

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.06.017

多功能模块化居家整理机器人的结构设计

酆滢澄, 虞泽宇, 张龙涵, 郭兆阳, 马新玲

(华东理工大学机械与动力工程学院, 上海 200237)

摘要:为了实现日常居住环境的智能化,课题组设计了一款基于语音识别和移动端APP控制的多功能模块化居家整理机器人。采用树莓派处理信息、下达指令,利用单片机控制的摄像头对物品进行识别,通过超声波和红外线2种测距模块实现机器人整体避障和循迹,由搭载的6轴机械臂及配套机械爪对物品进行抓取与整理。设计了该机器人的机械爪模块、升降转台、清洁模块、万向移动底盘和摩天轮置物台等结构。实物样机运行结果表明:该机器人能够有效抓取不同形状的物品,使用过程自动化程度高,环境适应性强,整理与搬运效率高。

关键词:智能家居;人机交互;机械抓取;模块化;树莓派

中图分类号:TP242.3;TH122 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2020)06-0086-06

Structural Design of Multifunctional Modular Home Tidying Robot

LI Yingcheng, YU Zeyu, ZHANG Longhan, GUO Zhaoyang, MA Xinling

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Aiming at the achievement of smart daily living environment, a multifunctional modular home tidying robot based on voice recognition and mobile APP control was designed. Raspberry Pi was used to process information and issue instructions, and the single-chip controlled camera was used to identify objects. The overall obstacle avoidance and tracking of the mechanical structure was realized through ultrasonic and infrared ranging modules, and the equipped six-axis robotic arm with supporting machinery claw were used to grasp and arrange the objects. Various mechanical structures of the robot such as mechanical claw modules, lifting turntables, cleaning modules, universal mobile chassis and Ferris wheel storage tables were designed. The operation results of the physical prototype shows that the robot can effectively grasp objects of different shapes, with high level of automation in the use process, strong environmental adaptability and high efficiency in sorting and handling.

Keywords: smart furniture; human-computer interaction; mechanical grasping; modularization; Raspberry Pi

近年来,德国提出的“工业4.0”与中国提出的“中国制造2025”引领了工业数字化、智能化的潮流。在化工、机械装配等工业过程中,物料的储存与取用环节已率先实现数字化、智能化,无人叉车、AGV小车等仓储管理机器人应运而生^[1-2]。但是,此类小车存在诸多亟待解决的问题:首先它往往适用于物流管理、工业打包后形状规格统一的物品搬运,遇到形状不规则的物体时,难以取用或取用时固定不牢,因而柔性欠缺;其次它往往依赖固定的轨道,缺少避障功能,在复杂环境中的安全性不够,且需要人为设定程序进行控制,对使

用人员的技术要求较高。此外,近些年老年人在人口结构中所占比例逐步增大,据预计^[3],到2053年前后中国老年人口规模将达到4.87亿,占总人口34.9%,因而用智能化机器人去服务用户成为不二之选。

课题组设计了一款多功能模块化居家整理机器人,可对形状各异物件进行高柔性取用,增加小车在复杂多变环境中的灵活性,通过良好的人机交互设计让使用者的体验感增强,降低对使用者的技术要求。

1 设计方案与工作原理

居家整理机器人设计方案如下:

收稿日期:2020-08-26;修回日期:2020-09-30

基金项目:上海市级大学生创新创业训练计划项目支持(编号S20060)。

第一作者简介:酆滢澄(2000),女,浙江诸暨人,本科,主要研究方向为家用机器人设计。E-mail:yingcheng-li@foxmail.com

- 1) 用语音识别模块或 APP 获取取用对象和任务;
- 2) 由麦克纳姆轮与红外-超声波传感器联合控制车底盘运动至取用对象周围;
- 3) 单片机控制摄像头进行远程监控、物品识别;
- 4) 根据扫描的物品形状及位置,丝杆顶部步进电机开启,底部旋转平台转动,两者相互配合调整载物台至合适的取物高度和角度;
- 5) 根据实际情况使用不同抓手抓取所需物品,转

- 运到车上载物台或摩天轮升降台;
 - 6) 从载物台上将物件放到指定位置;
 - 7) 控制系统树莓派中存入已拿取物品的当前位置以便取出物品时调用;
 - 8) 闲置状态下,小车自动开启前端的吸尘模块,沿墙壁对室内进行清扫。
- 居家整理机器人整体控制流程如图 1 所示。

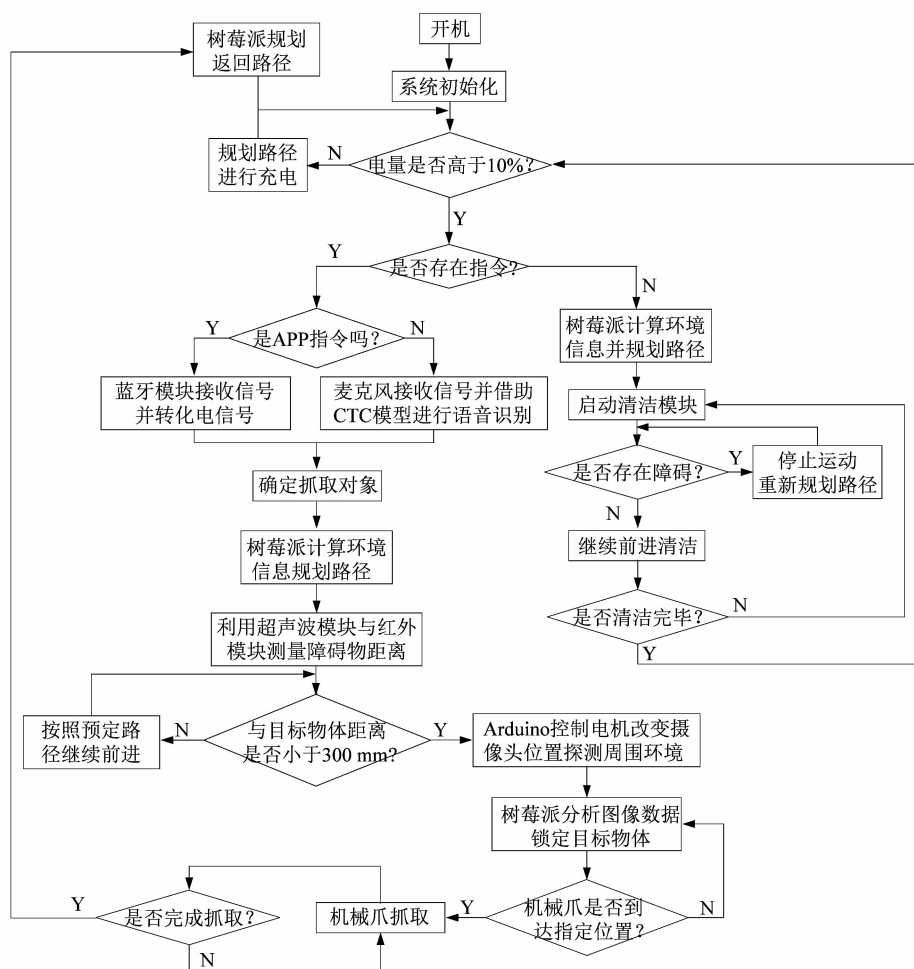


图 1 工作流程图

Figure 1 Work flow diagram

如图 2 所示,居家整理机器人机械结构包括 6 个部分:仿生柔性机械爪、6 自由度机械臂、摩天轮置物台、鱼眼状升降转台、全方位移动底盘和清洁模块。

1.1 仿生柔性机械爪

根据鳍条效应设计了全自动仿生柔性 3 指机械爪,结构如图 3 所示^[4]。

3 个柔性带构成抓手手指的基本结构,爪头部位的圆柱型壳体内可放置 1 个 12 V 的小型电机,电机通

过联轴器和螺杆相连,电机启动带动螺杆旋转,螺杆旋转时,螺母沿螺杆向上或向下运动。柔性爪的 3 个爪头会绕外侧固定支架旋转,实现抓取物体所需要的动作。

柔性爪的爪头采用硅胶材料,如图 4 所示,在接触到物体会随物体表面的形状变形,增加了抓取物体的可靠性,使抓取更加可靠^[5]。

柔性爪适用于表面光滑且形状较为对称的物体,如球体和圆柱体等。

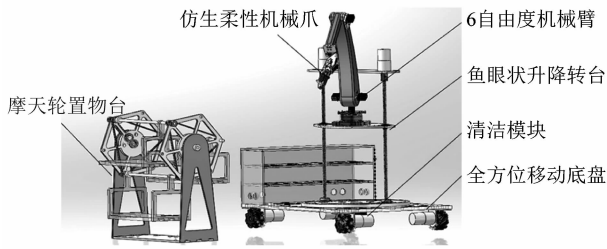


图2 整体模型

Figure 2 Overall model

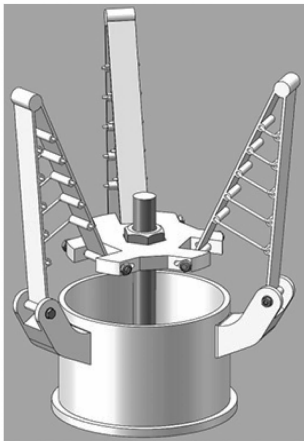


图3 仿生柔性机械爪

Figure 3 Bionic flexible mechanical claw

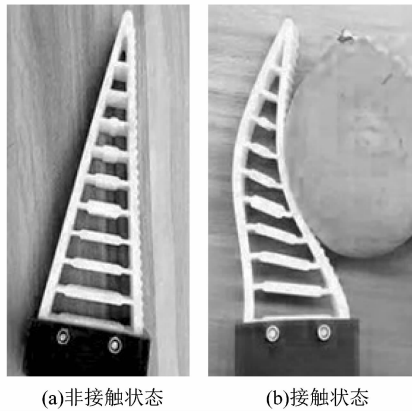


图4 仿生柔性机械爪抓取

Figure 4 Grasping with bionic flexible mechanical claw

1.2 6自由度机械臂

6自由度机械臂及刚性机械爪如图5所示。

机械臂采用LX-15D串行总线舵机。共使用了5个舵机,实现在空间内自由抓取各个位置的物品。机械臂的杆件中间镂空保证了机械臂刚性的需求,避免因机械臂自重给旋转盘增添不必要的力矩负担^[6-7]。

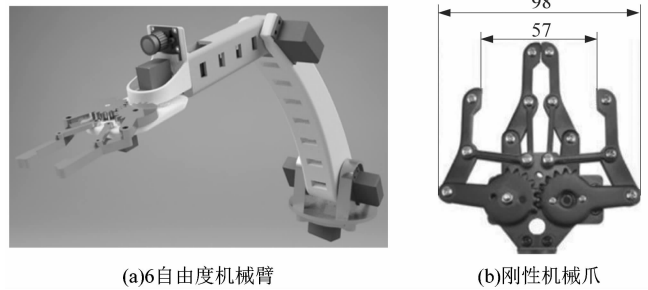


图5 机械臂与机械爪

Figure 5 Mechanical arm and mechanical claw

刚性爪的爪头部分采用了不完全齿轮啮合来控制爪头的闭合。刚性爪头适用于抓取带有一定厚度的、并且表面粗糙度较大的物体。

机械臂外置动作感知遥控装置,基于人体动作,持遥控杆挥动手臂即可控制机械臂自由转动。机械臂可通过超声波智能探测前方120°扇形区域内的物体位置,在区域内实现多角度夹取,且上方放置摄像头,便于用户进行远程操作,拿取其它房间的物品。机械爪配备颜色传感器、光敏传感器和声音传感器,可完成简单的整理工作,在出太阳时自动拉窗帘,当声音过大时自动帮助关窗。

1.3 摩天轮置物台

如图6,摩天轮置物台由串联所有载物舱的支架和驱动支架旋转的部件构成。其载物舱内置到舱体支架的内径中,有效地增强了摩天轮的空间利用率,可一次性承载多个物品,运送到指定位置,3个置物台循环升降,增加搬运量;同时摩天轮也可旋转至合适高度,便于用户拿取。

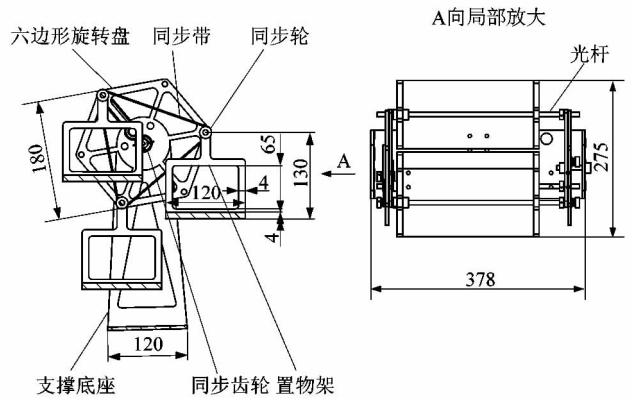


图6 摩天轮置物台结构

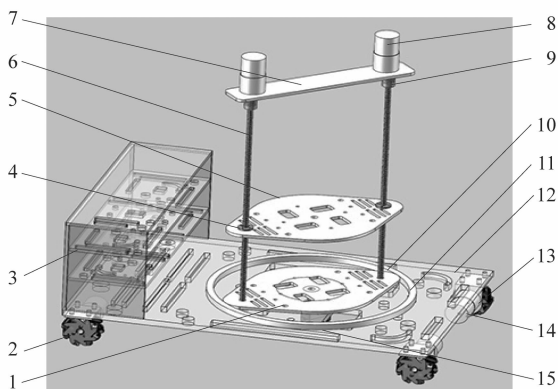
Figure 6 Ferris wheel storage platform structure

摩天轮的旋转利用齿轮结构和同步带结构相结合,综合了带传动、链传动和齿轮传动各自的优点,在

转动时具有准确的传动比。齿轮和同步带轮的传动比均为 1:1,保证了摩天轮置物台在同时移动和升降过程中的稳定性。同步带结构可对舱体支架进行动力输出,且只需 1~2 个电机带动,减少了制造成本。摩天轮旋转时,其置物舱支撑杆的自转速度与公转速度一致,且置物舱与杆之间无相对移动,能有效保证整个台子移动过程中加速度一致。

1.4 鱼眼状升降转台

如图 7 所示,升降转台分为上、中、下 3 层。顶层装有步进电机 8 用于转动主轴丝杆 6,底层与车身贴合,底层鱼眼盘 3 内切于底部圆环套 11 中;中间层为核心部分,搭载机械臂结构,鱼眼盘 5 的设计使得中间层能沿着 2 根丝杆带动机械臂稳定上升,同时底层圆环结构及舵机 15 驱动实现鱼眼盘的旋转,以实现安放于不同高度不同类型物品的准确抓取,也保证了底盘及车身整体的稳定。



1—底层鱼眼盘;2—麦克纳姆轮转;3—车身置物架;4—螺套;5—升降鱼眼盘;6—主轴丝杆;7—步进电机固定板;8—步进电机;9—联轴器;10—立式轴承座;11—圆环套;12—底板;13—电机支架;14—直流电机;15—舵机。

图 7 升降转台结构

Figure 7 Lifting turntable structure

升降装置采用内循环的滚珠副,滚珠循环链最短,反向灵活,结构紧凑,工作寿命长,螺母配合外径较小,扁圆型反向器螺母轴向尺寸最短^[8]。适用于各种高精度、高刚度的进给定位系统。采用了两端固定的丝杠副安装方法,在此方式下丝杠的静态稳定性和动态稳定性最高,适用于高速回转;丝杠两端的轴承均调整预紧,丝杠的温度变形可转化为推力,轴承的预紧力;且在此状态下丝杠的轴向刚度最大,适用于对刚度和位移精度要求较高的场景^[9]。中间层的机械臂可灵活拆卸,在面对不同用户和场景时,机械臂和机械爪可进行模块化更换,以满足多种条件下的抓取需求。

1.5 全方位移动底盘

全方位移动底盘装有麦克纳姆轮、驱动电机、各类传感器和底盘总控箱等。由于麦克纳姆轮可以实现前行、横移、斜行、旋转及其组合等运动方式,且有较大的承载能力,与地面的摩擦力较大的特点,使得物料车可以在狭小空间里转向,保证了移动过程的稳定性和移动方向的全方位性^[10]。

升降转台、各传感器和电机在底盘合理分布,有效安排了复杂线路的分布问题。底盘采用亚克力板等复合材料,具有较好的硬度和韧性。麦克纳姆轮在底盘上的位置如图 8 所示。



图 8 全方位移动底盘及麦克纳姆轮

Figure 8 Omnidirectional mobile chassis and Mecanum wheel

1.6 清洁模块

车身底部装有清洁模块,如图 9。清洁模块可以在机器人运动时对室内进行清扫,极大减轻人的清洁劳动任务。该模块配有剪叉式伸缩结构,扩大了清洁范围。该结构可实现贴近边角清洁,有效减少漏尘,并可以钻入储物柜等家具底部死角位置探底清洁。伸缩结构^[11]顶端采用舵机控制剪叉结构的开合;前端的吸尘模块利用电动机带动叶片高速旋转,在接近密封的壳体内产生空气负压,吸取尘屑。

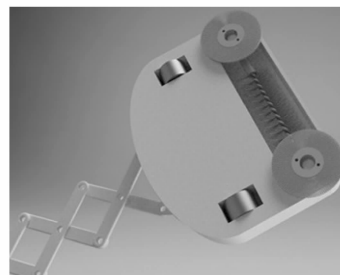


图 9 清洁模块

Figure 9 Cleaning module

2 设计计算与参数

2.1 整体尺寸设计

考虑到需要将取物机械臂、机械爪、摩天轮置物台集合于一体,且在机械臂可运作的前提下尽量节省空

间,确定了机器人的尺寸:高度为 1 000 mm,长度为 500 mm,宽度为 300 mm。摩天轮置物台高度约为 700 mm,长度为 360 mm,宽度为 120 mm。

2.2 底盘设计

由于机器人需要在室内外的狭小空间工作,且需要灵活、精密地移动,采用可全方位运动的麦克纳姆轮。机器人整体质量约为 5 kg,对底盘的承重能力要求不高,故选择尺寸较小的麦克纳姆轮即可。麦克纳姆轮直径为 100 mm,底盘高度为 120 mm。底盘采用 3 层结构:2 层亚克力板和 1 层玻纤板,以增加底盘强度,同时尽量减轻底盘质量。

2.3 移动控制

在机器人整体运动轨迹控制方面,主要靠麦克纳姆轮和超声波测距模块与红外测距模块共同作用来实现。4 个麦克纳姆轮通过轮转动时在水平面上产生的相互垂直的 2 个速度的合成来实现车身不转向的情况下在左右 2 个方向平移^[12]。而通过红外测距和超声波测距 2 个模块得到车身各个方向到障碍物的距离的返回值之后,可以通过单片机设定好的函数对驱动 4 个麦克纳姆轮减速电机进行控制,从而实现准确地避障。

2.4 上下传动机构设计

鱼眼盘配合间距为 300 mm 的丝杆,丝杆顶端装有 2 个 57 系列步进电机,准确地控制调整提升或下降的高度,以配合机械臂上下移动取物。

采用亚克力材料的鱼眼板,经过有限元分析如图

10 所示。对鱼眼盘两端进行约束,盘中施加一个机械臂重量的载荷时,在满足安全系数的条件下,可以安全稳定地承载 2.5 kg 以下的重物,除去机械臂自身质量,机器人在运输时可以抓取 1.0 kg 以内的重物。

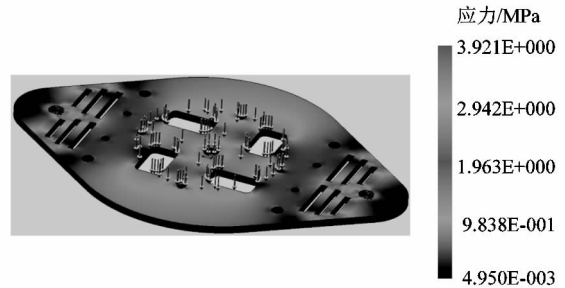


图 10 鱼眼盘有限元分析

Figure 10 Finite element analysis of fisheye plate

2.5 机械爪抓取控制及正逆运动学分析

抓取控制主要依靠机械爪上安置的摄像头模块以及树莓派来实现。摄像头模块用于捕捉物品的图像并将它转化为可计算的数据输入到系统中,选择机械爪,并且将物品的距离值返回到系统中,通过定位的函数来确定接下来机器人的运动轨迹以及机械爪上各个舵机的转角。

对 6 轴机械臂的各关节建立如图 11 所示坐标,对每个关节指定 X 轴和 Z 轴,对连杆长度、扭曲、偏移以及关节转角进行计算分析,采用 DH 法对机器人建模并设置参数^[13]。

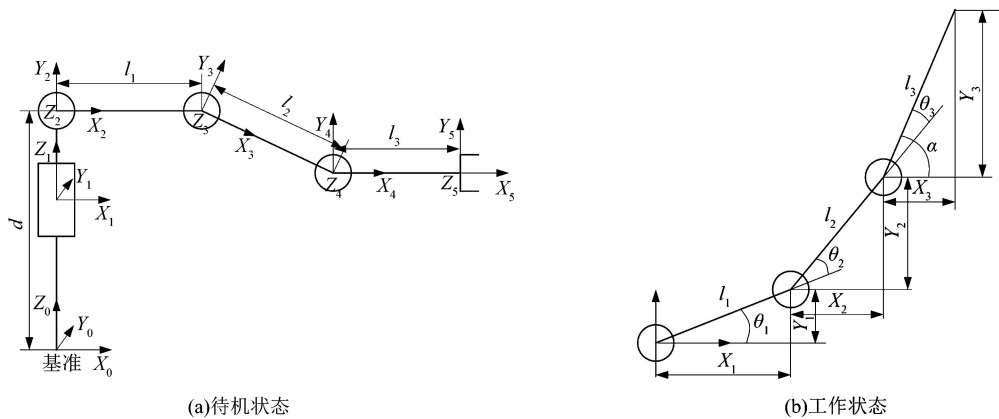


图 11 6 自由度机械臂空间坐标

Figure 11 Spatial coordinates of 6-DOF manipulator

机械臂采用串行总线舵机,对于机械臂每个关节的旋转角度和机械爪的夹取位置,通过几何法进行逆运动学计算。设端点 P 坐标为(x, y), $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 为需要计算的舵机角度, α 为机械爪与水平面夹角,显然, $\alpha = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$ 。可得:

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3); \tag{1}$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)。 \tag{2}$$

考虑到机械臂中 l_1, l_2, l_3 为恒定值,另设:

$$\begin{cases} m = l_2 \cos \alpha - x; & (3) \\ n = l_2 \sin \alpha - y. & (4) \end{cases}$$

代入化简得:

$$l_2 = (l_1 \cos \theta_1 + m)^2 + (l_1 \sin \theta_1 + n)^2. \quad (5)$$

计算可得:

$$\sin \theta_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (6)$$

由式(6)可求出 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, 得到 3 个舵机旋转角度, 实现抓取坐标控制。

2.6 动力源选择

为保证车体上的鱼眼盘旋转装置可以平稳进行旋转运动, 车身底部带动底部平台旋转的舵机选择 DS3218 舵机, 该舵机为 20 kg 大扭矩舵机。麦克纳姆轮直流减速电机选择 ZGB37RG 型, 参数为 12 V, 30 r/min。丝杆驱动选择 TB6600 型 57 系列步进电机, 以保证 2 丝杆旋转速度一致性。机械臂搭载 4 种型号的高精度舵机, 分别为数字舵机 LD-1501MG、高精度数字舵机 LDX-218、防烧舵机 LDX-335MG、防堵舵机 LFD-06。摩天轮置物台采用大扭矩 DS3225 舵机驱动, 参数为 25 kg。动力系统选择 12 V, 12 000 mA 的电源进行供电。

3 结语

为实现居家整理的智能化, 课题组设计了一款多功能模块化居家机器人。系统采用红外与超声波传感器协同的避障系统, 使之能够在室内自由移动; 采用高性能树莓派处理信息, 利用单片机控制摄像头对物品进行识别; 由 6 轴机械臂搭载的机械爪对目标物品进行抓取, 配合摩天轮置物台, 将物品高效、稳定地运送到指定位置, 具有高度灵活性和自适应性; 设计的清洁模块载有剪叉伸缩结构, 活动范围广, 采用分离式取尘盒, 能够有效防止扬尘; 采用语音识别、远程控制、多传

感器的信息整合方式, 简化了操作流程, 解放用户双手, 优化用户体验。

相较于目前市面上已有家用电器存在功能单一、操作复杂等不足, 该机器人综合了多种功能, 操作便捷, 普适性高, 能够用于居家物品的取放与整理, 同时还能适应办公及商业环境, 具有广阔的市场前景。下一步, 该机器人的机械爪结构还可进一步优化, 以实现更多种类抓取功能; 如引入机器学习等人工智能技术, 可进一步完善机器人自主决策能力。

参考文献:

- [1] 陆汉奇. 家用机器人——机械手控制[J]. 数码设计, 2020, 9(3): 56.
- [2] 吴旭清, 黄家才, 周磊, 等. 并联机器人智能分拣系统设计[J]. 机电工程, 2019, 36(2): 224-228.
- [3] 邹波. 中国老龄化的现状与积极应对[J]. 社会政策研究, 2017(5): 3.
- [4] 徐治国. 家用智能机器人[J]. 玩转机器人, 2019, 5(12): 45-46.
- [5] 李重阳. 面向空间机械臂操作任务的模仿学习策略[J]. 哈尔滨工业大学, 2020, 52(6): 111-118.
- [6] 王春. 六自由度串联机械臂运动学及其工作空间研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(6): 32-36.
- [7] 袁媛. 六自由度机械臂运动学及奇异性仿真分析[J]. 机电工程, 2018, 35(12): 1329-1333.
- [8] 方弟勇. 双小车双轨同步多工位物料智能转运系统研究及应用[J]. 建筑机械, 2019(11): 87-90.
- [9] 汤智先. SCARA 机械臂的仿真振动分析及振动测试[J]. 制造业自动化, 2020, 42(6): 22.
- [10] 王斐. 基于焊件识别与位姿估计的焊接机器人视觉引导[J]. 控制与决策, 2020, 35(8): 1873-1878.
- [11] 赵娟. 机械臂运动的智能自适应模糊控制策略[J]. 机械设计与制造, 2020(8): 192-196.
- [12] TIAN Qihua. Topological optimization design of manipulator shell of rescue robot for high voltage transmission line[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2020, 15(12): 96-99.
- [13] CHEN Yongping. Design of double transmission tracking packaging system based on ABB robot[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(1): 116-122.

[信息·简讯]

· 行业简讯 ·

2020 西门子工业论坛视频特辑正式上线

2020 西门子工业论坛视频特辑近日正式上线西门子工业支持中心网站, 助力企业突破数字化转型瓶颈, 把握机遇, 开启发展新局面。2020 年 7 月举办的西门子工业论坛被视为中国制造业转型风向标, 这场为期 5 天的行业盛会联合 170 多位来自各行业、各领域的专家分享了 120 余个工业话题, 涵盖数字化企业、行业应用解决方案以及前沿技术。为使更多企业从中获益, 西门子将论坛期间数十场交流探讨的洞察与要点归纳整理, 以视频特辑的形式公开发布。此外, 西门子三大数字化体验中心和数字化样板工厂也在特辑中亮相, 使受众足不出户, 便可直观感受数字化企业的魅力。

西门子“视频学习中心”平台是西门子工业支持中心为广大中国工业客户量身定制的视频分享平台, 其拥有覆盖西门子全线工业产品的近 2 400 个视频资源, 包含产品操作、技术讲座、产品概览、原理介绍及专家大讲堂等各类内容, 由西门子官方录制而成, 以确保内容专业性、权威性与准确性。

(梁秀璟)