

• 军事物流 •

文章编号: 1002-3100 (2018) 09-0123-05

基于混合遗传算法的航材集装箱装载问题研究

Research on Aviation Material Container Loading Based on Hybrid Genetic Algorithm

刘 硕, 崔崇立, 宗 彪 (空军勤务学院, 江苏 徐州 221000)

LIU Shuo, CUI Chongli, ZONG Biao (Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

摘 要: 为有效提升航材储运保障效率, 以航材集装箱装载为研究对象, 在考虑货物放置方向, 装载容积, 装载质量, 重心约束等条件下, 结合启发式规则和遗传算法构建了航材装载问题数学模型, 最大化利用装载空间。并将此算法与其他算法进行对比, 验证了优化算法的高效性。

关键词: 航材集装箱装载; 启发式规则; 遗传算法

中图分类号: E246 **文献标识码:** A

Abstract: This paper studies the problem of aviation material container packing. In order to improve the efficiency of air material storage and transportation effectively, the genetic algorithm takes account of the direction which the goods are placed, the loading capacity, the loading quality and the center of the gravity of the load and other constraints. It combines the heuristic rules and genetic algorithm to establish a algorithms to verify the efficiency of the algorithm.

Key words: aviation material container loading; heuristic rule; genetic algorithm

航材作为后勤保障中的重要一环, 其对于战略转移和投送提出的核心思想是“以箱代库”的保障模式, 目前航材包装运输中货物装载缺乏统一筹划, 装载没有细化标准原则, 致使装载利用率低, 不同理化性质航材混堆, 易使器材受损。航材装载运输急需解决各类运输工具的装载优化问题, 本文将针对航材集装箱的装载优化进行研究。

航材集装箱装箱问题理论上属于 NP-hard 问题, 是复杂的约束条件下的组合优化系列问题^[1]。目前针对装箱问题主要有禁忌搜索算法, 模拟退火算法, 遗传算法, 启发式算法等的大量应用。这些算法对装箱问题具有很大帮助, 但存在约束条件不够细化, 一定程度上影响装载利用率。本文拟采用启发式算法与遗传算法等相结合的交互混合算法对航材集装箱装载问题进行优化求解, 在考虑多重约束条件的前提下增大装载空间利用率。

1 航材集装箱装载问题的描述与建模

1.1 问题描述

航材集装箱装载问题依据我军目前列装的主战运输装备的装载规格情况, 结合各类任务携行航材的组配需求, 通过建立以整体空间利用率最优, 以体积、重量、码放、重心、方向等约束条件多样化处理最佳的系列化装载模型, 旨在探究如何更充分有效地提高运输工具空间利用程度, 减少运输次数和运输工具的数量, 削减配送费用, 降低运输成本, 促进仓库管理和装备物资输送效率和质量。

鉴于航材装箱问题的复杂程度, 在建立模型之前需要做出如下假设: (1) 航材配件及集装箱简化为长方体, 且其重心为几何重心; (2) 航材在装载运输过程中到达目的地相同; (3) 忽略航材部件的挤压变形。

1.2 模型的建立

本文提及的模型拟采用三维笛卡尔坐标系, 如图 1 所示, 以航材集装箱的长度表示为 x 轴正方向, 以宽度表示为 y 轴正方向, 以高度表示为 z 轴正方向^[1], 集装箱左后方为坐标原点, 当一个航材货物放入集装箱会分割为三个空间, 前空间, 右空间, 上空间^[2]。

记符号 l_i, w_i, h_i, g_i 分别为航材 $i(i=1, 2, 3, \dots, n)$ 的长, 宽, 高和质量, G 为航材集装箱的最大载重量, V 为集装箱的最大容积, φ 为航材备件的装备与否, (x_i, y_i, z_i) 表示集装箱的重心坐标, $[a_1, a_2]$ 表示集装箱重心在 x 轴上的安全浮动范围, $[b_1, b_2]$ 表示集

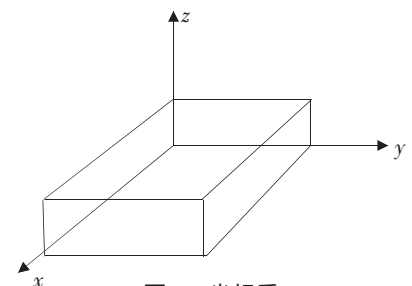


图 1 坐标系

收稿日期: 2018-06-19

作者简介: 刘 硕(1996-), 男, 河北定州人, 空军勤务学院航材四站系硕士研究生, 研究方向: 航材保障决策与信息化。

装箱重心在 y 轴上的安全浮动范围, $[0, c_2]$ 表示集装箱重心在 z 轴上的安全浮动范围, 模型目标函数表示如下:

$$\text{集装箱的容积利用率: } \max z = \sum_{i=1}^n (l_i w_i h_i \varphi_i) / V$$

航材装载模型的质量, 空间, 重心等约束条件表示如下:

$$\sum_{i=1}^n l_i w_i h_i \varphi_i \leq V$$

$$\sum_{i=1}^n g_i \leq G$$

$$a_1 \leq \sum_{i=1}^n (g_i x_i \varphi_i) / \sum_{i=1}^n g_i \varphi_i \leq a_2$$

$$b_1 \leq \sum_{i=1}^n (g_i y_i \varphi_i) / \sum_{i=1}^n g_i \varphi_i \leq b_2$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^n (g_i z_i \varphi_i) / \sum_{i=1}^n g_i \varphi_i \leq c_2$$

2 模型的求解与算法设计

2.1 启发式规则

2.1.1 定序规则

集装箱内装入航材货物时, 需要尽量本着最大空间利用率的原则, 在包装箱装车过程中, 装载的顺序对最终布局质量产生重要的影响, 因此需要根据包装箱的最长边、包装箱的面积、包装箱的体积和装备到达的目的地等一项或者几项属性来确定装车顺序。

在装箱时, 根据装备的重要程度考虑优先次序, 研究时拟考虑的优先次序有:

- (1) 按照体积递减原则。体积大的先放入, 体积小的后放入。
- (2) 按照重量递减原则。重装先放入, 轻装后放入。
- (3) 按照底面积递减原则。底面积大的先放入, 底面积小的后放入。
- (4) 按照最长边递减原则。最长边大的先放入, 最长边小的后放入。
- (5) 按照达到时间原则。先到先放入, 后到后放入。

基于此本文采取了优先装填尺寸较大货物, 对货物最长边边长递减顺序对货物进行了排序, 在剩余空间填充时, 优先装载与空间尺寸相当的货物的方法。

2.1.2 “层”概念引入及空间分层规则

George 和 Robinson 引入了“层”的概念并提出了三空间划分原则^[2]。对于航材集装箱, 本文也采用按层进行填装的原则, 将一层填满在进入下一层, 对于航材集装箱层的划分取决于集装箱的高度和每层装入第一件航材的高度, 即航材集装箱最多装层数 M 表示为:

$$M = H / h_i$$

航材货物的装入本文采用 $yz-x$ 层划分, 按照由下到上, 由里到外的顺序进行装填, 直至货物装完或集装箱装满, 这也符合航材装载中的实际要求, 减少了航材货物回溯搜索范围, 降低了航材装货的复杂度。如图 2 所示方法对集装箱进行装填。

2.1.3 空间合并规则

在航材货物装载过程中不可避免的会出现缝隙, 在装载过程中要注意将当前空间与废弃空间进行合并, 合并过程主要在左右, 上下, 前后三个方向上进行, 本文利用将所有废弃空间以数组方式储存起来, 进行废弃空间的多次搜索, 以充分利用废弃空间, 实现废弃空间的融合和再利用。空间合并融合步骤如下:

- (1) 装载前搜索废弃空间, 判断废弃空间是否存在。
- (2) 若存在废弃空间, 判断废弃空间与当前空间的关系。
- (3) 若共 xy 面, 则将废弃空间与当前空间上下合并, 如图 3 所示; 若共 yz 面, 则将废弃空间与当前空间前后合并, 如图 4 所示; 若共 xz 面, 则将废弃空间与当前空间左右合并, 如图 5 所示。
- (4) 合并后的空间成为新的装载空间进行航材货物装填。

2.2 遗传算法

遗传算法也称进化算法, 是受到达尔文进化论的启发, 借鉴生物进化过程而提出的一种启发式搜索算法, 将遗传算法所要解决的问题模拟成一个生物进化过程, 通过复制、交叉、突变等操作产生下一代的解, 并逐步淘汰适应度低的解, 增加适应度

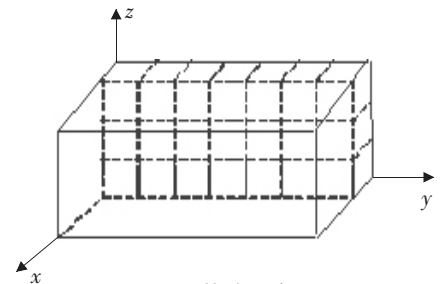


图 2 装填示意图

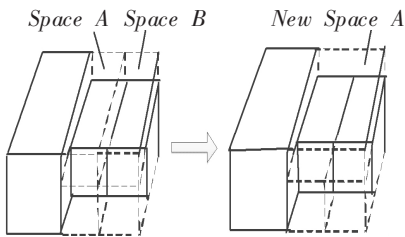


图3 左右合并

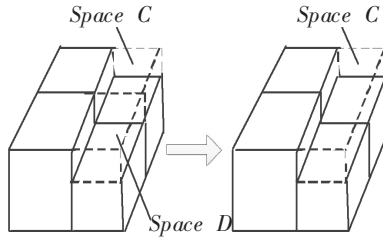


图4 前后合并

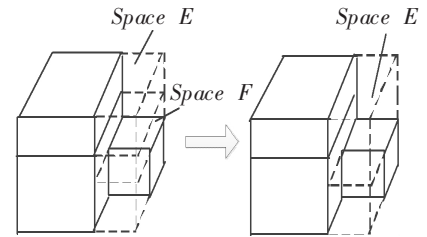


图5 上下合并

高的解，进化 N 代后可能得到适应度函数值很高的解，即所解决问题的最优解^[3]。

2.2.1 个体编码和解码

编码时基于对货物放置方向和装载顺序约束考虑，每种装载方案对应一个长度为 $2n$ 的符号串 $P=(s_1, s_2, s_3, \dots, s_n, s_{n+1}, s_{n+2}, \dots, s_{2n})$ ，基因 $s_1 \sim s_n$ 表示货物的编号。 $s_1 \sim s_n$ 的序列号代表货物的装载顺序。基因 $s_{n+1} \sim s_{2n}$ 表示货物的放置方向，在航材货物装载实际中考虑到航材货物的精密性较高，为避免货物损坏所造成的不必要损失，航材货物不得进行倒放、倒置等操作，从航材货物保障的实际出发，对航材放置方向进行编号，如表 1 所示。

表 1 编码值对应表

Econode Values	Sides parallel to L	Sides parallel to W	Sides parallel to H
1	l_i	w_i	h_i
2	w_i	l_i	h_i

个体解码方法为基因 s_i 与基因 s_{n+i} 之间是一一对应关系，第 i 个装入的货物是基因 s_i 表示的航材货物，同时该货物按照 s_{n+i} 代表的方向进行放置。

2.2.2 适应度计算

适应度的大小表示个体对环境的适应程度，本文中适应度大小表示了航材装载方案的优良，适应度函数的选取直接影响着遗传算法的收敛以及最优解的选取。通常适应度函数由目标函数转化而成，本文综合考虑装载重量，装载容积，装载重心约束三个方面，对于违反约束的要给及相应惩罚，适应度函数引入了重量利用率函数，空间利用率函数，重心约束函数三个概念，其表示如下：

空间利用率函数：

$$space(q) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (l_i w_i h_i \varphi_i) / V \times 100\% & \text{符合容积约束} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

重量利用率函数：

$$weight(q) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (g_i \varphi_i) / G \times 100\% & \text{符合重量约束} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

重心约束函数：

$$gravity(q) = \left(H \times 1.5 - \sum_{i=1}^n g_i p_i / \sum_{i=1}^n g_i \right) / H \times 100\%$$

H 表示集装箱的高度， $g_i p_i$ 表示第 i 个航材货物的重心高度，通常取货物重心高度的一半， g_i 表示第 i 个航材的重量，该函数主要考虑航材装载时的稳定性和搬运过程中的难易程度。通过对上述概念的引入以及加权系数和惩罚函数法，定义适应度函数为：

$$F = k_1 space(q) + k_2 weight(q) + k_3 gravity(q)$$

其中的权重 k_1 、 k_2 、 k_3 根据航材装载保障的工作实际确定，依据部队多年来的实际工作经验和需要进行选择，且 k_1 、 k_2 、 $k_3 > 0$ 。

2.2.3 初始种群的选取

在遗传算法初始种群的选取中，一般依据适应度大小对染色体进行排序，然后选取适应度大的染色体作为初始种群，本文结合航材保障工作中的实际情况，以提高初始种群质量为目的，提出了初始种群选取的一些参考：

(1) 在航材保障中，依据作战任务不同以及战时条件下的作战需求，将航材作战物资以特需、急需、一般需求为划分方法，对物资按需求程度规范装载。

(2) c_i 表示第 i 个航材物件的购置费用， $c_i * V / (l_i w_i h_i)^2$ 表示航材的价值容积密度，按价值容积密度对物资进行降序排列，作为物资装载的一项依据。

(3) c_i/g_i 作为航材待运物资的价值密度函数进行降序排列, 作为物资装载的参考依据。

(4) 将一些已有的装载方案做为较为优质染色体加入初始种群。

2.2.4 选择操作

一般有随机便利抽样、局部选择、比例选择、轮盘赌选择等多种选择方案, 本文拟利用轮盘赌选择方法, 轮盘赌选择过程中, 个体被选中的概率与其适应度大小成正比, 个体适应度越大, 被选择遗传到下一代的机率越大^[4]。在算法中也容易产生进化速度缓慢, 一些优良个体基本不发生变化或变化很小, 从而引发局部最优的“早熟”现象。对个体适应度进行尺度变化可以维持染色体间的合理差异, 在算法早期抑制某些染色体加快收敛, 在算法晚期加速竞争, 从而寻得最优子代。本文采用 σ 截断尺度变化方法, 如下:

$$F' = F - (\bar{F} - a)^\sigma$$

式中: \bar{F} 表示适应度均值, a 代表常数值, σ 为群体中个体适应度的标准方差。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - f_{avg})^2}$$

其中: N 表示遗传算法中种群的大小, f_i 表示第 i 个个体的适应度大小, f_{avg} 表示所有个体的平均适应度大小。

2.2.5 交叉操作

交叉操作是遗传算法中重要的一个步骤, 其源于通过染色体交叉互换基因繁殖后代的基本原理, 在航材集装箱装载问题中最常见的是部分映射交叉方式, 本文采用两点交叉方式, 即在个体编码串中随机选取两个交叉点, 进行基因的互换, 基因互换后生成两个新的个体, 如图 6 所示。

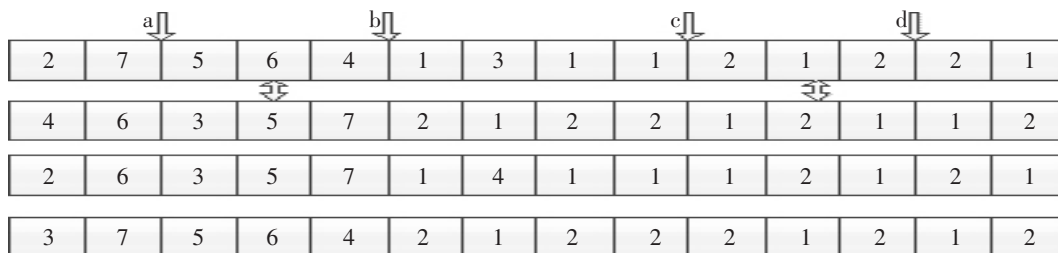


图 6 交叉操作示意图

2.2.6 变异操作

遗传算法中的变异是通过对个体本身染色体的变换形成的, 其原理等同于生物进化过程中的变异, 经过自身变化形成了新的个体。在精英个体保留基础上, 常用变异方法有单点变异, 两点顺序逆转变异, 双点变异等^[5]。本文变异操作过程如图 7 所示:

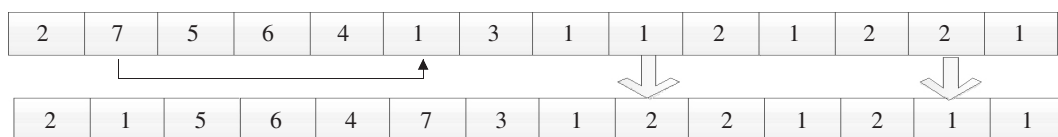


图 7 变异示意图

3 算例分析

现有航材货物 20 件, 其基本信息如表 2 所示:

航材集装箱的内外部尺寸, 最大装载容积, 最大装载质量等数据见表 3, 要求将这些货物合理的装载到集装箱。

根据本文提出的混合遗传算法利用 MATLAB 计算装载方案, 各项初始参数取值如下: 群体规模 $N=30$, 交叉概率 $P_c=0.95$, 变异概率 $P_m=0.01$, 算法迭代到 62 代时得到了全局的最优解。优化装载方案结果如下:

按照启发式规则的改进遗传算法, 航材货物在集装箱中分两层装载, 第一层货物编号为 6、2、3、4、15、1、7, 方向编号为 1、2、2、2、2、2、2; 第二层装载货物编号为 13、10、8、14、5、9、12、11、20, 方向编号为 2、1、2、2、2、1、2、1、1, 航材集装箱装载容积利用率为 89.41%, 应用本文算法的装载问题进化图如图 8 所示。

本文将改进算法和传统遗传算法以及模拟退火法结果进行比对, 结果如表 4 所示:

由表 4 可知本文的方法能够有效提升空间利用率并缩短优化方案生成时间, 可以有效应用并解决航材货物装载问题。

4 结束语

在航材物资储运工作中, 为充分发挥集装箱运输的优势, 除了要有良好的运输设备和搬运设备外, 还应该提高集装箱的利用率。本文采用混合遗传算法对这类问题进行求解, 方法简单易行, 其结果可为指挥决策提供科学的依据, 从而大大提高后勤保障能力和储运效率。

表 2 航材货物参数

货物编号	L/mm	W/mm	H/mm	g/kg	货物编号	L/mm	W/mm	H/mm	g/kg
1	1 560	680	960	1 210	11	1 000	540	963	1 043
2	1 700	765	1 100	1 250	12	1 800	1 400	1 054	1 145
3	1 612	1 570	975	1 655	13	2 280	612	998	1 027
4	2 206	820	1 000	1 287	14	900	470	850	1 165
5	600	336	875	867	15	700	660	990	822
6	2 208	517	969	1 027	16	1 124	690	760	840
7	1 900	1 205	988	925	17	665	669	1 324	670
8	908	760	1 000	935	18	789	990	920	763
9	530	409	978	885	19	1 200	1 235	730	765
10	1 320	509	885	933	20	850	663	1 000	1 038

表 3 航材集装箱参数

货物编号	L/mm	W/mm	H/mm	g/kg	V/m ³
内部尺寸	6 058	2 438	2 438	18 000	29.6
外部尺寸	5 867	2 300	2 197		

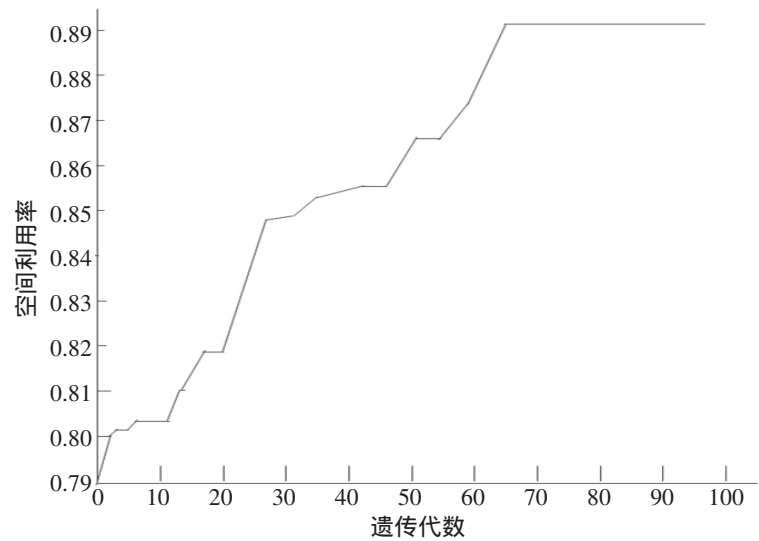


图 8 航材集装箱装载问题进化图

表 4 计算结果比较

算 法	空间利用率 (%)	方案生成时间/s
改进遗传算法	89.41	16
传统遗传算法	80.26	35
模拟退火算法	78.35	41

参考文献：

[1] 徐贤胜,王帅. 基于遗传算法的船装载方案[J]. 军事运筹与系统工程, 2008(6):40-44.
[2] 张韵,衡红军,杨晓雪. 航空货运装载问题算法设计与研究[J]. 计算机工程, 2005(7):28-30.
[3] 陈德良,陈治亚. 三维装箱问题的智能启发式算法[J]. 中南林业科技大学学报, 2009,29(3):134-137.
[4] 李书全,孙雪,孙德辉. 遗传算法中的交叉算子的述评[J]. 计算机工程与应用, 2012,48(1):36-39.
[5] 梁文静,袁源. 多品种空投小件装载优化建模[J]. 火力指挥与控制, 2016,41(2):1-3.
[6] 杨广权,马玉坤,刘飞. 基于遗传算法的集装箱装车配载方案的优化[J]. 中国铁道科学, 2014,35(6):124-129.