

基于遗传算法的分区拣选系统储位优化实证研究

许小利, 崔雪丽

(苏州科技学院, 苏州 215009)

摘要: **目的** 研究零售连锁企业区域配送中心分区拣选系统下的储位优化方法。 **方法** 以某药品连锁零售企业区域配送中心为研究对象, 将不同分区的拣选时间趋于均衡作为储位优化目标, 结合样本订单与历史订单的特点, 建立储位优化数学模型, 并采用遗传算法进行求解, 以获取约束条件内该模型的最优解。 **结果** 在样本订单占80%权重的前提下, 将所求得的分拣与储位的解所对应的拣选时间, 与研究对象的拣选现状进行对比, 发现采用均衡各区拣选时间模型的求解结果提高了37.34%的效率, 优化效果显著。 **结论** 实证研究证明了该模型和算法的有效性, 该优化方法也广泛适用于其他分区拣选系统的储位分配作业。

关键词: 分区拣选; 遗传算法; 储位优化

中图分类号: TB488 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)19-0139-06

Storage Optimization Empirical Research of Zone Picking System Based on the Genetic Algorithm

XU Xiao-li, CUI Xue-li

(Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the optimization of storage spaces in regional distribution centers of retail chains under the partition picking system. This paper took a pharmaceutical retail chain enterprise RDC as the object of study, set the zoning time balance as the goal of storage space optimization, established a mathematical model and used the genetic algorithm to achieve the solution in order to improve the efficiency of distribution center selection. Under the premise of sample orders accounting for 80% of the weight, comparing the chosen status of the study object with the picking time corresponding to the partitioning result and the storage location solved, we found that the solution based on the balancing picking time of different partition model increased by 37.34% in efficiency compared with the results, and the optimization effect was obvious. In conclusion, empirical studies have shown the effectiveness of the model and algorithm, and the optimization method is also widely applicable in the allocation of storage spaces in other partition picking systems.

KEY WORDS: partition picking; genetic algorithm; storage space optimization

在连锁医药行业不断发展的今天,合理的区域配送可以有效控制缺货率、库存积压等问题,而区域配送中心的核心环节是拣选作业,储位分配问题又成为影响拣选效率的关键因素,因此,对于药品零售企业的RDC来说,药品的储位管理对于拣选作业效率的提

高尤为重要。

目前,关于储位优化问题的优化目标多集中于存储策略^[1-4]、拣选策略^[5-8]、行走路径与时间最小化^[9]等方面,却忽略了不同拣选系统的储位管理需要不同的方式方法。对于分区拣选系统的储位优化问题,以各分

收稿日期: 2015-01-16

基金项目: 苏州科技学院研究生科研创新计划(SKCX13S_038)

作者简介: 许小利(1989—),女,江苏宿迁人,苏州科技学院硕士生,主攻物流与供应链管理。

通讯作者: 崔雪丽(1977—),女,山东青岛人,苏州科技学院副教授,主要研究方向为系统工程。

区工作时间均衡为研究目标的中外文献较少。Brynzer和Johansson^[10]通过案例研究法指出,对分区与分批拣选策略的组合研究,分区的储位分配不容忽视,储位安排得当有利于提高拣选效率与高效管理。Malmberg^[11]基于不同存储策略,对配送中心空间利用率和拣选效率的均衡问题进行了比较性研究。Jane和Laih^[12]为使订单所需的各个非标准包装品均衡分布于各分区,忽略各分区的形状、储位数量的不同,提出自然族模型及求解的启发式算法。李晓春^[13]将静态分区拣选系统作为研究对象,以减少各分区的等待时间,为目标建立储位指派模型,并设计启发式算法求解。李诗珍^[14]以接力拣货系统(串行拣选系统)为研究对象,将相同时间内各分区拣货员之间拣选总次数的差额最小作为目标函数,并设计启发式算法,最后通过实证研究证明系统利用率得到提升。蔺宇和邓永锋^[15]提出在制造业单量份拣选系统下,串行拣选模式更具优越性,以分区拣选时间均衡为目标建模求解,并通过实证分析证明模型与算法的有效性。

可以看出,国内外基于工作量均衡的储位分配研究大多数仅考虑各分区内待拣货物总数量的差异,而未考虑各订单内寻找储位的次数与寻找时间,以及拣货人员之间行走速度、拣货速度等的差异。寻找储位的次数在订单上体现为订单行数,因而订单行数的多少对拣选速度的影响不可小觑。此外,拣货员的拣选速度存在差异,新老员工的差异更明显,若忽视这种影响,必然导致员工闲置,不利于员工工作效率的提高。因此,致力于拣选时间均衡的储位优化研究在时间维度上,应将各拣货人员拣选单品时间与寻找单个储位时间纳入,并在此基础上结合药品历史周转频率,实现各分区拣选时间均衡的目标。

科学合理的药品储位分配,可以平衡拣选作业时间和工作量,避免人员的闲置,实现拣选质量的提升。药品零售企业的RDC按照GSP标准,必须按照不同的药品性质及包装情况进行分类管理,采用分区拣选作业模式。因此,对分区拣选系统下拣选效率的研究仍有很强的实用价值。对于分区拣选系统而言,只有各分区拣选时间趋于均衡化,总拣选时间才能实现最小化,分区资源的闲置率才能降低。因而,为实现对分区拣选系统的储位优化,以各分区拣选时间均衡为目标建模求解。

1 问题描述

以某零售型连锁药店配送中心药品库使用的并

行分区人工拣选系统为例,拣货区由 n 个拣货分区组成,每个分区的拣货任务由1名拣货人员负责,每个分区由4个货架、2个巷道组成,该库的拣选作业流程见图1。各区拣货员接到拣货区组长分发的订单 i 的分割拣货单,负责各个分区内的拣货任务,完成拣货任务后送至合并区域,接收拣货区组长的订单 $i+1$ 的分割订单,循环往复,直至完成所有订单。拣选系统对订单的分割,首先在管理系统中对订单货物按照储位的顺序进行排列,然后以订单货物所在的分区为准,分割为 n 个子订单。因此,如何将所有种类的货物逐个分配至 n 个分区,是平衡各分区内拣选时间的关键问题。

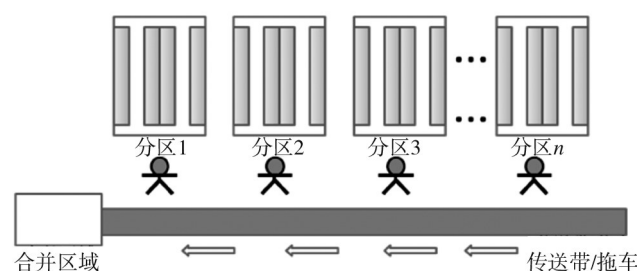


图1 分区拣选示意

Fig.1 Partition picking schematic diagram

2 模型建立

2.1 基本假设

假设1:拣货区内各分区从入口处到最后1个分区的方向依次排列,设为 $j=1,2,\dots,m$ 。

假设2:各分区拣货人员的拣货速度存在差异且相对稳定,拣货人员的行走速度、寻找储位的速度及拣选速度的和作为总拣选速度,即总拣选时间;

假设3:每个储位只能存放1种产品,储位相对固定,且允许存在空闲储位;

假设4:缺货现象不存在。

根据这些假设,每次拣取也都是独立拣取,订单订购总量即为每张订单的拣取次数,拣货员在1个订单上耗用的拣货时间,既与该订单的订单行数(寻找储位时间)、拣货员的拣货速度有关,也与订单订购总量有关,这些共同导致了均衡分区拣选时间储位优化问题的复杂性。

2.2 定义变量

定义模型涉及的变量为:订单号 $i, 1 \leq i \leq n$;拣货

区分区号与拣货员号 $j, 1 \leq j \leq m$; 货物品类号 $k, 1 \leq k \leq c$; 储位序号 $s, 1 \leq s \leq [c/m] + 1$; 拣货区货物品类号总数量 c ; 订单 i 的货物品类号 k 的订购数量; 订单 i 中是否含有货物品类号 k 的 0 或 1 变量 β_{ik} , 若含有 $\beta_{ik} = 1$, 否则 $\beta_{ik} = 0$; 第 j 个拣货区拣货员拣取 1 个单位货物的标准拣货时间 t_j ; 第 j 个拣货区拣货员锁定 1 个储位所用的时间 t'_j ; 拣货员在第 j 区行走的时间 t_s ; 订单 i 在拣货区 j 的货物体积 V_{ij} ; 各分区拣选设备的容量 C_{api} ; 放置在 s 储位上货物品类的周转率 P_s ; 订单数据对目标函数的权重 $\tilde{\omega}_1$; 历史订单数据对目标函数的权重 $\tilde{\omega}_2$ 。

2.3 建立储位分配模型

根据前面的假设与定义变量可以得出,以最小化拣选时间为目标的储位分配模型的相关变量如下所述。

1) 订单 i 的被订购物品货号 k 的订购数量为 α_{ik} , 则订单 i 在拣货区 j 的物品货号总数量记为 $Q_{ij} =$

$$\sum_{k=1}^c \alpha_{ik}, \text{ 体积为 } V_{ij} = \sum_{k=1}^c V_{ik}。$$

2) 订单 i 的货物品类 k 被寻找的次数为 β_{ik} , 该变量为 0 或 1, 订单 i 中所含货物品类号数量为 $Q'_{ij} = \sum_{k=1}^c \beta_{ik}。$

3) 订单 i 在分区 j 所用的拣选时间记作 $T_{ij} = \sum_{k=1}^c \alpha_{ik} t_j + \sum_{k=1}^c \beta_{ik} t'_j + t_s。$

4) 订单 i 所用的总拣选时间 T_i 应该是订单 i 在各个分区中所用的拣选时间 T_{ij} 的最大值, 即: $T_i = \max\{T_{ij}\} = \max\left(\sum_{k=1}^c \alpha_{ik} t_j + \sum_{k=1}^c \beta_{ik} t'_j + t_s\right)。$

5) 各分区拣选人员分别拣选分割后的订单 i 分布在各区的货物, 其所用的平均时间记作

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{j=1}^m T_{ij}}{m} = \frac{\left(\sum_{k=1}^c \alpha_{ik} t_j + \sum_{k=1}^c \beta_{ik} t'_j + t_s\right)}{m}。$$

6) 历史订单数据在分区 j 的分拣时间 $T_{Hj} =$

$$\sum_{k=1}^c \alpha_{Hk} t_j + \sum_{k=1}^c \beta_{Hk} t'_j + t_s。$$

7) 历史订单数据在各分区的平均分拣时间

$$\bar{T}_H = \frac{\sum_{j=1}^m T_{Hj}}{m} = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\sum_{k=1}^c \alpha_{Hk} t_j + \sum_{k=1}^c \beta_{Hk} t'_j + t_s\right)}{m}。$$

鉴于历史出货数据对拣选趋势的影响, 以及达到进一步减小样本数据误差的目的, 纳入参数 $\tilde{\omega}_1$ 和 $\tilde{\omega}_2$

作为均衡分区拣选时间综合考量的手段。因而, 据最小化拣选时间目标的要求, 即拣选人员在各分区工作时间趋于均衡, 可将数学模型表示为:

目标函数:

$$\min f = \tilde{\omega}_1 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{|T_{ij} - \bar{T}_i|}{T_i} + \tilde{\omega}_2 \sum_{i=1}^M \frac{|T_{Hj} - \bar{T}_H|}{\bar{T}_H} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_{k=1}^c V_{ik} \leq C_{api} \quad (2)$$

$$P_{j,s+1} \leq P_{j,s} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^c \beta_{ik} \leq c \quad (4)$$

$$\tilde{\omega}_1 + \tilde{\omega}_2 = 1 \quad (5)$$

$$\beta_{ik} = \begin{cases} 1, & k \in O_i \\ 0, & k \notin O_i \end{cases} \quad (6)$$

$$\beta_{Hk} = 1 \quad (7)$$

$$1 \leq i \leq n; 1 \leq j \leq m; 1 \leq k \leq c; i, j, k, \alpha_{ik} \in \mathbb{N} \quad (8)$$

其中, 式(1)为目标函数, 即各分区订单拣选时间最小的波动值; 式(2)表示对任意订单的拣选容量不超过拣选设备的容量; 式(3)表示分区 j 内货物品类的储位分配, 按照货物周转率降序排列; 式(4)表示拣选作业寻找储位的次数不超过储位数; 式(5)表示仅考虑样本和历史订单数据对目标函数的影响, 权重和为 1; 式(6)表示订单 i 的订购货物品类中包含货物品类号为 k 的货品时取值为 1, 否则为 0; 式(7)表示所有历史出货货物都纳入目标函数作为参考; 式(8)表示参数均为自然数。

2.4 遗传算法求解模型

遗传算法(GA)是以自然选择和遗传理论为基础, 将生物进化过程中适者生存规则与群体内部染色体的随机信息交换机制相结合的高效全局寻优搜索算法^[16], 具有实用、高效、鲁棒性强等特点, 现已广泛应用于函数优化、生产调度、自动控制和数据挖掘等领域。储位优化问题实质上是比较典型的 0 或 1 整数规划问题, 采用匈牙利算法可以获得精确最优解, 但综合实际问题的复杂性及运算效率, 采用遗传算法对该模型求解较其他更优。

目前, 使用广泛的遗传算法工具箱有英国设菲尔德大学开发的 Gatbx 工具箱和美国北卡罗莱纳州立大学推出的 GAOT (Genetic Algorithm Optimization Toolbox), 鉴于前者在内容上包含了后者, 因而选用前者

作为研究工具。Gatbx 工具箱使用 Matlab 矩阵函数,为实现广泛领域的遗传算法建立了一套通用工具,该工具是用 M 文件写成命令行形式的函数,遗传计算的实现可通过命令行函数,以及实际问题的需要,编写出所需的 Matlab 功能程序^[16],所用到的设菲尔德遗传算法工具箱中的函数见表 1。

表 1 遗传算法工具箱函数分类
Tab.1 Function classification of the Gatbx-Toolbox

分类	函数	功能
创建种群	ctrp	创建实值初始种群
适应度计算	ranking	常用的基于秩的适应度函数
选择函数	select	高级选择例程
选择函数	sus	随机遍历抽样
变异算子	mutate	高级变异函数
交叉算子	xovsp	单点交叉
子种群的支持	migrate	在子种群间交换个体

应用 Gatbx 工具箱解决上述分区储位优化模型的求解步骤见图 2。首先,在设置拣货参数、药品库参数的基础上编写目标函数,然后执行遗传操作,具体分析如下所述。

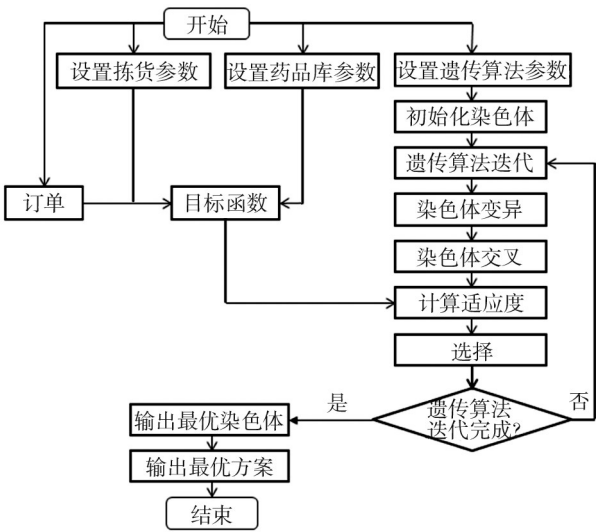


图 2 设菲尔德遗传算法工具箱运算流程
Fig.2 Operation flow chart of the Sheffield genetic algorithm toolbox

1) 创建初始种群。由于实例涉及库区 600 个储位,采用整数排列编码方式确定染色体编码序列,编写 M 文件。该例以 1- c/m 位置为分区 1 的货物品类 ID, $c/m+1$ 至 $2c/m$ 为分区 2 的货物品类 ID。以此类推,物品品类 ID 值即为对应的染色体编码。

2) 计算适应度值。适应度函数取该例目标函数

$Fitf(t)=f(x)$,基于 ranking 函数编写 M 文件,分配适应度值,并通过计算个体表现型对应的个体适应度值的大小来评价个体的优劣程度,适应度值越小,遗传到下一代的概率越大。

3) 遗传操作。变异操作通过编写 mutate 函数,实现对染色体编码中基因位的对调变异;交叉操作的实现是对于选定的 2 个个体进行交换,通过 xovsp 函数实现单点交叉;选择操作通过调用 sus 函数实现随机遍历采样选择。

4) 控制参数和终止条件。控制参数包括交叉概率、变异概率和种群规模。在利用遗传算法求解该模型时,将交叉概率设为 1,代表每次都进行交叉操作,以更快实现寻优目的;变异概率设为 0.05;遗传算法种群数为 20。终止条件的设定有很多种方法,这里采用遗传算法迭代次数作为终止条件,设置该模型迭代次数为 200。

3 实证研究

某连锁零售型配送中心药品库有 10 个巷道、20 排货架、600 个储位。该库分为 5 个分区,巷道 1,2 为分区 1,巷道 3,4 为分区 2,以此类推。该库行走路径为蛇形路径,即行走完巷道全程,则可拣取完该巷道边 2 列的订单货物。该库目前共计有 600 个货物品类,且有 14 种货物已下架,在求解中均将其作归零处理。

根据对药品库拣选员作业情况的实地调研,通过对各区拣货员拣货速度的数据收集,取其均值确定 t_j , t_j' , t_s 。分区 1 到分区 5 的 t_j 取值分别为 1, 1.2, 1.2, 1.4, 1.7 s; t_j' 取值分别为 3, 5, 5, 5, 8 s; t_s 取值分别为 10, 10, 12, 12, 15 s。

通过对该配送中心 2013 年 6 月到 2014 年 6 月 (281 个发货日) 的数据收集,获得 28 832 张订单数据,共计约 17 亿个货物品类,日平均接受订单量为 88 个,日平均拣选量约为 5.8 万件。采用简单随机抽样的方法,抽取 88 张订单,并分割出研究对象药品库 01 的 88 张分订单数据。由于订单数据过于庞大,包含 600 种货物的 88 张订单,不适宜放置于该研究中。但为体现求解方法的适用性,采用分层抽样的方法,选取该库 20 个货物的 88 张订单数据,并通过该配送中心 SOP 系统批量处理后,导出数量为 11 的批量订单,见表 2。

目前,该库使用的周转箱外尺寸为 560 mm × 410 mm × 295 mm,内尺寸为 500 mm × 380 mm × 285 mm,记单只体积约为 60 m³,以此作为体积容量的约束值。此外,对于该模型所涉 $\bar{\omega}_1$, $\bar{\omega}_2$ 的取值,鉴于历史订单

表2 药品库批量订单
Fig.2 Batch orders of the drug storehouse

品 项 号 k	订单号 i	订单 i 中品项 k 的数量 α_{ik}											体积/ m^3	周转 率
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.195	0.0004
	2	3	0	11	10	7	2	10	13	4	5	38	0.182	0.1737
	3	10	0	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0.182	0.0166
	4	6	0	8	1	5	4	0	2	1	4	3	0.195	0.1317
	5	1	3	5	0	0	0	2	4	10	0	0	0.24	0.0082
	6	7	2	3	2	0	0	3	11	17	2	1	0.1	0.0575
	7	4	2	0	0	0	0	0	2	4	2	1	0.12	0.0017
	8	4	0	3	0	2	0	0	0	0	1	0	0.182	0.0122
	9	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0.14	0.0012
	10	3	0	0	2	0	0	0	5	0	2	0	0.1	0.0753
	11	5	3	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0.12	0.0438
	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.0159
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.195	0.0003
	14	5	1	15	5	3	9	4	1	10	0	0	0.182	0.106
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.182	0.0013
	16	18	2	7	2	13	0	26	2	50	9	4	0.195	0.1161
	17	0	2	0	2	13	1	2	4	1	14	13	0.24	0.086
	18	3	2	0	0	4	0	0	2	4	2	0	0.1	0.0017
	19	0	3	3	2	5	4	2	2	0	8	0	0.12	0.1402
	20	2	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0.182	0.0101

对于储位分配的作用,为减小样本的误差,设 $\tilde{\omega}_1=0.8$,
 $\tilde{\omega}_2=0.2$ 。

最终,采用Gatbx求得该模型的最优目标函数值为8.5456,求解分区储位分配问题的货品储位分区情况见表3,其目标函数值随迭代次数的变化情况见图4,由该曲线的收敛趋势可知,该方法求解有效。

表3 货品分区储位分布结果
Tab.3 Storage space distribution result of goods partition

	分区1	分区2	分区3	分区4	分区5
储位1	19	16	14	17	4
储位2	2	10	8	6	12
储位3	11	15	1	3	20
储位4	18	9	7	13	5

分区储位优化模型的主要约束条件包括拣选容器容量的约束和各分区内储位货物周转率的降序排列约束,拣选品的容量约束迭代曲线见图5,显然不会超过周转箱容积。对比表2和表3,可知储位上的货物呈周转率降序排列。

各分区拣选作业时间与总拣选时间见表4。遗传

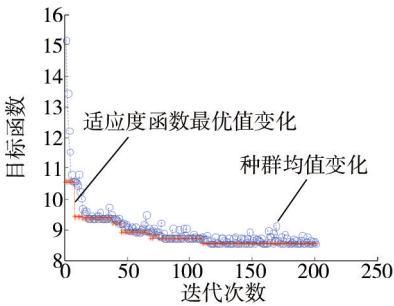


图4 遗传算法优化药品库储位分布迭代曲线
Fig.4 Storage distribution iterative curves of the drug storehouse after Genetic algorithm optimization

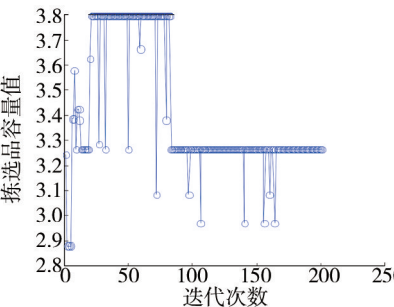


图5 容量约束迭代曲线
Fig.5 Iterative curve of the capacity constraints

表 4 各分区储位优化后的各批次订单拣选时间
Tab.4 Picking time of orders after optimization of storage space partition

分区号 <i>j</i>	订单 <i>i</i> 在分区 <i>j</i> 的拣选时间 T_{ij}					订单 <i>i</i> 的拣选时间 T_i
	1	2	3	4	5	
1	30	45.2	42.6	45.8	64	64
2	15	31	30.4	29	26.4	31
3	31	33	33.2	32.4	41.2	41.2
4	24	28.4	19.8	31	26.4	31
5	34	49	31.8	33.2	26.4	49
6	17	32	22.6	19.8	28.1	32
7	39	27.2	34	31	28.1	39
8	28	33.4	30.4	43	41.7	43
9	67	43	43	45.2	51.9	67
10	34	39.2	37.4	31.8	36.1	39.2
11	27	30.6	52	76.6	37.8	76.6
总拣选时间	346	392	377.2	418.8	408.1	513

算法通过初始种群多次交叉变异的迭代运算,其获取最优储位分配方案有效地改善了各个批次的分区拣选时间,总拣选作业时间趋向于稳定,实现了拣选作业均衡分区拣选作业时间的优化目标。

4 结语

基于 Matlab 的设菲尔德遗传算法工具箱,对分区拣选系统的储位分配问题进行了实证研究,较好地解决了数学模型及算法与实际应用之间的衔接,也取得了良好的优化效果。分区拣选时间均衡的储位优化目标,不仅适用于分割分区订单策略下的拣选作业,也同样适用于不分割订单策略下的分区接力拣选作业。该方法的实质是缓解工作时间不均造成的人员闲置等待问题。此外,该研究虽然仅局限于 1 个库内的分区作业,但其研究方法极具灵活性和广泛性,可将研究方向拓展至以多个库拣选时间均衡为目标的分区储位问题。

参考文献:

[1] 肖建,郑力. 考虑需求相关性的多巷道仓库货位分配问题[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(12):2447—2451.
XIAO Jian, ZHENG Li. The Roadway Warehouse Storage Allocation Considering the Demand[J]. Journal of Computer Integrated Manufacturing System,2008,14(12):2447—2451.

[2] CHRISTOPH H G, ERIC H G. Storage Policies and Order Picking Strategies in U-shaped Order-picking Systems with a Movable Base[J]. International Journal of Production Research,2012,50(14/16):4344—4357.

[3] MENEGETTI A, MONTI L. Sustainable Storage Assignment and Dwell-point Policies for Automated Storage and Retrieval Systems[J]. Production Planning & Control, 2013, 24 (4/6) : 511—520.

[4] 蔡雁,吴敏,周晋妮,等. 基于层次分析法的储位模糊多准则优化方法[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2013(6): 103—108.
CAI Yan, WU Min, ZHOU Jin-ni, et al. The Storage of Fuzzy Multicriteria Optimization Based on the Analytic Hierarchy Process Method[J]. Journal of Hunan University: Natural Science Edition,2013(6):103—108.

[5] 张贻弓,吴耀华. 基于并行拣选策略的自动拣选系统品项分配[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(8):1720—1725.
ZHANG Yi-gong, WU Yao-hua. The Items Allocation of Automatic Picking System Based on Parallel Sorting Strategy[J]. Journal of Computer Integrated Manufacturing System, 2010 (8): 1720—1725.

[6] 卢少平,张贻弓,吴耀华,等. 自动分拣系统并行分区拣选优化策略[J]. 深圳大学学报:理工版,2010,27(1): 120—126.
LU Shao-ping, ZHANG Yi-gong, WU Yao-hua, et al. The Picking Optimization Strategy of Automatic Sorting System Parallel Partition[J]. Journal of Shenzhen University: Edition of Science,2010,27 (1): 120—126.

[7] MARCHET G, MELACINI M, PEROTTI S, et al. A model for Design and Performance Estimation of Pick-and-sort Order Picking Systems[J]. Journal of Manufacturing Technology Management,2011,22(1/2):261—282.

[8] 王艳艳,吴耀华,吴颖颖,等. 并行自动拣选系统品项拣选量拆分优化[J]. 机械工程学报,2013,49(16):177—184.
WANG Yan-yan, WU Yao-hua, WU Ying-ying, et al. Auto-matic Parallel Has Chosen Items System Volume Split Optimization[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49 (16) : 177—184.

[9] 朱杰,郭键,周丽. 随机存储下返回型与S型拣选路径随机模型的比较研究[J]. 系统仿真学报,2011(2):223—227.
ZHU Jie, GUO Jian, ZHOU Li. The Comparative Study of Stochastic Model between the Return under Stochastic Storage Type and S Type Chosen Path[J]. Journal of System Simulation,2011(2):223—227.

[10] BRYNZER H, JOHANSSON I. Design and Performance of Order Picking Systems[J]. International Journal of Production Economics, 1995, 41(1-3): 115—125.

[11] MALMBORG C J. Storage Assignment Policy Tradeoffs[J]. International Journal of Production Research, 1996, 34 (2) : 363—378.

[12] JANE C C. Storage Location Assignment in a Distribution Center[J]. International Journal of Physical Distribution & Lo-

- LIANG Wen-jing. Research on the Government Support of Packaging Industry[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [14] 吴子竑. 我国软包装行业商业模式创新探析[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- WU Zi-hong. Research on Business Model Innovation of Flexible Packaging Industry[D]. Suzhou: Soochow University, 2013.
- [15] 何京. 水溶性塑料包装薄膜的性能及应用前景[J]. 中国包装, 2004(5): 86—87.
- HE Jing. The Properties and Application of Water Soluble Plastic Packaging Film[J]. China Packaging, 2004(5): 86—87.

(上接第 138 页)

- [12] NIKHI R. A Review on Image Segmentation Techniques[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1277—1291.
- [13] 陈敏. 一种自动识别最优阈值的图像分割方法[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(4): 85—86.
- CHEN Min. An Automatic Recognition Method of the Best Threshold for Image[J]. Computer Applications and Software, 2006, 23(4): 85—86.
- [14] 江萍, 徐晓冰, 方敏. 基于形态学骨架提取算法的研究及其实现[J]. 计算机应用, 2003, 23(6): 136—137.
- JIANG Ping, XU Xiao-bing, Fang min. Realization Algorithm Based on Morphological Skeleton Extraction[J]. Computer Applications, 2003, 23(6): 136—137.
- [15] 刘敏捷, 杨杰, 施鹏飞. 数字形态学细化算法[J]. 上海交通大学学报, 1998, 32(9): 15—19.
- LIU Min-jie, YANG Jie, Shi Peng-fei. Thinning Algorithm Based on Mathematical Morphology[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 1998, 32(9): 15—19.

(上接第 144 页)

- istics Management, 2000, 30(1-2): 55—71.
- [13] 李晓春, 钟雪灵, 王雄志, 等. 并行分区拣货系统储位优化设计[J]. 计算机工程与应用, 2013(19): 20—24.
- LI Xiao-chun, ZHONG Xue-ling, WANG Xiong-zhi, et al. Parallel Partition Picking a Storage System Optimization Design[J]. Computer Engineering and Application, 2013(19): 20—24.
- [14] 李诗珍. 基于工作量均衡的分区同步拣货系统储位分配与评价[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 114—118.
- LI Shi-zhen. Storage Allocation Evaluation of the Partition Synchronous Picking System Based on the Balanced Workload [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 114—118.
- [15] 蔺宇, 邓永锋. 基于均衡化的单量份拣选储位分配方法[J]. 制造业自动化, 2013(16): 127—130.
- LIN Yu, DENG Yong-feng. The Single Amount Picking Storage Allocation Method Based on the Equalization[J]. Journal of Manufacturing Automation, 2013(16): 127—130.
- [16] 雷英杰, 张善文, 李继武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- LEI Ying-jie, ZHANG Shan-wen, LI Ji-wu, et al. MATLAB Genetic Algorithm Toolbox and Its application[M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology University Press, 2005.

欢迎订阅 欢迎投稿