

基于改进模拟退火遗传算法的自动化立体仓库货位优化

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2023.03.010

易 斌 敬舒瑶

湖南工业大学

商学院

湖南 株洲 412007

摘 要: 针对自动化立体仓库出入库作业量大、品类复杂等特点, 对仓库货位展开优化研究, 遵循周转率原则、货架稳定原则、关联原则等, 构建了提高出库效率、提高货架稳定性、增强货物相关性的货位优化模型。使用传统模拟退火算法、遗传算法与改进模拟退火遗传算法求解模型, 得出货位优化结果。对比分析结果证明了在解决货位优化问题时, 改进算法比传统基础算法更加有效, 能更好地改善自动化立体仓库空间使用率低、拣选效率低、货位摆放混乱的现状。

关键词: 自动化立体仓库; 货位优化; 改进算法

中图分类号: F252; TP18

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2023)03-0076-09

引文格式: 易 斌, 敬舒瑶. 基于改进模拟退火遗传算法的自动化立体仓库货位优化 [J]. 包装学报, 2023, 15(3): 76-84.

1 研究背景

仓储作为物流产业链中游的重要组成部分, 肩负着提升企业经济效益与服务效益的重担。仓库的主要任务是货物的拾取和放置。自动化立体仓库具有显著的自动化优势, 能提高物流运行效率, 节约生产用地, 是物流行业发展的方向之一。为了适应物流的快速发展, 自动化立体仓库的货位优化是提高企业作业效率的关键环节之一。

目前, 针对货位优化目标以及优化算法的研究较为全面。在货位优化目标方面, 多数学者将提高出库效率、提高货架稳定性、增强货物关联性 3 个目标两两结合进行研究; 也有部分学者将 3 个目标统统列入优化范围。

在双目标货位优化的研究中, 部分学者同时考虑出库效率和货架稳定性, 将货位优化处理为多目标数学模型进行求解^[1-3]。例如: 董海、张延华等^[4-6]根据货物相关性和周转率, 建模求解分析后认为, 考虑相关性和周转率可以获得更好的拣货效率。蔺一帅、王铁铮等^[7-8]为保证货架整体的稳定性, 确保仓库作业安全, 建立了关联货物就近存放以及货架整体的质量必须均匀分布的优化模型。

为保证货位优化研究更贴合实际, 越来越多的学者将提高出库效率、提高货架稳定性、增强货位关联性 3 个目标统统列入优化范围进行研究。例如: Wang H. X.、Yang X. 等^[9-10]遵循同类物品邻近存放、按周转率摆放货物和货架必须稳定的原则, 建立数学模型求解后, 验证了针对货架稳定性、提高出库效率

收稿日期: 2023-03-22

基金项目: 湖南省社会科学成果评审委员会课题 (XSP22YBC350)

作者简介: 易 斌 (1968-), 男, 重庆人, 湖南工业大学教授, 硕士生导师, 主要从事企业管理、物流管理研究,

E-mail: 156531602@qq.com

和货品相关性建立模型的有效性。何李等^[11]以出库效率、货物量、货物关联性为依据建立多目标模型。仿真分析证明求解得出的自动化立体仓库作业集成优化方案能有效缩短作业时间。周亚云等^[12]考虑物料需求关联和周转率来进行仓储货位优化,构建了物料关联性、物料相似性、聚合类存储模型。研究结果表明考虑物料关联性以及周转率所建立的优化模型,能有效缩短订单拣选路径,提高订单拣选效率。唐文献、罗焕等^[13-14]考虑出库作业量大、品种类型多、体积差别大等特点,建立了提高出库效率、降低货架重心、物料分巷道存放的优化模型,然后用算法求解验证了目标函数优化的有效性。该类研究对现代企业智能物流以及自动化仓库的管理,具有一定的理论价值和实践指导意义。

货位优化模型目标多样、约束复杂,合理的算法能减少算法迭代次数,使优化结果更加精确。目前智能算法种类较多、发展迅速,通常用于求解优化模型的基础算法包括遗传算法、模拟退火算法、蚁群算法、粒子群优化算法、禁忌搜索算法等。针对不同的优化模型以及目标,应采用不同的智能算法类型。

目前,针对货位优化的研究多使用遗传算法和模拟退火算法。遗传算法具有良好的可操作性,可并行搜索多个峰值,因此其运用较为普遍,已广泛应用于各个领域求解复杂的优化问题;但遗传算法也容易陷入局部最优的困境^[15-17]。模拟退火算法则弥补了遗传算法的缺陷,能跳出局部最优解达到全局最优,多应用于解决复杂的非线性优化问题,但也存在收敛速度慢等缺点^[18-20]。

为适应越来越复杂的货位优化模型,学者们对部分基础算法进行改进,改进成兼顾两种或者多种基础算法优势的混合算法。有学者从实际问题出发,对模拟退火算法和遗传算法进行改进,得到改进的模拟退火遗传算法,并验证了改进算法的有效性。例如:曹现刚等^[21]为寻找货位最优分配,提出一种基于模拟退火遗传算法解决货位分配问题,使遗传算法从局部极值区域中跳出,找到全局最优解,并保证了算法的收敛性。朱杰等^[22]为了克服遗传算法的缺点,引入遗传模拟退火算法用来解决储位优化模型。

混合算法越来越受学者青睐,算法之间的取长补短使得算法实用性和准确度大大提升。因此,深入研

究混合算法对货位分配优化问题的解决有很大帮助。例如:李阳等^[23]为提高航天零部件仓储系统中零部件出库效率和货架稳定性,建立货位优化模型,提出了基于遗传算法的存储策略,并用模拟退火算法解决遗传算法出现的早熟问题^[23]。

本文以提高出库效率、提高货架稳定性、加强货物关联性为优化目标,考虑自动化立体仓库的特点以及存储现状,建立货位优化模型。采用传统模拟退火算法、遗传算法和改进模拟退火遗传算法对模型进行求解。以某企业零部件自动化立体仓库为例,对模型合理性进行验证,对3种算法的优化效果进行验证和对比分析。

2 问题描述

2.1 货位优化原则

遵循货位优化原则是货位优化的前提。货位优化原则是保证货位分布合理、提高出库效率和降低操作成本的基础。仓库货位的合理规划以及现有货位摆放的优化处理,可以从以下原则出发。

1) 周转率原则

周转率原则是有效改善仓储作业效率的原则之一。周转率是指货物的流通频率。周转率高表示被拣选的次数多,因而此货物应存储在离仓库出入口较近的位置。这能有效缩短分拣时间,实现仓库作业效率的提升。然而,影响周转率的因素较多,企业需要在不同阶段根据仓库实际情况调整货位优化方案。

2) 货架稳定原则

保持货架稳定是货位优化的基本要求。任何一个货架都有承重上限,因而摆放货物时,需遵循上轻下重、均匀摆放原则。上轻下重原则即是较轻的货物摆放于货架高位,较重的货物摆放于货架低位。均匀摆放原则即是避免集中摆放,使货架受力均匀。这既能减少出入库的工作量,有效降低货架重心,又能使货架受力均匀,保证货架结构的稳定性。

3) 关联原则

某些货物相互关联,往往需要同时使用,因而相关货物的摆放位置相邻。遵循关联原则,一方面能有效提高分拣效率,降低分拣工作量,节约作业成本;另一方面有助于观察货物的使用情况。

2.2 自动化立体仓库仓储特点及存在的问题

自动化立体仓库又称为自动存取检索高架仓库 (automatic storage and retrieval system, AS/RS), 采用高层立体结构, 具有吞吐量、空间利用率、周转率均较高的特点。自动化立体仓库往往利用多个自动化存储机器 (堆垛机) 在水平和垂直轨道上实现货箱的存储与取出, 然后通过运输小车完成货箱的出入库活动。

自动化立体仓库具备以下几个特点: 一是高层货架空间利用率高。自动化立体仓库增加了仓储高度, 空间利用率是传统仓库的 2~5 倍, 单位存储面积是普通货架的 4~7 倍。二是计算机控制自动存取。自动堆垛机和计算机管理系统实现了仓库管理的自动化与科学化, 大大提高了仓库管理的准确性和可靠性, 降低了仓储成本。三是由“静态仓库”转化为“动态仓库”。动态仓库实现了自由选择货位、先进先出, 以及拣选、组配等仓储作业。

自动化立体仓库避免了传统制造业中人工化、低效化的弊端, 实现了出入库操作和盘点无人化以及自动存取。但是零部件的种类繁多、数量大、周转率差异大, 以及货位摆放混乱, 造成了仓库运行任务重且效率低下的现状。目前, 我国企业在自动化立体仓库运用中, 货位摆放主要存在以下问题: 一是零部件摆放无序。具体体现为相邻区域货位出入库频率相差较大, 各货道的堆垛机以及自动运输车工作量不平衡等。例如周转率较高的零部件存储的货位距出入库口太远, 使得拣货路径过长; 周转率较低的零部件堆放在出入库口附近, 成倍地增加了运输障碍。二是货架利用不合理。零部件随意摆放容易造成零部件的缺损, 也使货架有效利用货位减少; 货位分配没有考虑零部件的质量, 使得货架稳定性较差。三是零部件未分类摆放。相关性大的零部件分配比较分散, 自动运输车拣选距离变长, 导致作业路径重复, 降低了出库效率。

2.3 问题实例

本文以某企业自动化立体仓库为例, 该自动化立体仓库中有若干个货架, 每个货架均匀排列多个货位, 每个货位能且只能存储一个库存单位 (stock keeping unit, SKU)。根据初始货架设置对应的坐标, 将此自动化立体仓库模型简化: 自动化立体仓库中堆垛机可水平和垂直同时移动, 实现双向拣货通道, 无拣货冲突, 拣货时间可忽略, 传送带以匀速传送,

每次拣货有且只有一个指定货位。货架总共有 P 排、 L 列、 C 层, 且该货架单位货位的长宽高分别为 p_0 、 l_0 、 c_0 。以仓库左前角为出入库口, 即平面坐标系的原点, 出入库口前方为 X 轴正向, 右方为 Y 轴正向, 上方为 Z 轴正向。自动化立体仓库存放 n 种不同类型的零部件, 其中第 i 类零部件中共有 k_i 个。每个零部件单独存放在第 x 排 y 列 z 层的货位上, 坐标为 (x, y, z) ($x=1, 2, \dots, P$; $y=1, 2, \dots, L$; $z=1, 2, \dots, C$)。

3 优化模型建立

3.1 提高出库效率目标模型

在堆垛机、传送带运行匀速不变的情况下, 提高出库效率的关键在于缩短出库作业移动距离。货位坐标为 (x, y, z) , 出入库口坐标为 $(0, 0, 0)$; 堆垛机可在 X 、 Z 轴向同时移动, 并分别以 v_x 、 v_z 的速度从出入库口出发到指定位置后返回出入库口; 传送带始终以 v_y 的速度沿着 Y 轴向出入库口移动。设第 i 类、第 j 个零部件的周转率为 S_{ij} , 若各零部件周转率与其存储的货位到出入库口的作业距离的乘积之和越小, 则出库效率越高。要提高出库效率, 应将周转率高的零部件放置于接近出入库口的位置。因此, 将出库效率目标模型设定为

$$F_1 = \sum_{x=1}^P \sum_{y=1}^L \sum_{z=1}^C S_{ij} \left\{ \frac{yl_0}{v_y} + 2 \max \left[\frac{(z-1)c_0}{v_z}, \frac{xp_0}{v_x} \right] \right\}。$$

3.2 提高货架稳定性目标模型

设货位 (x, y, z) 存放的第 i 类、第 j 个零部件的质量为 m_{ij} ; 重心高度为 $\left(z - \frac{1}{2}\right)c_0$ 。若各零部件质量与其重心高度乘积之和越小, 则货架稳定性越好。因此, 将货架稳定性目标模型设定为

$$F_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} m_{ij} \left(z - \frac{1}{2}\right)c_0}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} m_{ij}}。$$

3.3 增强货物关联性目标模型

假设零部件按类别分类摆放, 整体货架均匀分布。设各零部件重心坐标为 (x_m, y_m, z_m) ; d_i 为第 i 类零部件的离散度; d 为所有类别零部件的离散度之和; (x_i, y_i, z_i) 为第 i 类零部件的均值坐标; (x_G, y_G, z_G) 为整体零部件的均值坐标。若类内各零部件越紧凑, 即 d

越小, 则越满足关联原则。\$D\$ 为各零部件到整体零部件中心 \$G\$ 的离散度之和, 若 \$D\$ 越大, 则货物分布更为均匀。上述有关量的计算公式如下:

第 \$i\$ 类零部件的均值坐标为

$$(x_i, y_i, z_i) = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} (x, y, z);$$

第 \$i\$ 类零部件离散度为

$$d_i = \sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2};$$

整体零部件均值坐标为

$$(x_G, y_G, z_G) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i, y_i, z_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} (x, y, z) \right];$$

所有类别零部件产品内离散度之和为

$$d = \sum_{i=1}^n d_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2};$$

各零部件到整体零部件中心 \$G\$ 的离散度之和为

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} \sqrt{(x-x_G)^2 + (y-y_G)^2 + (z-z_G)^2}。$$

货物关联性目标函数的设定既要考虑类内零部件的离散度, 又要考虑各零部件是否均匀分布, 因此关联性目标模型设定为

$$F_3 = \frac{d}{D} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} \sqrt{(x-x_G)^2 + (y-y_G)^2 + (z-z_G)^2}}。$$

3.4 约束条件

根据货位优化原则以及自动化立体仓库的实际情况建立约束条件。首先, 每个货位仅能存放一种货品, 每个货位存储的数量必须是整数; 其次, 每个货位所在的排、列、层数分别不超过货架的总排数 \$P\$、总列数 \$L\$ 和总层数 \$C\$。货位优化模型约束条件为

$$\{x \in [1, P], y \in [1, L], z \in [1, C]\}, \text{ 且 } x, y, z \in \mathbb{N}。$$

3.5 权重设置

货位优化实际上是一个多目标组合优化的问题, 目前多采用加权的方式处理多目标模型, 将多目标函数转化成单一目标模型后再求解, 这就需要对各个目标函数赋予相应权重。采用德尔菲法确定权重系数, 通过设置权重系数来确定多目标模型优化级别。因此, 自动化立体仓库货位优化的多目标优化问题转化为模型

$$F = aF_1 + bF_2 + cF_3,$$

其中 \$0 \leq a, b, c \leq 1\$ 且 \$a+b+c=1\$。依照专家多次投票意见, 最终确定函数 \$F_1\$、\$F_2\$、\$F_3\$ 的权重值分别为 \$a=0.625, b=0.250, c=0.125\$。

4 改进算法设计

遗传算法 (genetic algorithm, GA) 容易出现“早熟”现象, 容易陷入局部最优, 但是模拟退火算法 (simulated annealing, SA) 能跳出局部解。本文综合遗传算法与模拟退火算法的优势, 设计了改进的模拟退火遗传算法, 使遗传算法从局部极值区域中跳出, 找到全局最优解的同时保证了算法的收敛性。模拟退火遗传算法算法设计如下:

1) 设计编码。采用整数编码, 每一条染色体都代表一个货位, 每一条染色体中所包含的信息有货位的排数、列数、层数等信息。

2) 初始种群。种群规模即代表货架上货物的数量。每条染色体上的基因位即每个货位的信息根据优化货位货物信息给定。

3) 确定适应度函数。适应度函数为所设定的货位优化目标模型。

4) 选择操作。采用轮盘选择法进行运算, 选择概率大的个体, 将选择出来的个体两个为一组, 一个作为父代、一个作为母代进行复制。

5) 交叉操作。所选择的交叉概率为 0.5, 采用顺序交叉的方法进行交叉运算。

6) 变异操作。所选择的变异概率为 0.05, 采用交换变异的方式进行变异运算。

7) 确定适应度值。将通过选择、交叉、变异产生的子个体的适应度值与父代的作比较, 若子个体的适应度值小于父代的, 则无条件接受子个体; 若子个体的适应度值大于父代的, 且当概率范围为 \$[0, 1)\$ 时, 则接受子个体; 若子个体的适应度值大于父代的, 且当概率范围超出 \$[0, 1)\$ 时, 则保留父代个体。令初始温度为 \$1000\text{ }^{\circ}\text{C}\$, 温度下降率为 0.8, 对于个体与父代个体进行循环退火操作, 直到找到可接受新个体。

8) 终止条件。终止准则采用零度法, 即给出一个较小正数, 当温度小于这个数时, 迭代停止, 并且将文中最适应值即最优解或者满意解输出。迭代次数的取值范围一般为 \$100\sim 1000\$。迭代次数越大, 被遗传到下一代的概率也就越大, 则代表的目标函

数值越小。

5 仿真验证与结果分析

5.1 基本参数设定和数据录入

仿真求解需输入仿真基础数据。本文以某企业自动化立体仓库为研究对象, 通过对该自动化立体仓库日常情况进行实地考察后, 汇总得到研究所需参数数据。仓库参数数据如表 1 所示。

表 1 仓库基础数据
Table 1 Warehouse basic data

参 数	取值
X 方向移动速度 $v_x/(m \cdot s^{-1})$	0.5
Y 方向移动速度 $v_y/(m \cdot s^{-1})$	0.4
Z 方向移动速度 $v_z/(m \cdot s^{-1})$	0.2
单位货位长度 p_0/m	1.0
单位货位宽度 l_0/m	1.0
单位货位高度 c_0/m	1.5
货架排数 P	5
货架列数 L	4
货架层数 C	3

货位优化模型求解需要的数据还涉及各零部件的质量、种类、出库频率以及货位信息。从某企业自动化立体仓库随机选取 16 个在库零部件, 其有关参数数据如表 2 所示。

表 2 零部件参数数据
Table 2 Component date table

货物编号	货物类别	货物质量 /kg	出库频率	货位坐标
1	1	14	0.15	(1, 1, 1)
2	2	12	0.24	(3, 3, 3)
3	1	11	0.09	(4, 4, 1)
4	3	12	0.14	(2, 1, 3)
5	3	10	0.12	(5, 2, 1)
6	2	10	0.53	(3, 1, 2)
7	3	11	0.10	(4, 2, 3)
8	4	12	0.40	(2, 4, 2)
9	4	13	0.15	(5, 3, 3)
10	1	13	0.10	(4, 1, 1)
11	3	14	0.50	(1, 2, 2)
12	1	10	0.24	(2, 2, 1)
13	2	11	0.56	(4, 3, 3)
14	4	14	0.21	(2, 1, 2)
15	3	12	0.21	(3, 2, 3)
16	4	13	0.70	(4, 3, 1)

5.2 仿真优化结果

针对所建立的优化目标模型, 运用遗传算法、模拟退火算法、改进模拟退火遗传算法分别进行多次模

拟。对随机选取的 16 个在库零部件进行仿真操作, 优化处理 16 个货位的分配现状。优化前原始货位对应目标函数值 $F_0=25.6458$, 优化前原始货位分布仿真效果如图 1 所示。优化效果图中相同颜色代表同一类货物。

优化算法本身是一种具有概率性的寻优, 尤其当问题规模增大时, 可能每次运行所得到优化结果都不尽相同。为避免结果的偶然性, 本文算例实验结果均为多次运行的平均值。通过多次算法运算优化后, 16 个在库零部件货位坐标更新结果如表 3 所示。

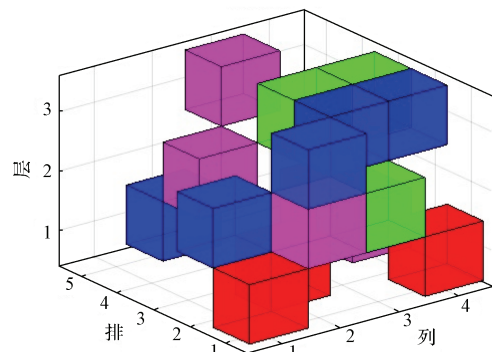


图 1 原始货位分布图
Fig. 1 Original cargo space distribution

表 3 三种算法优化后坐标
Table 3 Coordinates after optimization of three algorithms

货物编号	原始坐标	优化坐标		
		GA	SA	GA-SA
1	(1, 1, 1)	(1, 3, 1)	(2, 3, 2)	(3, 1, 2)
2	(3, 3, 3)	(1, 1, 1)	(2, 1, 1)	(2, 1, 1)
3	(4, 4, 1)	(3, 2, 1)	(2, 4, 2)	(1, 1, 3)
4	(2, 1, 3)	(2, 2, 2)	(1, 1, 2)	(2, 2, 3)
5	(5, 2, 1)	(3, 1, 3)	(3, 3, 2)	(2, 2, 2)
6	(3, 1, 2)	(1, 1, 2)	(1, 2, 1)	(1, 1, 1)
7	(4, 2, 3)	(3, 2, 2)	(2, 2, 1)	(3, 2, 2)
8	(2, 4, 2)	(1, 3, 2)	(1, 1, 3)	(1, 3, 2)
9	(5, 3, 3)	(1, 1, 3)	(1, 2, 3)	(2, 2, 1)
10	(4, 1, 1)	(2, 3, 2)	(3, 2, 2)	(1, 2, 3)
11	(1, 2, 2)	(1, 2, 2)	(4, 2, 2)	(1, 3, 1)
12	(2, 2, 1)	(2, 2, 3)	(3, 4, 2)	(2, 1, 3)
13	(4, 3, 3)	(1, 2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 2)
14	(2, 1, 2)	(2, 1, 2)	(2, 2, 2)	(2, 1, 2)
15	(3, 2, 3)	(2, 3, 3)	(1, 2, 2)	(1, 2, 2)
16	(4, 3, 1)	(1, 1, 3)	(2, 1, 2)	(1, 2, 1)

采用遗传算法、模拟退火算法、改进模拟退火遗传算法, 对自动化立体仓库货位进行优化处理, 并分别计算出优化后的目标函数值。

遗传算法优化后目标函数值 $F_{GA}=13.6012$, 优化

后货位摆放仿真效果如图 2 所示。

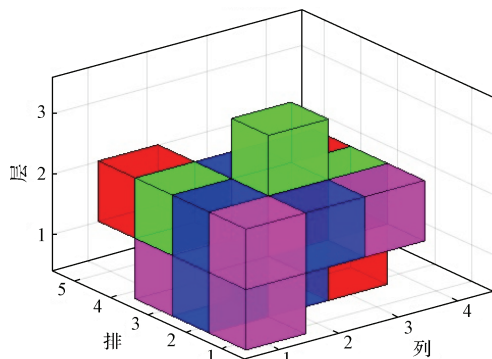


图 2 遗传算法优化效果图

Fig. 2 Genetic algorithm optimization results

模拟退火算法优化后目标函数值 $T_{SA}=14.6062$, 优化后货位摆放仿真效果如图 3 所示。

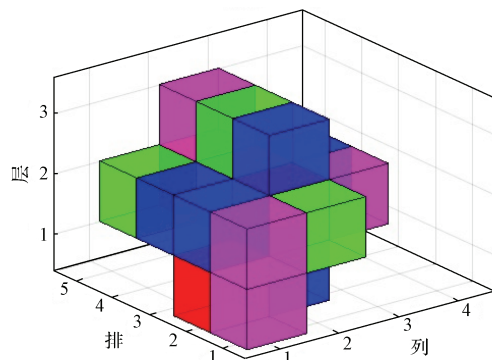


图 3 模拟退火算法优化效果图

Fig. 3 Simulated annealing algorithm optimization effect

改进模拟退火遗传算法优化后, 目标函数值为 $F_{GA-SA}=11.8523$, 优化后货位摆放仿真效果如图 4 所示。

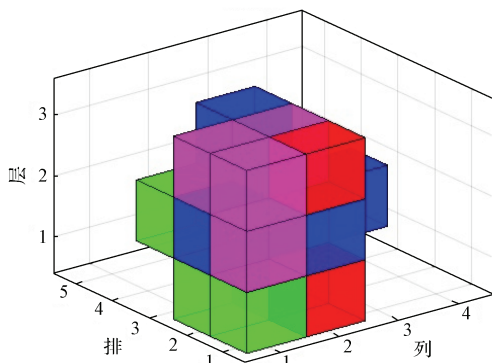


图 4 改进模拟退火遗传算法优化效果图

Fig. 4 Improved simulated annealing genetic algorithm optimization effect

5.3 仿真优化结果分析

运用遗传算法、模拟退火算法以及改进模拟退火遗传算法, 分别对某企业自动化立体仓库进行多目标货位优化处理后, 得出 3 种货位优化结果如表 4 所示。

表 4 目标函数优化值

Table 4 Optimization value of objective function

货位状态	目标函数值	优化率 /%
原始货位	25.6458	
GA 优化后	13.6012	47.00
SA 优化后	14.6062	43.00
GA-SA 优化后	11.8523	54.00

由表 4 可知, 改进模拟退火遗传算法的优化效率比遗传算法的高 7%、比模拟退火算法的高 11%。该结果验证了改进算法比基础算法拥有更强的寻优能力。由于该仿真优化处理的问题求解规模较大, 因此改进模拟退火遗传算法优越性十分显著。

从货物重心来分析货架稳定性的改善效果。以重心和质量之积的平均数值为货架稳定性分析值, 优化前后货架稳定性分析值如表 5 所示。

表 5 货架稳定性分析值

Table 5 Shelf stability analysis value

货位状态	货架稳定性分析值	优化率 /%
原始货位	27.9375	
GA 优化后	27.0000	3.36
SA 优化后	25.5000	8.73
GA-SA 优化后	25.2188	9.74

由表 5 可知, 模拟退火算法和改进模拟退火遗传算法在降低货架重心方面, 明显优于遗传算法, 而改进模拟退火遗传算法的优化效果最为明显。

从图 2~4 可以明显看出, 相较于初始摆放, 优化后同类货物摆放更为紧密。遗传算法、模拟退火算法处理结果都较为优秀, 但改进模拟退火遗传算法所得结果中, 各类货物的离散度都大幅度减小, 说明各类货物之间的摆放距离在优化后, 基本达到了同类货物紧密摆放的要求。运用改进模拟退火遗传算法所得结果的货架利用率, 比其他两种算法的也有大幅度的提高。相同数目、种类的货物, 改进模拟退火遗传算法所占区域范围更小, 整体也更靠近出入库口。

从以上算例可知, 通过 3 种算法所得的货位优化结果, 比原始摆放货位均有改善, 证明了本文所建立优化模型的有效性和合理性。同时通过优化结果

对比可明显看出,改进模拟退火遗传算法的优化效果最佳,明显改善了出库效率,增强了货架稳定性,减少了同类零部件摆放的离散度。

6 结论

货位优化是一个多目标优化的过程,本文基于自动化立体仓库的特点,遵循货位优化的原则建立模型,并分别使用遗传算法、模拟退火算法两种基础算法,以及改进模拟退火遗传算法对模型进行优化求解,得出3种不同的优化结果。对优化结果对比分析可得如下结论。

1) 本文所建立的提高出库效率、提高货架稳定、加强相关性的目标模型,能较好地处理自动化立体仓库货位优化问题。

2) 相较传统遗传算法和模拟退火算法,改进模拟退火遗传算法更适合于改进某些企业自动化立体仓库的货位布局。

此研究结果对其他相似企业自动化立体仓库货位优化有一定参考价值。简化处理模型的某些条件假设,会对实际优化结果产生不同程度的影响。这些问题的解决本文尚未涉及,是今后进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 周欣, 马云峰, 任亮. 基于双指令的倍深式货位优化[J]. 武汉理工大学学报, 2017, 39(6): 47-54.
ZHOU Xin, MA Yunfeng, REN Liang. Optimization of Double-Deep Location Based on Dual Command[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2017, 39(6): 47-54.
- [2] NASTASI G, COLLA V, CATENI S, et al. Implementation and Comparison of Algorithms for Multi-Objective Optimization Based on Genetic Algorithms Applied to the Management of an Automated Warehouse[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2018, 29(7): 1545-1557.
- [3] 杨玮, 赵晶, 张堃, 等. 基于货架寿命的乳制品配送车辆路径优化研究[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 72-79.
YANG Wei, ZHAO Jing, ZHANG Kun, et al. Path Optimization of Dairy Distribution Vehicle Based on Shelf Life[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 72-79.
- [4] 董海, 齐新娜. 基于改进细菌觅食算法的自动化立体仓库集成优化[J]. 电子学报, 2021, 49(5): 1001-1012.
DONG Hai, QI Xinna. Integrated Optimization of Automated Warehouse Based on Improved Bacterial Foraging Algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2021, 49(5): 1001-1012.
- [5] 张延华, 姜雄文. 基于改进遗传算法的电气设备仓库货位优化[J]. 控制工程, 2023, 30(4): 620-628.
ZHANG Yanhua, JIANG Xiongwen. Location Optimization of Electrical Equipment Warehouse Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Control Engineering of China, 2023, 30(4): 620-628.
- [6] 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.
DONG Hai, QI Xinna. Optimization of Location Allocation Based on Emotional Bacteria Foraging Algorithm[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2020(12): 43-47, 51.
- [7] 蔺一帅, 李青山, 陆鹏浩, 等. 智能仓储货位规划与AGV路径规划协同优化算法[J]. 软件学报, 2020, 31(9): 2770-2784.
LIN Yishuai, LI Qingshan, LU Penghao, et al. Shelf and AGV Path Cooperative Optimization Algorithm Used in Intelligent Warehousing[J]. Journal of Software, 2020, 31(9): 2770-2784.
- [8] 王铁铮, 胡亚楠, 潘焜, 等. 基于多智能体强化学习的自动化电力仓库货位优化[J]. 工业工程, 2021, 24(4): 93-99.
WANG Tiezheng, HU Yanan, PAN Kun, et al. Optimizing the Location of Automated Power Warehouse Based on Multi-Agent Reinforcement Learning[J]. Industrial Engineering Journal, 2021, 24(4): 93-99.
- [9] WANG H X, JI S W, SU G. Research on Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System Cargo Location Optimization in E-Commerce Automated Warehouse[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 790(1): 012165.
- [10] 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.

- [11] 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.
HE Li, TAO Yifei, LUO Junbin, et al. Job Integrated Optimization of Automated Storage/Retrieval Systems Based on Two-Stage Wolf Pack Algorithm[J]. China Mechanical Engineering, 2022, 33(21): 2538-2546.
- [12] 周亚云, 项 前, 余崇贵, 等. 考虑物料需求关联与周转率的仓储货位优化方法 [J]. 东华大学学报 (自然科学版), 2020, 46(3): 414-420.
ZHOU Yayun, XIANG Qian, YU Chonggui, et al. A Method for Storage Location Optimization Considering Material Demand Correlations and Turnover[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2020, 46(3): 414-420.
- [13] 唐文献, 彭 伟, 苏世杰, 等. 面向船舶行业的多巷道自动化立体仓库货位优化 [J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(2): 384-392.
TANG Wenxian, PENG Wei, SU Shijie, et al. Slotting Optimization of Multi-Roadway Automated High-Rise Warehouse for Shipping Industry[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2020, 26(2): 384-392.
- [14] 罗 焕, 闫富乾, 宋小欣, 等. 基于变邻域 NSGA-II 算法的多目标货位优化研究 [J]. 制造业自动化, 2021, 43(10): 26-29, 36.
LUO Huan, YAN Fuqian, SONG Xiaoxin, et al. Multi Objective Location Optimization Based on Variable Neighborhood NSGA-II Algorithm[J]. Manufacturing Automation, 2021, 43(10): 26-29, 36.
- [15] 王进业, 宋宇博. 旁通式自动化立体仓库拣选作业和出口选择的组合优化 [J]. 河北科技大学学报, 2015, 36(1): 36-44.
WANG Jinye, SONG Yubo. Combinatorial Optimization of Order Picking and Export Choosing for Bypass Type Automatic Stereoscopic Warehouse[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2015, 36(1): 36-44.
- [16] 祖巧红, 徐晓霞, 毛一超. 汽车零部件立体仓库货位优化问题研究 [J]. 图学学报, 2015, 36(2): 312-317.
ZU Qiaohong, XU Xiaoxia, MAO Yichao. Research on Multi-Objective Slotting Optimization for Automatic Warehouse of Auto Parts[J]. Journal of Graphics, 2015, 36(2): 312-317.
- [17] 李珍萍, 于洋涛. 并列选择单亲遗传算法在自动化立体仓库货位优化中的应用 [J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(20): 179-186.
LI Zhenping, YU Yangtao. Application of Genetic Algorithm with Parallel Selection of Partheno on Automated Warehouse's Slotting Optimization[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2016, 46(20): 179-186.
- [18] PANG K W, CHAN H L. Data Mining-Based Algorithm for Storage Location Assignment in a Randomised Warehouse[J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(14): 4035-4052.
- [19] 靳 萌, 穆希辉, 罗偲语, 等. 基于两级策略的器材立体仓库货位分配方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(8): 1774-1781.
JIN Meng, MU Xihui, LUO Siyu, et al. Slot Assignment Method for Maintenance Material Warehouse Based on Two Levels Policy[J]. Systems Engineering and Electronics, 2017, 39(8): 1774-1781.
- [20] 刘增辉. 基于遗传模拟退火算法的料箱立体库货位优化研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(17): 23-24.
LIU Zenghui. Research on Optimization of Storage Location of Container Based on Genetic Simulated Annealing Algorithm[J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2018, 8(17): 23-24.
- [21] 曹现刚, 宫钰蓉, 雷一楠. 基于模拟退火遗传算法的自动化立体仓库货位优化 [J]. 机床与液压, 2020, 48(14): 67-72.
CAO Xiangang, GONG Yurong, LEI Yinan. Optimization of Automatic Storage Location Based on Simulated Annealing Genetic Algorithm[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2020, 48(14): 67-72.
- [22] 朱 杰, 张文怡, 薛 菲. 基于遗传模拟退火算法的立体仓库储位优化 [J]. 计算机应用, 2020, 40(1): 284-291.
ZHU Jie, ZHANG Wenyi, XUE Fei. Storage Location Assignment Optimization of Stereoscopic Warehouse Based on Genetic Simulated Annealing Algorithm[J]. Journal of Computer Applications, 2020, 40(1): 284-291.
- [23] 李 阳, 唐 磊, 胡 俊. 基于遗传算法的航天零件仓库货位优化研究 [J]. 制造业自动化, 2020, 42(8): 68-73.
LI Yang, TANG Lei, HU Jun. The Research on Space Parts Warehouse Location Optimization Based on Genetic Algorithms[J]. Manufacturing Automation, 2020, 42(8): 68-73.

(责任编辑: 邓光辉)

Optimization of Automatic Storage Location Based on Improved Simulated Annealing Algorithm

YI Bin, JING Shuyao

(College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In response to the characteristics of large workload and complex categories in automated three-dimensional warehouses, the optimization research was conducted on warehouse storage spaces. Following the principles of turnover rate, shelf stability, and correlation, a storage space optimization model was constructed to improve outbound efficiency, shelf stability, and cargo correlation. A comparative analysis was conducted using traditional simulated annealing algorithm, genetic algorithm, and improved simulated annealing genetic algorithm to solve the model's cargo location optimization results. It was proved that the improved algorithm is more effective than the traditional basic algorithm in solving the cargo location optimization problem, which helps to improve the current situation of low space utilization, low picking efficiency, and chaotic cargo placement in automated three-dimensional warehouses.

Keywords: automated warehouse; cargo location optimization; improved algorithm

.....

(上接第 36 页)

[52] 田東昕. 新型食品加工技术对食品营养影响探究 [J].
中国食品工业, 2022(20): 104-106.

TIAN Jianxin. Study on the Influence of New Food

Processing Technology on Food Nutrition[J]. China Food
Industry, 2022(20): 104-106.

(责任编辑: 邓 彬)

The Application of Ultra-High Pressure Technology in Rice Preservation

GONG Xue, KOU Xueying, ZHANG Yinglei, LI Ziyao, TANG Murong, SUN Suling, ZHANG Yinxue

(College of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: The research overview and main achievements of the application of ultra-high pressure technology in rice preservation were summarized and reviewed, with the existing problems in the past research analyzed, while suggestions for the future development were put forward.

Keywords: ultra-high pressure; rice; starch; protein; edible quality