

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105713

基于视觉识别的无线通信物流机器人设计*

吴定泽 任彬 赵增旭

(石家庄铁道大学 机械工程学院 石家庄 050000)

摘要:为解决物流机器人定位及姿态保持难、交互性差、搬运抓取任务单一等问题,设计一种可以通过 DT-06WIFI 模块从服务器端获取任务,或利用 Openmv 扫描二维码获取任务并能通过其识别条形码来获取物块放置的位置,依靠 CN-TTS 语音模块进行异常状态信息播报, OLED 屏显示机器人的常态信息,选用平行四连杆机构和多连杆机构实现三维度抓取,采用改进的角度环和速度环双环串联算法以及运动解算模型的底盘控制策略的智能物流机器人。经实际测试该设计方案能实现定位行走、识别抓取等一系列的物流搬运任务,多传感器的融合使得物流机器人的应用场景大大拓宽,可根据需求执行不同搬运任务,同时提高了人机的交互性。

关键词: 双环 PI 串联控制;运动解算;多传感器融合

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510.8050

Design of WiFi logistics robot based on visual recognition

Wu Dingze Ren Bin Zhao Zengxu

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: To address problems of logistic robots, including the difficulty in positioning and posturing, poor interaction, monotony of tasks (carry and capture), etc., an intelligent logistic robot is designed. The robot is assigned with a task from the server via DT-06WIFI or through QR code scanning at Openmv and then informed of the position of the object by identifying bar code. The robot is arranged with a CN-TTS voice module and OLED display for reporting the robot's exceptional information and showing its normal information respectively. The robot enables capture in three dimensions based on parallel four-link mechanism and multi-link mechanism and adopts modified dual-loop (angle and speed) serial algorithm and chassis control strategy of kinematic resolution module. Through actual tests, the design scheme can realize a series of logistics handling tasks such as positioning, walking, recognition and grasp, etc. The design of multi-sensor fusion make the robot applicable to a broader range of scenarios and can carry out tasks as required with much better human-machine interaction.

Keywords: dual-ring PI serial control; kinematic resolution; multi-sensor integration

0 引言

在当前人力成本持续走高的情况下,无人化的物流系统的重要性就愈发的显著。而在众多智能化物流设备及系统中,物流机器人最具柔性化优势,如行驶路径可以根据仓储货位要求而灵活变化,不受场地、道路和空间的限制等优势^[1]。而将机器视觉应用到快递的分拣与定位中对提高货物的分拣效率和放置的准确度有很大意义。由于需要不定期更替搬运任务并可作业于不同环境之下,实现不同作业环境下机器人自主定位运行就显得非常重要^[2]。但目前市

场缺少兼具智能化、交互性强、性价比高的物流机器人^[3],可以自主进行路径规划、识别物料、定位抓取、异常状态播报独立完成整个搬运流程。本文提出一种基于 WiFi 通信实现与服务器端交互以及采用识别条形码来确定放货位置的智能物流机器人,来完成原料区、粗加工区、半成品区、精加工区、库存区等多区域往复的搬运任务,采用新式底盘控制策略能很好地保证自身姿态并完成路径的规划与执行,并采用多传感器融合的方式实现物块的识别抓取与摆放,较以往的物流机器人可大大提高工作效率与稳定性,并拓宽了物流机器人的工作场景。

收稿日期:2021-01-19

* 基金项目:国家级大学生创新创业训练计划(202010107012)、河北省高等学校科学技术研究项目青年基金(QN2019232)、石家庄铁道大学大型结构健康诊断与控制研究所开放课题(KLLSHMC1909)项目资助

• 46 •

1 总体设计

物流机器人将采用 MD36N 行星减速电机作为底盘动力驱动,使用 STM32F103RCT6 作为主控芯片,采用 HWT101 高精度的单轴石英晶体(水晶)陀螺仪来获取机器人当前姿态,其可利用高性能的微处理器和先进的动力学解算,采用数学积分及运动估算,来解算出高精度旋转角度,避免大幅度误差。通过 Openmv 图像识别来获取条形

码信息以及物块的颜色。采用 DT-06WIFI 模块实现与服务器端的交互,实时获取搬运任务从而提高机器人的灵活性。使用 CN-TTS 语音模块对当前机器人的异常状态信息进行播报,大大提高了机器人的安全性,而对于一些常态信息将采用 OLED 屏进行显示。为实现三自由度多连杆机械臂的稳定运转,提高控制的精准度,将采用 16 路舵机控制板来控制机械臂的运作。物流机器人整体设计如图 1 所示。

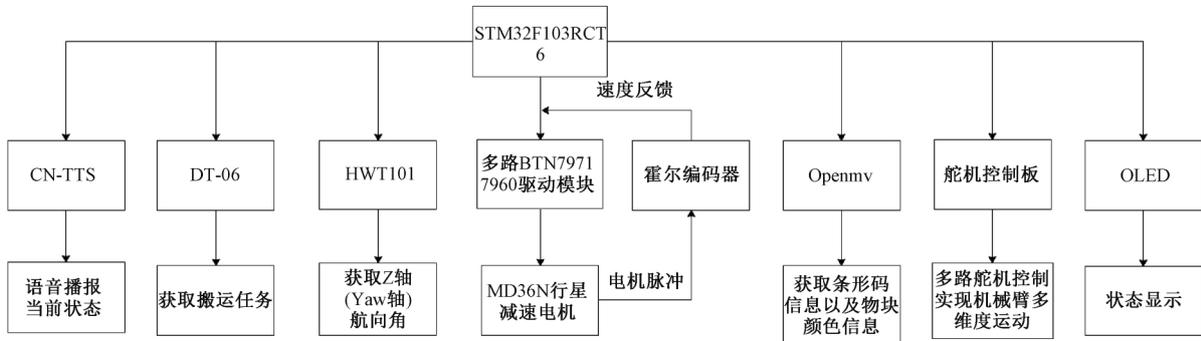


图1 机器人整体设计

2 结构设计

考虑到物流机器人的搬运任务不仅仅局限于单一距离、单一高度货物的摆放问题,故采用三维度的多连杆机械臂来实现不同距离、不同高度物块的抓取,以此来拓宽机器人的应用场景与适用范围。如图 2 所示,在机械爪上装有 Openmv 视觉检测模块,可以随爪子进行近距离识别,同时也可为抓取提供二次定位的信息反馈^[4];使用云台来实现机械臂的 360° 旋转使其能完成多角度的抓取任务;如图 3 所示,机械臂的设计将采用平行四连杆机构来实现机械爪始终保持竖直而不随连杆的运动而变化,提高抓取时的稳定性与准确性;采用连杆机构,通过机械臂高度控制连杆机构和前伸控制连杆机构分别实现机械爪的上下以及前后移动,配合云台的 360° 旋转到达三维度的效果;根据杠杆原理设计载物台,使得货物放于载物台时因自重使得卡扣下翻扣住物块,而在平时依靠皮带保持上仰的姿态避免在放入物块时产生干扰。

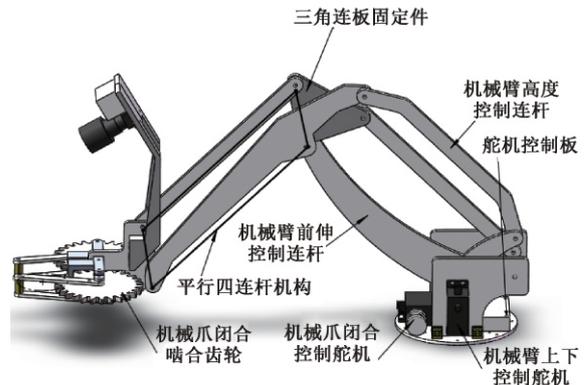


图3 三维度多连杆机械臂

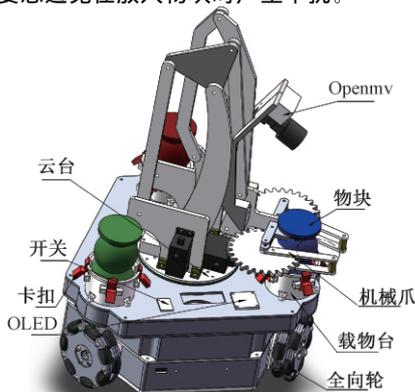


图2 机器人整体结构

3 软件设计

3.1 车底盘控制设计

为提高定位的准确度,将在每一个定位点(停留点)重新建立世界坐标系,以防止之前产生的误差对后续定位的影响。通过输入在世界坐标下物流机器人的目标行驶方位与自身姿态的信息,通过向量分解后可计算得到小车坐标系下 X 轴速度 V_x , Y 轴速度 V_y , 同时通过角度环 PID 控制器得到小车当前姿态与目标姿态的偏差补偿量 V_A , 将三者作为运动解算的输入量,经运动解算后得出每个轮子的目标速度,作为速度环 PID 控制器的输入,经解算后调节输出 PWM 的占空比,达到调节电机转速,控制小车稳定运动的目的^[5]。

1) 双环 PI 串联控制

为保证物流机器人在执行搬运任务时的姿态与输出

性能符合任务要求,采用角度环与速度环的串联控制策略。通过采集 HWT101 的 Yaw 轴的数据来获得机器人当前航向角的大小,也即机器人当前的姿态信息,将其作为反馈量与目标角度一起作为角度环 PID 的输入信号,经过角度 PID 运算后得到相应的角度补偿量,再利用角度补偿量去修正速度环 PID 控制器的目标输入值。同时通过霍尔编码器采集电机反馈的脉冲信号,其经 AD 转换后可以得到相应的数字信号也及电机当前转速作为速度环 PID 控制器的另一个输入量,控制流程如图 4 所示。考虑到 PID 三环控制分别为 P 的比例控制, I 的积分控制和 D 的微分控制,比例控制主要控制响应曲线的响应速度,比例系数越大,其控制性能就越好,但是也容易产生振荡,破坏系统的稳定性^[6]。积分控制主要用于减少响应曲线的稳定误差,而微分环节则主要能使曲线提前响应改善瞬态减少震荡。鉴于物流机器人的工作环境以及应用场景,仅采用 PI 控制,在简化运动模型的同时也能很好地保证车体的姿态与输出性能符合要求。

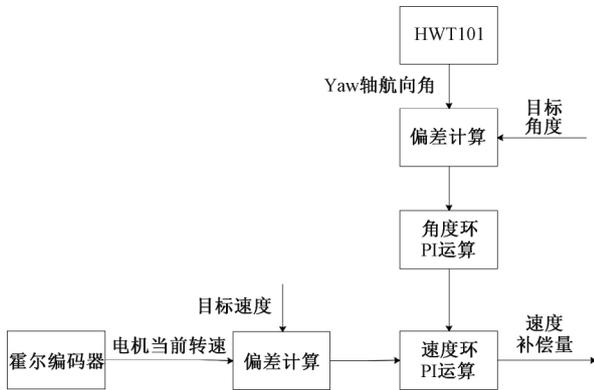


图 4 双环 PID 控制流程

数字 PI 控制器主要分为位置式和增量式,两者的计算公式分别如式(1)、(2)所示。

$$P_k = K_p \cdot e_k + K_i \sum_{k=0} e_k \quad (1)$$

$$\Delta P_k = P_k - P_{k-1} = K_p \cdot [e_k - e_{k-1}] + K_i \cdot e_k \quad (2)$$

式中: P_k 表示输出量; ΔP_k 表示输出增量; e_k 表示本次误差; e_{k-1} 表示上次误差; K_p 、 K_i 分别表示比例环节、积分环节对输出量的权重增益^[7-8]。

由于增量式控制器的输出为系统对于偏差所做出的改变响应量,而对于初态静止的物流机器人来说,需要加和各个时间段对误差的调整改变量才能实时保持正确的输出量。但经推演可以得出两种形式的 PI 控制器实际上是一样的,故需同时改进两种控制器的缺陷。从上式中可以看出位置式 PI 控制器的积分环节需要对误差进行累加操作,所以当控制器输出近似达到要求而仍有细微扰动时,误差仍会继续累积,从而导致积分环节控制作用的比重不断加大,使得 PI 控制器失去平衡,一旦误差开始反向变化,系统仍需要一段时间的整定后才能从饱和区退出,

所以需要积分环节进行限幅处理^[9],以防止积分环节在 PI 控制器中权重过大的问题出现。同时在输出量 P_k 近似达到目标时,停止积分环节作用^[10],减少当偏差反向也即车体转向时退出饱和区的响应时间,提高系统响应速度。同时由于 PI 控制器参数无法自适应,使得输出值无法很好地贴合目标曲线而发生扰动,故对 PI 控制器加入死区控制^[11],死区控制示意图如图 5 所示,当扰动小于死区区间时关闭 PI 控制器,使其保持原先输出量输出;当扰动累计到大于死区时 PI 控制器开始工作,以此来保证物流机器人能很好的保持一定的姿态,同时也能减少左右来回晃动现象的出现。

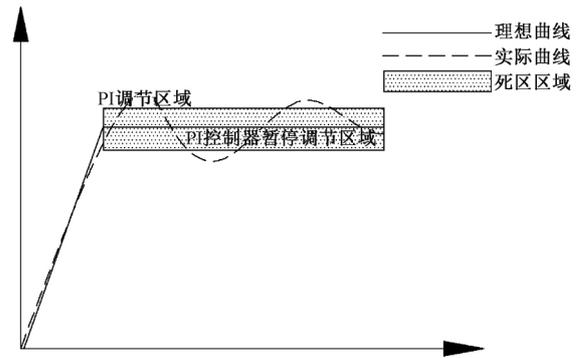


图 5 死区控制示意图

2) 运动解算

由于三点确定一个平面,四轮轮式机器人常常由于一个车轮悬空而导致严重打滑现象的发生,所以常采用独立悬挂来保证轮子与地面的接触。鉴于增加独立悬挂将大大增加成本,故在此采用三轮全向轮式机器人的结构^[12]。为配合双环 PI 串联控制器更好地控制机器人底盘,同时实现机器人的全方位移动,采用运动解算的形式来计算出每个轮子的目标输出速度。运动解算也即运动逆解算^[13],其目的是将物流机器人自身坐标 XOY 下的 X 轴向速度 V_x 、 Y 轴向速度 V_y , 通过逆解算分解到各个轮子上,分别得到各轮的转速 V_a 、 V_b 、 V_c , 所得到的 V_a 、 V_b 、 V_c 即为各轮的目标转速也即 PI 双环串联控制的目标输入量。现就物流机器人的底盘设计提出运动解算的前提条件,轮子成 120° 间隔放置,且到中心距离相等均为 L 。其中 V_a 、 V_b 、 V_c 相应的坐标系转换关系如图 6 所示,首先暂不考虑车体的转动现象也即保持车体的姿态不变,得到式(3)~(5)^[14-17]。

$$V_a = V_x \quad (3)$$

$$V_b = -V_x \cos\beta - V_y \sin\beta \quad (4)$$

$$V_c = -V_x \sin\gamma + V_y \cos\gamma \quad (5)$$

在实际运行中,物流机器人可能会因为路面陡峭或是车轮轻微打滑等干扰因素的出现,而导致自身姿态被破坏无法保持原假设姿态,故在运动方程式中加入姿态信息的误差补偿量。根据角速度与角度的关系,将根据角度 PI 控制器解算出的角度补偿量 A_c 除以从 HWT101 中读取的

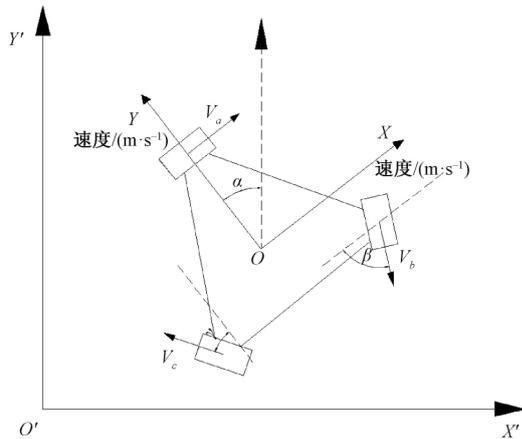


图6 三轮轮式机器人运动解算示意图

相对时间差量 Δt ，来得到角速度补偿量 ω_c 。将角速度 ω_c 乘以车轮到车体中央的距离 L 可以得到每个轮子附加的姿态角度修正补偿量 V_A 。考虑到陀螺仪 Y_{aw} 轴数据即偏航角顺时针变化为正，而底盘转向也为顺时针为正，故修正量应为负反馈。修正后如式(6)~(8)所示。

$$V_a = V_x - V_A \tag{6}$$

$$V_b = -V_x \cos\beta - V_y \sin\beta - V_A \tag{7}$$

$$V_c = -V_x \sin\gamma + V_y \cos\gamma - V_A \tag{8}$$

3.2 识别与 WiFi 通信设计

1) 视觉识别

在识别二维码或条形码时，首先将读入的视频流转化为灰度图，再根据识别对象即二维码或条形码的大小选取相应大小的 ROI 区域，来降低周围环境带来的干扰。为减少镜头畸变带来的影响，调用 `lens_corr()` 函数进行软件算法矫正。再利用 `find_barcodes()` 函数来检测相应 ROI 区域的条形码，`find_datamatrices()` 函数来检测识别二维码的信息，调用 `payload()` 来获取相应码所代表的信息。而在识别颜色时，首先进行白平衡处理来减少光源变化带来的影响，再者同样根据识别物块的位置选取 ROI 区域来减少周围环境带来的干扰。紧接着对图像根据所需识别颜色设定的阈值进行二值化处理，通过判断经二值化后的色块是否大于一定的阈值来判断该位置是否为所需抓取物块位置，以此来减少因周边颜色干扰带来的误检测情况的发生。识别模块整体程序设计原理如图7所示。

2) WiFi 通信

采用 DT-06 WiFi 转串口模块实现与服务器的通信，该模块上集成了 MAC、基频芯片、射频收发单元、以及功率放大器^[18]。在 WEB 界面设置与 STM32 主控板串口对应的串口参数，也即波特率、数据位、奇偶校验、停止位和分包时间。将 WiFi 模块设定为 AP+STA 模式，TCP Client 且设置为透传模式，选择服务器对应的 IP 与端口号，即可通过串口与服务器进行交互，实现对任务的实时获取。

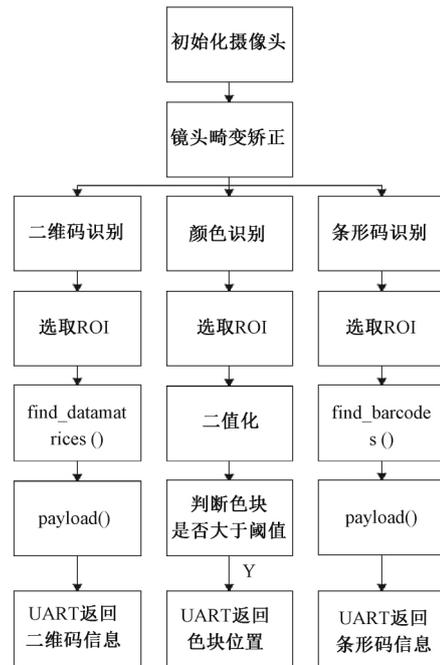


图7 识别模块程序设计原理

4 实验测试

为测定底盘控制方案的准确性，采取定点移动的方式进行验证，同时设置不同路况来测试其适应性，图8所示为机器人测试时的景象。通过比较设定方向 X, Y 的值与最后实际机器人所处位置 X', Y' 的值进行比较，对多次测量的数据采用滑动平均处理后绘制出如图9所示的测试曲线。经数据表明，该设计方案能实现物流机器人的全方位移动、准确定位以及稳定行进。之后对物流机器人的识别与抓取进行测试，测试表明机器人能很好地完成物块的抓取与放置，图10所示为机器人抓取时的景象。最后进行整体搬运任务的测试，经测试能准确、可靠抓取物块，机器人在运动过程中的姿态以及运动轨迹都能满足要求。

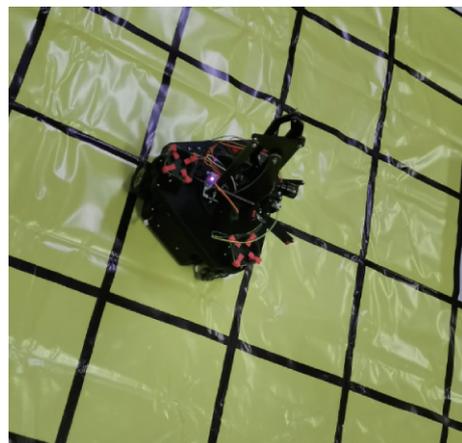


图8 机器人全方位移动测试图

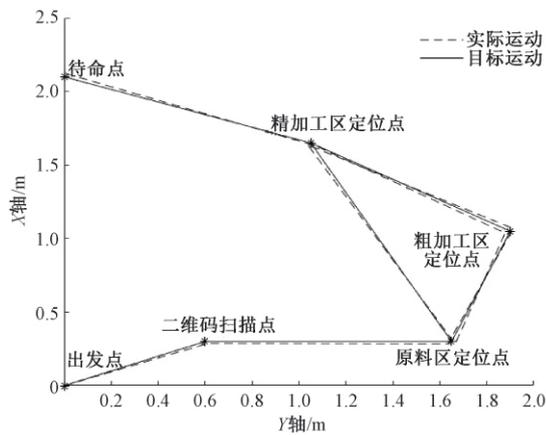


图 9 控制方案测试曲线

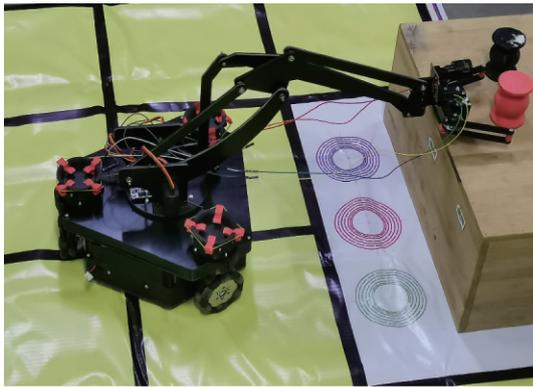


图 10 机器人抓取物料

可以很好地完成通过扫描二维码或者利用 WiFi 通信从服务器端获取搬运任务,物块的颜色识别与抓取,条形码的识别与定位以及物块的放置等一系列的流程。同时可以在原料区、粗加工区、半成品区、精加工区、库存区等多区域来回完成搬运任务。

5 结 论

本文提出一种采用双环 PI 控制和运动解算的底盘控制策略的智能物流机器人,能很好地保证车体姿态以及目标方向的移动。同时提出三维度的多连杆机械臂的设计方案,该方案采用平行四连杆机构能很好的保持机械爪的竖直状态为抓取提供方便,以此来提高物块抓取的准确性与稳定性。并给出 WiFi 通信和条形码定位的一种解决方案,大幅度地拓宽了机器人的应用场景。相对于传统的物流搬运机器人,本文提出的设计方案能更好地适应多角度、不同距离、不同高度的物块搬运任务,具有较强的借鉴意义。

参考文献

- [1] 任芳. 资本追捧下的物流机器人[J]. 物流技术与应用, 2019, 24(9): 104-105.
- [2] 姚科, 李国利, 徐磊铭, 等. 物流分拣机器人自主定位方

案设计与实现[J]. 机电技术, 2020(1): 24-27.

- [3] 周子楠, 杨琦, 何海燕. 基于 STM32 的智能物流机器人的设计[J]. 九江学院学报(自然科学版), 2020, 35(2): 71-77.
- [4] 朱颖, 黎伟健, 郭国辉, 等. 单目视觉智能分拣搬运机器人的设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(10): 138-142.
- [5] 吕毅, 戚志东. 一种基于分数阶 PID 直流电机调速的 AGV 控制系统[J]. 现代电子技术, 2017, 40(3): 127-130.
- [6] 丁少云, 薛达. 无刷直流电机的 PID 调速控制系统[J]. 变频器世界, 2019(2): 77-79, 114.
- [7] 黄健. 基于 PI 控制的直流电机调速控制系统的研制[J]. 宇航计测技术, 2017, 37(6): 75-78, 87.
- [8] 张振邦, 曲兴华, 张福民. PID 参数对机器人在线力补偿的影响[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(3): 142-148.
- [9] 陈刚. 改进的分数阶 PID 控制算法及其应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
- [10] 崔玉国, 刘尔春, 杨依领, 等. 基于改进 PID 的压电微定位平台反馈控制[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(6): 215-223.
- [11] 黄凤娇, 杨雪, 许祥威. 改进增量式 PID 算法在物料分拣流水线中的应用[J]. 兵工自动化, 2020, 39(9): 37-40.
- [12] 冯治国, 王芸芸, 窦忠宇. 一种全方位移动机器人设计与研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2015, 32(5): 66-68.
- [13] 闫猛飞, 房远, 董政, 等. 全方位移动平台全向运动的分析[J]. 机械管理开发, 2020, 35(3): 55-57.
- [14] 张燕超, 孙民, 黄凯. 一种全方位移动平台的运动特性研究[J]. 机电工程技术, 2019, 48(9): 54-57.
- [15] 曾令栋, 裴东, 王全州, 等. 全方位移动平台运动控制系统的实现[J]. 信息技术与网络安全, 2018, 37(2): 95-99.
- [16] 魏权利, 高吉明. 基于 STM32 微处理器的全方位智能移动平台设计[J]. 机床与液压, 2016, 44(23): 34-37.
- [17] 肖猷坤, 李荣泳, 李沛辉, 等. 仓储物流机器人移动平台的设计[J]. 机电工程技术, 2018, 47(3): 71-74.
- [18] 坚葆林, 姜毅龙, 李许军. 基于 WiFi 通信的智能用电监控装置的设计[J]. 电气传动自动化, 2017, 39(5): 59-62.

作者简介

吴定泽, 本科, 主要研究方向为嵌入式开发、物流机器人、机器视觉。

E-mail: dingze-wu@foxmail.com

任彬, 副教授, 主要研究方向为机械设备诊断、人工智能。

E-mail: renbin@stdu.edu.cn

赵增旭, 博士, 讲师, 主要研究方向为信号检测。

E-mail: 2856305980@qq.com