

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)03-0009-07

基于灰狼算法的自动化立体仓库货位分配优化方法

高言龙, 詹长书

(东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150006)

摘要: 针对自动化立体仓库货位分配优化问题, 首先构建了一个包含入库效率、货架稳定性和货物相关性 3 个维度的多目标优化数学模型。该模型通过权重系数法将多目标转化为单目标函数, 并采用德尔菲法确定了各目标权重。在求解方法上, 提出了一种灰狼优化算法, 该算法模拟灰狼群体的社会行为和狩猎策略, 通过整数编码方式将货位坐标映射为个体位置, 以目标函数值作为适应度评价标准, 通过迭代更新机制搜索最优解。为验证方法的有效性, 研究基于 MATLAB 平台进行了仿真实验, 3 个子目标函数值分别降低了 49.72%、53.89% 和 67.37%, 加权总目标函数值降低率达 52.35%。通过三维可视化仿真图可以直观观察到, 优化后高周转率货物更靠近出入口, 重货下沉、轻货上架, 同类货物聚集存储。所提出的算法能够有效解决多目标货位优化问题, 在提升出入库效率、增强货架稳定性和优化货物分类存储方面具有显著效果, 为自动化立体仓库的智能管理提供了可行的解决方案。

关键词: 仓储管理; 自动化立体仓库; 货位分配优化; 多目标优化; 灰狼算法; 三维仿真

中图分类号: TP18; TN0

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)03-0009-07

Optimization method of location allocation in automated stereoscopic warehouse based on grey wolf algorithm

GAO Yanlong, ZHAN Changshu

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150006, Heilongjiang, China)

Abstract: This study addresses the slot allocation optimization problem in automatic stereoscopic warehouses, a multi-objective optimization mathematical model incorporating three dimensions—inbound efficiency, shelf stability, and goods relevance—is first constructed. The model transforms the multi-objective problem into a single-objective function using the weight coefficient method, with target weights determined via the Delphi method. For the solution approach, a grey wolf optimization algorithm is proposed. This algorithm mimics the social behavior and hunting strategies of grey wolf packs, mapping storage location coordinates to individual positions through integer encoding, using the objective function value as the fitness evaluation criterion, and searching for the optimal solution via an iterative update mechanism. To validate the effectiveness of the method, simulation experiments are conducted based on the MATLAB platform, with the three sub-objective function values reduced by 49.72%, 53.89%, and 67.37%, respectively, and the weighted total objective function value reduced by 52.35%. Through three-dimensional visualization simulation diagrams, it can be intuitively observed that after optimization, high-turnover goods are positioned closer to the entrance/exit, heavy goods are placed lower while lighter goods are stored higher, and similar goods are clustered together. The proposed algorithm can effectively solve the multi-objective slot optimization problem, achieving significant improvements in enhancing inbound/outbound efficiency, strengthening shelf stability, and optimizing the classified storage of goods, thereby providing a feasible solution for the intelligent management of automated stereoscopic warehouses.

Keywords: warehouse management; automatic storage and retrieval systems; slot allocation optimization; multi-objective optimization; grey wolf algorithm; three-dimensional simulation

近年来,随着物流行业的迅速发展,仓储管理已成为企业竞争的关键之一。在这个激烈的竞争环境下,如何最大化利用仓库空间并提高管理效率成为企业亟需解决的难题。特别是随着自动化技术的不断成熟,自动化立体仓库作为高效、智能的仓储解决方案备受关注。这种仓库不仅能够自动完成货物存取,还能通过优化货位布局和调

度,提升存取效率和准确性,为企业带来巨大竞争优势。因此,研究自动化立体仓库的货位分配优化问题不仅在理论上具有重要意义,也具有极大的实际应用价值。

自动化立体仓库货位分配优化是国内外研究的热点,相关学者对货位分配优化进行了单目标优化和多目标优化方面的研究。Wang(2014)等将货架最大承载量、最高

收稿日期:2024-07-09;录用日期:2024-08-19

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2572018BG02)

作者简介:高言龙(2002—),男,硕士研究生,研究方向:物流系统规划与设计。

通信作者:詹长书(1970—),男,博士,副教授,研究方向:物流仓储设计与优化。

引用本文:高言龙,詹长书.基于灰狼算法的自动化立体仓库货位分配优化方法[J].自动化技术与应用,2026,45(3):9-14,51.(GAO Yanlong, ZHAN Changshu. Optimization method of location allocation in automated stereoscopic warehouse based on grey wolf algorithm[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(3):9-14,51.)

限度和货物重心最低设定为货架稳定性优化指标,建立了以货架垂直稳定为优化目标的模型^[1],杨玮等以货架稳定性原则建立优化模型,按照货架重心较低的目标进行上轻下重式摆放,有效解决了货位分配优化问题中的货架稳定性问题^[2]。Wang等、Yang等基于同类货品的相邻存储、货架稳定性等原理,对其进行了数学建模,通过对该模型的求解与检验,证实了该模型的建立是有效的^[3-4]。此外,何李等研究了基于出库频次与货物重量的仓库综合优化问题,构建了基于出库频次与货物重量的多目标优化模型。经过求解与检验,证实所提出的优化方法可以有效地缩短具体操作的工作时间^[5]。智能算法求解货位分配优化目标模型是目前货位分配优化研究求解的主流方法,在基础算法上进行改进也是大多学者研究的重点。李宏峰等将遗传算法应用于果蔬自动仓储系统中,对其进行优化,使其能够有效地进行货位分配,使仓库的运作效率得到明显提升^[6]。刘增辉利用改进的模拟退火算法解决了料箱立体库货位分配优化的多目标函数优化模型,并验证了模型与算法的有效性^[7]。郭娟等提出了基于粒子群算法的立体仓库货位分配优化研究,取得了良好的优化效果。除此之外,还有许多其他优化算法被应用在货位分配优化问题上^[8]。范贤光等提出一种基于多巷道双向出入库策略的货位优化方法。通过自适应改进人工鱼群算法,减少了对初始参数的依赖,提升了收敛性能。实验表明,该方法能有效提高立体仓库出入库效率,为数字化仓储建设提供了理论支持^[9]。董海等构建了以堆垛机运行时间和出入库任务为目标的货位分配模型,并提出了一种非均匀消除-扩散概率的情绪化细菌觅食算法进行模型求解^[10]。刘有为等针对军用立体仓库的特殊需求,提出基于瞭望算法的货位优化方案。该方法综合考虑军用物资的品种、效率、相容性等因素,构建了以出库效率和货架稳定性为目标的优化模型。算例验证表明,该算法在军事仓储管理中具有良好应用前景^[11]。吴伟开等通过引入非线性动态移动参数,提出了一种改进的海鸥算法,该算法有效地提升了立体仓库的利用率^[12]。

以上研究对自动化立体仓库的运作效率和稳定性具有一定的优化效果,大多采用遗传、模拟退火等基本算法进行模型求解。本文旨在探讨立体仓库货位分配优化问题,从入库效率、货架稳定性、货物相关性三方面入手考虑,构建多目标货位分配优化模型,并利用灰狼算法对自动化立体仓库货位分配优化问题进行研究。通过对优化前后的货位进行比较,以及改变数学模型权重后的目标函数数值进行比较,验证了本文数学模型的合理性和灰狼算法的有效性。

1 自动化立体仓库

自动化立体仓库^[13-14]是一种新的仓储存储方式,主要由货架、自动运进(出)及操作控制系统、入(出)库工作台、巷道堆垛机^[15]组成,内部设有标准尺寸的货位空间,

每条巷道都有一台堆垛机,可在纵轴和垂直方向同时运动,并且每台堆垛机的初始位置都可以作为出入口,分别对左右两排货道的货物进行入库和出库。自动化立体仓库具有多个显著特点,首先,它节约了空间,通过高层货架和立体存储方式,不仅增大了存储空间,还降低了成本。其次,通过自动化和机械化操作,减少了人为误差,提高了工作效率。再者,其搬运设计采用托盘式和货箱式,有效增强了货物的安全性,降低了破损率。此外,货位集中管理使得库存数量的了解和库存进出变得更为方便,在多个领域都有广泛应用。仓库模型图如图1所示。为了简化问题,作出下述假设。1) 单个储位只能存放一个货品,并且每个货品都适应储位的大小,不允许混放和多放; 2) 忽略堆垛机存取货物以及启动和制动的的时间; 3) 各类货物的出入库频率短时间内不会变化太大; 4) 巷道堆垛机在水平方向和垂直方向上的速度都是匀速的。

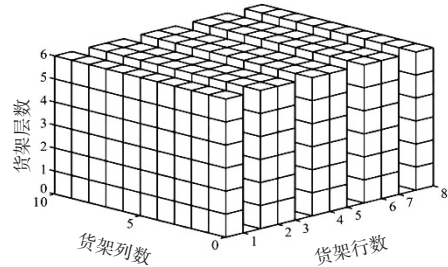


图1 自动化立体仓库布局图

Fig. 1 Automated warehouse layout diagram

2 货位分配优化模型的建立

2.1 模型参数定义

在储位优化模型建立的过程中,变量 x_{ij} , y_{ij} 和 z_{ij} 分别表示第 i 组第 j 个货品的 x 轴、 y 轴和 z 轴坐标,其他相关参数如表1所示。

表1 货位分配优化模型的参数定义

Tab. 1 Parameter definition of the slot allocation optimization model

符号	具体描述
L	正方形储位的边长
n	货品组别的数量
Q	货品中心坐标
q_i	货品的类内平均坐标
k_i	第 i 类包含的货品数量
P_{ij}	第 i 组第 j 个货品周转率
M_{ij}	第 i 组第 j 个货品质量
d	所有货品到对应类内平均坐标距离的总和
D	所有类内平均坐标到货品中心坐标距离总和
t_{ij}	第 i 类第 j 个货品出或入库堆垛机运行时间
G	货品中心坐标到出入口的距离
V_x	沿 X 方向堆垛机的运行速度
V_y	沿 Y 方向堆垛机的运行速度
V_z	沿 Z 方向堆垛机的运行速度

2.2 数学模型

2.2.1 货物入库效率分析

合理的储位分配可以降低搬运货物的路径和时间,减少搬运距离,从而提高工作效率,减少出入库过程中的拥堵和等待时间,故储位分配的关键是提高出入库效率,减少货品的出入库时间,目标函数 F_1 可实现将出入库频率高的货物存放在距离出入口近的地方。具体数学模型为

$$F_1 = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} t_{ij} \cdot p_{ij}$$

$$t_{ij} = 2 \cdot \max\left(\frac{L \cdot y_{ij}}{V_y}, \frac{L \cdot z_{ij}}{V_z}\right) + \frac{2L}{V_x} \quad (1)$$

堆垛机在纵轴方向和垂直方向上同时进行横向移动和升降操作,故选取纵轴方向和垂直方向运行时间的最大值即可。

2.2.2 货物货架稳定性分析

任何一种立体货架都有其特定的承重能力限制。因此,在货物存放时,保持货架稳定至关重要而货架的稳定性主要取决于其重心,故需要降低货架的整体重心,确保货架的稳定。 F_2 遵循了上轻下重的原则,表达式为

$$F_2 = \min \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} m_{ij} \cdot z_{ij} \cdot L}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} m_{ij}} \quad (2)$$

2.2.3 货物相关性

在储位分配中,同类型的货物尽可能地存放在一起或者相近的货位,从而提高货物的存取效率。建立的具体数学模型为

$$F_3 = \min \frac{d + G}{D} \quad (3)$$

其中,所有货品到对应类内平均坐标距离的总和为

$$d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} \sqrt{(x_{ij} - q_i(x))^2 + (y_{ij} - q_i(y))^2 + (z_{ij} - q_i(z))^2}$$

货品中心坐标到出入口的距离为

$$G = \sqrt{Q^2(y) + Q^2(z)}$$

所有类内平均坐标到货品中心坐标距离总和为

$$D = \sum_{i=1}^n \sqrt{(q_i(x) - Q(x))^2 + (q_i(y) - Q(y))^2 + (q_i(z) - Q(z))^2}$$

其中,货品的类内平均坐标为

$$q_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k_i} [x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}]$$

货品中心坐标,即所有类内平均坐标的均值为

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{k_i} q_i$$

2.2.4 约束条件

约束条件式(4)表示第 i 类第 j 个货品与第 t 类第 s 个货品分配的货位不相同;约束条件式(5)表示货位坐标的取值范围,并且决策变量 x_{ij}, y_{ij} 和 z_{ij} 均为整数。

$$\text{s. t. } \begin{cases} |x_{ij} - x_{ts}| + |y_{ij} - y_{ts}| + |z_{ij} - z_{ts}| > 0 \\ i = 1, 2, \dots, n \\ t = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, k_i \\ s = 1, 2, \dots, k_t \\ ((i, j) \neq (t, s)) \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} 0 < x_{ij} \leq 8 \\ 0 < y_{ij} \leq 10 \\ 0 < z_{ij} \leq 6 \\ x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} \in N \end{cases} \quad (5)$$

2.2.5 货位分配优化数学模型

货位分配优化实际上是一个多目标组合优化的问题。目前常用的方法是采用加权的方式处理多目标模型,将多个目标函数转化成单一目标模型后再进行求解。模型的表达式为

$$F = \omega_1 F_1 + \omega_2 F_2 + \omega_3 F_3 \quad (6)$$

其中, $0 \leq \omega_1, \omega_2, \omega_3 \leq 1$ 且 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ 。权重值的确定有 CRITIC 权重法^[16]、德尔菲法^[17]、熵值法^[18]、主成分分析法^[19]、层次分析法^[20-21]等。德尔菲法通过收集多个专家的意见和观点,能够综合考虑不同专业领域和经验背景的意见,使得决策更加全面和准确。本文采用德尔菲法向专家组成员征求意见,最终确定各目标函数 F_1, F_2, F_3 的权重值分别为 $\omega_1 = 0.4, \omega_2 = 0.3, \omega_3 = 0.3$ 。

3 货位分配优化算法设计

3.1 灰狼算法设计

灰狼优化算法(grey wolf optimizer, GWO)是一种受灰狼社会行为启发的优化算法,这个算法模拟了灰狼群体的社会结构和行为,其中每只灰狼代表了解空间中的一个潜在解。灰狼算法具有简单、有效、易于实现等优点,在解决各种优化问题时表现良好。算法的核心在于模拟灰狼之间的社会行为,包括觅食、追逐和领地保卫等。这些行为对应了算法中的搜索、收敛和多样性维持。

本文实质上是对数学模型 $F(x, y, z)$ 的最小值问题进行求解。首先,将原始货位进行编码,形成初始的灰狼种群。然后,通过包围、捕猎和搜索等循环操作进行迭代运算,最终得到模型的最优解以及相对应的货位坐标。

1) 包围猎物。包围猎物是灰狼算法中的一种搜索策略,通过模拟灰狼围绕猎物的行为来寻找最优解,从而提高算法的搜索效率和性能。对猎物构成包围圈的数学模型为

$$D = |C \cdot X_p(t) - X(t)| \quad (7)$$

$$X(t+1) = X_p(t) - A \cdot D \quad (8)$$

$$A = a(2r_1 - 1) \quad (9)$$

$$C = 2r_2 \quad (10)$$

$$a = 2\left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (11)$$

其中, t 表示当前的迭代次数, D 表示狼群中的个体与猎物

之间的距离, A 和 C 均为系数向量, a 是影响 A 变化的收敛因子, $X_p(t)$ 代表目标位置, $X(t)$ 是个体当前位置, r_1 和 r_2 是 $[0, 1]$ 中的随机数。

2) 捕猎行为。在狩猎的过程中, 狼群会通过领头的狼来感知猎物的位置, 并引导着狼群慢慢地靠近猎物。随着猎物的变化, 群体整体也会随之变化, 从而调整自身的位置。

$$D_\alpha = |C_1 X_\alpha(t) - X(t)| \quad (12)$$

$$D_\beta = |C_2 X_\beta(t) - X(t)| \quad (13)$$

$$D_\gamma = |C_3 X_\gamma(t) - X(t)| \quad (14)$$

式中, X_α 、 X_β 和 X_γ 分别表示对应的狼的当前位置, C_1 、 C_2 和 C_3 分别代表相应阶级狼的随机扰动。

$$X_1 = X_\alpha - A_1 D_\alpha \quad (15)$$

$$X_2 = X_\beta - A_2 D_\beta \quad (16)$$

$$X_3 = X_\gamma - A_3 D_\gamma \quad (17)$$

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (18)$$

式(15)代表 α 狼对 ω 狼指导后更新的位置, 式(16)代表 β 狼对 ω 狼指导后更新的位置, 式(17)代表 γ 狼对 ω 狼指导后更新的位置, 式(18)代表的是子代灰狼在搜索空间中的位置更新机制, 通过灰狼算法选举产生了领导阶级的 α 狼(最优解)、 β 狼(次优解)和 γ 狼(第三优解), 更好地评估猎物的位置(即问题的潜在最优解), 为整个狼群提供方向。再召唤等级较低的 ω 狼, 带领 ω 狼逐渐接近猎物, 其他狼就会根据狼群首领的位置来改变自己的位置。

3) 搜索猎物。在灰狼算法中, 灰狼的攻击和搜索取决于向量 A , 在算法的开始阶段, a 的值较大, 使得 A 的取值范围较广, 灰狼可以在较大的搜索空间内进行全局搜索, 以发现潜在的优质解。随着迭代次数的增加, a 的值逐渐减小, A 的取值范围也逐渐缩小, 灰狼逐渐在较小的范围内进行局部搜索, 以精细调整解的质量。通过合理的调整 A , 灰狼算法能够在全局搜索和局部搜索之间取得平衡, 以找到问题的最优解或满意解。向量 C 引入了不规则的距离变化, 有助于避免算法陷入局部最优, 从而寻找全局的最优解。

3.2 算法流程

算法流程如图2所示, 灰狼算法的算法流程描述如下:

1) 编码方式。货物在仓库中用所在的排、列、层来表示其位置并且都为整数数值, 因此采用整数编码方式是非常直观且有效的, 整数编码既能够直接反映货物在仓库中的实际位置, 又不需要复杂的编码和解码过程, 提高了算法的效率。具体到灰狼优化算法中, 可以将每个灰狼个体的位置表示为三个整数的组合, 例如某货物在3排6列4层, 则它的编码为(3, 6, 4), 在算法的搜索过程中, 通过不断更新这些整数值来模拟灰狼群体的狩猎行为, 从而找到最优的货物存放位置。

2) 种群初始化。首先确定灰狼种群的数量 M , 即初始化解的个数, 然后定义搜索空间, 接下来随机初始化每

只灰狼的位置, 灰狼种群将根据种群中的 α 狼、 β 狼和 γ 狼进行包围、捕猎、搜索, 再形成下一代灰狼种群, 不断进行种群的迭代, 直到达到迭代条件终止。本文灰狼种群设置为100。

3) 适应度函数的建立。根据本文建立的目标函数来计算灰狼种群中每个灰狼的适应度值, 再将所有灰狼个体适应度值进行比较, 选出适应度值最高的三个个体作为领导阶级的 α 狼、 β 狼和 γ 狼。

4) 更新位置和参数。更新 ω 狼的参数 a 和位置 A , C ; a 的初始值设为2, 并随着算法的迭代不断递减。 A 和 C 则根据 a 的值不断地更新变化。

5) 终止条件。设置迭代的最大次数为100, 最后一代灰狼种群中适应度最小的解就是算法的最优解。

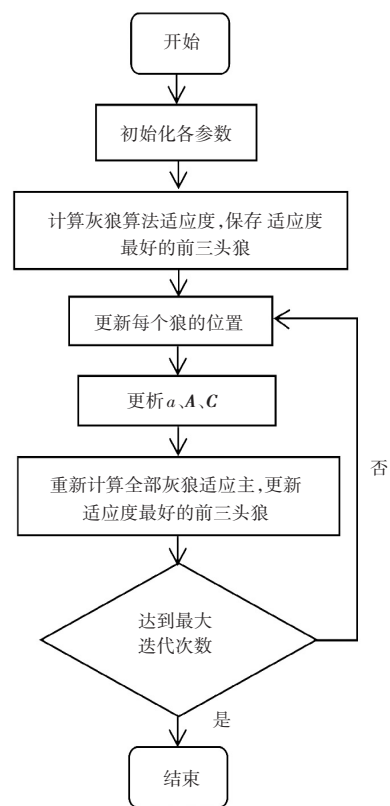


图2 灰狼算法流程图

Fig. 2 Flowchart of the grey wolf optimization algorithm

4 模型求解与仿真

4.1 基本参数设定

对本文的自动化立体仓库模型以及货物的储存信息为例进行仿真分析, 相关数据如下。

1) 自动化立体仓库基本参数如表2所示。

2) 货物储存信息。本文随机挑选了30个储位的货物进行研究, 相关货物储存信息以及相关属性如表3所示。货位初始储位图如3所示, 由图3可知, 未进行货位分配优化时, 自动化立体仓库中货物的存储位置杂乱无章, 分类存储也不够明确, 仓库的存取效率也比低下。

表 2 自动化立体仓库基本参数

Tab. 2 Basic parameters of the automated storage and retrieval system

参数	取值
x 轴方向速度	1.5 m/s
y 轴方向速度	1.5 m/s
z 轴方向速度	0.66 m/s
储位长度	1 m
储位宽度	1 m
储位高度	1 m

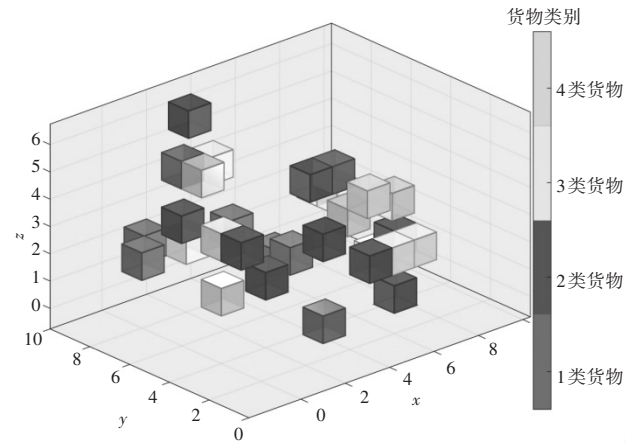


图 3 原始存储货位三维图

Fig. 3 Three-dimensional diagram of original storage locations

表 3 货品相关属性以及初始储位安排

Tab. 3 Product-related attributes and initial storage locations

编号	质量/kg	周转率/%	所属组别	货物坐标 (x,y,z)
1	100	0.152	4	(7,4,2)
2	80	0.225	2	(7,3,1)
3	75	0.287	3	(5,10,4)
4	100	0.152	4	(6,2,5)
5	75	0.287	3	(6,2,3)
6	80	0.225	2	(7,3,3)
7	75	0.287	3	(7,2,3)
8	75	0.287	3	(4,1,6)
9	100	0.152	4	(1,5,4)
10	50	0.336	1	(5,9,2)
11	80	0.225	2	(4,10,6)
12	50	0.336	1	(5,6,2)
13	80	0.225	2	(5,2,3)
14	75	0.287	3	(8,7,3)
15	100	0.152	4	(8,8,3)
16	80	0.225	2	(1,7,4)
17	50	0.336	1	(6,5,5)
18	80	0.225	2	(1,4,4)
19	50	0.336	1	(2,10,2)
20	80	0.225	2	(3,5,2)
21	100	0.152	4	(1,6,6)
22	50	0.336	1	(2,1,2)
23	100	0.152	4	(4,2,5)
24	80	0.225	2	(5,5,5)
25	80	0.225	2	(2,1,5)
26	50	0.336	1	(1,9,2)
27	75	0.287	3	(3,9,2)
28	50	0.336	1	(6,8,1)
29	100	0.152	4	(1,5,2)
30	50	0.336	1	(1,7,6)

4.2 结果分析

为了验证模型的有效性,对优化前后的货位分配布局和目标函数值进行对比,优化后的货位分配情况如图 4 所示。优化算法迭代曲线图如图 5 所示。优化后货品相关属性以及初始储位安排如表 4 所示。

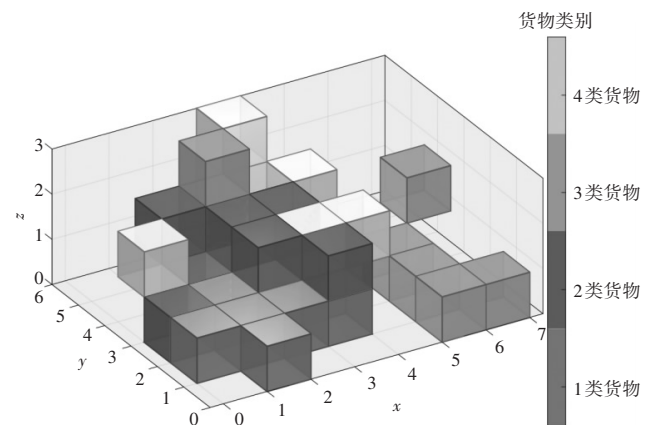


图 4 优化后存储货位三维图

Fig. 4 Three-dimensional diagram of optimized storage locations

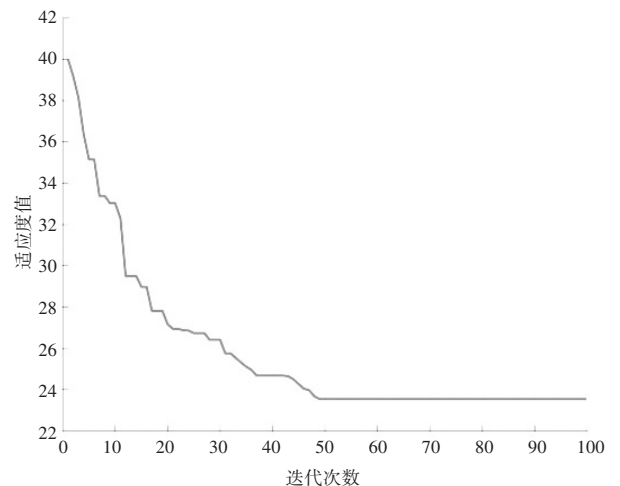


图 5 灰狼算法迭代曲线

Fig. 5 Iteration curve of the grey wolf optimization algorithm

表4 货品相关属性以及最终储位安排

Tab. 4 Product-related attributes and final storage locations

编号	质量/kg	周转率/%	所属组别	货物坐标 (x,y,z)
1	100	0.152	4	(5,3,2)
2	80	0.225	2	(4,4,1)
3	75	0.287	3	(6,3,1)
4	100	0.152	4	(1,4,2)
5	75	0.287	3	(3,5,3)
6	80	0.225	2	(2,5,2)
7	75	0.287	3	(7,1,1)
8	75	0.287	3	(6,2,1)
9	100	0.152	4	(3,5,2)
10	50	0.336	1	(2,1,1)
11	80	0.225	2	(4,2,2)
12	50	0.336	1	(4,2,1)
13	80	0.225	2	(2,4,1)
14	75	0.287	3	(6,1,1)
15	100	0.152	4	(5,5,2)
16	80	0.225	2	(4,4,2)
17	50	0.336	1	(3,2,1)
18	80	0.225	2	(3,4,2)
19	50	0.336	1	(3,4,1)
20	80	0.225	2	(1,3,1)
21	100	0.152	4	(4,3,2)
22	50	0.336	1	(2,3,1)
23	100	0.152	4	(4,6,2)
24	80	0.225	2	(3,3,2)
25	80	0.225	2	(3,5,1)
26	50	0.336	1	(2,2,1)
27	75	0.287	3	(7,4,2)
28	50	0.336	1	(3,3,1)
29	100	0.152	4	(4,6,3)
30	50	0.336	1	(1,2,1)

将优化前后3个目标函数值及加权结果进行对比,结果如表5所示。

表5 优化效果对比表

Tab. 5 Comparison table of optimization effects

目标函数	权重	优化前	优化后	降低值	降低比率/%
目标函数1	0.4	103.059	51.817	51.242	49.72
目标函数2	0.3	3.531	1.628	1.903	53.89
目标函数3	0.3	23.723	7.741	15.982	67.37
加权目标函数值	1.0	49.399	23.537	25.862	52.35

由表5可知,3个目标函数经过优化后都有不同程度的降低,3个目标函数的降低比率分别为49.72%,53.89%和67.37%,加权后的目标函数值降低比率达到52.35%,对子目标的权重进行调整,观察权重对于优化结果的影响程度。实际应用中部分立体仓库会更加追求存取效率上的优化提升,例如蔬果类乳品类企业,出于对比目的以便观察目标函数1的权重对于优化效果的影响,再次对子目标的权重进行调整,当3个目标函数的权重分别为0.6、0.2和0.2时,模型运行结果如表6所示。

由表6数据可以发现,再次调整权重后的运行结果有略微变化,模型的优化效果仍然比较显著,说明优化模型充分发挥作用,起到了较明显的优化效果。

表6 二次调整权重后的优化效果对比表

Tab. 6 Comparison table of optimization effects after secondary weight adjustment

目标函数	权重	优化前	优化后	降低值	降低比率/%
目标函数1	0.6	103.059	49.751	53.308	51.73
目标函数2	0.2	3.531	1.509	2.022	57.26
目标函数3	0.2	23.723	8.206	15.517	65.41
加权目标函数值	1.0	67.286	31.794	35.492	52.75

5 结论

本文通过对自动化立体仓库的货位分配进行优化,建立多目标优化的数学模型并以真实数据进行MATLAB仿真研究,优化结果表明该模型可以提高存取效率以及货架稳定性,除此以外还能有效解决同类货物就近存放的问题,以加权后的目标函数值为例,试用两种不同比例的权重分配模拟不同类型企业在存储策略上可能作出的微调,模型运行结果比较稳定,加权后的目标函数值平均降低比率为52.35%,说明此优化模型在常规权重设置的条件下能够达到50%左右的优化效果,对于不同存储策略自动化立体仓库都可以发挥出实际应用价值,利用灰狼算法对自动化立体仓库货位分配进行优化,具有明显的优化效果,同时也验证了灰狼算法的有效性。

参考文献

- [1] WANG XL, MAN X, JING X, et al. Optimization of goods locations assignment of automated warehouse on hierarchic genetic algorithm[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014(510):265-270.
- [2] 杨玮, 刘江, 岳婷, 等. 多载具自动化立体仓库货位分配与作业调度集成优化[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1):247-255.
- [3] WANG H, JI S, SU G. Research on autonomous vehicle storage and retrieval system cargo location optimization in E-commerce automated warehouse[C]//IOP Conference Series:Materials Science and Engineering. London:IOP, 2020:12-16.
- [4] YANG X, MENG J, LIU Y. Research on the allocation of cargo space in pharmaceutical logistics center based on demand forecasting [C]//8th International Conference on Automation and Logistics (ICAL). New York:ACM, 2021:1-7.
- [5] 何李, 陶翼飞, 罗俊斌, 等. 基于两阶段狼群算法的自动化立体仓库作业集成优化[J]. 中国机械工程, 2022, 33(21):2538-2546.
- [6] 李宏峰, 余晓晨, 许路. 果蔬类自动化立体仓库的货位分配优化研究[J]. 数字印刷, 2022(1):69-76.
- [7] 刘增辉. 基于遗传模拟退火算法的料箱立体库货位分配优化研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(17):23-24.
- [8] 郭娟, 钱吴永. 基于粒子群算法的立体仓库货位分配优化研究[J]. 物流科技, 2020, 43(4):156-160.
- [9] 范贤光, 吴俊涛, 尹艺玲, 等. 基于改进鱼群算法的双向式立体库货位优化研究[J]. 计算机仿真, 2023, 40(5):353-357, 373.
- [10] 董海, 齐新娜. 基于情绪化细菌觅食算法的货位分配优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(12):43-47, 51.
- [11] 刘有为, 陈童, 周景冉. 基于瞭望算法的军用立体仓库货位优化[J]. 兵工自动化, 2022, 41(1):81-85.
- [12] 吴伟开, 何雪明, 黄育鹏. 基于海鸥算法的库区货位分配及优化研究[J]. 轻工机械, 2023, 41(4):91-98.

(下转第51页)