

doi: 10.7690/bgzdh.2022.01.017

基于瞭望算法的军用立体仓库货位优化

刘有为, 陈童, 周景冉

(海军工程大学管理工程与装备经济系, 武汉 430033)

摘要: 针对军事仓储建设的迫切需求, 提出一种基于瞭望算法的军用立体仓库货位优化方案。考虑军用物资收发存储过程中在品种、效率、相容性、质量以及安全性能等方面与民品的差异, 通过对多品种货位管理问题的分析, 选择出库效率和货架稳定性为目标函数, 利用瞭望算法建立优化模型, 设计相应的算法流程, 得到货位优化方案。通过算例验证了模型的有效性, 演示了该建模方法在军事仓储管理工作中的应用前景。

关键词: 军事仓储; 瞭望算法; 货位优化

中图分类号: TJ089 **文献标志码:** A

Cargo Location Optimization of Military Stereoscopic Warehouse Based on Lookout Algorithm

Liu Youwei, Chen Tong, Zhou Jingran

(Department of Management Engineering & Equipment Economics, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Aiming to the urgent needs of the military storage construction, a cargo location optimization scheme of military stereoscopic warehouse based on lookout algorithm is proposed. Considering the differences between military materials and civilian products in variety, efficiency, compatibility, quality and safety performance, and other aspects, the paper chooses the efficiency of delivery and shelf stability as the objective function through the analysis of the management of multiple kinds of cargo location, establishes the optimization model by using the lookout algorithm, designs the corresponding algorithm flow and obtains the cargo location optimization scheme. The effectiveness of the model is verified by the example, and the application prospect of the modeling method in the military storage management is demonstrated.

Keywords: military warehouse; lookout algorithm; cargo location optimization

0 引言

目前, 我国的仓储体系大致可以分为 4 类: 社会公共仓储体系、工商企业自建仓储体系、战略储备仓储体系和军队后勤仓储体系^[1]。随着我国电子商务的迅速发展, 工商企业自建仓储体系也得到了快速发展, 该体系开发和建设了大量自动化仓储系统, 产生了丰富的理论和应用成果。然而, 军队仓储系统为保障部队战略的需要, 更加注重仓储目标的军事性、物资种类的特殊性和物资调拨的应急性, 军用物资的供应要做到收得进、管得好、发得出, 安全可靠, 对于物资或武器在效率、相容性、质量、日常维护以及安全性能方面有更高的保障要求。为了保障好现代化战争需要, 库房除了要有传统物流的机械设备支持外, 还应有军事物资供应保障系统, 才能将管理、储存和供应的资源进行合理配置。军用物资的供应保障系统中, 不仅要有物资基本信息的数据更新动态, 还要有合适的货位优化方案,

保障物资收发过程的安全、高效和准确。总的来说, 传统的地方仓储物流管理策略已无法满足军事仓储管理的特殊性。

在传统仓储货位管理中, 仓储物品往往被放在到达仓库时距离最近的可用空间, 不考虑商品的动态变化需求和客户需求模式的变化, 根据以往的习惯和经验来存放物品^[2]。物资流通效率低和仓库空间利用不足是传统货位布局的 2 个弊端。现代仓储货位管理尤其是军事仓储货位管理的新目标: 在劳动力或成本不变的前提下, 完成更多的仓库管理工作; 减少订单响应、履行时间, 对服务对象的保障可以做到更快捷, 更周到。目前的仓库管理软件系统(WMS)和计算机系统支持储位优化管理的功能尚还不够完善, 主要原因是基础数据不足, 寻找合适的货位优化软件和方法这一问题尚未得到有效解决。

在货位寻优问题上, 国内外许多专家学者做过

收稿日期: 2021-09-29; 修回日期: 2021-10-28

作者简介: 刘有为(1993—), 男, 辽宁人, 硕士, 从事项目计划与控制。E-mail: 1009954927@qq.com。

很多研究, C.D.Popovio 等^[3]提出了如何使用贪婪启发式算法来解决具有规划层存储系统的三梭式 AS/RS 的问题; Yang W 等^[4]设计了双层遗传搜索算法, 提出了货位分配与作业调度集成优化方法; J.Karasek 等^[5]利用遗传算法中变异概率的差异得出最优变异概率; L.M.Pohl 等^[6]发现仓库中横向通道会导致仓储面积减少, 再一次拣选多件货物时会增加拣选距离; Yang P 等^[7]提出了用可变邻域搜索算法求解共享存储下 AS/RS 中货位分配和作业调度时的堆垛机最短运行时间; Lu C 等^[8]研究了仓库中 2 种移库策略下的动态移库优化问题, 提出了 2 阶段启发式方法及禁忌搜索算法改进初始解决方案; K.Hachemi 等^[9]提出逐步求解的优化方法, 根据存取请求确定出入库产品的位置; 曾强等^[10]设计了一种非支配排序遗传算法对货位分配模型加以求解; 李敬波等^[11]提出定位存储并利用货位分配规则建立数学模型, 再利用遗传算法求解模型。

从以上研究可以看出: 专家大多只在某一方面做了深入研究, 考虑同时满足效率与稳定性的研究较少, 并且采用较多的传统遗传算法也有一定的缺陷。早熟收敛是遗传算法较难解决的缺点, 其表现为群体中所有个体之间相似度很高或者参数设置不当, 进而导致进化缓慢甚至停止^[12]; 因此, 军用物资货位优化必须综合考虑运行效率与货架稳定性, 属于多目标优化问题, 解决多目标优化问题, 瞭望算法具有独特优势。

瞭望算法模拟了人类的视觉智能以及根据视觉信息分析问题的推理智能, 是一种智能算法。与已知的模拟退火算法、遗传算法、神经网络算法、禁忌搜索算法 (tabu search, TS)、蚁群算法在原理上有明显不同, 瞭望算法利用瞭望技术确定群山最高点的常识, 通过瞭望管理机制、瞭望点产生策略, 局部问题构造与求解机制, 能在较短时间内求解全局优化问题, 具有特点有: 1) 收敛率较高, 瞭望算法收敛率接近 100%, 明显高于遗传算法; 2) 具有较强的搜索能力, 几乎可以获得问题的全部解, 比应用遗传算法的效果更好; 3) 鲁棒性强, 瞭望算法所能解决的问题较为广泛, 对初始点几乎没有依赖, 并且控制参数选择比较简单^[13]。使用瞭望算法进行货位优化, 能够得到最优的货位分配方案。

1 问题描述与条件假设

现有一军用自动化立体仓库, 对其某座库房的相关参数及条件作如下假设:

1) 仓库中某一存储区域货架排、列、层数分别用 m 、 n 和 k 表示, 那么这座库房总的货位数可以表示为 mnk 个。

2) 如图 1 所示, 用 x, y, z 分别表示货位所在的排、列、层, 货位坐标就可以用 3 维坐标系表示为 (x, y, z) , 则有 $x \in [1, m], y \in [1, n], z \in [1, k]$, 且 $x, y, z \in Z$, 例如 $(1, 2, 3)$ 为第 1 排第 2 列第 3 层的货位。

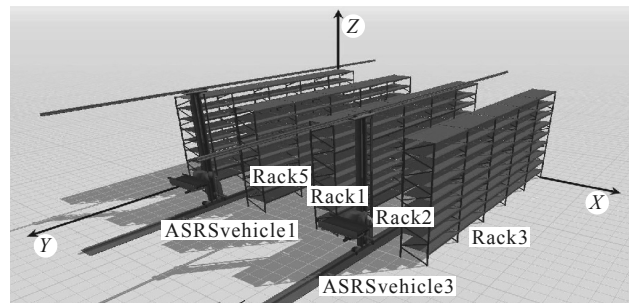


图 1 货位坐标

3) 假设每个货位上物资存储数为 1 箱。同时, 为了方便计算, 忽略堆垛机工作过程中机械臂伸缩耗时, 且堆垛机仅在货架的单侧进行作业。

4) 假设质量为 G_1, G_2, \dots, G_n 的物资被分别存放在高度为 H_1, H_2, \dots, H_n 的货位上。

5) 假设共有 i 种物资需要保障部队使用, 已知其周转率为 α_i , 质量为 M_i , 物资对应货位坐标为 (x_i, y_i, z_i) 。货架的参数名称及符号表示如表 1 所示。

表 1 货架的相关参数符号

参数名称	符号	参数名称	符号
货架排数	m	2 排货架间的距离 (巷道宽度)	S_0
货架列数	n	堆垛机的水平移动速度	V_h
货架层数	k	堆垛机的垂直移动速度	V_v
货格的长、宽、高	L_0		

2 优化模型目标函数

2.1 货位分配原则

考虑到军用物资保障需要, 分配货位过程中要遵循 2 条重要原则^[14]: 1) 把周转率较高的军用物资存储在靠近出货口的位置, 以降低总体作业时间, 从而提高物资保障效率; 2) 为了保证货架整体结构稳定, 要尽量降低货架重心, 在水平和竖直维度上确保货架结构稳定, 避免因物资掉落损坏影响物资保障, 所以将质量大的物资存放在低层, 同时均匀摆放水平方向上的物资。

根据这 2 条原则, 将优化目标问题定为提高物资收发效率和提高货架稳定性^[14]。

2.2 出库时间目标函数

当堆垛机运行速度一定时, 要通过缩短所有物

资移动行程之和来减少出库时间^[15]。只分析一台堆垛机工作的情况来简化计算。如图 2 所示，3 维坐标系中带箭头的粗实线，堆垛机从原点(0,0,0)出发后，沿 x 轴到达指定位置所在排后，进入巷道内，沿 y 轴前进到达指定位置所在列，最后沿 z 轴竖直向上运行，到达指定位置 (x,y,z) 。

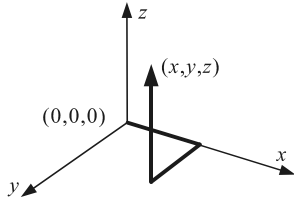


图 2 堆垛机运行路线

堆垛机先沿 x 轴方向运行，到达指定位置时要经过的货格数为 $(x-1)$ ，等到堆垛机运行到 2 排货架的中心位置后，再沿 y 轴方向前进，所以经过的巷道数为 $(x-1-1/2)$ 。进入巷道之后，堆垛机首先进到指定位置对应列的底层货格中心位置，然后竖直向上运行，所以堆垛机在前往指定位置所在列时要经过的货格数为 $(y-1/2)$ 。最后堆垛机沿 z 轴竖直向上运行，该过程要经过的货格数为 $(z-1)$ 。用 V_h 和 V_v 分别表示堆垛机在水平面和竖直方向上的运行速度，则货位坐标为 (x,y,z) 的物资从货位到出口的移动时间为

$$t_i = ((x-1)L_0 + (x-3/2)S_0)/V_h + (y-1/2)L_0/V_h + (z-1)L_0/V_h \quad (1)$$

货架上所有物资到出口所用的总时间 f_i 还与物资的周转率 p_i 有关，即

$$f_i = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k t_i p_i \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \min f_i(x,y,z) &= \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k (((x-1)L_0 + (x-3/2)S_0)/V_h + (y-1/2)L_0/V_h + (z-1)L_0/V_h) p_i \\ \min f_G(x,y,z) &= c_1 \left| \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k (G_i(z-1/2)L_0)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k G_i} \right| + c_2 \left| \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k (G_i(y-1/2)L_0)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k G_i} - \frac{1}{2} n L_0 \right| \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

3 算法设计与实现

瞭望算法是一直处于监督机制下的，所以能够在瞭望管理机制的协调下，采用合适的瞭望点产生策略，利用局部寻优算法求解问题，进而能在较短时间内求解全局优化问题。不同于遗传算法，瞭望算法为了加快收敛速度，引入了 3 层次记忆机制，即基点记忆、瞭望点记忆、局部寻优记忆。针对本

因此，物资收发效率优化目标函数可表示为

$$\min f_t(x,y,z) = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k \left(((x-1)L_0 + (x-3/2)S_0)/V_h + (y-1/2)L_0/V_h + (z-1)L_0/V_h \right) P_i \quad (3)$$

2.3 货架稳定性目标函数

货架结构是否稳定由货架的垂直和水平重心决定，货架的垂直重心位置可表示为

$$G_z = (G_1 H_1 + G_2 H_2 + \dots + G_n H_n) / (G_1 + G_2 + \dots + G_n) \quad (4)$$

方形货格的重心位于其几何中心，同一层的所有物资水平重心是否靠近货格水平方向的中心位置，决定了货架在水平方向是否稳定；因此，货架水平重心位置可表示为

$$G_y = \left| \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k (G_i(y-1/2)L_0)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k G_i} - \frac{1}{2} n L_0 \right| \quad (5)$$

为了确保货架整体稳定，要使 G_z 和 G_y 加权之和最小，假设权重值 c_1 和 c_2 取 0.5。

综上，货架整体稳定性优化目标函数可表示为

$$\min f_G(x,y,z) = c_1 \left| \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k (G_i(z-1/2)L_0)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k G_i} \right| + c_2 \left| \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k (G_i(y-1/2)L_0)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \sum_{z=1}^k G_i} - \frac{1}{2} n L_0 \right| \quad (6)$$

综上，建立货位优化的多目标优化模型为

模型采用的记忆机制为基点记忆和瞭望点记忆。

本模型中的全局优化问题如下：

$$\left. \begin{aligned} \min f(x,y,z), (x,y,z) \in Z \\ R = \{(x,y,z) | x \in [1,m], y \in [1,n], z \in [1,k]\} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中集合 R 为全局优化问题的约束条件。

瞭望算法求解该问题的核心部分有 3 个：

1) 外层循环：瞭望算法的进度把控和基点选择

方法都依赖于外层循环。求解全局优化问题时首先输入 $f(x,y,z)$ 及约束条件 R ，并且将允许的最大基点数设为 2。对于基点的瞭望点的最大阶数，应该取得足够大，使得对于该基点，在 R 中不存在(或者可以忽略)基于其大于最大阶数的瞭望点，设置最大阶数为 $m、n、k$ 中的最大值。当基点个数超过允许的最大基点个数 2 时，停止运行算法，得出目标函数 $f(x,y,z)$ 的解。

2) 第 2 层循环: 首先确定本模型采用方体瞭望点产生策略，其中基本瞭望步长为 1。再通过调用方体瞭望点产生算法，产生基于基点的各阶瞭望点。循环的初始解取物资的初始坐标。采用局部牛顿法对本模型进行局部寻优，寻优精度为 1。其中方体瞭望点产生策略如图 3，是在以 X^B 为中心的边长为 $2r_\beta$ 的 n 维立方体表面和可行域 R 的交集中选取 X^B 的第 $\beta(\beta=0, 1, 2, \dots)$ 阶瞭望点，其中 r_β 是根据 $\beta、X^B$ 确定的， $\beta(>0)$ 为预先设定的一个常数(基本瞭望步长)，且 $r_0=0 < r_1 < r_2 < \dots$ ；当 $\beta=0$ 时， X^B 是唯一的瞭望点。

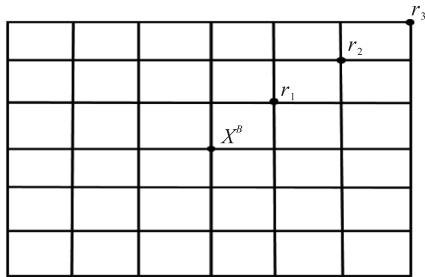


图 3 方体瞭望点

3) 内层循环: 选择合适的瞭望点用局部牛顿法进行局部寻优，并重置允许瞭望标志的值。

该模型中 2 个目标函数之间存在着相互冲突的关系，这正是多目标优化问题的本质，实际上并不存在能够同时满足 2 个目标函数值均为最优的解，只能选取其中一种效果较好的折中解，这就是 Pareto 最优解，所以最终的最优货位坐标为分别求得的 2 个目标函数最优解的 Pareto 最优解。算法流程如图 4 所示。

4 算例分析

以某一军用自动化立体仓库为例，选取其中某一存储区域的货架作为样本进行优化，假设这一存储区域有 3 排货架用于存储物资，每排货架均为 5 列、6 层货格的结构，货位优化参数设定值如表 2 所示。同时，假设这一区域共存储 10 种品名的军用物资，并且这 10 种军用物资的初始货位随机分配情

况如表 3 所示。

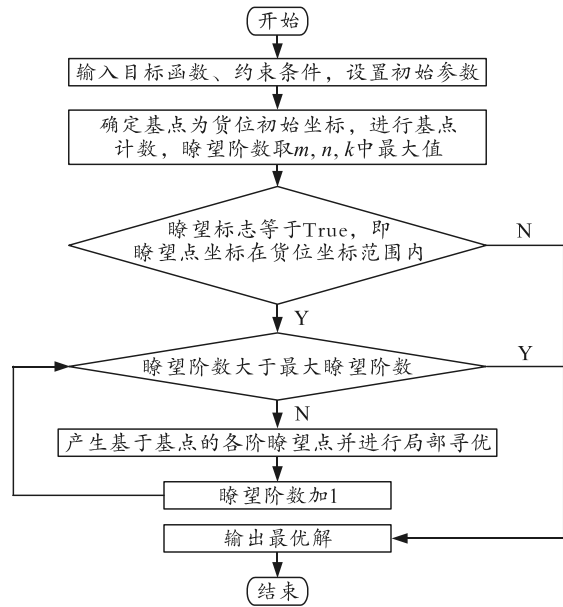


图 4 算法流程

表 2 货位优化参数设定值

参数名称	设定值	参数名称	设定值
货架排数	3	2 排货架间的距离(巷道宽度)/m	1.5
货架列数	5	堆垛机的水平移动速度/(m/s)	2
货架层数	6	堆垛机的垂直移动速度/(m/s)	1
货格的长、宽、高/m	1.5		

表 3 军用物资初始货位分配情况

物资编号	周转率	质量/kg	货位坐标
1	0.20	18	(1, 2, 1)
2	0.60	60	(2, 4, 4)
3	0.90	10	(2, 4, 2)
4	0.25	21	(1, 5, 5)
5	0.75	15	(3, 1, 4)
6	0.30	50	(2, 3, 6)
7	0.80	21	(3, 2, 2)
8	0.10	10	(1, 5, 1)
9	0.20	15	(2, 3, 1)
10	0.40	12	(3, 1, 3)

使用 C 语言运行瞭望算法，将表 3 中的数据写入文件中，编写算例的瞭望算法程序，然后开始运行程序，最后得到优化后的货位坐标并进行分析。优化后的货位坐标如表 4 所示，使用 Matlab 作图可以得到模型函数值随迭代次数变化如图 5 所示。

表 4 军用物资优化货位分配情况

物资编号	周转率	质量/kg	货位坐标
1	0.20	18	(1, 4, 1)
2	0.60	60	(1, 2, 2)
3	0.90	10	(1, 1, 1)
4	0.25	21	(3, 1, 1)
5	0.75	15	(2, 1, 1)
6	0.30	50	(2, 1, 2)
7	0.80	21	(1, 2, 1)
8	0.10	10	(2, 2, 1)
9	0.20	15	(1, 3, 1)
10	0.40	12	(1, 1, 2)

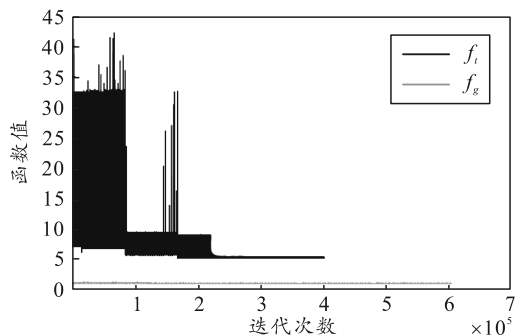


图 5 目标函数值折线

由上图可以看出：程序在运行到约 16 万次之前时，物资收发效率优化目标函数值 f_i 在 7~43 之间浮动，最高处于 43 左右，货架稳定性目标函数值 f_g 在 1.20~1.30 之间波动；程序在运行到 16 万次之后时， f_i 值基本在 10 以内浮动，逐渐趋于稳定并最终稳定在 5 左右， f_g 值也逐渐趋于稳定在 1.14。

将程序运行得到的数据进行归纳整理得到表 5，其中列举了 2 个目标函数值在优化前与优化后的结果对比，经过计算得出物资收发效率优化目标函数 f_i 值下降了 78.9%，说明经过优化后物资收发效率有了明显的提高。同时，货架稳定性目标函数 f_g 值下降了 12.3%，说明货架稳定性经过优化后也有所提高。两目标函数之和下降了 75.8%，说明该模型经过瞭望算法优化后，取得的优化效果很好。

表 5 优化前后目标函数值比较

对比项目	优化前 数值	优化后 数值	降低 幅度	降低比 率/%
效率优化目标函数	27.0	5.70	21.30	78.9
货架稳定性优化目标函数	1.3	1.14	0.16	12.3
两函数值之和	28.3	6.84	21.46	75.8

5 结束语

笔者通过运用瞭望算法对军用物资货位分配进行优化，在物资出库效率优化和货架稳定性优化 2 方面取得了很好的效果，验证了一种有效解决方案来求解该类多目标组合优化问题，同样也可以参考该方案来解决其他类似问题。依据设定好的货位分配原则，明确货位优化的目标，进行数学建模，选择合适工具对模型求解，再根据实际需要调整得到的优化结果，将优化结果应用于储存规划，大大提高了物资收发的工作效率，为以后的货位优化研究提供了新的思路，在未来进行进一步研究后该优化方法或将得到广泛应用。

参考文献：

[1] 田源. 仓储管理[M]. 北京：机械工业出版社，2015：

5-7.

- [2] 易观智库. 中国沉浸式虚拟现实设备专题研究报告 2015 (简版) [EB/OL]. <http://www.analysys.cn/report/detail/11529.html>, 2015-07-22.
- [3] POPOVI C D, VIDOVI C M, BJELI C N. Application of Genetic Algorithms for Sequencing of AS/RS with a Triple-shuttle Module in Class-based Storage[J]. Flexible Services and Manufacturing Journal, 2014, 26(3): 432-453.
- [4] YANG W, LIU J, YUE T, et al. Intehrated optimization of location assigment and job scheduling in multi-carrier automated storage and retrieval system[J]. Computer Intergrated Manufacturing Systems, 2019, 25(1): 247-255.
- [5] KARASEK J, BURGET R, UHER V, et al. Optimization of Logistics Distribution Centers Process Planning and Scheduling[C]//Proceedings of 2013 Sixth International Conference on Contemporary Computing, 2013: 343-348.
- [6] POHL L M, MELLER R D, GUE K R. An analysis of dualcommand operations in common warehouse designs[J]. Transportations Research Part E Logistics & Transportation Review, 2009, 45(3): 367-379.
- [7] YANG P, MIAO L X, XUE Z J, et al. Variable neighborhood search heuristis for storage location assignment and storage/retrieval scheduling under shared storage in multi-shuttle automated storage/retrieval systems[J]. Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review, 2015, 79: 164-177.
- [8] LU C, RE L, DIANE R. A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system[J]. International Journal of Production Economics, 2011, 129(1): 147-156.
- [9] HACHEMI K, SARI Z, GHOU A N. A step-by-step dual cycle sequencing method for unitload automated storage and retrieval systems[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 63(4): 980-984.
- [10] 曾强, 张泽斌, 杨龙飞. 有货位载重约束的自动化立体仓库货位分配多目标优化方法[J]. 机械设计与制造, 2014(12): 65-69.
- [11] 李敬波, 张薇薇. 基于遗传算法的自动化立体仓库货位优化模型研究[J]. 管理现代化, 2016, 36(6): 99-101.
- [12] 蒋腾旭, 谢枫. 遗传算法中防止早熟收敛的几种措施[J]. 计算机与现代化, 2006(12): 54-56.
- [13] 蔡延光, 钱积新, 孙优贤. 全局优化的了望算法[J]. 广东工业大学学报, 2006, 23(2): 1-11.
- [14] 王转. 配送与配送中心[M]. 北京：电子工业出版社，2015: 128-132.
- [15] ERIE S, OZTURK, NURSEL. Storage location assignment and order picking optimization in automotive industry[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, 60(5): 787-797.