

# 双面型快递智能柜自动化调度控制系统设计

武成威 白园 丁靖权 王彤辉 董佳怡

鄂尔多斯应用技术学院 机械与交通工程学院 内蒙古鄂尔多斯 017000

**摘要:** 随着电子商务的发展,传统寄递存取方式存在效率低、空间占用率不高等问题。前后双开门和可调隔板构造的双面型快递智能柜,使空间利用率以及存取效率大幅度提升。本文设计了一套“云-边-端”三层协同架构自动化调度控制系统,运用强化学习和贪心算法优化调度和空间分配策略,加入异常检测、自我修复机制,保证系统稳定运行。本系统实现高效快递调度、智能仓储管理以及远程运维服务,为快递业的智能化转型提供了一种可行的技术手段。

**关键词:** 双面型快递柜; 自动化调度; 云-边-端架构; 控制系统

## 一、设计研究背景

随着电子商务技术的迅速发展,快递业务量呈现爆发式增长,传统的快递存取方式也面临效率低、空间利用不合理等问题。为了解决这些问题,双面型快递智能柜出现。其运用双面柜门格口设计提高空间利用率以及存取效率。但实现快递柜的高效自动控制调度才是提升快递柜服务质量、提升用户体验的关键。在该背景下,研究双面型快递智能柜自动化调度控制系统的设计尤为重要。本文研究目的是用先进的硬件结构设计及软件算法进行优化,来建立一个“云-边-端”三级协同架构调度系统,实现高速实时调度以及大规模扩展性的均衡,提升快递存放效率,减少快递公司的运营成本,并且推进快递行业的智能化。

## 二、硬件内结构

### 1. 双面型快递智能柜的结构

该快递柜外部结构设计采用了新的前后柜门格口设计,在空间利用率、取件速度方面都比以前有提高。各个储物箱都配有一个前后分开开关的门板,具备双边开柜能力—快件可以从其中一个面投放,用户也可使用对面取货,这样能有效避免在高峰期时单个面开柜所带来的排队情况,如下图1所示。另外,这样的设计可以做到多线作业,这样会把整个存取时间缩短,在人流较多的地方(小区、办公区或者校区)非常适用。

就内部结构而言,每个格口中加入了可以灵活调节的隔板,可以移动。用户或者工作人员可以依照快递物件的实际大小,调节格口的进深空间,使资源得到更灵活的分配。它不仅可以避免因为格口太大或者太小造成空

间浪费或者是装不进包裹的现象,而且能够加强快递柜对不同大小包装盒的适配度,在双十一大促期间包裹尺寸相差很大时尤为有利。

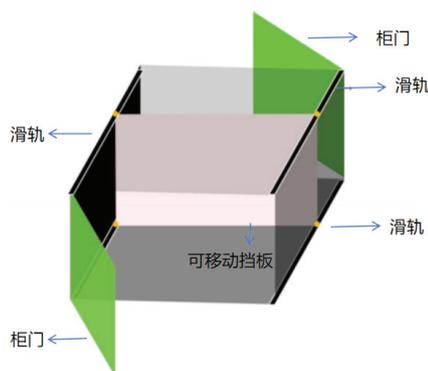


图1 双面快递柜结构图

### 2. 硬件系统工作原理

双面型快递智能柜的硬件系统有主控机、显示屏、扫描仪、电磁锁、电机、传感器等等构成,通过协同工作达到有效存取。最显著的设计是前后双向开门,每一个隔间的前后都设了柜门,由电磁锁分别控制。快递员投送时会系统打开对面的柜门,存放好包裹以后会自动关闭,并且同步打开用户那边的柜门,保证单次操作的安全。

快递员在主控界面上或者扫描设备中输入信息之后,系统会自动分配储物格并自动解锁对应的电磁锁。柜门打开后,距离传感器检测包裹的尺寸,电机驱动滑轨上的隔板智能调整空间。存放好之后关闭柜门,系统记录操作,并上传数据,达到空间优化和流程自动化。整体系统靠传感器来实时监测以保证动作准确和设备的正常运行。

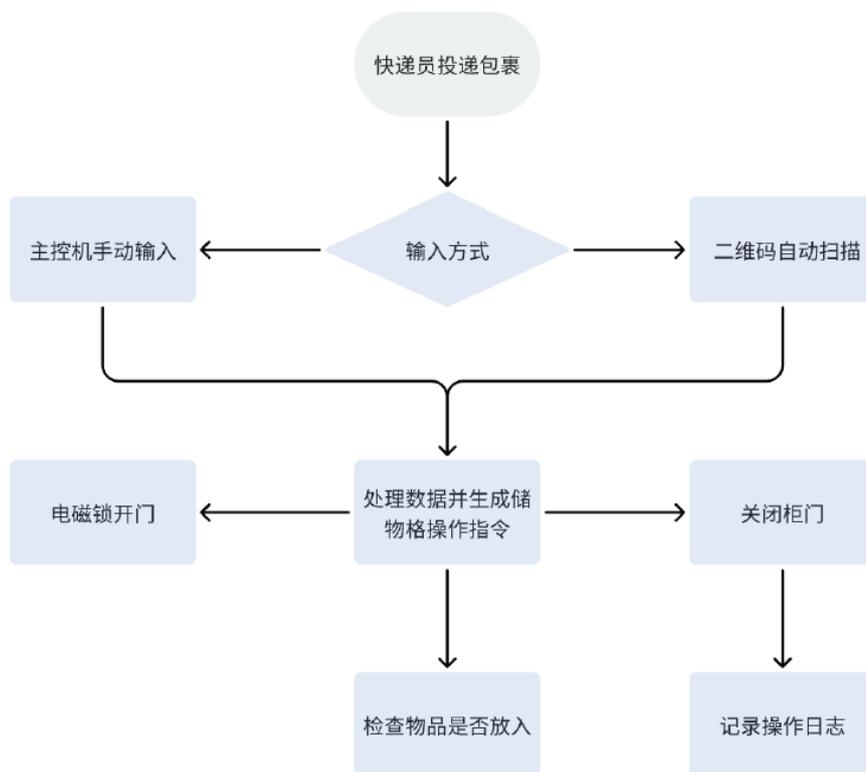


图2 快递员柜机投递包裹

用户取件的时候可以选择输入取件码，扫描二维码或者用NFC验证身份。主控机验证过信息之后，发送指令给相应储物盒的门锁。用户开门取包，关闭柜门时系统通过微动开关获取到柜门的关闭信号后触发驱动滑轨上隔板的自动回位来归还空格子，等下次使用。

整个系统经主控机集中控制，各个元件的状态实时监测，保持系统正常运行。另外，系统还具备远程监督和控制在功能，运营商可以借助网络实现对机器状况的探知、系统更新及设备检查等功能，提高了维护的效率。

### 三、控制系统设计

#### 1. 调度系统架构设计

本系统用“云—边—端”三层协同架构，通过图3所示系统框架来满足高实时调度和大扩展能力的需求。系统由感知采集层、边缘调度层、云端决策层和人机交互层组成四层逻辑结构，各层之间通过高效通信网络进行通信。

##### (1) 物理感知层

双面智能快递柜硬件由多维环境传感器群、机械电子执行器和环境感知装置构成。多维环境传感器阵列包含有红外光电传感器、压电称重模块、LVDT线位移传感器，分别用来检测物体的存在情况，精确测量出物体的

重量，观察到线性位移的变化情况。机电执行机构由双面电磁门锁和步进电机驱动滑轨构成，双面电磁门锁实现门体稳定锁闭、步进电机驱动滑轨精确运动。环境感知装置包括温度、湿度传感器和广角相机，可以用来检测环境中温度、湿度变化及异常行为，达到环境监控目的。

##### (2) 边缘调度层

边缘调度层的硬件平台用到树莓派CM4核心模块，如图3-2所示，采用实时linux系统以保证其高效、实时，选择树莓派CM4主要在于它的性能好、成本低、功耗低、灵活。配备高性能四核Cortex-A72处理器可以高效处理复杂的边缘计算，比其他嵌入式平台成本更低；另外，树莓派CM4功耗很低，适合用作电力有限的地方以增加设备使用时间；同时树莓派CM4支持各种接口与扩展板，保证硬件系统的可扩展性，满足不同应用场合；最后它还很轻便，适合大规模部署；在边缘计算中的实际应用包含实时数据处理、智能监控以及物联网网关等。

##### (3) 云端决策层

云端决策层的基础设施采用Kubernetes来建立微服务簇，用Redisstream作为实时消息队列，并且符合高并发、低延迟数据处理的要求。云决策层核心提供全球负



图3 调度系统架构设计

载均衡、调度策略的训练与数字孪生仿真实现。

#### (4) 人机交互层

人机交互层包含有快递员操作终端与用户交互界面两项，目的在于提供高效的、方便的操作体验。快递员操作终端安装定制版 Android APP，可以实现实时读取和 OCR 识别功能，快递员可以迅速扫号并且可以完成投递的操作。用户交互界面设置 IPS 触摸屏，并支持引导和扫码功能，给用户直接提示和服务体验，快递员用 Android 定制 APP 读取包裹信息，然后系统自识别并指派最优柜格。

### 2. 算法研究

#### (1) 调度策略优化算法

快递的存放效率，用户感受直接和调度策略优化有关。该系统用的是强化学习调度算法，不断和环境互动，获得最好的调度方式。系统中存储箱的状态（闲置、占用、锁住）、包裹的尺寸、重量等信息为状态变量，调度决策（选择存储的存储箱）属于动作空间，用奖励函数来反映调度效率，例如存取时间最少、储物空间最大等。系统没有先验知识，在试错的过程中，会用强化学习或者深 Q-网络来学习出最优的调度策略。比如快递员给大件包裹送快递的时候，系统可以立刻判断出一个当前空闲，可以调整深度的储物格来放快递，再把临近储物格

的隔板也调整好，以便能装更多的东西。系统会根据历史数据来推测高峰时段，把调度策略提前调整好以迎接大量用户的情况。

#### (2) 空间利用率提升算法

空间利用率的提高是双面智能快件柜设计的主要目标。本系统依靠调节储物格的隔板，达到存储空间的最佳分配。系统采用的是贪心算法空间分配策略。当快递员投递包裹时，系统首先通过距离传感器检测出包裹大小并结合当前所有储物格状态信息，用贪心算法选出一个既能满足包裹尺寸要求，又剩余空间最小的储物格。紧接着由系统控制电机驱动滑轨上面隔板移动到合适的位置来匹配包裹尺寸。

包裹长度超出单个存储格最大深，还会把相邻格体组合在一起，把中间隔板左右挪动来达到扩大储物格宽度的目的。而且系统还引入了空分复用。当某个格子内部的包裹拿掉了以后，系统不只会让这个格子重新变空，也会看看隔壁是否有调整隔板位置，这样就可以腾出更多的空位，使整个柜子更加用得下。

#### (3) 异常处理机制算法

快递存取期间发生异常情况（柜门卡死、包裹卡住、传感器故障等）无法预防。本系统设计了一套完整的异常处理措施，确保在异常情况下仍然系统稳定地运行。

即通过实时监视各传感器数据的变化来判别出现故障的情况。检测出异常后,系统马上触发对应的处理流程。比如柜门卡死的时候,系统会先用电机反转的方法解除卡死的情况;如果还是不行,就会在屏幕上显示出错误信息,同时通知操作人员前来维修。而且系统同时会记录下异常的发生时间、类型、结果,用来进行系统故障分析、系统优化。系统还具有一些自我修复的能力。

对非严重异常(如:传感器的临时失灵)系统可以采用内部重试机制或者采用备份传感器的数据使其能恢复工作,减少给用户带来的影响。

从调度策略优化、空间利用率提升及异常处理机制三个方面研究控制算法,可以使得双面型快递智能柜自动化调度控制系统实现快递存取服务高效、稳定、可靠,并给用户带来更加便捷的使用体验。

### 结论

本文围绕双面型快递智能柜自动化调度控制系统的硬件结构创新及软件算法优化来搭建一个可靠高效的快递存取平台。系统用“云-边-端”协同架构来配合强化学习调度策略以及动态空间分配算法,明显地增强了

存取性能和空间利用率。异常处理机制保证了系统的稳定性以及容错能力。实验表明:该系统实时性能、扩展性能都很好,满足高并发场景中各种业务的要求。未来可进一步融合数字孪生与人工智能技术,进行更加精确的预测调度,实现从全生命周期到全数据生命周期的管理,推动智能快递柜向更高的自动、智能程度发展。

### 参考文献

- [1]张明.电控锁在智能快递柜中的应用研究[D].上海:上海交通大学,2022.
- [2]李强.红外传感器在智能快递柜中的应用[J].传感器技术,2022,41(6):89-93.
- [3]王伟.智能快递柜主控机的联网功能优化[J].计算机应用研究,2022,39(8):2345-2348.
- [4]陈华.智能快递柜格口设计优化研究[J].工业设计,2022,18(5):45-48.
- [5]赵刚.空间状态表示模型在智能快递柜中的应用[J].自动化学报,2022,48(7):1234-1238.
- [6]孙明.Petri网在智能快递柜调度中的应用研究[D].北京:北京邮电大学,2022.