

基于YOLO-v4的海滩垃圾识别算法研究

唐艳凤¹, 胡立珊², 尤海正², 刘锦龙², 邵凯琳²

(1. 广东南华工商职业学院, 广东 广州 510507;

2. 广州华立学院, 广东 广州 511325)

摘要: 海滩垃圾日益增多, 流入大海不但会对海洋环境造成污染, 而且会影响海洋生物健康。对海滩垃圾进行识别并分类处理具有重要意义。提出基于改进的(you only look once version4, YOLO-v4)目标检测算法的垃圾识别分类方案。通过现场拍摄海滩垃圾图片, 建立垃圾数据库; 改进的YOLO-v4算法在传统的YOLO-v4网络架构SCPDarkNet53上融入混合空洞卷积结构, 增强感受域的连续性, 降低信息在池化过程中造成信息丢失的程度。引入空间锯齿空洞卷积, 获取更多细节特征, 将数据集导入改进后YOLO-v4架构中, 实现图像中垃圾种类的识别。实验研究表明, 相比YOLO-v4通用算法, 所提算法在识别海滩垃圾的准确率提升了6%, 对海滩环境的保护有一定的推广意义。

关键词: YOLO-v4; 海滩垃圾识别; 混合空洞卷积; 空间锯齿空洞卷积

中图分类号: TP391.413 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0141-05

Research on Beach Garbage Recognition Algorithm Based on YOLO-v4

TANG Yan-feng¹, HU Li-shan², YOU Hai-zheng², LIU Jin-long², SHAO Kai-lin²

(1. Guangdong Nanhua Vocational College of Industry and Commerce, Guangzhou 510507 China;

2. Guangzhou Huali College, Guangzhou 511325 China)

Abstract: The increasing amount of beach garbage flowing into the sea isn't only pollute the marine environment, but also affect the health of marine organisms. It is of great significance to identify and classify beach garbage. This paper presents a garbage recognition and classification scheme based on the improved (you only look once version4) YOLO-v4 target detection algorithm. It takes pictures of beach garbage on site and establishes a garbage database. In the improved YOLO-v4 algorithm, the mixed hole convolution structure is integrated into the traditional YOLO-v4 network architecture sepdarknet53, so as to increase the continuity of the sensing domain, reduce the degree of information loss caused by the pooling process, introduce spatial sawtooth hole convolution, obtain more detailed features, and import the data set into the improved YOLO-v4 architecture to realize the identification of garbage types in the picture. Experimental research shows that compared with the general algorithm YOLO-v4, the accuracy of this algorithm in identifying beach garbage is improved by 6%, which has a certain promotion significance for the protection of beach environment.

Keywords: YOLO-v4; beach garbage identification; mixed cavity convolution; spatial sawtooth cavity convolution

0 引言

随着经济的发展以及人民生活水平的不断提高, 出门旅行成为假期首选, 海滩是旅游的热门选择。与此同时, 由于旅客数量增多, 人们的环保意识不够, 垃圾收集工作不到位等原因, 导致垃圾在海滩堆积^[1-2]。我国相关部门越来越重视海滩垃圾的处理, 研究海滩垃圾收集及识别算法, 提升海洋垃圾回收资源化技术^[3-5]。目前, 我国对普通垃圾的识别分类^[6-8]研究较多, 但是对海滩垃圾识别并分类回收的研究较少。因此, 本团队提出改进的

YOLO-v4算法对海滩垃圾进行识别分类, 以此提高海滩垃圾回收效率。

宁凯采用YOLO-v2改进算法, 提出一种YOLO-v2-dense网络, 引导扫地机器人进行智能化的自主清扫, 避免盲动并减少能耗^[9]。王明吉等人提出了基于YOLO-v4的垃圾检测方法, 采用迁移学习模型以及K-means++聚类算法^[10]。李庆等人提出基于YOLO-v4嵌入注意力机制目标检测, Attn-YOLOv4对目标检测和跟踪算法进行了验证, 其是基于多线程的目标跟踪算法, 实现对运动垃圾的快速稳定跟踪^[11]。上述研究在识别领域实验取得了一定的成果, 但是算法网络结构庞大且参数多, 识别速度较慢, 无法满足海滩垃圾识别任务对模型实时性的需求。

*基金项目: 2020年广东省大学生创新创业项目(202013656069); 广东省普通高校青年创新人才项目(2019KQNCX201)

收稿日期: 2023-10-18

针对上述存在的问题,本文提出了一种改进的YOLO-v4海滩垃圾检测算法。本文采用交并比(intersection over union, IoU)作为K-means算法参数,先获得先验框并框识别目标物,以此来提高识别速度;在CSP-DarkNet53特征提取网络引入混合空洞卷积(hybrid deep cnn-attention, hdc-Attention),采用空间锯齿空洞卷积(spatial jagged dilated convolution, SJDC)代替原算法中SPP结构,增强感受域的连续性,降低信息在池化过程中造成信息丢失的程度。

1 YOLO-v4改进算法

1.1 YOLO-v4改进网络

在YOLO-v4通用算法中,图像传入时首先会传入CSPDarknet53,利用卷积不断进行特征提取,最终得到

三个有效特征层,为了改进加强特征提取网络,改进算法使用SJDC结构,减少了参数量,而且可以帮助提取有效特征值,使用Mosaic进行数据增强。改进网络如图1所示。

1.2 HDC网络

采用特征图的一部分信息在池化层会丢失,原本的YOLO-v4模型特征提取网络,可以增大感受野,对数据进行降维,缺点是对网络进行训练时,先对特征词进行一系列的下采样,再通过一系列的上采样还原图片的大小,这样会降低特征图的分辨率,图像细节、内部数据结构与空间层级化信息有丢失的可能性,使得原本的图像大小尺寸信息无法重构。为了更好地提升模型的检测能力,还原图片模型信息,考虑在原有的YOLO-v4网络的主干CSPDark53中引入空洞卷积^[12],空洞卷积融合可以实现增大感受野并且不降低分辨率的效果,如图2所示。

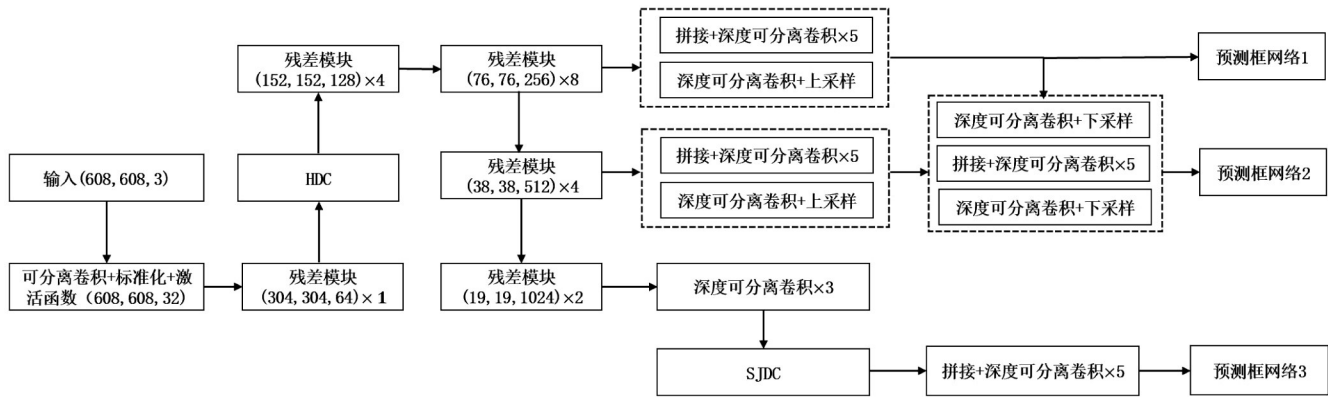


图1 YOLO-v4改进网络

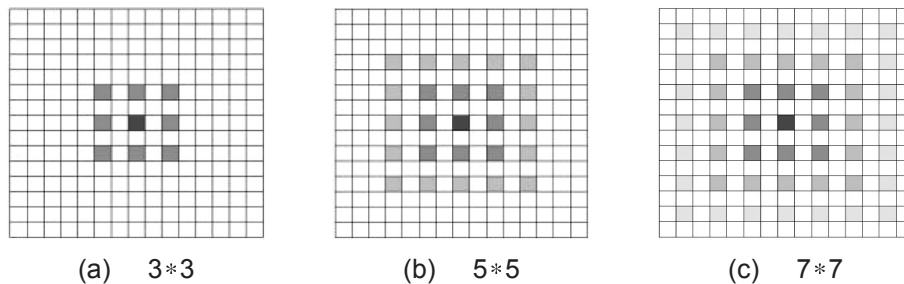


图2 空洞卷积

感受野与卷积核的计算见式(1):

$$X_n = X_k + (X_k - 1) \cdot (D_r - 1) \quad (1)$$

式中, X_n 表示卷积后卷积核的大小, X_k 表示卷积前卷积核的大小, D_r 表示空洞率。

$$y_m = y_{m-1} + ((X_m - 1) \times \prod_{a=1}^{m-1} s_a) \quad (2)$$

式(2)为空洞卷积后特征图感受野计算公式, y_m 表示第 m 层的感受野, X_m 表示第 m 层卷积核的大小, s_a 表示第 a 层卷积的卷积核步长。

$$O = \left\lceil \frac{i + 2p - X_k - (X_k - 1) \cdot (D_r - 1)}{s_i} \right\rceil + 1 \quad (3)$$

式(3)为卷积之后的特征图的大小计算公式,输入空洞卷积大小为 i ,步长 s_i ,填充像素数为 $2p$ 。

仅采用空洞卷积的堆叠方式会存在一些缺陷,如:空洞卷积核之间的不连续,导致像素遗漏,进而可能导致图像连续性信息的缺失,如图3所示。而采用HDC混合空洞卷积后,由于混合结构的存在,不同空洞率的空洞卷积在进行融合时,每一次单步卷积计算都能恰好地填充上一次卷积计算留下的空洞,增加感受野的完整性,从而保证像素不会遗失。

原YOLO-v4算法中,图像经过三次卷积后直接进入

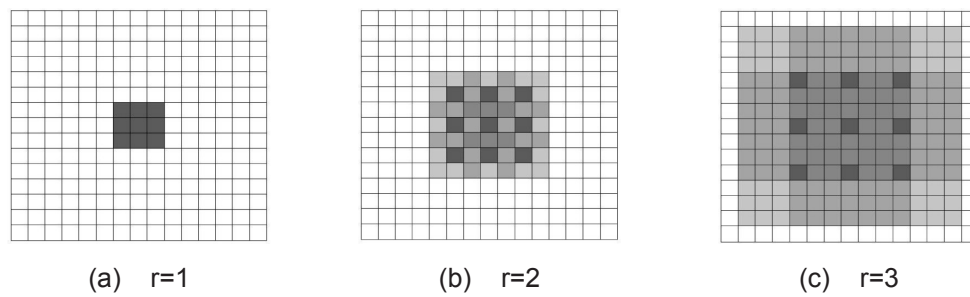


图3 HDC混合空洞卷积

SPP结构,会损失细节特征信息,同时,直接将多尺度信息进行融合,需要计算很多重复的特征信息。本算法引入进入空间锯齿空洞卷积SJDC^[13-15]结构可以有效地克服这两个缺陷,进入SJDC的三个系数呈循环锯齿状,例如(1,2,3;1,2,3),SJDC结构如图4所示。

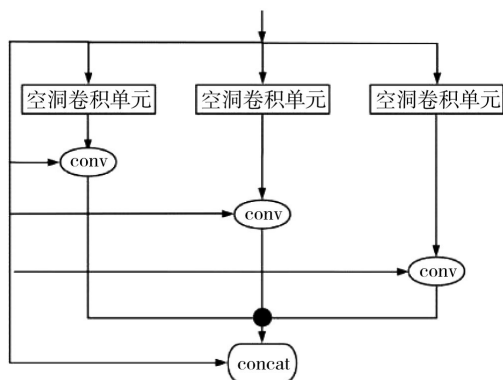


图4 SJDC结构

在YOLO-v4中采用Mish作为激活函数,Mish激活函数非单调激活函数,它具有光滑、非单调、上无界、有下界等特点,它的表达式见式(4)。

$$f(x) = x \cdot \tanh(\log(1 + e^x)) \quad (4)$$

2 K-means聚类

本文提出的改进的YOLO-v4海滩垃圾识别算法中,采用K-means聚类算法^[16],在训练集中标注的垃圾图片

进行聚类分析的过程中,可获得最优的聚类结果。候选框选取框与框中心点的欧氏距离,考虑到候选框和真实框的误差影响因素,选用IoU作为K-means聚类的参数,反应影响因素的差距,计算聚类距离的公式见式(5)、式(6),box和center分别是样本的先验框和垃圾类的聚类中心。

$$d(box, center) = 1 - IoU(box, center) \quad (5)$$

$$dist(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

3 实验与结果分析

3.1 数据集



图5 沙滩垃圾

实验收集了饮料瓶、饭盒、垃圾袋等海滩上常见的垃圾图片作为训练对象,通过选择在不同距离、不同角度、

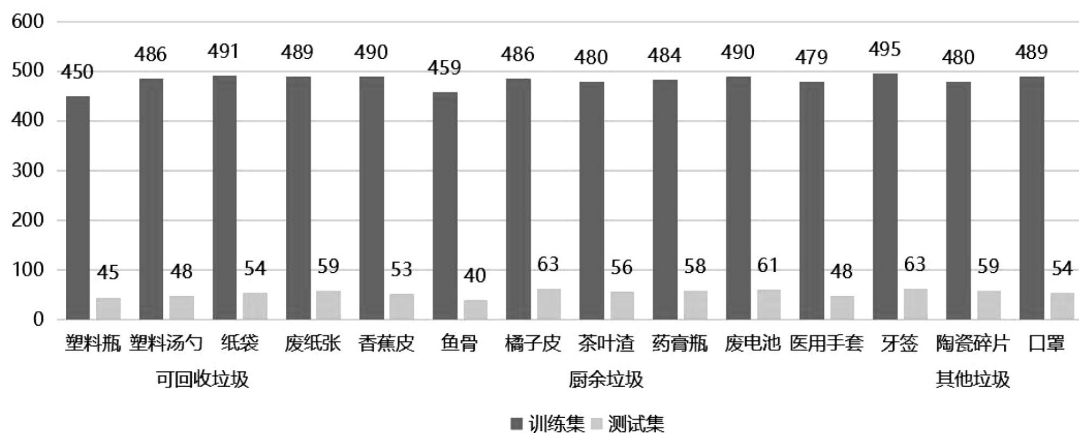


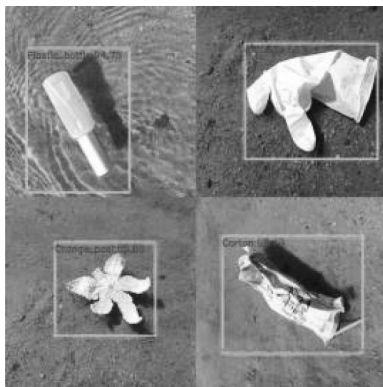
图6 训练集和测试集的情况

不同光照强度下拍摄图片,采集的原始数据图像如图5所示。样本集有沙滩上垃圾,也有水面垃圾。垃圾图片数据库整理好之后,使用Python程序将所有图片重命名,目标检测的标签采用英文,格式为“垃圾的英文+识别率”,使用Labelimg给每个图片的object打上标签,每个标签代表一个种类,生产的文件是训练真正用到的数据集,当神经网络的loss值几乎不变时,则可停止训练。训练集和测试集的具体情况见图6。

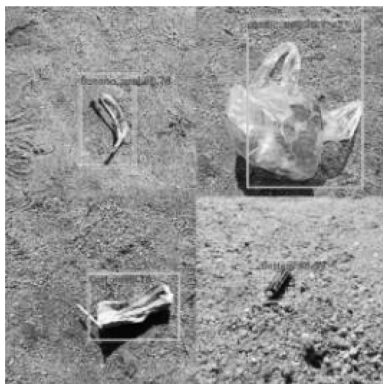
3.2 实验模型测试



图7 系统控制平台



(a) 水面垃圾



(b) 沙滩垃圾

图8 水面垃圾和沙滩垃圾识别效果

本实验以预测框与目标框的交并比(IoU)是否大于0.5作为评判成功检测到目标的依据,大于0.5为成功检

测到目标,否则识别失败。在进行实验时,首先进行垃圾数据库训练,接着对测试集的垃圾图像进行测试,摄像头采集垃圾图像并且进行检验,系统控制平台界面如图7所示,界面中显示垃圾种类以及垃圾负载箱的使用情况。图8(a)和图8(b)分别是水面上和沙滩上的垃圾识别结果。本实验装置在沙滩上和在水面均可以准确识别到垃圾种类。

图9中,左边两个是使用YOLO-v4通用版算法识别的效果图,右边是YOLO-v4改进算法识别的效果图,从图中的数据显示两种算法均可准确检测到垃圾和垃圾的位置信息,其中使用YOLO-v4改进算法对电池的识别率高达93.37%,与通用版算法相比提高了17.08%,YOLO-v4改进版对饮料瓶的识别率高达98.16%,与通用版算法相比提高了6.24%。

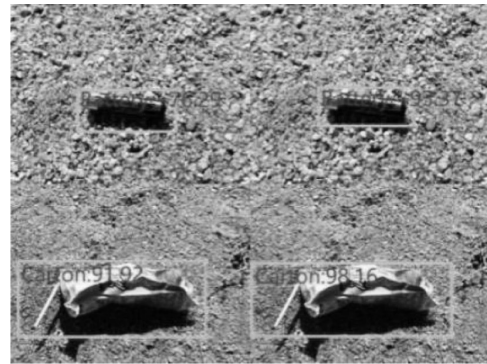


图9 不同算法识别效果对比



(a) 改进版算法识别效果



(b) 原算法识别效果

图10 不同光照条件识别效果对比

不同的光照强度照射到物体上,图像的噪声强度不一样,在光线强度过强或过暗时,会增加图片中噪声,从而影响图像中垃圾种类的识别。采集正常光照强度、过曝、过暗三种光照条件的图像照片,再分别采用YOLO-v4改进算法和YOLO-v4通用算法对三种不同光照强度的图像进行识别。识别效果如图10(a)和图10(b)所示。从

识别结果可知,两种识别算法均对光照强度比较敏感,在正常光线的条件下,识别率较高。在同一光线的条件下,改进版算法识别的准确率比通用版算法高。

3.3 实验结果分析

为了进一步量化实验检测效果,本文以准确率(见式7)、召回率(见式8)和mAP(见式9)作为性能指标,对实验数据进行具体的评价。

$$P_r = \frac{TP}{TP + FP} \quad (7)$$

$$R_c = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

$$A_p = \int_0^1 P_r dR_c \quad (9)$$

式中, P_r 是正确识别数与实验识别出数之比,表示识别垃圾的准确率, R_c 是正确识别数与实验需要识别数之比,表示垃圾是否全部识别出来, A_p 是指是否正确识别垃圾,mAP是对AP取均值,用来衡量整体识别的情况。同样选取IoU=0.5,对YOLO-v4和YOLO-v4改进版识别数据见表1。由此可见,改进后的算法在三个性能指标上有所提升,可以更好地满足垃圾识别的准确性和实时性。

表1 两种算法在性能指标的对比

模型	准确率	召回率	mAP
YOLO-V4	69%	65%	69.45%
YOLO-V4改进版	75%	69%	75.76%

4 结束语

为了方便进行海滩边及水面的垃圾图像采集,本次实验图像采集地点选择在沙滩。在完成了机器训练后,通过图像的准确率、召回率、mAP三个指标反映YOLO-v4通用版算法和YOLO-v4改进版算法的识别效果。从对沙滩上及水面垃圾识别的效果来看,使用YOLO-v4改进版的识别率更高。在图像质量变差,如光线过暗和过曝的情况下,两种算法的识别率均有所下降,但采用YOLO-v4改进版识别的效果更佳,改进算法取得了一定成效,垃圾图片识别的准确率到达了75%,该算法一定程度上提高了垃圾检测的准确性。后续可以在进一步提高识别的准确性和实时性以及深入海底垃圾探测方面做更深入的研究。

参考文献:

- [1] 黄凤娟.文明袋进车厢,海边垃圾请“袋”走[J].人民公交,2017(6):72.
- [2] 闻冰喆,张今星,崔晨宇,等.浅析海洋垃圾现状——以厦门为例[J].现代盐化工,2021,48(4):183-184.
- [3] 谢伟,刘帅,王直杰,等.基于Android平台的船舶垃圾信息监测系统的研究与设计[J].电子设计工程,2017,25(13):104-108.

[4] 王明吉,陈秋梦,任福深,等.基于yolov4的垃圾检测系统[J].工业仪表与自动化装置,2021(5):20-23,72.

[5] 刘必劲.近岸Duck Mouth型海漂垃圾收集装备结构型式及水动力研究[D].大连:大连理工大学,2019.

[6] 桑一梅,陆萍.基于深度卷积神经网络的自动垃圾分类[J].甘肃科技纵横,2022,51(3):1-3,34.

[7] 刘少儒,雷宇,徐寅林.基于树莓派的智能分类垃圾投放系统[J].工业控制计算机,2022,35(1):43-46.

[8] 王静.基于深度卷积神经网络的垃圾分类研究[J].长江通信,2022,35(1):67-69.

[9] 俞骏.生活垃圾分类集装化运输服务标准化建设初探[J].环境科学与管理,2022,47(3):20-24.

[10] 林彤,李刚,黄沙,石佩琪,肖黎珊.居民生活垃圾分类意愿及其影响因素对比研究——以长三角生态绿色一体化发展示范区为例[J].环境污染与防治,2022,44(3):420-424.

[11] 谢小明,徐建辉,陈飞燕.基于视觉识别的垃圾分类箱系统[J].自动化与信息工程,2022,43(1):49-52.

[12] 薛文道,刘建霞.一种改进U-Net的眼底血管分割方法[J].电子设计工程,2021,29(20):165-168.

[13] 雷心宇.用于图像分类和目标检测的混合空洞卷积神经网络研究[D].西安:西安科技大学,2020.

[14] 康帅,章坚武,朱尊杰,等.改进YOLOv4算法的复杂视觉场景行人检测方法[J].电信科学,2021,37(8):46-56.

[15] 李玉,甄畅,石雪,等.基于熵加权K-means全局信息聚类的高光谱图像分类[J].中国图象图形学报,2019,24(4):630-638.

[16] 张晨阳,黄腾,吴壮壮.基于K-Means聚类与深度学习的RGB-D SLAM算法[J].计算机工程,2022,48(1):236-244,252.

作者简介:唐艳凤(1987-),女,硕士,副教授,研究方向:智能控制、机器视觉。