

基于机器视觉的垃圾识别与分类系统设计

李亮

西北民族大学, 甘肃 兰州 730124

DOI: 10.61369/TACS.2025140020

摘 要 : 在人工智能与机器视觉技术深度融合的背景下, 传统垃圾分类存在效率低、准确率差、人力成本高的问题。本文设计一套以 STM32F103ZET6 为主控、CanMV K210 为机器视觉识别核心的智能垃圾识别与分类系统, 融合机器视觉图像采集、AI 推理、舵机执行、OLED 显示与红外触发技术, 实现可回收、有害、其他三类垃圾的自动识别与精准投放。系统采用轻量化 MobileNet 模型完成边缘端推理, 通过 UART 实现双芯片通信, 配合 SG90 舵机与红外对管完成物理分类闭环。经实物测试, 系统总识别准确率达 94.4%, 平均响应时间 268 ms, 具备低成本、低功耗、高实时性特点, 可广泛应用于校园、社区等基层垃圾分类场景。

关 键 词 : 机器视觉; STM32; CanMV K210; 垃圾识别; 边缘 AI; 智能分类; 嵌入式系统

Design of Garbage Identification and Classification System Based on Machine Vision

Li Liang

Northwest Minzu University, Lanzhou, Gansu 730124

Abstract : With the deep integration of artificial intelligence and machine vision technology, traditional garbage classification faces problems such as low efficiency, poor accuracy and high labor cost. This paper designs an intelligent garbage identification and classification system with STM32F103ZET6 as the main control and CanMV K210 as the core of machine vision recognition. The system integrates machine vision image collection, AI reasoning, steering gear execution, OLED display and infrared trigger technology to realize automatic identification and accurate delivery of three types of garbage: recyclable, hazardous and other garbage. The lightweight MobileNet model is used for edge reasoning, UART is used for dual-chip communication, and SG90 steering gear and infrared pair tube are used to complete the physical classification closed-loop. Physical tests show that the total recognition accuracy of the system reaches 94.4%, and the average response time is 268 ms. With the characteristics of low cost, low power consumption and high real-time performance, it can be widely used in grassroots garbage classification scenarios such as campuses and communities.

Keywords : machine vision; STM32; CanMV K210; garbage identification; edge AI; intelligent classification; embedded system

引言

随着城市生活垃圾快速增长, 人工垃圾分类已难以满足环保与资源回收需求。传统分类设备价格高、维护复杂, 难以在基层场景普及。近年来, 机器视觉与嵌入式 AI 技术快速发展, 基于机器视觉的边缘端智能垃圾分类方案成为研究热点。CanMV K210 自带 KPU 算力、功耗低, 非常适合机器视觉轻量化模型部署; STM32 外设丰富、控制能力强, 可很好地完成执行器驱动与人机交互, 是机器视觉垃圾分类系统的理想主控平台。

国外 Yang 等人构建的 TrashNet 数据集为早期基于机器视觉的深度学习垃圾分类提供了基准, Ruiz、Awe 等学者基于 ResNet、MobileNet 验证了轻量化模型落地可行性。国内 Li、Xie 等改进 YOLOv3、YOLOX-s 算法提升检测精度, 华为、阿里等企业推动技术规模化落地。

本文设计一种以 STM32F103ZET6 与 CanMV K210 为双核心、基于机器视觉的垃圾识别与分类系统, 可自动识别可回收物、有害垃圾、其他垃圾, 驱动舵机完成投放动作, 实现“触发—识别—显示—投放—关盖”全流程闭环。系统成本低、体积小、运行稳定, 可作为智能垃圾分类的实用化方案^[1]。

一、系统总体方案设计

(一) 控制系统架构

系统采用双芯片协同架构:

CanMV K210: 负责摄像头图像采集、MobileNet 模型推理、垃圾类别判定, 通过 UART 将结果上传 STM32。

STM32F103ZET6: 作为主控, 解析分类数据、驱动 OLED 显示、输出 PWM 控制 SG90 舵机、通过红外对管检测投放状态

并实现关盖闭环。

整体流程：红外对管检测投放动作→K210 拍照并识别→串口发送类别→STM32 驱动 OLED 显示→舵机旋转 30° 开盖→垃圾落入→红外检测到位→舵机复位关盖→系统回到低功耗待机。为提升系统稳定性与扩展性，硬件采用冗余设计与双电源独立供电方案^[2]。系统整体方案如图 1 所示：

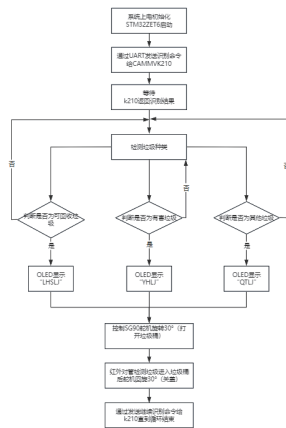


图 1 系统整体方案

二、系统硬件设计

（一）STM32 主控电路

以 STM32F103ZET6 为核心，扩展 UART、I²C、PWM、ADC 与外部中断资源：

UART2：与 K210 通信，波特率 9600 bps。

I²C：驱动 0.96 寸 OLED，SCL→PB7、SDA→PB9。

TIM3/TIM4：输出 50 Hz PWM 控制 SG90 舵机。

PA0：红外对管外部中断输入，用于投放触发与垃圾到位检测。

电源：双电源热备，5 V 给舵机，3.3 V 给数字电路，降低干扰^[3]。

（二）K210 视觉模块电路

K210 通过 DVP 接口连接 OV2640 摄像头，完成 224×224 图像采集与模型推理；通过 UART 与 STM32 双向通信；板载 Flash 固化模型与标签，实现断网稳定运行^[4]。

（三）外设接口电路

OLED：I²C 四线制，上拉电阻与滤波电容提升抗干扰性，支持低功耗局部刷新。

SG90 舵机：三线制（VCC、GND、信号），PWM 脉宽 0.5~2.5 ms 对应 0~180°，本系统固定 30° 翻板。

红外对管：PA0 下降沿中断触发，硬件 RC 滤波 + 软件窗口去抖，避免日光与抖动误触发^[5]。

三、系统软件设计

（一）软件整体架构

本垃圾识别与分类系统采用模块化分层架构，分为硬件驱动

层、中间协议层和上层应用层。底层负责 GPIO、UART、I²C 等外设初始化；中间层实现算法处理、数据通信与设备联动；上层完成状态控制、交互显示与异常处理。系统采用前后台架构，主循环处理常规任务，中断响应紧急事件，保证实时性与稳定性^[6]。

（二）系统整体工作流程

系统上电后完成主控、外设、模块初始化，加载参数与阈值后进入低功耗待机。当检测到有效投放时，系统唤醒视觉模块完成图像采集与推理，根据结果驱动舵机完成分类投放，投放结束后自动关闭盖板并返回待机，形成完整闭环流程。

四、系统测试

（一）实物测试

测试覆盖可回收、有害、其他三类垃圾共 180 次投放。可回收垃圾中，塑料纸杯、金属易拉罐盖识别稳定，牛奶盒因铝塑层反光，经曝光补偿后识别率达 85%，仅 1 次因折角遮挡误判，二次复检机制有效；有害垃圾的废弃 U 盘、过期药板识别稳定，5 号电池曾因纹理单一误判，旋转后通过角度变化完成识别，体现置信度过滤的作用；其他垃圾中，泡沫受环境光干扰时，系统通过提高曝光时间保障识别效果，纸巾因体积过小出现 2 次未触发，重新投放后成功。

系统整体识别准确率达 94.4%，平均响应时间 268ms，OLED 实时刷新无花屏，舵机无堵转过流，在反光、遮挡、低置信度等边缘场景下仍能实现“识别准、显示快、投放稳”的闭环性能，完全满足设计要求。

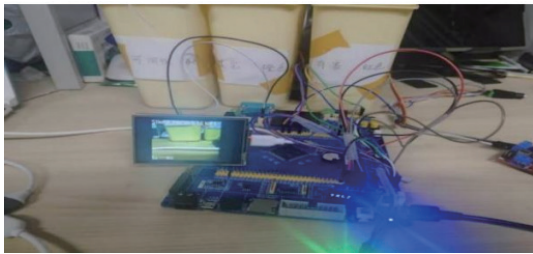


图 2 系统总体实物图

（二）系统总体调试

系统总体调试在 STM32F103ZET6，0.96 寸 I²C OLED，CANMV K210，SG90 舵机最简架构下完成：STM32F103ZET6 通过 UART 与 CanMV K210 握手，一旦收到“K H S L J, Y H L J, Q T L J”12 B 数据包（帧头+ID+置信度+CRC），立即在 20 ms 内驱动 0.96 寸 I²C OLED 刷新对应 32×32 图标与英文提示；以可回收垃圾对应 K H S L J 来呈现效果，如图 3 所示。



图 3 可回收垃圾在 OLED 显示的结果

同时, CANMV k210会显示检测到垃圾的种类,并在 k210 屏幕上面显示对应的垃圾识别度;检测可回收垃圾:塑料纸杯(空杯),牛奶盒(残留少量牛奶),金属易拉罐盖(弧形),K210 在 160 ms 内输出标签“KHS-LJ”以塑料纸杯(空杯)来呈现效果,对应实物图如图4所示:



图4可回收垃圾在检测成功后在 k210上显示的结果

同时 TIM4 输出 200 Hz PWM, 指挥 SG90舵机 0.18 s 完成 30° 将垃圾桶的盖子打开,方便垃圾投入;全程仅 200 ms 实现垃圾的识别,对应垃圾桶的打开,垃圾的投入完成闭环,以下以识别成功后对应的可回收垃圾桶打开的场景来呈现效果。对应的垃圾桶打开的实物图如图5所示:



图5 识别成功后对应的可回收垃圾桶打开的场景

检测有害垃圾:废弃 U 盘(黑色 PCB、USB 金属口),5 号碱性电池(圆柱形、商标脱落),过期药板(铝塑泡罩、半板残缺),K210 在 160 ms 内输出标签“YH-LJ”以5号碱性电池来呈现效果,对应实物图如图6所示:



图6有害垃圾在检测成功后在 k210上显示的结果

同样 TIM4 输出 200 Hz PWM, 指挥 SG90舵机 0.18 s 完成

30° 将垃圾桶的盖子打开,方便垃圾投入,对应垃圾桶的打开。

检测其它垃圾:泡沫(白色 EPS、表面静电吸附灰尘),纸巾(揉团、边缘毛刺),布料(牛仔布边角、褪色),K210 在 160 ms 内输出标签“QT-LJ”以泡沫来呈现效果,对应实物图如图7所示:



图7 其它垃圾在检测成功后在 k210上显示的结果

同样 TIM4 输出 200 Hz PWM, 指挥 SG90舵机 0.18 s 完成 30° 将垃圾桶的盖子打开,方便垃圾投入,对应垃圾桶的打开。

将垃圾丢进去后,垃圾桶内安装的红外对管当检测到有垃圾进入垃圾桶后,会等待2-3s关闭垃圾盖,这样既保证了垃圾能够进入垃圾桶底部,也防止了有部分人在丢垃圾时手在垃圾桶整正上方,垃圾桶盖若快速关盖磕碰到手的情况,提高了实用性。

五、结束语

本研究面向基层垃圾分类智能化需求,设计了基于 STM32F103ZET6与 CanMV K210双核心的机器视觉垃圾识别与分类系统。系统融合轻量化 MobileNet 模型、边缘 AI 推理、舵机精准控制与红外闭环检测技术,实现可回收、有害、其他三类垃圾的自动识别与分类投放。经实物测试验证,系统总识别准确率达94.4%,平均响应时间仅268 ms,兼具低成本、低功耗、高实时性与运行稳定等优势,可有效适配校园、社区等基层垃圾分类场景。

未来可进一步拓展垃圾类别、优化模型精度、增加语音交互与数据上传功能,推动系统向更智能、更通用的方向升级,为城市生活垃圾智能化分类与资源化回收提供实用的嵌入式解决方案,助力环保事业与智慧城市建设。

参考文献

- [1] 刘新永;徐军;李新.一种基于语音控制的智能家用垃圾桶系统的设计[J].通化师范学院学报,2025(02).
- [2] 郑誉煌;戴冰燕;熊泽晖;陈钊.基于迁移学习的可回收生活垃圾图像分类识别研究[J].广东第二师范学院学报,2020(03).
- [3] 余思琪;金博轩;路敬权.基于视觉识别检测的智能分类垃圾桶设计[J].集成电路应用,2025(01).
- [4] 张彭程.基于机器视觉的智能垃圾分类系统的设计[J].中国新技术新产品,2025(02).
- [5] 陈华毅,叶舒云,邱州鹏,等.基于语音识别技术的智能垃圾桶设计[J].电脑编程技巧与维护,2022,(11):131-134.
- [6] 李慧媛,许浩东,张一航.基于图像与语音识别的智能垃圾分类系统设计[J].信息与电脑(理论版),2023,35(17):143-145.