

doi:10.16104/j.issn.1673-1891.2022.02.015

基于机器学习的智能垃圾分类系统设计

潘 丽, 贾冕茜

(芜湖职业技术学院电气与自动化学院, 安徽 芜湖 241000)

摘 要: 近几十年人们对于垃圾分类处理越来越重视, 针对目前人工垃圾分类工作量大, 效率较低等问题, 提出了基于机器学习的智能垃圾分类系统。以 STM32F103ZET6 单片机作为主控模块, 以 OpenMv4 H7 作为摄像头采集模块, 采集垃圾图片, 采用 BRISK 特征提取算法, 实现图像检测, 以 JQ8400 语音模块实现语音播报功能。经测试, 本系统进行垃圾分类的准确度达到 98%, 可以按照目前的垃圾分类方案播报为厨余垃圾、有害垃圾、其他垃圾、可回收垃圾。系统操作简单, 性能可靠, 成本低, 完成了垃圾识别与检测功能。

关键词: 机器学习; 垃圾分类; 单片机

中图分类号: TP391.41; X799.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2022)02-0074-04

Design of an Intelligent Garbage Classification System Based On Machine Learning

PAN Li, JIA Mianqian

(School of Electrical and Automation, Wuhu Institute of Technology, Wuhu, AnHui 241000, China)

Abstract: In recent decades, people pay more and more attention to garbage disposal. Aiming at the problems of heavy workload and low efficiency of manual garbage classification, an intelligent garbage classification system based on machine learning is proposed. This design uses STM32F103ZET6 as the main control module and OpenMv4 H7 as the camera acquisition module to collect garbage pictures. BRISK feature extraction algorithm is adopted to realize image detection, and JQ8400 voice module is used to realize voice broadcast function. After testing, the correctness of the system's garbage classification reaches 98%, which can be categorized as kitchen waste, harmful waste, other waste and recyclable waste according to the current garbage classification scheme. The system is simple in operation, reliable in performance and low in cost.

Keywords: machine learning; garbage classification; MCU

0 引言

我国每年约新增 10 亿 t 生活垃圾^[1]。如果这些垃圾得不到妥善处理, 危害人体健康的同时还会导致资源浪费和生态环境的破坏。2017 年发布的《生活垃圾分类制度实施方案》指出: 实施生活垃圾分类, 可以有效改善城乡环境, 促进资源回收利用, 加快“两型社会”建设。然而, 传统的人工垃圾分类方式工作量大, 流程繁琐, 效果欠佳。近年来, 人工智能技术的发展为垃圾分类智能化提供了技术路径, 卢雯兰等^[2]设计了基于深度学习和物联网的智

能垃圾桶, Olugboja 等^[3]基于卷积神经网络和支持向量机搭建了垃圾分类识别的模型, 莫卓亚等^[4]对深度学习进行了数据集和训练过程的优化, 搭建了垃圾分类识别模型, 杨会玲等^[5]基于深度学习的 SSD 模型设计了垃圾分类系统。但是上述系统或必须在联网的模式下, 或只搭建了理论模型没有完成实际系统, 或在系统可靠性上面有待提升。

本文参照具体的垃圾分类标准, 基于机器学习设计了一种智能垃圾分类系统。该系统帮助垃圾分类知识匮乏的人群解决垃圾分类问题, 同时降低垃圾处理厂后期处理垃圾的难度。

收稿日期: 2021-12-08

基金项目: 安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2019A0982); 芜湖职业技术学院 2021 年度校级“教学质量与教学改革工程”项目(芜职院[2021]114 号); 芜湖职业技术学院校级自然科学一般项目(wzyzr202109)。

作者简介: 潘丽(1988—), 女, 安徽芜湖人, 助教, 硕士, 研究方向: 集成电路应用。

1 机器学习及其技术基础

本系统对不同的垃圾进行物体识别, 提取其特征向量, 从而可以根据该垃圾的特征量判断其类型。在物体识别的过程中就需要使用到特征提取的算法, 使得机器可以根据提取到的物体特征来识别不同的物体, 本文使用的特征提取算法为 BRISK 算法。

AGAST 角点检测算法是对著名的 FAST 角点检测算法的改进。其指出图像的显著特性在平面上是连续的, 在尺度空间也是连续的。因此通过构建尺度空间金字塔, 采用 AGAST 算法检测角点, 对连续尺度空间里的测度响应函数值进行二次线性拟合, 并在尺度空间进行非极大值抑制, 剔除非稳定极值点。通过位置内插法对各层中的稳定极值做一维抛物线拟合, 最终得到在连续尺度空间里具有亚像素级定位精度的稳定极值点^[6-7]。

BRISK 算法在特征点检测部分选用了稳定性更强的 AGAST 算法, 在特征描述部分采用自定义的邻域采样模式, 即以特征点为中心的 40×40 像素块内构建多个同心圆, 采样点等间距分布在圆周上, 共 60 个采样点^[8]。

设采样点对集 Ω , 采用欧氏距离定义短距采样点对集 S 和长距采样点对集 P :

$$P = \{ (p_i, p_j) \in \Omega \mid \| p_j - p_i \| < \delta_{\max} \} \subseteq \Omega \quad (1)$$

$$S = \{ (p_i, p_j) \in \Omega \mid \| p_j - p_i \| > \delta_{\min} \} \subseteq \Omega$$

通常取阈值 $\delta_{\max} = 9.75 t$ (t 是连续尺度空间角点检测过程中提取的尺度特征量), $\delta_{\min} = 13.67 t$ 。令 L 表示长距采样点对集 P 的元素个数, $g(p_i, p_j)$ 表示点对 (p_i, p_j) 的梯度, 角点的特征方向定义为:

$$g = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \frac{1}{L} \times \sum_{(p_i, p_j) \in P} g(p_i, p_j) \quad (2)$$

式中: g_x 表示图像在 X 方向梯度; g_y 表示图像在 Y 方向梯度。

在 BRISK 特征描述之前, 需完成预旋转操作, 即将采样模板沿中心顺时针旋转角度 α , $\alpha = \arctan 2(g_y, g_x)$ 。然后, 在短距采样点集 S 中对比采样点对 (p_i^α, p_j^α) 的强度, 形成 512 bits 的 2 值化特征描述, 其每个比特 b 定义如下:

$$b = \begin{cases} 1, & I(p_i^\alpha, \sigma_j) > I(p_i^\alpha, \sigma_i) \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \forall (p_i^\alpha, p_j^\alpha) \in S \quad (3)$$

对上述 2 值特征描述采用汉明距离实现特征匹配, 最终得到图像的全局运动估计。与 BRIEF^[9]、ORB^[10] 等相比, BRISK 算法采用构造连续尺度空间和预旋转操作, 保证了 BRISK 描述子的尺度不变性

和旋转不变性, 非常适合本系统中高精度的图像配准过程。

2 系统结构和电路设计

2.1 总体方案论述

本系统以 STM32F103ZET6 单片机作为主控模块, 用 OpenMv4 H7 摄像头采集垃圾图片, 采用特征提取算法对采集的垃圾图片进行特征点采集处理, 经过与训练集对比, 实现对垃圾的检测, 在显示模块用文字显示垃圾种类, 同时用语音播放垃圾的种类。系统框图如图 1 所示。

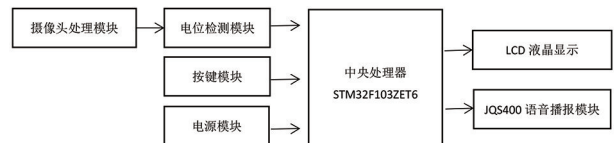


图 1 智能分类垃圾系统结构

2.2 单片机选型

本设计控制模块选择的是 STM32F103ZET6 单片机, 它的工作频率为 72 MHz, 使用到单片机的串口、定时器、IIC 和 ADC 等资源。该系列处理器的运算速度较快, 硬件配置较高, 并且附带外部接口总线, 可以用来外扩 SRAM 和连接 LCD 等, 通过连接 FSMC 来驱动 LCD, 可以显著地提高 LCD 的刷屏速度。

2.3 显示模块

系统采用 3.5 寸的 TFTLCD 作为显示模块, 其分辨率为 320×480 , 接口电路如图 2 所示。

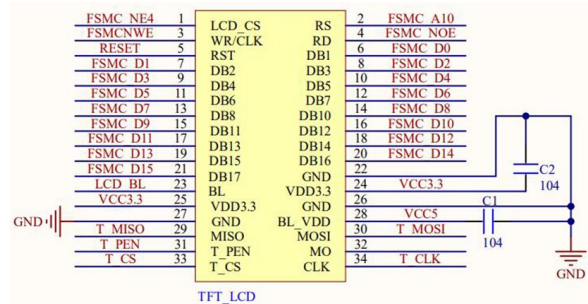


图 2 TFTLCD 接口电路

图 2 中的 MISO、MOSI、T_PEN、T_CLK、T_CS 端口对应连接 MCU 的 PB2、PF9、PF10、PB1、PF11 引脚, 通过单片机发送数据或者控制信息实现对液晶屏的显示和控制。BL 并行串口直接连接在 MCU 的 PB0 口上, 用来控制 LCD 液晶显示屏的背光亮度。LCD 液晶显示屏与单片机共用一个复位信号电路。LCD 总线接口通过 STM32F103ZET6 的 FSMC 总线连接, 可以有效改善 LCD 的图像刷新率和图像清晰度。

2.4 语音模块

系统采用 JQ8400 语音模块, 实物如图 3 所示。

该语音模块与 STM32 单片机可以进行 IO 通信以实现垃圾分类过程中的语言播报的功能,在该语音模块中分别保存了“可回收垃圾”“有害垃圾”“厨余垃圾”“其他垃圾”4 种 MP3 文件。JQ8400 语音模块选用的是 SOC 方案,集成了 1 个 16 位的 MCU,以及 1 个专门针对音频解码的 ADSP,采用硬解码的方式,保证了系统的稳定性和音质。

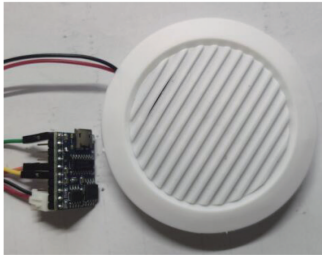


图 3 JQ8400 语音模块

系统所使用到的 JQ8400 语音模块一共有 10 个基本管脚提供自由配置,在本设计中因为只需播放储存在 JQ8400 语音模块中的 MP3 文件,所以只需要用到 ONE LINE 串口来直接控制。如图 4 所示。

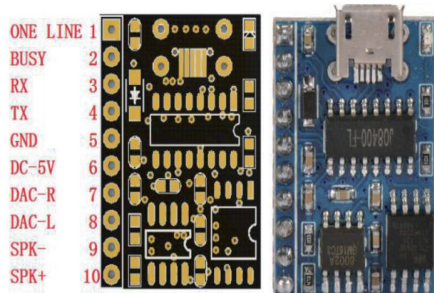


图 4 JQ8400 语音模块端口

2.5 图像采集模块

系统使用的摄像头模块为 OpenMv4 H7,实物如图 5 所示,其搭载了 STM32H743II ARM Cortex-M7 的处理器,该处理器运行时频率可以达到 480 MHz,拥有 1 MB 的 RAM 和 2 MB 的 Flash 内存。所有的 I/O 引脚都是向外输出 3.3 V。在机器视觉方面,这一款摄像头拥有较高的图片处理能力,使用 Python 脚本实现颜色识别、形状识别、特征点追踪、目标追踪等机器视觉应用。

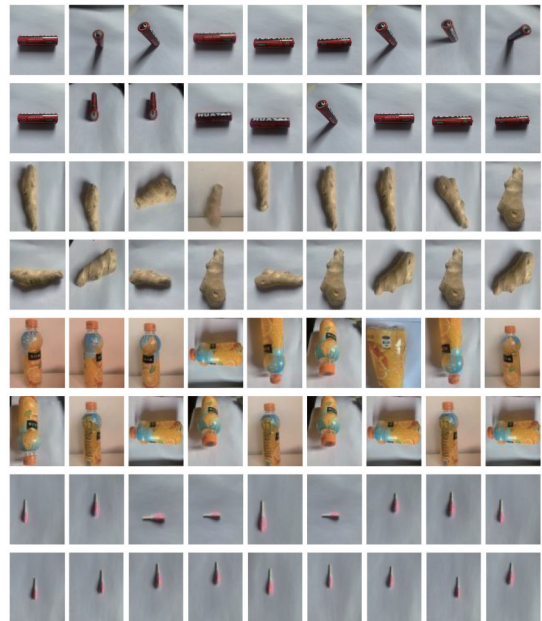


图 5 OpenMv4 H7 摄像头

3 系统设计

3.1 训练集

在本系统中,需要使用到大量的图片来进行图像物体的训练以得到训练集。即对垃圾拍摄多张照片后再使用特征提取算法对其提取特征后进行训练的一个过程,类似于人类对垃圾种类进行判断的过程,将物体与参照物进行对比来分析其可信度。在本设计中使用了 4 种样本,分别为干电池、塑料瓶、生姜、废弃棉签,每种样本分别取了 100 张照片进行训练,部分样本图片以及训练过程如图 6 所示。



a. 样本图片

DATA COLLECTED		LABELS	
354 items		4	
Collected data			
SAMPLE NAME	LABEL	ADDED	LENGTH
youhailaji.00100.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00099.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00098.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00096.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00097.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00095.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00093.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00094.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00092.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:31	-
youhailaji.00091.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:30	-
youhailaji.00090.jpg...	youhailaji	Today, 09:57:30	-

b. 训练过程

图 6 样本图片及训练过程

3.2 硬件连接

系统使用的摄像头是独立的 OpenMV 摄像头,单片机上没有匹配的接口进行通信,在本系统中所使用到的方法是端口电位检测法。系统使用 3 个端口作为检测端口,给这 3 个端口配置 4 种不同的电位组合来实现对不同垃圾的区分。摄像头部分使用到的端口分别为 P0 端口、P1 端口和 P2 端口,在 OpenMv 专门的编程软件中配置为检测到可回收垃圾时端口电位信号输出 $P0=1、P1=0、P2=0$,检测到有害垃圾时端口电位信号输出为 $P0=0、P1=1、P2=0$,检测到厨余垃圾时端口电位信号输出为 $P0=0、P1=0、P2=1$,检测到其他垃圾时端口电位输出为 $P0=1、P1=1、P2=0$ 。在单片机上用来检测端口电位使用的是 PG9 端口、PG10 端口和 PG11 端口,在连接硬件的时需将这 6 个端口对应连接,同时 OpenMV 摄像头与单片机需要共地共电源。在语音播放模块中,ONE LINE 端口接收来自单片机 PB11 口的信号,所以应该将线对应连接。电路图如图 7 所示,系统实物图如图 8 所示。

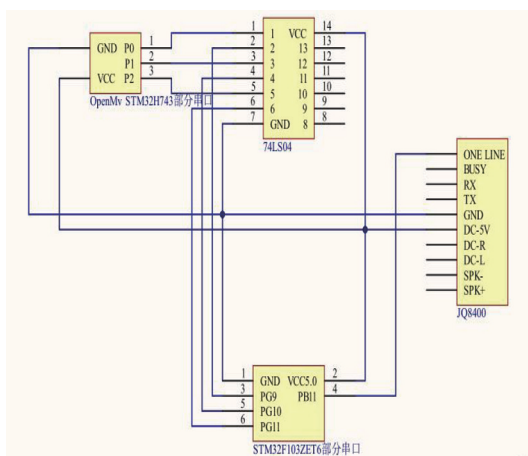


图 7 摄像头与语音播放模块连接电路

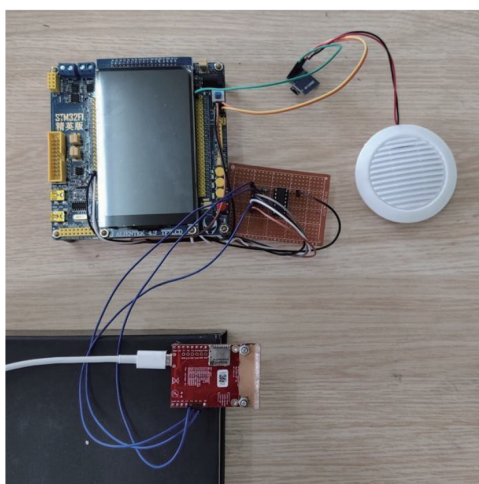


图 8 系统实物

3.3 功能实现

系统具体功能实现的硬件操作方法及结果如下:将摄像头固定在设定好的位置,将整个设备通电,程序初始化完成,摄像头开始进入识别状态,识别状态如图 9 所示。

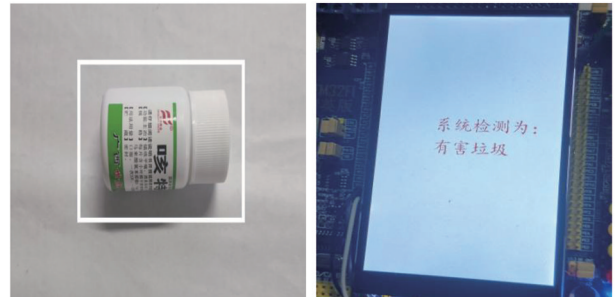


图 9 垃圾检测界面

在通过程序识别出垃圾后,会将其框选出来以作提示,识别出对应的垃圾后摄像头处理模块在 P0、P1、P2 端口表现出对应的电位组合,在单片机按下启动按键后,就会通过 PG9、PG10、PG11 端口来检测摄像头的端口电位,通过设定的程序对应组合,显示屏显示对应垃圾种类,并且唤醒语音模块,语音模块播放对应的 MP3 文件提醒用户垃圾的种类。

4 结果和分析

4.1 功能测试

在给系统上电执行程序后,采用 4 个样本来进行检测,检测结果如图 10~13 所示。

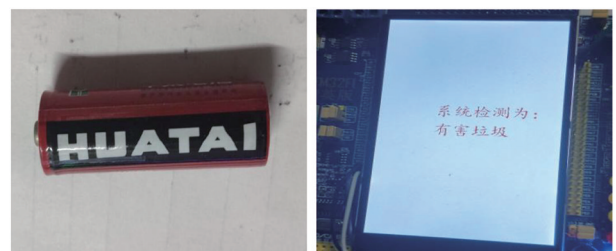


图 10 有害垃圾识别



图 11 可回收垃圾识别

4.2 识别结果准确性测试

针对 4 种样本,分别进行了 100 次检测,检测结果 (下转第 124 页)

- [9] 李飞,隋新,谢莹,等.《食品工程原理》课程网络教学平台的建设与实践[J].科技资讯,2017,15(36):156-157.
- [10] 李科,李俊,庄莉.以创建精品开放课程为契机,加强教学模式和教学方法改革分析[J].科教文汇(中旬刊),2021(11):55-57.
- [11] 范建辉.SPOC 教学模式在《材料力学》课程中的应用研究[J].知识经济,2019(25):97-99.
- [12] 潘晓彦,蒋家琼,莫兰,等.美 QM 质量标准与我国精品在线开放课程评价指标体系比较研究[J].湖南师范大学教育科学学报,2019,18(3):105-110.
- [13] 牛娜,陈立钢,廖丽霞.在线开放课程模式下分析化学的考试方法改革[J].广州化工,2018,46(16):172-173.
- [14] 王艳林,陈本旺,吴欣芮.在线开放课程教学模式下《轨道交通信号基础》课程的成绩评定方法探索[J].电脑知识与技术,2019,15(32):172-173.

(上接第 77 页)



图 12 厨余垃圾识别

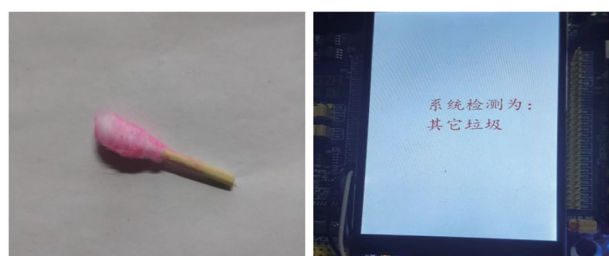


图 13 其他垃圾识别

果如表 1 所示,根据测量结果,对垃圾分类的识别成功率达到 98%。

参考文献:

- [1] 刘涛.基于人工智能、机器人和云平台的垃圾分选设备研究[J].中国管理信息化,2020,23(4):71-72.
- [2] 卢雯兰,张腾.基于深度学习和物联网的垃圾分类系统的研究[J].信息系统工程,2020(7):106-107.
- [3] OLUGBOJA A, WANG Z H. Intelligent waste classification system using deep learning convolutional neural network[J]. Procedia Manufacturing, 2019(35):607-612.
- [4] 莫卓亚,彭创权.基于深度学习的垃圾分类识别技术[J].现代工业经济和信息化,2020,10(10):60-61.
- [5] 杨会玲,叶利华,刘小晶,等.智能垃圾分类系统设计[J].电脑知识与技术,2020,16(4):261-264.
- [6] 申新杰,兰浩,曾渝.基于 AGAST 角点域特征的垃圾识别算法[J].电脑知识与技术,2020,16(20):183-186.
- [7] 高晶,陈莉,兰小艳,等.基于 FAST 特征点提取的图像拼接算法[J].西北大学学报,2016,46(3):351-357.
- [8] 陈婵,管启,朱鸣镛.基于改进 BRISK 算法的图像特征提取方法研究[J].智能计算机与应用,2020,10(2):174-179.
- [9] 尚明珠,王克朝.一种基于 SUBF 和 BRIEF 的图像配准算法[J].微电子学与计算机,2020,37(10):59-63.
- [10] 高强,潘俊.基于 ORB 的图像特征提取与匹配研究[J].福建电脑,2019,35(1):21-22.

表 1 垃圾分类准确性测试 /次

待测垃圾	检测为有害垃圾	检测为可回收垃圾	检测为其他垃圾	检测为厨余垃圾
干电池	98	1	1	0
生姜	1	0	0	99
塑料瓶	0	98	1	1
化妆棉签	1	0	98	1

5 结论

本文基于现有的垃圾分类标准和目前城市居民的垃圾分类情况,利用机器学习和特征提取的算法,实现了居民在家庭源头进行智能垃圾分类。系统操作简单,对年龄较大的人群同样适用。经过测试,系统对目前家用垃圾分类的正确率达到了 98%,系统运行稳定,性能可靠,较好地完成了垃圾分类的功能,为垃圾分类提供了新思路。与此同时,系统在外观方面还需要进一步改进,用于分类的垃圾样本数较少,在扩大样本集后,有待于后续研究。