

基于 Anylogic 的快递分拣中心业务流程仿真及优化

陆树娟, 盛 武*

(安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001)

摘 要:为提高顾客对快递服务的满意度,探寻影响快递分拣中心高效运作的瓶颈问题,促进各功能区协同高效运作,文章以安徽省某物流企业分拣中心为原型,运用排队论剖析该分拣中心业务流程运行过程,并运用 Anylogic 软件建立离散事件模型进行建模、仿真和优化。根据仿真结果发现,员工与托盘叉车的数量为该分拣中心业务流程高效运作的瓶颈,对其进行优化改进,不仅可以改善设备与员工的高负荷作业状态,减少资源浪费,还可以降低该分拣中心运行成本,进而促进整个业务流程的高效运行。

关键词: Anylogic; 分拣中心; 排队论; 离散事件仿真; 业务流程优化

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1008-9659(2026)01-0056-09

近年来,快递包裹以超常规速度发展,快递服务已经成为人们日常生活中不可或缺的组成部分,其对国民经济的影响不容忽视^[1-2]。与此同时,顾客对快递运输时长与运输质量提出了更高的要求,快递从商家到顾客手中的每个环节都需要进行优化设计。快递分拣中心各功能系统之间紧密相连,增强快递分拣中心的高效协同运作能力便成为提高分拣效率的关键点^[3]。

目前,国内外对分拣中心的研究已经取得阶段性成果。从选址布局角度来看,Ting 等人^[4]和 Cynthia 等人^[5]利用仿真软件对不同分拣中心的设计布局及不同货架的储存方式进行了分析,并且确定了设计布局的规划和货架的使用数量;张晨等人^[6]根据回收物流发起方和回收点构建双层规划模型,利用遗传算法得出双层成本模型在成本控制上的优势与不足,提出具有上层奖励机制的双层规划选址方案。从作业优化角度来看,赵兰等人^[7]和李苏琪等人^[8]采用仿真技术进行仿真和优化,解决了设备利用率不高、空托盘流程不合理等问题;郭超等人^[9]和陈香玲等人^[10]分别优化通用变邻域搜索算法和混合整数规划模型,解决了大规模多 AGV 调度问题,进而提高了分拣中心的效率。从系统协同角度来看,Tomas 等人^[10]和 Stenffen 等人^[12]将物流配送中的各业务流程作为仿真网络中的不同节点来进行仿真,以寻求配送成本和配送时效之间的平衡;任亮等人^[13]基于协同作业模式的优势,运用数学模型与混合变邻域搜索算法,协同优化了“货到人”系统中订单拣选和分拣流程;罗卓荣等人^[14]对带有限入库缓冲区以及包装优先顺序约束的出入库调度问题展开研究,提升了自动分拣系统的出入库分拣协同效率。

当前国内对物流业务流程仿真研究主要集中于各行业领域的仿真^[15-17],国外相关仿真研究主要针对多方法的复杂物流系统仿真及优化^[18-20]。由于半自动分拣中心业务流程仿真优化的研究鲜有涉及,杨旭东等人^[21]和 Lin 等人^[22]基于仿真软件模拟全自动分拣系统的作业流程,根据仿真结果提出了作业流程优化的方案。离散事件可以与排队论相结合并建立模型,王冰冰等人^[23]以三甲医院采血区为研究对象,基于排队论计算得出最优采血窗口数,并运用 Anylogic 构建其仿真模型,为采血区内座位数和窗口区的设计提供了量化依据;史跃亚^[24]运用排队论建立串并联排队系统数学模型,利用 Matlab 计算得出串联排队系统,该系统更节

[收稿日期] 2024-10-18

[修回日期] 2024-11-16

[基金项目] 国家自然科学基金项目(71971003);安徽省研究生省级线上示范课程(2023jyxsssfkc016);安徽省级研究生教育教学改革研究项目(2022jyxgyj284)。

[作者简介] 陆树娟(2001-),女,硕士研究生,主要从事物流仿真方面研究,E-mail: 1204075665@qq.com.

* [通讯作者] 盛 武(1969-),男,副教授,主要从事智能决策方面研究,E-mail: wsheng116@163.com.

省时间,同时使用 Anylogic 软件对其进行仿真检验。

通过以上研究可知,仿真模拟研究能够有效发现问题并提出优化策略,但目前针对分拣中心业务流程仿真及优化方面的研究较多地考虑将分拣中心作为整体进行建模仿真后优化,尚未运用排队论将分拣中心业务流程分解为不同的排队系统进行分析。因此,文章采用排队论对快递分拣中心业务流程进行剖析,并运用 Anylogic 软件对分拣中心进行建模、仿真及优化,将复杂的动态半自动化分拣中心业务流程简化为分拣设备、运输设备和仓储设备,并进行仿真模拟,寻找业务流程运作瓶颈,通过调整相关参数,优化分拣中心的资源配置提高资源利用率、保障分拣流程平稳高效运行。

1 Anylogic 软件分析

Anylogic 软件是一种拥有强大功能且支持多方法建模的仿真工具,被广泛应用于控制系统、自动化、医疗、计算机系统、军事、行人交通、物流等复杂系统领域^[25]。

分拣中心的每个功能区都相当于一个复杂系统,仅通过单一的建模方法难以准确描述其特点。其中,基于 Agent 建模与离散事件建模相结合,可以将快递分拣中心内部设备作业流程组装成一个独立的智能体,详细、精确地模拟出快递在整个分拣中心内部的流动过程。Anylogic 建模软件与其他先进建模工具最大的区别在于,其他建模工具大多只能在一种特定的条件下进行建模,而 Anylogic 可以穿梭于不同的建模方法之中,将不同方法混合在同一个模型中使用。更重要的是,在不同的领域,Anylogic 都可以凭借其丰富的建模库件被很好地应用。选择 Anylogic 软件中的流程建模库、物料搬运库作为本次实验的基础,既可以真实反映出分拣中心运作环境状况,又可以将运输、分拣、货检等离散事件与排队论相结合。

2 分拣中心业务流程运行过程

2.1 安徽某分拣中心背景介绍

文章以安徽省某综合性物流企业为原型实施物流仿真和优化,该物流企业的分拣中心为淮南市提供快递配送服务。为满足淮南市不同区域客户的快递服务需求,将快递分拣划分为市区配送和县城配送,市区包括大通区、田家庵区、谢家庵区、八公山区以及潘集区,县城包括寿县和凤台县,不同区域的快递有固定的分拣配送出口发货。

2.2 基于排队论的分拣中心业务流程运行过程

对离散事件中智能体排队现象的分析被称为排队论。根据安徽省某物流企业分拣中心作业流程的介绍,可以将该分拣中心业务流程中的每一环节看作客户到达服务台、排队等待服务并离开的过程^[26]。因此,将分拣中心业务流程运行各环节分解为快递到达、快递卸载、自动分拣、人工分拣、快递上架架、快递下架架、出库检查、快递配送 8 个事件。将分解后的环节进行系统抽象,可抽象为 3 个排队系统,分别为自动分拣、人工分拣、出库验货(表 1)。

表 1 分拣中心运行过程解析

排队系统	顾客	服务台	服务过程
自动分拣排队系统	快递	自动分拣机	分拣机将快递按照市级与县级分类
人工分拣排队系统	自动分拣后快递	人工分拣区域	员工将快递按照各市区与县城分类
出库验货排队系统	分拣后快递	出库验货区域	员工对需出库快递进行质量、数量的检查

由于各排队系统之间紧密相连,后方排队系统的作业效率会受到前方排队系统的影响。例如,如果前方排队系统发生严重堵塞,后方排队系统则会存在长期空闲的问题,影响整个运行系统的生产效率^[27]。整体来看,分拣中心业务流程仿真是复杂的离散事件动态系统,无法运用传统数学方程思路进行研究,因此本研究选择运用计算机仿真技术对其进行建模分析。

3 分拣中心系统运行过程建模

3.1 模块设置及仿真假定

首先,文章以淮南市 S 物流有限公司分拣中心为研究对象,该分拣中心物流仿真模型建模过程中所需要

的实体元素对应的名称与作用^[28]如表2所示。

表2 仿真流程模块设置

模块名称	模块类型	含义
Package Arrived	Source	快递进入分拣中心
Temporary Storage1-7	Queue	快递等候区
Package Convey1-9	Conveyor	运输
City or County	Select Output	市县快递分拣
City Sort	Select Output5	市区快递分拣
County Sort	Select Output5	县区快递分拣
Delay Pack1-4	Delay	员工扫描货物速率
Batch1-4	Batch	快递打包
Move To1-8	Move To	快递移动
Rack Store1-4	Rack Store	快递上架
Rack Pick1-4	Rack Pick	快递下架
Unbatch1-4	Unbatch	快递拆包
Check1-4	Check	快递出库检查
Package Delivery	Sink	运行结束

物流分拣中心仿真模型需要对一定假设条件下的实际措施进行抽象和模拟^[29]。为了更好地构建模型,设定以下假设条件:

- (1)在快递物流系统分拣中心仿真运行过程中,不存在缺货、设备故障等特殊情况;
- (2)本仿真中 Queue 模块用于快递存放,在实际分拣过程中快递暂存区不会受到每天不同快递量的限制,因此假设 Queue 模块为最大存储量^[30];
- (3)快递经过自动分拣和人工分拣后成批打包上架,使用规格为 1200 mm×1000 mm 的标准塑料托盘,假设一个托盘可打包 12 个快递包裹;
- (4)资源利用率允许存在(-3,3)的误差。

3.2 Anylogic 仿真模型构建

基于上文模块设置及仿真假定,依据淮南市 S 物流有限公司分拣中心现实情况,设计建模思路(图1)。

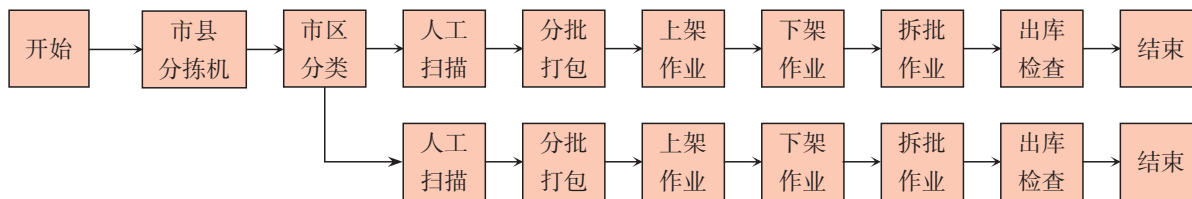


图1 仿真建模思路图

借助 Anylogic 软件中的流程建模库与物料搬运库,依据仿真建模思路对整个分拣中心业务流程进行仿真建模(图2)。

4 分拣中心业务流程仿真及优化

4.1 参数设定

(1)本仿真模拟基本时间单位设置为 1 min,模拟时长设为 12 d。根据快递分拣中心每天 7 h 工作制可计算出仿真模拟运行时长为:12×60×7=5040 min;

(2)S 物流公司分拣中心每日分拣配送量在 3~4 万件,因此设置快递到达速率服从 triangular(30000, 40000)的三角分布;

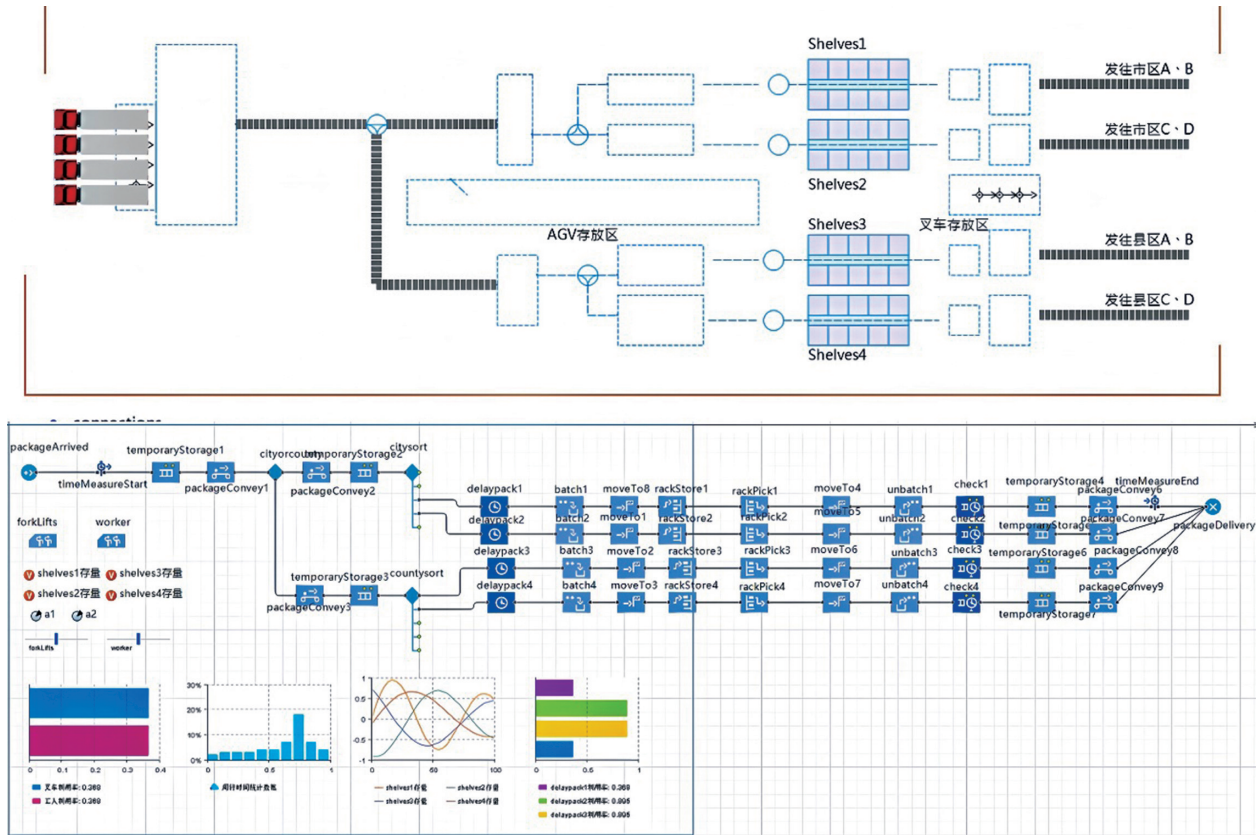


图2 Anylogic仿真建模流程图

(3)分拣中心供包员工(市区、县区)共4人,货架管理人员共4人;

(4)进入流的快递从卸车点到自动分拣区,发出流的快递从备货检查区至发货点,均由输送带完成,将输送带速度设置为10 m/s;

(5)快递在货架之间的移动以及上下架行为由托盘叉车和员工共同完成,托盘叉车的参数如表3所示;

表3 托盘叉车forkLifts参数设计

叉车 (辆)	水平方向		垂直方向	
	加速($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	运行速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	加速($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	抬升速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
3	1	triangular(0.5,1,1.5)*5	0.3	1.2

(6)员工通过扫描快递信息以达到市区、县乡快递分类目的。经过实地调研,员工扫描速率服从三角分布,将delaypack模块延迟时间设置为“triangular(4,7,9)”秒,且容量均为“1”,即任何快递配送前均经过一对一的检查;

(7)分拣中心共有12个相同的轻型货架,分别供市、县快递暂存使用,轻型货架规格参数如表4所示;

表4 轻型货架规格参数

列货格数	货架高(m)	层数(层)	货格长(m)	货格宽(m)	货格高(m)
5	16	2	0.8	0.5	1.5

(8)发出流的快递在配送前需要经过员工数量及质量的检查,保证客户满意度。将员工质检延迟时间设置为服从triangular(10,14,19)的三角分布;

(9)进入流快递需经过自动分拣及人工分拣后才可上架,为体现这一特点,本仿真在模型中分别添加Select Output和Select Output 5模块。市县快递分类按照0.6的概率设置,各市区、乡镇快递分类均按照

1/市(县区)数量的概率设置。

4.2 仿真结果分析

建立分拣中心模型后,分别对各模块按照上述参数进行设定。运行 5040 个单位后,可得到整个分拣中心仿真结果。

4.2.1 快递的周转时间

为统计快递在整个分拣中心的通过时间,在仿真模型的前后端分别加入“timeMeasureStart”与“timeMeasureEnd”模块。从仿真模型直方图的周转时间统计数据可以看出,快递从卸货、分拣、上下架、验货直至配送离开在分拣中心逗留时间为 55.6 min,即快递的平均周转时间为 55.6 min。快递的仿真周转时间与实际分拣中心快递周转时间相符。快递周转时间较短,可以看出该分拣中心分拣效率较高,利于快递的及时配送。

4.2.2 快递周转量

表 5 分拣中心快递周转量

序号	时间(min)	快递输入量(件)	快递输出量(件)
1	480	11983	10917
2	720	21596	18341
3	1440	35879	32420
4	5040	127512	97421

为准确获得分拣中心快递周转水平,将模型运行 4 次,每次时长不同。由表 5 可知,每次仿真运行结束时,快递的输入量与输出量不一致,可以判定部分货物在整个分拣中心流动过程中存在滞留现象。在模型运行过程中可以看出,流入口快递包裹太多,包裹在自动分拣机上的排队时间较长,且包裹在进行人工分拣时也耗费一定时间,因此快递在各个阶段处理过程的输出量与输入量有一定差距。

4.2.3 资源利用率

资源的数量与分拣中心的运行效率息息相关,表 6 为优化后分拣中心仿真资源利用率。

表 6 分拣中心资源利用率

序列	名称	代号	资源利用率
1	供包员工	Worker	0.97
2	托盘叉车	Forklift	0.95
3	轻型货架	Shelves1(市区)	0.34
		Shelves2(市区)	0.32
		Shelves3(县区)	0.23
		Shelves4(县区)	0.18

由表 6 可知,在运行 5040 min 后,托盘叉车的资源利用率为 95%,说明该分拣中心快递上下架区间资源使用频率更高,因此托盘叉车的资源利用率最高,处于高负荷状态;员工的利用率达 97%,这是因为该分拣中心的员工属于流动作业,需要兼顾快递上下架运输以及出库检查作业,处于高负荷状态。相较于通往县区的货物,运往市区的货物数量较多,因此市区货架平均利用率高于县区货架,且货架利用率不高,由此可以看出各个功能区的设备资源利用率不协同。

4.2.4 功能区利用率

功能区的资源利用率是影响该分拣中心作业效率的重要因素之一。在分拣中心仿真模型中加入条形图以统计各功能区的资源利用率(表 7)。

表7 功能区利用率

功能区序号	功能区名称	资源利用率
1	Delaypack1(市级)	0.98
2	Delaypack2(市级)	0.93
3	Delaypack3(县级)	0.65
4	Delaypack4(县级)	0.70

由表7可知,市级 Delaypack 功能区资源利用率均高于县级。其中,Delaypack1 的资源利用率最高,达98%;其次是 Delaypack2,资源利用率达93%;县级 Delaypack 功能区资源利用率在合理区间内分别为65%、70%。表明该分拣中心四个 Delaypack 功能区资源利用率均较高,但市级资源已处于高负荷状态。由此验证,上述市级 Delaypack 功能区资源利用率过高的原因主要是在资源相同的情况下,市级功能区需要处理更多快递。

综上所述,影响该分拣中心运行效率的主要原因为员工与托盘叉车的数量过少且分配不当。关于数量问题,可以适当增加员工与叉车的数量以满足该分拣中心的运作需求。但是如果仅仅提高数量却无法合理分配资源,仍然无法解决问题。关于分配不当问题,可以根据市、县快递分配量来决定员工与托盘叉车的资源分配。

4.3 仿真结果改进

根据上述分析,调整影响分拣中心运行效率的相关资源数据(表8)。以下是该仿真模型重点指标优化前后数据对比。

表8 资源调整参数

资源	参数	初始值	调整后
Forklifts	数量	3辆	市级:3辆
			县级:2辆
Shelves	数量	12个	市级:0个
			县级:0个
Worker	数量	4人	市级:4人
			县级:2人

4.3.1 周转时间仿真运行情况

由表9可知,该分拣中心运行5040 min后快递的周转时间由原来的55.6 min降至48.31 min,较之前降低了7.29 min,且整体的快递周转优化效率提升了15.09%。这说明快递的周转率得到了提升,提高了整体的流动性及分拣中心的工作效率。

表9 快递周转时间对比

序号	名称	周转时间(min)	变化量(min)	整体优化效率(%)
1	现场实际仿真时间	55.60	-7.29	+15.09
2	优化后仿真时间	48.31		

4.3.2 周转量仿真运行情况

由表10可知,相较于优化前快递输入量与输出量数据,该分拣中心快递流动顺畅许多。

表10 优化后快递周转量

序号	时间(min)	快递输入量(件)	快递输出量(件)
1	480	11983	11980
2	720	21596	21591
3	1440	35879	35876
4	5040	127512	127508

4.3.3 人员、设备与功能区利用率仿真运行情况

在本次优化中,该分拣中心供包员工与托盘叉车工作方式由市、县共用的方式转变为根据快递量的多少按比例合理分配。由表 11 可以看出,员工与托盘货架的平均利用率发生了较大变化,从优化前员工与托盘叉车利用率分别为 97%、95%,降至资源利用率合理区间的 70% 上下,不再处于高负荷状态,从而降低了叉车的重复利用率,延长了设备的使用寿命,优化得到较好的结果。在初期的分拣中心配置中,降低货架利用率的同时也产生了较高的人工成本和运营成本。为减少快递周转时间,提高快递周转效率,决定不再使用货架,因此不再需要货架管理人员,这不仅提高了货物的分拣速度,而且对分拣中心进行了空间的优化与规划,从而减少了分拣工作的时间。

表 11 优化后资源利用率

序列	名称	代号	资源利用率
1	供包员工(市)	Worker 市级	0.82
	供包员工(县)	Worker 县级	0.74
2	托盘叉车(市)	Forklift 市级	0.79
	托盘叉车(县)	Forklift 县级	0.68

4.3.4 功能区利用率仿真运行情况

由表 12 可知,Delaypack 的 4 个功能区资源利用率均有一定程度的变化。为市区快递服务的 Delaypack1、Delaypack2 资源利用率变化程度最大。Delaypack1 资源利用率优化后为 70%,相比之前降低了 28%。Delaypack2 资源利用率优化后为 73%,比之前降低了 20%,资源利用率既不偏高也不偏低,说明这两个功能区由之前的超负荷工作状态转向比较均衡的工作状态。Delaypack3 与 Delaypack4 的资源利用率只有轻微的变化,且变化后的数值处于合理区间内。

表 12 功能区利用率优化前后对比

功能区序号	功能区名称	资源利用率	变化量
1	Delaypack1(优化前)	0.98	-0.28
2	Delaypack1(优化后)	0.70	
3	Delaypack2(优化前)	0.93	-0.20
4	Delaypack2(优化后)	0.73	
5	Delaypack3(优化前)	0.65	+0.08
6	Delaypack3(优化后)	0.73	
7	Delaypack4(优化前)	0.70	-0.03
8	Delaypack4(优化后)	0.67	

4.3.5 整体成本

根据上述分析,经过优化,员工总数减少了 2 名,按照淮南快递分拣中心的平均工资水平,相当于减少了 10000 元的成本支出。此外,为了解决托盘叉车高负荷利用的情况,叉车总数增加了两辆,成本相应增加了 15000 元。市区与县区共有 12 个货架,每个货架成本 1200 元,总共 14400 元。由于取消了货架设置,整体成本减少了 9400 元(表 13)。

表 13 整体成本统计表

序号	名称	数量变化	成本变化量(元)	整体优化效率(元)
1	人工成本	-2	-10000	+9400
2	叉车成本	+2	+15000	
3	货架成本	-12	-14400	

综上所述,该分拣中心仿真优化后各项数据均有明显改善,各功能区的设备利用率得到了相应平衡。此次进行的资源优化配置,不仅大大减少了快递的周转时间,提高了整个业务流程的运作效率,并且减少了该分拣中心的整体运行成本,因此本次优化是合理、可适用的。

5 结论与展望

5.1 结论

文章运用 Anylogic 软件对安徽 S 物流企业分拣中心业务流程进行建模仿真,不仅得到员工与托盘叉车的数量是影响分拣中心作业效率瓶颈的结论,还利用仿真技术多次调整设备参数,使得仿真模拟找到了改进之处。经过优化,从多系统协同高效运行的角度,取得了多项显著改善成果。

(1) 快递周转时间减少。在优化前,系统运行 5040 min,整个分拣过程需要 55.6 min。经过仿真模拟软件的优化,快递从入库到出库所需要的时间缩短到了 48.31 min,总体效率提高了 15.09%,运行效率得到了明显提高。

(2) 资源利用率得到优化。在优化前,托盘叉车与员工的平均利用率偏高。经过优化,员工与托盘叉车的资源利用率分别由优化前的 97%、95% 降至 75% 左右,在一定程度上减轻了员工与叉车的高负荷作业压力。此外,优化后取消轻型货架的设置,不仅提高了快递周转效率,也避免了因货架低利用率造成的资源浪费。

(3) 运营成本降低。经过仿真优化后,S 物流企业分拣中心减少 2 位员工、增加 2 辆托盘叉车、取消货架设置,可节约成本 9400 元,这对企业而言是有益的改进,降低了该分拣中心的人员与设备成本。

5.2 展望

在现实中,物流系统极具复杂性。然而,文章并未对所有影响物流系统的因素进行详尽的探讨,而是基于一系列假设条件,通过实验的手段得出结论。未来的研究可以关注以下几个方向:

(1) 利用仿真技术对分拣中心进行优化设计。通过对实际生产过程中可能导致效率下降的各环节进行优化仿真研究,若优化效果得到验证,则物流企业可借鉴这些仿真成果来提升工作效率、降低运营成本。

(2) 作业车辆和工作人员的数量是影响分拣中心作业效率的关键因素。因此,为减少资源浪费或避免高负荷情况出现,分拣中心必须严格按照实际需求对人员与设备进行合理分配。

(3) 货架具有存储功能,是分拣中心的重要组成部分,其数量配置需科学合理。如果数量选择不当,不仅会增加管理和存储成本,还会影响资源的有效分配。随着现代物流业的不断发展,仓储方式正逐渐向智能化方向发展。因此,使用货架不仅要考虑企业的实际情况,也要注重其功能性和实用性。

参考文献:

- [1] 李聪. 南京邮政航空快递物流集散中心分拣系统建模与仿真分析[D]. 天津:中国民航大学,2020.
- [2] 张阳,马如意,刘聪雨,等. 快递集散中心分拣作业优化研究[J]. 工业工程与管理,2018,23(06):95-124.
- [3] 徐文生. 基于 Anylogic 的物流分拣中心业务模式优化研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2022.
- [4] TING C H, CHANG C L, CHAO S, et al. Problem-based Learning Application Research in Logistics Simulation Software Course Teaching [J]. Curriculum and Teaching Methodology, 2023, 6(19): 234-239.
- [5] CYNTHIA H, STEFFEN K, FLORIAN B, et al. The Use and Validation of Simulation-based Logistics Planning to Reduce Emissions from Ferries [J]. Procedia CIRP, 2023, 118(01): 62-67.
- [6] 张晨,刘勤明,叶春明,等. 双层规划下考虑环境侵害的垃圾分拣中心选址研究[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(12): 3645-3649.
- [7] 赵兰. 基于拣选和分拣时间的订单分批优化方法研究与应用[D]. 武汉:华中科技大学,2015.
- [8] 李苏琪,朱孔金. 基于自动导引车辆的物流分拣系统交通控制策略[J]. 山东科学,2022,35(01):73-80.
- [9] 郭超,陈香玲,郭鹏,等. 基于通用变邻域搜索的多 AGV 分拣调度优化[J]. 河北科技大学学报,2021,42(05):523-534.
- [10] 陈香玲,郭鹏,温昆,等. 考虑充电需求和时间窗的多 AGV 调度优化建模[J]. 河北科技大学学报,2021,42(02):91-100.
- [11] TOMÁŠ K, JAN C. Design of the City Logistics Simulation Model Using Ptv Vissim Software [J]. Transportation Research Procedia, 2021, 53(01): 258-265.
- [12] STEFFEN K, JAN S, WILKO F. Simulation-based Logistics Planning for the Optimization of Ship Occupancies [J]. Procedia CIRP, 2021, 99(02): 45-49.

- [13] 任亮,周泽榕,马云峰. “货到人”系统订单拣选和分拣协同优化问题[J/OL]. 系统仿真学报, 2024:1-14.
- [14] 罗卓荣,黎展滔,陈庆新,等. 考虑有限缓冲区的自动分拣系统出入库调度算法[J]. 计算机集成制造系统, 2025, 31(09): 3154-3167.
- [15] 蒋志超,王梓林,任彬. 基于精益供应链的智能仓储物流仿真及优化[J]. 制造业自动化, 2023, 45(07): 148-154.
- [16] 郭世超,张利平,唐秋华,等. 新能源智能装配车间的AGV物流仿真与优化[J]. 机床与液压, 2022, 50(09): 163-168.
- [17] 窦志武,李红巍. 基于 Multi-Agent 和 HLA 的口岸物流仿真[J]. 计算机应用, 2014, 34(S2): 215-218.
- [18] TOBIAS R, SEBASTIAN L, CHRISTIAN S. Mesoscopic Discrete-rate-based Simulation Models for Production and Logistics Planning[J]. Journal of Simulation, 2022, 16(05): 448-457.
- [19] AFANASYEVA M, PERVUKHIN D, KOTOVB D, et al. System Modeling in Solving Mineral Complex Logistic Problems with the Anylogic Software Environment[J]. Transportation Research Procedia, 2023, 9(68): 483-491.
- [20] RAN T, XIN-YI X. Choice of Distribution Mode of Medical Logistics based on Anylogic Multi Distribution Center [J]. Francis Academic Press, 2022, 6(07): 1-4.
- [21] 杨旭东,蒲睿强,徐明阳,等. 基于 eM-Plant 的异型烟分拣系统仿真优化及应用[J]. 机械设计与制造, 2022, 60(10): 125-128.
- [22] LIU D, ZHAO X, WANG Y. Items Assignment Optimization for Complex Automated Picking Systems [J]. Cluster Computing—the Journal of Networks Software Tools and Applications, 2019, 22(06): 5787-5797.
- [23] 王冰冰,薛聪聪,王珊. 基于排队论和 Anylogic 仿真的三甲医院门诊采血区设计指标研究[J]. 建筑学报, 2020, 67(S2): 185-189.
- [24] 史跃亚,张美蕙,孙唯,等. 机场安检排队系统仿真优化研究[J]. 计算机仿真, 2025, 42(05): 27-31, 533.
- [25] 马梦. 基于 Anylogic 的配送中心作业流程仿真及优化[D]. 淮南:安徽理工大学, 2021.
- [26] 周继程,丁毅,刘国平,等. 基于排队论的炼钢-连铸区段在线钢包数量优化[J]. 钢铁, 2021, 56(08): 93-100.
- [27] 王向前,郭璞昊,孟祥瑞. 采选充一体化煤炭生产物流系统仿真及优化[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(05): 907-919.
- [28] 尚鹏程,陈志龙,陈一村,等. 基于 Anylogic 的城市地下物流系统终端仿真与设计[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(03): 808-814.
- [29] 杨芳,邹毅峰,戴恩勇. 基于 Anylogic 的果蔬冷链系统配送中心物流运作优化[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(07): 141-148.
- [30] 李京峰,项华春,陈云翔,等. 基于 Anylogic 的飞机维修保障资源运用过程仿真[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(09): 18-22.

Business Process Simulation and Optimisation for Express Sorting Centres based on Anylogic

LU Shu-juan, SHENG Wu*

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui, 232001, China)

Abstract: To enhance customer satisfaction with express delivery services and identify the bottlenecks that affect the efficient operation of express sorting centers, thereby promoting the coordinated and efficient operation of various functional areas. Taking a sorting center of a logistics enterprise in Anhui Province as a prototype, queuing theory is employed to analyze the operation process of the sorting center's business flow, and Anylogic software is used to establish a discrete event model for modeling, simulation, and optimization. The simulation results reveal that the number of employees and pallet trucks is the bottleneck for the efficient operation of the sorting center's business flow. Optimizing and improving these aspects can not only alleviate the high-load operation of equipment and employees, reduce resource waste, but also lower the operating costs of the sorting center, thereby promoting the efficient operation of the entire business flow.

Keywords: Anylogic; Sorting center; Queuing theory; Discrete event simulation; Business process optimization