carry out the monitoring and control of helmet wearing behavior of electric vehicle drivers at traffic intersections. In this paper, a large number of target data of electric vehicles and drivers are collected by machine vision sensors, and the corresponding data sets are made. The processed data sets are trained on the pytoch framework by using the improved yolov5 neural network to obtain the optimal weight parameters; Compared with the original neural network, the improved Yolov5 algorithm has a detection accuracy of 92% and 98% for electric vehicles and helmets, which is 1% to 2% higher than that of the original neural network. Finally, the training improved yolov5 model and sort algorithm are used together to track and label electric vehicles while detecting their wearing helmets, so as to realize the effective control of illegal electric vehicle driving behavior at traffic intersections.

**Keywords:** neural network; detection and tracking; data processing; data set; helmet detection

## 0 引 言

近年来,越来越多的人选择电动车作为出行的交通工具,由于电动车驾驶人行车佩戴头盔意识薄弱,电动车保有量急剧上升的同时导致交通事故频频发生,不但给驾驶人

的人身安全造成伤害,还造成社会经济上的巨大损失,以及不好的社会影响。据统计,2017~2021年期间,机动车交通事故死亡人数同比下降 1.7%,受伤人数同比下降 3.1%;但在机动车事故伤亡率下降的同时,非机动车交通事故死亡人数同比增长 0.4%,受伤人数同比增长 4%。

收稿日期:2022-05-06

<sup>\*</sup> 基金项目:江苏省双创博士基金(JSSCBS20210871)、无锡学院人才启动基金(2021r014)项目资助

近几年各个城市政府部门都在积极号召骑电动车时必须佩戴头盔,在多个交通路口安排工作人员对未佩戴头盔驾驶电动车的行为进行制止。虽然在一定程度上提高了驾驶人员佩戴头盔的数量,但通过人工监管的方法在加重人力财力资源支出的同时,其覆盖面不够广范,并会受恶劣天气影响而放松监管,工作实施难度较大,不易达到预期的效果。搜集资料发现对于未佩戴头盔驾驶电动车方面的研究甚少,除了上述办法外,曾有学者设计使用一个 Yolo 算法完成此项任务<sup>[1]</sup>,从实际应用角度来讲,使用一个 Yolo 算法很难对数据集的类别进行有效分类,这会对网络训练结果造成干扰,最终导致在路口那样的复杂场景检测效果不理想,严重影响工作效率。

本文所设计的基于 Yolo 及 Sort 的双检测算法实现头盔佩戴检测的方法,能够对行驶到交通路口的电动车驾驶人是否佩戴头盔进行快速、准确识别,不但便于在各个十字路口安装设置,而且可在任意天气环境下正常工作,可有效改善目前人工监管的方式中存在的问题,进一步为非机动车辆的安全行驶提供可靠保证。

## 1 算法介绍

### 1.1 Yolov5 算法

#### 1) 技术背景

在人工智能高速发展的时代,目标检测、目标识别、追踪方面的研究得到了很大的进步。特别是以神经网络为代表的深度学习算法,无论是速度还是精度方面都远远超过传统机器学习算法<sup>[2]</sup>。目前,基于深度学习的目标检测算法主要分为两类<sup>[3]</sup>:一类是 Two-stage 算法<sup>[4]</sup>,包括 RCNN 及其改进算法在内,此类算法需生成候选区域,因此速度较慢、准确度较高;另一类是 One-stage 算法<sup>[5]</sup>,这类算法以 YOLO 为首,与 Two-stage 算法相比不仅能保证准确度,而且速度提高不少。因此 One-stage 算法在目标检测领域更受研究人员的青睐。

#### 2) 网络结构

本文主要选用 One-stage 中的 YOLOv5 算法,该算法于 2020 年 6 月份问世,相比同年 4 月份出现的 Yolov4<sup>[6]</sup>,Yolov5 不但大小只有 27 MB,占 Yolov4 的十分之一,而且能在保证精确度的条件下速度比 Yolov4 快近 3 倍。Yolov5 的结构示意图如图 1 所示<sup>[7]</sup>,主要分为三大模块,分别是 Backbone、Neck 及 Head。

Backbone 部分是 Yolov5 网络的主干部分,主要功能是用来提取图片特征;Neck 部分分为 FPN 和 PAN<sup>[8]</sup>;FPN 层可以将 Backbone 中底层特征图和高层特征图融合之后传输到 PAN 部分,PAN 部分采用和 FPN 同样方法操作,但操作方向与 FPN 部分相反;Head 模块对经过 Neck 模块组合后输出的图片特征进行处理并得到检测结果。

### 1.2 sort 算法

#### 1) Sort 算法简介

Sort 算法主要由匈牙利匹配算法和卡尔曼滤波算法组

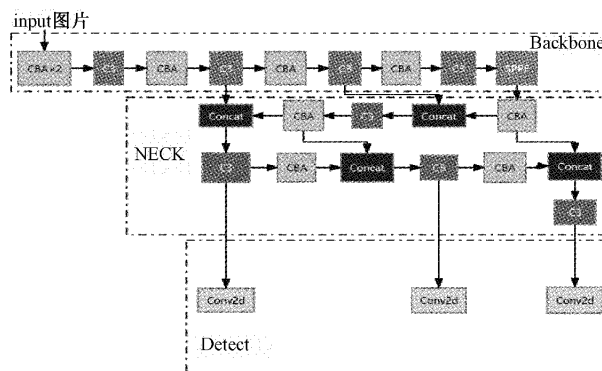


图 1 YOLOv5 网络结构图

成<sup>[9]</sup>。经过检测的视频帧和卡尔曼滤波的轨迹预测结果输入匈牙利匹配算法中,将二者的 IOU 值作为权重做匈牙利匹配<sup>[10]</sup>。根据匹配结果可分为如下 3 种情况,对于匹配上的目标,说明轨迹跟检测目标都没有问题,则进入卡尔曼滤波的更新步骤;对于未匹配上的轨迹,则表示原目标消失了,没有与之相匹配的 yolo 检测结果,此时应该将该轨迹删除;此外还有第 3 种情况即未匹配的目标,则表示新的视频帧中出现新的目标,此时应该将新出现的目标作为下一帧的新轨迹,依次循环。流程如图 2 所示。

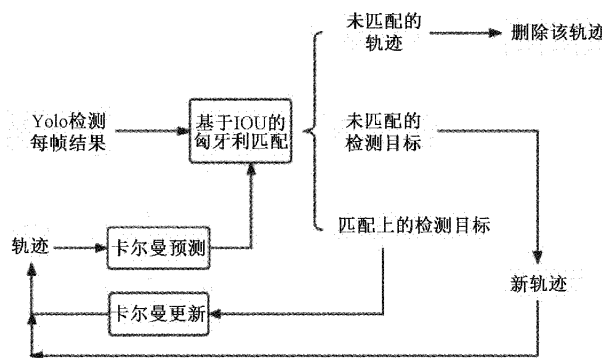


图 2 Sort 算法流程

#### 2) 匈牙利算法

匈牙利算法可用对两个集合做匹配关联,即在 A 集合中找到与 B 集合元素相匹配的元素。

假设本文视频帧检测集合  $U$ , 有 3 个目标框  $U_1, U_2, U_3$ , 轨迹预测集合  $V$  也有 3 个目标框  $V_1, V_2, V_3$ 。求出集合  $U$  和集合  $V$  目标框之间的交并比,即 IOU 值;将 IOU 值作为彼此之间的关联性权重,如表 1 所示。

表 1 目标之间的 IOU 值

	$V_1$	$V_2$	$V_3$
$U_1$	0.3	0.45	0.7
$U_2$	0.7	0.5	0.75
$U_3$	0.4	0.6	0.96

算法步骤如下:

进行初等行变换和列变换, 减去每行最小值和每列最小值, 得到 0 值;

用尽量少的直线覆盖 0 值, 统计直线数量;

如果直线数等于单个集合的目标框数, 进入步骤 6; 若小于集合目标框数, 进入步骤 4;

未被直线覆盖的数字减去剩余数中最小数, 得到新的 0 值;

重复步骤 2 和步骤 3, 直到直线数等于集合目标框数; 得到对应最小权重, 完成匹配。

3) 卡尔曼滤波算法

卡尔曼滤波是一种用来估计物体将来运动状态的方法<sup>[11]</sup>, 主要分为预测阶段和更新阶段。预测阶段利用上一帧的最优估计值来预测当前帧的预测值, 定义如下:

$$\hat{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (1)$$

$$\hat{P}_k = A\hat{P}_{k-1}A^T + Q \quad (2)$$

其中,  $\hat{x}_k$  预测阶段得来的预测值, A 是状态转移矩阵, B 为可控增益,  $\hat{x}_{k-1}$  是 k-1 时刻的最优估计值,  $\hat{P}_{k-1}$  表示 K 时刻的预测协方差,  $\hat{P}_k$  表示更新后的协方差, Q 为噪声的协方差。

经过预测阶段得来的预测值不能直接用来作为最终预测结果, 它和真实值之间存在一定误差, 因此需要利用当前帧的检测值来更新预测值, 从而得到更为准确的最优估计。更新阶段定义如下:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k + K_k(z_k - H\hat{x}_k) \quad (3)$$

$$K_k = \frac{\hat{P}_k H^T}{H\hat{P}_k H^T + R} \quad (4)$$

$$\hat{P}_k = (I - K_k H)\hat{P}_k \quad (5)$$

$K_k$  为卡尔曼增益,  $z_k$  是测量值, H 是测量矩阵。把经过更新的最优估计作为新的轨迹进入到下一个循环, 通过卡尔曼滤波来预测下一帧的目标框信息, 用来和下一帧的检测值做匈牙利匹配。

2 算法优化

2.1 特征提取网络优化

Two-Stage 算法与 One-Stage 算法相比, Two-Stage 算法其优势是在模型的检测精度上远超 One-Stage 算法, 主要得益于二阶段算法有候选区域生成的步骤, 但由于增加此步骤, 运行过程中会消耗大量时间, 也带来一定弊端。

近年来随着注意力机制在图像、NLP 等领域获得重要突破。Woo 等研究人员从中得到启发<sup>[12]</sup>, 在 2018 年提出了一种新的卷积模块——CBAM 模块<sup>[13]</sup>, 将注意力机制融入到卷积模块中, 使得主干网络在提取图像特征的同时能够使得特征提取网络的注意力聚焦在局部重要信息上。

CBAM 由两个子模块组成: 通道注意力模块和空间注意力模块。通道注意力模块关注的是输入特征图各通道之间的关系, 通道注意力模块流程图如图 3 所示, 最后得到的是通道注意力矩阵 Mc, 将该矩阵与原特征相乘得到新特征; 空间注意力模块注重的是特征图的哪块区域, 其结构如图 4 所示, 经过 Sigmoid 函数处理后得到空间注意力矩阵 Ms, 空间注意力模块接收的特征图是经过通道注意力模块处理后的, 并非原特征图。最终将得到的 Ms 和经过通道注意力模块处理后的特征图相乘得到新的特征图。

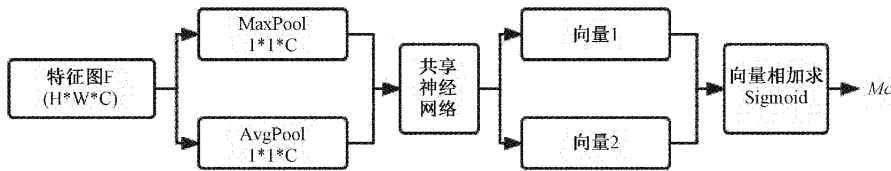


图 3 通道注意力模块结构

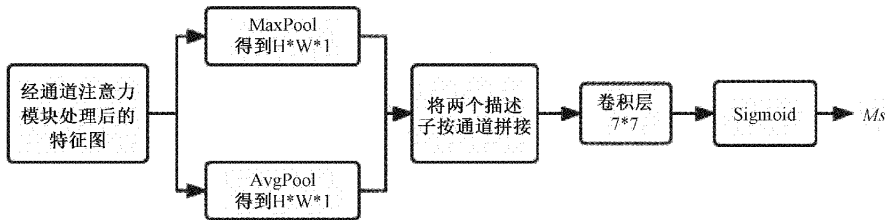


图 4 空间注意力模块结构

为了更好的从特征图中提取局部特征信息, 本文将 Yolov5 网络的 Backbone 部分最后一个 C3 模块替换成 CBAM 注意力机制模块, 这样做可以有效增加网络对重要

信息的关注度, 同时还能提高特征图各通道之间信息的联系。具体改进流程及改进后的 Backbone 部分结构如图 5 所示。

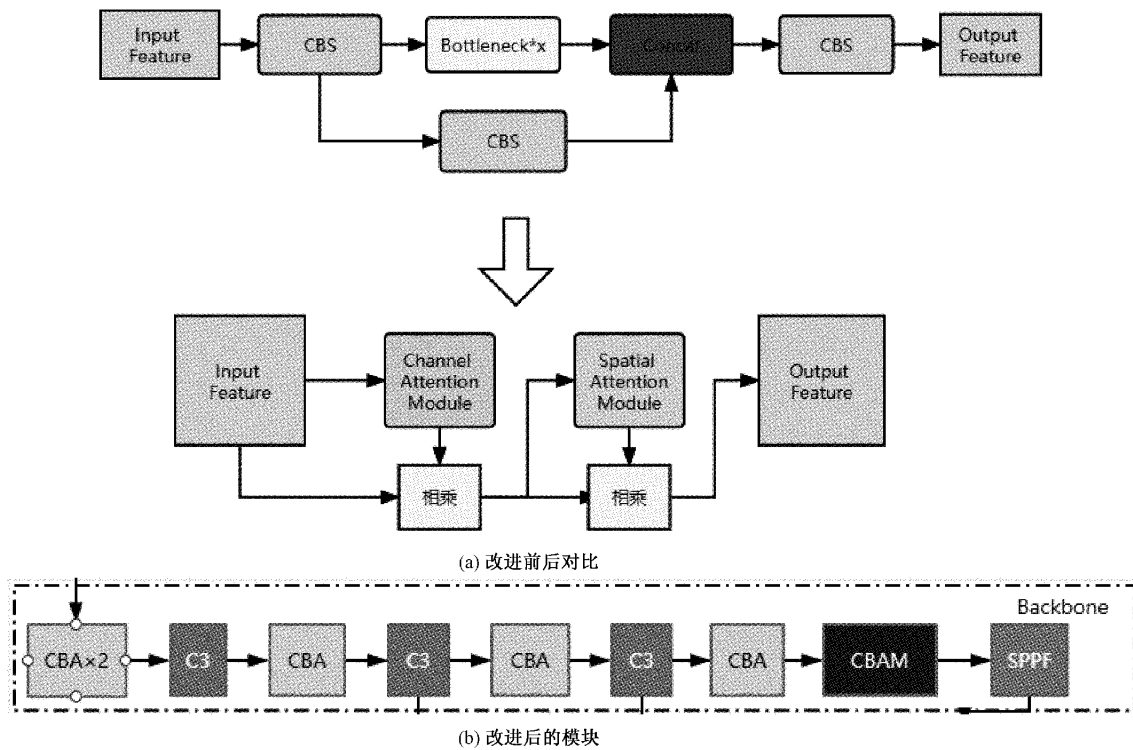


图 5 改进流程图

## 2.2 多算法融合

目前,有关电动车驾驶人行驶过程中头盔佩戴情况检测的研究中,大多选用 YOLOv3 目标检测算法进行目标检测。在单一使用 YOLOv3 算法检测时,算法本身的检测精度有待进一步提高,并且由该算法本身会引入一些新问题,yolo 网络是对视频的每一帧进行单独检测并反馈结果,不同帧的图片之间没有关联,会导致目标重复识别,反复触发警示系统,造成工作效率

降低;

本文提出将 YOLOv5 算法与 Sort 算法融合使用,使用 Sort 算法目的是将视频的不同帧有效联系在一起,将属于同一物体的目标绑定在一起。如图 6 所示,假设第一帧检测到图片中有目标 A、B、C,第二帧图片也检测到了 A、B、C,从 yolo 角度来看两个图片中的 A 和 A 并没有关系;引入 Sort 之后,建立的模型就会把两张图片里的 A 划分为同一目标并做同一个数字标号。

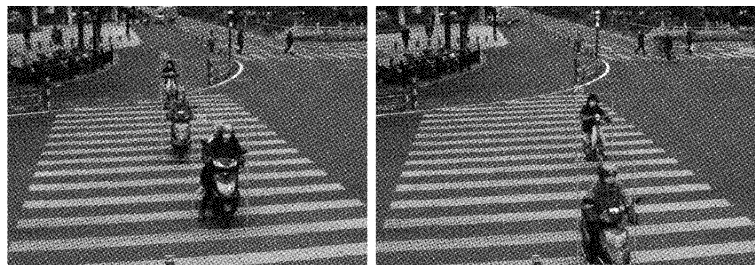


图 6 加上 Sort 算法的检测图

由图 6 可以看出,增加 Sort 算法后处理模型不但检测出了相应的目标,同时对时间段内连续运动目标关联唯一 ID 标号。通过对视频序列中连续出现的目标运动轨迹判断,可以准确定位出目标存在位置和时间信息。算法策略上可以将多次识别的结果进行综合判断,当同一 ID 目标连续 3 次检测出未佩戴头盔时,可以输出高精度识别分析结果。

## 3 实验设计

### 3.1 实验流程

将测试用视频传入 YOLOv5 网络,首先识别出其中的电动车目标,将识别出的属于电动车的目标传入至第二个网络,利用第二网络判断目标是否佩戴头盔<sup>[14]</sup>,至此完成 yolo 检测部分;第二步,将第一次检测的视频每一帧的检



测结果依次输入到 Sort 算法中进行目标追踪<sup>[15]</sup>, 给每个目标做标记赋值<sup>[16]</sup>。具体流程如图 7 所示。

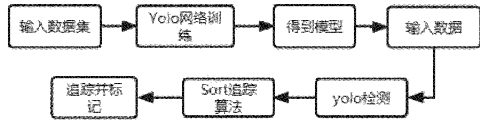


图 7 实验流程图



图 9 头盔佩戴识别数据集例图

### 3.2 数据集

目前可用于电动车违规行为检测方面的相关数据集资源较少, 因此本文所用数据集的数据, 均通过机器视觉摄像头在交通路口现场拍摄获得<sup>[17]</sup>。在获得大量的数据后, 利用 Vott 标注软件对图片人工标注, 本文分两次进行标注, 第一次将目标分为 Electricvehicle 和 Others, 这个数据集用来识别电动车目标和其他目标, 其他目标包括行人和自行车; 第二次标注分为 helmet 和 head, 分别表示佩戴头盔和未佩戴头盔。图 8、9 分别为本文两个数据集的例图, 图 10 所示使用 Vott 软件标注过程。电动车识别数据集一共 3 220 张图片, 其中 2 570 张为训练集, 650 张图片作为测试集; 头盔识别数据集一共 3 352 张图片, 2 768 张作为训练集, 584 张作为测试集。



图 8 电动车识别数据集例图



图 10 例图的标注过程

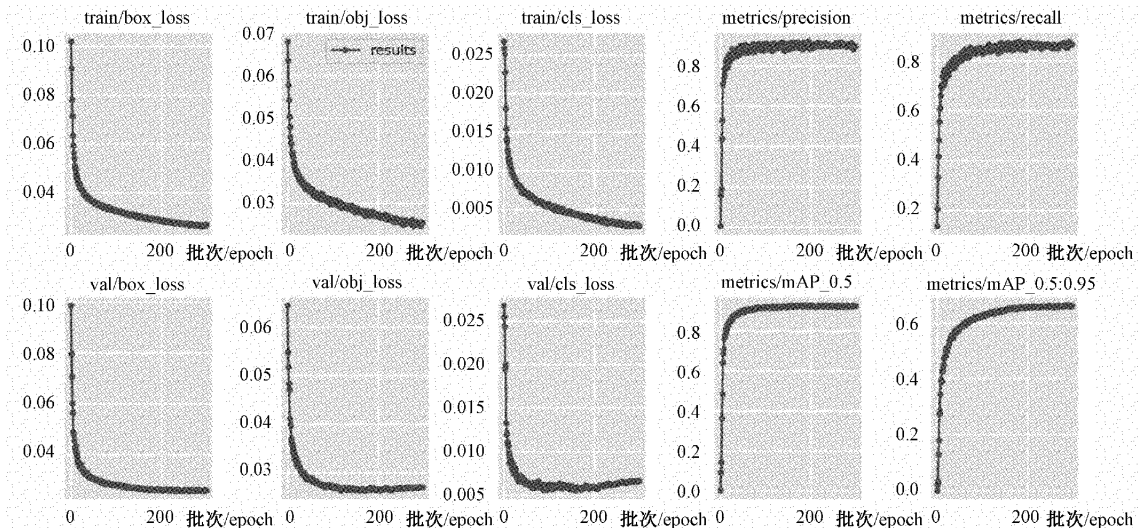
Core (TM) i9-9900 CPU @ 3.10 GHz, GPU 为 nvidia GeForce RTX 2060, 框架模型采用 pytorch1.9.0 版本, GPU 加速环境为 cuda 11.2, 编程语言采用 Python3.7。实验选用 YOLOv5s.yaml 模型作为基础网络, s 模型在四种模型结构中体型最小, 也最为方便。训练参数设置如下: 初始学习率设置为 0.01, SGD 动量因子为 0.937, 权重衰减系数为 0.001, 最大迭代次数设为 300, batch-size 设为 4, 过大会导致显卡超负荷工作, 图片大小为 448×448。

### 3.4 实验结果与分析

为表现实验的有效性, 在两种数据集下共进行四次实验, 分别是改进前后对电动车的实验对比、改进前后对头盔的实验对比; 图 11 所示为改进前后电动车实验对比。

### 3.3 实验平台

本文选择 linux 系统作为实验平台, CPU 型号为 Intel(R)



(a) 改进前电动车检测结果

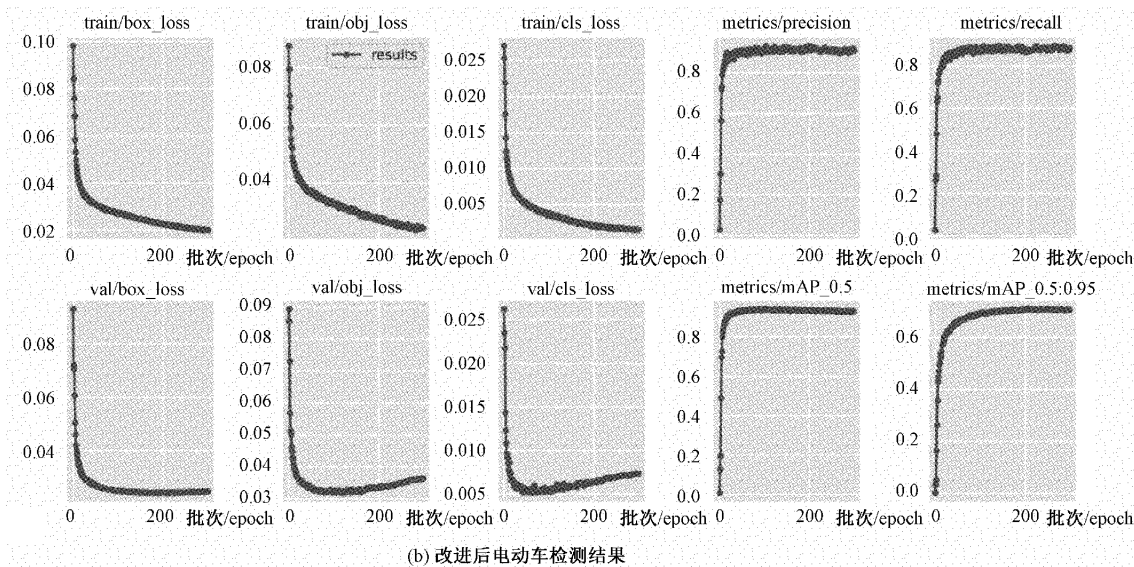


图 11 改进前后电动车实验对比

改进后的模型在准确度、召回率及  $mAP_{0.5:0.95}$  上相比改进前都有所提升,通过观察混淆矩阵发现电动车实验中的两类目标准确度提升约 0.01 到 0.02 的,如表 2 所示。

改进前后头盔实验对比图如图 12 所示,与电动车实验一样,图中涉及到模型准确度、召回率、 $mAP$  值各方面的对比。

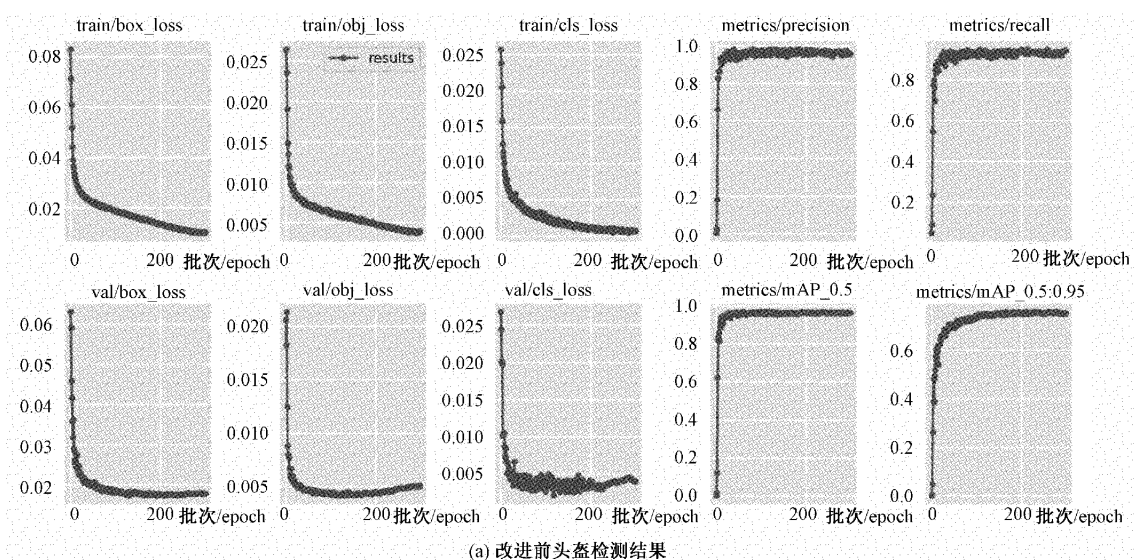
从图 12 中看到改进后模型在准确率和召回率均有提升,尤其是在  $cls\_loss$  变化曲线上,改进后的模型损失降低幅度较大,更早达到 0.005 这个界限值;相比改进前的实验,改进后的模型的类别损失值趋向平稳且值更低,这说明模型的优化对于头盔检测也起到了一定的作用。从图

表 2 电动车实验对比

类别	改进前	改进后
Electricvehicle	0.91	0.92
Others	0.87	0.89

中反映出了模型改进前后准确率上的区别,同时混淆矩阵进一步提供了有效数值。如表 3 所示。

与电动车实验结果类似,改进后的模型在头盔实验中对于两类目标在准确率上有 0.01 到 0.02 的提升。通过实验及实验数据表明,本文所选用针对特征提取网络的优化有效、可靠。





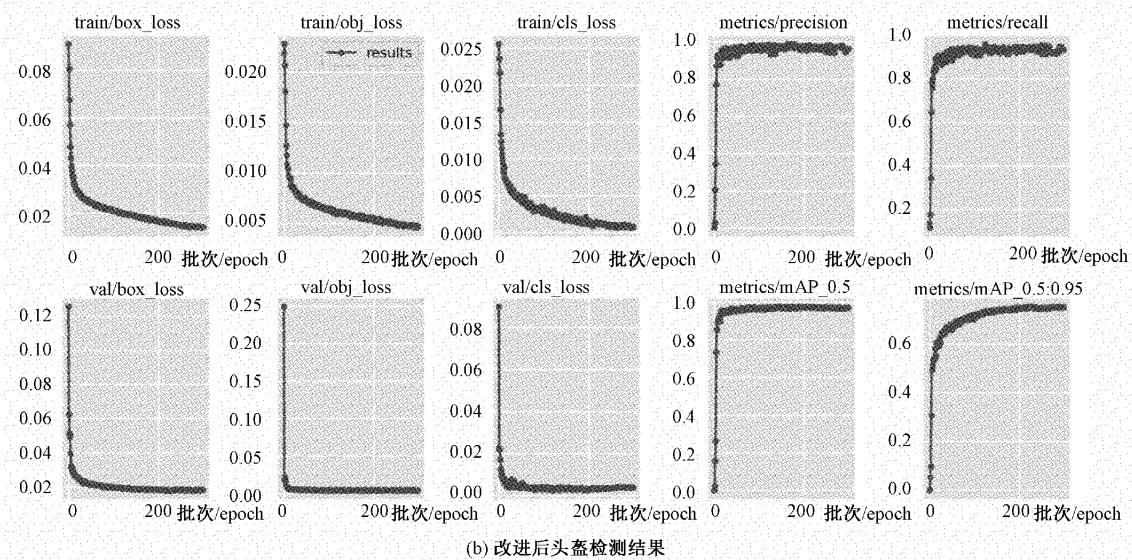


图 12 改进前后头盔实验对比

表 3 头盔实验对比

类别	改进前	改进后
helmet	0.97	0.98
head	0.89	0.91

### 4 结 论

针对目前电动车驾驶人骑行过程中不佩戴头盔行为的监管问题,本文提出在 Yolov5 网络基础上,对其特征提取模块进行优化并结合 Sort 目标跟踪算法实现电动车违规行为识别及追踪的检测方法。所建模型主要包括电动车目标的识别、头盔佩戴识别、Sort 算法做跟踪三个部分。建立实验平台,利用改进后的 yolo 网络与原始网络处理数据,通过对比实验结果可以看到,利用改进后的模型处理两个数据集后,在准确率方面均有 1 至 2 个百分点的提升;再融合 Sort 算法之后,提高了帧与帧之间的联系,将属于不同帧的同一目标绑定在一起,给每个目标赋值,使得后续对违规行为的制止更具有目标性。相比目前现存的非机动车佩戴头盔监管方案,该方法更适用于实际交通路口非机动车辆违规行为的监管,具有广泛应用前景。

### 参考文献

[1] 徐印赟,江明,李云飞,等. 基于改进 YOLO 及 NMS 的水果目标检测[J]. 电子测量与仪器学报,2022,36(4): 114-123.  
 [2] 陈明曦,侯涛,赵晏章,等. 基于新型改进 Canny 算法的铁轨边缘检测研究[J]. 国外电子测量技术,2021, 40(11):48-52.  
 [3] 周晓彦,王珂,李凌燕. 基于深度学习的目标检测算

法综述[J]. 电子测量技术,2017, 40(11): 89-93.  
 [4] ESTER V, JOAN N, ROSA M, et al. A two-stage approach to automatically detect and classify woodpecker (Fam. Picidae) sounds [J]. Applied Acoustics,2020,DOI:10.1016/j.apacoust.2020.107312.  
 [5] MAO Y. A pedestrian detection algorithm for low light and dense crowd Based on improved YOLO algorithm[J]. MATEC Web of Conferences, 2022, DOI:10.1051/MATECONF/202235503020.  
 [6] 伍济钢,成远,邵俊,等. 基于改进 YOLOv4 算法的 PCB 缺陷检测研究[J]. 仪器仪表学报,2021,42(10): 171-178.  
 [7] 杨晓玲,江伟欣,袁浩然. 基于 yolov5 的交通标志识别检测[J]. 信息技术与信息化,2021, 4:28-30.  
 [8] 吴帅,徐勇,赵东宁. 基于深度卷积网络的目标检测综述[J]. 模式识别与人工智能,2018, 31(4): 335-346.  
 [9] 陈锋军,朱学岩,周文静. 利用无人机航拍视频结合 YOLOv3 模型和 SORT 算法统计云杉数量[J]. 农业工程学报,2021, 37(20):81-89.  
 [10] 张麒麟,林清平,肖蕾. 改进 YOLOv5 的航拍图像识别算法[J]. 长江信息通信,2021,3: 73-76.  
 [11] 王欣明. GPS/INS 组合导航系统中卡尔曼滤波算法的研究与实现[D]. 北京: 北京交通大学,2012.  
 [12] FU H X, SONG G Q, WANG Y C. Improved YOLOv4 Marine Target Detection Combined with CBAM[J]. Symmetry,2021,DOI:10.3390/SYMI3040623.  
 [13] 郝帅,张旭,马旭,等. 基于 CBAM-YOLOv5 的煤矿输送带异物检测 [J]. 煤炭学报,2022, DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2021.1644.  
 [14] 薛瑞晨,郝媛媛,张振,等. 基于改进 YOLOv3 的头

- 盔佩戴检测算法[J]. 电子测量技术, 2021, 44(12): 115-120.
- [15] 黄凯文, 凌六一, 王成军, 等. 基于改进 YOLO 和 DeepSORT 的实时多目标跟踪算法[J]. 电子测量技术, 2022, 45(6): 7-13.
- [16] 李建良, 张婷婷, 陶知非, 等. 基于改进 Camshift 与 Kalman 滤波融合的领航车辆跟踪算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(6): 131-139.
- [17] 王嘉琳. 基于 YOLOv5 和 DeepSORT 的多目标跟踪算法研究与应用[D]. 山东大学, 2021.

### 作者简介

朱硕, 讲师, 工学博士, 主要研究方向为人工智能、光电系统检测与评价方法研究等。

E-mail: zshuo2011@163.com

黄剑翔, 硕士研究生, 南京信息工程大学电子信息专业, 主要研究方向为人工智能。

E-mail: 2279625101@qq.com

汪宗洋, 高级工程师, 工学硕士, 主要研究方向为人工智能、数字信息感知与融合技术等。

E-mail: 356177293@qq.com