

doi: 10.7690/bgzd.2020.11.022

基于 MK60 的自动仓储控制系统

幸晋渝, 高天

(成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 614000)

摘要: 为提高仓库存储技术的自动化和智能化, 设计一种基于仓库道路信息的 MK60 单片机自动仓储控制系统。以智能分拣车为主体运送物品, 结合图像识别算法, 通过最优路径算法计算到达目的货架的先后顺序, 利用运动控制技术、无线通信技术及人机交互技术巡线到达目的货架, 实现物品的自动存放。实验结果表明: 该控制系统运行稳定效率高, 能以最短路径、高效平稳运送物品到达任意指定仓库货架。

关键词: 智能分拣; 最优路径; 图像识别

中图分类号: TP302 **文献标志码:** A

Automatic Storage Control System Based on MK60

Xing Jinyu, Gao Tian

(The Engineering & Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan 614000, China)

Abstract: In order to improve the automation and intelligence of warehouse storage technology, an automatic warehouse control system by MK60 single chip micro processor based on warehouse road information is designed. The intelligent sorting vehicle is used as the main body to transport items, combined with the image recognition algorithm, the sequence of reaching the destination shelf is calculated by the optimal path algorithm, and the motion control technology, wireless communication technology, and human-computer interaction technology are used to patrol the line to reach the destination shelf to realize the item automatic storage. The experimental results show that the control system runs stably and efficiently, and can deliver items to the designated warehouse shelves in the shortest path, efficiently and smoothly.

Keywords: intelligent sorting; optimal path; image recognition

0 引言

随着微电子技术、计算机技术及控制理论的迅速发展, 自动化设备研发与集成设计能力不断提升, 各类型智能产品层出不穷。在自动化仓库领域, 自动分拣技术正与大数据、人工智能等高新技术相互交融, 逐步向高流通速度、低运营成本方向迈进^[1-3]。大量的资金流入自动仓储项目, 产生了新一代效率更高、精度更准的自动仓储技术, 实现移动搬运的实时、准确、弹性控制^[4-7]。随着社会的发展, 我国的劳动适龄人口逐步减少, 使得用工成本随之提高。文献[8-11]中所涉及的自动分拣系统采用 PLC 为控制器, 可以实现基于传送带的物品自动分拣, 这类系统机械结构相对比较复杂, 且要占用一定的空间。文献[12]采用单片机设计了一种具备搬运与寻迹功能的控制系统, 但不具备分类功能。笔者基于 MK60 单片机设计一种自动仓储控制系统, 利用智能分拣车与手机上位机配合, 无需使用传送带, 节省空间, 还能提高作业效率和仓储管理水平。

1 系统总体方案设计

自动仓储控制系统采用智能分拣车运送物品, 集成信息交互功能, 通过最优路径算法计算出到达目的货架的先后顺序, 通过运动导航算法, 巡线到达目的货架, 实现物品的自动存放。系统的整体方案构架如图 1 所示。

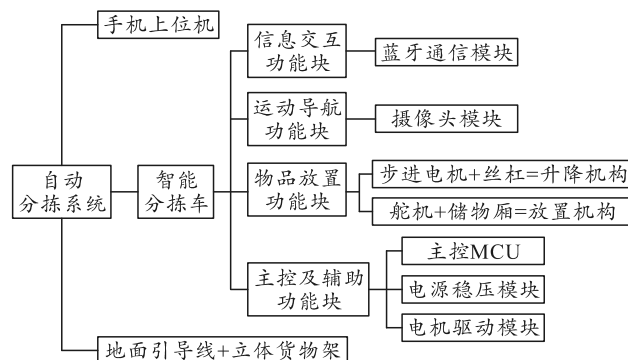


图 1 系统设计方案构架

1.1 系统信息交互

信息交互功能主要用于向智能分拣车设置物品所属的货架信息, 和对其设置运动控制算法、巡线

收稿日期: 2020-06-21; 修回日期: 2020-07-08

基金项目: 成都理工大学工程技术学院基金项目(C122018010)

作者简介: 幸晋渝(1971—), 男, 重庆人, 硕士, 副教授, 从事电气工程和智能控制技术研究。E-mail: 1610578325@qq.com。

算法等系统参数。该功能模块主要采取蓝牙模块结合手机上位机的形式，由手机上位机通过蓝牙通信方式，将物品存放信息等参数发送到智能分拣车。由蓝牙芯片将手机上位机发送的指令，转发给主控 MCU 进行解析处理；而主控 MCU 再将解析后的数据，进行赋值和保存。信息交互的工作流程如图 2 所示。

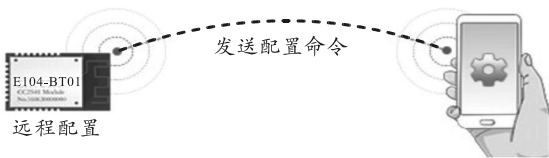


图 2 上位机与下位机蓝牙通信

1.2 系统运动导航

运动导航功能关系到智能分拣车能否准确到达目标货架。由于整个仓库及货架布局十分规则，对系统自由度要求并不高，但对物品放置却要求零失误；因此，笔者采用摄像头巡线结合地面引导线的方案，极大地提高了巡线方案的鲁棒性。考虑到巡线需要一定的抗干扰能力及今后功能拓展的需要，笔者设计如图 3 所示的具有地面引导线的巡线方案。

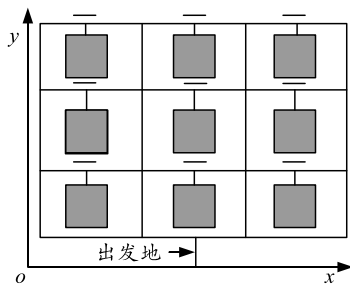


图 3 系统仓库

图中各矩形方框区域为多层货架，仓库地面铺有棋盘状线条，作为分拣车寻迹路线。笔者对整个仓库平面建立直角坐标系，分拣车根据自身位置坐标，及运送的多种物品的目标货架坐标，计算出最优行走路径，并通过摄像头对交叉路口等特殊点进行识别，在运动中不断更新自身坐标，并确定新的行驶方向。

分拣车到达指定物品存放点后，还需与货架进行架中线对齐；为此，设置了与货物架相连的引导线，为对点操作起到定位作用。

2 系统硬件设计

如图 4 所示，自动仓储控制系统硬件部分为智能分拣车，由控制电路及相关机械结构组成。为方便控制电路调整及维护，控制电路采用模块化结构

形式。

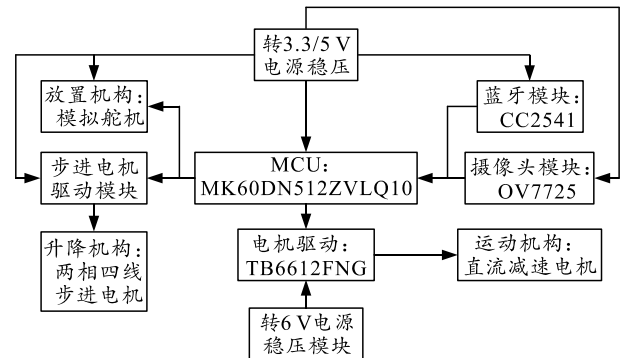


图 4 控制电路整体构架

智能分拣车采用摄像头巡线方案，对主控芯片 MCU 的处理性能提出了较高要求。笔者采用飞思卡尔公司的 100 MHz 的 MK60DN512 作为核心控制器。

为保证系统各模块正常工作，稳压模块需能负载大电流并留有裕量，输出电压偏差应小于 $\pm 5\%$ ，还应有极低的纹波和噪声。经实验，选择 TYPD2603 稳压模块作为 3.3 V/5 V 电源，可同时输出 3.3 V 和 5 V 电压，且每路能负载不高于 3 A 的电流。

智能分拣车采用摄像头巡线导航。由于只需对图像进行巡线处理，而地面引导线非黑即白，为减轻 MCU 负担，直接选用黑白数字摄像头——鹰眼 OV7725。通过特殊硬件结构实现二值化操作（即将图像转化为只有 0 和 1 信号的黑白图像），可一次同时传输 8 个像素。

自动分拣系统中的运动执行功能可分为行驶、升降、放置单元。对行驶单元，分拣车需要承载重物，要求电机能带动较大负载并留有裕量；其次要能精准控制车轮转速，则需进行闭环控制，采用具有大转矩的直流减速电机 TTM1，其上集成有霍尔传感器用于脉冲测速，使分拣车始终处于闭环控制状态。为驱动这款电机，使用 PWM 支持频率高达 100 kHz 的 TB6612FNG 驱动模块，可同时输出供 2 个电机运行的大电流。

升降单元采用步进电机与丝杆机构一体的两相四线步进电机 Y25-100C，自带减速箱，扭力大，速度平缓，滑块精度达 0.1 mm，步距角为 18° 。货物放置单元利用重力放置物品，对用于改变储物厢底板倾斜角的舵机，并无太高要求，故选择性价比较高的 SG90 舵机。

系统使用了基于 CC2541 芯片自主开发的蓝牙 4.0 通信模块 E104-BT01 完成上下位机的无线通信，以便实时监控运行及设置参数。在模块开发时，引出了所有功能口，接口布局如图 5 所示。

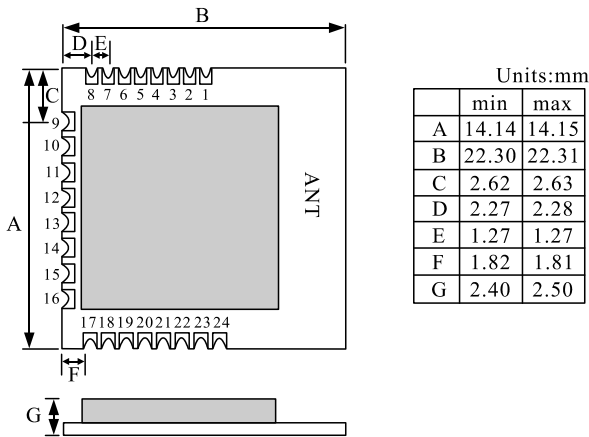


图 5 蓝牙 E104-BT01 接口

结合接口图,设计如图 6 所示的硬件连接电路。

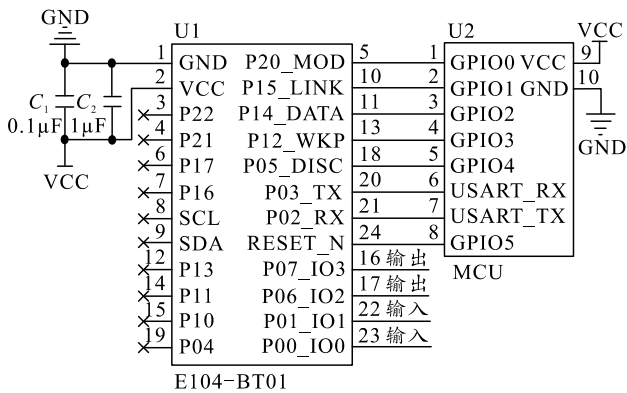


图 6 蓝牙 E104-BT01 连接

3 系统软件设计

由于采用模块化编程,主控 MCU 需要对各部分算法子程序进行逻辑处理,做到统筹协调。主程序流程如图 7 所示。

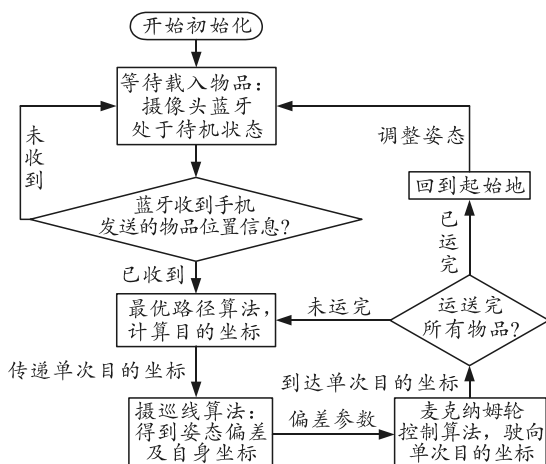


图 7 主程序流程

智能分拣车初始位于仓库门口等待进行物品分拣。分拣车蓝牙模块收到手机上位机发来的物品存放信息后,将信息通过串口转发给主控 MCU——MK60DN。串口数据经 MK60DN 解析后,

进行最优路径计算,得出需前往货架的先后顺序,并驱动 TTM1 电机;在分拣车前进的过程中,利用摄像头实时传回的图像,进行巡线识别来更新自身坐标,并将得到的偏差等参数作为电机控制算法输入值,以此来控制 4 个麦克纳姆轮转速,实现对分拣车的运行路径规划和控制。

当分拣车到达目的货架并放置好物品后,若车上还有物品需要传送,则又会依据最优路径算法的结果,继续前往下一个目的货架。直到分拣车中所有货物运送完毕,智能分拣车才会启动回归起始点程序,回到初始位置。

3.1 图像识别导航算法

图像识别算法主要用于控制车身姿态,更新自身坐标及行驶方向,用以巡线抵达目标位置。图像导航算法流程如图 8 所示。

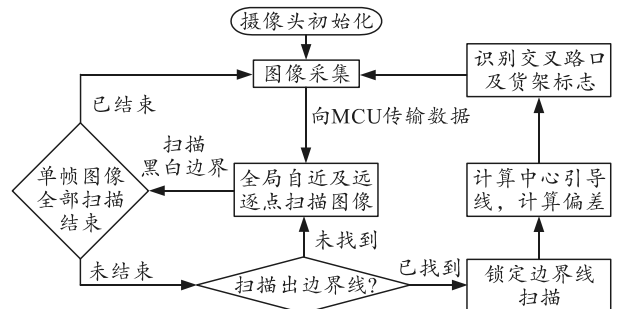


图 8 图像识别导航算法流程

主控 MCU 对收到的每帧图像做巡线扫描,找到整帧图像左右边界。再将每行左右边界值进行平均,得到每行的中心引导线值。将每行中心引导线值减去图像中心列值,即可得每行姿态偏差 A_x 值。将这个中心引导线斜率 B_x ,与姿态偏差 A_x 传递给运动姿态算法中,输出的参数即作为 4 个 TTM1 电机转速。

当分拣车行驶到新坐标点,图像算法会根据自身尚未更新时的坐标和行驶方向,计算出当前新坐标点的实际坐标值及新行驶方向,并更新相应参数。

到特殊路口时,分拣车会先根据现在的行驶方向,来计算当前新坐标点的实际坐标值,并以此更新自身位置坐标。分拣车据此进一步计算,经过这一特殊路口后的新行驶方向。

3.2 麦克纳姆轮运动控制算法

分拣车行驶单元采取直流电机带动麦克纳姆轮形式。由于麦克纳姆轮有别于普通车轮的控制方式,需相应的控制算法来控制分拣车的运行速度及方向姿态。其控制流程如图 9 所示。

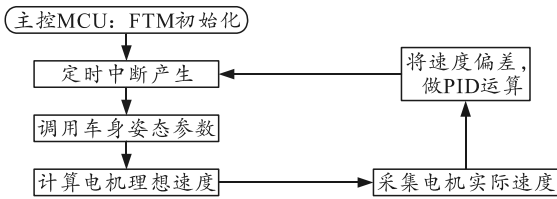


图 9 麦克纳姆轮运动控制算法流程

在每个控制周期，主控 MCU 调用图像处理算法中的运算结果——姿态偏差 A_X 和中心引导线斜率 B_X ，用于后续的给定速度计算。

定义 4 个麦克纳姆轮转速分别为 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 。若需分拣车整体横移速度达到 v_X ，则 4 个车轮的转速应为： $v_1=-v_X$ ， $v_2=v_X$ ， $v_3=-v_X$ ， $v_4=v_X$ 。

若需整体前进速度为 v_Y ，则车轮转速为： $v_1=v_1=v_3=v_4=v_Y$ 。

若需整体绕中心旋转速度为 v_W ，则车轮转速为： $v_1=v_W$ ， $v_2=-v_W$ ， $v_3=-v_W$ ， $v_4=v_W$ 。

分拣车若要以任意角度平移，只需将上述速度分量进行矢量叠加：

$$v_1=-v_X+v_Y+v_W, \quad v_2=v_X+v_Y-v_W,$$

$$v_3=-v_X+v_Y-v_W, \quad v_4=v_X+v_Y+v_W.$$

还需进一步计算各给定速度分量 v_X 、 v_Y 、 v_W 。 v_Y 是使用者希望车身的前进速度，需要人为设置。对于 v_X 的计算，需将姿态偏差 A_X 作为输入量进行运算： $v_X=A \times A_X \times A_X$ (A 为系数)。 v_W 则需将中心引导线斜率作为输入量： $v_W=B \times B_X$ (B 为系数)。

最后计算每个轮子的速度偏差：定义速度传感器采集的某个轮子实际速度为 v_0 ，给定速度为 v ，则速度偏差为 $v_{R1}=v-v_0$ ；然后记录每次速度偏差，得到上次和上上次速度偏差 v_{R2} 、 v_{R3} 。再进行 PID 计算出该车轮 PWM 输出值：

$$PWM=P \times v_{R1} + I \times (v_{R1} + v_{R2}) + D \times (v_{R1} - 2 \times v_{R2} - v_{R3}).$$

3.3 最优路径算法

由于分拣车需同时运送多种物品，需规划多个目标货架的到达顺序，最优路径算法流程如图 10。

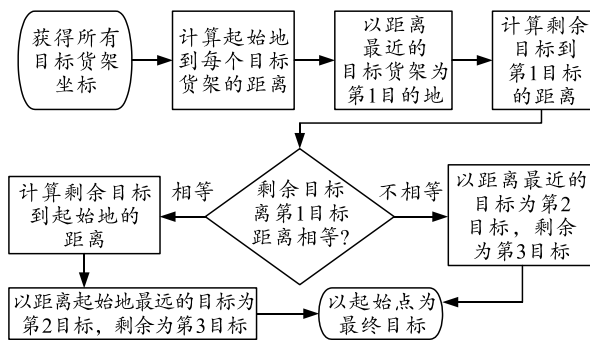


图 10 最优路径算法流程

首先主控 MCU 将得到的 3 个目的坐标存入数组 $A[]$ 中，并定义一个数组 $B[]$ 。开始计算起始地到每个目标的距离，选择距离起始地最近的目标作为第一次需要到达的地点，并将该目标存入 B_0 中。

还剩 2 个目标时，若 2 个目标距离第 1 目标距离不一样，直接把距离最近的那个作为第 2 目标；若是两者距离一样，就需考虑剩余 2 个目标与第 1 目标距离一样，但距离起始地可能不同。分析发现：先去距离起始地较远的目标地点，所经过的重复路段更少，故优先选择距离起始地较远的目标作为第 2 目标。

最后剩下的便是第 3 目标，整个最优路径算法结束。

3.4 物品放置控制

智能分拣车到达目标货物架后，主控 MCU 需控制升降放置机构精准放置物品，放置物品控制流程如图 11 所示。

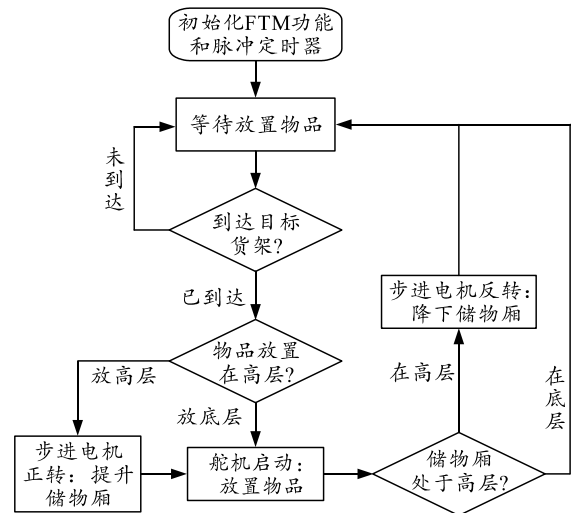


图 11 物品放置程序流程

初始化后，整个物品放置程序处于非执行的待机状态，直到分拣车到达目标货架。此时先查询将要放置的物品是否应放置于高层，从而判断是否需要提升储物厢；之后舵机启动改变储物厢底板的倾斜角，利用重力将货物放入货物架。

放置完毕后舵机会复位，储物厢也将降下，以保证储物厢中剩余物品位于低处，避免剩余物品在分拣车行驶过程中晃动。分拣车每到达一座货物架，便执行一次此段程序，直至所有物品放置完毕。

3.5 基于蓝牙 4.0 的信息交互

蓝牙模块 E104-BT01 关系到整个系统信息交互的实现，工作流程如图 12 所示。

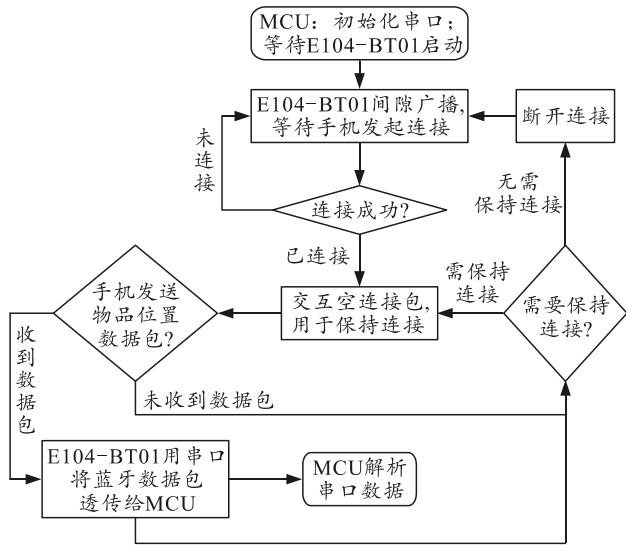


图 12 系统信息交互流程

若要利用 E104-BT01 模块的透传特性，通过 UART 串口将蓝牙数据透传给 MCU，则需初始化 MCU 的 UART 端口。其次，还需等待 E104-BT01 启动 1 次/s 的蓝牙广播，以便手机等主机设备，能快速发现作为从机的 E104-BT01。

打开手机上位机 APP，找到属于 E104-BT01 的广播，点击此广播包，即令手机发送连接请求，等待双方连接成功后，在蓝牙数据包发送页面，填入需要发送的物品位置信息，蓝牙数据包形式的发送给 E104-BT01。

当 E104-BT01 收到蓝牙数据包后，会将“T1=9”以 UART 数据的形式透传给主控 MCU。主控 MCU 将数据包按约定的协议进行解析，如“T1=9”会被解析成 1 号储物厢装的是 9 号货架的物品；再将解析的数据传递给最优路径算法使用。

同理，要在其他储物厢中装入物品，只需再进行如上操作。最后，用手机 APP 发送“START”，那么智能分拣车即会启动，并前往第一目标货架。

为实现以上数据透传等功能，还需进行蓝牙 4.0 的固件开发。为使主从双方自由通信，需将从机的蓝牙服务配置正确，修改 GATT 协议层的蓝牙服务注册表 simpleProfileAttrTbl。通过修改其注册表，创建一个 UUID 为 FFF0 的服务，用于与主机通信；并划分出 FFF1、FFF2、FFF3 3 个通信通道。其中，FFF1 用于从机向主机发送数据，FFF2 用于主机向从机发送数据包，FFF3 用于手机空中配置从机参数。这样可避免拥堵。

4 结束语

笔者设计一种便捷的可拓展式全自动仓库分拣系统，使仓储过程变得更加高效而有序。实验结果证明：该系统能精准高效地分拣存储物品，存储准确性和可靠性都很高。特色功能如下：

1) 能将多种物品，以最优路径平稳地运送至指定货架，节省了仓储环节的人力及物力成本，提高了工作效率；

2) 开发的 E104-BT01 极具市场前景，可应用于多种无线通信场景，如蓝牙门锁、蓝牙灯控等智能家居场景；

3) 采用模块化结构搭建智能分拣车，方便系统进一步升级和拓展。

目前，自动仓储控制系统只实现了货物的上架存储，今后可进一步实现货物的自动取用，利用蓝牙通信功能实现多辆分检车的协同控制等。

参考文献：

- [1] 宋召卫. 我国自动分拣技术及其应用[J]. 中国物流与采购, 2013(6): 46.
- [2] 许新. 大型机场行李自动分拣系统及导入子系统研究与应用[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [3] 曾祥苹. PLC和传感器技术在包裹自动分拣系统中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2018(2): 185.
- [4] 廖敬恩. 自动分拣控制系统的设计及研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [5] 王诗宇, 林浒, 孙一兰, 等. 基于机器视觉的机器人分拣系统的设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(3): 125.
- [6] 张欢欢. 自动化立体仓库的若干关键技术与仿真[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [7] 杨钰, 杨磊, 张晓楠. 一种应用于物流行业的自动分拣控制系统[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2019(4): 71-77.
- [8] 陈海龙. 基于 PLC 的物料自动分拣系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(10): 94.
- [9] 杨健. 基于 PLC 控制的自动分拣系统的设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2016.
- [10] 李基有. 基于 PLC 控制的多传感器无人分拣系统设计[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [11] 乔东凯. 基于 PLC 和触摸屏的物料自动分拣系统的电气化设计[J]. 机床与液压, 2014(2): 106-109.
- [12] 蒋嵘. 一种智能寻迹与搬运机器人的控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(4): 1209-1211.