

德邦仓储作业的智能进化路径与优化模型研究

张曼雪

北京工商大学, 中国·北京 102488

【摘要】本文以德邦物流股份有限公司为研究对象,通过对其仓储作业智慧化现状的调研,发现德邦物流存在系统分散、设备协同低效、智能化水平有限等问题。为此,本文提出利用“人工智能+大数据”、“云计算+边缘计算”、“数字孪生+数据中台”等新技术的优化方案。本文构建仓储拣选路径优化模型并利用强化学习算法求解,验证了优化策略的可行性与有效性。经验证结果表明,本方案可显著提升仓储拣选效率、设备利用率与作业响应能力,为智慧物流建设提供可行路径。

【关键词】德邦物流; 智慧仓储; 人工智能; 拣选优化; 数字孪生

引言

在数字化经济快速发展的背景下,智慧物流已经成为物流行业发展的核心方向。仓储作为物流系统的重要组成部分,其智能化水平会直接影响整体的物流效率。德邦物流作为中国领先的综合物流服务企业,积极推进仓储智能化建设。但在调研中发现,德邦物流现阶段仍存在系统割裂、人工依赖度高、智能协同不足等问题。因此,本文以德邦物流为调研对象,分析其智慧仓储现状,识别问题,构建基于人工智能和数字孪生的新型优化方案,旨在为智慧物流实践提供理论与方法支持。

1 文献综述

智慧物流与智慧仓储的研究已经成为近几年物流管理领域的热点。余蓉等(2015)运用模糊综合评价法,对德邦物流配送中心选址进行了深入分析,为物流设施布局优化提供了理论依据。李超(2015)针对德邦物流仓储管理的现状与问题提出改进对策,指出信息化水平与作业流程标准化是提升仓储作业效率的关键。张玲玲(2019)进一步总结了德邦在仓储管理中存在的系统协同不足、智能化应用低等问题,为后续智慧化转型提供了实践参考。

在智慧物流整体模式研究方面,李佳(2019)基于大数据与云计算技术,提出了智慧物流模式的重构路径,强调数据驱动与智能决策的重要性。陶飞等(2019)提出了数字孪生五维模型体系,为智慧仓储的虚实融合与实时仿真管理提供了系统支撑。

针对仓储作业优化问题,常发亮等(2007)研究了自动化立体仓库的拣选作业路径优化,提出了有效的路径规划方法;汤洪涛等(2020)从货位分配与作业调度的集成优化角度出发,提升了自动化仓储系统的整体作业效率。

综上,当前国内外在智慧仓储领域的研究已涵盖选址布局优化、作业流程优化、技术融合应用等多个方面,但普遍存在单点突破、系统整合不足、智能决策机制欠完善的问题。对于德邦物流的智慧仓储建设而言,迫切需要结合“人工智能+大数据”“数字孪生+数据中台”“云边端协同”等新技术,系统性提升整体作业智能化水平和响应能力。

2 德邦物流智慧仓储作业现状与问题分析

2.1 信息系统现状

德邦物流建立了包括WMS(仓储管理系统)、TMS(运输管理系统)在内的物流信息化平台,基本实现入库、出库、盘点等作业的信息化管理。但各子系统之间的数据共享能力不足,形成一定程度的数据孤岛,限制了作业流程的协同优化。

2.2 自动化与智能化设备使用情况

德邦在部分大型仓库部署了AGV小车、自动分拣机、立体货架等设备,初步具备自动化能力。但在全国范围,自动化设备普及率仍较低,尤其是在中型仓储中心,人工作业依旧占据主导地位。

通过对全国30个德邦中型仓储中心的调研发现,仅有20%的仓库配置了自动化设备,且设备的平均使用率不足50%。人工操作不仅效率低下,而且容易出现作业标准不一、错误率较高等问题。在货物分拣环节,人工分拣的错误率高达5%,而自动分拣机的错误率仅为0.5%,难以保证仓储作业的效率和质量的一致性。

2.3 智慧仓储存在的主要问题

- (1) 系统架构松散,缺乏统一的数据中台;
- (2) 智能算法嵌入深度不够,仍以规则驱动为主;
- (3) 拣选路径设计不合理,拣选作业冗余高、效率低;

(4) 实时感知与边缘响应能力差，系统响应滞后；

(5) 缺乏可视化运营仿真平台，管理层无法实现动态决策。

3 智慧仓储优化方案设计

3.1 构建“云-边-端”三层架构

云端进行数据存储与AI模型训练，边缘节点负责现场实时计算与控制，端侧设备进行数据采集与执行操作。通过部署数据中台，实现数据的统一采集、治理与分发，为智能决策提供支撑。

3.2 基于AI的库存与拣选优化

利用机器学习方法对历史订单数据进行训练，实现对SKU需求波动预测、库存布局优化及拣选路径智能推荐。系统根据货物ABC分类结果自动调整货位分布，提升高频SKU存取效率。

具体算法包括：采用时间序列分析方法对历史订单数据进行建模，预测未来一段时间内各SKU的需求量；基于预测结果，利用遗传算法对库存布局进行优化，将高频SKU放置在靠近出货口的位置，减少拣选路径长度；结合强化学习算法，实时调整拣选路径，根据订单动态生成最优路径，提高拣选效率。

3.3 数字孪生赋能虚实融合管理

构建仓储作业的数字孪生模型，对仓库空间、人员、设备等全要素进行精确建模。借助三维建模技术，将仓库的物理空间、货架布局、设备位置等信息在虚拟环境中进行1:1还原。通过3D仿真平台，能够动态模拟仓储作业流程，直观展示作业过程中的各个环节。在模拟货物入库流程时，可以清晰地看到货物从入库口到指定货位的整个过程，包括搬运设备的运行轨迹、操作人员操作步骤等。

3.4 多智能体协同调度机制

设计多智能体控制架构，以调度智能体统筹AGV、分拣臂、自动货架等操作智能体，实现任务动态分配、路径冲突规避与作业优先级排序，提高系统整体作业协同性与响应能力。

在实际作业中，当有新的订单下达时，调度智能体根据订单的紧急程度、货物类型等因素，将任务分配给最合适的操作智能体。

4 拣选路径优化模型构建与验证

4.1 问题定义与假设

拣选路径优化问题可视为带约束条件的最短路径问题。假设仓库为二维网格，每个货位有编号与坐标，订单包含

多个SKU，需在最短路径内完成全部SKU拣选。

4.2 数学模型建构

目标函数：最小化拣选路径总长度

约束条件：（1）必须访问订单中所有SKU的货位；

（2）每个货位仅访问一次；（3）拣选从起始点出发，返回终点或起点。

$$\min \sum_{i=1}^{n-1} d(p_i, p_{i+1}) \quad (5.1)$$

其中 $d(p_i, p_{i+1})$ 为货位 p_i 与 p_{i+1} 之间的距离。为了更准确地计算距离，考虑仓库的实际布局，采用曼哈顿距离或欧几里得距离进行计算。

4.3 强化学习算法设计

采用Q-learning算法进行拣选路径优化。定义状态空间为当前所处的货位，动作空间为下一个可访问的货位，奖励函数设定为“负距离值”。为了更好地引导算法学习，在奖励函数中加入一些惩罚项，如当路径出现冲突时，给予较大的负奖励；当成功避开冲突时，给予一定的正奖励。

通过不断训练迭代，让算法学习最优路径策略，从而提升拣选路径的智能化水平，实现路径的动态优化。在训练过程中，采用经验回放机制，将每次训练的经验存储起来，随机抽取进行学习，以提高算法的学习效率和稳定性。

4.4 案例实验与结果分析

选取德邦某配送中心典型拣选任务进行模拟，比较传统规则路径与强化学习路径的差异。结果表明，AI路径平均缩短路径约18%，拣选时间减少22%，拣选错误率下降15%，优化效果明显。

表5.1 德邦仓库作业效率提升前后对比（三线表）

指标	优化前	优化后
平均拣选路径长度（米）	215	176
单次订单处理时间（秒）	280	219
拣选错误率（%）	3.2	2.7

5 本文创新点总结

5.1 融合多种新技术的系统性优化

提出“人工智能+大数据”、“数字孪生+数据中台”、“边缘计算+智能感知”三重融合技术架构，提升智慧仓储系统一体化水平。该架构并非简单的技术叠加，而是通过深度整合与协同，实现了数据的高效流通与智能处理。大数据为人工智能提供海量训练数据，使其能够精准预测需求、优化作业流程；数字孪生与数据中台结合，构建起虚实交互的智能管理体系，为决策提供直观且精准的依

据；边缘计算与智能感知协同，保障了系统对现场环境的实时响应，有效提升了智慧仓储系统的一体化水平和整体效能，为德邦物流及行业内其他企业的智慧仓储建设提供了全新的系统性解决方案。

5.2 AI驱动的拣选优化模型

区别于传统基于固定规则的拣选路径算法，本研究构建了基于强化学习的拣选路径优化模型，克服了传统规则算法在处理动态订单时适应性差的问题。该模型能够根据订单需求和仓储作业环境的变化，实时生成最优拣选路径，并且通过不断学习和优化，持续提高拣选效率和准确性。

5.3 数字孪生用于动态仿真与反馈

引入虚实融合仿真平台，搭建虚实融合的可视化运营仿真平台，该平台支持作业流程实时模拟、优化与回溯，提升了仓储管理的精细化水平和智能化程度。

5.4 MAS智能设备调度机制

引入多智能体架构，实现设备间的智能协同调度，显著提升作业响应效率与灵活性。当多个订单同时下达时，调度智能体能够迅速分析各订单的特点和设备的空闲情况，合理分配任务，使设备之间紧密配合，实现仓储作业的高效协同运作，显著提升了作业响应效率与灵活性，为智慧仓储的高效运营提供了可靠的机制保障。

6 风险分析与对策

6.1 技术集成复杂风险与对策

智慧仓储系统的优化涉及多种前沿技术的集成，技术复杂度较高。建议采用模块化部署方式，分阶段逐步集成系统，确保每个模块的稳定性和兼容性。在实施过程中，应建立严格的测试机制，及时发现并解决技术集成中的问题，确保系统的平稳运行。

6.2 投资成本与设备部署节奏控制

针对系统建设的高成本特性，应建立投资效益评估体系，实施差异化部署策略。优先在高价值环节（如高频SKU区）配置自动化设备，形成示范效应后梯度推进，通过动态资金调配实现投入产出最优化，有效控制初期财务风险。

6.3 模型精度与系统响应能力问题

系统响应效能直接取决于算法模型的适应性。建议建立包含数据采集、参数迭代、效果验证的闭环优化体系，利用实时运营数据持续训练模型。特别是通过库存热力图更新、拣选路径动态规划等技术手段，确保系统在复杂环境下保持最优决策能力。

6.4 作业人员培训与适应性问题

智慧仓储系统的优化不仅涉及技术升级，还需要作业人员的积极参与。建议制定详细的作业培训计划，引导人员与系统良性互动，提升作业人员对新技术的适应能力。例如，通过模拟培训和现场指导，帮助作业人员快速掌握自动化设备的操作方法，提高工作效率。

7 结论

本文通过对德邦物流仓储作业现状的深入调研，识别了关键问题，并提出了智慧仓储系统优化方案。通过构建AI拣选优化模型并进行实际案例验证，证明了该优化方案的有效性。研究成果不仅对德邦物流的智慧化转型具有重要的指导意义，也为其他物流企业提供了可借鉴的智能仓储升级路径。随着技术的不断发展和市场需求的变化，智慧物流领域依旧有广阔的研究空间，值得进一步深入探索。

参考文献：

- [1] 余蓉, 陈家锋, 龚娅, 等. 基于模糊综合评价法的物流配送中心选址研究——以德邦物流在江苏省泰兴市为例[J]. 国土资源科技管理, 2015, 32 (04): 93-100.
- [2] 李超. 论德邦物流公司仓储管理的现状与发展对策[J]. 企业导报, 2015, (01): 56+58.
- [3] 张玲玲. 德邦物流仓储管理发展的问题与对策研究[J]. 广西质量监督导报, 2019, (06): 210.
- [4] 李佳. 基于大数据云计算的智慧物流模式重构[J]. 中国流通经济, 2019, 33 (02): 20-29.
- [5] 张春霞, 彭东华. 我国智慧物流发展对策[J]. 中国流通经济, 2013, 27 (10): 35-39.
- [6] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25 (01): 1-18.
- [7] 常发亮, 刘增晓, 辛征, 等. 自动化立体仓库拣选作业路径优化问题研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, (02): 139-143.
- [8] 汤洪涛, 闫伟杰, 陈青丰, 等. 自动化立体仓库货位分配与作业调度集成优化[J]. 计算机科学, 2020, 47 (05): 204-211.
- [9] 崔勇, 宋健, 缪葱葱, 等. 移动云计算研究进展与趋势[J]. 计算机学报, 2017, 40 (02): 273-295.

作者简介：

张曼雪, 专业：物流管理, 班级：物流221, 学号：2211040326。