

小型软体抓取机器人的系统设计

王志凌

(金陵科技学院机电工程学院, 江苏 南京 211169)

摘 要:相比于传统的刚性机器人,软体抓取机器人的抓取装置具有更高的柔性和自适应性,可以实现对易碎、不规则形状、球形、棒状等物品的抓取与移动,可操作性高,设计和维护成本相对较低。设计的软体抓取机器人以 STM32 为控制核心,利用激光测距传感器扫描实现物体的自动检测定位,以球形自适应手为载体,利用阻塞原理,通过真空泵对软体手内部施加负压,实现软体手对多种物体的灵活抓取。

关键词:软体机器人;自适应抓取;阻塞原理;智能控制

中图分类号:TP241.3

文献标识码:A

文章编号:1672-755X(2021)01-0035-05

Design of Small Soft Grasping Robot System

WANG Zhi-ling

(Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: Compared with the traditional rigid robot, the grasping device of soft grasping robot has higher flexibility and self-adaptability, which can realize the grabbing and moving of fragile, irregular shaped, spherical, rod-shaped and other objects, with high operability and relatively low design and maintenance cost. The soft grasping robot designed in this project takes STM32 as the control core and realizes the automatic detection and location of objects with laser ranging sensor scanning. With the spherical adaptive hand as the carrier, it uses the blocking principle to apply negative pressure to the soft hand through a vacuum pump, which realizes flexible grasping of various objects by soft hand.

Key words: soft robot; adaptive grasping; blocking principle; intelligent control

20 世纪中叶第一台工业机器人的诞生拉开了机器人时代的帷幕。随着现代科技的高速发展,机器人在自动化领域得到了广泛的应用。传统的刚性机器人以高刚度、高强度、高精度、高速度的特点在工业领域得到广泛应用,众多的科研技术人员试图将刚性机器人从工业生产线应用扩展到其他领域(如家政服务、助老助残、农业自动化、医疗康复等),但是刚性机器人严重依赖结构化环境和精确数学模型,在非结构化环境中与复杂多变的对象进行交互作业时,难以用精确的数学模型进行描述,因此无法胜任此类工作^[1]。

软体机器人以自然界的软体生物为原型,其躯体主要由可以承受大变形的弹性材料构成,可以连续地变形,具有极高的自由度^[2]。软体机器人可以根据实际需要任意地改变自身的形状和尺寸,在更加复杂的环境中作业。相比于传统的刚性机器人,软体机器人具有更高的安全性和更好的环境相容性,在工业生

收稿日期:2020-12-07

基金项目:国家自然科学基金(51905242);金陵科技学院“科教融合”项目(2020KJRH12);金陵科技学院高层次人才科研启动基金(jit-b-201823)

作者简介:王志凌(1979—),女,黑龙江鹤岗人,副教授,博士,主要从事测控技术、结构健康监测技术研究。

产、医疗服务、军事探测等方面具有广阔的应用前景^[3-5]。

软体抓取机器人是一种高柔性的抓取产品,它拥有仿制人手的柔性机械手,能够按照一定的要求和流程,做出一些和人一样的动作,且设计和维护成本相对较低。软体手抓取装置具有较高的柔性和自适应性,可以实现对易碎、不规则形状、球形、棒状等物品的抓取与移动^[6-9]。本项目设计的小型软体抓取机器人以球形自适应手为载体,利用阻塞原理,通过真空泵对软体手内部施加负压,利用激光测距传感器进行实时扫描和物体定位,主控芯片根据获得的信号进行算法分析,控制机械臂移动以实现指定物体的抓取与移动。

1 系统架构及工作原理

本系统主要由 5 部分组成,如图 1 所示。1)物体定位模块:负责对待检区域进行实时扫描,并将物体位置信息上报给控制模块。2)控制模块、机械移动模块和软体手抓取模块:控制模块分析物体定位模块上报的信息,控制机械移动模块使机器人移动到物体所在位置,然后控制软体手对物体进行抓取,再控制机械移动模块将物体移动到指定区域,最后控制软体手释放物体。3)供电模块:为系统各部分提供电源。

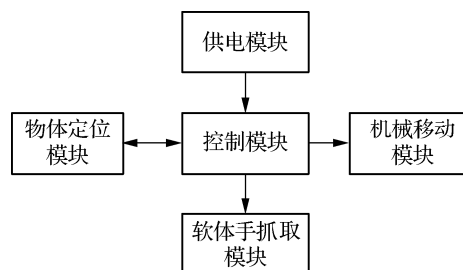


图 1 小型软体抓取机器人系统框

软体手表面材质为弹性薄膜,内部填充物为直径 1 mm 的细小颗粒,软体手与机械臂和微型真空泵连接,机械臂带动软体手到指定位置。机械手臂组轻便,具有多关节,可进行灵活运动,操作简便^[10]。真空泵保证软体手实现抓取功能,在软体抓取手内部的每个单元含有空气和微粒,当软体手内部由于气体抽取发生气压变化时,未阻塞部位发生形变,以接触面向外扩展,根据目标物体形状包裹目标物体,从而实现抓取功能。

2 系统硬件设计

本系统硬件框如图 2 所示。

1)STM32 控制部分。控制芯片选用 ST 公司的 STM32F103C8T6,是一款基于 ARM Cortex-M 内核 STM32 系列的 32 位的微控制器,程序存储器容量是 64 kB,单电源供电,外接晶振和复位电路即可,最小系统电路非常简洁。STM32F103 集成了 ADC、IIC、SPI、USART 等丰富的外设接口以及多路 GPIO,满足本系统的设计需求,具有较高的性价比。

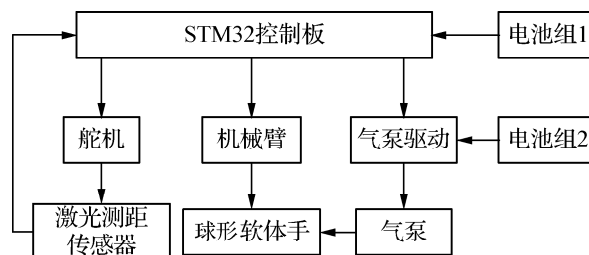


图 2 小型软体抓取机器人硬件框

2)系统供电。根据系统负载电压及电流要求,本系统供电由两组电池构成,供电方案如图 3 所示。电池组 1 为 7.4 V 锂电池组,经过降压分别为舵机以及控制板供电;电池组 2 为 12 V 锂电池组,经过 L298N 模块后为微型真空泵供电。

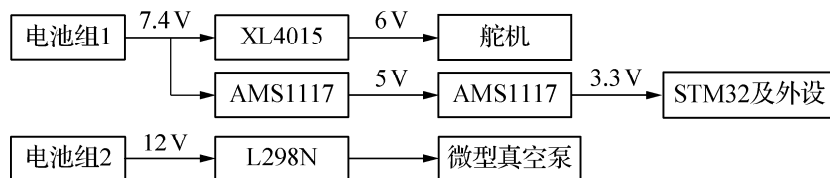


图 3 系统供电方案框

3)物体定位电路。本设计通过控制舵机 SG90 旋转带动激光测距传感器实时扫查,读取距离信息并结合角度信息计算得到物体位置,从而实现物体定位功能。

本设计选用的激光测距传感器为 VL53L0X,是 ST 公司新一代飞行时间 (ToF) 激光测距模块,集成 940 nm 激光器和内嵌微控制器,通信接口为 IIC 接口,最大测量距离为 2 m,供电电压为 2.6~3.5 V。

VL53L0X 支持高精度、高速和远距离 3 种模式。舵机 SG90 供电电压为 3.5~6 V,转角为 180°,反应速度为 $0.12 \sim 0.13 \text{ s} \cdot (60^\circ)^{-1}$ 。

4) 气泵与驱动电路。本系统采用微型真空泵对软体手内部气压进行控制,从而实现软体手对物体的抓取与释放。选用的微型真空泵所需电压为 12 V,工作时消耗的电流为 500 mA,额定功率为 6 W。选用 L298N 模块驱动微型真空泵,如图 4 所示。L298N 是一款接受高电压的电机驱动芯片,可以驱动直流电机和步进电机。一片驱动芯片可同时控制 2 个直流减速电机做不同动作,在电压为 6~46 V 时,L298N 可以提供最大为 2 A 的电流,并且具有过热自断和反馈检测功能。本文中 L298N 供电采用 12 V 锂电池组方案,由 3 节 18650(3.7 V/4 800 mAh)锂电池组成。enable A/B 为驱动器使能引脚,IN1/2 和 IN3/4 为逻辑控制输入引脚,OUT1/2 和 OUT3/4 分别为输出引脚。

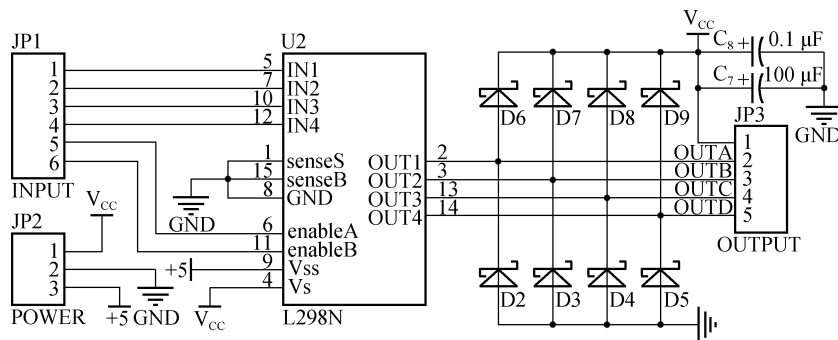


图 4 L298N 模块

5) 机械臂及驱动电路。机械臂由 4 个关节组成,每个关节使用 1 个金属数字舵机,型号为 TBS-K20。金属数字舵机堵转扭矩为 20 kg·cm(6.6 V),可控角度为 270°,速度可调,舵机精度为 0.24°;控制方式为 PWM 脉冲信号,脉宽为 0.5~2.5 ms,控制周期为 20 ms;舵机供电电压为 5~8.4 V,空载电流为 100 mA。舵机电源电路如图 5 所示,选用 XL4015 作为 DC-DC 电源转换芯片,最大可持续输出 5 A 电流;通过改变 FB 引脚电压,可以调节输出电压。本设计使用 4 个 TBS-K20 舵机,编号为 0~3。

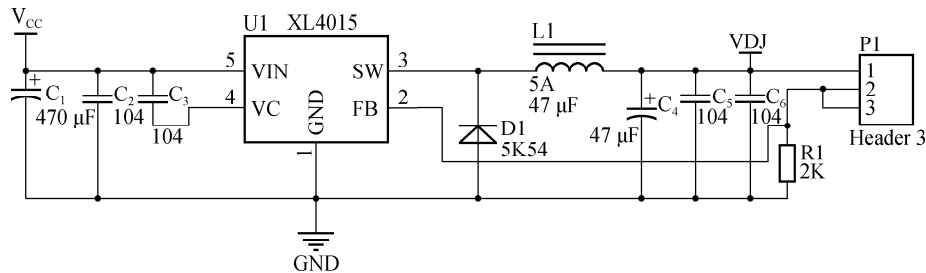


图 5 舵机电源电路

3 系统软件设计

1) 系统软件流程图。系统软件设计开始时,首先应该完成 STM32 微控制器的初始化,包括系统时钟、I/O 口、定时器、中断控制器等的初始化配置,再进行物体检测、机械臂移动、软体手吸附抓取及释放等功能的设计。系统上电后,首先进行物体的检测。如果存在物体,则控制机械臂移动到物体上方。然后降低软体手直至压在物体上,此时启动真空泵对软体手内部施加负压,实现球形软体手对物体的抓取。再控制机械臂抬起,移动到物体放置区上方,降低软体手并关闭真空泵,实现物体的释放。最终控制机械臂回到初始位置,继续进入检测物体的状态。系统软件流程如图 6 所示。

2) 物体自动定位与机械臂控制。物体定位俯视示意图如图 7 所示。 O 点为激光测距传感器所在位置,即扫描舵机 SG90 转轴所在位置,建立坐标系 XOY ; P 点为机械臂底盘中心位置,也就是舵机 0 转轴所在位置; D 为机械臂底盘中心到激光测距传感器的距离, D 为 10 cm。假设 A 点和 B 点分别对应物体的两

个边缘, L_{AO} 和 L_{BO} 分别为测到的距离(通过读取激光测距传感器获得), α 和 β 分别为对应的角度(程序控制扫描舵机的转角, 为已知量), 则可以计算出 A 点和 B 点的位置; 再计算出线段 AB 的中点 C , 作为物体中心点, 即物体的抓取位置; 通过坐标变化, 进而可以得到舵机 0 需要转动的角度 ω_0 及物体距离舵机 0 转轴的距离 L 。

物体定位侧视图见图 8。本系统使用一个激光测距传感器, 识别障碍物平面信息, 舵机 3 与软体手之间的机械臂平行于水平面, 该段机械臂距离地面高度 H_1 为 5 cm。 H_2 为舵机 1 转轴所在垂直高度, 为 7.5 cm; L_1 、 L_2 与 L_3 分别为对应的机械臂臂长, 实测 $L_1 = 10.5$ cm, $L_2 = 10$ cm, $L_3 = 15$ cm。 $\omega_1 \sim \omega_3$ 分别为舵机 1~3 需要控制的转角。

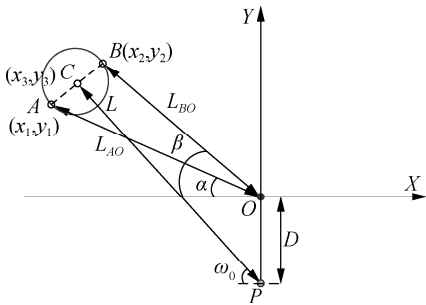


图 7 物体定位示意图(俯视图)

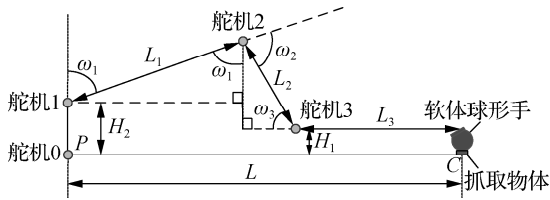


图 8 物体定位示意图(侧视图)

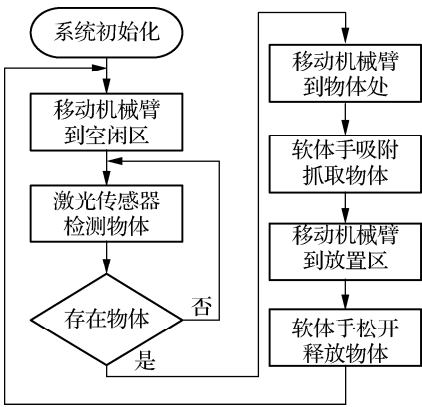


图 6 系统软件流程

根据图 8 中两个直角三角形角度和边长关系, 可以得到如下公式:

$$L_1 \times \sin \omega_1 + L_2 \times \cos \omega_3 = L - L_3 \tag{1}$$

$$L_2 \times \sin \omega_3 - L_1 \times \cos \omega_1 = H_2 - H_1 \tag{2}$$

$$\omega_1 + \omega_2 + 90^\circ - \omega_3 = 180^\circ \tag{3}$$

从而可以得到舵机 1~3 需要控制的转角 $\omega_1 \sim \omega_3$, 实现物体位置的识别以及控制机械臂抓取。

4 功能测试

小型软体抓取机器人系统实物如图 9 所示, 主要包括 STM32 控制板、PWM 舵机组成的机械臂、球形软体手、激光测距传感器、微型真空泵、扫描舵机、直流电机驱动模块 L298N、12 V 锂电池组、7.4 V 锂电池组。

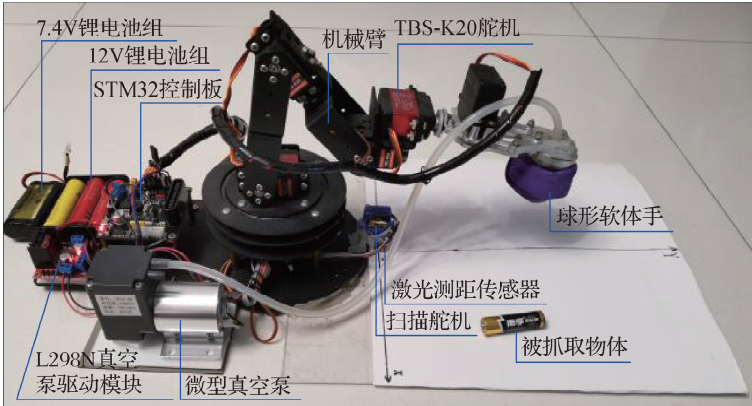
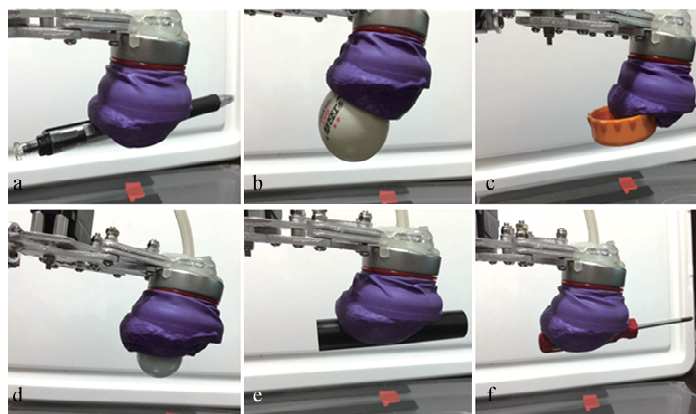


图 9 小型软体抓取机器人实物图

通过实验,本系统可以实现物体在水平面的定位,并能成功抓取圆珠笔、球形物体、不规则形状物体、表面光滑且易碎的玻璃珠、不同材质的棒状物体(图 10),抓取每种物体各 10 次,总成功率为 90% 以上,基本达到功能设计要求。



注:a~f 中的抓取对象分别为圆珠笔、乒乓球、瓶盖、玻璃弹珠、口红、螺丝刀

图 10 抓取多种物体的效果图

5 结 语

本系统以 STM32 为控制核心,通过激光传感器扫描物体获得物体位置信息,进而计算得到机械臂各关节舵机需要转动的角度,控制机器臂移动到物体所在位置,并通过微型真空泵对软体手内部施加负压,实现球形软体手对物体的抓取。本研究设计的小型软体抓取机器人简化了复杂的操作程序,运行稳定,实时性强,后续可以进一步针对软体球形手的材质和体积进行设计,并扩展到实际工业生产、医疗服务、军事探测等应用领域中,满足各领域对特殊物体对象抓取的需求。

参考文献:

- [1] 谭民,王硕. 机器人技术研究进展[J]. 自动化学报,2013,36(7):963-972
- [2] WANG L, LIDA F. Deformation in soft-matter robotics: a categorization and quantitative characterization[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2015(3):125-139
- [3] 王国彪,陈殿生. 仿生机器人研究现状与发展趋势[J]. 机械工程学报,2015(13):27-44
- [4] 张进华,王韬,洪军,等. 软体机械手研究综述[J]. 机械工程学报,2017(13):19-28
- [5] CHENG S, NARANG Y S, YANG C, et al. Stick-on-large-strain sensors for soft robots[J]. Advanced Materials Interfaces, 2019,6(20):1900985
- [6] BAUMGARTNER R, KOGLER A, STADLBAUER J M, et al. A lesson from plants: high-speed soft robotic actuators[J]. Adv Sci, 2020,7(5):1903391
- [7] 尹顺禹,许艺,岑诺,等. 软体智能机器人的系统设计与力学建模[J]. 力学进展,2020,50(6):195-200
- [8] 袁俊杰,朱鹏程. 基于 ARM 和 FPGA 的软体机器人的 CAN 总线运动控制器的设计[J]. 科学技术与工程,2020,20(20):8261-8267
- [9] 罗凯,田强,胡海岩. 软机器动力学建模与仿真研究进展[J]. 中国科学:物理学 力学 天文学,2020,50(9):92-103
- [10] 王庆燕,刘小平,张嘉亮,等. 六足机器人协同运动建模与控制方法研究[J]. 金陵科技学院学报,2019,35(4):29-33

(责任编辑:湛 江)