

# 基于多模态检测的智能垃圾分类系统

曹杰, 姚淞瀚, 周天行, 王依林, 崔荣壹

(北京理工大学, 北京 100081)

**摘要:** 基于现有生活垃圾分类中存在的执行繁琐, 缺乏技术支撑, 关注度不平衡等问题, 通过对不同材质废弃物在介电常数、反射/透射系数、热导率等物理特性差异的多传感器融合检测, 结合卷积神经网络应用与摄像头接口重映射电路改造, 构建材质检测与图像检测互为补充的多模态废弃物检测分类系统, 实现对生活废弃物高精度主动式检测分类。

**关键词:** 垃圾分类;多模态;图像识别

## Intelligent garbage classification system based on multimodal detection

Cao Jie, Zhou Tianxing, Wang Yilin, Cui Rongyi

(Beijing Institute of Technology)

**Abstract:** Based on the problems of cumbersome implementation, lack of technical support, and unbalanced attention in the existing domestic waste classification, the multi-sensor fusion of different physical properties such as dielectric constant, reflection/transmission coefficient, and thermal conductivity of wastes of different materials Detection, combined with the application of convolutional neural network and the reconstruction of the camera interface remapping circuit, to build a multi-modal waste detection and classification system that complements material detection and image detection, and realizes high-precision active detection and classification of domestic waste.

**Keywords:** garbage classification; multimodal; image identification

## 1 项目设计背景和应用价值

### 1.1 设计背景

随着经济的迅速发展, 我国城镇人口数量急剧增加, 城市生活垃圾也日益增多, 而对生活垃圾进行有效分类则是将垃圾进行无害化、资源化处理回收的前提。而当下生活垃圾分类推广存在诸多问题: (1) 生活垃圾分类内容较为复杂, 缺乏时间精力学习相关内容并加以实践分类 (2) 缺乏普及性的特种分类设备, 使得对于垃圾分类的指导建设更多的依靠人力,

导致相关人员工作压力过重的同时，也提高了后端再处理的成本。（3）目前生活垃圾分类处理覆盖范围局限于社区侧及个人侧，公共空间内覆盖程度较低，相关的垃圾分类建设处于真空期。

目前，已知现有生活垃圾分类方案普遍采用了纯视觉的识别方案，而在实际的应用场景中，垃圾并不像我们训练数据集时候那样干净、清晰，从而导致了视觉方案在应用中的低准确率。因此我们重新研究设计了不完全依赖于视觉，而是靠更本质的材料性质作为分拣依据的方案。

## 1.2 应用价值

1.项目构建图像识别与材质检测互为补充的多模态检测系统，实现生活垃圾主动式智能化检测分类，准确率达 90%，成本降低近 50%。；

2. 在分拣精度相当的前提下，单体分类时间降低至普通人工的 1/10。解决了生活垃圾分类中存在的“繁，陋，畸”三大问题，即执行繁琐，缺乏有效的技术支撑以及关注度侧重点不同导致的畸形。

3.项目采用“太阳能+风能”风光互补清洁供能设备，极大降低设备运行的化石能源消耗，同时为城市提供可持续清洁能源，为碳中和目标及城市可持续发展提供保证；

4.基于系统边缘计算能力，项目可拓展应用于清洁能源、智慧交通、环境监测、公共安全等领域，协助建设废弃物数字化低碳处理路径与信息化城市服务平台

## 2 创新点与优势

1. 可以实现生活垃圾自动化、智能化检测分类，无需使用者耗费大量时间精力进行学习操作即可实现生活垃圾分类

2.材质检测系统，基于嵌入式平台进行电容极板、衍射光栅光谱仪、微波发射/接收天线等多传感器融合，实现对物质光谱/微波信号/辐射能量值/电容数据变化的采集和转换，从而实现对不同材质废弃物在介电常数、反射/透射系数、热导率等物理特性差异的检测，实现对物体材质的精确识别

3.智能识别系统，通过应用卷积神经网络实现对生活垃圾的图像识别，并基于嵌入式平台改造摄像头接口的重映射电路，构建图像识别与材质检测互为补充的多模态检测系统，解决了检测对象量化的困难

4.设计实现在时间和季节维度上互补的“太阳能-风能“风光互补能量供应装置，将风力发电机和太阳能电池板输出的间断、不稳定电能转化为稳定的电能。

5. 可以根据大量的生活垃圾数据分析人居环境设计元素与废弃物出现概率的关系,进而可以通过以上的对应关系指导人居环境设计。

6. 基于产品公共设备属性构建传感网络,对空间废弃物进行精细化监测,将数据在云端进行可视化处理,形成通用指导方案

### 3 实现方案简介

#### 3.1 设计原理

本项目有三个主要部分:智能识别系统、分类系统和供电系统。智能识别系统,融合多传感器物理特性差异检测与 AI 图像识别算法,构建材质检测与图像检测互为补充的多模态废弃物检测分类系统,实现对废弃物高精度主动式检测分类。分类系统控制传送带等机械结构,将已经识别分类完成的垃圾,运输到对应的不同垃圾桶中。供电系统,利用了风能太阳能互补发电,为整个结构提供充足的清洁能源。以下为三个系统的具体介绍。

##### 3.1.1 智能识别系统

基于嵌入式平台集成电容极板、衍射光栅光谱仪、微波发射/接收天线、光波发生器与光敏电阻,实现对物质光谱/微波信号/电容数据变化的采集和转换,从而实现对不同材质废弃物在介电常数、反射/透射系数、热导率等物理特性差异的检测,实现对物体材质的精确识别,并通过应用卷积神经网络实现对生活垃圾的图像识别,改造摄像头接口的重映射电路,构建图像识别与材质检测互为补充的多模态检测系统。

(1) 材质检测-电容识别。系统运行原理建立在不同材质的介电常数不同这一基础上。根据介电常数的不同,利用电容器进行检测,不同材质废弃物通过电容器时产生的数据变化不同,从而达到分辨目的。

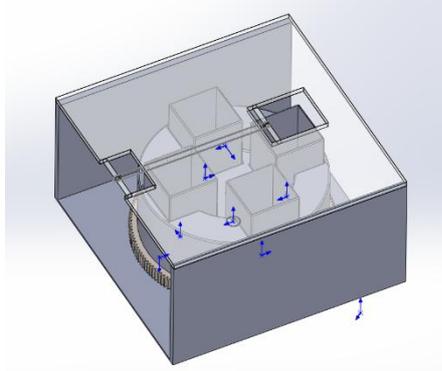
(2) 材质检测—光谱检测。由于每种原子都有自己的特征谱线,因此考虑根据光谱来鉴别物质和确定它的化学组成。通过光谱仪采集物质光谱与数据库中模型匹配,从而判断物质种类。

(3) 材质检测—微波检测。微波检测的原理为不同材质的废弃物对微波的反射和透射系数不同,这些系数由材料本身的相对介电常数、相对磁导率决定,因此入射波与反射波的强度大小也会因微波所穿过物体材质变化而变化。测量反射波或透射波,即可达到分辨垃圾材质的目的。

(4) 图像识别—深度学习。图像检测模块借助深度学习算法,利用卷积神经网络,提前将大量的不同种类生活垃圾图片输入至神经网络并进行训练,利用训练好的神经网络,达

到对不同种类的垃圾进行识别分类的目的。

### 3.1.2 分类系统



分类装置如图所示，工作原理为固定垃圾下落位置，利用转盘式构件控制接收垃圾。垃圾通过传送带输送至分类口，传送带下为一圆盘，圆盘上固定四个不同种类的垃圾桶。在检测到垃圾具体类型后，电机将带动圆盘转动，使垃圾下落点的垃圾桶为正确的垃圾桶类型。

机械结构主要由支撑架、转动盘、传送带等部位构成。待分类的垃圾将被置于传送带上，并在传送过程中采用多种检测方法对其类别进行检测。垃圾桶固定于转动盘上，转动盘位于传送带下方，由电机驱动转动盘将特定垃圾桶移动至传送口下方，使垃圾落入特定桶中。

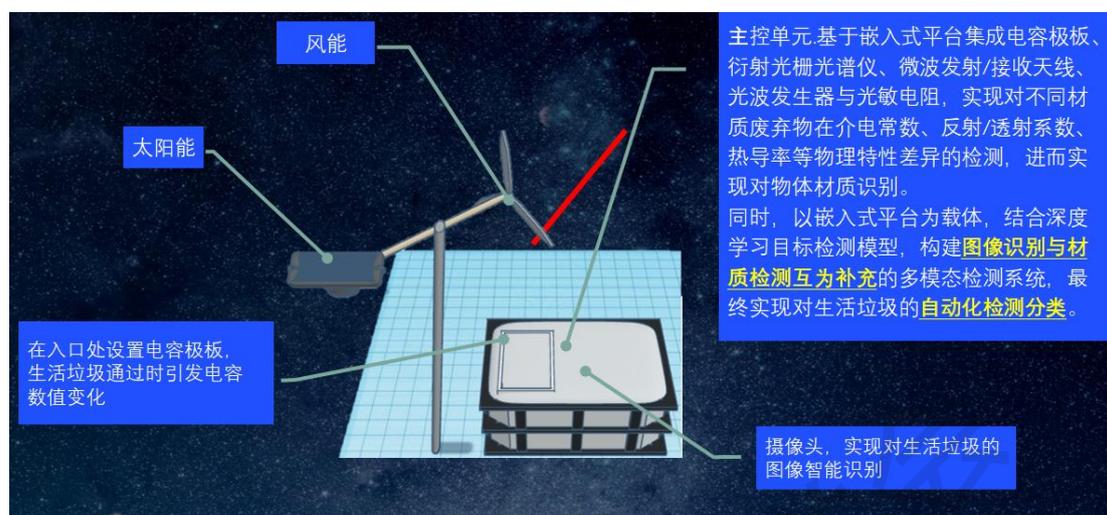
### 3.1.3 供电系统

风能、太阳能在时间和季节上都有很强的互补性:白天太阳光照好、风小，而晚上无光照、风较强;夏季太阳光照强度大而风小，冬季太阳光照强度弱而风大。这种互补性使风/光互补发电系统在资源上具有最佳的匹配性。这一特性可以使独立的太阳能和风能结合起来组成风光互补发电系统，提高供电系统的稳定性以及可靠性。

按照功能来划分，整个发电系统可以分成发电环节，能量存储环节和稳压输出环节。其中，发电环节中包含风力发电部分和太阳能发电两个部分，他们分别将风能、太阳能转化为电力能源，能量的存储环节由蓄电池来承担，它既可以充电又可以放电，有利于消除由于天气等原因引起能量供应和需求的不平衡，在整个系统中起到能量调节和平衡负载的作用。稳压输出环节就是为负载提供稳定的电压，负载也可分为直流负载和交流负载两类，其中，交流负载连入电路时，中间还需要接入逆变器。

## 3.2 设计方法

### 3.2.1 系统设计概念图



### 3.2.2 智能识别系统

#### (1) 材质检测-电容识别

基于系统运行原理, 设计识别系统电路如下: 在电源与地之间加上电压, 当 bai5 脚悬空时, 则电压比较器 C1 的同相输入端的电压为  $2VCC/3$ , C2 的反相输入端的电压为  $VCC/3$ 。若触发输入端 TR 的电压小于  $VCC/3$ , 则比较器 C2 的输出为 0, 可使 RS 触发器置 1, 使输出端  $OUT=1$ 。如果阈值输入端 TH 的电压大于  $2VCC/3$ , 同时 TR 端的电压大于  $VCC/3$ , 则 C1 的输出为 0, C2 的输出为 1, 可将 RS 触发器置 0, 使输出为低电平。检测输出端频率为  $f$ ,  $f=1.44/((R1+R2)*C1)$ ,  $R1$ 、 $R2$  已知, 可以反求出电容  $C$ 。

#### (2) 材质检测—光谱检测

研究的总体思路: 设计一个简易近红外光谱获取装置替代价格昂贵的光谱仪, 通过摄像头获取材料的光谱信息, 收集材料样本数据并建立识别分类模型, 应用 matlab 设计光谱比对算法, 结合模型进行分析并完成分类, 最终给出分类结果。

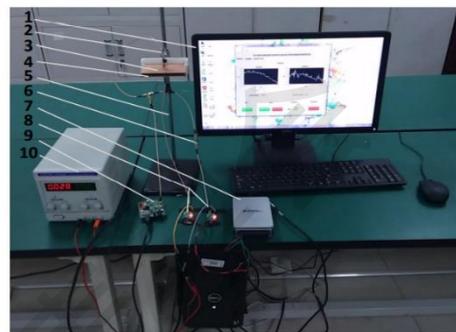
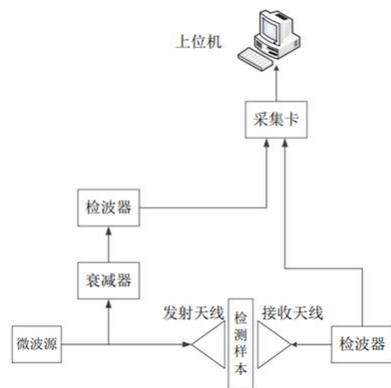
简易光谱仪的设计: 简易光谱仪的主体是一个长方体暗盒, 如图, 暗盒一端开有一道狭缝, 另一端以不同角度固定了衍射光栅和摄像头, 后端开有小孔, 用于摄像头的 USB 数据线穿过与电脑相连, 待测光通过狭缝进入暗盒, 穿过衍射光栅后, 其一级衍射光被摄像头采集传至电脑端进行分析。

在光谱仪的实际制作过程中, 考虑到 3D 打印机的规格, 将暗盒整体体积设为  $15\text{cm}\times 7\text{cm}\times 7\text{cm}$ , 狭缝宽度设为  $1\text{mm}$ , 衍射光栅的光栅常数为  $d = 1/1000\text{mm}$ , 固定光栅的斜面角度为  $45^\circ$ , 故入射角  $i = 45^\circ$ , 取波长  $\lambda = 800\text{nm}$ , 由衍射方程  $d(\sin\theta + \sin i) = k\lambda$





每种材质的垃圾准备多组检测样本，将检测样本分为训练样本和测试样本，所有样本检测完毕后，在软件中绘制出发射天线端和接收天线端检波器输出电压的误差棒图进行实验结果分析，最后应用 KNN 分类器对检测样本进行分类研究，测试分类效果。



1.上位机 2.十字夹 3.发射天线 4.接收天线 5.实验台架  
6.衰减器 7.采集卡 8.检波器 9.微波信号发生器 10.电源

#### (4) 图像识别—深度学习

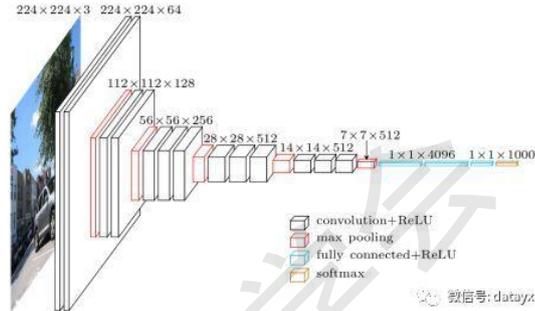
应用深度学习实现图像识别垃圾分类时，首先要选择数据集，项目组使用的数据集包含了 2507 个生活垃圾图片，物品都是物品放在白板上在日光/室内光源下拍摄的，压缩后的尺寸为 512 \* 384，垃圾识别分类数据集中包括玻璃 (glass)、硬纸板 (cardboard)、金属 (metal)、纸 (paper)、塑料 (plastic)、一般垃圾 (trash)，共 6 个类别，如下图所示：

序号	中文名	英文名	数据集大小
1	玻璃	glass	497 张图片
2	纸	paper	590 张图片
3	硬纸板	cardboard	400 张图片
4	塑料	plastic	479 张图片
5	金属	metal	407 张图片
6	一般垃圾	trash	134 张图片

接下来是选择神经网络模型：适合图像分类的网络主要有 LeNet-5、AlexNet、VGGNet、GoogLeNet、ResNet、DenseNet 对比这几种网络的优缺点，我们决定使用 vgg16 模型来用于垃圾分类。

“VGG”由牛津大学的 Oxford Visual Geometry Group 提出，它探索了卷积神经网络的深度和其性能之间的关系，通过反复的堆叠 33 的小型卷积核和 22 的最大池化层，成功的构建了 16~19 层深的卷积神经网络。并在 ImageNet2014 挑战赛中，击败了许多著名算法，并获得亚军，在 top5 上的错误率为 7.5%，VGG 模型在多个迁移学习任务中的表现要优于 googLeNet。而且，从图像中提取 CNN 特征，VGG 模型是首选算法。

ConvNet Configuration					
A	A-LRN	B	C	D	E
11 weight layers	11 weight layers	13 weight layers	16 weight layers	16 weight layers	19 weight layers
input (224 × 224 RGB image)					
conv3-64	conv3-64 LRN	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64	conv3-64 conv3-64
maxpool					
conv3-128	conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128	conv3-128 conv3-128
maxpool					
conv3-256	conv3-256	conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv3-256	conv3-256 conv3-256
maxpool					
conv3-512	conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512
maxpool					
conv3-512	conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512	conv3-512 conv3-512
maxpool					
FC-4096					
FC-4096					
FC-1000					
soft-max					



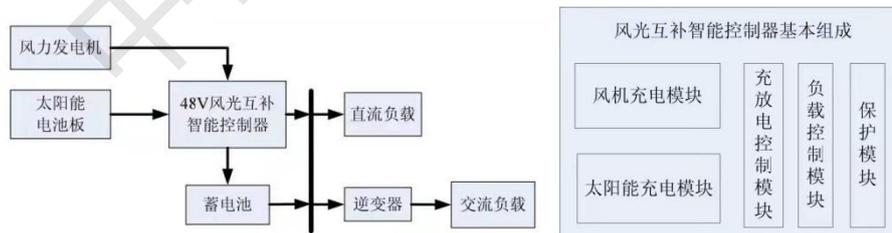
VGG16 的整体架构图

### 3.2.3 供电系统

#### (1) 风光互补智能控制器

主要需进行工作为风力发电机即风光互补智能控制器部分。将风力发电机和太阳能电池板输出的间断、不稳定电能转化为稳定的电能送往直流负载或交流负载，同时把多余的能量按蓄电池的特性曲线对蓄电池组进行充电，当所发的电不能满足负载需要时，控制器又把蓄电池的电能送往负载。

下图为装置功能模块化实现。

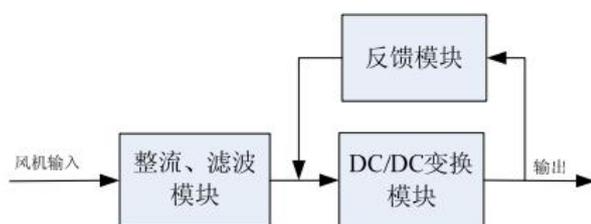


#### ① 风机充电模块



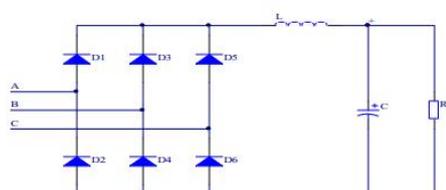
把风力发电机输出的不稳定的三相交流电通过三项整流电路和 DC/DC 电路转换为稳定

的直流电，实现对蓄电池的充电。通过采样电路采集系统输出电压、电流大小并通过反馈电路的作用实现对输出电压、电流大小的控制。

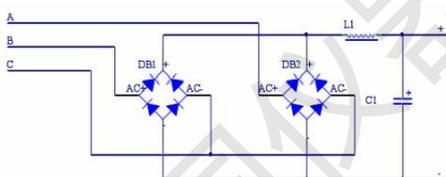


### 整流滤波模块

通过三相全控整流电路后，其输出均为上正下负，实现整流的目的。

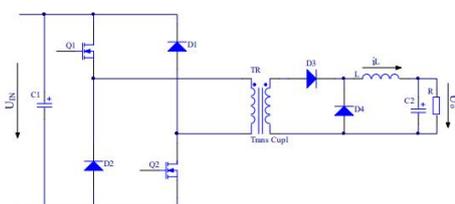


整流电路的输出电压虽然实现了将交流电变为直流电，但是输出的直流电脉动较大，含有多大的谐波成分，不能适应大多数电子线路以及设备的需要。因此在整流电路后面均需要利用滤波电路将脉动的直流电变为平滑的直流电。本控制器采用电容滤波电路。原理如下：



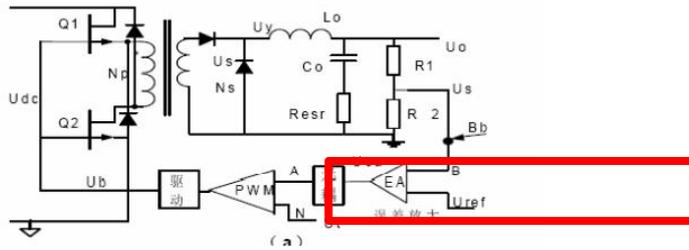
### 直流变换模块

直流变换电路为 48V 风光互补智能控制器的主要组成部分，是系统功率转换的核心。本系统采用双管正级电路实现功率的转换。



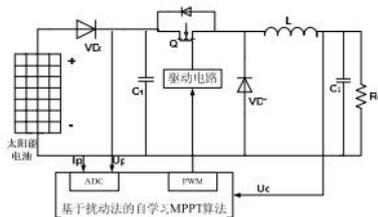
### 反馈模块

变换器输出电压  $U_o$  经过采样电路与某一基准电压进行比较，根据比较结果改变 PWM 信号的占空比，最后实现对输出电压的调节功能。



## ②太阳能充电模块

太阳能电池板是一种将太阳能转化为电能的发电装置，其能量转换基础是导体 p-n 结的光伏效应。将太阳能电池板输出的不稳定的直流电变化为稳定的直流电，实现对蓄电池的充电。



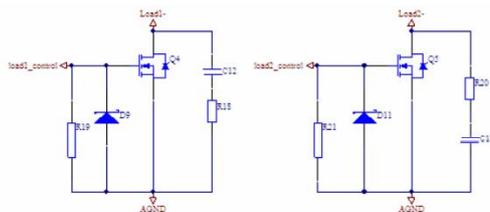
## ③充放电控制模块

根据日照强弱、风力大小和负荷变化，调整工作状态。将电源模块调整后的电路一部分输向直流负荷，剩余的部分送往蓄电池组储存起来。当发电量不能满足负荷时，控制器又把蓄电池的电送往负载。

## ④负载控制模块

完成对负载工作状态的智能控制。

Load\_control 为负载开关控制信号，当其为高电平时，MOSFET 管 Q4、Q5 导通，负载负极 Load-与蓄电池负极 AGND 相通，负载开始工作；当 Load\_control 为低电平时，MOSFET 管 Q4、Q5 关断，负载负极 Load 与蓄电池负极 AGND 断开，负载关闭。图中稳压二极管 D9、D11 作用是保护 MOSFET 管 Q4、Q5，防止负载控制信号由于异常情况突然升高，烧毁开关管。



## ⑤保护模块

主要包括蓄电池过充、过放保护，如风力发电机、太阳能电池板的卸荷控制，以及防雷、

太阳能防反充、过电压自动刹车、蓄电池反接和开路保护等。

完成对各个模块的连接，使之共同实现利用风光互补发电系统功能。

### (2) 风力发电机部分

风力发电机是一种将风能转化为电能的装置，主要由风力机、传动机构和发电机等组成。其能量转化过程如框图 2.2 所示（张永源 等，2007），首先通过风力机将风能转化为机械能，然后通过传动机构传递机械能，最后通过发电机把机械能转化为电能。



### (3) 太阳能电池板部分

太阳能电池板是一种将太阳能转化为电能的发电装置，其能量转换基础是 导体 p-n 结的光伏效应。由于当前相关技术以及比较成熟，可通过购买获得。

### (4) 蓄电池部分

在风光互补独立电源系统中，蓄电池是必不可少的储能设备。在整个独立电源系统中，蓄电池起到两个重要作用：

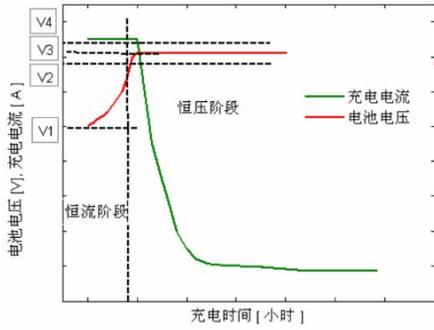
1、储能作用。由于风能和太阳能是一种不稳定的能源，在其充足的条件下，将多余的能源储存起来，当风能，太阳能不足时，再提供给负载；

2、稳压作用。风力发电机和太阳能电池板输出电压经过风光互补智能控制器作用，其输出较稳定，但是电压变化仍然较大，通过蓄电池的调节，使得输出到负载的电压更加稳定。

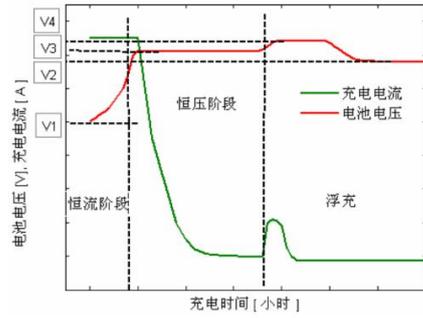
其充电方式分为两类：

1、二阶段充电法。首先采用恒定电流充电，当电压达到预定值(浮充电压)时，再采用恒定电压进行充电直到充电完成

2、三阶段充电法。第一阶段为大电流恒流充电，第三阶段为小电流恒流充电，而第二阶段为恒压充电



二阶段充电法



三阶段充电法

据此设计充电过程及代码，以下为代码框图设计：

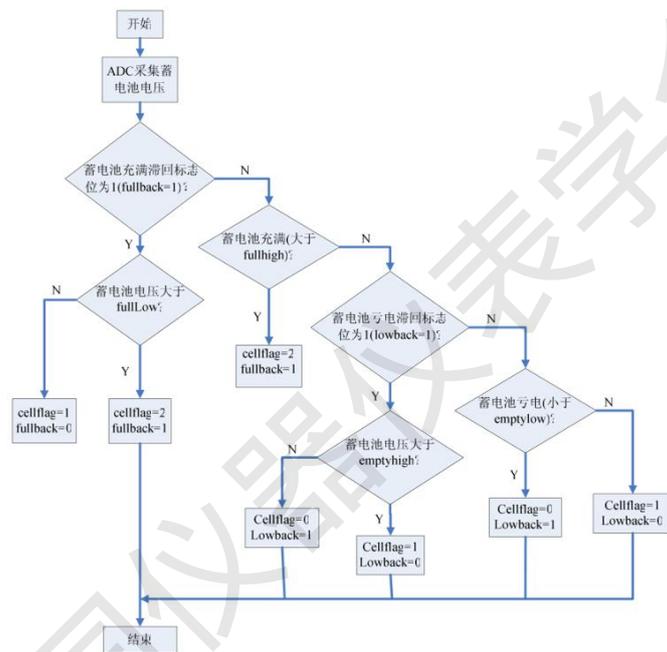


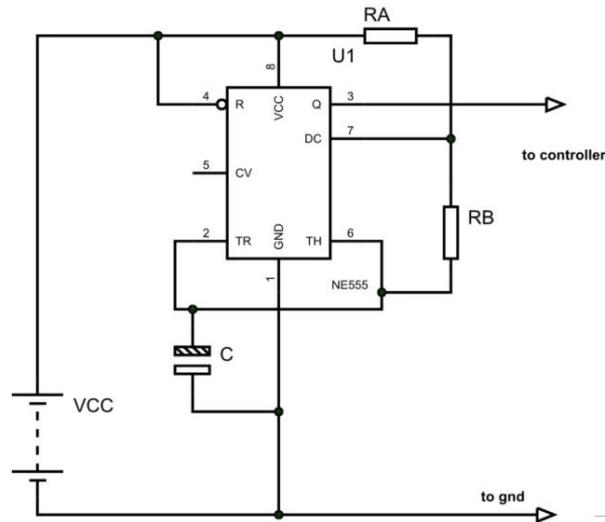
图 5.5 蓄电池电压检测模块程序流程图

### 3.3 实验验证过程

#### 3.3.1 智能识别系统

##### (1) 材质检测-电容识别

设计方案：搭建一个简易介电常数监测仪，使用 25cmx25cm 铜质金属板作为极板，通过对极板进行充放电，使用 NE555 芯片对于电容充放电周期进行监测，进而获得两极板间物质介电常数，通过介电常数检测，可以识别金属垃圾与湿垃圾。



### 一、原理与总体方案

在电源与地之间加上电压，当 5 脚悬空时，则电压比较器 C1 的同相输入端的电压为  $2VCC/3$ ，C2 的反相输入端的电压为  $VCC/3$ 。若触发输入端 TR 的电压小于  $VCC/3$ ，则比较器 C2 的输出为 0，可使 RS 触发器置 1，使输出端 OUT=1。如果阈值输入端 TH 的电压大于  $2VCC/3$ ，同时 TR 端的电压大于  $VCC/3$ ，则 C1 的输出为 0，C2 的输出为 1，可将 RS 触发器置 0，使输出为低电平。检测输出端频率为  $f$ ， $f=1.44/((R1+R2)*C1)$ ，R1、R2 已知，可以反求出电容 C。

### 二、通过输出端频率辅助判断垃圾种类

由于空气、垃圾形状等因素影响，介电常数检测不能作为垃圾分类的主要判据，但是由于其对于液体、金属等物质较为敏感，可以作为湿垃圾和金属的主要判别方法。在使用前，需要首先对于极板电容进行校准，当物体通过时极板间电容容值显著减小时，可以认为其间有湿垃圾或金属通过。

#### (2) 材质检测—光谱检测。

设计方案，搭建一个简易衍射光栅光谱仪，以一个 25cmX5cmX5cm 长方体暗盒为主体，暗盒一端留有狭缝，用于进光；在其内部以 45° 倾角放置一片衍射光栅，与之平行使用 usb 摄像头接收经过衍射光栅的光线，并将信号传输至电脑，经过软件 rspec 分析得到光谱。将光源与简易光谱仪放置在物体同一侧，使光源发出光线经过物体反射后进入简易光谱仪，得到物体谱线。

#### 一、简易光谱仪搭建过程

材料：衍射光栅（PET 材质 光栅常数  $d=1/600\text{mm}$ ）usb 摄像头（去除红外滤光片，30 万像素） 光源：led 台灯，氙气闪光灯（即手机手电筒光源）

原理计算过程：设计狭缝宽为 0.2mm，取波长 600nm，入射角  $i=45^\circ$  则

$$\text{由 } d(\sin \theta + \sin i) = k\lambda \text{ 计算得到 } \theta=0.74^\circ$$

则取摄像头镜面与衍射光栅倾斜面平行

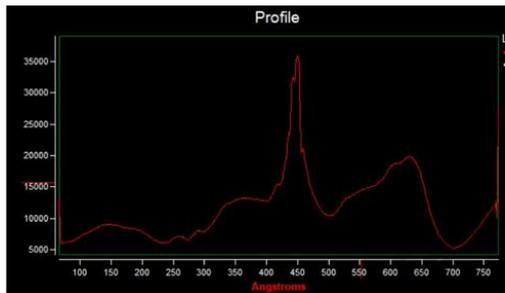
## 二、光谱测量过程

使用 532nm 绿色激光笔对 rspec 处理后光谱图像进行光谱校准

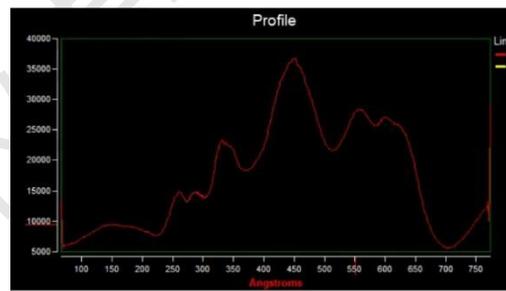
寻找物质进行实验，测定物质光谱，同时改进仪器

### 1、未拆除红外滤光片时

测量光谱上限在 750nm-780nm 之间。使用 led 台灯作为光源直接照射狭缝，得到台灯光谱图如下，与标准 led 台灯光谱进行对比后，发现峰值位置基本相同，但仍有一些细节部分存在误差，一部分原因可能是所使用台灯是由多个小灯泡组成，存在干涉现象，于是更换光源为手机自带氙气闪光灯。使用透射的办法对矿泉水进行了光谱测量，即光线通过矿泉水后再进入狭缝，得到了变化较为明显的光谱。



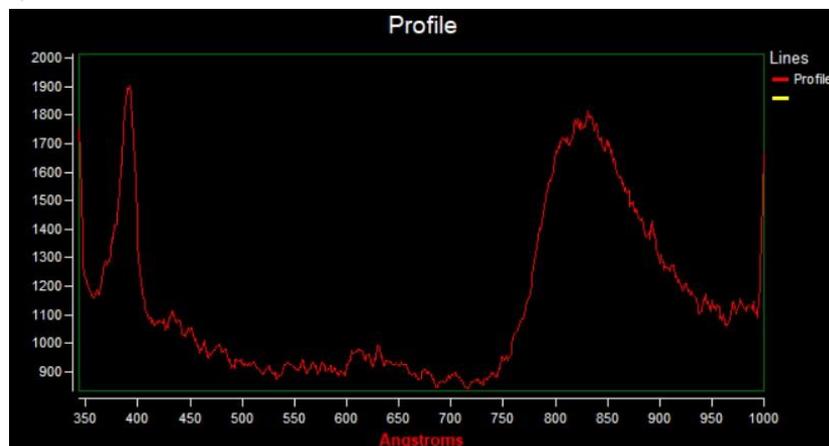
台灯光谱



矿泉水光谱

### 2、拆除红外滤光片后

测量光谱上限 1000nm 左右。但反射的情况下难以捕捉到经过反射的光线，推测和待测物的形状，表面特性，材料性质等有关。使用表面光滑平整的物质进行检测，得到了辣条包装袋（塑料）的光谱。



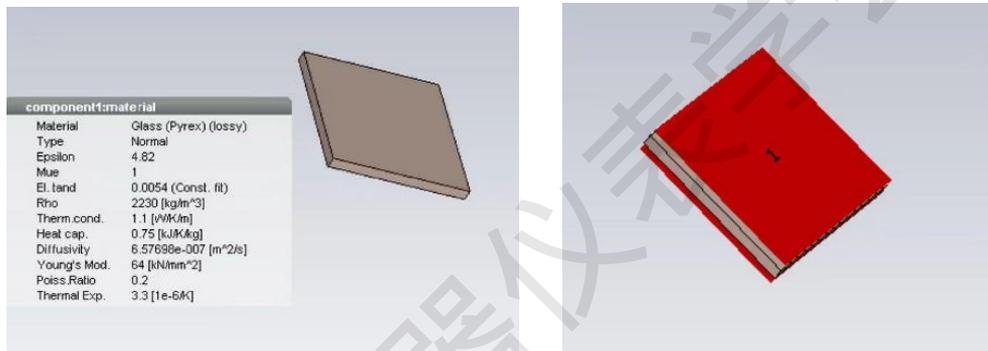
辣条包装袋光谱

仍有部分物质光谱检测不到，例如纸质品。

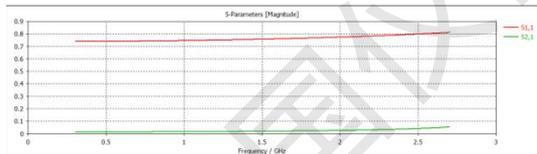
### (3) 材质检测—微波检测

#### ①利用 CST 微波工作室进行电磁仿真

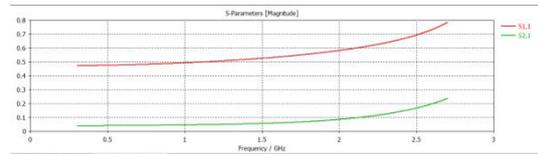
为了合理选择实验的检测频率，采用 CST 微波工作室对不同材质的生活垃圾进行电磁仿真，得到反映不同材质的垃圾的传输特性的 S 参数。由于每种成分的垃圾中不同材质的影响微波传输特性的物理特性，如介电常数和磁导率等相接近甚至相等，因此将垃圾分为几大类进行仿真模拟。本次仿真的样本有以下几种：铁（金属）、纸质、铅玻璃（玻璃）、木材、塑料（橡塑）。建立样本模型为 40mm\*40mm\*3mm 的长方体，并定义设置模型的材料及物理属性。为了仿真垂直入射到样本上的空间平面电磁波的投射和反射效应，定义波导端口为两个平行于样本大小为 40mm\*40mm 的矩形面。



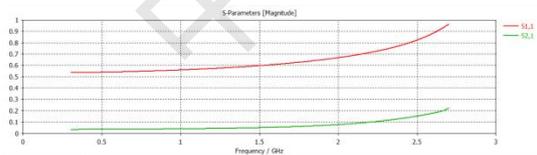
仿真结果如下：



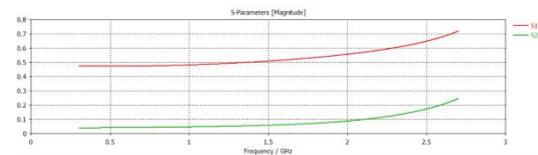
铁的 S 参数



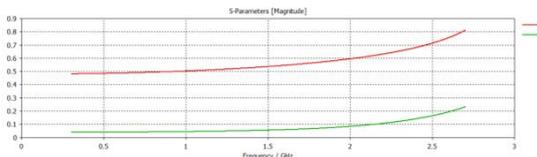
纸质的 S 参数



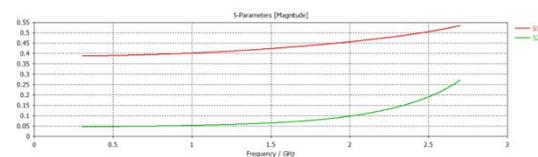
铅玻璃的 S 参数



木材的 S 参数



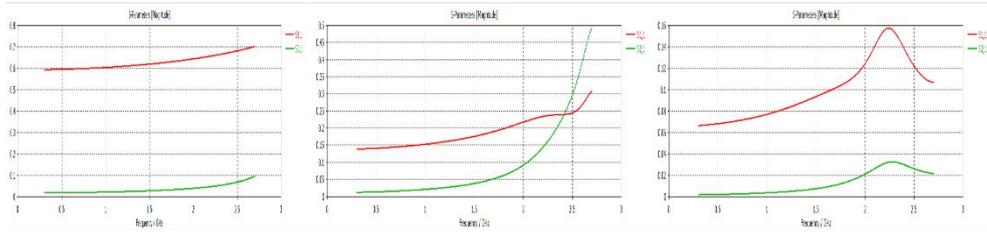
塑料的 S 参数



空气的 S 参数

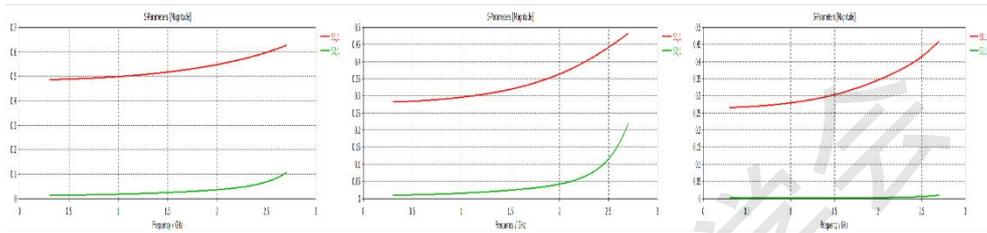
其中对铁长方体进行进一步实验探究改变极板间距、模型厚度、极板大小等数据，观察其对 S 参数的影响。

### ①改变极板间距



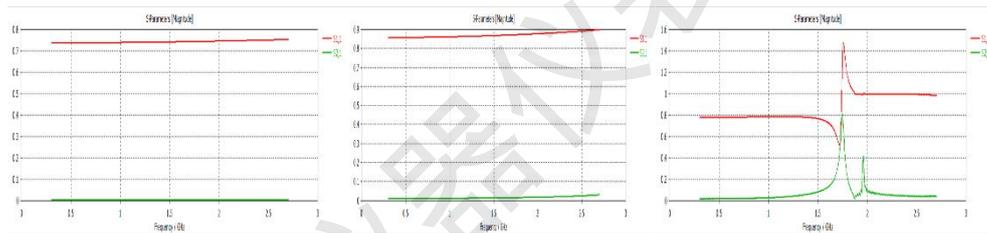
极板间距 10mm/50mm/100mm

### ②改变模型厚度



模型厚度 10mm/20mm/40mm

### ③改变极板大小



极板大小 20mm\*20mm/40mm\*40mm/80mm\*80mm

得出结论：极板应尽量靠近待测物体，且尽量使垃圾的尺寸大于极板，则测得的结果更为准确有规律性。

### (2) 基于 matlab 对数据进行处理和分类

外部设备采集数据获取待分类垃圾的 S 参数，将采集的数据传入主控模块单元完成分类控制任务。

其中分类 matlab 程序模块工作思路为：数据库建立→实测数据加入数据库→依据材料种类建立类→KNN 分类算法分类待测样本→完成分类工作。

首先通过仿真获取的材料 S 参数建立不同材料分类的基础数据库，然后将传入的样本数据依据 KNN 分类算法完成分类。

其中 KNN 分类算法的分类步骤为：

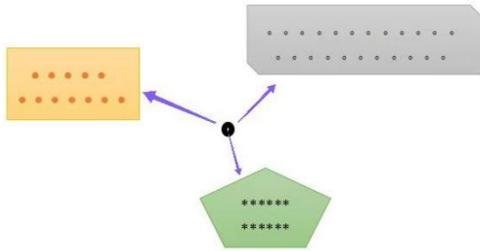
①算距离：给定测试对象，计算它与训练集中的每个对象的距离

②找邻居：圈定距离最近的 k 个训练对象，作为测试对象的近邻

③做分类：根据这  $k$  个近邻归属的主要类别，来对测试对象分类

KNN 分类原理：

若一个样本在特征空间中的  $k$  ( $K$  通常是不大于 20 的整数) 个最相似(即特征空间中最邻近)的样本中的大多数属于某一个类别，则该样本也属于这个类别。KNN 算法中，所选择的邻居均为已正确分类的对象。本方法在定类决策上只依据最邻近的一个或者几个样本的类别来决定待分样本所属的类别。原理可按照如下图距离远近关系图所示理解解释。



依据仿真材料参数数据完成模型搭建之后，将使用过程中采集到的数据加入数据库中丰富数据库，使分类结果更加准确。

(4) 图像识别—深度学习。

实验中需要对数据进行预处理，先定义一个预处理函数，然后利用 `keras` 库中的 `Image DataGenerator()` 对数据集进行处理。`Image Data Generator()` 是 `keras.preprocessing.image` 模块中的图片生成器，同时也可以 `batch` 中对数据进行增强，扩充数据集大小，增强模型的泛化能力。比如进行旋转，变形，归一化等等。在对数据集处理时各个参数设置为

`width_shift_range=0.1`，数据提升时图片水平偏移的幅度；

`height_shift_range=0.1`，数据提升时图片垂直偏移的幅度；

`shear_range=0.1`，剪切强度（逆时针方向的剪切变换角度）；

`zoom_range=0.1`，随机缩放的幅度；

`horizontal_flip=True`，布尔值，进行随机水平翻转；

`vertical_flip=True`，布尔值，进行随机垂直翻转；

`rescale=1./255`，将图片每个像素点乘  $1/255$ ，每个像素值均乘上这个缩放因子，可以把像素值放缩到 0 和 1 之间有利于模型的收敛；

`validation_split=0.1`，用作验证集的训练数据的比例，这里选择是 0.1；

同样利用 `keras` 库中的 `ImageDataGenerator()` 图片生成器来生成测试集；

`validation_data=ImageDataGenerator(rescale=1./255,validation_split=0.1)`；

然后利用 `ImageDataGenerator` 生成器的 `flow` 从数据集的子目录中自

动读取图像,其过程是接收 `numpy` 数组和标签为参数,生成经过数据提升或标准化后的 `batch` 数据,并在一个无限循环中不断的返回 `batch` 数据。

```
train_generator=train_data.flow_from_directory;  
(data_path 数据集路径; )  
target_size=(150, 150), 整数元组 (height, width), 默认: (256, 256)。 所  
有的图像将被调整到的尺寸;  
batch_size=16, 设定一批数据大小为 16;  
class_mode='categorical', "categorical", 返回 one-hot 编码标签, 每一个子  
文件夹都会被认为是一个新的类;
```

`seed=0`: 可选参数, 设为 0, 是打乱数据和进行变换时的随机数种子)

同理利用 `flow` 对处理后的测试集进行分类处理, 参数设置如下:

```
validation_generator=validation_data.flow_from_directory  
(data_path, target_size=(150, 150),  
batch_size=16,  
class_mode='categorical',  
subset='validation',  
seed=0)
```

在训练模型之前, 我们需要配置学习过程, 这是通过 `compile` 方法完成的, 它接收三个参数:

(1) 优化器 `optimizer`: 它可以是现有优化器的字符串标识符, 如 `rmsprop` 或 `adagrad`, 也可以是 `Optimizer` 类的实例。

(2) 损失函数 `loss`: 模型试图最小化的目标函数。它可以是现有损失函数的字符串标识符, 如 `categorical_crossentropy` 或 `mse`, 也可以是一个目标函数。

(3) 评估标准 `metrics`: 对于任何分类问题, 将其设置为 `metrics=['accuracy']`。评估标准可以是现有的标准的字符串标识符, 也可以是自定义的评估标准函数。

```
from keras.optimizers import SGD  
model.compile(optimizer=SGD(lr=1e-3, momentum=0.9),  
loss='categorical_crossentropy',  
metrics=['accuracy'])
```

优化器选择 `SGD` (此处的 `SGD` 指 `mini-batch gradient descent`, 关于 `batch gradient`

descent, stochastic gradient descent, 以及 mini-batch gradient descent 的具体区别就不细说了。现在的 SGD 一般都指 mini-batch gradient descent。)因为每次更新时对每个样本进行梯度更新, 一次只进行一次更新, 就没有冗余, 而且比较快, 并且可以新增样本。SGD 就是每一次迭代计算 mini-batch 的梯度, 然后对参数进行更新, 是最常见的优化方法了。然后将 SGD 中的参数学习率设置为 0.01, momentum 设置为 0.9。用于加速 SGD 在相关方向上前进, 并抑制震荡。

损失函数,多分类采用 categorical\_crossentropy 评价函数训练和测试期间的模型评估标准, 除了损失函数值之外的特定指标, 垃圾分类也是属于分类问题, 所以用准确率代表。

keras 中的 fit\_generator 是 keras 用来为训练模型生成批次数据的工具。使用 keras 中的 fit\_generator 进行分批次读取 逐个生成数据的 batch 并进行训练。然后设置 fit\_generator 中各个参数, 设置每轮步数, 一个 epoch 包含的步数,通常应该等于你的训练集的样本数量 2259 除以批量大小 16, 在验证集上,一个 epoch 包含的步数,通常应该等于你的数据集的样本数量 248 除以批量大小 16,最后通过生成器将之前处理好的训练集图片和测试集图片带入模型中进行训练。

```
model.fit_generator
(generator=train_generator,
epochs=epochs,
steps_per_epoch=2259 // 16,
validation_data=validation_generator,
validation_steps=248 // 16,)
设置保存模型路径, 然后返回函数 model
model.save(save_model_path)

return model
```

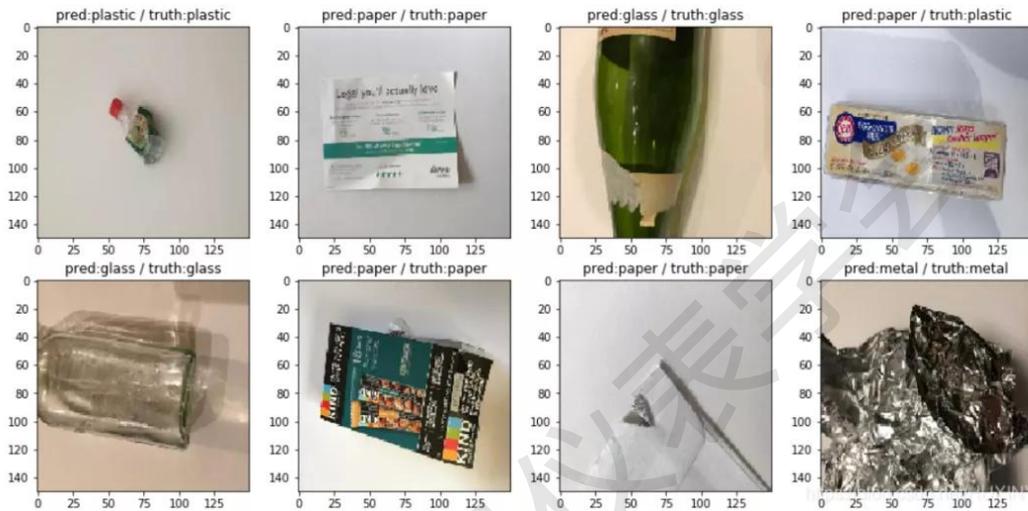
设置迭代次数, 我们设置的迭代次数 epochs = 100, 开始训练模型:

```

C:\ProgramData\Anaconda3\envs\main.py\python.exe C:/Users/z1777/Desktop/垃圾分类/ljfl/main.py
Found 2276 images belonging to 6 classes.
Found 251 images belonging to 6 classes.
2021-04-07 00:08:49.868888: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:142] This TensorFlow
To enable them in other operations, rebuild TensorFlow with the appropriate compiler flags.
WARNING:tensorflow:From C:/Users/z1777/Desktop/垃圾分类/ljfl/main.py:104: Model.fit_generator
Instructions for updating:
Please use Model.fit, which supports generators.
Epoch 1/100
141/141 [=====] - 465s 3s/step - loss: 1.7648 - accuracy: 0.2210 -

```

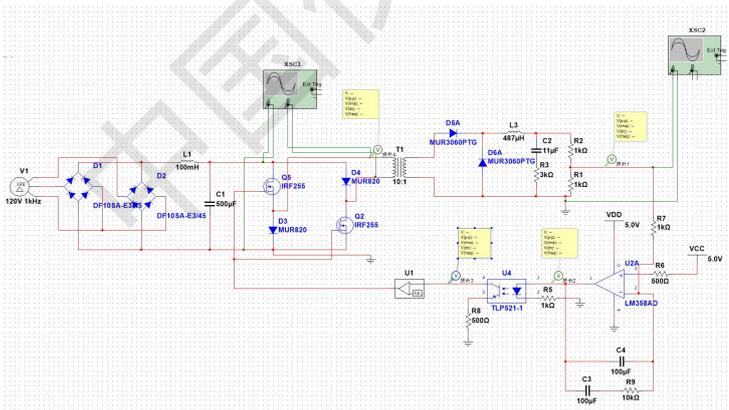
训练模型结果如下图:



### 3.3.2 供电系统

#### (1) 风机充电模块

经过 Multisim 仿真软件还原及调整，除反馈部分的仿真电路图如下:



依据仿真可将风机充电模块实物电路搭建出来。

针对反馈电路部分，我们采用市面上较为常见的 stm32 系列单片机作为 pwm 反馈信号的输出工具，以下是反馈电路的部分实现代码：

```

system_clock_config();

/* USER CODE BEGIN SysInit */
/* USER CODE END SysInit */

/* Initialize all configured peripherals */
MX_GPIO_Init();
MX_ADC1_Init();
MX_TIM1_Init();

/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1); //AD校准
HAL_ADC_Start_IT(&hadc1); //开启ADC中断转换
HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_1); //开启PWM通道
/* USER CODE END 2 */

/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1)
{
    uint16_t compare;
    compare=1500; //占空比为50
    ADC_Vol =(float) ADC_ConvertedValue/4096*3.3; // 读取转换的AD值
    HAL_Delay(20);

    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_1, compare+ADC_Vol*300);
    HAL_Delay(1000);

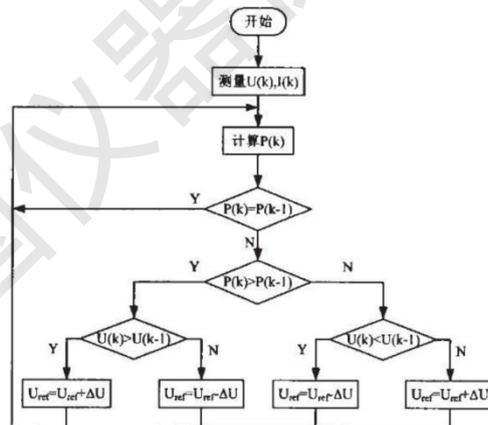
    HAL_TIM_PWM_Stop(&htim1, TIM_CHANNEL_1);
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
}

```

## (2) 太阳能充电模块

由于太阳能电池供电较稳定，因此实现功率的最大化是太阳能充电模块最大的问题，我们同样使用 stm32 单片机实现太阳能电池最大功率跟踪，以下是 MPPT 算法的基本框图：



52 扰动观察法控制流程示意图

下面是实现 MPPT 的部分代码：

```
void MPPT_PNO_F_FUNC(MPPT_PNO_F *v)
{
    if (v->mppt_enable==1)
    {
        if (v->mppt_first == 1)
        {
            v->VmppOut= v->Vpv - (0.02);
            v->mppt_first=0;
            v->PanelPower_Prev=v->PanelPower;
        }
        else
        {
            v->PanelPower=(v->Vpv*v->Ipv);
            v->DeltaP=v->PanelPower-v->PanelPower_Prev;
        }
    }
}
```

```
    if (v->DeltaP > v->DeltaPmin)
    {
        v->VmppOut=v->Vpv+v->Stepsize;
    }
    else
    {
        if (v->DeltaP < -v->DeltaPmin)
        {
            v->Stepsize=-v->Stepsize;
            v->VmppOut=v->Vpv+v->Stepsize;
        }
    }
    v->PanelPower_Prev = v->PanelPower;
}
if(v->VmppOut < v->MinVolt) v->VmppOut = v->MinVolt;
if(v->VmppOut > v->MaxVolt) v->VmppOut = v->MaxVolt;
}
```