



基于机器视觉的垃圾分拣机器人设计*

千承辉,侯天远,肖若兰,张小键

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院,长春 130012)

摘要:设计了一款基于机器视觉的垃圾分拣机器人,其利用陀螺仪和编码器配合 GPS 进行路径规划、摄像头配合超声波模块进行物体检测、机械臂进行垃圾的抓取。为了准确识别垃圾种类,采用 SIFT 图像匹配算法利用逆运动学求解进行机械臂轨迹的规划。经测试,机器人能够正确识别大多数带有商标垃圾而不受光照等因素的影响,并能够完成对具有一定形状的垃圾的抓取,初步实现了垃圾分拣的目的。

关键词:机器视觉;垃圾分拣;机械臂;路径规划

中图分类号: TP242.3

文献标识码: A

Design of Garbage Sorting Robot Based on Machine Vision

Qian Chenghui, Hou Tianyuan, Xiao Ruolan, Zhang Xiaojian

(College of Instrument and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: A machine vision-based garbage sorting robot is designed. It uses gyroscope and encoder to cooperate with GPS for path planning, camera with ultrasonic module for object detection, and robot arm for garbage capture. In order to accurately identify the type of garbage, the SIFT image matching algorithm is used to solve the trajectory of the robot arm by inverse kinematics. After testing, the robot can correctly identify most of the trademarked garbage without the influence of light and other factors, and can complete the pair. The grasping of certain shaped objects has initially achieved the goal of garbage sorting.

Key words: machine vision; garbage sorting; robotic arm; route plan

引言

垃圾分拣是垃圾处理过程的重要环节,其实现过程主要包括定位、识别、抓取和放置。现存的垃圾多由环卫工人手动分拣,工作强度大、效率低而且严重危害环卫工人身体健康^[1]。国外 FRANKE 公司设计了 LD 系列以及 FWD 系列家用垃圾处理器。英国发明的 Magpie 垃圾处理系统能快速、自动地实现垃圾分类^[2]。国内关于垃圾自动分类的装置研究时间较短。但是当前出现的垃圾分拣装置体积较大,位置固定,在没有工人参与下不能独自解决垃圾分类问题。

本文提出设计一种小型化垃圾分拣机器人,进行了机器人的机械结构、硬件电路以及系统软件的设计。结合多种传感器实现了在规划的路径上行进,发现、识别并拾取垃圾的目的。该垃圾分拣机器人具有体积小、地形适应性强、抗干扰能力强等特点。

1 系统设计

1.1 系统硬件电路设计

系统硬件电路包括外界信息采集传感器、驱动电路、控制器以及电源模块。选用 Intel 的 UP2Board 微型计算机作为主控制器,它搭载奔腾 N4200 处理器,拥有 4 GB LPDDR 内存和 64 GB eMMC 硬盘,用来采集图像数据,进行物体种类识别并对下位机提供的传感器数据进行处理。从控制器采用意法半导体公司的 STM32F103C8T6,其基于 Cortex-M3 内核,具有丰富的外设接口,例如 USART、I²C、定时器等,能够全面实现多传感器数据的采集。摄像头采用蓝色妖姬 70P 摄像头,该摄像头支持 1080P 高清图像,视频捕获率高于 30 fps,图像信息可由 USB 线缆传输。超声波模块采用 HC-SR04,其测量范围为 HC-SR04,精度可达 3 mm。系统硬件框图如图 1 所示。

1.2 系统机械结构设计

设计的垃圾分拣机器人整体框图以及实物图如图 2 所示,整体的机械结构主要分为 4 部分。第一部分为履带车底盘,其由两个对称安置的直流电机作为驱动装置,可

* 基金项目:国家级大学生创新实验计划基金项目(2017A65284)。

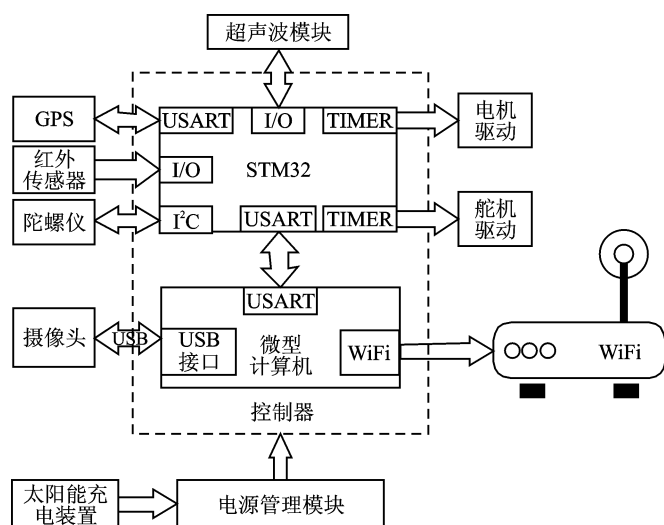


图1 系统硬件框图

承重高达 10 kg,履带车作为底盘使得机器人具有更强的地形适应能力。第二部分为安装在履带车底盘顶部的 50 cm×50 cm×9 mm 的亚克力平台,在该平台上安装了三个 15 cm×15 cm×20 cm 的收纳盒、硬件电路、太阳能电池板以及在两侧对称分布的舵机云台。第三部分为分别安装在两个舵机云台上的六自由度机械臂,分布在机器人两侧的机械臂负责抓取以各自云台为原点,角度为 180°,半径为 40 cm 的区域内的垃圾。第四部分为如图 2 (b)所示的图像采集装置。该装置由安装在舵机云台上方的超声波和摄像头装置构成,其可以环视角度为 180°范围内的物体,并通过超声波确定物体的距离。

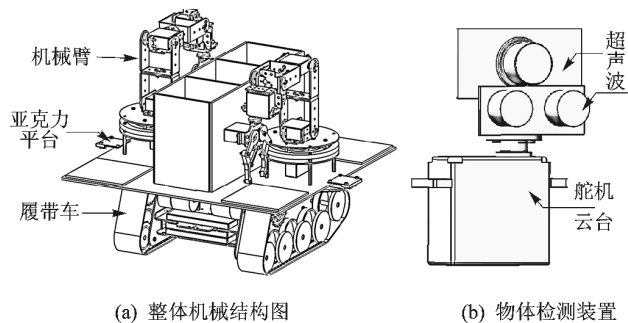


图2 机械结构图

2 算法设计

2.1 图像识别算法

垃圾分拣机器人首要任务是完成物体的检测与种类识别。视觉系统不仅要快速识别出物体种类,还要尽量避免因光照、图像尺度、旋转以及变形而造成的误判^[3]。因此本系统采用 SIFT 特征提取算法^[4-6],SIFT 算法流程如下:

首先利用垃圾图像建立尺度空间:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \times I(x, y) \quad (1)$$

式中, σ 为尺度空间因子, $G(x, y, \sigma)$ 为高斯核函数, $I(x, y)$ 为经过灰度化处理的垃圾图像。获取差分高斯空间如下:

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] \times I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, k 为相邻两层尺度空间的比例因子。垃圾图像各个像素点要和同一尺度空间以及相邻的尺度空间相邻点比较,若该点小于或者大于周围像素点,则其即为极值点。

然后进行垃圾图像中关键点的精确位置确定:上述差分空间 $D(x)$ 为离散函数,为求得精确极点位置将其转换为连续函数,因此将其进行泰勒展开:

$$D(x) = D + \frac{\partial D}{\partial x} \Delta x + \frac{1}{2} \Delta x^T \frac{\partial^2 D}{\partial^2 x} \Delta x \quad (3)$$

解得精确极值点位置为 $\hat{x} = (x, y, \sigma)^T$ 。

获取特征点方向:经过第二步之后找到了关键点,进而确定了尺度空间因子 σ ,计算以关键点为中心, $3 \times 1.5\sigma$ 为半径的区域内每个点 $L(x, y)$ 的幅值 $m(x, y)$ 和角度 $\theta(x, y)$ 。利用直方图统计出关键点的主方向。

$$m(x, y) =$$

$$\sqrt{[L(x+1, y) - L(x-1, y)]^2 + [L(x, y+1) - L(x, y-1)]^2} \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \quad (5)$$

最后对垃圾图像进行关键点的描述,得出垃圾图像的描述子,该描述子即为进行图像匹配所需的特征。

2.2 机械臂抓取算法设计

本系统中,垃圾分拣机器人需要根据目标物体位置,利用逆运动学算法得出各个机械臂关节的角度^[7],给定机械臂末端的位置和朝向,采用 D-H 法对机械臂进行建模分析,在每个关节建立坐标系,通过齐次变换描述坐标系之间的位姿变换^[8],最后逆向求解得到每个机械臂关节的角度^[9-10]。在本设计中采用六自由度机械臂,如图 3 所示,将云台放置在基坐标系 (x_0, y_0, z_0) 的中心处,其旋转角度通过末端位置的 x, y 值确定,以图 3 中的 (X, Y) 坐标系为二维平面坐标系。

其中末端位姿为 (x, y, β) ,则有 $\beta = \beta_2 + \beta_1 + \beta_0$,假设 $a_6 = a_4 + a_5$, $k = a_6 \times \cos\beta - x$, $z = a_6 \times \sin\beta - y$,则:

$$a_3 = (a_2 \times \cos\beta_0 + k)^2 + (a_2 \times \sin\beta_0 + z)^2 \quad (6)$$

最终可以得到

$$\beta_0 = \arcsin\left(-n \pm \frac{\sqrt{n^2 - 4mc}}{2m}\right) \quad (7)$$

其中, $b = \frac{(a_3^2 - a_2^2 - k^2 - z^2)}{2a_2}$, $m = k^2 + z^2$, $n = -2zb$, $c = b^2 - k^2$ 。

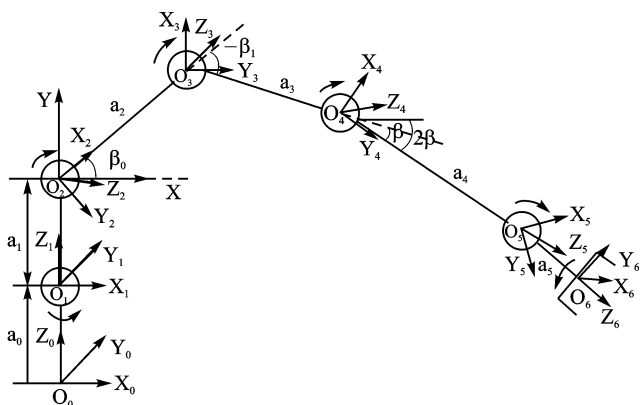


图3 机械臂模型图

用同样的方法可以求得 β_1 的值, 最终得到机械臂各个关节角度值。

2.3 履带车路径规划算法设计

设履带车当前所在位置坐标为 $(0, 0)$, 终点坐标为 (x_F, y_F) , 车轮直径为 d 。t 时刻履带车的坐标为 (x_t, y_t) , 陀螺仪航向角为 θ_t , 编码器脉冲个数为 n_t 。其中:

$$x_t = x_{t-1} + l \times \sin \theta_t \quad (8)$$

$$y_t = y_{t-1} + l \times \cos \theta_t \quad (9)$$

$$l = \pi \times d \times n_t \quad (10)$$

式中, $t \geq 1$, 令 (x_t, y_t) 逐渐逼近 (x_F, y_F) 即可到达规定终点。

3 系统软件设计

垃圾分拣机器人的整体工作流程如图4所示, 机器人启动后按照预先规划好的路径行进, 与此同时机器人身体两侧的摄像头不断采集图像, 当主控制器检测到有目标存在, 则对其种类进行识别, 之后主控制器发出停止命令, 机器人停止运动, 然后安装在舵机云台上的超声波模块在 $0 \sim 180^\circ$ 范围内扫描, 确定物体到超声模块的距离并根据舵机云台所转过的角度计算物体的坐标。从控制器接收到种类及坐标数据后控制机械臂抓手进行抓取, 并将被抓取垃圾放置于相应种类垃圾收纳箱内, 完成该过程后机器

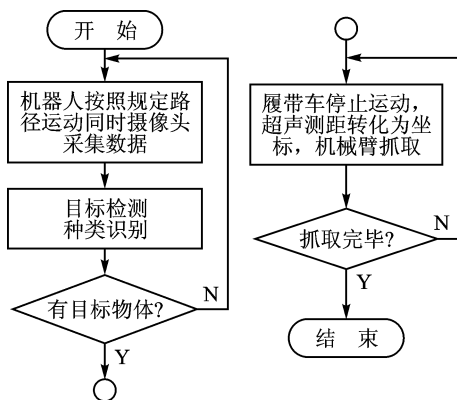


图4 软件流程图

人继续按照规定路径行进, 同时摄像头采集数据。

4 结果分析

4.1 物体检测结果分析

如图5所示, 进行奶盒的图像识别时, 共提取出 263 个特征点, 其中与数据库中奶盒样品图像的特征点相匹配的个数为 177, 结果十分理想。



图5 SIFT 算法图像匹配结果

物体检测包括物体类别及物体位置的确定。实验结果如表1所列, 对物体种类进行判断的依据是物体图像的角点、边和斑点特征^[6-7], 因此对于具有商标图案信息的易拉罐、牛奶盒、矿泉水瓶的识别正确率较高^[8], 而对于纸团的识别正确率很低。物体位置确定测试结果表明, 硬质材料的检测准确度较高。

表1 测试结果

参数	种类识别结果				位置确定结果			
被测对象	A	B	C	D	A	B	C	D
测试次数	50	50	50	50	50	50	50	50
正确次数	46	47	44	6	49	46	48	5

注: A-易拉罐; B-牛奶盒; C-矿泉水瓶; D-纸团。

4.2 机械臂抓取结果分析

对机械臂进行测试的方法如下: 通过串口向机械臂发送目标物体的类别及位置信息, 观察机械臂是否能够准确抓取到目标物体并且将放置于相应垃圾箱内。图6中‘·’为给机械臂的指定位置, ‘x’为机械臂实际落点位置, 由于存在超声测距误差和机械臂尺寸误差, 机械臂抓手不能准确到达指定位置, 但是通过改进抓手的尺寸和结构, 解决了这一问题, 提高了抓取成功率。

结 语

本文设计了基于机器视觉的垃圾分拣机器人, 其上安装陀螺仪和编码器能够在规划的路径上行进, 能够通过摄像头完成垃圾种类识别, 超声波模块确定垃圾位置, 并利

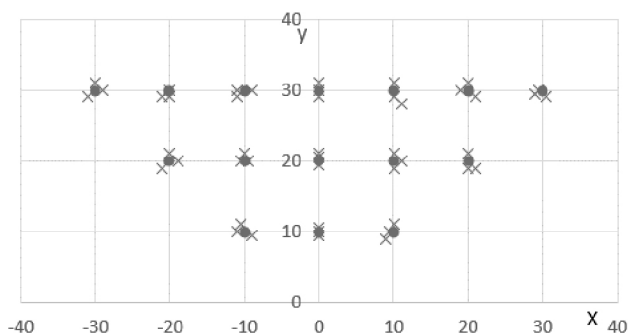


图6 机械臂抓手落点分析

用机械臂完成垃圾的拾取、放置。本文设计的机器人不受光线影响、地形适应能力强,初步实现了垃圾拾取的小型化、自动化,为垃圾拾取机器人提供了参考。

参考文献

- [1] 廖如琨,黄建忠,杨丹蓉. 中国城市生活垃圾分类处理现状与对策[J]. 职业卫生与病伤,2012,27(1):30-34.
- [2] Liu H C, Wu J, Li P. Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision making method [J]. Waste Management, 2013, 33 (12): 2744-2751.
- [3] 王金龙,周志峰. 基于 SIFT 图像特征提取与 FLANN 匹配算法的研究[J]. 计算机测量与控制,2018,26(2):175-178.

- [4] Tan X. Image Retrieval via CURE Clustering and SIFT Algorithms[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013(303-306): 1573-1576.
- [5] Bing-Jie Q I, Liu J G, Zhang B Y, et al. Research on matching performance of SIFT and SURF algorithms for high resolution remote sensing image[J]. Chinese Optics, 2017, 10(3): 331-339.
- [6] 佚名. 基于 SIFT 算法的图像特征点提取和匹配研究[J]. 南京医科大学学报:自然科学版, 2013(2):286-290.
- [7] 李盛前,谢小鹏. 基于旋量理论和 Sylvester 结式法的 6 自由度机器人逆运动学求解分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20):48-54.
- [8] Koker. A genetic algorithm approach to a neural-network-based inverse kinematics solution of robotic manipulators based on error minimization[J]. Information Sciences, 2013, 222(3):528-543.
- [9] 肖俊明,韩伟,王璠璠,等. 六自由度机械臂运动学分析与仿真研究[J]. 中原工学院学报, 2018, 29(4):77-83.
- [10] Jiang Q, Kumar V. The Inverse Kinematics of Cooperative Transport With Multiple Aerial Robots[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2013, 29(1):136-145.

千承辉(高级工程师),主要研究方向为传感器与智能仪器。

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2019-03-12)

ST 携手艾睿电子发布符合小型发动机排放新规的电子燃油喷射参考设计方案

为帮助车企满足即将到来的单双缸汽油发动机排放法规,意法半导体和艾睿电子公司携手发布了一个功能完整的电子燃油喷射(EFI)系统电控制单元(ECU)参考设计方案。SPC5-L9177A-K02 电控单元参考设计方案的面向对象是必须满足即将到来的欧五、印度 Bharat Stage VI(BSVI)和国四及未来的国五排放标准的摩托车、踏板车、三轮摩托车等小排量机动车,并且还可用于配备 EFI 电控单元的发电机、船舶发动机和农用发动机。

参考设计方案的主要组件是意法半导体的 SPC572L 系列 32 位 PowerArchitecture 汽车动力总成微控制器和为小排量发动机应用和市场需求专门设计的集成电源、通信接口和负载执行器的 L9177A 高集成度 IC。意法半导体的 STGD18N40 IGBT 和 L9616 CAN 接口 IC 也包括在内。

参考设计板可供客户直接开发应用,并配备一个完善的开发生态系统,其中包括 SPC5Studio 集成开发环境(IDE)(包括底层驱动程序)、SPC572L 系列通用定时器模块(GTM)配置器、发动机曲轴位置传感器和执行器动力总成软件库。为了应对与电子燃油喷射相关的复杂挑战,意法半导体与 eMoticom 公司合作开发了一个基本应用软件,帮助用户启动和管理单缸发动机。

SPC572L 系列属于意法半导体 32 位高性能系列汽车微控制器系列,用于管理四缸以下的汽柴油发动机,以及底盘、变速箱、转向系统和制动系统。SPC572L 系列集成复杂的 GTM 智能定时器模块、16 个输入通道、56 个输出通道、带仿真 EEPROM 的 1.5 MB 读写同步(RWW)闪存、64 KB 通用数据 SRAM、两个解串/串行外设接口(DSPI)模块、增强型模数转换器系统和自检功能。

L9177A 片上集成稳压电源和执行器,可以控制两缸以下的内燃机,利用意法半导体专有的 BCD 制造工艺,在一颗芯片上集成逻辑电路和电源电路,包括有热关断功能的 300 mA 5 V 稳压器和有电池短路保护功能的 5 V 跟踪式稳压器,以及两个低 RDS(ON)导通电阻的喷油器驱动器、用于控制发动机怠速的步进电机驱动器、氧传感器加热器输出和全面的诊断功能。