

Application of Robot in Teaching Garbage Cleaning

Zhonglong Guan Jianping Shuai* Zan Gao

Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China

Abstract

This paper takes Raspberry Pi as the motion control center of intelligent garbage robot, uses visual recognition technology to track the path of the ground runway, determines the location of garbage by image visual recognition technology, and calls the robot arm to pick up the garbage and put it in the specified position. The robot has the basic functions of road information detection, tracking, searching for designated garbage and picking up garbage, there is also a buzzer prompt function. The experiments show that the intelligent garbage robot based on visual recognition technology and multichannel infrared sensor tracking technology can meet the functional requirements well in the running process.

Keywords

raspberry pi; autonomous tracking ; intelligent garbage robot

机器人在教学垃圾清理中的应用

关中龙 帅剑平* 高赞

桂林电子科技大学, 中国·广西 桂林 541004

摘要

该文研究内容是以树莓派作为智能垃圾机器人运动控制中枢, 利用视觉识别技术对地面既定路径进行寻迹, 通过图像视觉识别技术确定垃圾的位置, 调用机械臂对垃圾进行夹取后运行放到指定位置。该机器人具有路面信息检测、循迹、寻找指定垃圾以及垃圾捡拾等基本功能, 同时还具有蜂鸣器提示功能。试验表明基于视觉识别技术和多路红外传感循迹技术的智能垃圾机器人在运行过程中很好地实现了功能需求。

关键词

树莓派; 自主循迹; 智能垃圾机器人

1 引言

目前市面上的垃圾清洁机器人的缺点主要可以概括为以下方面: 首先是缺少准确的环境感知能力、实际处理垃圾的能力, 如在垃圾清理机器人运行过程中使用的主要是以无目的漫游形式运行为主的运行模式, 缺乏对某些固定线路的巡航^[1]。而且无论工作路径中检测到的物品是否真的为垃圾, 清扫机器人都会执行垃圾清理程序, 这显然不太符合实际需要。为了对以上问题进行解决, 给垃圾清理机器人配备上如摄像头模块的视觉传感器是一种被验证为现实可行的解决方案^[2]。

【课题项目】广西区级大学生创新训练项目(项目编号: C21JSM00JS0P)。

【作者简介】关中龙(2000-), 男, 中国广西贵港人, 本科, 从事自动控制研究。

【通讯作者】帅剑平(1982-), 男, 中国江西奉新人, 硕士, 讲师, 从事教育大数据研究。

因此基于此背景下, 论文通过对比市面上种类繁多的巡航小车, 最终选择了合适的产品进行研究。具有巡航功能的小车最主要利用的技术有: 各类传感器、摄像头等。此外更应该提出的是, 稳定地按照人们所给的路线行走在实际设计中是一大技术难题, 机械臂准确抓取垃圾也更是难题之一。因此论文使用的是一款以树莓派为控制中枢的智能视觉小车, 使用摄像头与多路红外循迹传感器相结合, 放弃使用单用传统的单传感器小车, 以达到更稳定巡航的目的。

2 机器人总体设计与系统实现

本中基于首先规定机器人的运行范围(模拟教室大小的不规则封闭跑道), 开发了一款基于四路循迹传感器和摄像头视觉识别技术的智能检测垃圾及清理机器人, 机器人通过底部安装的传感器自动识别路线行走, 自动识别在线路上的垃圾, 当运行到垃圾所在的位置时, 传动系统将会停止动力输出, 根据摄像头视觉识别返回的信息调用机械臂系统平台对垃圾进行自动捡拾操作, 最终完成该区域内的教学垃圾自动清洁工作。

该机器人采用 2600 mAh 可充电电池供电, 电池容量大

小完全可以满足实际使用的需求,可充电功能满足循环使用需求。该机器人的整体设计思路主要分为四大板块,分别是摄像头视觉模块,底部巡航模块和机械臂平台模块及控制中枢。

该智能巡航检测教学垃圾及清理机器人的工作流程如下:首先把机器人放到指定的发车位置,打开机器人的电源总开关,树莓派控制系统上电。机器人打开底部的循迹传感器开关,接受传感器返回的数字信号采集数据,对返回的高低电平数据进行处理,转换得到实际的底部线路信息。在代码编写的角度上看即如果返回的数据为低电平,则意味着返回数据的这一路传感器底部的颜色被识别为黑色即跑道颜色;如果返回的是高电平,则意味着返回数据的这一路传感器底部的颜色被识别为非黑色即非跑道颜色,通过定义把返回的低电平定义为0,高电平定义为1。机器人底部安装四路循迹传感器,每路传感器之间的间隔为略小于跑道的宽度。机器人在运行时只有中间两路传感器正好覆盖在跑道上方,一旦路径出现偏移,机器人则根据返回的采集到的偏差信号调整两侧电机的转速,以修正产生的偏移,保证机器人在指定的跑道上运行。

机器人通过开启摄像头模块拍摄照片,对拍摄到的照片进行分析处理,提取照片的图像特征,中枢控制系统则把处理后特征数据,与系统库预先存储的垃圾特征数据进行对比,若对比的相似度超规定的数值,则把图片中出现的物品判断为需要清理的垃圾。然后机器人控制系统将拍摄到的垃圾的图像进行二值化,垃圾的图像二值化后,就成功把图像变为黑白图像,并最终使垃圾物品为白色,其余的背景颜色均为非白色。

不过为了避免由于偶然的数据采集错误带来的误差,该机器人通过短距离后退后重新检测的方法,再次对原来判定为垃圾的物品进行重新识别和判定。由于机器人进行了短距离的后退,摄像头拍摄到的图片与原来的将会由微小的数据差异,通过对后拍摄的照片的重新识别,若依然检测为垃圾,则此物品最终被认定为是需要捡取的垃圾。当最终被鉴定为垃圾后,机器人调用机械臂平台,该机械臂具有5个自由度,每个自由度可在0度到270度之间自由转动。在调用机械臂的同时系统会根据图像处理返回的中心坐标的数值,不停地计算出拟合框区域的中心坐标。在把机械臂转动到中心坐标的位置后,张开机械臂前端的抓手并下放到垃圾的位置,夹取。然后原地旋转180°,按地面上既定的路线返回到指定的垃圾收集地点放下垃圾,再继续下一轮的巡航。

3 机械设计部分

机械设计部分的主要功能是为了保证机器人能够顺利完成行走和捡拾夹取动作。该部分主要由车架、车轮、机器臂、摄像头、循迹模块、前端抓手系统六大部分构成。

机器人底部亚克力板车架主要的作用是起支撑作用。机器人所用的整个车架大体上由两层亚克力板拼装而成的。其中,底部的亚克力板主要的作用是支撑整个系统的零部件,是所有功能元件和模块安装的基础,其整体设计符合结构力学的要求;再上面一层的亚克力板的主要作用是用来安装控制中心和搭载机械臂平台;机械臂底端的三块合金板主要是用于支持与安装机械臂和摄像头及前端的抓手等零部件,机械臂和抓手共同组成的机械手用于捡拾夹取垃圾。鉴于对制作成本以及系统整体可靠性的综合考量,在该机器人的设计开发过程中,对于所使用的材料的选择变得尤为重要。在经过材料对比后该机器人的执行舵机使用的是总线单轴型舵机ZP15S、使用的舵盘为金属型舵盘、支撑的底板为亚克力板、前端抓手为类合金抓手以及合金金属机械臂等,整体组装成可以自由夹取的机械手。该机器人的供电电源使用的是2600mAh可充电电池,电池容量理论上可以满足实际的使用需要。行走的两对轮子使用的是麦克纳姆轮,麦克纳姆轮具有稳定性高、性能稳定的显著特点。

4 控制系统设计

该教学垃圾清理机器人控制系统主要是用于控制机器人的行走循迹、垃圾的判定及捡拾夹取、垃圾的释放等。控制中枢系统部分以树莓派为控制核心,由主控模块、摄像头及图像识别模块、四路循迹模块、机械臂模块、蜂鸣器模块、电机传动模块、舵机模块等组成。

该机器人所采用的中心控制器是树莓派开发板Raspberry Pi 4B,该开发板功能强大,使用简单。树莓派的英文名字是“Raspberry Pi”,通常被简称为RPI,或RasPi/RPI,是一款尺寸较小但接口丰富的微型计算机。它的电脑主板基于ARM,在使用时可连接网络,也可以连接键盘和鼠标等输入输出设备,同时树莓派也提供了HDMI高清视频输出接口以及视频模拟信号的电视输出接口。它的数据处理能力以及逻辑计算能力完全可以满足该垃圾清理机器人系统运行的需要。

4.1 机械臂夹取设计原理

在机械臂的夹取原理设计中最主要的是舵机旋转角度的计算,该舵机旋转角度的计算运用到了逆运动学计算原理。逆运动学最基本的计算思路,是相对于正运动学而言的,对该机器人的机械臂而言,所谓的逆运动学计算就是已知末端执行器的位置和朝向,要求每个关节需要转动的角度^[1]。机器人机械臂的三维运动的设计实际上还是比较麻烦的,本文首先在二维的平面上展开运动学分析。如图1所示,其中图中的0、1、2是各个关节的角度,设为未知量 $P(x, y)$ 是末端执行器的位姿表示, x 和 y 是在OXY平面上的坐标,是末端执行器与水平面之间的夹角^[4]。以下运用几何学的方法展开具体分析。

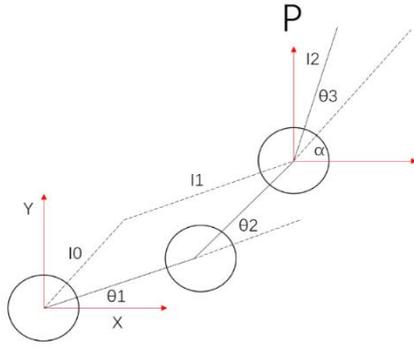


图 1 计算原理图

根据上图 1，我们可以列出以下方程：

$$x = l_0 \cos \theta_1 + l_1 \cos (\theta_1 + \theta_2) + l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (1)$$

$$y = l_0 \sin \theta_1 + l_1 \sin (\theta_1 + \theta_2) + l_2 \sin (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (2)$$

$$\alpha = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (3)$$

对公式进行化简得：

$$x = l_0 \cos \theta_1 + l_1 \cos (\theta_1 + \theta_2) + l_2 \cos (\alpha) \quad (4)$$

$$y = l_0 \sin \theta_1 + l_1 \sin (\theta_1 + \theta_2) + l_2 \sin (\alpha) \quad (5)$$

为了方便计算起见，可令：

$$m = l_2 \cos (\alpha) - x$$

$$n = l_2 \sin (\alpha) - y$$

最后对公式 (4) (5) 化简可得：

$$l_1 = (l_0 \cos \theta_1 + m)^2 + (l_0 \cos \theta_1 + n)^2 \quad (6)$$

计算可得：

$$\sin \theta_1 = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a$$

其中：

$$k = (l_0^2 - l_1^2 - m^2 - n^2) / 2l_1$$

$$a = m^2 + n^2$$

$$b = -2nk$$

$$c = k^2 - m^2$$

通过使用同样的计算方法，同理可求得 2，这样就完成了逆运动学的计算。显然可见，最终的计算结果有两个正确的方程组解，这个根据图 1 的虚线部分可以看出。一般我们选取的是虚线部分的解，这样每个关节的受力可以相对小一点^[9]。

4.2 垃圾位置中心点的确定

对于垃圾的识别设计，该垃圾清理机器人系统采用了先进且成熟的视觉图像识别技术。对垃圾识别的工作简单概述过程如下：首先摄像头对其前方的环境进行不间断拍摄，拍摄后由树莓派控制中心对拍摄的照片进行高斯滤波，然后再对图像进行腐蚀、膨胀及高斯模糊等处理，让图片看起来变得模糊，然后再把图片格式转换为 HSV 的样式，以便后续的图片识别和检测。对图片进行模型化处理后查找字典，最后通过执行边缘检测程序，绘制出矩形区域的图像，确定垃圾所在的中心坐标及相对于机械臂前端抓手的具体位置，以便返回数据调用机械臂。图片处理的主要代码摘录如下：

高斯滤波，让图片模糊：

```
blur = cv2.GaussianBlur(frame,(5,5),0)
```

```
hsv = cv2.cvtColor(blur,cv2.COLOR_BGR2HSV)
```

```
mask = cv2.inRange(hsv, color_dist[i][ 'Lower' ], color_dist[i][ 'Upper' ])
```

腐蚀图像：

```
mask = cv2.erode(mask,None,iterations=2)
```

```
mask = cv2.dilate(mask, cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_RECT, (3, 3))) # 膨胀
```

```
mask = cv2.GaussianBlur(mask,(3,3),0)
```

边缘检测：

```
cnts=cv2.findContours(mask.copy(),cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX
```

绘制矩形区域 frame 图像，确定物体位置：

```
cv2.line(frame,(int(width/2)-10,int(height/2)),(int(width/2)+10,int(height/2)),(0,0,0),1)cv2.line(frame,(int(width/2),int(height/2)-10),(int(width/2),int(height/2)+10),(0,0,0),1)
```

该机器人的视觉模块可以完整捕捉到垃圾的图像，通过边沿检测算法绘制出了垃圾或物品的边沿，并使用黄色矩形框对识别到的垃圾进行捕获。机器人的视觉识别并不依赖于物品的具体形状，无论是圆形还是长方形还是轮廓不规则的物体，该机器人都可以较准确地识别出物品的具体边沿轮廓。清理机器人首先检测到了垃圾的存在，然后通过高斯滤波，让图片周围变得模糊，再转换为 HSV 格式，根据物品和背景的图像数据不同，识别出垃圾物品与背景的界限，从而画出黄色实线表示的拟合矩形框。机器人可以根据识别到的物品的边沿，通过计算得出物体相对于机械臂前端抓手的具体位置和物体的中心坐标，再把中心坐标的数据回传到控制中心。由控制中心根据机械臂的逆运动学计算，代入中心坐标的数据得到机械臂的每个舵机应该转动的角度值，从而完成调用机械臂对垃圾物品进行夹取。由于光照条件变化不均匀等原因，在调试过程中也发现了代码执行过程中存在有偶然的识别错误以及识别不完全的情况。

5 结语

通过软件和硬件相结合设计制作的方式建造的该机器人，对目前教室存在的垃圾问题给出了现实可行的解决方案。论文通过利用机器人自动化清理的方式解决了教师需要在课前、课后时间清理教室垃圾的问题，极大节约了教师及同学们的时间，减少了人力的使用，避免了教师和同学们把时间用在各种零零落落的细小事件中。该教学垃圾检测及清理机器人解决了视觉感知的垃圾检测与夹取以及行驶区域的检测问题，并在自主搭建的智能垃圾机器人试验平台上进行功能性验证。

该机器人系统在自搭建试验平台的基础上，研究了垃圾识别和利用机械臂捡拾垃圾、智能寻迹的模型与方法，并

论证了其现实的可能性。论文所介绍的教室垃圾清理机器人视觉上采用了成熟的智能摄像头识别技术，机器人定线运动上采用了四路传感循迹和PID控制算法相结合的技术，实现了智能化的指定垃圾收集和垃圾清理机器人的自动、稳定运行；采用机械臂和机械抓手实现了对指定垃圾的智能化夹取和定点收集。通过实践表明，该机器人具有较高的实用性，但在实际应用场景下，教室环境与垃圾种类具有很强的复杂性和随机性，最终的检测结果不可避免地存在数据误判等情况。

参考文献

- [1] 宁凯,张东波,印峰,等.基于视觉感知的智能扫地机器人的垃圾检测与分类[J].中国图象图形学报,2019,24(8):1358-1368.
- [2] 黄学飞,桂艳,邝卫华,等.基于视觉识别技术的智能垃圾机器人设计[J].自动化与仪表,2018,33(11):52-55.
- [3] 李斯雨,闵华松,王琪.拟人机械臂关节等效的运动学映射算法[J].计算机工程与应用,2022(6):1-10.
- [4] 曾波.机械臂轨迹规划和控制研究[D].贵阳:贵州大学,2021.
- [5] 孙立新,耿庆琳,唐家豪,等.存在关节限位的冗余机械臂逆运动学研究[J].现代制造工程,2022(8):46-52.