

Application and Effect Verification of Digital Twin Technology in E-commerce Intelligent Warehouse Scheduling

Xinbing Li

Lanzhou Vocational and Technical College, Lanzhou, Gansu, 730070, China

Abstract

With the rapid development of the e-commerce industry, as a key part of the supply chain, the warehousing scheduling industry encounters pain points of large order fluctuations, high inventory turnover requirements and complex resource allocation. With the help of digital twin technology, the physical warehouse and virtual model can be created and mapped in time, and the whole process of scheduling can be visualized, predicted and optimized. This paper focuses on the application of digital twin in e-commerce intelligent warehousing scheduling, analyzes the application status and existing problems of the technology, and gives the corresponding implementation strategy. The application effectiveness in efficiency, cost and risk is tested by real scene, the research shows the digital twin technology can break the information island and slow decision-making problems of traditional warehousing scheduling, and provide support for the intelligent and flexible scheduling of e-commerce warehousing, which has important practical value and promotion significance.

Keywords

Digital twin technology; E-commerce intelligence; Warehouse scheduling; Application; Effect verification

数字孪生技术在电商智能仓储调度中的应用与效果验证

李新兵

兰州职业技术学院，中国·甘肃 兰州 730070

摘要

电商行业高速发展之下，仓储调度作为供应链关键部分，碰上订单波动幅度大，库存周转要求高，资源配置复杂等痛点，数字孪生技术凭借创建物理仓储和虚拟模型的即时映射，达成调度全流程的可视化，可预测，可优化，本文针对数字孪生在电商智能仓储调度中的应用展开研究，剖析技术应用状况与现存问题，给出对应的实施策略，经由实际场景检验其在效率，成本，风险等方面的应用成效，结果显示，数字孪生技术能够破解传统仓储调度信息孤岛和决策迟缓的难题，给电商仓储达成智能化，柔性化调度给予支持，有着重大的实际价值和推广意义。

关键词

数字孪生技术；电商智能；仓储调度；应用；效果验证

1 引言

移动互联网和电子商务深度融合之后，电商订单表现出海量，碎片化，高时效的特征，这给仓储调度的响应速度，精准度和灵活性带来了更高要求，传统仓储调度依靠人工经验以及单一系统数据，存在库存与订单匹配失衡，资源利用率低，异常处理被动等情况，已经难以符合现代电商运作的需求，数字孪生技术属于工业 4.0 的关键技术，有着实时数据交互，虚拟仿真推演，全生命周期管理等优点，给仓储调度的智能化升级供应了新途径，本文站在电商仓储业务场景角度，全面整理数字孪生技术的应用情形，深入剖析其在调度效率，成本控制等方面的表现，给出科学可行的执行策略，

希望给电商企业利用数字孪生技术改善仓储调度，增强供应链竞争力给予借鉴。

2 数字孪生技术在电商智能仓储调度中的应用现状

2.1 技术应用初步落地，核心功能逐步渗透

数字孪生技术在电商仓储领域的应用已从概念摸索阶段迈进实践阶段，像京东，菜鸟这类头部电商企业率先布局，把物联网，大数据，人工智能等技术整合起来，搭建起仓储数字孪生系统，达成对仓库布局，设备运作，库存状态的虚拟映射，核心应用集中于库存可视化运作，订单路径规划，设备调度协同等基础功能，部分企业已做到依托虚拟仿真预演调度方案，初步解决传统调度中“信息不透明”的问题，但整体应用深度不够，多数系统只是做数据表现，智能化决策和动态优化能力尚需提升^[1]。

【作者简介】李新兵（1979-），女，中国甘肃定西人，本科，讲师，从事数学教育。

2.2 行业实践差异显著，中小企业应用滞后

电商行业内企业规模、技术实力差距大，造成数字孪生技术应用呈现“头部集中、中小滞后”格局^[2]。像大型电商企业拥有资金和技术优势，可以出高价成本搭建个性化数字孪生平台，实现与已有仓储管理系统（WMS）、运输管理系统（TMS）深度结合；但中小型企业受限于资金压力、技术储备不足、数据基础薄弱等原因，大多抱着看热闹的态度，采用第三方轻量化工具，只能实现一部分功能，发挥不出数字孪生技术优势，行业应用普及度不高。

2.3 技术融合与数据治理存在短板

数字孪生技术要想有效应用，就要依靠多技术协同和高质量数据来支撑，当下，一些电商仓储的数字孪生系统存在技术融合不够充分的现象，物联网设备数据采集精度不够，边缘计算和云端协同的延迟，人工智能算法和仿真模型的适配性差等问题明显，数据治理体系也不完善，库存，订单，设备等多源数据标准不统一，数据清洗和整合很难做，造成虚拟模型和物理仓储的映射精度不高，影响调度决策的准确性和及时性^[3]。

3 数字孪生技术在电商智能仓储调度中的应用效果

3.1 调度效率显著提升，响应速度大幅加快

数字孪生技术把库存，订单，设备，人员，环境这些数据源实时整合起来，创建起动态更新的虚拟仓储模型，调度人员就能直观地了解仓储全链路的状态，冲破传统调度时各个部分信息各自为战的状况，针对订单处理这一块，依靠虚拟仿真路径优化算法，可以迅速关联订单商品分布和拣货人员位置，规划出最优拣货路径，削减移动距离^[4]。特别是在大促期间订单峰值的情况下，订单履约的时间平均缩短20-30%，部分头部企业甚至做到了“分钟级”出库，就设备调度而言，经由虚拟模型随时监测AGV，分拣机等设备的运行参数和负载状况，达成设备任务的动态分配并做到负载均衡，而且借助历史数据来做故障预判，预先安排维修，设备的利用率提升15-25%。而且，虚拟模型可以模拟不同调度方案的执行效果，迅速选出最优解，调度响应延迟从分钟级降到秒级，有效应对了电商订单“波峰突增，波谷骤减”的冲击，比如某个头部电商在618大促期间，利用数字孪生调度系统做到订单处理量比去年同期提升40%，出错率降到0.03%以下^[5]。

3.2 成本控制成效突出，资源配置更趋合理

数字孪生技术经由全流程仿真改善和精准管控，做到了仓储运作成本的多方面削减，在库存经营方面，利用虚拟模型去模仿不同销售时段，促销活动时的库存需求变化，精确预估商品周转节奏，改良库存布局并优化补货策略，既削减了滞销商品的库存积压，又缩减了畅销商品的缺货情况，头部电商企业的库存周转天数平均缩减10%-15%^[6]。某些快

消品类甚至缩短到7天以内，资金占用成本大幅下降，在人力和设备调配方面，凭借虚拟模型对订单量的预估以及作业流程的推演，可以事先安排作业人员的班次，设备的运作时段，免除高峰时段人力短缺，低谷时段资源闲置的现象，人力冗余率下降12%-18%，设备空转率削减20%以上，运作成本总体下降8%-12%。同时数字孪生技术也为仓储设施改造和流程优化提供了“虚拟试错”的平台，企业可以在虚拟模型中测试货架调整、动线重构等方案的效果，避免物理改造的盲目投入，某中型电商企业利用虚拟仿真优化仓储布局，仅投入传统改造成本的30%，就实现了仓储容量提升25%的目标，成本控制效果明显^[7]。

3.3 风险管控能力增强，运营稳定性提升

数字孪生技术靠“虚拟预演+实时监控+智能预警”的全链路风险管控机制，把仓储调度的稳定性与抗风险能力大大加强，利用形成起覆盖订单接收，库存管理，拣货分拣，出库配送全过程的虚拟模型，可以模拟订单突增，设备故障，库存错配，极端天气引发的配送延迟等各种各样的突发情形，事先推演出不同应对方案的成果，制定标准化的应急处理步骤，把从前的“被动补救”变成“事先防控”，在大促期间，经由虚拟推演预估订单峰值时段和商品热门地区，事先改良库存前置布局和人员设备增配计划，有效地防止了仓储作业拥堵，订单积压等情况出现，某电商企业在双11期间订单完成率比没有采用数字孪生技术时提升了18%。设备运转期间，经由对设备振动，温度等运转数据及时采集，联系虚拟模型开展趋向分析，事先警报轴承磨损，电路老化等故障风险，故障警报精准率高于85%，故障停机时耗削减30%前，针对跨区域仓储调度情形，虚拟模型可融合各仓数据达成协同警报，当某个仓库出现库存短缺时，自动触发跨仓调拨预案，保证订单履约的连续性^[8]。

4 数字孪生技术在电商智能仓储调度中的优化策略

4.1 深化多技术融合，提升系统核心能力

技术融合与系统迭代对数字孪生技术价值的表现起到核心支撑作用，要从数据收集、加工、决策的整条链条提升技术协同水平，一方面，促进数字孪生技术同物联网、人工智能、边缘计算、5G等技术深入融合，改进数据管道和模型效能，安装高精度RFID、视觉传感器、环境监测设备等，做到对库存商品、作业人员、物流设备的位置和状态随时收集，数据采集精度要提高到99.5%以上；在仓储场地设置边缘计算节点，针对设备运作数据、作业数据实行当场化较快处理，减小5G传输延迟，做到调度命令的秒级回应，合并机器学习算法，创建需求预测模型，联系历史订单、促销活动、季节因素等数据，增强对订单量和库存需求的预期水平，给虚拟仿真改善给予精确数据支持^[9]。另一方面，推进数字孪生平台与既有WMS、TMS、ERP等系统的接口

标准化进程，利用 API 网关达成多系统数据顺畅对接，冲破信息孤岛，以某头部电商为例，其经由创建标准化数据接口，做到数字孪生平台与 WMS 系统库存数据随时同步，与 TMS 系统配送信息相呼应，令调度方案更为契合全链路供应链需求，研发轻量化虚拟模型塑造工具，缩减中小企业技术应用门槛。

4.2 分阶段推进落地，兼顾差异化需求

结合电商企业规模、资金实力，业务需求不同，制定梯度化，可落地的实施路径，防止“一刀切”式推广。资金充裕，技术储备充足的大型电商企业，采取“全面部署+深度定制”策略，以仓储全流程智能化为目标，分三步走：第一步完成核心区域，分拣区，高流量货架区等数字孪生改造，达成基础可视化监控；第二步扩展到全仓库范围，研发虚拟仿真改善，智能决策调度等核心功能，达成与供应链上下游系统的协同；第三步创建多仓协同数字孪生平台，达成跨区域仓储资源的统筹调度。京东物流的“亚洲一号”智能仓便是实例，经分阶段改造，已达成全流程数字孪生调度，订单处理效率提升 50% 以上。对于中小企业来说采用“轻量化切入+逐步升级”模式降低应用成本：先从库存可视化、订单路径优化等核心痛点切入，选择第三方服务商提供的模块化数字孪生方案，初期投入控制在 100 万元以内，在应用中积累业务数据和技术经验，在业务发展后再逐步添加设备故障预警、虚拟仿真优化等高级功能；行业协会可以组织头部企业与中小企业开展技术共享合作，建立行业级数字孪生技术服务平合，降低中小企业应用门槛^[10]。

4.3 完善数据治理，强化人才与安全支撑

健全的保障体系是数字孪生技术稳定应用的基础，要从数据，人才，安全三个方面搭建起支撑的框架，在数据治理层面，要建立起涵盖数据采集，清洗，存储，共享，销毁全过程的管理体系，制定出库存，订单，设备等多源头数据的标准，明确数据格式，采集频次，责任主体，比如库存数据每 10 秒更新一次，设备运行数据采集精度到毫秒级，搭建起企业级的数据中台，用 ETL（抽取，转换，加载）工具对多源头数据执行清洗，去重，整合，提升数据质量，创建起数据共享机制，要在保证数据安全的前提下，达成仓储，运营，销售等部门之间的数据互通。在人才培养方面，形成起“引进+培育”的复合型人才架构，引进数字孪生技术研发经验，仓储运作知识的高端人才，安排为技术负责人；和职业院校，高等院校合作，开设“数字孪生+仓储管理”特色课程，定向培育技术运维和实操人员；定期举办内部培训，邀请行业专家讲述技术应用案例和操作技巧，改进现有

员工的技术应用能力。安全保障上，搭建“技术+制度”双重防护体系，用数据加密，访问控制，安全审计这些技术手段，来保障虚拟模型数据和物理仓储数据安全，避免数据泄露和恶意攻击，制定数据安全制度和应急响应预案，定期开展安全演练，处理系统故障，网络攻击等突发状况，某电商企业依靠该体系做到连续 3 年数字孪生系统无重大安全事故。

5 结语

综上所述，数字孪生技术给电商智能仓储调度的智能化升级带来新途径，它在效率，成本控制，风险管控等方面的应用成果已得到实践认可，当下，数字孪生技术在电商仓储领域的应用尽管有所发展，但仍然碰上技术融合不深，应用普及不够，数据治理存在漏洞等难题。以后，伴随技术持续更新换代，行业实践不断深入，采用多技术协同，分阶段推进，完善保障体系等策略，数字孪生技术会进一步冲破应用瓶颈，由“可视化监控”跨进“智能化决策”“全生命周期优化”这个阶段，电商企业要抓住技术发展的契机，按照自身业务需求，积极推动数字孪生技术在仓储调度中的应用，持续提升供应链的运营效率和核心竞争力，给电商行业的高质量发展增添新动力。

参考文献

- [1] 周园,孟晶晶,刘苗苗.智能仓储物流装备产业发展趋势探析——以河南省南阳市社旗县为例[J].对外经贸,2024,(09):22-26.
- [2] 何帅志,钟佳萌,罗思齐,等.物资合同签订及变更智能化协同的探索与应用[J].物流科技,2024,47(02):37-40.
- [3] 陈昀,王理,袁明浩,等.基于物联网实现智慧仓储配送与绿色共享快递——以中圆物流为例[J].科技创业月刊,2023,36(S1):102-105.
- [4] 于猛.茶叶智能仓储功能与管理对策展望[J].中国茶叶,2023,45(05):21-27.
- [5] 潘希丽.基于大数据技术的智能仓储管理研究[J].中国航务周刊,2023,(20):63-65.
- [6] 赵丽菊.智能仓储在电商物流中的应用探究[J].中国航务周刊,2022,(49):61-63.
- [7] 程子璐,曾晓晴.智慧物流背景下电商仓储优化改造应用综述[J].物流工程与管理,2022,44(10):64-66.
- [8] 智能时代下的高速立体仓储技术革新[J].现代制造,2021,(08):16.
- [9] 赵丽.基于智慧物流的高职院校智能仓储实训平台建设路径研究[J].无线互联科技,2021,18(09):43-45.
- [10] 马书刚,宋海霞.人工智能驱动跨境电商企业发展对策研究[J].商业经济,2020,(11):156-158.