

多色集合在仓配一体化仓库货位分配建模中的应用

闫军, 王璐璐, 常乐

(兰州交通大学 机电技术研究所, 兰州 730070)

摘要: **目的** 为了提高仓配一体化仓库的货物存储以及货物周转效率,对仓库货位分配进行研究。**方法** 以西北地区某快消品仓配一体化配送中心仓库为背景,应用多色集合理论建立仓配一体化仓库中货位信息模型,通过实际案例对建立的模型进行仿真实验,得出仓库中货位的最优分区。**结果** 对仓库在货物就近原则放置和货物分区管理下车辆的等待时间进行仿真,限定在100 d的时间里,得出仓库在运用多色集合理论分区的情况下装卸车辆等待时间相比之前未分区时间下降了20.84%。**结论** 运用多色集合理论有效提高了城市快消品仓配一体化中货位优化的效率。

关键词: 城市快消品; 仓配一体化; 多色集合理论; 粒子群算法; 货位分配

中图分类号: F253.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)23-0203-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.030

Application of Polychromatic Set in Cargo Space Allocation Modeling of Warehouse Integrated with Storage and Distribution

YAN Jun, WANG Lu-lu, CHANG Le

(Mechatronics T&R Institute, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: The work aims to study the cargo space distribution of the warehouse, in order to improve the efficiency of cargo storage and turnover in the warehouse integrated with storage and distribution. Based on the FMCG (fast moving consumer goods) distribution center warehouse integrated with storage and distribution in northwest China, the theory of polychromatic sets was applied to establish the cargo space information model in the proposed warehouse. Through the simulation experiment of the established model with actual cases, the optimal partition of cargo space in the warehouse was obtained. As a result, the waiting time of the vehicle in the warehouse based on the principle of the nearest cargo placement and cargo partition management was simulated, and it was limited to 100 days. It was concluded that, the waiting time for loading and unloading of vehicles in the warehouse with partitions based on the theory of polychromatic sets was 20.84% lower than the previous unpartitioned time. The theory of polychromatic sets is used to effectively improve the efficiency of cargo space optimization in the integration of storage and distribution of urban FMCG.

KEY WORDS: urban fast moving consumer goods; integrated with storage and distribution; theory of polychromatic sets; particle swarm optimization; cargo space allocation

随着近几年电子商务、大型零售业等行业的逐步兴起和国民消费水平的提高,商品流通规模不断扩大,仓配一体化^[1]逐渐成为物流行业的一个发展趋

势。提高仓库内部工作效率、降低成本、仓配一体化越来越受到企业的关注,对仓库内货物的货位优化研究也成为了一个热点。

收稿日期: 2019-04-19

基金项目: 甘肃省自然科学基金(148RJZA049); 甘肃省教育厅战略研究项目(2018F-08)

作者简介: 闫军(1971—),男,高级工程师,主要研究方向为协同物流及动态规划。

目前,针对仓库货位分配问题的研究,国内大部分文献强调理论性,重点在算法方面进行优化,在仓库货位分配模型的优化方面研究较少。除此之外,传统意义上的货位分配没有考虑订单与货物之间的相关性,影响了拣货总路程,使结果不能达到最优。

Li^[2]、商允伟^[3]、柳赛男^[4]、李梅娟^[5]等采用遗传算法、禁忌搜索算法、模拟退火算法、粒子群算法、分支定界法、蚁群算法等方法来提高仓库的作业效率,但这几种算法各有利弊。例如,遗传算法在运行的过程中只着重于局部,在算法进行优化时只考虑遗传算子的变异率和交叉率等参数的变化,很容易陷入“早熟”,对于大规模计算量的问题已经不能很好地解决;蚁群算法的操作性低且编程复杂。别文群等^[6]建立了出入库货位优化模型,模型主要设计了表达方法和产生初始解的启发式方法。杨永永等^[7]在对产品入库货位进行动态优化时,运用RFID技术来提高仓库的周转效率。苏永杰等^[8]在对线束加工仓库进行货位优化时,通过定位存储模型和改进的遗传算法对货位分配问题进行仿真求解。李建国等^[9]对立体车库车位进行管理时,采用多色集合理论对车库车位进行分区,减少顾客的平均等待时间,降低车库的运行能耗。陈璐等^[10]在自动化立体仓库中,结合禁忌搜索算法和匈牙利算法的货位分配及拣选路径策略,可减少堆垛机在巷道中作业的总时间。

国外在货位分配方面的研究比我国早,在货位优化方面,建立了货位分配模型,并结合实际应用案例,开发了有关货位优化的仓库管理软件,使货位优化成为模块化。例如 EXE(Exceed Optimize)、MTS(Lotting Optimization)等。

Fumi 和 Scarabotti^[11]将货位分配与货位着色结合起来,并采用定位存储策略,类似于多色集合问题。Tompkins^[12]研究表明,影响订单处理效率的关键因素是货位分配,而在立体仓库中处理订单的时间占仓库操作时间的 55%,合理的货位分配能有效地节约时间。Silva D D D 等^[13]针对不同货物提出了一种多决策模型,通过分析模型的决策矩阵,应用 SMARTER 方法,在仿真实验仓库中进行了验证。

多色集合理论不仅能方便地描述货位复杂系统的各种特征,而且还能体现各种特征之间的相互关系。文中应用多色集合理论对货架的货位进行分区,完成仓配一体化仓库货位分配的多色集合建模,并结合西北地区某仓配一体化公司实际案例,仓库在货物就近原则放置和货物分区管理下,使用 Matlab 对车辆的等待时间进行仿真,研究结果表明,该方法可以有效提高城市快消品仓配一体化中货位优化的效率。

1 城市快消品仓配一体化问题分析

1.1 城市快消品及仓配一体化概述

城市快消品^[14]主要指日常生活中使用寿命较短、消费速度较快的消费品。包括包装的食品、个人卫生用品、烟草及酒类和饮料等流通周转量较大的物品,具有流通速度快、毛利低、销量大等特点。城市快消品主要依靠消费者高频次重复地使用与消耗,通过规模的市场销售量来获取利润,实现商品的价值。

仓配一体化服务主要由仓库管理、仓内运营、配送服务三部分组成。它的核心业务主要是为客户提供一站式仓储配送服务,例如可作为电子商务后端服务、区域代理商商品存储配送服务等,主要满足卖家对商品的集配需求(集货、加工、分货、拣选、配货、包装),同时代货主完成对客户的送货、结算、退换货等问题。仓储是仓配一体化作业中不可或缺的一个环节,仓储的有效管理可以加快商品的流通,使得商品能够很快从生产者送至消费者手中。

1.2 快消品出入库过程存在的问题

快消品在出入库以及在库存的过程中,货物没有实现高效率的存储,主要存在以下问题:区域代理商仓库内部货位区域不清晰,未进行分区管理;货物订单以及账目管理不当;货物在仓库内部堆放不合理;拆零货物较多,没进行统一管理;租用仓库不注意仓库周围的环境,加快货物的腐坏程度;存放货物时,没有考虑到货物的属性;仓库安全措施没有考虑到位,降低了仓库存放货物的完整性;退回货物处理不当。以上问题都会导致仓库货物周转率较低,仓库库存积压,货物难以盘点,不能准确掌握仓库内部货物实时情况,占用大量库存资金。应该全方位提高仓库的管理水平,建立有效的管理机制,积极提高管理人员的业务水平。

文中主要针对区域代理商仓配一体化仓库内部区域货物管理不清晰,货物在仓库内部没有实现有效的分区管理这一问题进行研究,运用多色集合理论,解决仓配一体化仓库中货位分区不合理的问题,实现货物出入库效率的最大化以及作业时间的最小化。

2 基于多色集合理论的仓配一体化货位分区

2.1 多色集合的概念

多色集合理论(theory of polychromatic sets, TPS)^[15]是近年来出现的一种新的信息处理的工具。它的核心思想是采用多色集合来制定一套统一的标

准数学模型，在先进技术领域具有重要的理论地位。它在系统建模、元素关系描述、层次结构的复杂性、计算机处理能力的高效性以及问题的形式化表示等方面，具有较深入的研究，在产品的建模、过程的建模和优化等关键技术中发挥着重要的作用，多色集合理论的研究将会对企业敏捷化、网络化提供重要的技术支持。

普通集合是元素的全体，即：

$$A=(a_1\cdots a_i\cdots a_n)$$
(1)

在多色集合 A 中，每一个元素 a_i 都能被填充一种“颜色”，不同元素之间的颜色代表元素之间不同的属性，同时对于集合 A 也有相应的颜色，用来表示集合整体的属性。

对元素属性的颜色作如下定义：

$$F(A)=\{F_1(A),F_2(A)\cdots F_p(A)\}=\{F_1,F_2\cdots F_p\}$$
(2)

$$F(a_i)=\{f_1(a_i),f_2(a_i)\cdots f_m(a_i)\}=\{f_1,f_2\cdots f_m\}$$
(3)

$$F(a)=\bigcup_{i=1}^nF(a_i)=\{f_1(a),f_2(a)\cdots f_q(a)\}=\{f_1,f_2\cdots f_q\}$$
(4)

式中： $F(A)$ 表示集合 A 整体的颜色，且被称为集合 A 的统一颜色；集合 A 的第 j 个性质为对应的集合 A_j ； $F(a_i)$ 表示元素 a_i 的个人着色； $F(a)$ 表示所有元素的个人着色。

2.2 多色集合的数学表达式

在多色集合理论中，元素和整体分别表示不同的研究对象，区别研究对象以及元素的性质可以通过涂色来进行，不同的颜色表示不同的元素和研究对象。多色集合的数学表达式可由 6 种基本成分表示。多色集合建模对象中所说的“颜色”是指“属性、性质、特征、参数、维度、指标”等。

多色集合 PS 一般可以通过 6 种成分确定。

$$PS=(A,F(a),F(A)),[A\times F(A)],[A\times F(a)],[A\times A(F)]$$
(5)

在多色集合中，布尔围道矩阵可以表示所有元素得个人着色，其数学表达式为：

$$\|c_{ij}\|_{A,F(a)}=[A\times F(a)]=\begin{bmatrix}f_1&\cdots&f_j&\cdots&f_q\\c_{11}&\cdots&c_{1j}&\cdots&c_{1q}\\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\c_{i1}&&c_{ij}&&c_{iq}\\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\c_{n1}&\cdots&c_{nj}&\cdots&c_{nq}\end{bmatrix}a$$
(6)

$$c_{ij}=\begin{cases}1, f_j\in F(a_i)\\0, f_j\notin F(a_i)\end{cases}$$
(7)

式中： a_i 为行布尔矢量，表示元素的个人着色； f_j 为列布尔矢量，表示个人着色中含有个人颜色的所有元素。当 a_i 和 f_j 的关系满足 a_i 包含于 f_j 的性质时， c_{ij} 为 1，其他情况下， c_{ij} 为 0。

2.3 车辆等待时间的数学描述

将车辆每天的等待时间当作衡量仓库内部货位分区提高效率的重要指标，建立如下数学表达式：

$$\bar{t}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nt_i$$
(8)

式中： $\bar{t}$ 表示每天 n 辆车的平均等待时间； t_i 表示第 i 辆车； n 表示一段时间内靠近月台进行装卸货物的个数。

3 实际应用案例

3.1 多色集合理论的实际应用

西北地区某仓配一体化仓库内部货架示意图 1，仓库内放有 2 列货架，中间有一个人行巷道，可供拣货员进行拣货作业时行走。

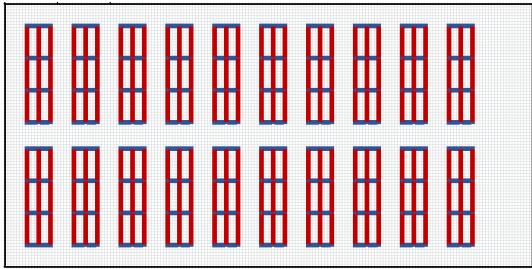


图 1 仓库货架分配示意
Fig.1 Warehouse shelf allocation diagram

实例中以西北地区某仓配一体化仓库单侧 4 层 10 列货架，共 40 个货位为例，仓库单侧货位展开图见图 2。

(X ₁₀ ,Y ₄)	...	(X ₅ ,X ₄)	...	(X ₁ ,Y ₄)	出入口
(X ₁₀ ,Y ₃)	...	(X ₅ ,X ₃)	...	(X ₁ ,Y ₃)	
(X ₁₀ ,Y ₂)	...	(X ₅ ,X ₂)	...	(X ₁ ,Y ₂)	
(X ₁₀ ,Y ₁)	...	(X ₅ ,X ₁)	...	(X ₁ ,Y ₁)	

图 2 仓库货位单侧展开
Fig.2 One-side expansion of warehouse cargo space

该仓配一体化中心存储的货物按照出入库频率和质量分为 5 类，出入库货物特征见表 1。

表 1 仓配一体化中心出入库货物特征表
Tab.1 Inbound and outbound cargo characteristics table of warehouse distribution integration center

货物 分类号	出入库 频率/%	货物 质量/kg	所需货位 个数	指派 分区	入库货物 数量
1	40~50	0.4~0.5	6	A	4
2	30~40	0.3~0.4	4	B	4
3	20~30	0.2~0.3	12	C	6
4	10~20	0.1~0.2	6	D	3
5	10 以下	0.1 以下	3	E	3

考虑到快消品在出入库过程中的效率和仓库内部货架的受力情况,以这两点作为基础元素并应用多色集合理论对货架的货位进行分区。再研究货位特征、货物的出入库频率和货物的质量,以这三点作为

设计元素,再将货位编号作为多色集合的统一颜色,将基础元素、设计元素、统一颜色两两结合起来,根据式(6)和(7)建立仓配一体化仓库货位分区数学模型 $W(P)$,组成布尔围道矩阵 $P \times F(P)$,见图3。

货位	货位编号	货物出入库频率			货物质量			货物存放层数			货物存放列数		
		高	中	低	重	中	轻	高	中	低	近	中	远
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}
P_1	1, 1	•			•			•			•		
P_5	1, 5		•		•			•				•	
P_{10}	1, 10			•	•			•					•
.....													
P_{24}	3, 8		•				•			•		•	
P_{40}	4, 10			•			•			•			•

图3 基于多色集合理论的货位分区围道布尔矩阵

Fig.3 Boolean matrix of cargo space partition based on the theory of polychromatic sets

其中,不同的货位组成集合 P ,各元素即是多色集合的元素,数学表达式为:

$$P = (P_1, P_2 \cdots P_i \cdots P_{40})$$

式中: P_i 指不同的货位, P_1 对应货位编号为(1, 1),即货位位于第1层第1列,同理, P_{40} 对应货位编号为(4, 10),即货位位于第4层第10列。

$F(P)$ 为颜色集合,是影响货物出入库货位因素的集合,包括出入库频率、货物质量、货位特征,数学表达式为:

$$F(P) = (F_1, F_2 \cdots F_{12})$$

其中: F_1 表示频率位于30~50; F_2 表示频率位于10~30; F_3 表示频率位于10以下; F_4 表示质量位于0.3~0.5; F_5 表示质量位于0.1~0.3; F_6 表示质量位于0.1以下; F_7 表示位于货架1—2层; F_8 表示位于货架3层; F_9 表示位于货架4层; F_{10} 表示位于货架1—4列; F_{11} 表示位于货架5—8列; F_{12} 表示位于货架9—10列。

集合元素货位着色为 $F(P_i)$,例如, $F(P_{10}) = (F_3, F_4, F_7, F_{12})$,布尔向量表示为 $F(P_{10}) = (0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1)$,即 $[P \times F(P)]$ 从整体上约束了货物出入库频率、货物质量、货位特征与货位之间的关系。

结合实际的案例背景,在这只考虑集合 A 与集合 A 的统一着色 $F(A)$ 形成的布尔矩阵的情况,布尔矩阵记作 $[A \times F(A)]$ 。

根据 Matlab2012a 中的工具箱,再结合布尔围道矩阵,将仓配一体化单侧货架分为 A, B, C, D, E 等5个区域,见图4,各个区域内存放的货物依次为1类、2类、3类、4类、5类。货架区域划分好之后,货物货位的分配位置可以按照就近原则进行排列,按照由远及近、由下到上的排列原则进行^[16]。

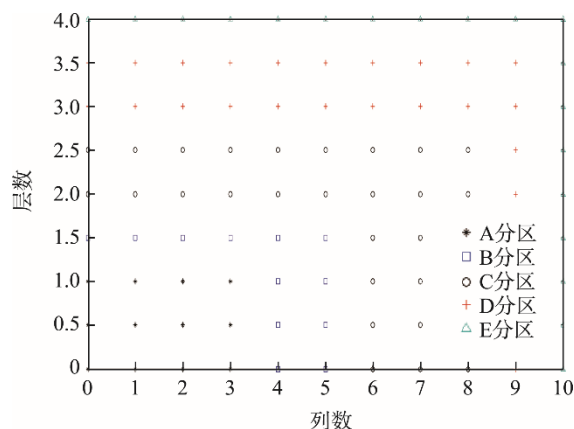


图4 货架货位分区

Fig.4 Cargo shelf and space partition

3.2 基于粒子群算法的货位优化

在3.1节实例中,货架长度、货位高度、拣货人员的运行速度以及叉车上下货架的运行速度分别为:1.2, 0.8, 3, 1 m/s。在货物出入库的过程中分别用粒子群算法和遗传算法对货位分配进行优化,取迭代次数为50和100,取种群数为20, 30, 50。遗传算法交叉概率取0.6,变异概率取0.4;粒子群算法取惯性权值为0.75,学习因子分别为2.0。在 Matlab2012a 版中进行仿真实验,在基于多色集合理论货位分区的基础上,将遗传算法和粒子群算法进行对比,结果见表2^[17]。

从表2可以看出,从入库时间来看,粒子群算法的优化效率高于遗传算法。

在基于多色集合理论货位分区的基础上,结合式(8),选取该仓配一体化货位运行100 d的情况,分析每天仓库在货物就近原则放置和货物分区管理下车辆的等待时间。在 Matlab 2012a 版中具体分析情况见图5—6。

表 2 遗传算法和粒子群算法优化结果对比
Tab.2 Comparison of optimization results between
GA and PSO

迭代 次数	种群 数	随机 入库 时间/s	遗传算法		粒子群算法	
			平均 入库 时间/s	平均 时间优化 效率/%	平均 入库 时间/s	平均 时间优化 效率/%
50	20	374.8	305.3	11.4	295.8	13.4
50	30	374.8	302.4	12.0	293.5	13.9
50	50	374.8	300.2	12.5	291.7	14.3
100	20	749.4	610.6	22.8	591.5	26.7
100	30	749.6	604.8	24.0	586.9	27.7
100	50	749.6	600.4	24.9	583.4	28.5

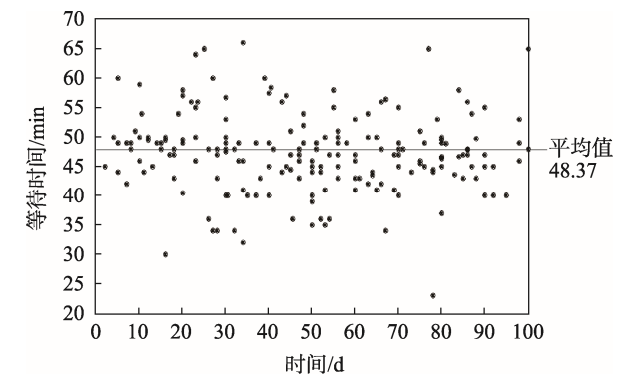


图 5 货位分区管理下每天装卸车辆的人均等待时间
Fig.5 Per capita waiting time for daily loading and unloading
of vehicles under the management of cargo space partition

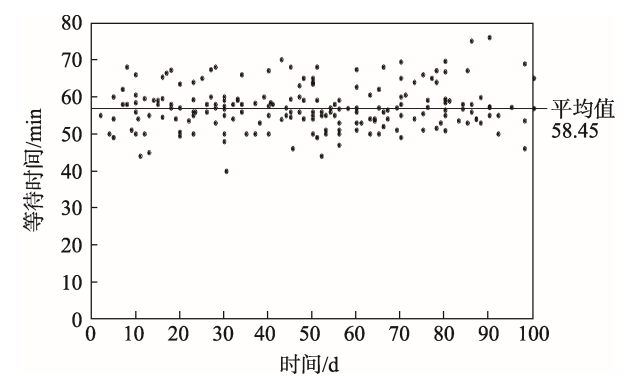


图 6 货位就近分配下每天装卸车辆的人均等待时间
Fig.6 Per capita waiting time for daily loading and unloading
of vehicles under the nearest allocation of cargo spaces

根据图 5—6,选取仓库正常运营 100 d 的货物出入库情况,分析每天仓库在货物就近原则存储情况下和货物分区管理存储情况下车辆的人均等待时间,得出仓库在运用多色集合理论分区的情况下,装卸车辆平均等待时间相比之前未分区时间从 58.45 min 降低到 48.37 min,货物周转效率得到提升,从而验证了多色集合理论在城市快消品仓配一体化中货位分区中的重要性。

4 结语

介绍了城市快消品以及仓配一体化的概念,再结合多色集合理论,分析了货位复杂系统中货物特征、出入库频率与货位之间的关系,实现了仓配一体化仓库货位分配的多色集合建模,然后再结合西北地区某仓配一体化公司实际案例,在仓库中抽样出一单排货架,根据货物的出入库频率以及货物的质量,在考虑货架的稳定性的基础上,根据多色集合理论对仓配一体化仓库中抽象出的单排货架进行分区。基于离子群算法和遗传算法的仿真对比,得出粒子群算法的优化程度更大。再使用 Matlab 对仓库在货物就近原则放置和货物分区管理下车辆的等待时间进行仿真,选取仓库运行 100 d 的车辆运行数据,得出仓库在运用多色集合理论分区的情况下,装卸车辆等待时间相比未分区之前从 58.45 min 降低到了 48.37 min,效率提升了 20.84%,从而提高了城市快消品仓配一体化中货位分区的效率。

参考文献:

[1] 徐旦, 闫军, 王杰. 我国仓配一体化与仿真技术研究[J]. 内蒙古公路与运输, 2018(1): 43—47.
XU Dan, YAN Jun, WANG Jie. Research on the Integration and Simulation Technology of Warehouse Distribution in China[J]. Inner Mongolia Highway and Transportation, 2018(1): 43—47.

[2] LI Mei-juan, TANG Hai-yan. An Improved Genetic Algorithm for Locations Allocation Optimization Problem of Automated Warehouse[J]. Fuzzy Information and Engineering, 2009, 62: 1549—1560.

[3] 商允伟, 裴聿皇, 刘长有. 自动化仓库货位分配优化问题研究[J]. 计算机工程与应用, 2004(26): 16—17.
SHANG Yun-wei, QIU Jin-huang, LIU Chang-you. Research on Optimization of Goods Location Allocation in Automated Warehouse[J]. Computer Engineering and Application, 2004(26): 16—17.

[4] 柳赛男, 柯映林, 李江雄, 等. 基于调度策略的自动化仓库系统优化问题研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006(9): 1438—1443.
LIU Sai-nan, KE Ying-lin, LI Jiang-xiong, et al. Research on Optimization of Automatic Warehouse System Based on Scheduling Strategy[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2006(9): 1438—1443.

[5] 李梅娟, 陈雪波. Pareto 遗传算法在货位配置中的应用研究[J]. 控制工程, 2006(2): 138—140.
LI Mei-juan, CHEN Xue-bo. Research on Application of Pareto Genetic Algorithm in Cargo Location Allocation[J]. Control Engineering, 2006(2): 138—140.

[6] 别文群, 李拥军. 遗传算法在立体仓库货位优化分配中的研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(29): 211—213.

- BIE Wen-qun, LI Yong-jun. Research on Genetic Algorithm for Optimal Allocation of Cargo Spaces in Three-dimensional Warehouse[J]. Computer Engineering and Application, 2009, 45(29): 211—213.
- [7] 杨永永, 何利力, 翟俊鹏. 数字化仓储中货位优化分配的研究[J]. 工业控制计算机, 2016, 29(4): 107—109.
- YANG Yong-yong, HE Li-li, ZHAI Jun-peng. Research on Optimal Allocation of Cargo Spaces in Digital Warehousing[J]. Industrial Control Compute, 2016, 29(4): 107—109.
- [8] 苏永杰, 胡俊. 基于遗传算法的线束加工仓库货位优化研究[J]. 包装工程, 2018, 39(19): 110—116.
- SU Yong-jie, HU Jun. Research on Goods Location Optimization of Wire Harness Processing Warehouse Based on Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(19): 110—116.
- [9] 李建国, 刘日, 王小农. 基于多色集合的立体车库车位分区管理建模与仿真[J]. 兰州交通大学学报, 2018, 37(3): 21—26.
- LI Jian-guo, LIU Ri, WANG Xiao-nong. Modeling and Simulation of Parking Area Management in Stereo Garage Based on Multi-Color Set. [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2018, 37(3): 21—26.
- [10] 陈璐, 陆志强. 自动化立体仓库中的储位分配及存取路径优化[J]. 管理工程学报, 2012, 26(1): 42—47.
- CHEN Lu, LU Zhi-qiang. Storage Allocation and Access Path Optimization in Automated Three-dimensional Warehouse[J]. Journal of Management Engineering, 2012, 26(1): 42—47.
- [11] FUMI A, SCARABOTTI L, SCHIRALDI M M. Minimizing Warehouse Space with a Dedicated Storage Policy[J]. International Journal of Engineering Business Management, 2013, 5: 21.
- [12] TOMPKINS J A. Facilities Planning: A Vision for the 21st Century[J]. Iie Solutions, 1997, 29(8): 18—19.
- [13] SILVA D D D. Multicriteria Decision Model to Support the Assignment of Storage Location of Products in Warehouse[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015: 1—8.
- [14] 胡电喜. 针对消费者的快销品营业推广现状与问题分析[J]. 中国市场, 2011(32): 106—107.
- HU Dian-xi. Analysis on the Current Situation and Problems of Fast-selling Products Sales and Promotion for Consumers[J]. Chinese Market, 2011(32): 106—107.
- [15] 姜莉莉, 李德治, 周鑫, 等. 基于多色集合的连杆清洗夹具概念设计[J]. 机床与液压, 2013, 41(7): 131—134.
- JIANG Li-li, LI De-zhi, ZHOU Xin, et al. Conceptual Design of Connecting Rod Cleaning Fixture Based on Polychromatic Set[J]. Machine Tool and Hydraulic Pressure, 2013, 41(7): 131—134.
- [16] 李建国, 梁英, 刘日. 基于遗传算法的巷道堆垛式立体车库路径优化[J]. 起重运输机械, 2016(12): 59—63.
- LI Jian-guo, LIANG Ying, LIU Ri. Path Optimization of Stackable Three-dimensional Garage Based on Genetic Algorithm[J]. Lifting and Transportation Machinery, 2016(12): 59—63.
- [17] 杨玮, 傅卫平, 王雯, 等. 基于多色集合和粒子群算法的立体仓库货位分配优化[J]. 机械科学与技术, 2012, 31(4): 648—651.
- YANG Wei, FU Wei-ping, WANG Wen, et al. Location Allocation Optimization of Solid Warehouse Based on Polychromatic Set and Particle Swarm Optimization[J]. Mechanical Science and Technology, 2012, 31(4): 648—651.