

# 基于深度学习的智能垃圾分拣车系统

王 慧, 蒋朝根

(西南交通大学 计算机与人工智能学院, 四川 成都 611756)

**摘要:** 针对生活垃圾的高效分类及搬运处理, 设计了一款以边缘嵌入式 AI 设备 Jetson Nano 为控制器的光电智能小车系统, 该系统设计以 YOLOv5 为目标检测算法, 以 Pytorch1.8.1 为深度学习框架。使智能小车从指定区域出发, 通过自身的光电传感器在指定范围内搜寻垃圾, 利用六轴机械臂对垃圾进行分拣并送到指定分类地点。对采集到的 5 048 张图片(包括 5 种垃圾类别)进行 300 次的迭代训练, 实验测试结果表明: 平均精确度达到 91.8%, 准确率达到 94.5%, 召回率达到 89.03%。

**关键词:** Jetson Nano; 智能小车; 六轴机械臂; YOLOv5

中图分类号: TP399

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211795

中文引用格式: 王慧, 蒋朝根. 基于深度学习的智能垃圾分拣车系统[J]. 电子技术应用, 2022, 48(1): 71-75.

英文引用格式: Wang Hui, Jiang Chaogen. Intelligent garbage sorting truck system based on deep learning[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(1): 71-75.

## Intelligent garbage sorting truck system based on deep learning

Wang Hui, Jiang Chaogen

(School of Computer and Artificial Intelligence, Southwest Jiaotong University of China, Chengdu 611756, China)

**Abstract:** Aiming at the efficient classification and handling of domestic waste, this article designed a photoelectric smart car system with the edge embedded AI device Jetson Nano as the controller. The system is designed with YOLOv5 as the target detection algorithm and Pytorch1.8.1 as the deep learning framework. The system makes the smart car start from the designated location, search for garbage in the designated area through its own photoelectric sensor, identify and classify the garbage, and use the six-axis robotic arm to sort the garbage and send it to the designated stacking place. 300 iterations of training were performed on the collected 5 048 pictures and 5 types of garbage. The experimental test results show that the average accuracy reaches 91.8%, the accuracy rate reaches 94.5%, and the recall rate reaches 89.03%.

**Key words:** Jetson Nano; smart car; six-axis robotic arm; YOLOv5

### 0 引言

针对生活垃圾的识别分类任务, 我国大多采用人工进行垃圾分拣工作, 该分拣方式存在分拣效率低、对人体危害大等弊端。随着人工智能的发展, 深度学习如今被广泛应用于各个领域。文献[1]介绍了基于 openCV 与 TensorFlow 框架的垃圾分类设计, 但是该项目只是讲解怎样去处理图像, 实现垃圾识别分类, 并未应用于实际。文献[2]提出以 STM32 作为控制器进行垃圾分拣任务, 以 OpenMV 摄像头进行垃圾分类识别, 但是由于以 STM32 作为控制器运行神经网络, 使得检测效率并不高。文献[3]提出了基于并联机器人的分拣系统设计, 该系统对废旧塑料瓶的检测率达到 98%, 效率很高, 但是该系统只能检测单一垃圾, 并且不能判断检测的垃圾种类。文献[4]提出了以 MobileNet SSD 为模型、以 Jetson TX2 为控制器的垃圾分拣机器人系统, 该系统设计对 Jetson 设备进行了部署加速, 使得检测速度较快, 但是检测准确率并不是

很高。有学者设计机械手来进行垃圾分拣任务, 具有较高的分拣准确度及稳定性<sup>[5]</sup>, 但是该设计基于理论知识, 未能应用于实践, 真实检测效果还有待考量。机器学习需要在计算能力、储存能力等都有限的平台上表现出优越的性能, 才能在更广阔的范围内得到推广和应用<sup>[6]</sup>。文献[7]在嵌入式 FPGA 运行改进的 SoC 神经网络模型, 使得卷积神经网络的运行速度提升了很多。在该项目中以 NVIDIA Jetson Nano 作为控制器, 在该移动端部署训练模型, 该边缘嵌入式设备含有 GPU 算力, 网络推理速度更快, 有完整的操作系统, 界面可视化, 操作方便。

本实验硬件部分采用了高清 AI 视觉 800 万像素摄像头进行图像数据采集, 六轴工业机械臂进行垃圾分拣任务。软件部分以 Pytorch1.8.1 为深度学习框架, 学习率  $\alpha=0.01$ , 进行 300 次迭代, 平均精确率便可达到 90% 以上, 收敛速度较快, 检测效果较好。由于需要部署到移动设备中, 因此该项目进行模型训练时采用的是 YOLOv5s

预训练模型,训练后的模型体积只有13.6 MB。部署到 Jetson Nano 4 GB 设备中<sup>[8]</sup>,将模型生成基于 C++ 的 engine 部署引擎文件,使得模型运行速度快,能够达到实时检测的效果,可以达到 30 f/s。

### 1 系统设计

智能垃圾分拣车系统由 NVIDIA Jetson Nano、六轴机械臂、高清 800 万像素摄像头、激光传感器、智能小车及分类垃圾桶等设备组成。本设计的系统总框图如图 1 所示。

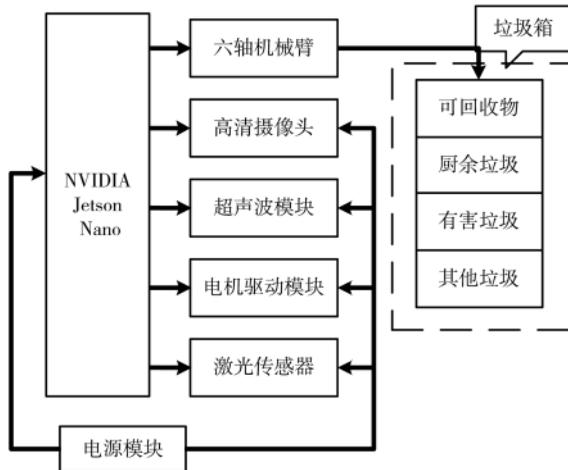


图 1 系统总框图

此智能小车使用自带的光电传感器进行导航,由于激光传感器检测距离比较远,因此在本设计中采用激光传感器。小车在激光传感器及超声波模块的作用下在规定区域内搜寻垃圾,当小车检测到垃圾时,小车停止运动,调用高清摄像头,进行拍照;将拍摄照片上传到 Jetson Nano 设备中,将该嵌入式 AI 设备作为上位机,调用训练好的垃圾分类模型,进行当前垃圾的分类识别;然后上位机控制六轴机械臂夹取垃圾,之后移动到指定堆放地,将垃圾按照类别放入垃圾桶,无论是否放入对应类别的垃圾桶,都进行信息记录,方便后续信息查询;再次进行指定区域垃圾搜寻、识别及夹取任务,如此反复,直至指定区域内没有垃圾则停止搜寻。该智能垃圾分拣车流程图如图 2 所示。

### 2 YOLOv5 目标检测算法

YOLOv5 是 2020 年 6 月发布的目标检测算法。YOLOv5s 预训练模型是目前 YOLO 系列中体积最小的模型,易于编译成 ONNX 与 CoreML,因此在移动端部署模型便简单方便,实时性更好。

可以通过 Netron 对训练模型进行网络结构可视化,由于结构比较复杂,便整理成图表的形式。设置输入图片大小为 640×640 时 YOLOv5s 的网络结构如图 3 所示。

主干提取网络相比于 YOLOv4<sup>[9]</sup>的改进点:

(1) Backbone 特征提取网络结构:由 CSPDarkNet53 变为 CSPDarkNet53+Focus 切片机制;

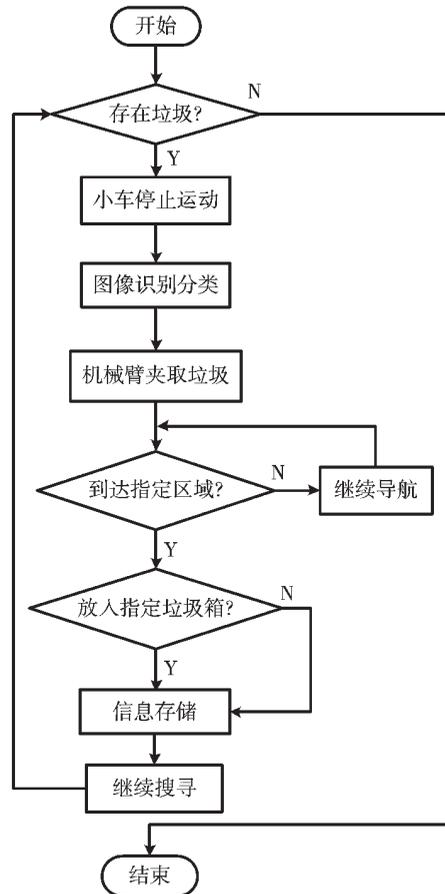


图 2 智能垃圾分拣车流程图

(2) 激活函数: nn.SiLU 代替原来的 nn.Hardwish 与 nn.LeakyReLU 激活函数,并且 nn.SiLU 是在 PyTorch1.7.0 才引入的。

Neck 结构改进点:与 YOLOv4 一样采用 FPN+PAN 网络结构<sup>[10]</sup>,但是 YOLOv5 使用了 CSP 网络结构,这使得网络特征融合能力得到增强。

YOLOv5 是有多个预训练模型的,分别是 YOLOv5s、YOLOv5m、YOLOv5l、YOLOv5x 等模型。随着 YOLOv5 版本的更新,训练模型不断增加,随着训练模型体积的增大,其网络结构的深度及宽度也在不断增大,准确率也不断增加。在本项目中的 YOLOv5s 模型深度为 0.33,宽度为 0.5。

YOLOv5 损失函数等于分类损失、定位损失以及置信度损失之和。YOLOv5 使用二元交叉熵损失函数计算类别概率和目标置信度得分的损失, bounding box 回归损失经过了 IOU 损失、GIOW 损失<sup>[11]</sup>、DIOU 损失<sup>[12]</sup>以及到现在的 CIOU 损失<sup>[12]</sup>,在此项目中采用将 CIOU 损失作为 bounding box 的回归损失。

### 3 相关工作

#### 3.1 垃圾数据集

从网上搜集到了 5 048 张图片,包括了 5 类垃圾,其垃圾类别及数量如表 1 所示。

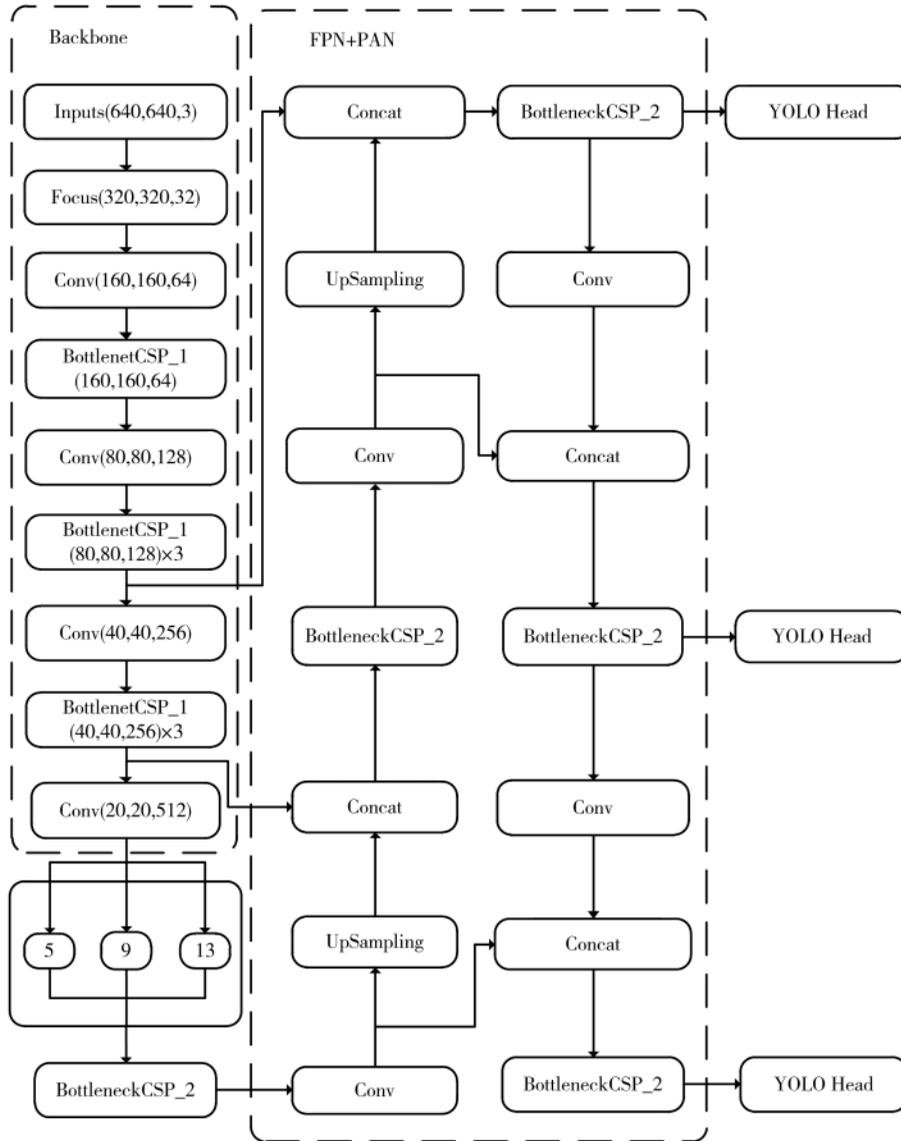


图3 YOLOv5s 网络结构

表1 垃圾类别及数量

种类	垃圾名称	数量
可回收垃圾	plastic bottle、paper ball	1 047、900
厨余垃圾	juzipi	995
有害垃圾	battery	1 116
其他垃圾	paper cup	990

对搜集到的图像数据通过 LabelImg 工具进行标注,生成.xml 文件保存到 Annotations 文件夹下。由于 YOLOv5 数据集需要.txt 格式的数据集,因此编写脚本进行格式转化。YOLOv5 数据集结构构成需要将图片与标签一一对应。其中训练集 4 088 张图片,验证集 911 张图片,测试集 505 张图片。

YOLOv5 采用 Mosaic 图像增强方法对现有数据进行数据增强,Mosaic 图像增强方法是默认将 4 张图片拼接在一起,等效于并行输入 4 张原始图片,以此增加数据

集。并且会采用 Cutout 方法进行数据扩增,即随机选取正方形区域,对数据进行归一化处理后,用 0 填充<sup>[13]</sup>。除此之外,还对图像数据进行随机翻转、平移、裁剪、随机缩放比例等操作进行数据增强。经过数据增强后的图片类别数量分布图如图 4 所示。

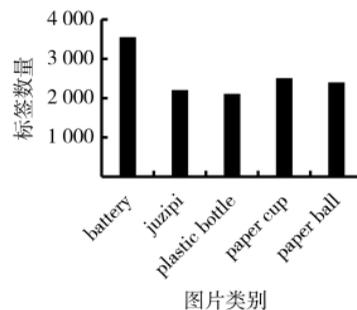


图4 图片类别数量分布图

3.2 六轴机械臂

利用 Solidworks 绘制的六轴工业机械臂如图 5 所示。



图 5 六轴机械臂结构图

考虑到实际项目需求,将机械臂设计为 6 个自由度,抓取机构设置为夹取,张合的角度为 0~180°,可以抓取塑料瓶、橘子皮等垃圾。为方便在智能小车安装机械臂,将底盘大小设置为 15.9 cm。有学者对 6 轴机械臂进行算法改进,以便以最短路径进行目标定位<sup>[14]</sup>,在本设计中也尝试复现,但是效果不佳,便未采用该方式,而是采用基于遗传算法的路径规划设计<sup>[15]</sup>。

3.3 实验平台

本实验使用 GTX 1080Ti 11 GB 的 GPU、E5-2678v3 的 CPU,CPU 主频为 2.5 GHz,12 核 24 线程。控制器为 NVIDIA Jetson Nano 4 GB,采用 800 万像素的英伟达 Jetson Nano 高清 AI 摄像头,还有光电智能小车、六轴机械臂等硬件。以 PyTorch 1.8.1 为深度学习框架,TensorFlow 版本为 2.4.1,搭配 CUDA11.2, cuDNN8 的开发环境。

4 实验结果

设置学习率 lr=0.01,动量因子 momentum=0.937,输入图像大小 img\_size=(256, 256), 迭代次数 epochs=300,批处理大小 batch\_size=16,交并比(IoU)训练的阈值设为 0.2,优化器的权值衰减值 weight\_decay=0.000 5,GIoU 损失值设为 0.05。迭代 300 次后,训练模型的准确率、召回率、平均精确率、mAP@0.5:0.95 以及各个类别的精确率如图 6 所示,其中图 6(a)~图 6(d)中的横坐标均代表迭代次数,纵坐标分别代表精确率、召回率、IOU<0.5 时的平均精确率以及 IOU<0.95 时的平均精确率。

利用 YOLOv5 进行模型训练,保存最好的训练模型及最后的训练模型,由生成的训练图可以得出,经过 300 次迭代,最好的训练模型精确率可以达到 94.5%,召回率为 89.03%,平均精确率为 91.8%,模型大小为 13.6 MB。将模型移植到嵌入式系统 Jetson Nano 4 GB 系统中,其检测效果如图 7 所示。

5 结论

该智能垃圾分拣车系统可以通过自带的光电传感器,利用边缘嵌入式 Jetson Nano 设备作为上位机,协调好高清摄像头与六轴机械臂的配合控制,在指定区域内进

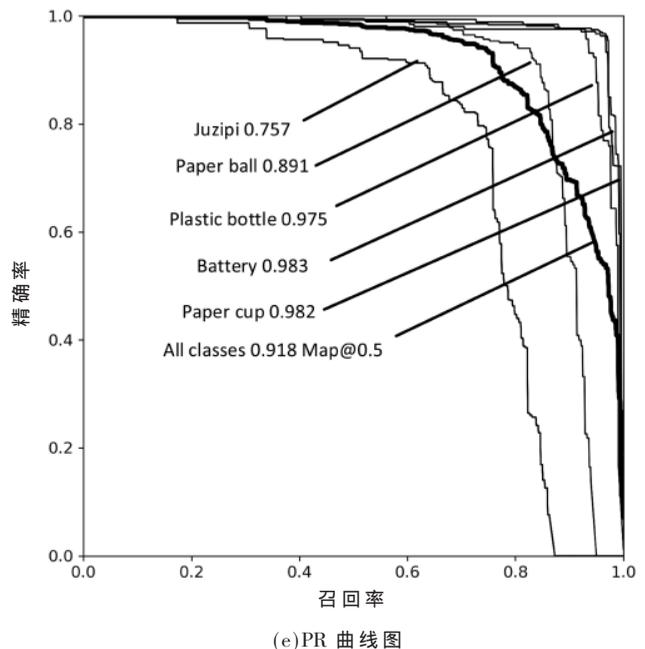
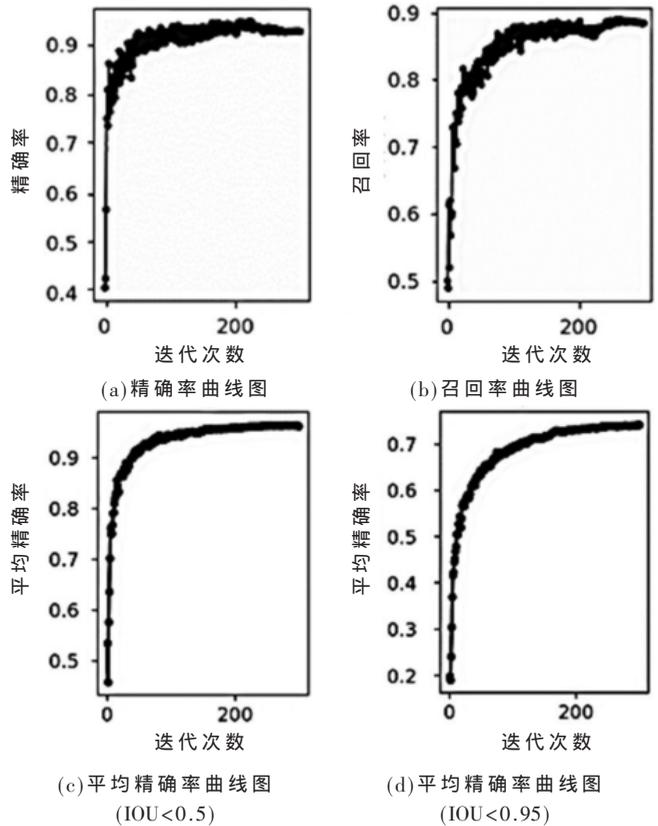


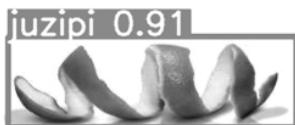
图 6 训练结果图

行垃圾搜寻及搬运任务,提高分拣效率,降低生活成本。

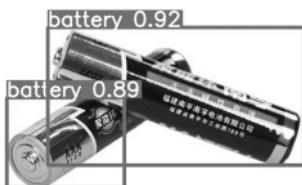
利用 YOLOv5s 作为预训练模型,迭代 300 次平均准确率便达到 90%,节省训练时间,模型准确率高,并且模型体积小,可以在嵌入式系统完美实现实时目标检测的功能。该系统现在能够识别的垃圾种类较少,下一步研究将扩大数据集。



(a) Paper ball



(b) juzipi



(c) battery

图7 测试结果图

## 参考文献

- [1] Hu Jing, Zhang Bo. Application research of automatic garbage sorting based on TensorFlow and OpenCV[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1883(1): 012169.
- [2] Wang Yilin, Ji Baofeng, Zhao Yunfei, et al. Intelligent garbage sorting device based on machine vision neural network[J]. Scientific Journal of Intelligent Systems Research, 2021, 3(4): 96-102.
- [3] 方海峰, 许佩雯, 万信飞, 等. 基于并联机器人可回收垃圾分拣系统的设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(11): 24-27, 32.
- [4] 吴蓬勃, 姚美菱, 王拓, 等. 基于 TensorFlow 的垃圾分拣机器人设计[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(6): 117-122.
- [5] 韩伟娜, 张伟聪, 韩旭. 垃圾分拣机械手的设计及性能仿真研究[J]. 现代电子技术, 2019, 42(12): 86-89.

(上接第 70 页)

- 度分级方法研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(5): 301-307.
- [11] 柯溢, 卢亚玲. 基于 VGG16 的宠物犬识别方法[J]. 电子制作, 2020(21): 42-45.
- [12] 吉鑫, 陈剑云, 完颜幸幸. 用于接触网可视化接地识别的改进 VGG-16 模型[J]. 传感器与微系统, 2021, 40(2): 58-60, 72.

- [6] 王众磊, 陈海波. TensorFlow 移动端机器学习实战[M]. 北京: 中国工信出版集团, 2019.
- [7] 孙磊, 肖金球, 夏禹, 等. 改进的基于嵌入式 SoC 卷积神经网络识别模型[J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(3): 257-260.
- [8] Sen Yu, He Yongze, Shao Mingyang. Real-time target detection based on Jetson Nano and YOLOv3-Tiny[J]. International Core Journal of Engineering, 2021, 7(2): 0049.
- [9] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H. YOLOv4: optimal speed and accuracy of object detection[J]. ArXiv: 2004.10934[cs.CV], 2020.
- [10] LIU S, QI L, QIN H, et al. Path aggregation network for instance segmentation[C]//2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2018: 8759-8768.
- [11] REZATOFIGHI H, TSOI N, GWAK J Y, et al. Generalized intersection over union: a metric and a loss for bounding box regression[C]//2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2019: 658-666.
- [12] ZHENG Z, WANG P, LIU W, et al. Distance-IoU Loss: faster and better learning for bounding box regression[C]// AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2020, 34(7): 12993-13000.
- [13] YUN S D, HAN D Y, SEONG J O, et al. CutMix: regularization strategy to train strong classifiers with localizable features[C]//2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision(ICCV), 2019: 6022-6031.
- [14] 李季, 史晨发, 邵磊, 等. 基于改进 RRT 算法的 6-DOF 机器人路径规划[J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(9): 221-226.
- [15] 沙勇. 基于遗传算法机器人路径规划研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2021, 37(5): 55-56, 66.

(收稿日期: 2021-05-25)

## 作者简介:

王慧(1996-), 女, 硕士, 主要研究方向: 嵌入式系统与控制工程。

蒋朝根(1960-), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向: 嵌入式系统及其应用与无线传感器网络。



扫码下载电子文档

(收稿日期: 2021-03-16)

## 作者简介:

蔡靖(1979-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向: 医疗器械。

杜佳辰(1998-), 男, 本科, 主要研究方向: 检测技术。

王庆(1998-), 男, 本科, 主要研究方向: 检测技术。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所