

基于计算机视觉的垃圾识别分拣系统

苏涸如¹, 尚泳龙², 陈心卉³, 吕晓丹³, 杨喻晴⁴

¹珠海科技学院阿里云大数据应用学院, 广东 珠海

²珠海科技学院航空工程学院, 广东 珠海

³珠海科技学院物流管理与工程学院, 广东 珠海

⁴珠海科技学院金融与贸易学院, 广东 珠海

收稿日期: 2023年5月25日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

在垃圾分类政策逐步推广的背景下, 以智能科技为支撑, 垃圾分类过程中的辅助性人工智能产品大量涌现。本文梳理了国内外的垃圾分类现状, 其中包括当前国家全面推行生活垃圾分类政策、垃圾分类在收集环节的技术局限和对垃圾清运处理环节的研发投入少等问题。通过对国内外相关文献总结分析, 面向绿色环保设计了基于计算机视觉的垃圾识别分拣系统, 分析了人工智能在垃圾分类领域的应用, 构建了采用OpenCV实现背景差分算法和采用YOLOv3算法的计算机视觉分类技术方案。系统能够有效提高垃圾清运的时间和路径, 减轻人工垃圾清除回收的工作量, 减少垃圾清运的人工成本, 为智能垃圾回收分类提供强大的助力。

关键词

计算机视觉, 人工智能, 垃圾分类, 环境保护

Garbage Recognition and Sorting System Based on Computer Vision

Yinru Su¹, Yonglong Shang², Xinhui Chen³, Xiaodan Lyu³, Yuqing Yang⁴

¹School of Aliyun Big Data Applications, Zhuhai College of Science and Technology, Zhuhai Guangdong

²College of Aviation Engineering, Zhuhai College of Science and Technology, Zhuhai Guangdong

³School of Logistics Management and Engineering, Zhuhai College of Science and Technology, Zhuhai Guangdong

⁴School of Finance and Trade, Zhuhai College of Science and Technology, Zhuhai Guangdong

Received: May 25th, 2023; accepted: Jun. 23rd, 2023; published: Jun. 30th, 2023

文章引用: 苏涸如, 尚泳龙, 陈心卉, 吕晓丹, 杨喻晴. 基于计算机视觉的垃圾识别分拣系统[J]. 计算机科学与应用, 2023, 13(6): 1321-1332. DOI: 10.12677/csa.2023.136130

Abstract

In the context of the gradual promotion of waste separation policies, a large number of auxiliary artificial intelligence products for the waste separation process have emerged, supported by intelligent technology. This paper compares the current situation of waste classification at home and abroad, and addresses the current problems of comprehensive national policy on domestic waste classification, the technical limitations of waste classification in the collection process and the low investment in the research and development of waste removal and treatment. By summarising and analysing the relevant literature at home and abroad, a computer vision-based waste recognition and sorting system is designed for green environmental protection, and the application of artificial intelligence in the field of waste classification is analysed, and a computer vision sorting technology solution using OpenCV to implement the background difference algorithm and the YOLOv3 algorithm is constructed. The system can effectively improve the time and path of waste removal, reduce the workload of manual waste removal and recycling, reduce the labour cost of waste removal, and provide a powerful aid to intelligent waste recycling and classification.

Keywords

Computer Vision, Artificial Intelligence, Waste Separation, Environmental Protection

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,人工智能作为新一轮科技革命和产业革命的核心驱动力,在加速推进传统产业升级和新兴产业发展中发挥着不可替代的作用。计算机视觉是人工智能的其中一个研究领域,是指让计算机和系统能够从图像、视频和其他视觉输入中获取有意义、有价值的信息,并根据该信息进行分析数据、采取行动或提供建议。如果说人工智能赋予计算机思考的能力,那么计算机视觉就是赋予计算机发现、观察和理解的能力。

计算机视觉的工作原理与人类视觉类似,只不过人类起步更早。人类视觉系统自身的优势是在生命存活的情况下,可以在适当的环境下训练分辨物体、物体的距离、物体的动静与否以及图像是否存在问题等能力。然而,计算机视觉是通过训练机器来执行这些功能,它们依靠摄像头、算法和数据能在更短的时间内完成工作。如今,计算机视觉领域充斥着大量研究,但它不仅仅只是一项研究。现实世界的应用展示了计算机视觉对商业、娱乐、运输、医疗保健和日常生活的重要性,在保护环境、垃圾回收等方面更是体现了其社会经济价值。

2. 垃圾分类领域人工智能发展的相关政策

城市垃圾分类处理是解决前城市垃圾产生量激增、垃圾处理效率不高、废弃物利用率不高等问题的一个重要途径。2019年3月,上海发布《上海生活垃圾管理条例》(简称《条例》)作为试点全面推行生活垃圾强制分类,国务院亦发布《生活垃圾分类制度实施方案》(简称《方案》)要求在2020年底前全国46个城市全面推行生活垃圾强制分类,我国进入了全制度化推进的垃圾分类新时代。而在制度推行的过

程中也产生了大量的宣传成本、人力成本以及时间成本。将人工智能应用到垃圾分类中，能够实现智能代替人工，从而得以大大降低垃圾分类所需要的人力成本，同时也提升了垃圾分类的效率。在这样的背景下，辅助性产品和智能化产品大量涌现在垃圾分类改革的过程中。

2.1. 构建开放协同的人工智能科技创新体系

围绕其生产增添人工智能创新的初始阶段管理体系，加强与外知名企业合作关系前沿基础理论、关键共性技术、基础性平台、辈出前提队伍等方面的部署，推动资源整合及学科交叉融合，为人工智能的可持续长期发展和深度应用带来强有力的科学储备。确保我国人工智能科技水平在世界范围内稳居前列，为世界人工智能发展出做更多贡献。建立人工智能新型基础理论之体系，重大科学前沿领域聚焦其，突破人工智能应用基础着眼于一项理论瓶颈的基础研究，利用超前卫局引发人工智能 AI 范式变革，突破瓶颈。高级机器学习理论重点突破自动学习、主动要求学习等理论方法，实现人工智能可解释性高，泛化能力强，是国家所有并直接经营的企业。培养垃圾分类脑枢纽即智能算理论，重点不仅仅局限地突破类脑的信理论，当务之急必然是形成分类垃圾类脑复杂系统和分类脑控制等理论和方法，国家与私人共有合营企业，建立起无可厚非地大规模经验总结新模式和垃圾自动分类量子智能算理论[1]方法，建立健全启动高性能程序混合量子算法模型，形成量子人工智能系统在不那么频繁运转构架的高效分类、精准自主，国家通过多种形式参与私人垄断资本的再生产过程，进行跨学科的基础之上探索性成果，支持具有较强原创性和非共识性的理论，鼓励科学家自由选择，勇于站在生产前线攻克人工智能前期前沿科学疑难，提出创造并营造更多具有独创性的理论，做出更多具有独创性的发现。

2.2. 加快制定基本原则和战略目标

在备受关注的科技引领世界更新或变革方面，把握人工智能世界发展大势趋势，在垃圾分类研发部署上突出前瞻性，在垃圾分类上全面提升人工智能原始创新能力，加快构建先发优势，实现引领发展的高端化；在对一系列重要论述制度布局上，深究其基础研究、研发数据、产业发展、产业实际等方面的不同各类特点，有针对性地制定系统发展的路径，发挥社会主义核心价值观制度，能够集中力量办大事的优势；在主要向导市场方面，遵循走向即市场规律，坚持导向用法，乏力突出企业在路线技术选择、品控行业标定等方面的导主作用，加快人工智能科技成果的商业化应用，形成竞争优势；同时，金融自由化与金融创新是金融垄断资本得以形成和壮大的重要制度条件，把握好政府和市场分工，推动各类人工智能在垃圾分类应用方面的产学研，及创新主体在垃圾分类方面的共创共享。

2.3. 统筹布局人工智能创新平台

大力改造筑起人工智能创新平台布局，加强人工智能研发应用基础支撑。人工智能开源软硬件基础平台重点构建 AI 范式统一算框架平台，支持知识推深度学习等，形成促进人工智能软硬件与智能云相互协同的生态链。智慧群服务平台重点打造规模化基于互联网协作的“bm 全能知识资源管理”和“bp 全新版本”开放式共享工具，形成面向大众的平台的第三方服务 app。混合增强智能发现台重点打造多元实时计算引擎架构，包括和支持大规模集成培训的新型算集群，金融业在国民经济中的地位大幅上升，其实为错综而导致的一切的智能算提供服务、系统平台和解决方案。由自发不控系统支持平台重点建设 AI 共性核芯技术，如由自发不需自控系统复杂环境下的环境感知、自主协同控制、智能决策等的支持系统，形成兼收并蓄、自由组合、变化灵活的自发不需自控系统开发和试验环境。垃圾分类基础数据与安全检测平台重点建设共享台、数据标测集、云服务数据资源库等，形成 AI 算法的方法、技术、规范和工具集，并对平台进行安全测试评估，推动各类通用软件与技术平台开放源代码。

2.4. 加快培养聚集人工智能高端人才

将高端辈出为前提的队伍建设作为人工智能发展政策建设的重要部分,坚持培育与引荐相结合,健全 AI 教育体系,加强辈出前提资源和团队建设,尤其快速培育青少年辈出前提和寻找世界前列顶尖人物,加强专业技术辈出前提在 AI 基础和条件崩坏应用研究、运筹等方面的培养。重视复合型辈出前提培养,重点培养贯通 AI 理论、方法、技术、产品与应用等方面的纵向复合型辈出前提,以及掌握“人工智能+”经济、社会、管理、标准、法律等方面的水平复合型辈出前提。通过重大演讲任务和基地平台建设,汇聚 AI 高端辈出前提,在多个重点 AI 领域发展成为一批高层次的创新团队。鼓励和引导国内创新辈出前提和团队与世界顶级人工智能研究机构企业人力资本成本核算相关政策,为引进人工智能辈出前提到企业、科研机构服务。完善人工智能领域学科试点院校建立人工智能学院,在人工智能相关学科方向增加博士、硕士招生名额。鼓励高校在原有基础上拓宽人工智能专业教育内容,形成“AI + X”组合式专业性选拔新模式,重视运用人民民主专政的国家机器,与学科专业教育的交叉融合,还要加强和物质利益、分配方面产学研合作,鼓励高校科研院所与企业等机构,促进的国际分工,推动经济全球化的进程,在人工智能学科建设地位和收益平等平衡方面开展合作。

3. 人工智能在垃圾分类领域的应用现状

在 2016 年,垃圾分类正式走入人们的视线,引起了社会的广泛关注,也促进了垃圾分类产业的可持续性绿色发展。在国家一系列政策文件的推动下,到 2020 年,我国 46 个主要大城市基本建立了生活垃圾分类回收处理体系;预计到 2025 年,所有地级及以上城市都将基本建立起生活垃圾分类回收处理系统。

我国目前的生活垃圾产量每年保持在 5%的水平,是世界上最大的垃圾生产量。然而,就我国目前的生活垃圾处置技术而言,与世界先进水平存在着较大的差距,而且智能水平较低,人工垃圾分类和处理依然是主流,成为制约我国环保产业发展的一个重要瓶颈。

近几年来,国内的研究人员在利用智能装置进行垃圾分类的过程中,在软硬件上都有了突破。马晗旭(2020)等人利用 STM32F103 单片机,结合图像处理技术,以及传感器技术,进行了一种利用智能垃圾桶作为载体的垃圾分拣系统的研究[2];孟稳(2020)等人在 Ar-duinoUNOR3 控制器等设备和技术的基础上,提出了性能更加优化的智能垃圾桶设计方案[3]。而基于传感技术的分类方法是通过物体对各个传感器反应不同以实现垃圾分类。徐智(2018)等人采用了金属传感器、光电传感器、电容式传感器以及 DSP 分析检测物体是否是金属、纸质、玻璃及透明塑料,为了实现垃圾自动分拣功能,将 PLC 技术应用于系统中,同时通过 GPRS 技术进行定位及数据无线传输,可以远程监控智能垃圾桶的状态[4]。Elfasakhany 等利用电磁传感器的电和磁特性来区分不同的金属。根据玻璃和塑料之间的密度差异采用空气风扇来区分玻璃和塑料,使用一个微控制器来组合所有系统组件的接口,使用智能控制算法来控制所有系统操作,具有能耗低,体积小、成本低、高效、环保的特点[5]。

垃圾分类领域的人工智能能起到很好的宣传和推广作用,它的智能分类功能,可以有效地号召广大居民加入到垃圾分类的行列中。既能缓解城市生活垃圾的压力,又能提高人们对生活垃圾的自觉意识。目前,我国人工智能在垃圾分类领域的应用主要有三大类:智能垃圾分类软件、智能垃圾桶(箱)、智能分拣装置。在研究与投资方面,三大类别的产品开发难度与费用逐步上升,尤其是加工过程如何进行有效分类、设计相关分类设备,同时就综合计算机视觉识别、智能机器人、回收处理管理系统等技术,是当前技术创新提升的一大难点。

3.1. 智能垃圾分类软件

目前,利用人工智能进行垃圾分类,主要是利用计算机视觉技术来进行目标的识别与比对,以达到

垃圾分类的目的。除此之外，大部分的智能垃圾分类软件产品，添加了使用者的互动功能，用于判定是否正确，并对其进行记录和指导。

为方便市民分类，手机应用商店中也涌现出大量的垃圾分类 APP，大致可以分为三类：模拟分类回收游戏、科普查询、预约回收 APP。阿里、腾讯、百度这些互联网巨头们，也开始了一场“垃圾搜索战争”。早在 2019 年 6 月，腾讯就推出了“垃圾分类专家”的 APP；微信团队发布了 4 个与垃圾分类有关的应用；百度 APP 已经完全上线了百度智能垃圾分类 AI 应用软件；支付宝推出了“垃圾分类指南”、“垃圾分类查询”、“垃圾分类问答”等 8 个应用，可以在任何时间、任何地点进行垃圾分类的查询。

3.2. 智能垃圾桶(箱)

随着我国垃圾分类工作的不断深入，人们生活质量的明显提高，越来越多的智能垃圾桶应运而生。现在，在市面上使用最为广泛的一种智能垃圾分类系统就是智能垃圾桶(箱)。

当前科技的进步，推动着智能垃圾分类桶(箱)不断深化发展，智能垃圾分类桶(箱)的功能也在逐步完善，如：充满报警、多功能 LED 显示屏、防夹手、温度监测、臭氧杀菌、外挂式灭烟盒等[6]。与传统的垃圾分类系统相比，智能分类系统解决了以往存在的许多难题，帮助人们改变了人们的生活方式。尤其是在 24 小时无人值守的情况下，逐步发展为无人化、自动化，降低了人力成本，提高了垃圾分类的效率，方便了居民在每天的生活中对垃圾进行分类，并促进居民形成了垃圾分类的良好生活习惯。

以加拿大为例，加拿大的人工智能分类垃圾桶“奥斯卡”(Oscar)是由一家名为 Intuitive AI 的初创公司创建的，目前在加拿大温哥华的机场试用。Oscar 拥有 32 英寸显示屏和人工智能摄像头，利用计算机视觉系统对垃圾进行分类，它可以识别使用者手中的各类垃圾，并告诉使用者如何有效处理它们。

3.3. 智能分拣装置

垃圾分类处理是垃圾资源化、减量化过程中的一个关键环节。分类与回收是目前生活垃圾分类处理的前沿，但在后续的分类、处理、回收等过程中，仍需依赖于人工智能的辅助。目前国内外的垃圾分类工作多为手工操作，机械设备较少，人力成本较高，且工作强度大。为了解决上述问题，国内外各大机械制造商和科研机构纷纷进行了深入的研究与探讨，并提出了一种适合于垃圾分类的机器视觉系统。

目前的智能垃圾分类系统，大多采用视觉传感器、金属探测传感器、重量传感器等信息，利用机器学习算法对垃圾进行有效地分类[7]。其中芬兰的 ZenRobotics 公司于 2012 年公开其首代产品“ZenRobotics 回收机”。随后经过近 5 年时间不断研发改进，一种基于视觉判断的垃圾分类机器人 Next Generation ZenRobotics Recycler (下称 ZenRobotics)研发成功。这款垃圾回收及其的机械臂臂展可长达 2 米，通过其激光扫描系统，能够提前扫描回收运输带上的垃圾并将它们进行分类，然后通过机械臂拾取识别后的垃圾，将垃圾按实际情况分类回收。除此之外，上海的 GPS 垃圾收集机器人能够对生活垃圾进行图像的收集与识别，根据垃圾类别，智能提示投放分类垃圾桶。该垃圾桶采用集成智能化处理装置，当住户倾倒垃圾时，可以及时发现不正确地投放和报警提醒。

4. 垃圾分类领域人工智能应用的问题

近年来，我国的经济飞速发展，消费者消费水平不断上升，城市的生活垃圾产量也在逐年增长，如何运用现代科技，正确且高效的处理生活垃圾，提高垃圾的经济资源价值成为我国目前面对的重大问题之一。如果问题长时间未得以解决，在未来，城市垃圾填埋场饱和并将造成无法想象的严重后果。现阶段，社会各界研究人员都对智能垃圾分类都非常重视，相关研究成果丰富。随着人工智能技术被广泛应用于

社会治理领域，人工智能也逐渐成为政府以及社会主体破解垃圾分类困境的重要途径。

现阶段而言，国内垃圾分类领域人工智能较为滞后，垃圾智能识别和分类的功能技术还存在较大的局限性，在垃圾处理和垃圾清运等环节的研发投入和相关产品较少。智能垃圾分类系统的推广和应用在场景上存在一定的局限性，同时成本也处于困境之中，因此智能垃圾分类系统在整个垃圾处理系统中仍处于前端辅助环节。

徐锐(2022)等研究表明，目前我国的人工智能垃圾分类技术还不够完善，需要进一步探讨更有效的策略，未来，智能垃圾分类从产业、科技、配套系统等方面开辟新思路，人工智能垃圾分类应用会越来越广泛及成熟，垃圾分类行业与科技发展将高度融合[8]。国内学者就人工智能应用在垃圾分类领域中所存在的问题进行了尝试性的探讨。张雨康(2020)等认为，目前我国的智能化环保设备还不足以满足公众场所对智能化产品的需求。我们的垃圾分类设备陈旧，不够创新，分类效果差。我们需要运用现有的科学技术，改进产品，实现垃圾分类设备的创新[9]。此外，沈婧昀(2022)等基于图像识别技术对校园垃圾智能分类系统的可行性进行分析，他们认为相比消耗大量的人工作业，人工智能算法下的图像识别技术使垃圾分类更精准、更省时，但是由于智能垃圾箱实现需要的技术较复杂、成本较高、日后维护较频繁，因此现如今其应用范围比较狭隘[10]。

4.1. 垃圾智能收集环节存在较大局限性

目前想要达到完全智能化垃圾分类，在技术层面上还存在着一定的局限性。当今市场上的智能垃圾分类产品即便已经能够实现自动识别和分类等基本功能，但是实际操作中的使用效果并不尽人意，技术层面的局限性导致智能垃圾分类产品在推广和应用上被限制在很多场景之外，使其未能达到普及效果。其一是产品在识别速度和设备结构上还有较大的进步空间。现阶段的智能垃圾桶普遍都是运用了机器视觉技术来实现垃圾识别这一功能，例如国外 Bin-e 公司发行的垃圾桶还有阿尔飞思企业发行的“睿桶”，机器视觉技术需要将垃圾一个接一个地进行扫描，每当一个客户把一件垃圾丢进垃圾桶后，便需要等待垃圾桶将各个垃圾识别和分类完成后才能够投入下一件垃圾，这一操作过程最显著的问题就是效率低下。AMP Robotics 定制的垃圾分拣机器人由定制的机械臂、视觉传感系统和起保护作用的安全笼组成，虽然其识别垃圾的准确率能够达到 95%，但是每分钟也只能做到分拣 80 件物品，识别速度较慢。其二是智能垃圾分类设备成本与识别精度难以平衡。智能垃圾分类设备的技术研发开支大，同时一些技术的研发制作费、维护费、运行成本费也是个不小的数字[8]。当前市面上进行垃圾收集的智能垃圾桶只局限于能利用机器视觉这一技术将垃圾进行识别和分类，但是现实生活中的垃圾繁杂多样，垃圾量大，各种不同材料的物品堆杂在一起[11]，智能分类处理系统难以清晰地将各类垃圾准确分辨，产生交叉污染的可能性极大，同时垃圾识别分类精度也会受到一定的影响。即便触觉传感器以及三维视觉分析技术等对于提升识别精度的准确度有很大的帮助，但同时设备成本也会大幅度上涨，因此实现大规模的推广应用还存在一定的难度。

4.2. 垃圾处理环节研发投入较少

当前垃圾收集端的智能垃圾桶(箱)在垃圾分类领域人工智能产品的市场上处于重要地位，垃圾处理环节的智能垃圾分拣设备绝大多数都还在研发的过程中，真正能够在商业中被使用的产品只占少数。出于考虑到在垃圾处理环节中智能分拣设备的集成技术难度高，并且研发所需投入的成本及所受的不可预知性也很高，所以其准入门槛是比较高的。现阶段看来，垃圾分拣设备的研究制作和投入大多数源于少量专业环保装备制造公司，但是未来垃圾减量化、资源化处理对于技术投入和资金投入的需求往往较大，因此政府和金融机构的政策扶持和资金支持是必不可少的[12]。

4.3. 垃圾清运环节应用尚未成熟

目前来看,垃圾收集完后的清运环节主要是以人工操作为主。就全国范围而言,城镇环卫从业人员数量已经超过 400 多万,行业相关人士估计,有 40%的环卫工人年龄高达 55 岁,欠发达地区环卫工老龄化问题最为显著。当前我国环卫工人老龄化趋势是无法忽视的既定事实,超龄环卫工人被辞退后的生活不能得到养老保障,已经成为一种新的社会现象[13]。结合现阶段实际情况可知,这是一个当前相对急切又难以快速做出合理应对的问题。我国实施垃圾分类政策后,以人力来进行垃圾清理及运输的工作量显著增大。在当今新冠肺炎疫情的特殊时期,垃圾清运车任务量大,垃圾在清运过程中抛洒滴漏,导致气味扩散,污染环境,也易导致病毒传播,人工进行清运及运输垃圾的弊端逐渐暴露。如今国内许多企业在基于智能垃圾桶和管理信息平台的垃圾清运智能化构想上提出了自己的想法,例如阿尔飞思以及爱家物联企业,他们利用物联网技术将各个垃圾的卸货地点和垃圾桶的信息上传至管理信息平台。人工智能合理规划垃圾卸货路线和频率,一方面减轻了人工劳动的压力,另一方面也节省了环卫工人的劳动力,预计劳动时间和强度会大大降低。不过在这其中的许多企业中,只有“爱分类”企业在实际的操作中真正地应用了垃圾清运车定位、线路布局等模式。从垃圾分类设施的现状来看,我国的垃圾清运机械化比例与西方国家相比还有很大的距离,不仅智能垃圾站还没有在全国得到广泛使用,而且基础的配套设施也没有达到垃圾清运智能化的最低标准,垃圾清运环节应用还尚未成熟。

5. 人工智能在垃圾分类领域的创新应用

随着社会的进步与发展,人类科技水平不断提高,人们的生活已然离不开人工智能(AI)。目前,人工智能广泛应用在娱乐、教育、医疗等各种领域,大大改变了人类传统的生产方式,使人们的生活更加智能化、科技化。但随着人口的增加,垃圾处理问题变得严峻,我们现有的垃圾处理方式仍保持传统,科技的红利并没有改变垃圾处理领域的守旧,我们的垃圾分类系统比较单一薄弱,传统的清洁员工工作效率低,无法对垃圾进行最大化的回收利用。在大力推行垃圾分类的现状下,将人工智能应用在垃圾分类领域可以减少人力成本,提升垃圾分类效率,响应国家号召,全面推动绿色发展[14]。

Javed S (2015)等认为一种基于 OpenCV 实现的背景差分算法的动态更新背景模型,能够自适应地更新背景模型,以适应背景的变化。他们采用了 BackgroundSubtractorKNN 函数实现背景建模,并对算法进行了优化。结果表明,该算法能够在不同场景下实现较高的检测精度和实时性[15]。Joseph Redmon (2018)等在研究 YOLO 算法中表明,YOLOv3 算法是 YOLO 的第三个版本,相对于前两个版本,该算法引入了许多改进。其中新的架构,新的损失函数和新的技术(如多尺度训练,筛选锚点等),并证明了该算法在检测精度和速度方面的改进[16]。此外,武星(2020)等表示对算法 YOLOv3 的改进,能够用于自动检测和计数苹果果实。通过对 YOLOv3 的调整和优化,一种新的损失函数可以提高目标检测的准确性和精度。他们的实验结果表明,该算法的检测精度和计数准确度比 YOLOv3 更高[17]。这两算法目前已经得到了不断的改进和优化,并在不同应用场景,它们的速度和准确性使其成为实时对象检测的热门选择,并且能够使用多个尺度和特征金字塔网络,有助于提高其性能。然而,它们确实有一些局限性,研究人员一直在努力提高其在具有挑战性的环境中的准确性和性能。

5.1. 基于计算机视觉的分类技术

计算机视觉技术(CV, computer vision)是人工智能其中一大热点方向。垃圾分类的前提是基于计算机视觉技术的识别,首先需要利用计算机视觉(机器视觉)从图像获取物品的形状、颜色、纹理、视觉模型等参数进行物品识别,通过物品信息反馈进而确立物品所属的垃圾类型,完成查证分类任务,如图 1 所示。

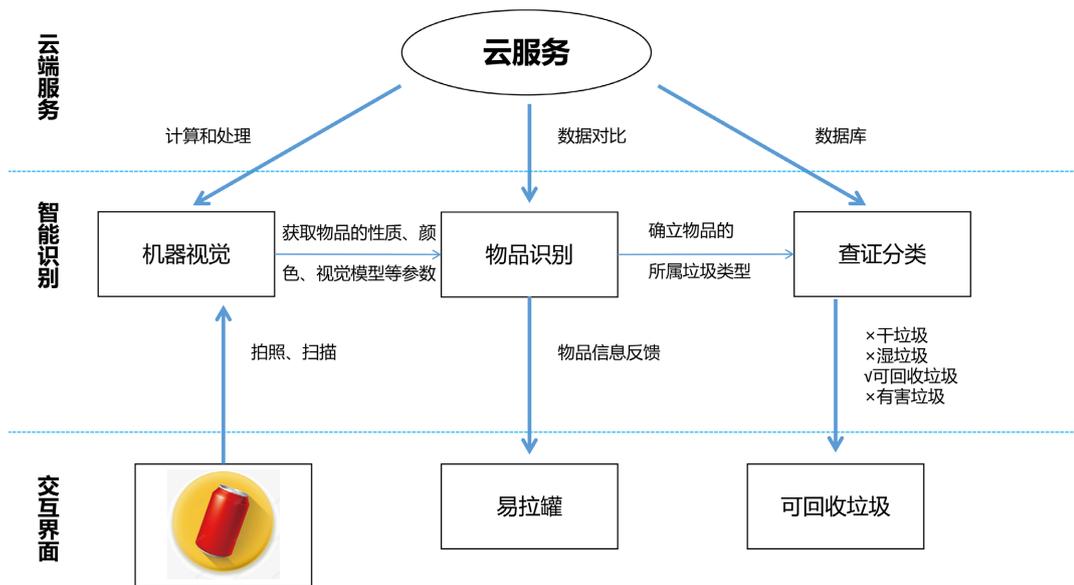


Figure 1. Diagram of waste sorting by artificial intelligence
图 1. 人工智能进行垃圾分类的示意图

计算机视觉技术主要通过机器学习技术(ML, machine learning) Tensorflow 库, 训练已有图像, 迅速精确地捕获图像的特征, 并提取特征数据作为训练集和测试集, 训练完成的模型投入图像识别[18], 最后优化模型, 达到速度快、准确度高的分类目的, 操作方便快捷。

5.2. 计算机视觉分类技术方案

方案一采用 OpenCV 实现背景差分算法, 如图 2 流程图所示, 首先捕捉获取目标图像, 将获取的图像对其进行 threshold 函数的二值化处理, 并将处理后的图像背景差分获得背景差分图像, 为了保证目标精确度, 通过 morphologyEx 函数调用闭运算增强图像特征, 在图像获取矩形框, 并根据矩形框坐标目标定位, 利用 RIO 裁剪, 将目标裁剪处理, 总体实现了在短时间内可以利用背景差分算法从大量图像中截取目标样本, 加速目标获取过程。

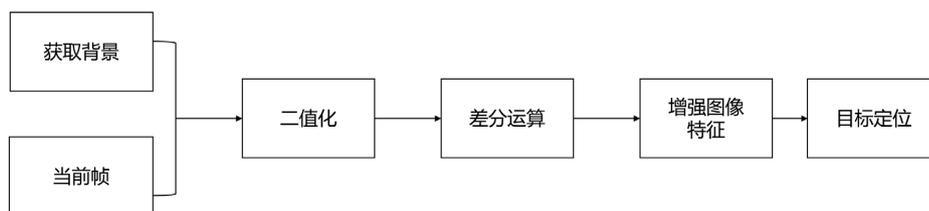


Figure 2. Background difference algorithm flowchart
图 2. 背景差分算法流程图

方案二采用 YOLOv3 算法, 基于 Tensorflow 库构建的 YOLOv3 模型, 是基于 YOLOv1 和 YOLOv2 构建的模型并对其进行整合优化, 网络为 Darknet-53 的模型结构。Darknet-53 中基础单位由 1×1 、 3×3 的卷积层和 1 条快捷链条组成, 每个卷积层后都连接一个 BN 层和 LeakyReLU 层。如图 3, 当输入图片尺寸大小为 256×256 时, 就会获得预测的三个特征层尺寸大小分别为 8×8 、 16×16 、 32×32 。通过这种采样方式可以解决单个特征图检测出现效果差的问题, 增强浅层特征, 将不同的特征融合检测能更细致、精确识别目标检测物。

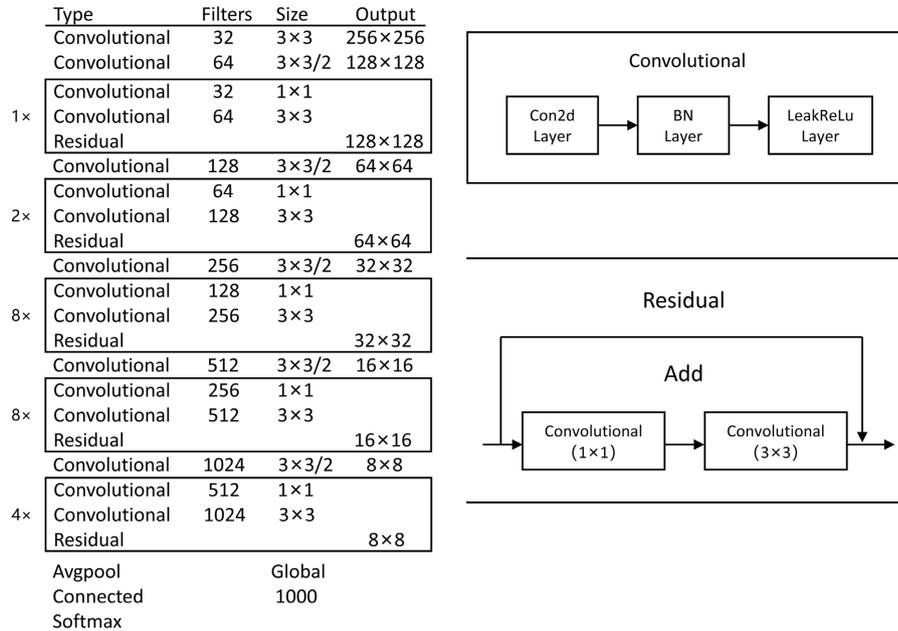


Figure 3. Darknet-53 network structure diagram
图 3. Darknet-53 网络结构图

5.3. 硬件设计

将智能垃圾分拣系统应用在捡垃圾式无人机上，机械手掌心[19]安装微型摄像头，通过视觉传感器结合图像处理器识别垃圾，完成垃圾分拣工作。如图 4 为无人机内部硬件结构大体设计。

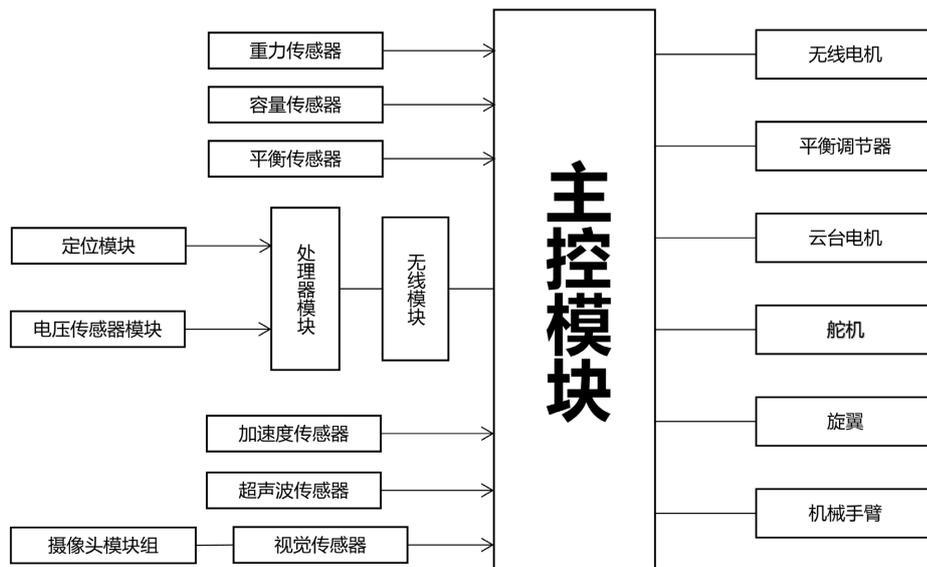


Figure 4. Litter picker drone structure design
图 4. 捡垃圾式无人机结构设计

信息采集装置包括：云台、高清摄像头，飞行控制系统。

拾取装置包括：设置在机身侧面的多节机械臂、机械手以及与各节机械臂对应设置的舵机；所述各舵机均与主控模块电性连接，且所述舵机驱动机械臂以带动机械手抓取垃圾。

6. 垃圾分类领域在人工智能应用上的发展趋势

伴随人工智能技术的出现与发展及国家对垃圾分类的广泛推行，在其中的垃圾分类环节中新型的人工智能技术的运用在单一依靠智能设备实现垃圾收集、分类、消运、处理的环节中脱颖而出，彰显出一种流程全整合、管理扁平化的趋势，当然，日渐成熟的新型传感器技术的出现也更好的提出了人工智能垃圾分类技术的解决方式。在未来，垃圾分类的范畴中，人工智能产品将会逐步从设备向云端控制过渡。

梅志敏(2022)等研究认为，在目前国内形势下，部分企业开始将物联网、云处理技术与某些智能设备相结合，试图在垃圾处理闭环中进行统筹化管理。在整个垃圾分类过程中，要实现智能化，就必须要有人工智能控制的信息管理平台[19]。当前，垃圾分类处理的各环节相互独立，不能将人工智能技术在信息处理、数据分析等方面的优势充分发挥出来。在此基础上，提出了一种基于智能技术的垃圾分类处理平台，并将其集成到“智慧城市”中，以提升城市的整体管理水平。

6.1. 全流程整合和平台化管理成为主流

垃圾分类只是垃圾综合处理环节中的一部分，除此之外还需要多种技术协调配合。结合当前资料信息，人工智能正广泛运用于分类环节，伴随着国家政策不断完善，新的政策不断推出，同时人们的认知水平不断提高，分类这一层面的人工智能需求率在不断走低，同时当前社会存在着较为严重的人口老龄化和人工劳动资源短缺的问题，以及不断提高标准的垃圾集中处理和分类问题，在清理运输和综合处理方面对人工智能的需求率在不断走高，人工智能在垃圾综合处理中其他环节运用在不断拓展。也需要在其中的消运环节中，可以运用人工智能协助规划清运路线，甚至使用由人工智能控制的无人驾驶交通工具运输，以此来提高垃圾消运的效率以及消运的时间[20]。在垃圾分类的方面，通过人工智能系统和相应的设备技术，实现更精确的垃圾分类和进一步处理。在这种前提下，要求我们不只是其中一个环节的人工智能设备的供应商，还要求对整个流程中各个层面具有整合控制的能力，提供针对于整个流程的人工智能解决方案。目前已有一些企业开始了这方面的尝试，但并未完全解决一些问题。垃圾分类的全程智能化还需要依托人工智能控制的信息管理平台。目前垃圾分类处理的各个环节都是互相独立的，不能够充分的发挥出人工智能技术在信息处理、数据分析等方面的优势。在当前国内形式的大背景下，一些企业开始注意将物联网、云处理技术同一些智能设备关联起来，尝试进行在垃圾处理闭环中的统筹化管理。在未来，垃圾分类处理智能化的平台可能还会融合到智慧城市系统中，从而提高城市综合管理的能力。

6.2. 多元化的垃圾分类技术解决方案

当前计算机视觉和图像分析系统是垃圾分类处理方面的核心技术，尽管在计算机学习算法和大量数据加持的训练下，这种视觉技术分析对识别精确度有一定的提升，但计算机视觉的分析在程序上仍然有一定的不足之处，对于一些混杂的垃圾，以及外表相似但是材料不同的垃圾，计算机视觉分析程序存在较高的分辨错误率。因此需要尝试整合包括图像、材料、重量等重要传感器数据，并将它们添加至人工智能处理系统中，使用多元化的识别技术方案，实现进一步提升识别准确度的目的。目前世界上不断问世的新型技术和新型材料也为识别分类创造了实现的可能性，如：美国麻省理工大学与耶鲁大学两所大学联合研发出了更为敏感的触觉传感器[21]，这种传感器通过利用拉胀聚合物材料检测物体的体积和抓取所需的力度范围，并通过尺寸、刚度和强度判断被检测物体的材质。通过一定的测试，目前识别准确率能够达到85%以上。这种技术使触觉、视觉等多种传感器共同结合的分拣系统能够进一步提高垃圾分拣的精确度和效率。

6.3. 服务性机器将会逐步取代智能分拣设备

智能机器主要分为两大类，分别是工业型机器和服务型机器，工业型机器在现阶段已经广泛应用于

每一个工业模块，但是服务型机器的研究和运用目前仍处于起步阶段，人工智能技术的不断发展为服务型机器打下了深厚的技术基础，未来服务型机器有很大可能性会迎来大规模的运用爆发。目前市场上存在的智能垃圾分类设备普遍存在诸多缺点，例如其功能性太过单一，效率低下等，这些缺陷给这些设备添加了一个市场上限。而服务型机器可以实现从被动的垃圾收集到主动的垃圾捡拾和清扫的转变，其应用场景和可用范围得到了巨大的提升。美国谷歌公司已经开始了这方面的研发，其研制的 Alphabet X 垃圾分类机器人能够做到自主移动，能够通过计算机视觉以及结合各类传感器和机械手臂主动寻找和拾取垃圾，进行分类投放。为了能够达到更顶尖的全自动智能化水平，谷歌公司的 Alphabet X 垃圾分类机器人不仅能够自动市区垃圾，还能够进行自主试验、与其他机器人通过云集群共享经验以及模拟训练来提高自我工作能力，实现自动开门、拾取垃圾、分类放置等行为。能够自主学习的服务型机器人可以在复杂条件下进行垃圾清理作业，在劳动力成本不断上升等因素的影响下，服务型机器具有很大的市场需求和潜力，在未来可能会成为垃圾分类收集环节一种主要的市场构成。

6.4. 信息服务正不断在运营收入上占据较大份额

现阶段垃圾分类领域的人工智能企业还是以销售智能产品或者可再生资源交易为主要的收入形式，但这种收入形式的回报缺乏稳定性，市场前景也存在一定的上限，有些企业可能已经出现经营困难甚至逐步被市场淘汰的状况。在大数据和人工智能技术广泛运用的前提下，信息和数据成为一种新战略资源来提高企业的竞争力和市场份额。垃圾分类设备能够通过计算机分析来获取大部分消费者对产品的选择、使用情况的信息，并能够尝试深入分析获取部分居民的消费习惯以及生活习惯等重要信息。国外的一些企业已经在关注信息这一潜在的资源，尝试通过信息方面的服务来增加运营收入。如果能够解决信息安全方面的问题，人工智能垃圾设备很有可能会成为分析消费者行为的一种重要的信息源，数据和信息服务也很有可能会成为垃圾分类领域人工智能企业的主要业务来源。

7. 结论

本文针对当前垃圾回收的问题，梳理了当前国内外垃圾分类的智能现状，对国内外相关文献进行分析总结，研究了人工智能在垃圾回收等方面的应用。本文基于计算机视觉设计的垃圾识别分拣系统，结合采用 OpenCV 实现背景差分算法和 YOLOv3 算法，将系统应用在捡垃圾式无人机上，通过视觉传感器结合图像处理识别垃圾，完成垃圾分拣工作。不仅能够利用大数据和人工智能精准识别、及时追踪新发生的生态环境问题，并建立出更加针对性的管理方案，为科学保护、系统治理提供科研技术支持。在垃圾分类智能化的基础上，对人工智能创新平台进行更好的规划和布局，加速对人工智能高端人才的培养和聚集，促进人工智能和绿色经济的协调发展。

基金项目

2022 年广东省大学生创新创业训练计划立项：珠海科技学院 S202213684042。

参考文献

- [1] 彭志勇, 龙虎. 人工智能背景下量子机器学习算法的概论[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(4): 39-40+43.
- [2] 马晗旭, 刘忠富, 刘子洋, 赵宏宇. 太阳能供电的智能垃圾分类处理系统设计[J]. 自动化与仪表, 2020, 35(8): 11-15+20.
- [3] 孟稳, 冀凯洋. 基于 Arduino 的家用智能垃圾桶设计[J]. 工业控制计算机, 2020, 33(4): 121-122+135.
- [4] 徐智, 袁新雅, 武宇, 等. 智能分拣垃圾桶[J]. 自动化博览, 2018(z1): 45-47.
- [5] Elfakhany, A. and Arrieta, A. (2001) Design and Development of an Autonomous Trash Sorting System. *G. J. P&A*

Sc and Tech, 1, 56-64.

- [6] 刘珂, 刁鹏飞, 陈颖, 胡海洋, 田洪岳, 蒋顺勇. 一种新型智能垃圾桶的设计[J]. 科技创新与生产力, 2022(10): 92-94.
- [7] 陈冬君. 基于物联网的城市生活垃圾分类回收系统设计研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2021.
<https://doi.org/10.27262/d.cnki.gqdau.2021.001598>
- [8] 徐锐, 陈敏谊, 刘美红, 郑丽莎, 杨雯. 人工智能在垃圾分类中的应用[J]. 品牌与标准化, 2022(1): 107-109.
- [9] 张雨康, 蔡威, 陈文浩, 刘梦琦, 唐梦瑶. 智能垃圾分类系统研究文献综述[J]. 中国设备工程, 2020(9): 31-33.
- [10] 沈婧昀, 马昕雨, 乔淑云, 朱晓曼, 周子钰. 基于图像识别技术的在校垃圾智能分类[J]. 科技风, 2022(4): 17-19.
- [11] 胡莎莎, 张漪潇. 我国城市生活垃圾分类困境及对策研究[J]. 法制与社会, 2019(3): 137-138.
- [12] 王泗通. 人工智能应用的社会风险及其治理——基于垃圾分类智能化实践的思考[J]. 江苏社会科学, 2022(5): 108-116.
- [13] 项田甜. 城市环卫工人面临的困境和解决途径[J]. 绿色科技, 2019(12): 283-284.
- [14] 梁蕊, 陈冠益, 颜蓓蓓, 孙昱楠, 陶俊宇. 城市生活垃圾智能分类技术研究与应用进展[J]. 中国环境科学, 2022, 42(1): 227-238. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210709.011>
- [15] Javed, S., Sobral, A., Bouwmans, T., *et al.* (2015) OR-PCA with Dynamic Feature Selection for Robust Background Subtraction. *The 30th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, Salamanca, 13-17 April 2015, 86-91.
<https://doi.org/10.1145/2695664.2695863>
- [16] Redmon, J. and Farhadi, A. (2018) YOLOv3: An Incremental Improvement.
- [17] 武星, 齐泽宇, 王龙军, 等. 基于轻量化 YOLOv3 卷积神经网络的苹果检测方法[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 17-25. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2020.08.002>
- [18] 逢淑超. 深度学习在计算机视觉领域的若干关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [19] 梅志敏, 陈艳, 胡杭, 张融. 机器人与机器视觉的垃圾分拣系统设计[J]. 机械设计与制造, 2022(4): 275-278.
<https://doi.org/10.19356/j.cnki.1001-3997.2022.04.008>
- [20] 周鸿霞, 孙彩红, 王丹. 数学建模——深圳市南山区垃圾清运经济效益与路线方案设计[J]. 林区教学, 2011(7): 111-112.
- [21] 曹建国, 周建辉, 缪存孝, 尹海斌, 李维奇, 夏飞. 电子皮肤触觉传感器研究进展与发展趋势[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49(1): 1-13.