

钟富涛, 李泽滔, 牟刚. 基于改进 YOLOv8 的 SORT 辅助导盲算法[J]. 智能计算机与应用, 2026, 16(3): 194-200. DOI: 10.20169/j. issn. 2095-2163. 24050606

# 基于改进 YOLOv8 的 SORT 辅助导盲算法

钟富涛<sup>1</sup>, 李泽滔<sup>1</sup>, 牟刚<sup>2</sup>

(1 贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025; 2 重庆公共运输职业学院 智慧交通学院, 重庆 402260)

**摘要:** 本文针对室外导盲场景下盲人安全出行问题, 对目标检测网 YOLOv8 进行改进, 结合优化后的 SORT 算法实现对关键动态目标(车辆、行人)的跟踪, 帮助盲人安全出行。首先, 使用可变卷积(Deformable Convolution)替换 YOLOv8 中的传统卷积, 以增强模型对于不规则目标的特征提取能力, 抑制无关特征的干扰, 提高模型的检测精度。然后, 在主干特征提取网络中加 Shuffle Attention(SA)注意力机制模块, 使模型更好地聚焦于有效特征。同时在 SORT 算法中添加三角测量法, 实现跟踪目标距离信息的获取。实验结果表明, 优化后的 SORT 算法相较于优化前在跟踪准确度(MOTA)和跟踪精度(MOTP)上分别提升了 6.89% 和 7.17%。

**关键词:** 导盲; YOLOv8; Shuffle Attention; 可变卷积; SORT

**中图分类号:** TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-2163(2026)03-0194-07

## SORT-assisted navigation algorithm based on enhanced YOLOv8

ZHONG Futao<sup>1</sup>, LI Zetao<sup>1</sup>, MOU Gang<sup>2</sup>

(1 School of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2 School of Intelligent Transportation, Chongqing Vocational College of Public Transportation, Chongqing 402260, China)

**Abstract:** This paper addresses the issue of safe outdoor navigation for the visually impaired. The research enhances the YOLOv8 target detection network and combined with the optimized SORT algorithm, tracks key dynamic targets (vehicles, pedestrians) and assists the visually impaired in safe navigation. Initially, Deformable Convolution replaces traditional convolution in YOLOv8 to enhance the model's ability to extract features from irregular objects, suppress irrelevant features, and improve detection accuracy. Then, the Shuffle Attention (SA) mechanism is added to the main feature extraction network to better focus on relevant features. Simultaneously, the SORT algorithm is augmented with the triangulation method to obtain distance information for tracking targets. Experimental results demonstrate that the optimized SORT algorithm improves tracking accuracy (MOTA) and precision (MOTP) by 6.89% and 7.17% respectively compared to the unoptimized version.

**Key words:** guide blind; YOLOv8; Shuffle Attention; deformable convolution; SORT

## 0 引言

当前, 国内有一千多万被统称为“盲人”的视力残疾人<sup>[1]</sup>, 在信息交流、学习、出行和日常生活中存在诸多困难<sup>[2-3]</sup>。在盲人日常出行中, 常常会遭遇难以得知路上车辆或者行人距离自身的准确位置等问题, 这些问题严重时甚至会危及到盲人的生命安全<sup>[4-5]</sup>。因此需要研究针对盲人出行的室外辅助导盲算法。

当前的室外辅助导盲算法主要分为 2 类: 传统基于单片机的辅助导盲算法和基于深度学习的辅助导盲算法。

传统基于单片机的辅助导盲算法包括障碍物感知类算法和安全路径规划类算法。障碍物感知类算法以单片机为主要载体, 附加红外传感器、GPS 定位模块、SIM 通信模块等外设, 能够实现简单的感应障碍物、危险呼救等功能。但此类方法无法准确获取周围环境的关键语义信息, 功能也较为单一, 无法有效帮助盲人安全出行<sup>[6-8]</sup>。安全路径规划类算法通过激光传感器等感应元器件生成周围环境的简易栅格地图, 再结合路径规划算法(如 A\* 算法)进行避让路径的规划。该算法能够规划出一条相对安全的盲人行走路径, 具备一定的辅助导盲效果。但同样

**作者简介:** 钟富涛(1998—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 深度学习, 图像处理; 牟刚(1977—), 男, 副教授, 主要研究方向: 人工智能。

**通信作者:** 李泽滔(1960—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 智能电网, 计算机控制技术。Email: 1758604018@qq.com。

**收稿日期:** 2024-05-06

不能有效感知周围环境的语义信息,无法高效安全地进行辅助导盲<sup>[9-10]</sup>。

近年来,深度学习高速发展,基于深度学习的辅助导盲算法发展迅速<sup>[11]</sup>。基于深度学习的目标检测算法逐级提取图像特征并自主学习获取特征信息,可以较好地获取图像里的信息<sup>[12]</sup>。而室外辅助导盲算法需要获取环境中如行人和车辆位置等关键信息,因此基于深度学习的辅助导盲算法也应运而生<sup>[13]</sup>。在车辆检测问题上,王朝辉等学者<sup>[14]</sup>提出基于YOLO的街景影像中行人车辆检测方法,实现在街道场景检测车辆和行人,但检测速度有较慢,不具备实时性。Wang等学者<sup>[15]</sup>提出了一种基于NAM注意力机制的小目标车辆检测与跟踪新方法,以实现较高的检测与跟踪精度,但NAM注意力机制对于导盲辅助场景下车辆的特征提取能力较差,影响了检测精度。左炳辉等学者<sup>[16]</sup>设计了基于机器视觉的智能导盲杖,实现了障碍物的识别。

但目前基于深度学习的导盲算法大多只知道关键动态目标(行人、车辆等)的语义信息,即知道目标是行人、还是车辆,而不知道动态目标相距盲人的距离信息。同时也无法对这些目标进行有效的跟踪<sup>[17-18]</sup>。

陈信强等学者<sup>[19]</sup>提出一种基于Faster-RCNN检测算法和改进Deep SORT跟踪算法的港区工作人员轨迹提取框架,可为自动化码头安全监管提供技术支撑。蒲一超<sup>[20]</sup>提出了基于简单的在线实时多目标跟踪(SORT)算法和光流模型的地铁站客流运动轨迹识别方法,作为地铁安全防控的辅助手段。刘晓雷等学者<sup>[21]</sup>提出基于改进的YOLOX-SORT算法公交客流实时检测方法,实现精准统计公交客流量。由此可见,可以将SORT应用到导盲领域,实现导盲场景下,关键动态目标的跟踪。

基于以上分析,本文提出基于改进YOLOv8的SORT辅助导盲算法,主要工作如下:

(1)使用可变卷积(Deformable Convolution)替换YOLOv8中的传统卷积,以增强模型对于不规则目标的特征提取能力,抑制无关特征的干扰,提高模型的检测精度。在主干特征提取网络中加入Shuffle Attention(SA)注意力机制模块,使模型更好地聚焦于有效特征。

(2)在SORT算法中添加三角测量法,实现跟踪目标实际距离信息的获取。

## 1 YOLOv8 目标检测模型

YOLOv8是当前YOLO系列算法中最新推出的

网络模型,可以完成目标检测、图像分类、实例分割任务等等。针对本文算法的应用场景综合考虑识别速度和精度,选取体积小、识别精度高的YOLOv8s网络模型为基础。其网络模型如图1所示。

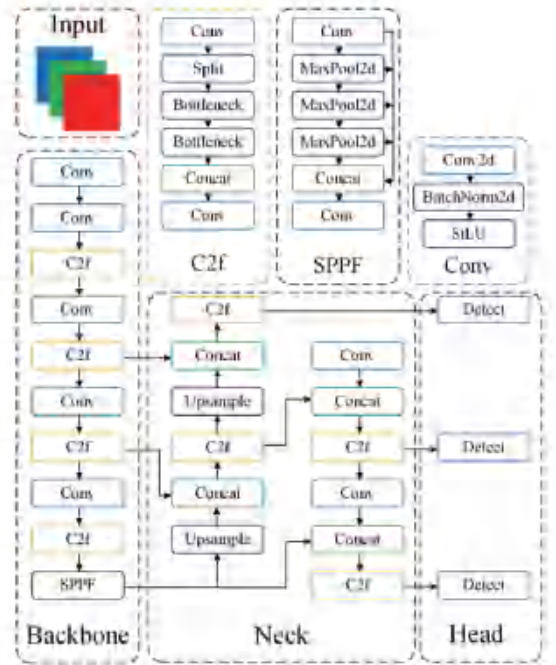


图1 YOLOv8网络结构

Fig. 1 YOLOv8 network architecture

数据的特征提取主要通过主干部分(Backbone)实现,包括SPPF、Conv和C2f模块。SPPF(Spatial Pyramid Pooling Fusion)模块通过空间金字塔池化实现,在不改变原始特征图大小的情况下,对尺度大小的特征图进行池化操作,实现提高目标检测准确率的目的。Conv模块是一个卷积模块,由一个卷积层和一个批归一化层构成。

在目标检测模型中,低级特征图包含的细节信息更多,但缺乏语义和上下文信息;高级特征图包含更多的语义信息和上下文信息,但丢失了一些细节。而颈部网络(Neck)部分通过将低级特征图和高级特征图进行融合,能够传递和融合层级与层级之间的信息,进而增强了目标检测的能力。

最后由Head部分输出预测,由3个Detect模块组成,分别对应 $80 \times 80$ 、 $40 \times 40$ 、 $20 \times 20$ 三种尺度大小,实现对不同大小目标的检测和分类。

## 2 改进YOLOv8的关键目标检测

本文使用可变卷积(Deformable Convolution)替换YOLOv8中的传统卷积,以增强模型对于不规则目标的特征提取能力,抑制无关特征的干扰,提高模型的检测精度。在主干特征提取网络中加Shuffle

Attention(SA)注意力机制模块,使模型更好地聚焦于有效特征。改进后的结构如图 2 所示。

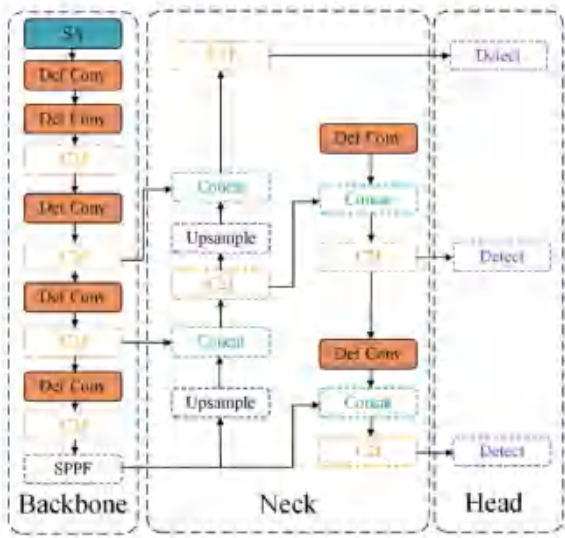


图 2 改进后的网络结构

Fig. 2 Improved network structure

### 2.1 可变卷积

传统的卷积操作是将特征图分成一个个与卷积核大小相同的部分,然后进行卷积操作,每部分在特征图上的位置都是固定的。但本文需要检测的目标,如斑马线和盲道,结构比较复杂,传统卷积的特征提取效果较差。

可变卷积(Deformable Convolution)在卷积的过程中引入了偏移量,同时这偏移量是可学习的。这使得卷积不再是固定的矩形,而是与物体的实际形状接近,这样此后的卷积区域便始终覆盖在物体形状周围,如图 3 所示。对于形状比较复杂的目标,都能实现较好的检测。

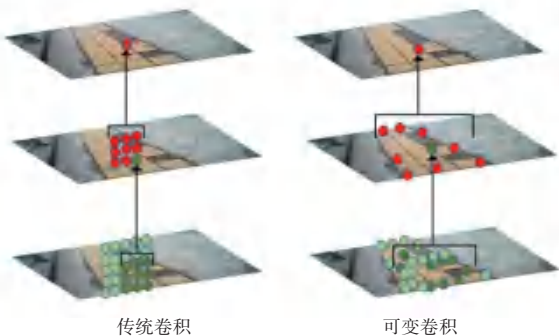


图 3 学习过程对比

Fig. 3 Comparison of learning processes

传统的卷积结构定义如下:

$$y(p_0) = \sum_{p_n \in R} w(p_n) \cdot x(p_0 + p_n) \quad (1)$$

其中,  $p_0$  是输出特图的每个点,与卷积核中心点对应,  $p_n$  表示  $p_0$  在卷积核范围内的每个偏移量。

可变形卷积公式如下:

$$y(p_0) = \sum_{p_n \in R} w(p_n) \cdot x(p_0 + p_n + \Delta p_n) \quad (2)$$

可变形卷积是在式(1)的基础上为每个点添加了一个偏移量,偏移量是由输入特征图与另一个卷积生成的,通常为小数。

由于加入偏移量后的位置非整数,并不对应特征图上实际存在的像素点,因此需要使用插值来得到偏移后的像素值,通常可采用双线性插值,具体公式如下:

$$x(p) = \sum_q G(q, p) \cdot x(q) = \sum_q g(q_x, p_x) \cdot g(q_y, p_y) \cdot x(q) = \sum_q \max(0, 1 - |q_x - p_x|) \cdot \max(0, 1 - |q_y - p_y|) \cdot x(q) \quad (3)$$

可变卷积网络的结构如图 4 所示。

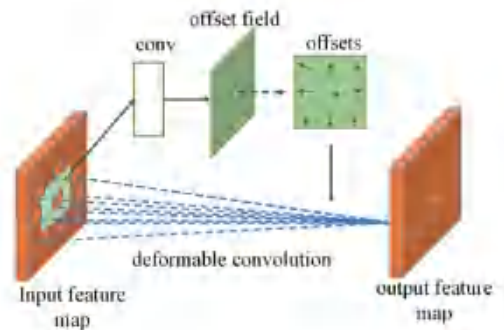


图 4 可变卷积网络结构

Fig. 4 Architecture of Deformable Convolutional Network

### 2.2 Shuffle Attention 注意力机制

在本文所有待检测目标中,红绿灯相较于其他检测的目标要小得多,在图像中占据的位置很小。若不进行相应处理,模型会倾向于提取大目标的特征,小目标的特征会被忽略或者覆盖。为了提高最终模型对于红绿灯的特征表达能力,本文算法模型中引入了 Shuffle Attention(SA)注意力机制,其网络结构如图 5 所示。

目前的注意力机制主要分为空间注意力机制和通道注意力机制,同时使用这 2 种注意力机制理论上可以实现更好的的效果,但这会导致模型计算量的剧增。SA 注意力机制能在结合空间注意力机制和通道注意力机制的同时,模型计算量增加不多。SA 注意力机制可以在不同维度之间进行交换和重组,能较好地获取序列中的交互信息。与传统的注意力机制不同,SA 注意力机制可以在空间和时间上同步处理信息,在处理多维数据时有很强的特征提取能力和可拓展性。

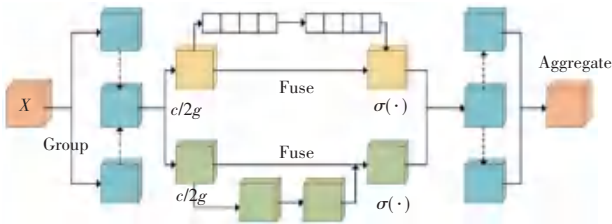


图 5 SA 注意力机制结构

Fig. 5 Structure of SA attention mechanism

首先将传入的 Tensor 分为  $g$  个组:  $X = [X_1, \dots, X_g]$ , 每个组都用 SA Unit 进行处理。SA Unit 中分为通道注意力机制(图 5 中淡黄色部分)和空间注意力机制(图 5 中淡绿色部分)。通道注意力通过 GAP、Scale 和 Sigmoid 组合实现,推得的计算公式如下:

$$s = F_{gp}(X_{k_1}) = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W X_{k_1}(i, j) \quad (4)$$

$$X'_{k_1} = \sigma(F_c(s)) \cdot X_{k_1} = \sigma(W_{1s} + b_1) \cdot X_{k_1} \quad (5)$$

空间注意力关注具体位置,是通道注意力的互补。采用 Group Norm 对  $X_{k_2}$  进行处理得到空域层面的统计信息,再采用  $F_c$  进行增强,对此可以表示为:

$$X'_{k_2} = \sigma(W_2 \cdot GN(X_{k_2}) + b_2) \cdot X_{k_2} \quad (6)$$

其次,SA Unit 通过 Concat 的方式对每个组内的 2 种信息进行融合。最后,使用 Channel Shuffle 操作对每个组进行重排,组与组之间进行信息流通。

### 3 SORT 算法原理

#### 3.1 算法原理解析

SORT(Simple Online and Realtime Tracking)算法是一种在计算资源受限条件下设计的高效目标跟踪方法。该算法结合了目标检测和卡尔曼滤波器的运动预测,用以实时精确地跟踪视频帧中的物体。通过运用匈牙利算法进行数据关联,SORT 能够在连续帧之间准确匹配目标,确保跟踪的连续性和准确性。此方法在动态复杂的视觉场景中表现出了显著的跟踪稳定性和高效性。SORT 算法原理如图 6 所示。

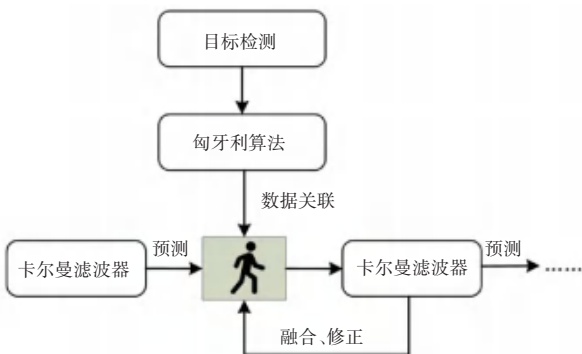


图 6 SORT 算法原理图

Fig. 6 Diagram of SORT algorithm

(1) 目标检测算法。将原来的目标检测算法 Faster-RCNN 替换为改进后的 YOLOv8 网络模型。这样就可以对导盲场景的关键动态目标(行人、车辆)进行跟踪。

(2) SORT 的数据关联。在 SORT 算法中,数据关联环节扮演了至关重要的角色,主要职责是在新的视频帧中识别出的目标与现有的跟踪目标之间建立匹配关系。这一过程旨在确保在视频序列中,即便面对目标移动和相互遮挡等挑战,目标的身份仍能得到连续且准确的跟踪。

数据关联的第一步是计算一个成本矩阵,其中矩阵的每个元素表示将当前帧中的一个检测目标与已跟踪目标之间进行匹配的成本。SORT 算法使用边界框之间的交并比 (IOU) 作为成本计算的依据。是一种衡量 2 个边界框重叠程度的指标,其值范围从 0 到 1,值越大,表明重叠程度越高。成本矩阵是通过 1 减去值来构建的,这意味着两个边界框重叠程度越高,两者之间的匹配成本就越低。一旦成本矩阵计算完成,SORT 算法使用匈牙利算法来解决最优匹配问题。

匈牙利算法解决的核心问题是在二维代价矩阵中找到一种任务分配方案,以使得总成本最小化。每个矩阵元素代表分配一个任务给一个资源的成本。算法通过寻找增广路径不断迭代,直至发现一种使总成本最低的最优分配方式。匈牙利算法步骤如下:

**步骤 1** 对成本矩阵进行处理,使得每行和每列至少有一个零元素。具体做法是先从每行元素中减去其行最小值,然后从每列元素中减去其列最小值。

**步骤 2** 使用最少数量的水平或垂直线条覆盖所有的零元素。目标是用最少的线条覆盖所有零元素。

**步骤 3** 如果线条数小于矩阵的阶数,调整矩阵以产生更多的零元素。选取未被线条覆盖的最小元素,减去这个元素值,并加到被 2 条线覆盖的元素上。

**步骤 4** 重复进行步骤 2 和步骤 3,直到线条数等于矩阵的阶数为止。

**步骤 5** 最终,能用最少线条覆盖的矩阵状态表示最优匹配。每个零元素(或调整后为零的元素)代表一个匹配对,确保这些匹配是最优的(即总成本最低或总效益最高)。

根据匈牙利算法的结果,每个检测目标都会被分配给一个最合适的跟踪目标(如果有的话),并更新该跟踪目标的状态。如果当前帧中的检测目标没有被匹配到任何现有的跟踪目标,那么将初始化一

一个新的跟踪。对于那些在连续几帧中都没有与任何检测目标匹配的跟踪目标, SORT 算法会将其从跟踪列表中移除, 认为这些目标已经离开了场景或不再被摄像机捕捉到。

### 3.2 动态目标距离信息

SORT 算法是一个为视频跟踪设计的简单高效算法, 专注于实时追踪视频中的多个对象。该算法通过预测对象的位置和速度来更新跟踪状态, 但原生的 SORT 算法不包括处理三维空间信息, 如距离或深度。因此, 要获取对象的三维距离信息, 需要将 SORT 算法与双目摄像头系统结合使用。

应用三角测量原理来确定跟踪目标和双目摄像头的距离。双目摄像头系统由 2 个平行放置的摄像头组成, 这 2 个摄像头之间的距离(基线距离)是已知的。这 2 个摄像头分别捕获场景的左视图和右视图, 由于视角的差异, 相同的物体在 2 个视图中会出现在不同的位置, 这种位置差异称为视差。

视差与跟踪目标到摄像头的距离成反比, 称为三角测量法。这里用到的公式为:

$$Z = \frac{f \times B}{d} \quad (7)$$

其中,  $Z$  表示跟踪目标到摄像头的距离;  $f$  表示摄像头的焦距, 通常在摄像头的校准过程中得到;  $B$  表示双目摄像头之间的基线距离, 即 2 个摄像头中心之间的水平距离;  $d$  表示视差, 即同一物体在左右 2 个摄像头图像中的水平位置差, 由此推得:

$$d = x_L - x_R \quad (8)$$

其中,  $x_L$  和  $x_R$  分别表示同一跟踪目标在左摄像头和右摄像头图像上的横向坐标。

SORT 算法首先在视频帧中检测到要跟踪的关键动态目标(车辆、行人等), 并为每个关键动态目标分配一个唯一的标识符, 进行跟踪。对于每个被跟踪的目标, 分别在左视图和右视图中定位其对应的图像区域。使用立体匹配算法计算这 2 个区域之间的视差。然后利用三角测量公式, 根据测量的视差值计算出每个跟踪目标到双目摄像头的距离。

通过这个过程, SORT 算法实现了对关键动态目标的跟踪, 同时还能估算出这些动态目标的距离信息。

## 4 实验验证与结果分析

### 4.1 实验数据集

本文算法应用场景是室外辅助导盲, 需要检测的目标包括车辆、行人。数据集为自己制作, 实景拍

摄了 2 000 张原始图片, 通过数据扩增到 3 000 张, 大部分图片包含多种待检测目标。

通过 LabelMe 对数据集图片中的每一个目标类别进行了细致的手工标注, 确保了数据集的标注质量。这个过程中, 每个目标都被赋予了一个特定的类别标签, 从而便于后续的机器学习模型识别和学习。

完成标注后, 所有经过处理的图片被保存为 JPG 格式, 这种格式既能保证图像质量, 又能减小文件大小, 便于存储和传输。随后, 将 LabelMe 生成的标注文件转换为了文本格式(txt), 以便于算法处理和分析。这一步骤是通过自动化脚本完成的, 将标注信息中的关键数据, 如目标的类别、位置坐标等, 转换成了易于机器阅读和处理的格式。

按照 8 : 1 : 1 的比例将整个数据集划分为训练集、测试集和验证集。这种划分方式能一定程度上确保模型在训练过程中学习到足够的数据特征。训练集用于模型学习, 而测试集和验证集则用于评估模型在未见过的数据上的表现, 以此确保模型的准确性。

### 4.2 实验评估指标

本文将从检测和跟踪两个方面来进行性能评估。检测方面选取准确率  $P$  (Precision)、召回率  $R$  (Recall)、平均精度 mAP (mean Average Precision) 作为评估检测性能的指标。mAP 表示设置为 0.5 时的平均精度。研究中用到的公式为:

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (10)$$

$$AP@0.5 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i = \frac{P_1}{n} + \frac{P_2}{n} + \dots + \frac{P_n}{n} \quad (11)$$

$$mAP@0.5 = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^C AP@0.5_k \quad (12)$$

在对目标跟踪方面, 本文采用的性能指标有目标跟踪准确率 (MOTA) 和多目标跟踪精度 (MOTP)。数学公式具体如下:

$$A_{MOTA} = 1 - \frac{N_{FN} + N_{FP} + N_{IDS}}{N_{GT}} \quad (13)$$

$$A_{MOTP} = \frac{\sum_{t,i} d_{t,i}}{\sum_t c_t} \quad (14)$$

其中,  $N_{IDS}$  表示对于同一跟踪目标错误切换 ID 的次数;  $d_{t,i}$  表示目标  $i$  与数据集标注位置之间的平均度量距离;  $c_t$  表示  $t$  帧里成功匹配的个数。

### 4.3 目标检测结果分析

为了有效评估本文提出的改进算法在室外导盲场景下,关键目标检测的准确性和高效性,本节设计了一系列对比实验,旨在与当前主流和高效的目标检测算法进行细致比较。具体而言,选取了包括 Faster R-CNN、YOLOv5、YOLOX、YOLOv7 及 YOLOv8 在内的几种代表性算法作为比较对象。实验采用的数据集和运行设备均相同,结果见表1。

表1 对比实验结果

模型	准确率	召回率	mAP@0.5
YOLOv3	71.5	62.1	62.1
YOLOv4	73.7	63.7	64.2
YOLOv5m	75.2	64.8	66.5
YOLOX	75.6	66.3	66.7
YOLOv7	81.2	67.8	69.3
YOLOv8	82.1	69.5	71.4
本文	89.6	76.3	81.0

由表1可以看出,原始的YOLOv8是所有主流算法中识别精度最好的。而本文改进算法的提升效果明显,准确率、召回率和mAP@0.5分别提高了7.5%、6.8%和9.6%,兼顾了检测的实时性和精度。证明了本文算法的优越性。

### 4.4 跟踪结果与精度分析

为了验证本文算法在导盲场景下关键目标跟踪方面的可行性,将改进后的YOLOv8算法与优化前后的SORT算法结合所得出的试验结果进行对比,结果见如表2。由表2可知,得益于改进后出色的检测性能,优化后的SORT算法相较于优化前在跟踪准确度MOTA和跟踪精度MOTP上都有了一定程度的提升,ID异常切换次数也缩减为优化前的45%。

表2 SORT优化前后性能对比

模型	IDS	MOTA/%	MOTP/%
SORT	20	85.12	84.51
YOLOv8+SORT	15	89.64	88.97
改YOLOv8+SORT	9	92.01	91.68

### 4.5 实验结果图

将改进后的YOLOv8算法检测出的行人和车辆信息送入优化后的SORT算法中,即可实现对车辆和行人的跟踪,如图7所示。



(a) 场景1



(b) 场景2

图7 实验结果图

Fig. 7 Images of experimental results

## 5 结束语

本文针对室外导盲场景下盲人安全出行问题,提出基于改进YOLOv8的SORT辅助导盲算法。对目标检测网YOLOv8进行改进,结合优化后的SORT算法实现对关键动态目标(车辆、行人)的跟踪,帮助盲人安全出行。首先,使用可变卷积(Deformable Convolution)替换YOLOv8中的传统卷积,以增强模型对于不规则目标的特征提取能力,抑制无关特征的干扰,提高模型的检测精度。然后,在主干特征提取网络中加入Shuffle Attention(SA)注意力机制模块,使模型更好地聚焦于有效特征。同时在SORT算法中添加三角测量法,实现跟踪目标距离信息的获取。实验结果表明,优化后的SORT算法相较于优化前在跟踪准确度MOTA和跟踪精度MOTP上分别提升了6.89%和7.17%。

## 参考文献

- [1] 余娜娜. 面向视障人群的导盲辅具设计研究[D]. 广州:广东工业大学, 2022.
- [2] 汪冰倩. 导盲犬为何发展难[J]. 中国工作犬业, 2023(5): 13-14.
- [3] 王广权, 石玲, 王建文, 等. 基于机器学习的智能导盲犬设计[J]. 电子测试, 2022, 36(24): 35-37.
- [4] CHANG Zhencheng, LU Yuran, XIAO Ziyue, et al. Design of an intelligent electronic guide dog based on Jetson Nano[J]. Journal of Advances in Artificial Life Robotics, 2023, 4(2): 116-121.

- [5] ALLMAN R, FREEBERG K, EVANS K M. Interference With the work of dog guides in public: A survey[J]. *Journal of Visual Impairment Blindness*, 2022, 116(5):607-616.
- [6] 吴煜霞, 吴宇辉, 杜海英, 等. 基于 STM32 单片机控制的智能导盲手杖设计[J]. *扬州大学学报(自然科学版)*, 2021, 24(4):33-37.
- [7] 湛海云, 袁杰敏. 基于 RGB-D 深度相机的智能导盲系统[J]. *传感器与微系统*, 2021, 40(1):85-87.
- [8] 杨锦, 檀玉磊, 徐郑, 等. 基于 STC89C52 单片机的智能导盲杖系统设计[J]. *科学技术创新*, 2023(13):87-91.
- [9] 曹梦凡, 李佩玲, 唐轲. 基于 Dijkstra 算法的盲道导航软件的设计与开发[J]. *电脑知识与技术*, 2021, 17(30):82-85.
- [10] 周凯凌, 颜禧烽, 张建民, 等. 室内导盲机器人的设计与实现[J]. *机电工程技术*, 2021, 50(8):36-39.
- [11] 赵崇, 迟蒙蒙, 储聪, 等. 导盲犬行走机构运动仿真及其视觉识别算法研究[J]. *电子科技*, 2021, 34(9):66-72.
- [12] 林泽柠, 汪嘉鹏, 金连文. 视觉信息抽取的深度学习综述[J]. *中国图象图形学报*, 2023, 28(8):2276-2297.
- [13] 黄宁霞, 张荣芬, 刘宇红. 改进深度学习框架 Faster RCNN 的人行道障碍物目标检测[J]. *机械设计与研究*, 2021, 37(2):7-12.
- [14] 王朝辉, 王润哲, 郭震冬, 等. 基于 YOLO 的街景影像中行人车辆检测方法[J]. *北京测绘*, 2021, 35(11):1452-1455.
- [15] WANG Jiandong, DONG Yahui, ZHAO Shuangrui, et al. A high-precision vehicle detection and tracking method based on the attention mechanism[J]. *Sensors*, 2023, 23(2):724.
- [16] 左炳辉, 范志文, 邱宇. 基于机器视觉的智能导盲杖[J]. *自动化技术与应用*, 2022, 41(3):150-152.
- [17] 刘昕斐, 张荣芬, 刘宇红, 等. 基于 YOLOv5s 的导盲系统障碍物检测算法[J]. *智能计算机与应用*, 2023, 13(11):220-226.
- [18] 陈倩倩, 王欢, 朱敏. 基于 YOLOv5 的盲道和斑马线检测[J]. *信息技术与信息化*, 2022(7):10-14.
- [19] 陈信强, 王美琳, 李朝锋, 等. 基于深度学习与多级匹配机制的港区人员轨迹提取[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2023, 23(4):70-79.
- [20] 蒲一超. 基于 SORT 算法和光流模型的地铁车站客流运动轨迹识别方法研究[J]. *城市轨道交通研究*, 2023, 26(7):7-12.
- [21] 刘晓雷, 张维忠, 张宏峰. 基于改进的 YOLOX-SORT 算法公交客流实时检测方法[J]. *青岛大学学报(工程技术版)*, 2022, 37(4):23-29.