

摘要：近些年来，我国各地陆续出台了垃圾分类的政策，垃圾分类也已经逐步成为了一种新的生活方式。但是垃圾分类又存在着分类效率低、分类成本高等问题。针对这些问题提出了一种基于卷积神经网络的垃圾分类系统。通过软硬件相结合的方式实现了垃圾投放检测、垃圾种类识别、垃圾精确投放、结果反馈等功能。对于日常生活垃圾的识别率已达 91.7% 以上，具有识别率高、分类速度快、方便迭代更新、成本低等优点。

关键词：垃圾分类；机器视觉；卷积神经网络；深度学习

中图分类号：TP242.6 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2020)08-0019-07

收稿日期：2020-06-29

基于卷积神经网络的垃圾分类系统的研究

汪洋 王小妮 王育新 刘畅 熊继伟 韩定良

北京信息科技大学理学院，北京 100101

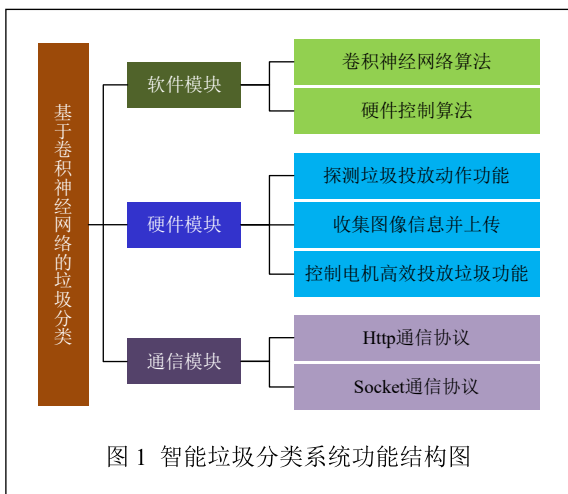
一、引言

我国目前每年新增约 10 亿吨的生活垃圾^[1]。垃圾如果不进行有效的分类会导致很多有用资源浪费，同时有害垃圾得不到妥善处理也会危害到人们自身利益。2019 年上海市全面推行生活垃圾强制分类，标志着我国垃圾分类已经进入制度化推广的新阶段^[2]。垃圾分类做得好可以大大减少对环境的破坏，也能将很多垃圾变废为宝。但是，使用传统的工艺对垃圾进行分类，需要增加人力、物力以及时间^[3]。因此，社会迫切地需要一种设备可以帮助人们对垃圾进行分类。近些年人工智能技术飞速发展，也为垃圾分类带来了新的思路，通过结合深度学习与智能硬件，将大大方便人们分类垃圾。以北京的垃圾分类政策为例，可以将垃圾分为可回收垃圾、有害垃圾、厨余垃圾、其它垃圾。这个设备通过智能硬件采集图像信息，进而对图像进行分析并将垃圾种类反馈给用户。

作为深度学习的分支——卷积神经网络可以通过将一个完整图片分割成许多个小部分，把每个小部分里的特征提取出来，再将这些小部分具有的特征汇总一起，继而完成对图像的识别，尤其是卷积神经网络

这一包括深度隐含层的网络结构技术，具有传统控制技术无法比拟的表达力与特征学习水平^[4]。很多专家学者都进行了将卷积神经网络用于垃圾分类的研究。黄惠玲等人^[4]对建筑垃圾的颜色进行提取和分类研究，通过使用 K 均值对建筑垃圾进行识别，整个过程平均消耗 1.17s。例如吴健等人^[5]的基于计算机视觉的废物垃圾分析与识别研究，只有模型仿真，没有识别率。吴碧程等人^[6]在他们的论文中利用 Google 的 inceptionV3 卷积神经网络对日常生活垃圾进行建模，也提出了自己的垃圾投放机械控制，但是没有考虑到卷积神经网络部署在硬件中对垃圾的识别速度，也没有提出让硬件高效运作的方式。

针对上述问题，结合调查，设计并不断优化卷积神经网络，设计智能垃圾箱，构建云服务器，编写小程序，实现高效的垃圾分类系统。结果表明，该系统工作稳定，神经网络应用于系统的精度达到 91.71% 以上。系统开发人员可以通过小程序的反馈结果及时优化和更新系统的网络模型，提高垃圾识别率，区域垃圾管理员可以通过小程序的反馈结果实时了解区域内每个智能分类垃圾桶的满溢情况。



过 socket 通信协议实现硬件中的信息传输，通过 http 协议实现硬件与主机之间的信息交换。同时，本系统还设计了一个小程序可以与服务器相连接，可以实现通过手机拍照，将照片传于系统服务器，系统服务器可以将垃圾分类信息反馈给小程序，小程序还另外设计了一个区域管理功能。智能分类垃圾桶分类情况、垃圾图像信息、满溢情况也可以实时汇报给服务器，方便小程序查看。本系统功能结构图如图 1 所示。

1、系统的硬件模块设计

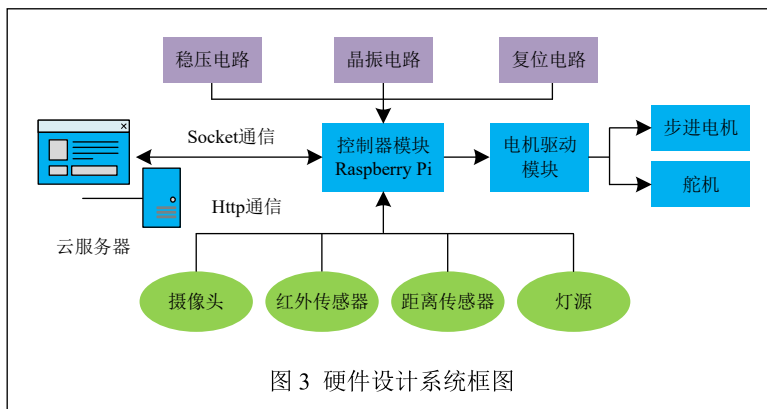
我们先对系统进行了 3D 建模，模型如图 2 所示。

硬件设计使用 Raspberry Pi 作为系统的中心控制板（通过摄像头采集图像信息需要 Raspberry Pi 作为系统的中心控制板），配合相应的扩展板，相应传感器。具体硬件设计的系统框图如图 3 所示。

具体的工作流程为：红外传感器感应到垃圾投放动作，打开垃圾桶上部的灯源；投放结束，摄像头收集垃圾图像，并通过 Raspberry Pi 开发板通过 Socket 通信协议传给云服务器；云服务器通过内置的卷积神经网络算法对垃圾进行识别分类，并将结果反馈给 Raspberry Pi 控制板；Raspberry Pi 根据反馈的信息，通过控制电机驱动模块对步进电机和舵机进行旋转操控，让垃圾投放到正确的分区当中，并记住当下所在的格区，通过距离传感器记录下当下的垃圾种类的满溢程度，通过 Raspberry Pi 控制模块将满溢程度信息上传到云服务器中，服务器可以实时将图像信息、满溢程度、分类情况传给移动端小程序。区域管理员可以实时了解垃圾桶的垃圾分类相关信息。智能分类垃

二、系统设计

本系统通过软件模块、硬件模块、通信模块相结合，实现了从投放垃圾动作检测、垃圾图像传输、服务器对垃圾种类的判断等功能。硬件模块集成了对垃圾投放的检测、对垃圾的图像采集、垃圾的分类投放、满溢程度监控等功能。软件模块通过卷积神经网络算法对垃圾图像信息进行识别分类。通信模块则通



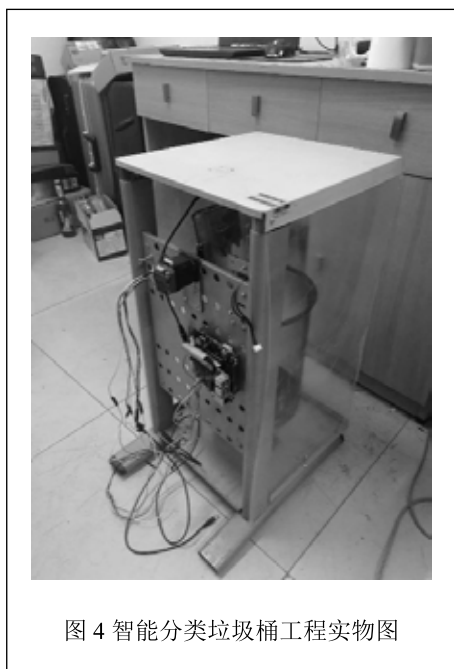


图4 智能分类垃圾桶工程实物图

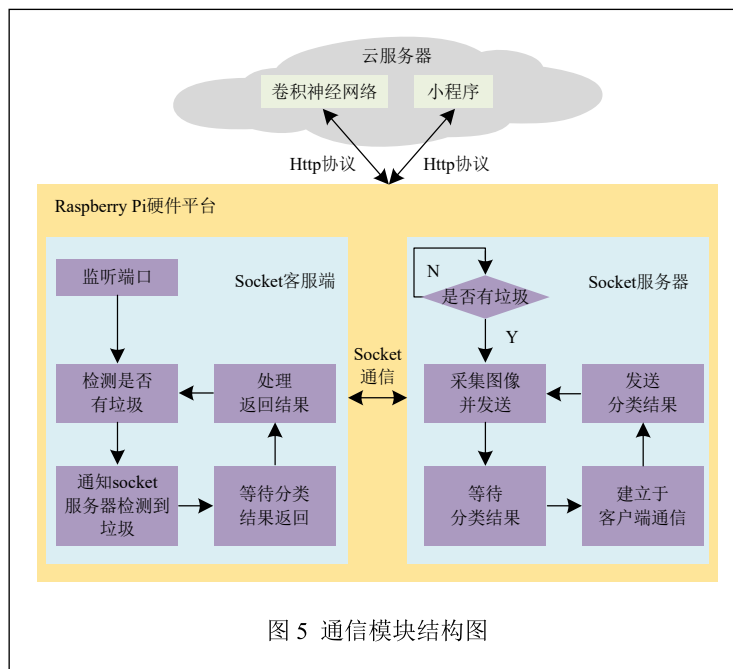


图5 通信模块结构图

圾桶的工程实物图如图4所示。

2、系统的通信模块设计

(1) socket 通信接口设计

在红外传感器探测到有人投放垃圾时，摄像头实时采集图像信息，通过 socket 客户端通知到服务器，图像采集信息成功并将图像信息发送到运行卷积神经网络模型的云服务器上。产生分类结果，通过 socket 服务器将分类结果发送给 socket 客户端，完成一次 socket 通信，然后 Raspberry Pi 根据反馈的结果来控制相应的硬件，完成相应的分类动作。

(2) http 通信接口设计

第一次 http 通信发生在硬件平台中。通过摄像头捕捉到的图像信息需要通过 http 协议上传到服务器中进行识别，识别后的结果以标号的形式反馈给硬件平台；

第二次 http 通信发生在小程序统计阶段。在云服务器将垃圾图像以及垃圾的满溢情况信息通过 http 协议发送到小程序客户端，以方便小程序使用者实时了解垃圾桶的各项数据。通信模块结构图如图5所示。

3、系统的软件模块设计

(1) 卷积神经网络

卷积神经网络是一种前馈神经网络，是一种深层结构的网络^[7]。高效的卷积神经网络算法可以提高系统的识别率。本系统采用的是 inception V3 卷积神经网络，其特点之一是将大网络分解为多个小网络。分解原理如图6所示。

如图6所示，通过分解成多个更小的卷积，从而使得模型训练速度更快。通过将参数迁移学习方法，将 inception 修改为用于垃圾识别的网络。卷积网络包括4个卷积模块和10个混合层，参数如表1所示。

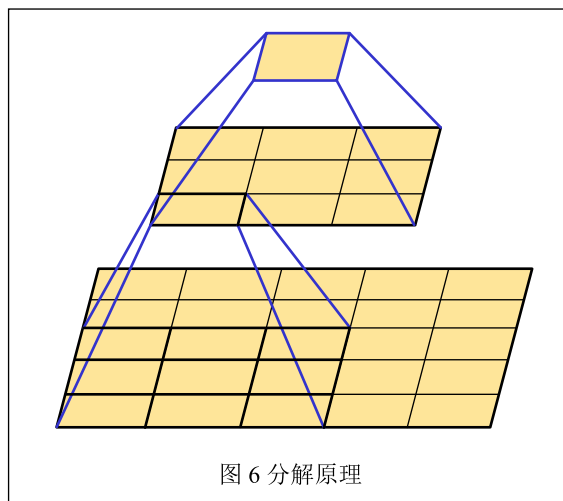


图6 分解原理

表 1 卷积网络模型参数

网络类型	步长	输入尺寸
conv	3×3/2	299×299×39
conv	3×3/1	149×149×32
conv padded	3×3/2	147×147×32
pool	3×3/2	147×147×64
conv	3×3/2	73×73×64
conv	3×3/2	71×71×80
conv	3×3/2	35×35×192
3×inception	—	35×35×228
5×inception	—	17×17×80
2×inception	—	8×8×1280
pool	8×8	8×8×2048
linear	logits	1×1×2048
softmax	classifier	1×1×m

其中，m 为数据集的种类。本文中垃圾识别得卷积网络共有 47 层，包括输入层、卷积层、池化层、全连接层和 Softmax 输出层。垃圾识别图像模型如图 7 所示。

(2) 硬件控制程序设计

经过高效的卷积神经网络算法精准识别垃圾之外，将识别的信息传给 Raspberry Pi，Raspberry Pi 通过反馈回来的识别信息控制步进电机和舵机。Raspberry Pi 可以通过电机驱动模块驱动步进电机正转、反转。系统内部俯视图如图 8 所示。

如图 8 所示，为了保证投放垃圾的迅速，我们设计了正转 90°、180°，反转 90° 的控制方法。通过记录每次转到的区域来控制步进电机的转动方向与角度。

部分控制代码如下：

①舵机旋转角度控制

```
void servo_pulse(int myangle)
```

```
{
```

```
// 定义脉宽变量
```

```
int PulseWidth;
```

```
// 将角度转化为 500-2480 的脉宽值
```

```
PulseWidth = (myangle * 11) + 500;
```

```
// 将舵机接口电平置高
```

```
digitalWrite(ServoPin, HIGH);
// 延时脉宽值的微秒数
delayMicroseconds(PulseWidth);
// 将舵机接口电平置低
digitalWrite(ServoPin, LOW);
// 延时周期内剩余时间
delay(20 - PulseWidth / 1000);
return;
```

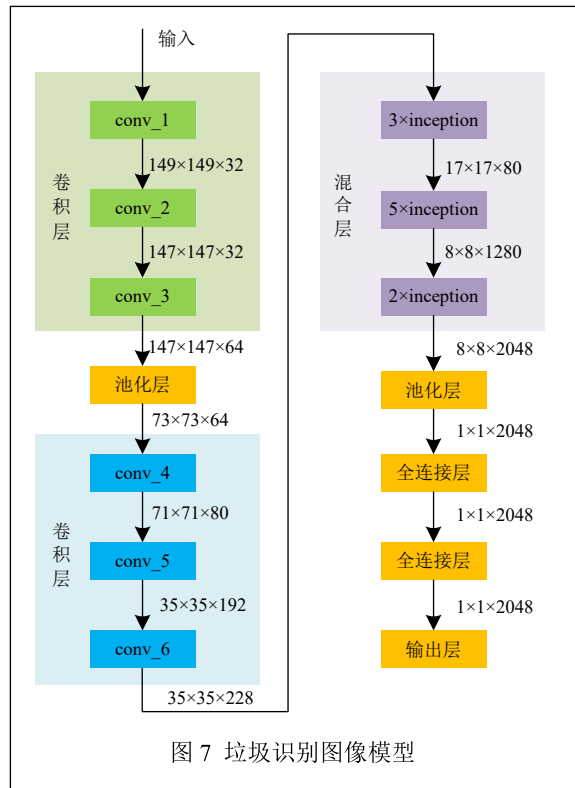


图 7 垃圾识别图像模型

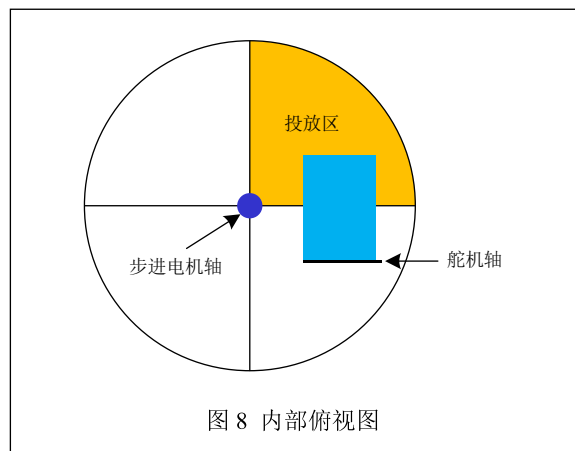


图 8 内部俯视图



图 9 小程序主界面



图 10 区域管理功能界面

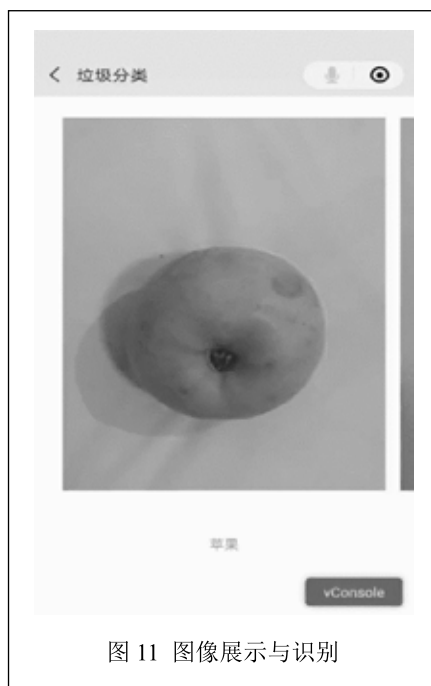


图 11 图像展示与识别

垃圾桶的满溢情况等。为了方便实时查看这些数据，本系统设计了一个小程序。其主要功能有：1、能够实时监控垃圾桶的满溢情况，方便管理人员及时清理；2、记录垃圾桶收集到的垃圾图像信息，方便开发者对训练的卷积神经网络进行训练改进，以提高系统的识别率。

图 9 为小程序的主界面。其中语音识别、拍照识别功能可以帮助用户快速用手机在小程序上查看垃圾种类。

主界面中区域管理功能可以实时监控各个区域的垃圾桶的满溢情况、垃圾分类情况、收集到的垃圾的图像信息、垃圾数量等等。其中，当垃圾的满载程度到达 90% 以上，将通知管理员去处理。区域管理功能界面如图 10 所示。

在图 10 的区域管理功能界面中选出其中一个垃圾桶，点击将可以查看这个垃圾桶的不同垃圾收集数量、满溢情况、收集的垃圾图像信息等。而管理员与开发者可以由此实时地了解垃圾桶的垃圾收集情况，通过采集的垃圾图像信息与系统对垃圾的识别，可以对系统不断训练更新。图像展示与识别如图 11 所示。

四、系统功能验证

系统设计完成以后将对系统的功能进行验证。我们选取常见的 7 种生活垃圾图片进行测试，得出的验证结果如表 2 所示。

随后我们对系统进行实物测试，测试的实物也是常见的 7 种生

活类垃圾，样本数分别是 100 个，得出的测试结果如表 3 所示。

从验证结果可看出，本系统设计对日常生活垃圾的平均识别率为 91.71%，训练结果可以满足日常使用。

表 2 测试集在神经网络模型中的验证结果表

测试垃圾名称	测试样本数	平均识别率
香蕉皮	100	100%
苹果	100	96%
报纸	100	93%
纸杯	100	92%
电池	100	100%
塑料瓶	100	96%
玻璃	100	91%

表 3 神经网络模型在不同环境下测试结果表

测试垃圾名称	测试样本数	平均识别率
香蕉皮	100	100%
苹果	100	96%
报纸	100	84%
纸杯	100	92%
电池	100	98%
塑料瓶	100	89%
玻璃	100	83%

在确保神经网络算法的识别率后，我们也对整个系统能否连续快速、精确地工作进行了验证。通过在系统中不断投入垃圾，观察到当识别准确以后，硬件可以精确地将垃圾投入到相应的分区中，并将各项信息准确的通过云服务器反馈到可视化小程序当中。

五、结语

垃圾分类是我国生态文明建设的重要一环，关系到每个人的切身利益。结合大数据、人工智能、云计算来实现智能垃圾分类也才刚起步。本文介绍的是一种通过训练 Inception V3 卷积神经网络结合以 Raspberry Pi 为主控板的硬件平台的智能垃圾分类系统可以实现对日常生活垃圾高达平均 91.71% 的识别率。同时，垃圾分类的各项数据可以通过云服务器实时在小程序上展示出来，方便小程序使用者实时了解区域垃圾桶的满溢情况、收集类型等。本系统通过将最新的人工智能技术、智能硬件、合适的通信模块集合在一起，具有成本低，方便部署、使用、更新迭代等优点，也为垃圾分类提供了一种新的方式。与此同时，本系统也存在不足之处：由于对系统技术方面的倾斜，导致系统的外观存在缺陷；其次，由于本系统设计倾向于日常生活垃圾，对于不常见的垃圾识别率不够高，同时对于缺少辨识度的垃圾，如透明塑料、透明玻璃识别率偏低，因此，本系统对于这些不常见、辨识度不高的垃圾识别率偏低的问题有待进一步改进。

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(04): 71-72.
- [2] 吕程熙. 基于深度学习实现自动垃圾分类 [J]. 电子制作, 2019, (24): 36-38.
- [3] 祝朝坤, 魏伦胜. 基于 TensorFlow 的智能垃圾分类系统的研究与设计 [J]. 电子产品世界, 2020, 27(06): 71-75.
- [4] 黄慧玲, 韩军, 吴飞斌, 等. 建筑垃圾的颜色特征提取与分类研究 [J]. 光学与光电技术, 2018, (2): 53-57.
- [5] 吴健, 陈豪, 方武. 基于计算机视觉的废物垃圾分析与识别研究 [J]. 信息技术与信息化, 2016, (10): 81-83.
- [6] 吴碧程, 邓祥恩, 张子憧, 唐小煜. 基于卷积神经网络的智能垃圾分类系统 [J]. 物理实验, 2019, 39(11): 44-49.

[7] 杜敬. 基于深度学习的无人机遥感影像水体识别 [J]. 江西科学, 2017, 35(01): 158-161+170.

Research on Garbage Classification System Based on Convolution Neural Network

WANG Yang, WANG Xiao-ni, WANG Yu-xin, LIU Chang XIONG Ji-wang, HAN Ding-liang

(School of Science, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: In recent years, garbage classification policies have been introduced in China, and garbage classification has become a new way of life. But there are some problems in waste classification, such as low efficiency and high cost. To solve these problems, we propose an intelligent garbage classification system based on convolutional neural network. Through the combination of software and hardware, the functions of garbage detection, garbage type identification, garbage precise delivery and result feedback are realized. The recognition rate of MSW is more than 91.7%. The system has the advantages of high recognition rate, fast classification speed, convenient iterative update and low cost.

Key words: Garbage classification; Machine vision; Convolutional neural network; Deep learning

作者简介

汪洋: 北京信息科技大学, 硕士研究生, 研究方向为物联网技术。
通信地址: 北京市海淀区小营东路 12 号

邮编: 100101

邮箱: 453894240@qq.com

王小妮: 北京信息科技大学, 副研究员, 主要从事车联网方面的研究。

王育新: 北京信息科技大学, 硕士研究生, 研究方向为物联网技术。

刘畅: 北京信息科技大学, 硕士研究生, 研究方向为物联网技术。

熊继伟: 北京信息科技大学, 硕士研究生, 研究方向为物联网技术。

韩定良: 北京信息科技大学, 硕士研究生, 研究方向为物联网技术。