

论坛

基于 Flexsim 对某医药物流中心立体仓库优化

杨玮, 罗洋洋, 杨甜, 岳婷, 刘江
(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 利用 Flexsim 软件仿真医药物流中心立体仓库的运作, 缩短立体仓库出入库作业时间, 优化运作过程人员与设备的组合。**方法** 以某大型医药物流中心为研究对象, 根据实际立体仓库的布局, 使用 Flexsim 仿真软件进行建模仿真时, 首先采用遗传算法确定最优的出入库顺序, 将结果在 Flexsim 中仿真运行, 证明算法用于出入库仿真的实用性; 然后对立体仓库整体流程进行仿真。**结果** 优化后的流程, 出入库作业效率提高了 12.4%, 确立了仓储作业在(2,2,2,2)配置下, 实现了人员设备的最优利用。**结论** 采用建模仿真的方法, 找出了流程中的瓶颈, 确认了最优出入库作业顺序, 以及人员、设备组合, 提高了医药物流中心的出入库效率, 降低了设备、人员等成本。

关键词: Flexsim; 医药物流; 立体仓库; 仿真优化

中图分类号: F252.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0210-06

Optimization of Stereoscopic Warehouse in a Pharmaceutical Logistics Center Based on Flexsim

YANG Wei, LUO Yang-yang, YANG Tian, YUE Ting, LIU Jiang
(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to simulate the operations of stereoscopic warehouse of pharmaceutical logistics center with Flexsim, in order to shorten the time of out-put and in-put warehousing of stereoscopic warehouse and optimize the combination of personnel and equipment during the operation. Taking a large-scaled pharmaceutical logistics center as the research object, according to the actual layout of stereoscopic warehouse, a simulation model was built with Flexsim simulation software. First, genetic algorithm was used to determine the optimal out-put and in-put sequence, and the results were simulated in the Flexsim which could prove the practicability of the algorithm. Then, the whole process of stereoscopic warehouse was simulated. The efficiency of out-put and in-put warehousing was improved by 12.4% and the warehousing that enabled the optimal use of personnel and equipment to be achieved under the configuration of (2,2,2,2) was established. With modeling and simulation, the bottlenecks of the process are identified, the optimal out-put and in-put warehousing sequence and combination of personnel and equipment are confirmed, the efficiency of out-put and in-put operation in pharmaceutical logistics center is improved, and the costs of equipment and personnel are reduced.

KEY WORDS: Flexsim; pharmaceutical logistics; stereoscopic warehouse; simulation and optimization

随着我国医药物流的迅速发展, 医药物流中心成了研究的热点, 立体仓库作为一种可进行密集化、大规模的存储作业仓库, 其拣选作业顺序、设备与人员组合作业合理与否, 将直接影响着整个物流中心的运作效率与物流成本^[1]。影响医药物流中心发展最重要

的因素是由于药品分布不合理, 出现仓库拣选作业顺序冗余, 拣选作业效率低; 仓库人员设备组合作业不合理, 导致作业时间与闲置时间波动大^[2]。物流作为医药零售商和医药供应商之间的重要桥梁, 作为整个医药业快速发展的重要动力之一, 实现医药商业现代

收稿日期: 2016-09-05

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划(16JK1095); 陕西省农业科技创新与攻关项目(2014K01-29-01); 陕西科技大学科研启动基金(BJ12-21)

作者简介: 杨玮(1972—), 女, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为现代物流系统工程与技术。

化物流，实施战略性物流系统已经刻不容缓^[3]。与其他物流中心相比，医药物流的特点是药品种类和规格繁多、分类原则复杂、存储要求不同、药品对有效期要求严格以及对药品出库的正确率要求高，同时医药物流中心还要符合《药品经营质量管理规范》GSP 的要求，保证药品质量的稳定，满足各终端客户对药品的需求^[4-5]。根据目前医药物流中心存在的问题，立体仓库的拣货效率是影响医药物流中心运作效率的主要原因。随着客户对订单的准时交付和客户对服务质量要求的提高，在提高立体仓库的拣货效率的同时，降低立体仓库的物流成本成为了研究的热点之一^[6]。

在医药物流中心中，立体库目前最大的问题就是货物存取时出入库时间长，即进出库效率低，因此，进出库作业调度问题是影响 AS/RS 运行效率的重要因素，也是要解决的关键问题^[7-8]。合理安排进出库调度能够大大减少穿梭子母车的数量，减少货物进出库所用时间，缩短移动距离，提高进出库效率，同时可以对存储空间充分利用，进一步降低自动化立体仓库的物流作业成本，增加效益。目前关于拣货作业问题已经出现了大量的研究，但其主要的侧重点是^[9]对拣货方式、拣货路径的优化，这一方面的研究有研究单指令出库任务，或者一进一出的联合出库任务的拣选路径优化问题，也有一些是从出入库任务与子母车

配置作业的研究，关于同时对立体仓库的出库作业优化与设备、人员配置方面研究还较少^[10-11]。

文中采用 Flexsim 仿真实际医药物流企业立体仓库的运行，首先根据药品出库频率等指标，对药品进行 ABC 分类，对货架进行分区，并结合遗传算法得到最优的出入库顺序，实现高效的出入库作业任务，同时改善整个立体仓库人员、设备的利用率，消除流程运作过程中的瓶颈，达到作业任务均衡化的目标。

1 药品的 ABC 分类

1.1 立体仓库的 ABC 分类法

在自动化立体仓库的管理中，货位分配是研究的一个关键问题。针对此问题，文中在药品入库时，首先针对药品的种类、以及出入库频次对药品进行 ABC 分类，并利用立体仓库现有的药品入库存放原则、技术参数和仓库的实际出入库数据，对货架的货位分区，进而提高药品的出入库效率。根据 A 公司医药物流中心立体库 2015 年 8 月到 2015 年 10 月份药品的实际销售数据，分析 3 个月内药品整件出库量和整件出库频次 2 个指标，对立体库的药品进行 ABC 分类。列出的降序排列后各自前 10 种药品的统计参数见表 1。

表 1 前 10 种药品统计参数
Tab.1 Statistical parameter of top ten kinds of drugs

编号	商品名称	整件	整件出库量	编号	商品名称	整件出库	整件出库频次
1	感冒灵颗粒（999）	1090	13.92	1	复方阿胶浆	1447	11.15
2	感冒灵颗粒（P）	9805	12.52	2	脑心通胶囊	824	6.35
3	酚氨咖敏颗粒	9200	11.74	3	清开灵注射液	775	5.97
4	复方阿胶浆	7251	9.26	4	酚氨咖敏颗粒	706	5.44
5	脑心通胶囊	5382	6.87	5	感冒灵颗粒（999）	594	4.58
6	清开灵注射液	4775	6.10	6	左氧氟沙星氯化钠	567	4.37
7	乙酰螺旋霉素片	1801	2.30	7	稳心颗粒	309	2.38
8	稳心颗粒	1494	1.91	8	妇科千金胶囊	272	2.10
9	知柏地黄丸	1156	1.48	9	腰痛宁胶囊	251	1.93
10	腰痛宁胶囊	1104	1.41	10	注射用头孢曲松钠	234	1.80

采用 ABC 类的比例间隔^[11]，根据整件出库频次百分比划分出 A 类、B 类和 C 类药品，并结合整件出库量占总量的百分比进行划分。对于同种药品，2 次分类结果都是 A 的，最终划分为 A 类药品；2 次结果都是 C 的，最终划分为 C 类药品；其余的全都划分为 B 类药品。根据以上分类结果，最终得出 410 种药品中有 20 种 A 类药品，188 种 B 类药品，202 种 C 类药品。通过计算得出 A 类药品大约占 168 个货位（8 层×21 列），此区域为 A 区；B 类药品大约占有 651 个货位（13 层×63 列-8 层×21 列），此区域为 B 区；

其余均为存放 C 类药品的货位，设为 C 区，见图 1。

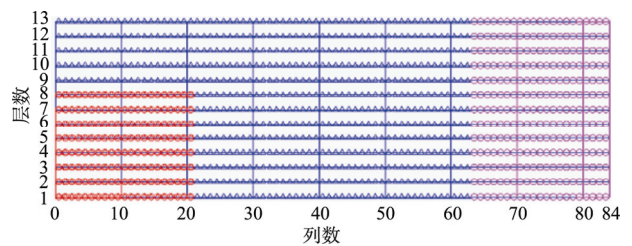


图 1 货架货位分区
Fig.1 The shelves position partition

2 基于遗传算法对立体库出入库调度优化研究

2.2 基于 Flexsim 对单巷道货架出入库调度仿真

立体库出入库调度优化的本质,根据多个优化目标和约束条件将当前货位进行调整,使其货位在仓库中获取新的存储位置。可见,货位优化问题是一个多目标优化问题^[12]。文中以时间目标“出库时间最短”和空间目标“上轻下重,重心最小”的原则建模^[13-14],保证拣选作业效率以及货架的承受能力和稳定性,并利用遗传算法收敛速度快、鲁棒性强的特点,对该问题进行优化求解。

1) 模型建立。文中以时间最短建模,且考虑子母车处于同层货架和不同层货架时,出入库复合作业的情况。其中 (x_i, y_i, z_i) 代表取货坐标, x_j, y_j, z_j 代表存货坐标。各参数设置为:升降机满载、空载速度均为 v_s ; 存取时间分别为 t'_s, t_s ; 母车满载、空载速度分别为 v_m, v'_m ; 存取时间 t'_m, t_m ; 子车满载、空载速度分别为 v_z, v'_z , 存取时间均为 t_z 。

以时间最小建立模型。 T_t 表示存取货位于同一层时,单个存取作业时间:

$$T_t = \frac{2y_i + x_i + x_j}{v_s} + \frac{z_i + z_j}{v'_m} + \frac{z_i + z_j}{v_z} + \frac{|x_i - x_j|}{v_m} + 4t_z + 2t_m + 2t'_m + 2t'_s \quad (1)$$

T_b 表示存取货位于不同层时,单个作业时间:

$$T_b = \frac{y_i + |y_i - y_j| + y_j}{v_s} + \frac{x_i + x_j}{v'_m} + \frac{z_i + z_j}{v'_z} + \frac{z_i + z_j}{v_z} + \frac{x_i + x_j}{v_m} + 4t_z + 2t_m + 2t'_m + 2t'_s \quad (2)$$

将存取对的存取货为是否在同一层设为一个 0—1 变量 m_{ij} :

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{存取对的存取货位在同一层} \\ 0, & \text{存取对的存取货位不在同一层} \end{cases}$$

$$\min f_1(x, y, z) = \sum [m_{ij}T_t + (1 - m_{ij})T_b] \quad (3)$$

以空间目标建立模型:

$$\min f_2(x, y, z) = \frac{\sum_{x=1}^a \sum_{z=1}^c (\sum_{y=1}^b \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^d g_{ij} y_{ij} L_0)}{\sum_{x=1}^a \sum_{y=1}^b \sum_{z=1}^c (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^d g_{ij})} \quad (4)$$

约束条件为: $1 \leq x_{ij} \leq a, 1 \leq y_{ij} \leq b, 1 \leq z_{ij} \leq c$ 。

式中: a 为列数; b 为层高; c 为排数; x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} 均为整数; g_{ij} 为存取频率; $L=H=W=L_0$, L, H, W 分别为长、宽、高。

2) 模型布局。该模型为研究最佳的存取货物顺序,设定运行订单共有 45 个存取动作,其中有 20 个存货任务和 25 个取货任务。根据穿梭子母车实际运行,设定子车空载速度为 1 m/s,满载速度为 0.8 m/s;母车空载速度为 2.5 m/s,满载速度为 2 m/s;升降机速度为 2/3 m/s,满载时间为 1.2 s,空载时间为 1 s,仓库货架尺寸:长为 34.58 m,宽为 14 m,高为 13 m,货位数总计 2912,完成所有设置后,运行模型,得到最终的仿真布局见图 2。

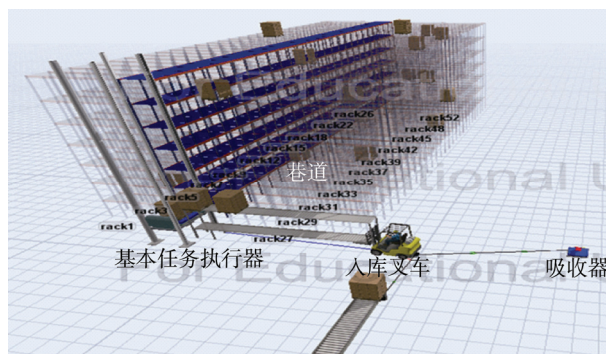


图2 单巷道布局

Fig.2 The single aisle layout

3) 模型运行分析。将运行结果写在 Flexsim 全局表中,得出完成所有任务花费的时间,并将各实体的闲置时间、工作时间、堵塞时间等数据在 Excel 表中反映,见表 2。

表2 优化前仿真汇总

Tab.2 The simulate summary before optimization

s

实体	类型	最小停留时间	最大停留时间	闲置时间	堵塞时间	空载时间	满载时间
入库	传送带	63.95	671.96	0	2994.62		
出库	传送带	9.25	19.20	0	0		
入库叉车	运输	6.09	10.44	2372.71	0	309.75	333.23
传送带	传送带	13.54	561.60	0	2542.19		
完成所有任务时间				3088.678			

分析表 2 的数据可以得到,该模型中最小出、入库停留时间分别是 9.25 s 和 63.95 s,最大出、入库停留时间为 19.20 s 和 671.96 s。从出入库作业均衡方面考虑,最大最小作业停留时间相差很大,说明此过程

资源分配不均匀,存在瓶颈。同时,入库过程中阻塞时间高达 2994.624 s,进一步证明该拣选作业的瓶颈在于出入库作业处,即由此密切相关的是位于巷道中的穿梭子母车的拣选作业顺序。

2.3 基于遗传算法优化拣选作业

对于多目标优化问题，采用遗传算法的权重系数变换法，根据目标函数的重要程度，对其分配一个权重，从而将多目标优化转化为单目标优化，简化求解。

$$f(x,y,z) = w_1 \min f_1(x,y,z) + w_2 \min f_2(x,y,z)$$
$$\begin{cases} f(x,y,z) = w_1 \min f_1(x,y,z) + w_2 f_2(x,y,z) \\ w_1 + w_2 = 1 \\ \text{s.t. } 0 \leq w_1 \leq 1 \\ \quad \quad 0 \leq w_2 \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

根据实际仓库作业特点，权重值 $w_1=0.73$, $w_2=0.27$ 。以货位的遍历次序作为遗传算法的编码，由于存货数量少于取货数量，所以采用补齐措施，在存货货物后用原点坐标 (0, 0, 0) 进行补齐，在 Matlab 中进行编程求解，具体步骤为：使用随机方法产生

$n=45$ 个可能解 X_i 组成初始解群；对于群体中每一个个体计算适应度 $g(x_i(k))$ ；对于群体中每一个体 X_i ，计算其生存概率 $P_k=g(X_i(k))/\sum g(x_i(k))$ 。

对于最小值问题，目标函数和适值可通过以下的变换得到适应度函数：

$$f(x) = \begin{cases} c_{\max} - g(x), & c_{\max} - g(x) > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

式中： $c_{\max}$ 为预定的固定值， $f(x)$ 为的目标函数，得到适应度函数。根据生存概率，在群体中选择父代遗传操作，以 0.7~1.0 的概率进行交叉，0.1 的概率变异操作，经过 1000 次迭代后，达到收敛。将此结果整理并写在 Flexsim 的全局表中见表 3，运行完所有的出入库作业需要的时间是 2705.713 s，对比未优化前的 3088.678 s，效率提高了 12.4%。

表 3 优化后存取货物顺序
Tab.3 The goods order of depositing and picking up after optimization

存取顺序编号	货物编号（存/取）	货物坐标	存取顺序编号	货物编号（存/取）	货物坐标
1	19（存）	（30，7，6）	11	4（存）	（32，3，3）
2	14（取）	（34，9，2）	12	11（取）	（13，5，4）
3	18（存）	（34，6，7）	13	3（存）	（26，2，5）
4	22（取）	（28，8，7）	14	2（取）	（22，4，3）
5	14（存）	（24，2，8）	15	20（存）	（7，3，1）
6	1（取）	（50，3，8）	16	25（取）	（43，3，5）
7	6（存）	（15，3，7）	17	8（存）	（23，4，6）
8	18（取）	（52，6，7）	18	10（取）	（32，9，6）
9	16（存）	（43，2，3）	19	13（存）	（3，1，1）
10	12（取）	（44，5，8）	20	24（取）	（39，1，3）

注：货物坐标 (a,b,c) 中，a 为所在货架位置，b 为所在货架的列数，c 为所在货架的行数。得出用遗传算法优化后，最优的存取顺序，文章以 10 组数据为例。

表 4 优化后仿真汇总
Tab.4 The simulate summary after optimization

实体	类型	最小停留时间	最大停留时间	闲置时间	堵塞时间	空载时间	满载时间
入库	传送带	7.41	349.40	0	2484.24		
出库	传送带	9.25	19.20	0	0		
入库叉车	运输	6.09	10.44	1917.59	0	271.41	319.44
传送带	传送带	13.54	250.03	0	1781.83		
完成所有任务				2705.71			

同时将叉车运行状态用饼状图见图 3

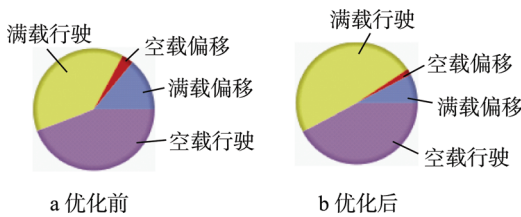


图 3 叉车的工作状态
Fig.3 Working condition of forklift

对比表 3、表 4 优化前后的数据，可以明显看出优化后订单出入库最小、最大停留时间同时减少为 9.25 s 和 7.40 s；349.40 s 和 19.21 s，从作业均衡方面考虑，优化后用于出入库作业的传送带均衡性得到改善，入库的阻塞时间由 2994.624 s 减小到 2484.24 s，在一定程度上缓减了作业过程中的拥堵现象。同时，从图 3 叉车优化前后的状态图可看出优化后叉车满载行驶占比增高，空载偏移耗时降低，说明优化后提高了叉车的有效利用率，降低了无用偏移耗时，因此实现了提高设备利用率、均衡化作业的优化目标。

3 立体库资源配置问题仿真与优化分析

3.1 基于 Flexsim 建立仿真模型

文中研究的医药物流中心,在实际运营中,由于药品种类、数量繁多,一方面出现人员劳动强度过大,另一方面又出现人员设备闲置的2个极端现象^[15]。进而出现由于药品出入库效率低,导致居高不下的库存水平、延迟交货、客户满意度低等问题,因此文中对医药物流中心采用 Flexsim 仿真软件对立体仓库整体运作流程进行建模仿真,对人员与设备组合、出入库流程环节存在的瓶颈问题进行优化。

布局过程:将整托货物放置到暂存区(Queue)等待扫码员进行第一次扫码,扫描完进入另一个暂存区等待叉车将其搬运到入库暂存区进行第2次扫码,每扫描完一托货物由叉车将其送至输送线的入库口入库,根据导入的CAD图进行传送带、穿梭车和货架的布局,得到最终的仿真布局见图4。

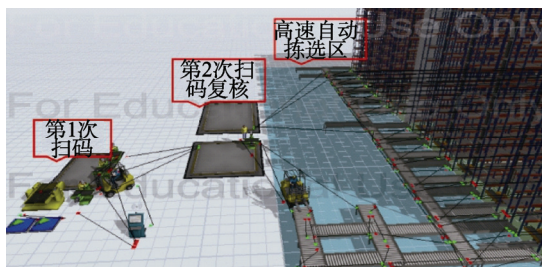


图4 最终流程仿真布局

Fig.4 The ultimate layout of process simulation

3.2 模型分析与优化

假设第1次扫码人员数设为 a , $a \leq 3$,将第1次扫码结束后的货物运到第2次扫码区的叉车数量设为 b , $b \leq 3$,第2次扫码人员设为 c , $c \leq 2$,将第2次扫码结束后的货物运到输送线入口的叉车数量设为 d , $d \leq 2$ 。对于相同的60托入库任务,让 a, b, c, d 不同取值的模型进行运行,根据运行时间和其他因素来确定最终的最佳取值组合。不同资源配置下模型运行时间统计见表5。

从表中可以看出, (a, b, c, d) 的取值为 $(3, 3, 2, 2)$ 和 $(2, 3, 2, 2)$ 时,所用时间基本相同,所以从避免资源浪费的角度选择 $(2, 3, 2, 2)$; (a, b, c, d) 的取值为 $(3, 2, 2, 2)$ 和 $(2, 2, 2, 2)$ 时,所用的时间相同,同样道理,选择 $(2, 2, 2, 2)$;对于 $(2, 3, 2, 2)$ 和 $(2, 2, 2, 2)$,虽然所用时间有所差异,但差异非常小,相当于增加了一辆叉车节省时间很少,降低了叉车整体的利用率,所以最终 (a, b, c, d) 的取值选择 $(2, 2, 2, 2)$,即在自动化立体仓库入库流程中,需要配有2名操作员进行第1次扫码任务,需要2辆叉车将第1次扫码后的货物运送到第2次扫码处,需要2名操作员进行第2次扫码,并需要2辆叉车将完成2次扫码任务的货物运送到输送线入口处。当按照此进行资源配置时,能有效减少货物入库时间,提高入库效率,降低物流成本,最终实现效益最大化。

表5 模型运行时间统计

Tab.5 The time statistics of model operation

(a, b, c, d)	运行时间/s	(a, b, c, d)	运行时间/s	(a, b, c, d)	运行时间/s
$(3, 3, 2, 2)$	718.53	$(3, 3, 2, 1)$	1334.36	$(1, 3, 2, 1)$	1334.36
$(2, 3, 2, 2)$	718.64	$(3, 3, 1, 2)$	1133.91	$(1, 3, 1, 2)$	1138.84
$(1, 3, 2, 2)$	1148.64	$(3, 3, 1, 1)$	1133.91	$(2, 2, 1, 2)$	1138.73
$(3, 2, 2, 2)$	737.84	$(2, 3, 2, 1)$	1334.36	$(2, 2, 2, 1)$	1338.64
$(2, 2, 2, 2)$	737.84	$(2, 3, 1, 2)$	1133.91	$(2, 2, 1, 1)$	1328.73
$(1, 2, 2, 2)$	1148.64	$(2, 3, 1, 1)$	1323.97	$(3, 1, 2, 2)$	1183.06
$(3, 1, 2, 1)$	1366.04	$(2, 1, 2, 2)$	1183.06	$(2, 1, 2, 1)$	1366.04
$(2, 1, 1, 2)$	1177.38	$(2, 1, 1, 1)$	1336.96	$(1, 1, 1, 1)$	1336.96

4 结语

通过对某医药物流配送中心的自动化立体仓库的拣选作业、以及运作流程研究,用 Flexsim 仿真单巷道立体仓库实际运作,发现运行中存在的瓶颈,采用遗传算法对订单进出库顺序进行优化,并仿真优化结果,通过对各实体运行的最终数据分析可以明显得到该算法缩短出入库时间,降低设备运作过程中的阻塞时间,提高叉车、穿梭子母车的有效利用;同时在

此基础上,对整个立体库作业流程进行仿真,确定了合理的人员、设备组合,提高了人-机协调作业的效率,实现了优化立体仓库资源配置的目标。

参考文献:

- [1] 肖江波. 基于 Flexsim 仿真的物流配送中心优化探讨[J]. 现代商贸工业, 2007, 19(10): 61—70.
XIAO Jiang-bo. Research and Optimization of Logistics Distribution Center Based in the Flexsim Simula-

- tion[J]. Modern Business Trade Industry, 2007, 19(10): 61—70.
- [2] MARTINS M S R. PSO with Path Relinking for Resource Allocation Using Simulation Optimization[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013(65): 322—330.
- [3] 周璐璐. 配送中心拣货问题研究综述[J]. 中国商贸, 2013(16): 148.
ZHOU Lu-lu. Review of Picking Issues in Distribution Center[J]. China Business, 2013(16): 148.
- [4] 陈静. 基于 Flexsim 的物流配送中心规划模式的改进[J]. 物流技术, 2014, 11(22): 60—64.
CHEN Jing. Improvements to Logistics Distribution Center Planning Model Based on Flexsim[J]. Logistics Technology, 2014, 11(22): 60—64.
- [5] 许小利, 崔雪丽. 基于 Flexsim 的配送中心拣选作业系统仿真与优化[J]. 价值工程, 2015(12): 39—41.
XU Xiao-li, CUI Xue-li. Simulation and Optimization of the Distribution Center Order Picking System Based on Flexsim[J]. Value Engineering, 2015(12): 39—41.
- [6] 宋志兰, 赵迟明, 夏露, 等. 医药商业企业物流系统的规划设计[J]. 物流技术与应用, 2014, 19(11): 126—129.
SONG Zhi-lan, ZHAO Chi-ming, XIA Lu, et al. Planning Design on Pharmaceutical Commercial Enterprise Logistics System[J]. Logistics Technology and Application, 2014, 19(11): 126—129.
- [7] 揭育顺. 基于自动化立体仓库的作业调度的优化研究与仿真[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008.
JIE Yu-shun. Optimize and Simulate the Warehouse's Job Scheduling Based in the Automatic Warehouse[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunication, 2008.
- [8] 熊琦. A 物流公司仓储运作流程标准化研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
XIONG Qi. Research A Logistics Company's Standardization of Warehouse Operation Process[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.
- [9] 徐仰高. 穿梭车控制系统解决方案[J]. 物流技术与应用, 2013, 18(7): 111—114.
XU Yang-gao. Research the Solution of RGV's Control System[J]. Logistics Technology and Application, 2013, 18(7): 111—114.
- [10] 许彤. 医药物流运作管理优化分析[J]. 物流科技, 2011, 34(5): 57—61.
XU Tong. Optimized Analysis of Medical Logistics Operation Management[J]. Logistics Technology, 2011, 34(5): 7—11.
- [11] 杨超群. 基于 Flexsim 的某医药物流中心拣货流程优化研究[J]. 包装工程, 2016, 37(3): 130—136.
YANG Chao-qun. Optimization of Picking Process in a Pharmaceutical Logistics Center Based on flexsim[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(3): 130—136.
- [12] PAN C H, SHIH P H, WU M H. Storage Assignment Problem with Travel Distance and Blocking Considerations for a Picker-to-part Order Picking System[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 62(2): 527—535.
- [13] MOELLER K. Increasing Warehouse Order Picking Performance by Sequence Optimization[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2011, 20(20): 177—185.
- [14] GROSSE E H, GLOCK C H. The Effect of Worker Learning on Manual Order Picking Processes[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 170: 882—890.
- [15] CATHY H Y, LAM K L, CHOY G T S H. An Order-Picking Operations System for Managing the Batching Activities in A Warehouse[J]. International Journal of Systems Science, 2014, 45(6): 1283—1295.