

基于 Flexsim 的冷链共同配送中心系统仿真与优化

王林¹, 高伟芳¹, 刘婷婷²

(1.武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063; 2.江汉运河航道管理处, 湖北 武汉 430063)

摘要: 在分析基于“一带一路”战略的中欧班列的冷链发展及建立服务其发展的城市配送中心必要性的基础上, 选取 A 冷链共同城市配送中心, 结合共同配送理念, 明确其平面布局和实体运作流程, 运用 Flexsim 仿真软件建立仿真模型并设置实体参数, 通过设定仿真时间运行模型, 导出并分析各实体的状态统计结果, 找出模型的瓶颈所在, 仿真结果表明, 操作员的数量、叉车的效率及处理器 4 是主要瓶颈; 从全局出发, 分析了产生瓶颈的原因, 提出了减少操作员数量、提高叉车速度及处理器 4 的效率等优化措施, 进而修改相关实体参数完善该配送中心系统。

关键词: 货物运输; 冷链; 共同配送中心; 系统仿真; Flexsim

中图分类号: U492.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)05-0056-05

随着“一带一路”建设的推进, 中欧班列冷链物流逐步发展, 冷链物流配送中心作为冷链物流系统的枢纽, 其作业成本及效率影响冷链物流的发展。为促进其进一步发展, 国家发改委等颁布《中欧班列建设发展规划(2016—2020 年)》, 指出围绕中欧班列枢纽节点建立并完善冷链物流基地、城市冷链配送中心设施。据悉, 郑欧、渝欧、蓉欧及汉欧已通过中欧班列进行冷链运输, 并计划扩充业务能力及范围。经调查, 中国冷链物流成本比普通物流高 40%~60%, 而日本的冷链物流成本只有世界平均水平的 2/3。因此, 配套的冷链配送中心的建设和完善刻不容缓。另外, 就配送模式而言, 为降低成本、节省运力、提高运输车辆的货物满载率, 通过中欧班列进行冷链运输的不同冷链运输企业共享第三方物流服务, 即进行共同配送, 将多个客户联合起来共同由一个第三方物流服务公司提供服务。

大批学者对物流配送中心的流程及仿真技术进行了研究: 石佳星运用 Enterprise Dynamics(ED)仿真软件, 结合配送中心的具体运作流程建立仿真模型, 着重对操作员进行研究, 提出并改善其弊端; 杨文霞运用 Extendsim 仿真软件, 针对兰州联想配送中心的出入库、货物查询流程建立仿真模型, 以运营成本最小为目标对仿真模型进行了优化; 杨芳等运用 Anylogic 仿真技术对果蔬冷链配送中心建立仿真模型, 对资源配置进行优化; 路亮运用 Flexsim 软件, 针对烟草物流配送中心, 在模块化思想的基础上建立仿真模型并进行优化, 寻找最佳运作策略。该文采用 Flexsim 仿真软件针对具体的冷链共同配送

中心建立模型, 通过修改相关参数得出不同资源配置下的最优方案。

1 Flexsim 仿真模型

1.1 模型概况

1.1.1 方法介绍

Flexsim 采用面向对象的建模方式, 其研究对象多是复杂的多目标系统, 具有 3D 和 2D 效果, 可查看三维布局图及平面布局图, 建模快捷、方便。Flexsim 提供原始数据拟合、输入建模、图形化模型构建、虚拟现实显示、运行模型进行仿真试验、对结果进行优化、生成 3D 动画影像文件等功能, 也提供与其他软件的接口。

1.1.2 建模对象选取及作业区分布

对服务于中欧班列冷链运输的城市配送中心——A 冷链共同配送中心进行仿真研究, 其系统属于离散型, 难以用数学式建立模型, 故采用 Flexsim 离散事件仿真软件进行分析。A 冷链共同配送中心各作业区域功能定位见图 1。中欧班列的冷链运输以冷藏集装箱为单位, 配送过程中冷藏集装箱在进货站台完成拆箱。

进货站台	进货暂存区	检验区	浅加工区	存储作业区
办公事务区		配合作业区		拣货区
发货站台	发货暂存区	集货区	流通加工区	

图 1 冷链共同配送中心作业区分布

1.2 模型建立

1.2.1 模型实体选定

根据 A 冷链共同配送中心作业区的功能规划,选择发生器(source)、暂存区(queue)、叉车(transporter)、处理器(processor)、传送带(conveyor)、货架(rack)、操作员(operator)、吸收器(sink)等固定实体,货块、托盘等流动实体,实体属性见表 1。

表 1 实体属性描述

实体	属性
发生器	产生 3 种类型的货物
暂存区	货物暂时等待区域
叉车	搬运工具
处理器	对货物进行简单加工处理
合成器	货物出库的包装、换装等
传送带	运输、传递货物
货架	货物在此储存
操作员	搬运员工
吸收器	临时实体最终到达点
货块	代表实体货物
托盘	集装水平平台装置

因仿真模型与真实系统存在些许差异,对实体的选择需根据具体状况进行调整,同时可在不影响配送中心作业及仿真目标的前提下对部分系统进行简化或假设。对 A 冷链共同配送中心的简化和假设如下:集装箱货物在进货站台进行拆箱作业,由发生器发出的是货物实体且直接进入暂存区,简化拆箱、装卸搬运过程;拆箱后货物皆为标准化货物;搬运均选用叉车,存储采用货架方式,加工采用处理

器;发货采用吸收器,直接从暂存区运至吸收器。

1.2.2 冷链共同配送中心系统实体运作流程

采用流程框图描述离散事件系统的特征,流程模型包括临时实体到达、永久实体服务、服务模型、排队规则(见图 2)。

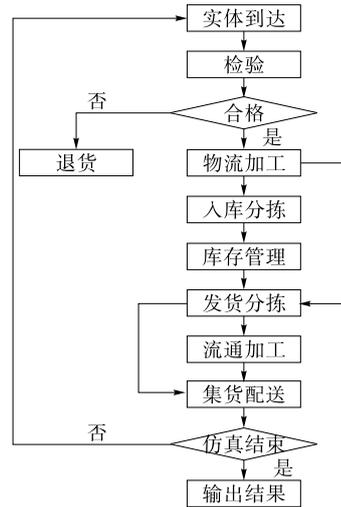


图 2 冷链共同配送中心实体流程

1.2.3 模型物理布局

根据图 2,入库的货物由发生器发出至暂存区,再用叉车将货物实体搬运到处理器进行加工,每个处理器安排 1 名操作员;处理完成的货物经传送带在进行合成器初加工后运送至入库前的暂存区,然后用叉车运送至货架进行存储。入库流程的概念模型见图 3。

出库的货物使用叉车运至出货暂存区,再由传

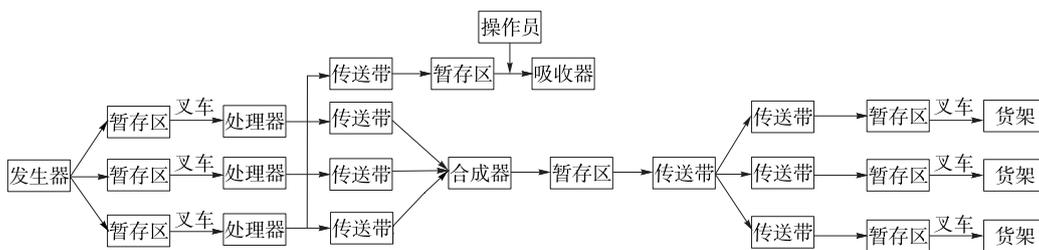


图 3 入库流程的概念模型

送带传至处理器、合成器进行加工处理,实体在暂存区临时存储后运至吸收器。在合成器部分,由发生器发出托盘与货物进行合成。出库流程的概念模型

见图 4。

结合图 3、图 4,利用 Flexsim 建立 A 冷链共同配送中心系统的物理模型(见图 5)。

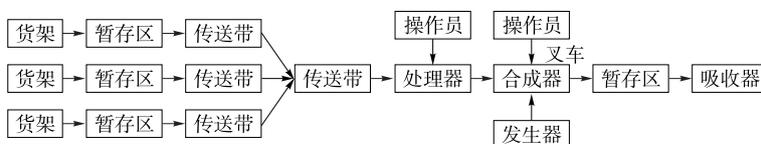


图 4 出库流程的概念模型

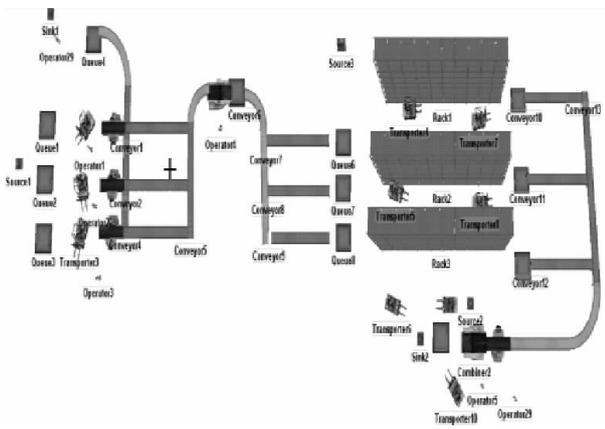


图5 A 冷链共同配送中心系统设施布局

1.2.4 模型逻辑连接

输入和输出端口用来定义临时实体在仿真模型中的流动线路,中间端口是对固定实体与可移动实体间关系的设定。两种端口的连接和断开所用键盘字母见表2。

表2 模型的逻辑连接

项目	输出—输入	中间
断开	Q	W
连接	A	S

将模型中的实体按路径连接端口的类型依次连接,叉车与暂存区、处理器、货架、合成器是可移动实体与固定实体的关系,设定为中间端口;操作员与处理器、合成器、暂存区的关系统一设定为中间端口;其他实体连接皆为输入—输出连接,即A连接。模型在进行逻辑连接后的布局见图6。

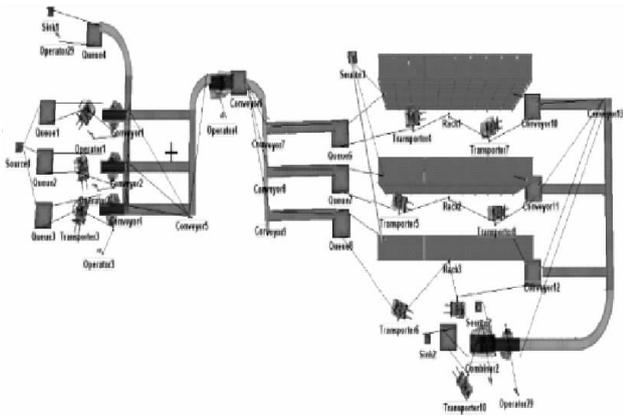


图6 A 冷链共同配送中心系统的平面布局

1.2.5 模型实体动态参数设置

(1) 发生器。发生器1的实体到达时间服从正态分布 $normal(1, 0.5, 1)$, 即货物到达时间服从均

值为1、方差为0.5的正态分布。实体发送至指定端口,其余参数设置与默认值一致。发生器的创建触发条目选择设定实体种类及颜色,共设置3种类型货物,分别用红色、蓝色、黄色的实体块表示。发生器2产生托盘与货物进行包装,其产生的托盘到达时间服从指数分布 $exponential(0, 10, 0)$ 。发生器3用来产生安全库存,即在模型运行开始的同时向每个货架一次性发送25个相应实体。

(2) 暂存区。暂存区的最大容量为1000。暂存区1~3的参数设置如下:拉入策略选择“指定”,拉入条件选择“特定临时实体类型”,即每个暂存区只临时放置1种类型货物。另外,每个暂存区配置1辆叉车,用叉车将实体运送至指定处理器,避免事故发生及降低货物损失率。暂存区4为退货区,最大容量为400,成批操作的目标批量为100,因货物处理量较少,该暂存区配备1名操作员将货物运至吸收器1。暂存区6~12均配备叉车进行运输。其余参数设置与系统默认值一致。

(3) 叉车。叉车的单次载运能力为1。叉车1~6的参数设置皆与系统默认值一致,最大速度为2;叉车7~9的最大速度为1.5。叉车将货物送至指定地点且只有一个指定地点,以有效提高作业效率,降低发生风险的概率。

(4) 处理器。处理器1~3为A冷链共同配送中心的入库安检部分,处理时间服从均匀分布 $uniform(2, 5, 0)$, 配备通过中间端口连接的操作员;均分别连接2条传送带,实体输出发送至端口选择按百分比进行,97%的合格品发送至下游传送带,3%的残次品发送至退货传送带。处理器4仅作为货物出库的处理,参数设置中处理时间服从均匀分布 $uniform(2, 5, 0)$ 。其他与系统默认值一致。

(5) 合成器。合成器1作为A冷链共同配送中心的浅加工处理部分,处理时间服从均匀分布 $uniform(3, 2, 1)$ 。合成器2作为货物出库的包装、换装等部分,处理时间服从均匀分布 $uniform(5, 3, 1)$, 每4个货物使用托盘进行打包。

(6) 传送带。传送带1~3和7~9的拉入策略选择指定临时实体类型,即按照货物种类进行分拣。其余传送带的参数设置与系统默认值一致。

(7) 货架。货架的层数、高度等参数根据存储区面积及存储量决定,最大存储量为10000。货架1~3均使用叉车进行出入库操作。

(8) 操作员。操作员的参数设置与系统默认值

一致,最大搬运能力为1,最大速度为2。

1.3 模型运行

进行A冷链共同配送中心系统仿真模型,按确定的仿真时间长度终止仿真,该配送中心一天工作8h,即系统仿真推进到28800s时自动停止,输出仿真结果。

2 仿真结果分析

2.1 暂存区

根据模型运行导出的暂存区状态统计结果(见表3),暂存区1~4、6~8为空的概率分别为0、0.02%、0.04%、0.27%、0、0.05%、0.22%、0.21%,释放实体的时间分别占100%、99.98%、99.96%、99.73%、99.95%、99.78%、99.79%,说明较多暂存区处于工作状态;暂存区的空闲率、堵塞率皆为零,说明模型该部分的流畅性较高,配送中心工艺流程在该部分未出现停滞、错乱等情况。暂存区5仅作为处理器1到传送带6的缓冲阶段,表3中未列出。

表3 暂存区状态统计 %

对象	空闲率	释放率	为空率
暂存区1	0	100.0	0.00
暂存区2	0	99.98	0.02
暂存区3	0	99.96	0.04
暂存区4	0	99.73	0.27
暂存区6	0	99.95	0.05
暂存区7	0	99.78	0.22
暂存区8	0	99.79	0.21

2.2 处理器

如表4所示,处理器1~3的空闲率分别为65.32%、65.29%、65.20%,说明其空闲时间较多,加工时间较少,处理器的利用率不高。因货源充足,导致该现象的原因为叉车的利用率不足,货物不能及时运送至处理器。考虑到该配送中心的理念是分类处理及储存货物,优化时不减少处理器的数量,而是考虑提高相关环节的效率。处理器4的空闲率为35.64%,堵塞率为4.06%,堵塞的原因是下游合成器造成货物实体在处理器的等待。

2.3 传送带

如表5所示,传送带无空闲时间,处于运输、堵塞、为空的状态。传送带1~3及5出现了轻微堵塞,堵塞率分别为0.33%、0.34%、0.39%、18.58%。

表4 处理器状态统计 %

对象	空闲率	加工率	堵塞率
处理器1	65.32	34.68	0.00
处理器2	65.29	34.71	0.00
处理器3	65.20	34.80	0.00
处理器4	35.64	60.30	4.06

前三者的堵塞率可忽略不计,传送带5的堵塞原因为上游货物较多,下游合成器需要处理时间,这一部分状态良好,可进一步优化,以保证工艺流程及运作的流畅性。传送带4和10~12为空的概率分别高达85.51%、47.35%、46.65%、53.26%,原因为传送带4承担着将不合格货物运至暂存区的功能,因不合格产品的比率较小,为空的概率较大;其余传送带承担着出库作业的分拣功能,因分类存储货物造成传送带的利用率稍低。其他传送带有着不同程度的实体为空的概率,但皆处于良好状态。

表5 传送带状态统计 %

对象	传送率	堵塞率	为空率
传送带1	93.23	0.33	6.44
传送带2	93.52	0.34	6.14
传送带3	93.85	0.39	5.76
传送带4	14.49	0.00	85.51
传送带5	81.35	18.58	0.07
传送带6	99.86	0.00	0.14
传送带7	91.73	0.00	8.27
传送带8	91.88	0.00	8.12
传送带9	92.19	0.00	7.81
传送带10	52.56	0.09	47.35
传送带11	53.25	0.10	46.65
传送带12	46.63	0.11	53.26
传送带13	85.00	14.90	0.10
传送带14	76.38	0.00	23.62

2.4 合成器

如表6所示,合成器1的加工率为72.77%,空闲率为27.23%,说明该合成器的利用率较高。合成器2的空闲率仅3.44%,说明其在规定时间范围内长期运作,利用率较高;因合成器2是用托盘进行打包运输,每个托盘打包4个货物实体,收集货物的时间占81.18%,仅15.38%的时间是在加工。

表6 合成器状态统计 %

对象	空闲率	加工率	收集率
合成器1	27.23	72.77	0.00
合成器2	3.44	15.38	81.18

2.5 操作员

如表7所示,操作员1~4有着较高的空闲率,说明A冷链共同配送中心存在人力资源浪费的问题。操作员4是退货区的辅助人员,虽然空闲率为94.88%,处于较高的状态,但仍需配备操作员将传送带4上的货物实体搬运至暂存区。操作员5作为辅助合成器进行浅加工的人员,其空闲率受合成器效率的影响,处于良好状态。操作员6、7的利用率较低,两者分别是处理器4、合成器2的辅助人员,可进一步进行优化。

表7 操作员状态统计 %

对象	空闲率	利用率	为空率
操作员1	65.32	34.68	0
操作员2	65.29	34.71	0
操作员3	65.20	34.80	0
操作员4	94.88	5.12	0
操作员5	27.23	72.77	0
操作员6	46.50	53.50	0
操作员7	84.62	15.38	0

2.6 叉车

如表8所示,叉车1~3的空闲率较高,与下游处理器运作水平及能力有关,但仍处于合理状态;其余叉车的空闲率较低,利用率较高。

表8 叉车状态统计 %

对象	空闲率	对象	空闲率
叉车1	34.68	叉车6	0.19
叉车2	34.72	叉车7	7.87
叉车3	34.84	叉车8	3.28
叉车4	0.04	叉车9	2.85
叉车5	0.20		

3 优化措施

结合模型仿真运行结果,提出以下优化措施:

(1) 提高处理器4的工作效率,改善其堵塞状况。将“Process Time”中的uniform(2,5,0)改为uniform(1.5,3,0);鉴于堵塞是由下游合成器造成的,降低合成器的处理时间,将“Process Time”中的uniform(5,3,0)改为uniform(4,2,0)。

(2) 减少操作员的数量,避免劳动力浪费。协助处理器1~4及合成器2进行处理作业的操作员的利用率不高,优化时改为处理器1~3配备2名操作员,处理器4和合成器2共用1名操作员。具体方法为:增加一个任务分配器,与处理器1~3分别

中间连接,该任务分配器与2名操作员进行输入—输出连接,其在接收到处理器的处理任务后,将任务分配给第一个可用的操作员;处理器4、合成器2共用的操作员同样配备一个任务分配器。

(3) 提高叉车最大速度,加快实体货物从暂存区运至处理器。叉车1~3和处理器1~3的工作效率较低,空闲率较高,为提高其效率,将叉车最大速度由2改为3。

4 结论

(1) Flexsim 仿真软件能较好地体现为中欧班列服务的A冷链共同城市配送中心系统,通过参数设置及运行,分析各实体的状态,反映该配送中心的瓶颈。

(2) A冷链共同城市配送中心的工艺流程存在空闲、堵塞等问题,叉车、处理器4、操作员是其短板,应从减少操作员数量、提高叉车速度及处理器4的效率方面采取措施对模型进行优化。

参考文献:

- [1] 王艳波.中欧班列建设发展规划研究[J].铁道运输与经济,2017,39(1).
- [2] 袁学国,邹平,朱军,等.我国冷链物流业发展态势、问题与对策[J].中国农业科技导报,2015,17(1).
- [3] 石佳星.基于ED的物流配送中心的仿真与实现[J].现代商贸工业,2016(28).
- [4] 杨文霞.基于Extendsim的配送中心作业流程仿真及资源优化研究[D].兰州:兰州交通大学,2016.
- [5] 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(7).
- [6] 路亮.基于Flexsim的F市烟草物流配送中心系统仿真与优化研究[D].长春:长春工业大学,2016.
- [7] 楼振凯.基于流程再造的配送中心目标优化度研究[J].中国商贸,2014(12).
- [8] 李倩.生鲜农产品配送中心物流系统规划与仿真[D].武汉:武汉理工大学,2013.
- [9] 秦艳超.基于离散事件仿真的汽车备件仓储系统建模及优化研究[D].武汉:武汉理工大学,2014.
- [10] 程浩.服务备件物流网络中运作策略影响分析[D].合肥:合肥工业大学,2015.
- [11] 朱小蓉.基于Flexsim的钢材仓储系统出入库仿真与优化[D].成都:西南交通大学,2012.