

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.01.057

基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法

南天

(国网甘肃省电力公司物资事业部,甘肃 兰州 730046)

摘要:为了提高自动化仓库运行管理中的存取效率,提出一种基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法。结合 Greedy 算法,构建货物存取的双命令操作,生成存取规则,以货箱总质量以及提货时间作为优化目标,构建货位优化目标函数,通过分析货架移动方式,并结合单次存取操作所花费的时间,设计出 3 种货物存取模式。实验结果表明:采用该方法,对进行货物存取操作时,无人仓库的货物存取任务完成度较高,实现较理想的货物存取效果。

关键词:时间序列;无人仓库;重力货架;存取方法

中图分类号:TP278 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2026)01-0304-05

Time Series-based Automatic Access to Dual-load Gravity Shelves in Unmanned Warehouses

NAN Tian

(Procurement Division of State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730046, China)

Abstract: In order to enhance the access efficiency in the operation and management of automated warehouses, a time series based automatic access method for double load gravity shelves in unmanned warehouses is proposed. By combining the Greedy algorithm, a dual command operation for cargo access is constructed, and access rules are generated. The total weight of the cargo box and the pickup time are targeted for optimization objectives. A cargo location optimization objective function is constructed, and three cargo access modes are designed by analyzing the movement mode of the shelves and with the consideration of the time spent on a single access operation. The experimental results show that the application of proposed method accomplishes the high completion rate of goods access tasks in unmanned warehouses, with an ideal effect on goods access.

Keywords: time series; unmanned warehouses; gravity racking; access methods

0 引言

货架自动存取是仓库管理自动化的一个重要组成部分。常规的货架自动存取方法通常是由人工或自动化设备将货物放置在货架上,通过扫描设备对货物进行识别和记录,后采用人工或自动化设备将货物取出。在放置和取出货物的过程中,仍然需要人工操作,这不仅增加了人力成本,而且容易出错。同时,常规货架自动存取方法难以根据需求灵活调整,不能满足多样化的存储需求。相比于常规的人工存取方法,自动化存取方法可以有效减少人力干预,从而提高存储效率。

自动化技术可以减少人为因素导致的错误,从而提高货物存储的安全性。此外,双负载重力货架还具有灵活性和可扩展性。根据货物的尺寸和种类进行定制,通过调整货架的高度和宽度,适应不同尺寸和种类的货物,提高了仓库的适应性。同时,双负

载重力货架还可以根据仓库的实际情况进行扩展,方便企业根据需要进行升级改造。对此,文献[1]以木材存储立式仓库作为研究对象,通过对该仓库货架上的存取方法模式进行分析,进而优化仓库的存储效率。文献[2]设计了一种针对无人仓库的自动存取路径规划方法,从而提高仓库管理的自动化水平。文献[3]以加热存储仓库作为研究对象,通过对仓储货位进行合理分配,提高了货位的利用率,有效扩展了仓库的存储空间。

本文结合时间序列,通过设计货架自动存取方法,为企业提供一种实用的仓库管理解决方案,以提高运营效率^[4]。

1 基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法

1.1 存取操作规则设计

双负载重力货架的设计主要基于重力与杠杆

作者简介:南天(1987—),男,甘肃定西人,高级工程师,本科,研究方向为现代供应链体系研究、智能仓储、数字化设备选型,chuomeixianu@163.com。

原理,货物负载和重力负载是其主要考虑的因素,货架必须保持稳定和平衡,并满足可调节性、安全性、效率性和耐用性的控制要求。对无人仓库双负载重力货架自动存取方法进行设计,首先结合贪心规则算法,对存取操作规则进行设计,在此基础上针对存货操作以及取货操作的操作模式分别进行设计,从而构建出自动存取流程。对此,采用贪心规则算法中的 Greedy 算法,对存取操作规则进行生成,具体实现过程如下^[5]。

假设对于一个随机时间段 t , 为了避免双负载重力货架在对货物的存取操作中出现中断, 规定存入货物必须按照 $S_t = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ 的顺序进行。那么对于每个待存入货物 $\lambda \in S_t$, Greedy 算法会首先判断该待存货物对应的存储单元区域内是否存在空余货架区域。如果算法检测到空闲货架区域, 则可以将待存入货物 $\lambda \in S_t$ 直接放入对应的货架单元区域内, 实现货物存储。同理, 如果检测到待存货物对应的存储单元中不存在空闲货架, 那么首先需要从该货架区域中取出一个待提取货物, 从而得到一个空闲货架区域。然后判断待存入货物的存储区域是否满足需求, 并将货物存放到空闲货架中。为了提高货物的存取效率, 采用双命令操作, 即货物提取操作与货物存入操作可以双向进行^[6]。对此, 假设货物存入到指定区域内的操作时间为 t_a , 假设待提取货物从原始区域中取出的操作时间为 t_b 。此时, 代表检测到 t_a 的值小于 t_b 时, 即可执行双命令操作。存储机首先会搭载货物 λ 进入无人仓库双负载重力货架的存储区域, 然后根据存储信息找到待存入货物对应的货架区域, 对货物进行存储处理。同时直接行驶到待提取货物 ω 的存放区域, 并将货物 ω 取出, 将其放置到货物集中提取区域, 从而实现双命令操作。Greedy 算法代码描述如下^[7]。

```

输入:  $s$  和  $R$ 
输出: 存取操作序列
1: while ( $S \neq \phi$  且  $R \neq \phi$ ) do
2:  $\lambda \leftarrow \text{head}(S)$ ;
3: if ( $\lambda$  所需存入的存储单元存在空闲存储位) then
4: 选择具有最小存储时间的货物,  $\omega \in R$ ;
5: 执行双命令操作,  $S \leftarrow S - \{\lambda\}$ ,  $R \leftarrow R - \{\omega\}$ ;
5: else then
7: 对  $\lambda$  所需存入的存储单元执行一次提取操作, 提取  $\omega$ ,  $R \leftarrow R - \{\omega\}$ 
8: while ( $R \neq \phi$ ) do
9: 提取从拾取站由近到远存储单元中的所有待提取货物;
10: while ( $S \neq \phi$ ) do
11:  $\lambda \leftarrow \text{head}(S)$ ;

```

12: 存入 λ , $S \leftarrow S - \{\lambda\}$;

13: return

通过上述步骤即可完成对于无人仓库双负载重力货架存取规则的设计, 结合 Greedy 算法, 构建出货物存取的双命令操作。

1.2 基于时间序列的双负载重力货架货位优化

双负载重力货架虽然具备可移动的特点, 但是不同货架上的具体货物存储位置却是固定的, 因此为了最大效率提高货物的自动存取效果, 需要针对货架上的货位进行优化^[8]。基于上述构建出的货物存取操作规则, 结合货物提取的时间序列, 以货架的结构稳定性以及获取的存取效率作为优化目标, 对目标函数进行构建。对此, 设定货物出库位置为距离出库台最近的货位^[9]。假设无人仓库双负载重力货架的层数和列数分别 p 和 q , 其中每层和每列对应的编号分别为 i 和 j 。那么可以根据编号方式对不同位置的货位进行表征, 例如 (i, j) 代表第 i 层第 j 列的货位, 其中。通过上述货物出库位置的确定规则可以明确, 出货台位置坐标为 $(0, 1)$ 。假设在无人仓库分拣系统中, 货物的质量以及尺寸均保持一致, 那么可以将货位优化问题转化为货箱总质量 S 以及提货时间 T 的最小值求解问题, 假设货物提取时间序列为 $T' = \{t_1, t_2, \dots, t_{ij}\}$, 由此得到的货位优化函数表达式如式(1)所示^[10]。

$$\begin{cases} \min S = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q m_{ij} n_{ij} x_{ij} \\ \min T = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q t_{ij} x_{ij} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 层第 j 列的货物; m_{ij} 和 n_{ij} 分别为货位编号为 (i, j) 对应的单位货物质量以及存储货物总数; t_{ij} 为存储机将货物 x_{ij} 运送到出货口所花费的时间^[11]。为了保证算法的严谨性, 设定 t_{ij} 不包括双负载重力货架的电机启动时间以及双命令操作的响应时间。 t_{ij} 的值主要与重力货架进行水平运动的平均速度 v_x 有关, 具体计算如式(2)所示。

$$t_{ij} = \frac{L}{v_x} + \frac{H(j-1)}{v_y} \quad (2)$$

式中: L 为重力货架的货位长度; H 为货位设置高度; v_y 为垂直升降平台的运行速度^[12]。求解 t_{ij} 值时, 不仅考虑了水平运动的平均速度, 还考虑了垂直运动的运行速度。

通过上述步骤即可完成对于双负载重力货架的货位优化, 通过结合货物提取的时间序列, 以货

箱加总质量以及提货时间作为优化目标,构建出货位优化目标函数。

1.3 货物自动存取模式设计

完成货架货位的优化调整后,考虑到双负载重力货架对于货物的存放方式较为多变,需对货架的移动方式进行讨论^[13],并提出不同移动方式下的最佳存取模式^[14]。假设双负载重力货架主要通过存储机搭载机械臂实现货物存放操作,那么在进行存取操作时,一共存在3种操作方式,分别为载板平移操作、机械臂升降台上升操作以及机械臂升降台下降操作。针对上述3种操作方式,共设定出了3种不同的货物存取模式,分别为存货优先模式、取货优先模式以及交叉存取模式。下面将分别针对3种存取模式进行细化设计。

存货优先模式指的是以存货操作作为优先处理的任务。当机械臂完成了一次货物存放操作后,升降台将会搭载机械臂进行下降操作,从而到达仓库的地面层,为下一次的货物存储操作做好准备。那么无人仓库进行一次货物存储操作所消耗的时间 T_{sum} 表达式如下所示。

$$T_{\text{dep}} = \frac{t_{\uparrow i,j} + t_{\downarrow \text{ground}} + t_{\text{pan}}}{t_{\text{hu}}} \quad (3)$$

式中: t_{hu} 为机械臂在第 i 层第 j 列货位存储一次货物所需要的时间; t_{pan} 为载板平移到货位所需的操作时间; $t_{\uparrow i,j}$ 为机械臂升降台上升到货位所需的操作时间; $t_{\downarrow \text{ground}}$ 为升降台下降到仓库地面所需要的操作时间。那么可以针对机械臂执行第 R 次存储任务所消耗的总时间 T_R 进行计算,具体计算如式(4)所示。

$$T_R = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q R_{i,j} T_{\text{sum}} \quad (4)$$

式中 $R_{i,j}$ 为无人仓库在货位 (i,j) 区域内进行存取货物的总操作次数。

在货物提取优先模式中,无人仓库进行一次货物提取操作所消耗的时间 T_{ret} 可以参考式(3),机械臂在执行第 R 次提取任务所消耗的总时间可以参考式(4)^[15-17]。而交叉存取模式指的是分别针对货物的存入操作和取出操作所花费的时间进行对比^[18],从而判定进行先存后取操作以及先取后存操作的先后顺序。具体判定标准如式(5)所示。

$$f(x) = \begin{cases} 1, & T_{\text{dep}} \leq T_{\text{ret}} \\ 0, & T_{\text{dep}} \geq T_{\text{ret}} \end{cases} \quad (5)$$

式中 $f(x)$ 为判定操作函数,当函数值为1时,代表

进行先存后取操作;当函数值为0时,代表进行先取后存操作。

通过上述步骤即可完成对于货物自动存取模式的设计^[19-20],通过分析货架的移动方式,并结合单次存取操作所花费的时间,设计出3种货物存取模式,以满足无人仓库对于不同货物的存取需求。

至此,基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法设计完成。

2 实验论证

为了证明基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法在实际存取效果方面优于常规的货架自动存取方法,在理论部分的设计完成后,构建实验环节,以验证方法的实际存取效果。

2.1 实验说明

在实验过程中,为了模拟真实环境下的无人仓库运行情况,设定如下工况。

1) 货物流量与分布:实验中,货物流量设置为正常水平,即每小时有20个货物到达,并以均匀分布的方式分布在各个货架区域。

2) 货物尺寸与质量:货物的尺寸和质量随机生成。

3) 设备故障率:在实验过程中,考虑到实际运行中可能出现的设备故障,设定了3%的设备故障率。这意味着在每100次操作中,有3次操作会因为设备故障而失败。

4) 任务优先级:根据实际需求,设定了任务的优先级。对于某些紧急或重要货物,其存取任务具有更高的优先级。

5) 人员干预:在实验过程中,模拟了人员干预的情况。例如,当货架上的货物堆放过高或过密时,需要人工干预进行整理。

6) 工作时间:实验设定了每天8h的工作时间,模拟实际仓库的工作时间。

7) 环境因素:考虑到了环境因素对存取操作的影响,如货架区域的温度、湿度等,以及操作过程中可能出现的噪声、震动等干扰因素。

8) 能源消耗:为了评估不同方法的能源消耗情况,实验中还考虑了各方法的能源消耗情况,并将其作为评价指标之一。

通过上述工况的设置,可以模拟出真实环境下无人仓库的运行情况,为实验结果提供了更可靠的依据。为验证提出的基于时间序列的无人仓

库双负载重力货架自动存取方法在实际存取效果方面的优越性,选取了两组常规的货架自动存取方法作为对比对象,分别为基于随机森林算法的货架自动存取方法以及基于物联网的货架自动存取方法。通过构建实验平台,采用3种方法对同一组存取任务进行操作,对比不同方法的实际操作效果。

2.2 实验对象

实验以自动化无人仓库中的一个重力货架区域作为研究对象,通过结合仿真软件,对无人仓库进行建模。对此,假设无人仓库的单位货格长度为1.45 m,单位货格高度为0.75 m,机械臂搭载平台的水平运行速度为150 m/min,并对货物分区情况进行设计。所模拟出的货物分区数据如表1所示。

表1 货物分区数据

分类数量	货位总数/个	出入库频率/%	货物质量/kg
1	40	75	100
2	60	78	120
3	50	90	120
4	40	50	70
5	50	65	80
6	30	45	40
7	60	78	50
8	40	82	70
9	30	65	60
10	50	60	50

针对上述货物分区数据,自动化无人仓库的货架分区如图1所示。

基于图1,针对实际的双负载重力货架结构进行了分析,从而构建出单个货架的动力学模型。具体结构如图2所示。

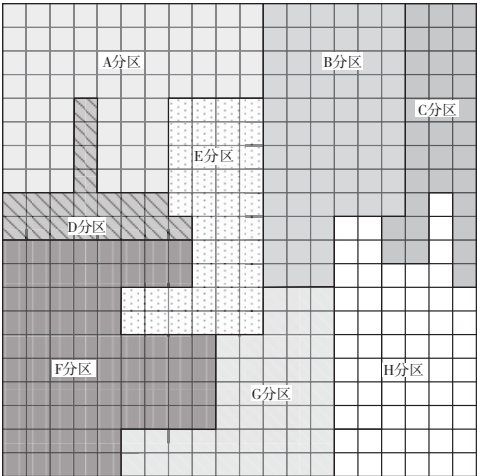


图1 无人仓库货架分区模拟图



图2 双负载动力货架结构

为了比较不同方法的实际存取效果,针对机械臂搭载平台的移动路径进行了规划,具体规划结果如图3所示。

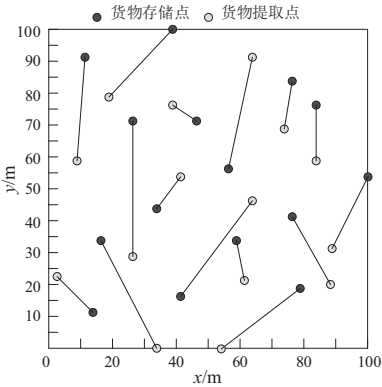


图3 机械臂搭载平台的移动路径

通过采用3种方法完成无人仓库的货物存取任务,待实验完成后,对比不同任务的完成度,从而比较出各方法的运行操作效果。

2.3 货物存取效果对比结果

采用基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法对无人仓库的货物存取任务进行处理,得到不同货架分区中平均空闲设备数量统计结果如表2所示。

表2 存取模式下的搬运设备利用情况

货架分区	任务执行数量/个	平均空闲设备数量/台	平均搬运设备利用率/%
A	20	2	85
	40	1	89
	60	0	92
	80	1	89
B	20	2	92
	40	0	93
	60	0	95
	80	2	85

续表2

货架分区	任务执行数量/个	平均空闲设备数量/台	平均搬运设备利用率/%
C	20	0	94
	40	0	93
	60	2	94
	80	1	95
D	20	1	94
	40	2	94
	60	0	96
	80	2	95
E	20	0	88
	40	1	94
	60	0	96
	80	2	98
F	20	0	84
	40	1	94
	60	1	93
	80	2	98
G	20	0	85
	40	1	93
	60	2	95
	80	0	95

通过上述实验结果可以看出,在基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法的货物存取模式下,机械臂搬运设备的平均空闲设备数量较少。同时,平均搬运设备的利用率均在85%以上。由此可以证明所提方法可以有效提高设备利用率,从而提高无人仓库的存取效率。为了使实验结果更具备对比性,以不同存取任务的完成度作为对比指标,通过设定相同的任务完成时间,对比不同方法在既定时间内的存取任务完成情况,具体对比结果如图4所示。

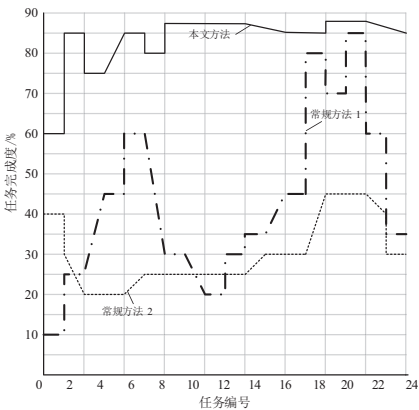


图4 不同存取模式下的任务完成度

通过上述实验结果可以看出,基于时间序列

的货架自动存取方法在规定时间内的存取任务完成度较高,由此可以证明其存取效果更好。

3 结语

基于时间序列的货架自动存取方法通过对双负载重力货架的存取方法进行设计,实现了货物的自动存取和跟踪管理,减少了人为干预和错误,提高了仓库管理的效率和精度。同时,该方法还可以根据需求进行灵活调整和扩展,满足不同企业的存储需求。因此,基于时间序列的无人仓库双负载重力货架自动存取方法具有广泛的应用前景和价值,为企业提供了更加高效、安全、灵活的仓库管理解决方案。

参考文献:

[1] 郭秀荣,郑立文,杜丹丰. 木材存储立体仓库设计及存取模式研究[J]. 林产工业,2023,60(2):52-56.

[2] 马飞,王潇,孙巍伟,等. 自动存取系统路径规划及动力学仿真分析[J]. 制造业自动化,2023,45(8):167-170,177.

[3] 赵钰,骆星智,杨涛. 加热存储仓库智能仓储货位分配优化方法研究[J]. 自动化仪表,2023,44(8):38-42,50.

[4] 戚欣妍,张陈,谭若瑶,等. 基于物联网的自动存取鞋柜控制设计[J]. 物联网技术,2023,13(5):142-144.

[5] 徐丽娜,赵冲. 关于数据仓库缓慢变化维分区存储的研究[J]. 中国水运,2023(6):45-47.

[6] 刘刚,王艳艳,黄珂,等. 穿梭车自动存取系统任务调度算法适配性研究[J]. 计算机集成制造系统,2022,28(5):1435-1448.

[7] 陈俊. 一种存取类设备非理想情况建模的技术设计分析[J]. 价值工程,2023,42(4):83-85.

[8] 屈新怀,纪飞,丁必荣,等. 面向管材存储的自动化立体仓库货位优化[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2023,46(1):1-5.

[9] 鄢海新,丁鹏辉,赵阳林,等. 涂装车间新型存储系统立体仓库工艺研究与应用[J]. 现代涂料与涂装,2022,25(11):56-59.

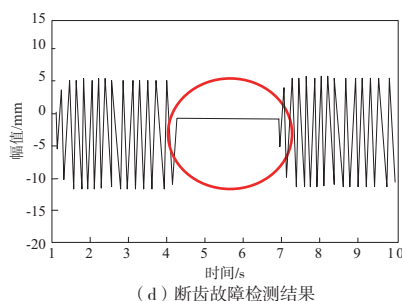
[10] 张明,韩鸿德,张强. 基于物联网的仓库智能自助存储领料装置研究[J]. 中国物流与采购,2022(9):86-88.

[11] 常青青,周建阳,吴耀光. 仓储式自行车自动存取立体车库设计[J]. 机械设计与研究,2022,38(2):193-196.

[12] 胡亚东. 一种垂直升降类大轿箱立体停车设备设计[J]. 轻工科技,2024,40(5):77-79,129.

[13] 刘宁. AGV“货到人”拣选系统的移动货架选择方法[J]. 物流科技,2024,47(18):32-38.

(下转第324页)



(d) 断齿故障检测结果

图7 不同类别的故障诊断结果

对图7的测试结果进行分析后得出:通过本文方法能够依据重建的振动信号可靠完成采煤机齿轮传动故障检测,精准输出不同类别的故障诊断结果,诊断效果良好。

3 结语

为及时、精准地进行采煤机齿轮传动故障检测,本文提出基于深度残差网络和振动数据重组的采煤机齿轮传动故障自动检测方法。对该方法的应用效果进行相关测试后得出:该方法具备较好的应用效果,其具备较好的齿轮振动信号重构效果,并且可靠地提取信号特征,为精准检测齿轮传动故障提供可靠依据。

参考文献:

- [1] 李晓峰,向辉,杨青桦. 噪声干扰下基于二维特征图和深度残差收缩网络的齿轮箱故障诊断[J]. 机床与液压,2022,50(7):187-191.
- [2] 王辉,徐佳文,严如强. 基于深度宽卷积Q网络的行星齿轮箱故障智能诊断方法[J]. 仪器仪表学报,2022,43(3):109-120.

- [3] 李东东,赵阳,赵耀,等. 基于深度特征融合网络的风电机组行星齿轮箱故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制,2022,50(10):1-10.
- [4] 李勇,李志农,李云龙,等. 基于变分非线性调频模式分解的滚动轴承多故障诊断方法研究[J]. 机床与液压,2022,50(21):181-187.
- [5] 黄伟国,李仕俊,毛磊,等. 多源稀疏优化方法研究及其在齿轮箱复合故障检测中的应用[J]. 机械工程学报,2021,57(7):87-99.
- [6] 薛萍,郝鹏,王宏民. 基于径向基神经网络的新型齿轮故障诊断方法[J]. 控制与决策,2022,37(2):409-416.
- [7] 冯义楷,董志鹏,刘焱雄,等. 融合残差模块与SegNet的多波束影像人工鱼礁检测[J]. 海洋测绘,2024,44(5):14-17,23.
- [8] 刘必慰,赵振宇,蒋汶乘,等. 针对数字波形的数据重组增强的字典压缩方法[J]. 微电子学与计算机,2024,41(11):68-74.
- [9] 盛连超,陈家俊,姜耸,等. 采煤机截割部齿轮传动系统可靠性研究[J]. 机械设计与制造,2024,400(6):75-80.
- [10] 王朝阁,张奇奇,周福娜,等. 时变转速下基于IFMD的行星齿轮箱微弱故障诊断[J]. 振动工程学报,2024,37(11):1980-1992.
- [11] 陈梅,万显荣,占伟杰,等. 基于稀疏度自适应匹配追踪算法的微动杂波抑制[J]. 太赫兹科学与电子信息学报,2023,21(6):830-837.
- [12] 赵梦圆,荆双喜,冷军发,等. CWT-ETVF与SWT结合的齿轮无转速计阶次跟踪及其应用[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2023,42(2):98-107.
- [13] 段长江,李发伟,闫文倩,等. 基于气动噪声信号检测模型与无线传感的风电机组叶片故障诊断方法[J]. 计算技术与自动化,2024,43(3):31-36.

收稿日期:2024-09-03

(上接第308页)

- [14] 曾超,杨子涵,崔子豪,等. 基于PSO-OBL算法的平面移动类立体车库车辆调度优化模型[J]. 科学技术与工程,2025,25(2):816-824.
- [15] 陈炫锐,陈庆新,毛宁等. 多层车间中自动存取系统的AGV配置优化[J]. 计算机集成制造系统,2023,29(5):1562-1575.
- [16] 杨语录,李长勇. 基于SCARA的柔性葡萄采摘机械臂设计与试验[J]. 农机化研究,2025,47(1):72-78,86.
- [17] 刘光辉,高嘉豪,孟月波,等. 位姿约束下的双向扩展机械臂路径规划方法[J]. 计算机集成制造系统,

2024,30(7):2389-2405.

- [18] 杨雅婷,许瑞,陆晓芬,等. 动态阈值下的交叉存取优化问题研究[J]. 工业工程与管理,2023,28(3):83-95.
- [19] 吴海涛. 基于STM32的高校快递存取柜控制系统设计[J]. 电子制作,2024,32(16):15-18.
- [20] 王军茹,张蒨,孙广彬. 无人化仓库下异构机器人混合任务分配研究[J]. 仪表技术与传感器,2024(6):53-60,78.

收稿日期:2023-12-01