

随着我国经济的持续发展，现代城市生活中日常产生的垃圾量持续增加。为了保护环境，需要对这些垃圾进行分类处理，特别是其中的可回收垃圾可以变废为宝。

但是现在的家用扫地机器人都没有垃圾分类功能，造成可回收垃圾和不可回收垃圾混在一起，增加了垃圾回收利用的难度。针对这一问题，来自北京市八一学校的陈世霖、周文韬、崔艺冰同学设计了自动垃圾分类的智能扫地机器人，利用摄像头进行自动分类，将垃圾分为可回收和不可回收两类，建造的实验模型分类达到了88%的正确率，表明想法可行。

- 创新点
- 

### 创新性

当前的扫地机器人没有垃圾分类功能，会造成垃圾处理的负担较重，不符合当前推行垃圾分类政策的趋势。我们在社会需求调研的基础上，用视频识别技术制作智能垃圾分类扫地机器人，解决了扫地机器人不够智能的问题，提高了垃圾可回收利用率。我们在设计中采用自动和手动相结合的方式，提高垃圾分类的准确度。

- a. 分类功能由摄像头+GPU完成。如果机器人知道这是可回收垃圾，传送带就往左送入红盒子中；如果是不可回收垃圾，传送带就往右送入白盒子中。
- b. 我们还开发了App与机器人配合。当发现分类结果未超过阈值时，也就是说碰到不能识别种类的垃圾时，机器人会停下来等远程操作，由人来分类。这样只有当分类超过阈值时才进行自动分类，避免分类错误。
- c. 为了能处理更多种类的垃圾，我们使用了利用深度学习特征的最近邻分类算法。这个算法的优点是使用已有的深度学习模型，只调优最近邻分类的系数，因此不需要GPU训练就能处理不同种类的垃圾。

### 科学性

该智能机器人设计简洁科学，车身整体通过程序控制实现自动清扫功能，车身旁两个垃圾盒用3D打印定制成型，底盘上配备清扫装置和识别装置。清扫装置扫上来垃圾后，扫到一个履带上，上方通过摄像头采集视频信息，通过GPU运行对垃圾识别分类，并传送到相应的垃圾盒中。

### 实用性

机器人模型实现了实景操作所需要的基本功能，符合政策和垃圾分类技术发展方向。机器人机身体积小、灵巧便捷，操作简单，在此基础上的升级开发完善，将适用于家庭、商用、公共等不同场景。

### 一 研究背景

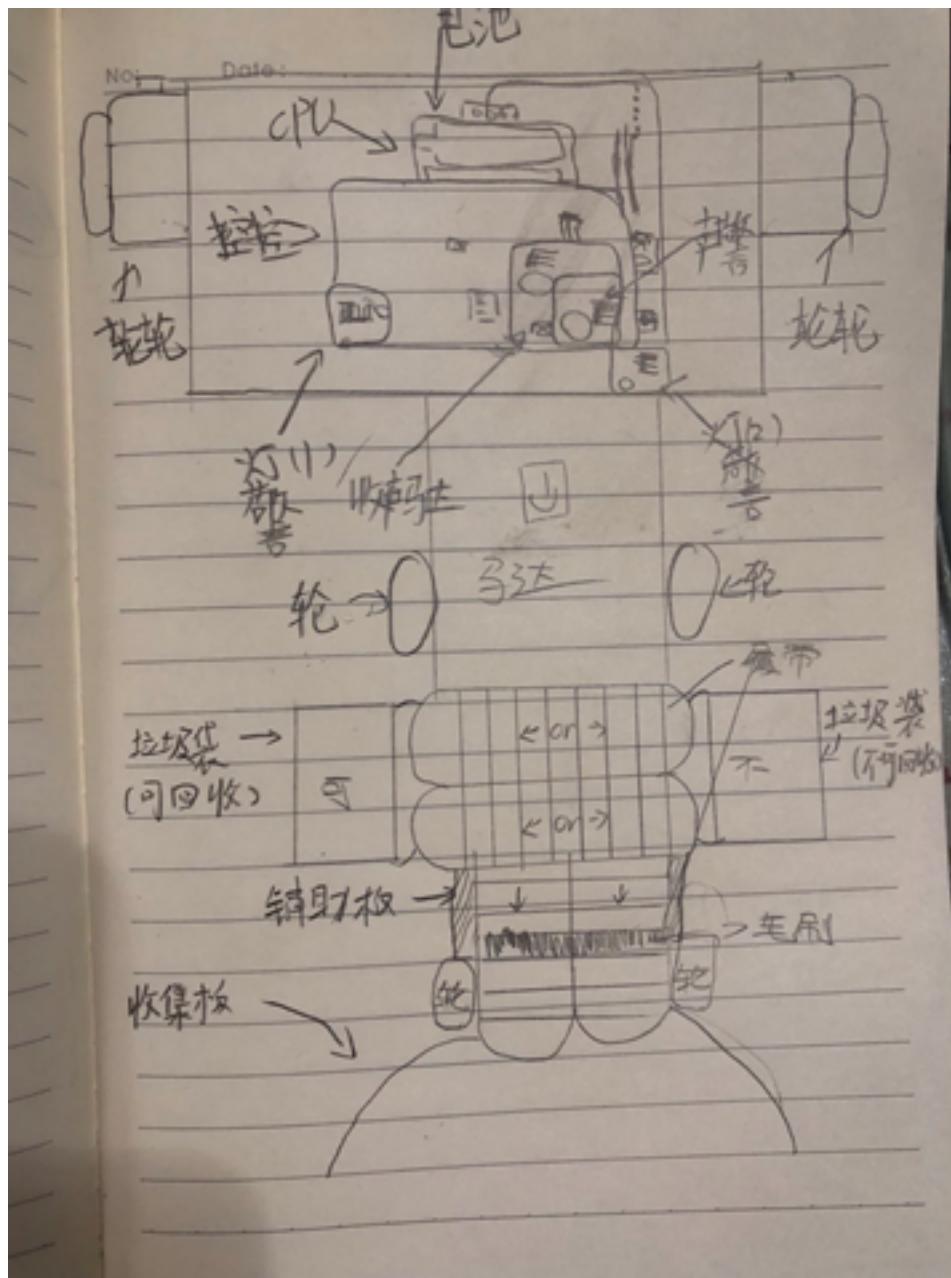
近年来智能家居成为一种趋势，其中扫地机器人受到市场追捧。市场上大家常用的扫地机器人大多有清扫、避障、自动充电等功能，但智能化程度有限。随着国内北京、上海、广州等城市的垃圾分类制度广泛推行，垃圾分拣、收集、核查都投入了巨大的人力物力去实施推广。而扫地机器人如果具备垃圾分类功能，不但可以减少新制度推广的投入，还可以提高可回收垃圾的再利用率。

从现有情况来看，居民自主垃圾分类意识不足。我国大多数社区的绝大多数居民并不会主动按照分类回收的垃圾箱类别进行垃圾投放，更不会事先在家里将垃圾进行分类打包。作为对比，我们发现瑞典的垃圾分类制度非常严格，就是学龄前的儿童喝完牛奶后都是洗干净后再分类，所以垃圾回收再利用的比例高达99%。

目前，围绕扫地机器人智能进行垃圾检测和分类开展的工作公开报道较少。

## 二 研究思路

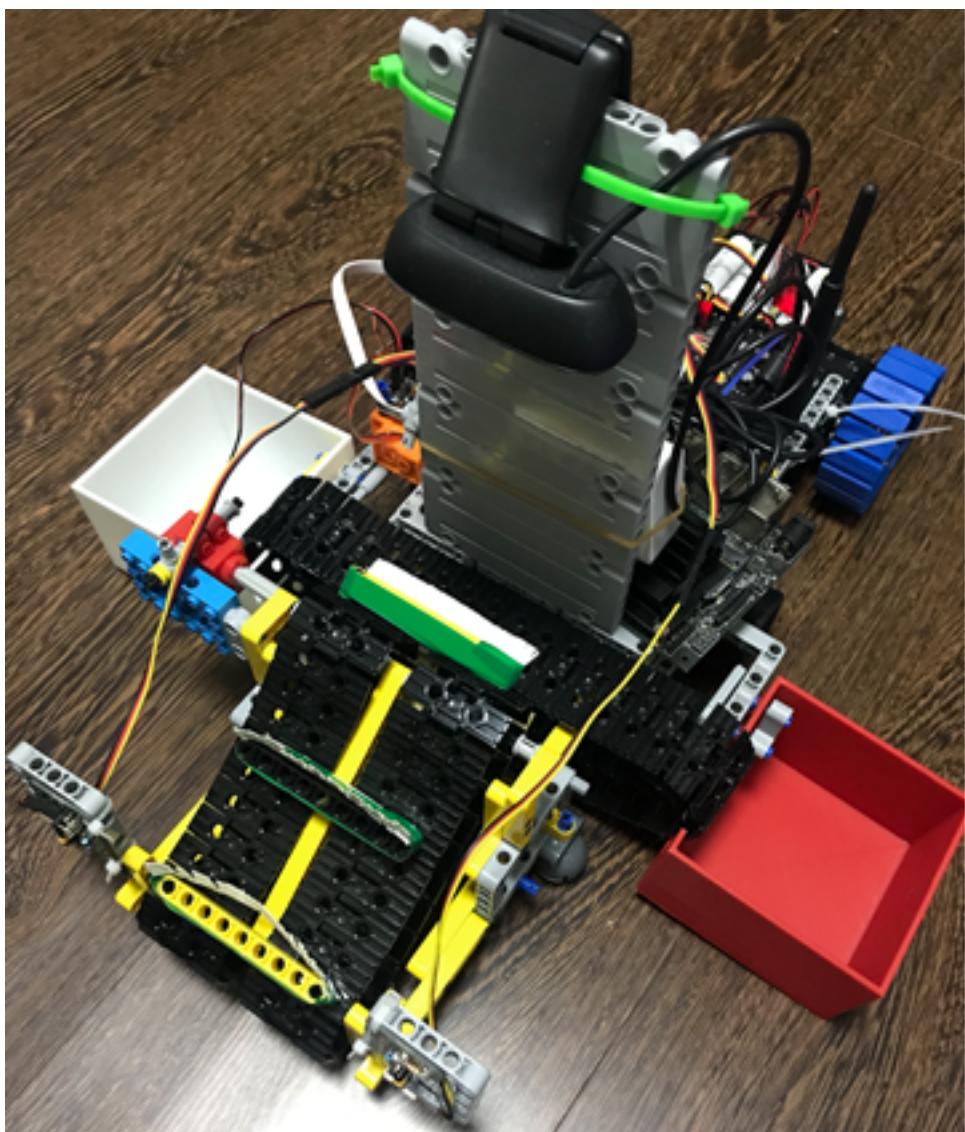
首先，我们通过调查问卷的方式了解了市场上售卖的扫地机器人的使用情况和问题。然后围绕核心问题决定我们讨论研究的主体方向，并就此方向查阅了大量的资料。经过多次的小组讨论研究，我们用草图画出了整体设计方案，并进行细化分工，用我们课外学习掌握的机器人知识进行模型设计和搭建，并借鉴了一些前沿的识别技术提高我们的机器人分类效果。最后进行机器人整体联调和功能完善。总体设计图如下图所示。

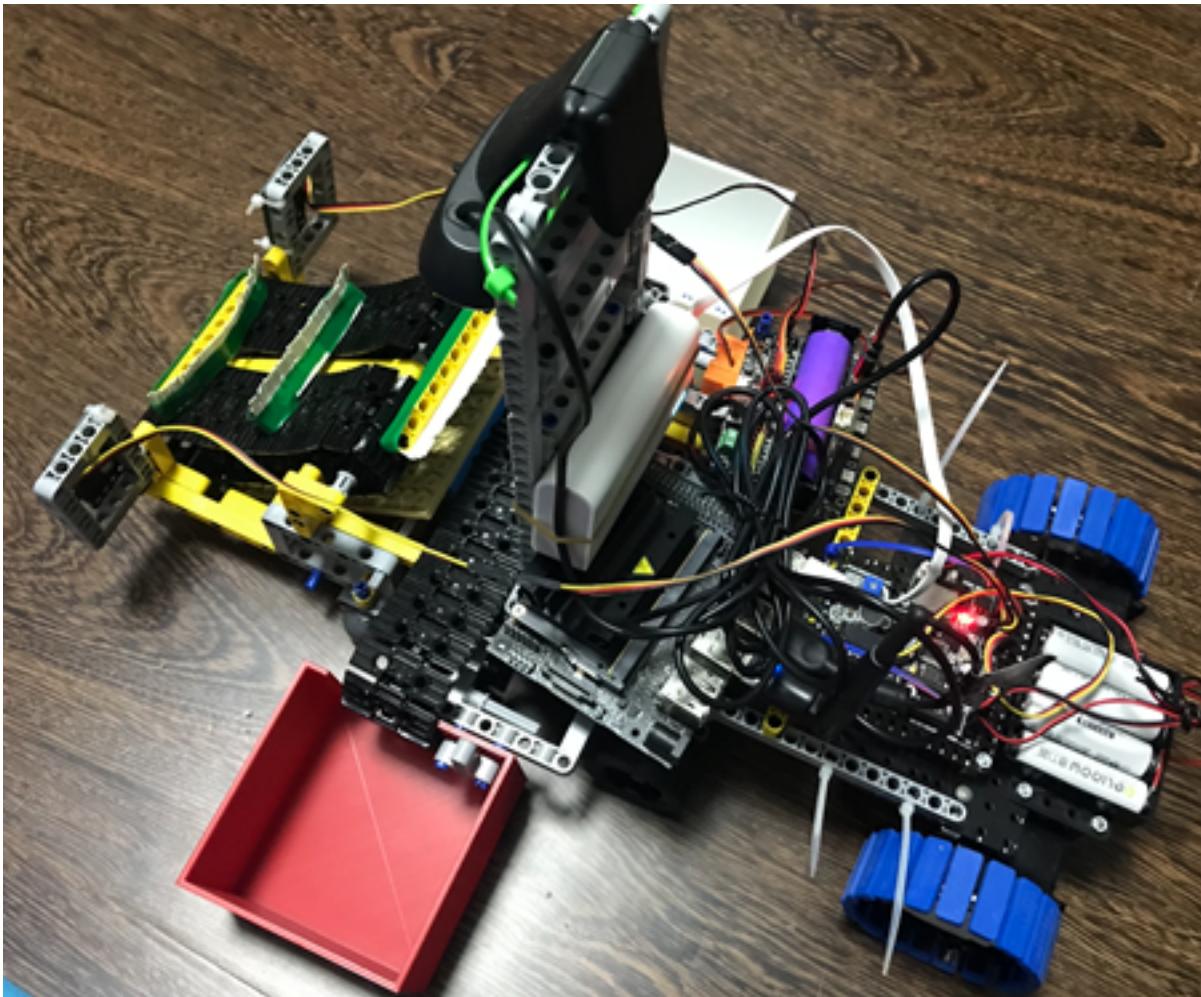


[打开腾讯新闻，查看更多图片 >](#)

### 总体设计图

在模型制作过程中我们反复用分析优缺点、顾客评审、流程分析等方式进行系统优化提升。经过我们半年多的努力，垃圾分类扫地机器人模型如下图所示：





### 智能垃圾分类扫地机器人模型

我们的模型包括以下几个部分：机器人行走系统、机器人清扫系统、机器人垃圾分类系统。其中行走系统和垃圾分类系统含有软件控制，软硬件详见第三章。

### 三 研究过程

#### （一）市场调查

我们一起讨论制作了调查问卷，该问卷用纸质和电子两种方式分发给同学家长、朋友、路人、亲属等人。共分发300份问卷，回收有效问卷278份。问卷内容及分析结果如下：

1. 您家有扫地机器人吗？（如果没有，跳至第5题）（ ）

- A. 有
- B. 没有



结果：其中86人即30.94%表示有扫地机器人。

2. 您的扫地机器人的优点是什么？

方便：16人占18.6% 省力：31人占36% 干净：12人占14% 其它：27人占32.4%

结果：大家主要认为方便、省力、干净。

3. 您的扫地机器人的基本功能是什么？

自动清扫：90人占82.57% 自动充电：3人占2.75% 拖地：9人占8.26% 智能避障：7人占6.42%

结果：大多数人认为扫地机器人的基本功能实现自动清扫。

4. 您的机器人的不足是什么？

扫不干净：33人占39.8%

不够智能：28人占33.73%

有些地方扫不到：13人占15.66%

充电不足：充电时间长，工作时间短。4人占4.82%

噪音大：5人占6.02%

结果：大多数使用过扫地机器人的调查对象表示扫不干净和不够智能是当前市场上销售机器人的主要不足。

5.您希望在现有扫地机器人的基础上增加哪些功能？（）

垃圾分类：42人占38.18%

犄角旮旯的地方也可以清理干净：28占25.45%

更智能：32占29.09%

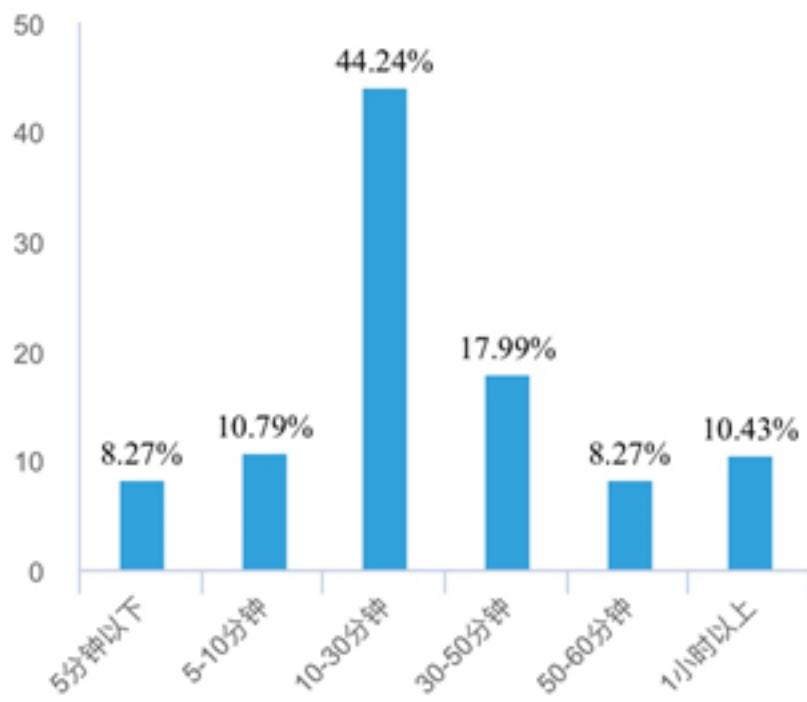
充电电池更新换代5占4.54%

减少噪音3占2.72%

结果：大多数被调查对象希望家用扫地机器人具有垃圾分类功能和更智能化。

6.您每天做家务的时间多久？（）

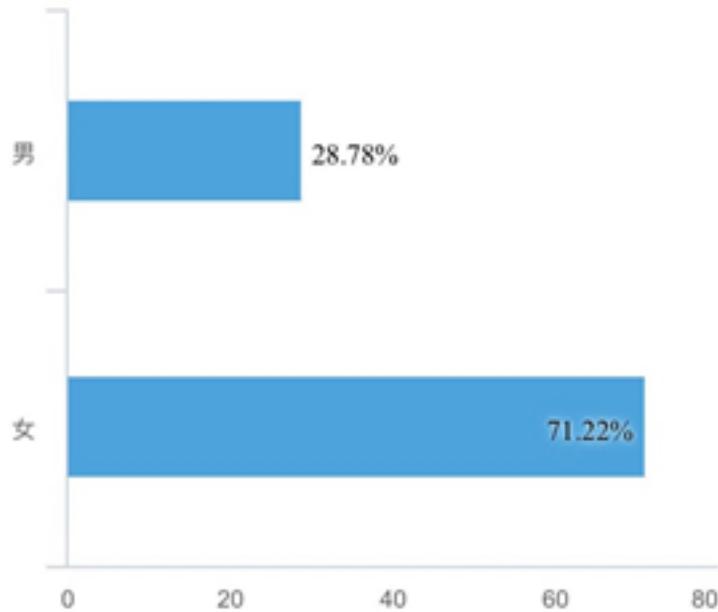
- A. 5分钟以下
- B. 5-10分钟
- C. 10-30分钟
- D. 30-50分钟
- E. 50-60分钟
- F. 一小时以上



结果：大多数家里有扫地机器人的使用10-30分钟清理垃圾。

#### 7. 您的性别

- (A) 男 (B) 女



结果：调查数据表明，家庭清扫主要由家里的女士完成，占调查对象的71.22%。

#### 8. 请选择城市：

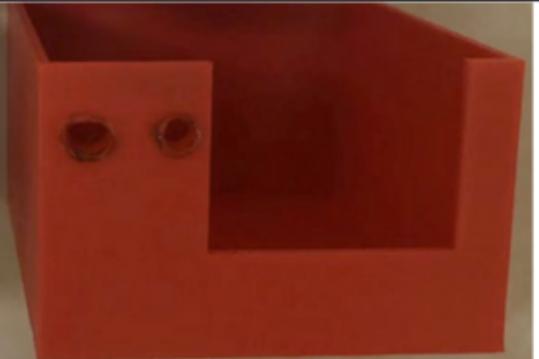
北京：213人

外地：55人（南到海口，东到秦皇岛，西到昆明，北到黑龙江哈尔滨）

结果：表明虽然主要是北京市海淀区的调查人填写，但外地用户分布较为分散，样本选择有一定的说服力。

## （二）制作材料

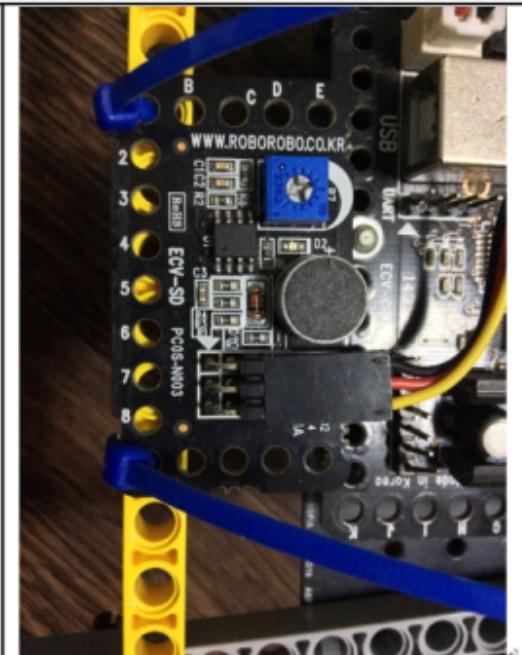
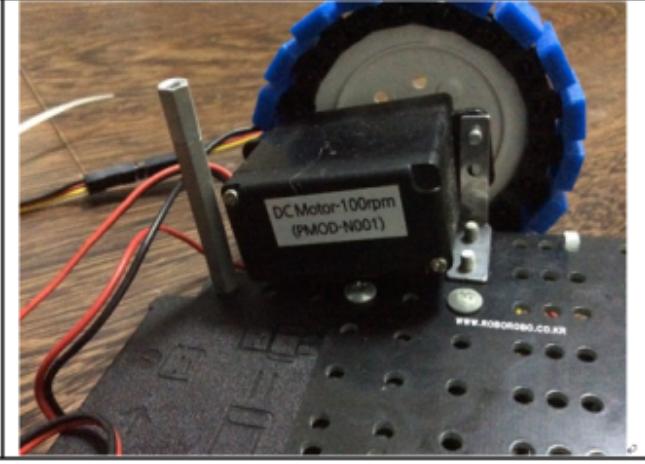
通过对以上垃圾分类扫地机器人的功能分析，我们配备了以下元器件：

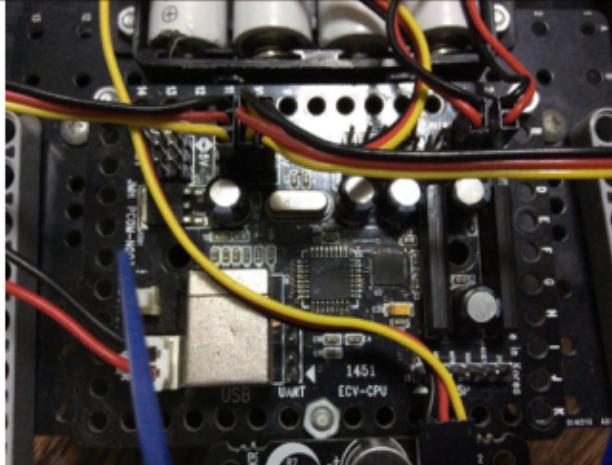
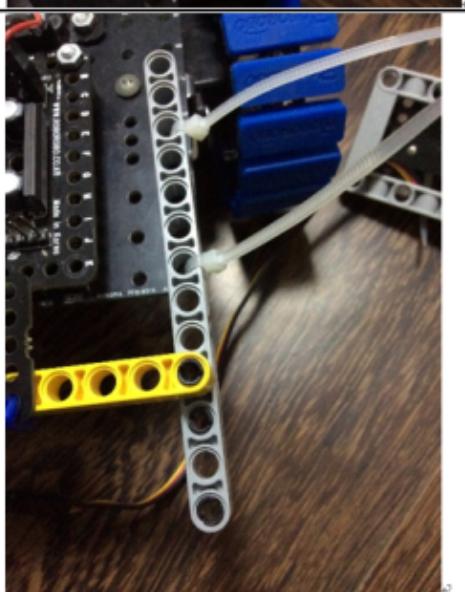
名称	数量	价格(元)	功能	备注	图片
3D 打印 盒。	2.	62.	贮存垃圾。	自行 设 计， 仅加 工费。	
GPU 开发 板。	1.	759.	运行分 类神经 网络、 控制摄 像头。	Jetso n Nano.	

Micr obit 扩展 开发 板。	2.	223.	控制舵机和马达。	一块用于机器人，另一块用作遥控。	
马达。	1.	20.	驱动滚刷。	.	
舵机。	1.	27.	驱动传送带。	.	
摄像头。	1.	126.	用于成像。	.	



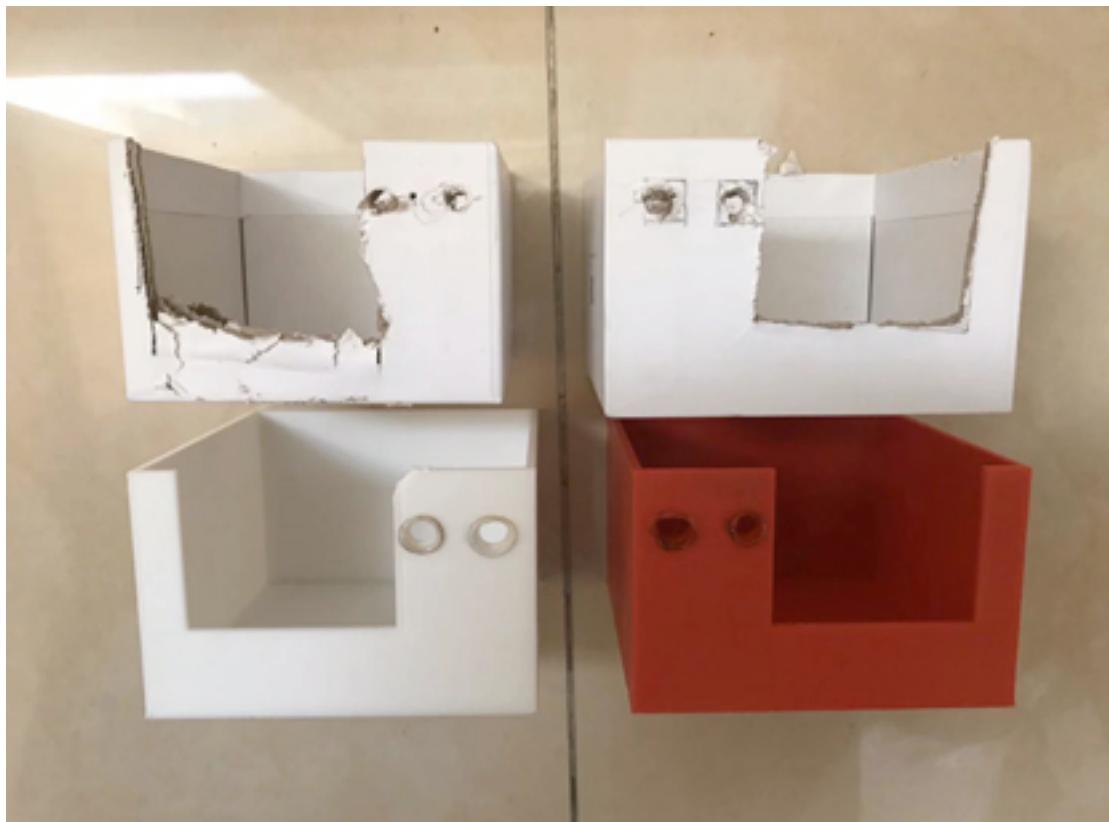
乐高结构件。	多。	300。	机器人结构拼装。	乐高积木。	
履带。	3。	0。	用于传输垃圾。	。	
纸片。	6。	0。	用做毛刷。	由废纸杯制作。	
底盘。	1。	300。	用于机器人移动。	乐博乐博提供。	

声音控制系统	1.	50°	声音控制。	乐博 乐博提供。	
红外线转向系统	2.	60°	转向。	乐博 乐博提供。	
推力部分马达	2.	100°	行走。	乐博 乐博提供。	

CPU (推力部分)	1.	100.	控制推力部分。	乐博乐博提供。	
电池盒。	1+4.	20+1 6.	给予推力部分电源。	乐博乐博提供。	
连接支架。	2+1.	4+2.	推力部分与分类部分连接。	乐高积木。	
共计		2169			

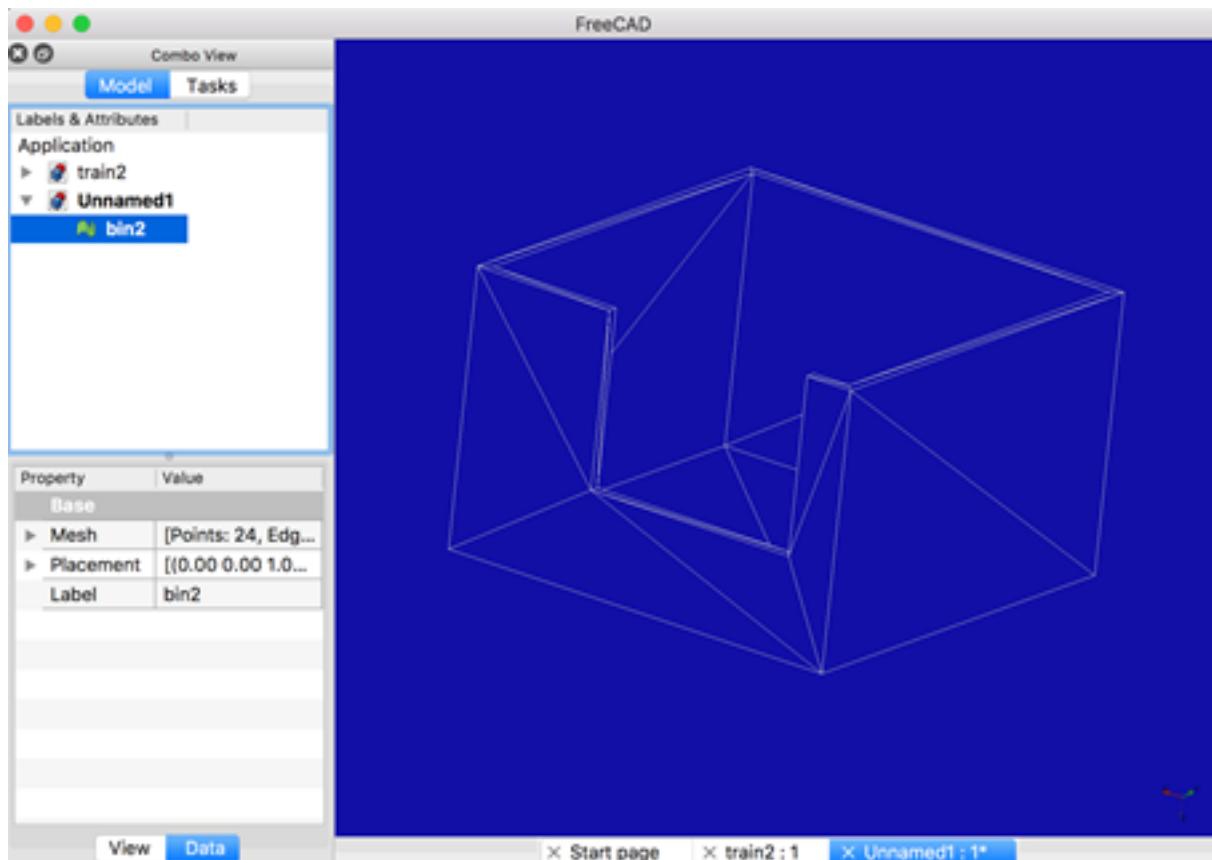
### (三) 3D打印

区分可回收和不可回收垃圾需要两个盒子，但是乐高零件里没有盒子。我们打算做两个，并通过开孔固定到车上。起初我们用A4白纸折纸盒子，但材料很软，开孔的时候都裂了，很不好用；垃圾一进盒子就下垂了，而且安装的时候就破了一个大洞。后来，我们改用硬纸盒子做了一个，因为它太硬了，剪刀根本剪不动，我们就用小锯子锯，锯了两条弯曲的线，一点都不直，横着的那条线锯不到，所以我是把它拗下来的。拗下来的那块是毛边儿，很难看，开孔的位置也破了，而且两个盒子都不一样大。如下图上部所示。



上面两个是硬纸盒做的收集盒。下面两个是用3D打印的。

为了克服纸盒的缺点，我们用了3D打印定制了专门的盒子。我们先画了一个 $8.5\text{cm} \times 8.5\text{cm} \times 5.5\text{cm}$ 的立方体，每个面的厚度为 $0.2\text{cm}$ 挖了一个“坑”，再在其中一个面上挖下一个凹下去的口，就完成了模型。我们又弄了一个红色的镜像的盒子，在网上找了一个卖家，把文件发给他们就可以打印。



### 3D模型设计软件: FreeCAD界面

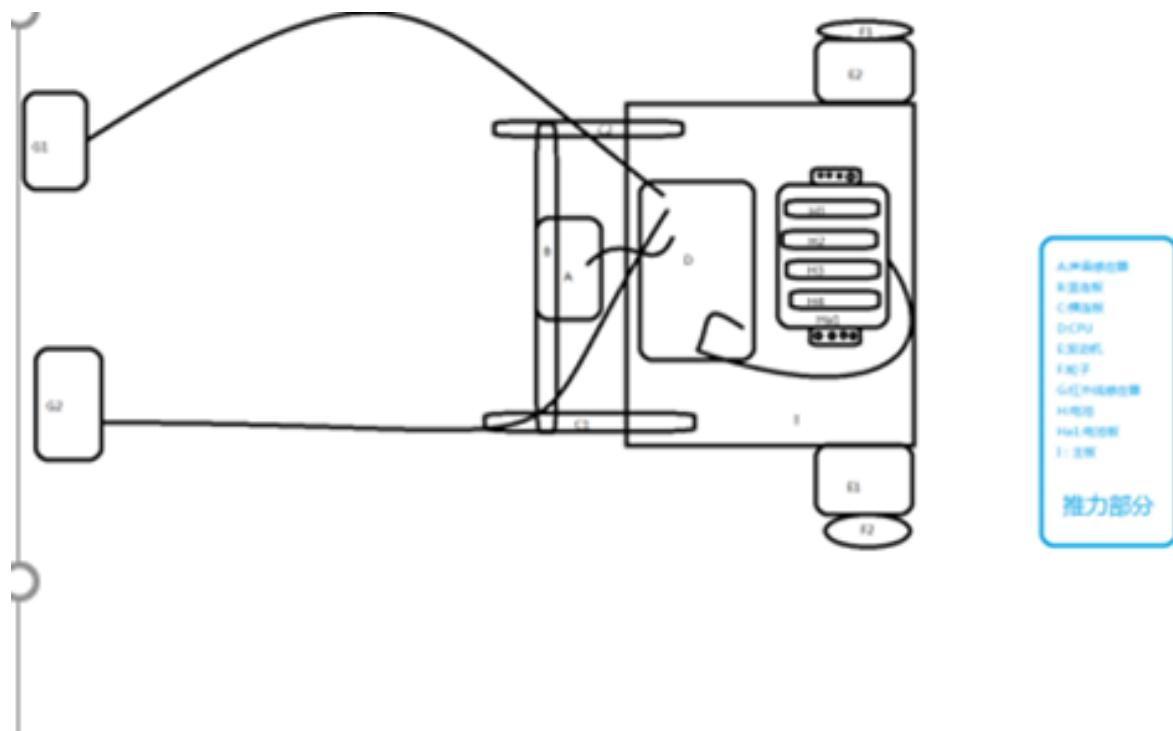
等盒子到了之后，我们要把它安上。本来是想粘到车上的，然而那个地方上没有地方可粘。后来找到一个方法：用电烙铁烫出两个洞，然后用乐高的小蓝栓插上去。我们用铅笔画了位置之后让大人帮我们烫了两个眼儿。最后，将这两个盒子安装到机器人传送带两端的位置，这个机器人就有垃圾盒儿了，但它有点下垂，于是加了一个3孔臂积木，就更坚固了。最后安装效果图如下。蓝色栓穿过两个开孔，并用黄色3孔臂固定。



垃圾回收盒安装效果图

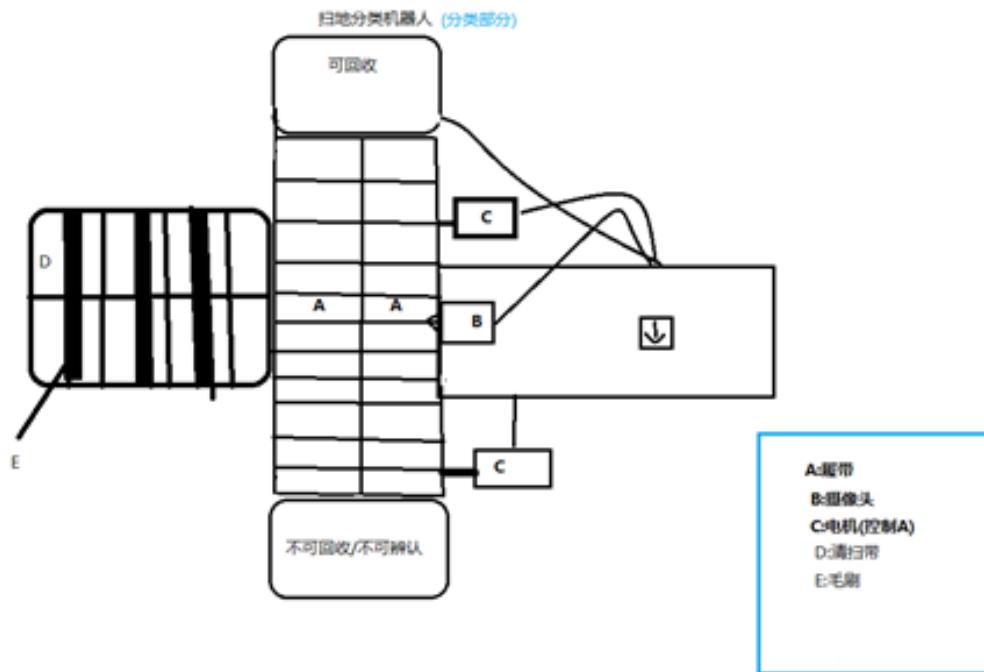
#### (四) 硬件搭建

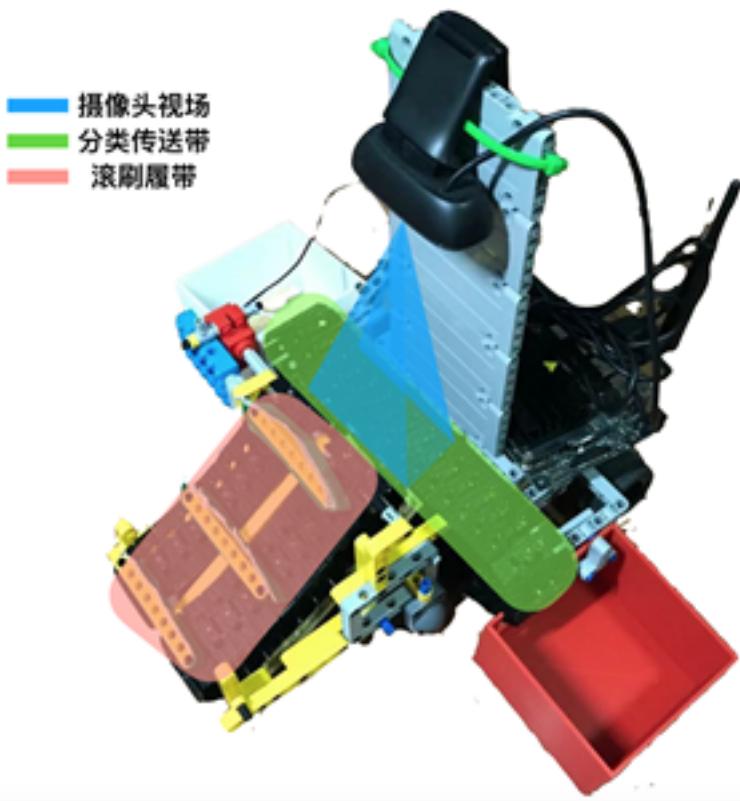
机器人整体由三部分构成，分别是机器人行走系统、机器人清扫系统、机器人分类系统。机器人行走系统负责推动整个机身如扫地机器人般可以在空旷的房间巡航，核心部件采用乐博乐博单片机零配件搭建而成，采用乐博编程环境实现机器人工作。采用独立电池电源供给，系统接受到启动信号正常向前推进，当碰到墙壁时自动停止并转向，避开障碍物。设计示意图如下。



机器人清扫系统负责清扫垃圾，机器人在行进中马达开始工作，纸刷不停把前方触碰到的垃圾推进履带。履带下面是一块板子，做垃圾上车的“道路”。在履带上插着一些用纸杯做成的纸片。这些纸片与原来有很多不同。它们仅仅高一厘米，每个之间相隔约四厘米。横着插在履带上，与履带同宽，保证垃圾不会半途“落地”，还比原来硬了，能扫的东西就多了，实用性增加了许多。通过履带转动，纸片就会把垃圾“推”上板子，不是像以前那样“卷”进去。履带向下不断转动带动垃圾，垃圾就会被纸片扫到并将其卷入履带下面的辅助板内，最终推动垃圾向后面的分类履带运动。清扫系统测试结果基本达到当时设想。

机器人分类系统负责将被清扫的垃圾通过视频识别分类传送到履带上。系统根据摄像采集的图片与垃圾样本进行匹配，判断是可回收或不可回收垃圾。如下图所示。按照判断结果送到相应垃圾盒。



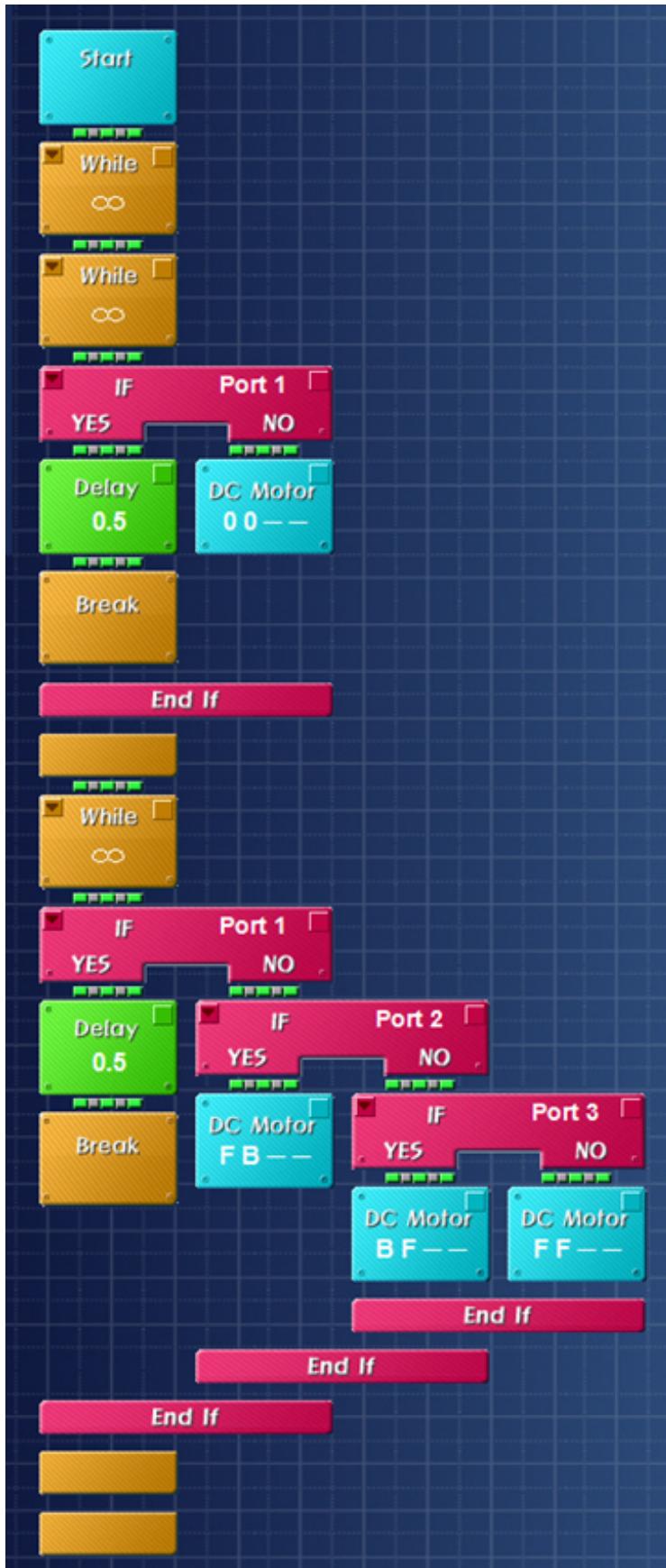


清扫和分类部分3D效果图

## (五) 软件控制

### 1. 行程程序

行进程序实现垃圾分类扫地机器人的基本行进功能。首先判断，是否有启动指令，该环节可以由声控、遥控和手工实现，当获取指令后马达开始工作，向前行进；当遇到障碍物时，红外线设备获取信号，机器人开始转向。当遇到垃圾物时等待处理垃圾。直到下一次收到声音指示或遥控运行指令或手工操作时马达停止运行。该模块实现行进、避障、遥控等功能。程序控制如下图所示。

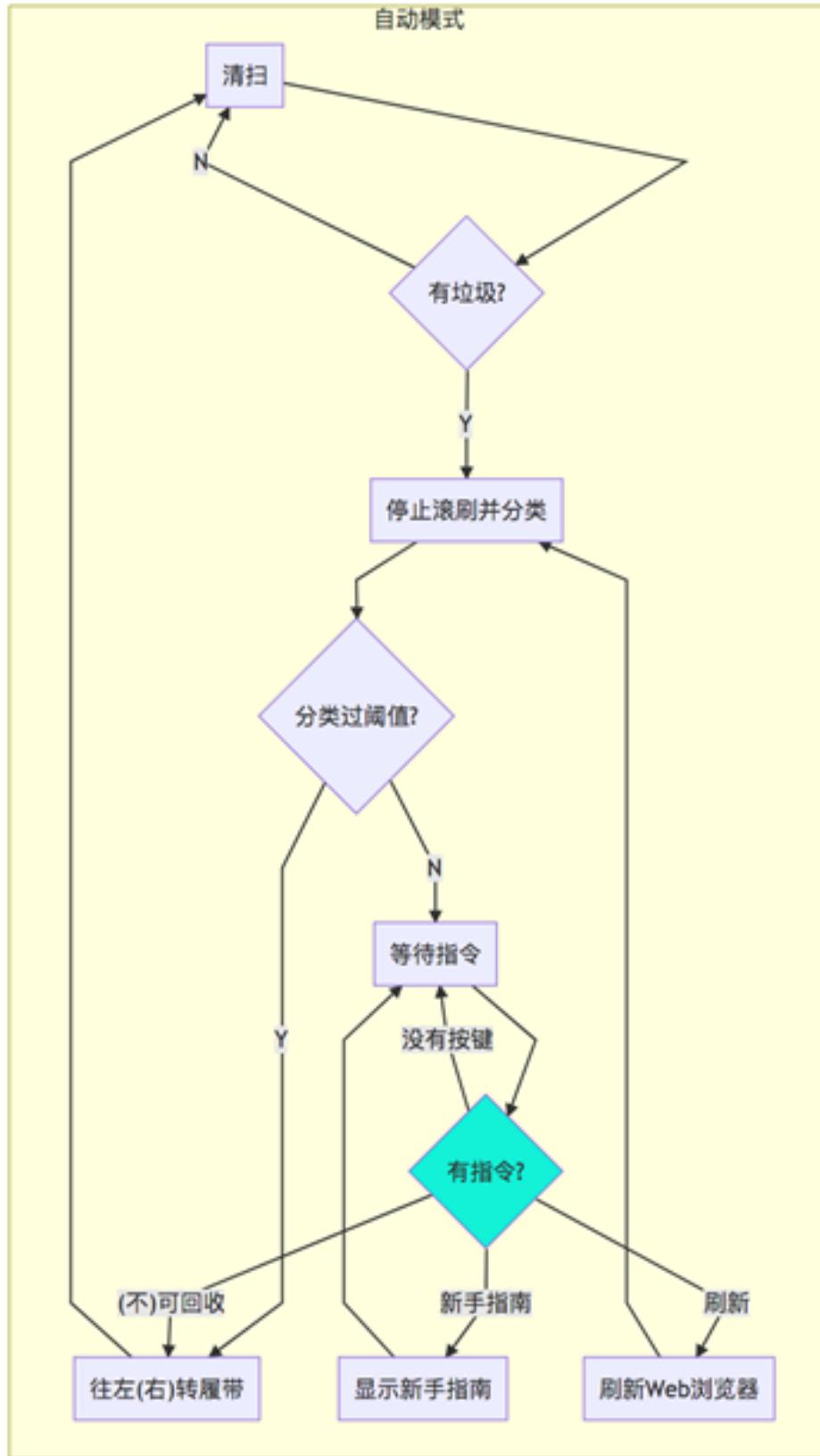


## 2.分类程序

垃圾分类是机器人的核心功能。为了提高分类的准确性，我们设定了自动和手动两种模式，模式切换由手机APP操作实现。因垃圾种类繁多，形态各异，我们很难在短时间收集到所有垃圾样本，为视频分类提供数据基础，所以预留了手工分类模式，实现两种模式的互相切换，切换流程如下图所示。

### (1) 自动模式

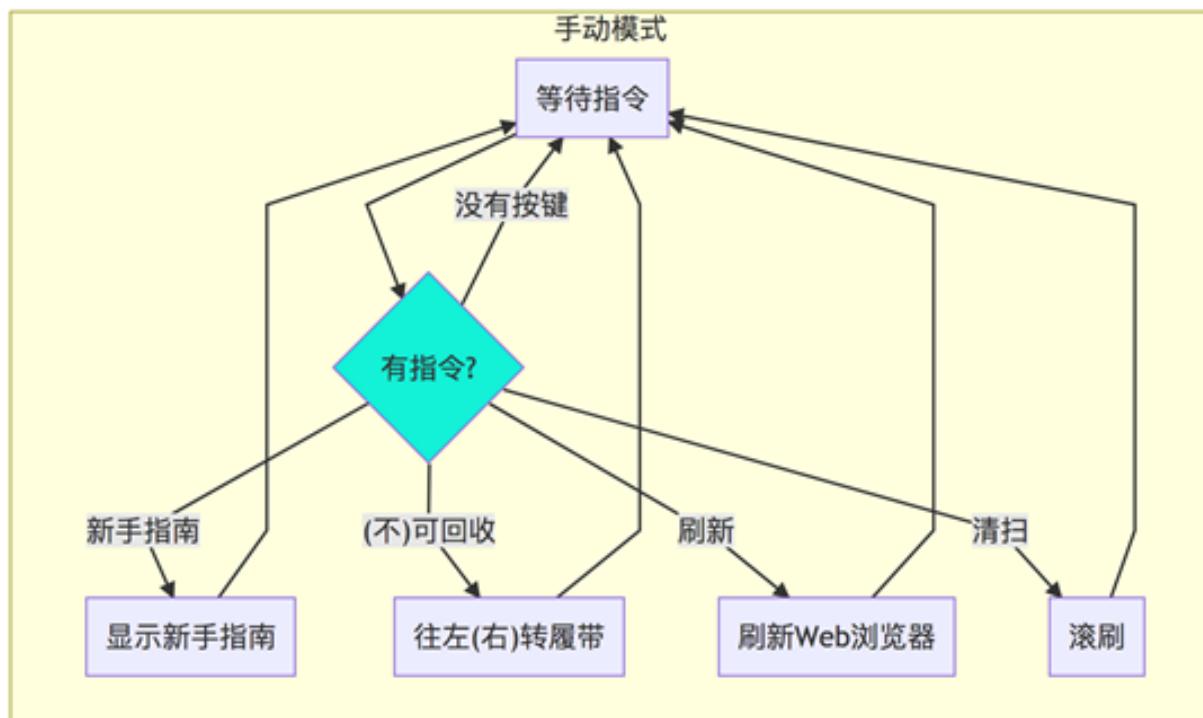
自动模式时机器人完成自动垃圾分类处理。在手机App上开启自动模式，清扫垃圾滚刷马达不停地转动，当摄像头检测到传送带上有垃圾时停止所有动作，视频采集垃圾影像，自行判断分类。如果采集结果置信度超出阈值，表明判断可信，系统自动分类传送到可回收或不可回收垃圾盒。如果未超出（达到）置信度阈值，机器人就处于等待状态。当用户按App主界面的“刷新”命令时，垃圾图片会呈现在手机APP上，人工通过图片判断分类，机器人根据可回收或不可回收进行传送。自动模式流程如下图所示。



垃圾分类自动模式流程图

## (2) 手动模式

当处于手动模式时，机器人处于“等待”状态。如果用户“无任何指令”（没有按键）就一直等待；有指令时就根据程序相应动作，如：用户按“清扫”就滚毛刷；按“刷新”就发送“现在”的垃圾图片；当用户按“可回收或不可回收”按钮时，传送带开始运行传送垃圾到垃圾盒；机器人在工作过程时，接收到其它指令时，系统提示“机器动作中，请稍后按其他按钮”；系统会用声音和震动提示用户命令已收到，用按钮颜色区分功能，以提高系统可用度。手动模式流程如下图所示。

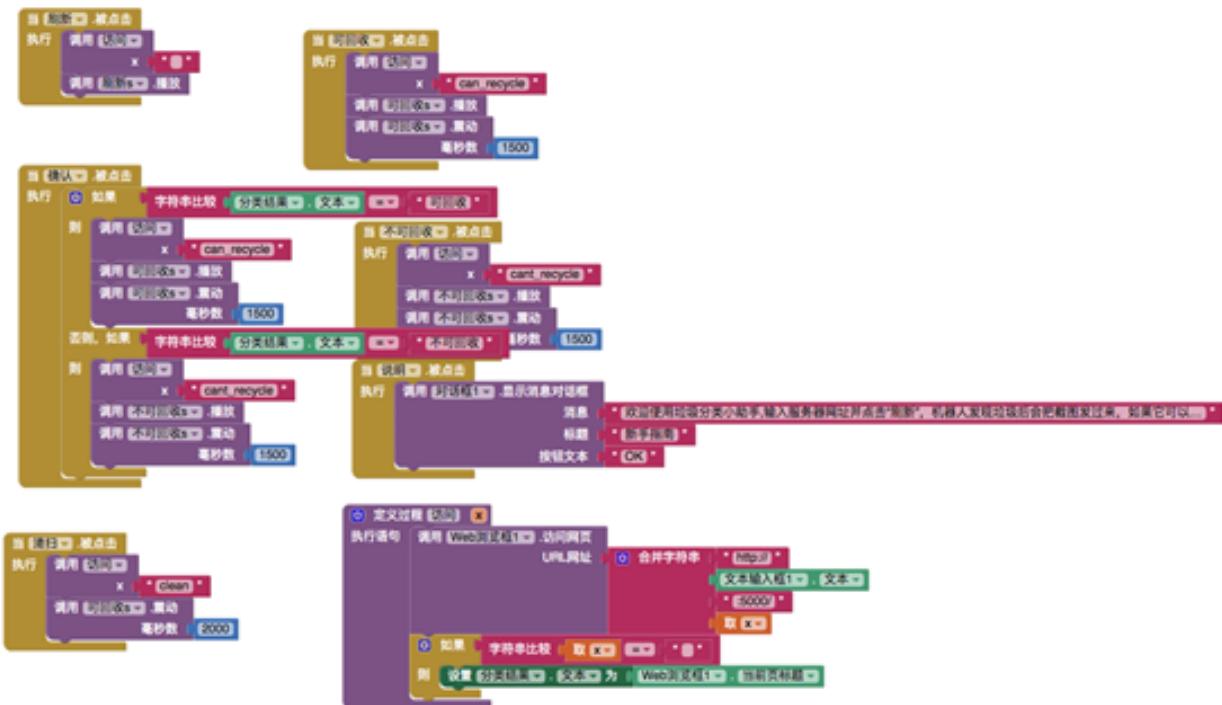


垃圾分类手动模式流程图

手机控制分类APP如下图所示：



手机APP编程设置如下所示：



本APP应用基于App Inventor开发，它是美国麻省理工大学开发的环境，这个软件的功能很多。我在开发的过程中，使用了表格布局、垂直布局等功能。实验过程中，我发现有时

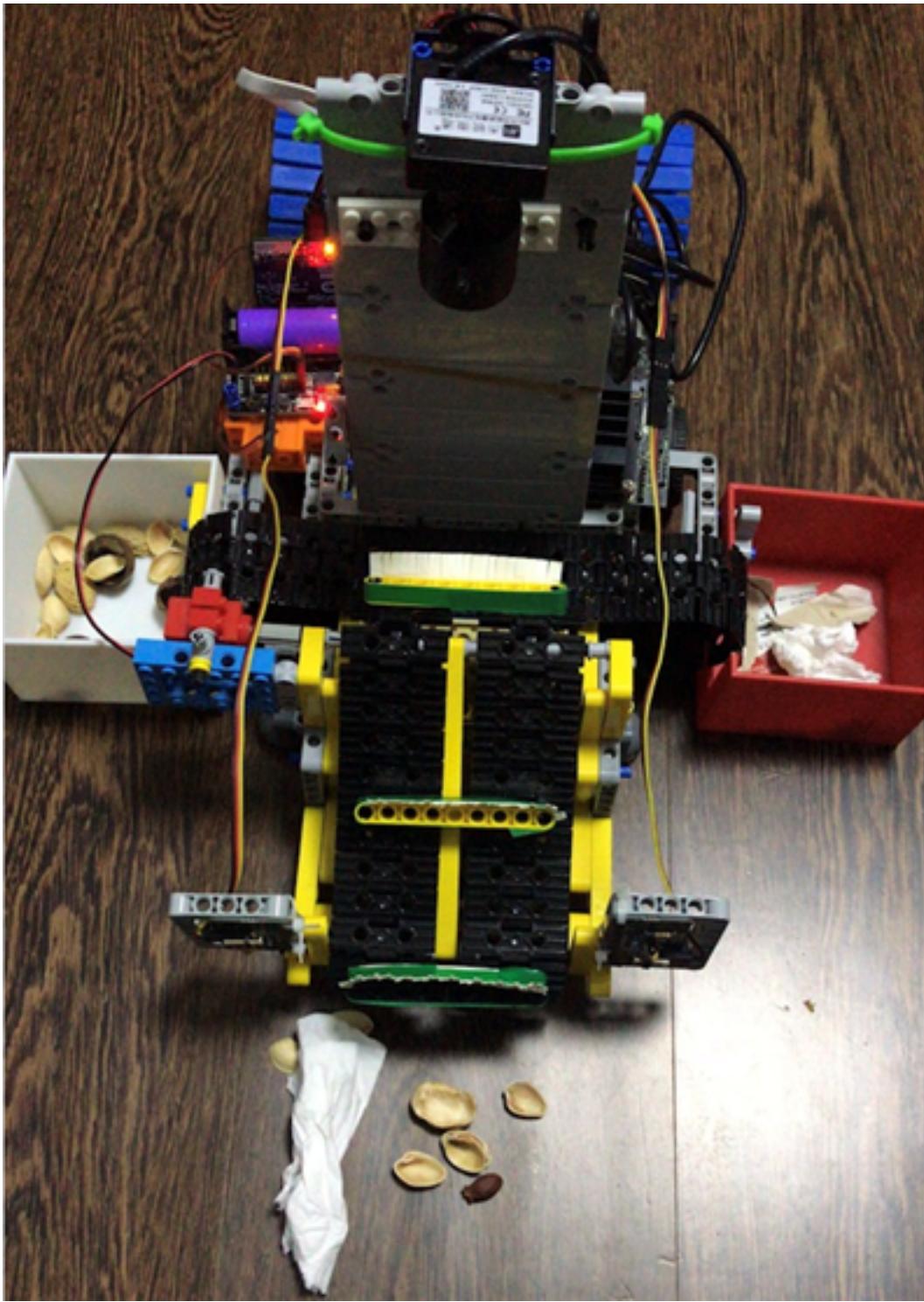
分类结果会错误，如：放纸张时，有时会显示“浴巾”、“包装”等。但如果是过了阈值的分类结果，一般都是正确的。所以，多次实验后，我们打算除了纸张以外默认为不可回收的垃圾，因为扫地机器人一般除了纸张以外扫到的可回收垃圾很少。

#### 四 研究结果

机器人制作完成之后，我们对机器人的清扫功能做了实验，实验内容包含：

1. 清扫纸团、纸片。实验很成功，可100%的清扫完所有纸片、纸团。
2. 清扫果壳、果皮。经过测试，绝大多数果皮、果仁可以被清扫。
3. 清扫塑料瓶碎片。测试结果表明，大部分都能扫上去。

清扫塑料瓶碎片



实验效果图

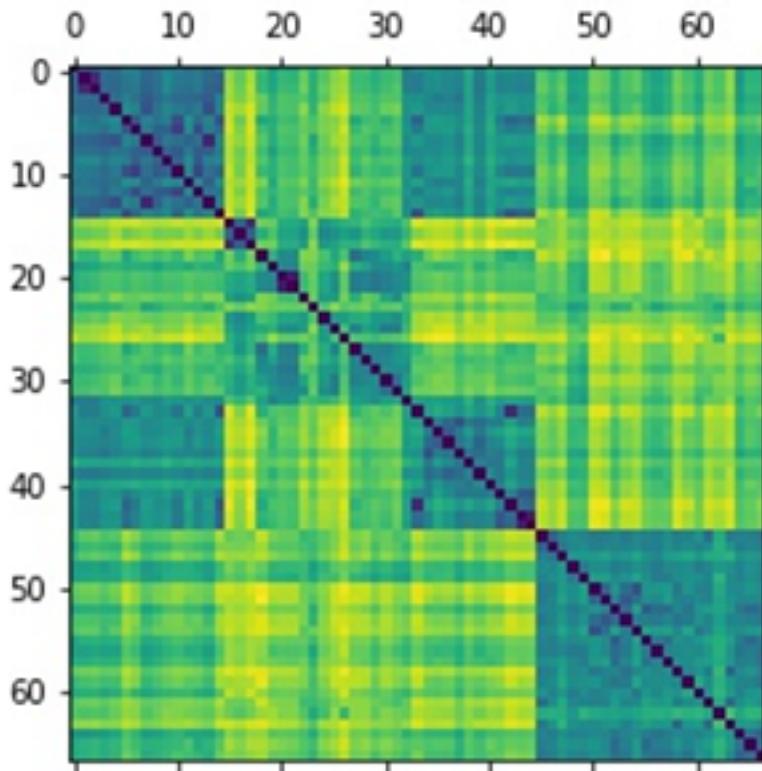
然后，我们重点测试了垃圾分类功能，为了完整的测试这一功能，我们在家长的帮助下设计了实验，分为三步：

1. 采集数据，包括“无垃圾”、“果壳”、“铅笔”、“纸张”共四类；

2. 利用PyTorch软件自带的神经网络ResNet18进行特征抽取，把每张图变成1000个数的向量；

3. 利用公式计算距离，再用最近邻分类器进行分类；

四种分类的典型图片，依次是"无垃圾"、"果壳"、"铅笔"、"纸张"



训练集图片的特征向量间距离的混淆矩阵图

从上图可以看到在15, 33, 45处有清晰的边界，这证明使用最近邻分类器是合理的。收集的图片被分为训练集和测试集。训练集被用于拟合最近邻分类器。测试集共32张，包含了采集中遇到较难的例子。

典型出错例子分析如下。

图片			
目标分类	纸张	果壳	果壳
出错原因	与其他纸张差异大	物体不在中心	物体不在中心

总之，相比最开始的版本，主要的改进和发现有：

1. 清扫部分换成履带式能大幅加强清扫能力；
2. 使用手动变焦摄像头能看清垃圾；
3. 使用GPU能将垃圾识别分类变成自动而且实时，在四种情况下达到正确率88%；
4. 使用红外避障能让小车不撞到东西；

为了能处理更多种类的垃圾，我们使用了利用深度学习特征的最近邻分类算法。这个算法的优点是使用已有的深度学习模型，只调优最近邻分类的系数，因此不需要GPU训练就能处理不同种类的垃圾。

## 五 研究收获与展望

在半年多的研究和制作过程中，我们遇到过各种各样的困难，甚至有过“改题”的念头，但是我们坚持下来了。我们从一开始到现在，改进了不下10个版本。从一开始没有履带的“灯光”颜色分类到现在有摄像头有App的垃圾分类，从一开始的毛刷清扫到现在的履带清扫，从一开始的小推车到红外线的避障……我们付出了很多。我们基本每周末按期活动，风雨无阻，在过程中我们学会了如何查看科技文献，如何用我们的所学学以致用，学会了画流程图，学会了解决棘手的问题。虽然我们经历过多次的失败，机器人也还不甚完美，但通过这些活动，我们知道合作的力量！

此外，通过本次研究，我们成功实现了扫地机器人智能化垃圾分类的预期目标，初步获得了扫地机器人垃圾分类功能研究的一些科学方法，这将指导我们在接下来的研究中，继续探索实现更加复杂和多样化垃圾分类的智能机器人研究。

## 参考文献

引1、引2 李婧，《垃圾分类，后端处理更重要》

<https://www.huanbao-world.com/a/gufeichuli/108531.html>

引3 《垃圾分类：瑞典生活垃圾管理经验及启示》

<http://huanbao.bjx.com.cn/news/20190708/991073.shtml>

引4 《上海居民快被垃圾分类逼疯！这个深度学习技术帮你做到垃圾自动分类》

<https://flashgene.com/archives/45617.html>

(指导老师: 梁栋英)

专家点评



吕国诚，中国地质大学（北京）材料科学与工程学院教授，博士生导师

北京市八一学校的同学在老师的指导下开展的这项《智能垃圾分类扫地机器人》研究让我感受到了八一小科学家的风采。

该研究从垃圾分类的社会需求调研中发现问题，创新性地提出设计家用扫地机器人增加垃圾分类功能的研究目标。这符合我们做科学研究要服务于人民需求的原则。从翔实的研究过程记录可以看出，智能垃圾分类扫地机器人的研究设计科学，研究思路清晰，研究结果可靠，具有较强的实用性。最宝贵的是，在研究遇到困难和挫折时，大家能够坚守初心，团结协作，勇挑重担，积极应对。这个过程能够引导孩子们真正体会到了科学精神。

北京市八一学校的老师们引领小学生学科学、爱科学，在科学研究活动中育人，传播科学家精神。相信未来会有更多的八一学子投入到我国的科学的研究事业中，攻坚克难，勇攀高峰，实现中华民族的伟大复兴。