

基于多目标蝗虫算法的航材分配模型

孙绳山^a, 徐常凯^b, 阎薪宇^b

(空军勤务学院 a.研究生大队 b.航材四站系, 江苏 徐州 221000)

摘要: **目的** 为了进一步优化航材库存结构, 解决多目标航材分配问题, 提高航材保障工作决策的效率。

方法 建立基于费用和分配满意度的多目标航材分配模型, 运用先进的群体智能算法——蝗虫算法求解。

结果 算例分析表明, 在3种求解算法中, 蝗虫算法所求出来的解, 既使得航材分配过程中所需成本最低, 又保证了航材股满意度处于较高水平。同时, 将算法运行10次, 蝗虫算法的求解时间平均值和方差分别为4.01 ms和11.5 ms, 明显优于传统的群智能算法粒子群和NSGA-II算法的求解效率。**结论** 蝗虫算法能够有效地解决多目标航材分配问题, 对于优化航材库存, 平衡航材数量具有重要的现实意义。

关键词: 多目标; 蝗虫算法; 航材; 分配

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)21-0266-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.21.037

Allocation Model of Air Materials Based on Multi-Objective Grasshopper Optimization Algorithm

SUN Sheng-shan^a, XU Chang-kai^b, YAN Xin-Yu^b

(a. Brigade of Postgraduate b. Department of Air Material and Four Station, Air Force Logistics Academy, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: The work aims to optimize air material inventory structure and solve the problem of multi-objective air material allocation which is helpful to improve the efficiency of air material support decision-making. A multi-objective air material allocation model was established based on cost and allocation satisfaction. The advanced intelligent algorithm-GOA was adopted to solve it. The example analysis showed that among the three algorithms, the results solved by grasshopper optimization algorithm not only minimized the cost in air material allocation, but also guaranteed high satisfaction of air material stocks. At the same time, the three algorithms were executed ten times. The mean and variance of grasshopper optimization algorithm were 4.01 ms and 11.5 ms. It was evidently superior to solution efficiency of the traditional group of particle swarm intelligence algorithm and the NSGA-II algorithm. GOA can effectively solve the problem with the allocation of multi-objective air materials. It has practical significance for optimizing air material inventory and balancing air material quantity.

KEY WORDS: multi-objective; grasshopper optimization algorithm; air material; allocation

从近几年清查全空军航材库存数据来看, 航材库存问题日益凸显。从清查结果发现, 存在同一机型同种航材库存不均衡的状态。以往航材保障模式中, 出

现库存短缺时, 常常依靠补充订货来解决, 这种解决办法只能在一定程度上做到局部最优。习惯性地补充订货, 缺乏空军、战区整体库存优化的思想, 甚至造

收稿日期: 2021-03-27

作者简介: 孙绳山(1996—), 男, 空军勤务学院硕士生, 主攻航材保障决策与信息化。

通信作者: 徐常凯(1971—), 男, 博士, 空军勤务学院教授、硕导, 主要研究方向为控制科学与工程。

成航材保障经费的浪费,拉长航材补充周期,降低航材保障效能。

纵观空军航材库存管理工作,有必要探索一种新的航材库存分配模式,试图打破现有体制限制,在掌握航材库存数据的基础上,探索同类航材的库存智能分配机制。航材的库存智能分配指场站航材股向上级发出申请,同时人为地赋予航材管理信息系统分配权限,无需审批,通过智能优化算法寻优自动分配航材的过程。航材智能分配是基于各航材股航材需求现状的库存再平衡,本质上是 N-P 问题的一种,需要借助智能算法进行求解寻优。2017 年,Shahrazad Saremi 等^[1]提出了蝗虫算法(Grasshopper Optimization Algorithm, GOA),该算法模拟蝗虫在自然界的行解决优化问题,在一组包括 CEC2005 的测试数据上从定性和定量两方面验证了模型的性能,最终结果表明,GOA 在求解未知搜索空间比 PSO、BA 等算法提供的结果更好。随后, Seyedeh Zahra Mirjalili 等^[2]提出多目标蝗虫优化算法(Multi-Objective Grasshopper Optimization Algorithm, MOGOA),并且逐步应用于机器人路径规划^[3]、无人机群航迹规划^[4]等研究。文中创新性地利用 MOGOA 算法的优势^[5],将其运用在多目标航材分配问题上,优化航材库存结构。

1 航材分配模型

文中研究稳定状态下的航材智能分配问题,做几点假设^[6-8]:航材需求相对稳定,波动较少,各航材需求相互独立;当库存航材数量允许时,各场站航材股之间可以横向调拨航材;缺少航材直接导致飞机停飞。

1.1 优先级因子

优先级因子的设立是为了在一定程度上限制航材智能分配的先后顺序。本着“支援距离短,隶属关系近”的优先原则,用 p 表示, p 值越大,优先级越高。

$$p_{ij} = \frac{\max\{d_{ij}\} - d_{ij}}{\max\{d_{ij}\} - \min\{d_{ij}\}} \times \frac{1}{a_{ij}} \quad (1)$$

式中: d_{ij} 为航材股 $i(i=1,2,\dots,n)$ 与支援单位 $j(j=1,2,\dots,m)$ 之间的距离; a_{ij} 为二者之间的隶属度,隶属度越近, a 值越小。

1.2 航材分配满意度

航材分配满意度是分配到场站航材股的航材使航材股保障人员满意的程度,用 r 表示, r 值越大,满意度越大^[9]。

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l x_{ijk}}{\sum_{k=1}^l D_{ik}} \quad (2)$$

式中: x_{ijk} 为支援单位 j 向航材股 i 实际支援第 k 种航材的数量; D_{ik} 为航材股 i 需要第 k 种航材的数量。

1.3 模型建立

当航材股发生航材短缺时向上级主管部门申领航材,以分配所需经费最小,航材股满意度最大为目的,结合航材保障实际,建立如下多目标航材分配模型。

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l c_{ijk} x_{ijk} \quad (3)$$

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} r_i \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l x_{ijk} \geq \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l D_{ik} & (5) \\ r_{ij} \geq r_0 & (6) \\ 0 \leq x_{ijk} \leq x_{ijk}^{\text{上限}}, x_{ijk} \in Z & (7) \end{cases}$$

式中: c_{ijk} 为分配航材的保障费用(成本费、运输费等),式(3)表示分配过程中保障经费最小;式(4)考虑了优先级,使满意效果最佳;式(5)表示支援补充的航材数量高于各航材股所申领的航材数量;式(6)表示航材股的满意度不低于 r_0 ;式(7)限制分配的航材数量为非负整数。当 $D_{ik}=0$ 时, x_{ijk} , r_{ij} 均取 0^[1-11]。

2 模型求解

2.1 蝗虫算法

GOA 算法是蝗虫在自然界中行为的仿生,蝗虫个体在群体中的位置代表给定优化问题的可行解^[12],表示为:

$$Y_i = S_i + G_i + A_i \quad (8)$$

式中: S_i 为群体对第 i 只蝗虫的影响; G_i 为第 i 只蝗虫自身重力的影响; A_i 为风速对第 i 只蝗虫的影响。

对式(8)的计算做具体说明如下。

1) 群体影响 S_i :

$$S_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N s(d_{ij}^*) \hat{d}_{ij}^* \quad (9)$$

式中: N 为蝗虫数量; d_{ij}^* 为蝗虫 i, j 之间的距离, $d_{ij}^* = |y_j - y_i|$; $\hat{d}_{ij}^*$ 为蝗虫 i 到蝗虫 j 的单位向量,

$\hat{d}_{ij}^* = \frac{y_j - y_i}{d_{ij}^*}$; $s(d_{ij}^*)$ 为群体影响度函数, $s(d_{ij}^*) =$

$f e^{\frac{d_{ij}^*}{L} - e^{-d_{ij}^*}}$; f 为群体吸引度参数; L 为吸引长度比例参数^[13]。

2) 重力的影响 G_i :

$$G_i = -g \hat{e}_g \quad (10)$$

式中: g 为引力常量; $\hat{e}_g$ 为指向地球中心的单位

向量。

3) 风速影响 A_i :

$$A_i = u\hat{e}_w \quad (11)$$

式中: u 为漂移常量; $\hat{e}_w$ 为风速的单位向量。

为提高全局寻优能力,上述模型应在不同优化阶段设定参数,其位置更新表达式为:

$$Y_i^d = c \left(\sum_{j=1}^N c \frac{ub_d - lb_d}{2} s(|y_j^d - y_i^d|) \frac{y_j - y_i}{d_{ij}^*} \right) + \hat{T}_d \quad (12)$$

式中: ub_d 和 lb_d 分别为 d 维变量的上界和下界; $\hat{T}_d$ 为 d 维空间目前发现的最优解; c 为减少舒适区、排斥区、吸引区范围的系数^[14]。

2.2 多目标蝗虫算法

MOGOA 算法本质是采用蝗虫算法解决多目标优化问题。单目标优化只需将目标函数作为适应度函数,在一定规则下寻优,而多目标蝗虫优化要以 2 个及以上的目标函数为适应度函数在多维空间寻优,文中通过 Pareto 支配选择出最优解^[15],具体求解流程见图 1。

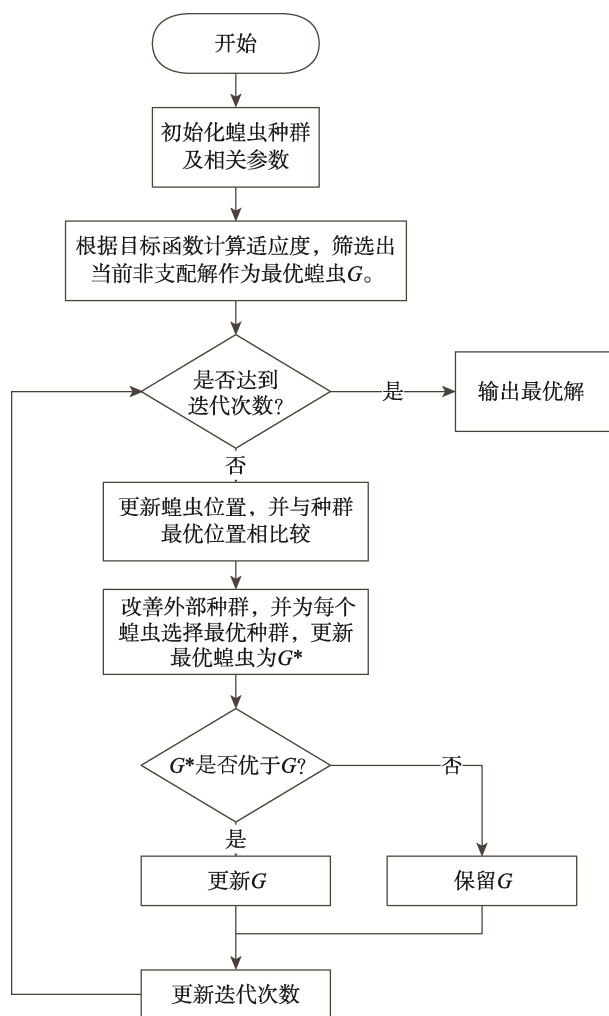


图 1 MOGOA 优化流程
Fig.1 MOGOA optimization flow

3 算例分析

以某战区航材保障架构为例,假设该战区内存在 2 个战役仓库 I、II,航材股 A 和航材股 B 保障同机型飞机,航材股 A 缺少航材 1 和航材 2 这 2 种航材,航材股 B 缺少航材 1 和航材 3 这 2 种航材,二者同时向上级申领航材。设航材股与航材股之间的隶属度为 3,航材股与仓库隶属度为 1,航材股满意度参考航材保障军事经济效益分析结果^[6]并考虑航材保障实际设为 0.85,其他相关数据见表 1—4。

表 1 航材需求数据
Tab.1 Data on demand for air material

航材	航材 1	航材 2	航材 3
航材股 A	5	3	0
航材股 B	6	0	8

表 2 航材最大供应量 $x_{\text{上限}}$
Tab.2 Maximum supply of air materials $x_{\text{上限}}$ 件

航材	仓库 I	仓库 II	航材股 A	航材股 B
航材 1	7	5	0	0
航材 2	9	12	0	11
航材 3	14	9	6	0

表 3 航材供应保障费用 c (航材股 A/航材股 B)
Tab.3 Cost of air material support c (air material stock A/air material stock B) 百元/件

航材	仓库 I	仓库 II	航材股 A	航材股 B
航材 1	17/20	18/13	0/12	17/0
航材 2	14/19	17/11	0/16	9/0
航材 3	13/18	22/19	0/11	19/0

表 4 各单位之间的距离 d
Tab.4 Distance between units d km

航材	仓库 I	仓库 II	航材股 A	航材股 B
航材股 A	435	763	0	224
航材股 B	582	361	224	0

通过 Matlab 2017a 编程实现了航材智能分配模型的求解,将 3 种算法的种群规模均设置为 200,NSGA-II 和 MOPSO 算法的迭代次数取为 300,MOGOA 算法的迭代次数取为 100,与前 2 种算法形成对比。群体吸引度参数 $f=0.5$,吸引长度比例参数 $F=1.5$,减少舒适区、排斥区、吸引区范围的系数 $c \in (4 \times 10^{-5}, 1)^{[2]}$ 。用 3 种算法求解模型后,得到的结果见图 2,其中 f_1 为目标函数(3), f_2 为目标函数(4)。

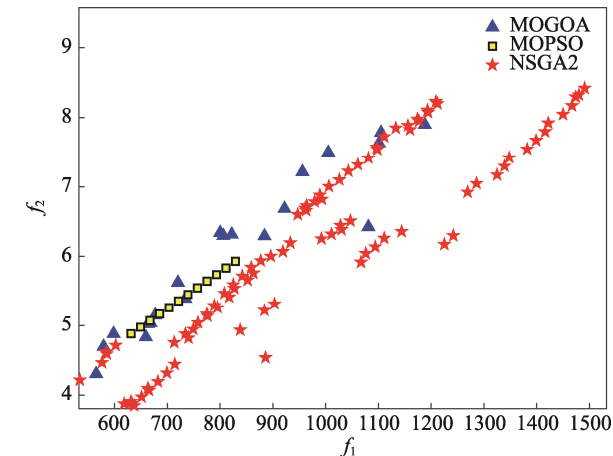


图 2 航材智能分配最优解分布
Fig.2 Optimal solution for intelligent allocation of air materials

文中从收敛性、均匀性、分布性等 3 方面考查 MOGOA 算法求解航材分配模型。由图 2 可知，MOGOA 算法所求得解不受其他解支配，具有最好的收敛性；MOGOA 算法在空间内分布均匀，而 MOPSO 算法分布最差。由此可知，MOGOA 算法具有良好的局部搜索能力和全局寻优能力。此外，通过对 MOGOA^[16]，MOPSO^[17]，NSGA-II^[18]分别进行 10 次仿真，计算各自求解所需要的时间，结果见表 5。由表 5 可知，MOGOA 运算时间较短，为后续空军范围内航材智能分配奠定了良好基础。

表 5 运行时间结果 Tab.5 Run-time results				ms
算法	MOGOA	MOPSO	NSGA-II	
AVR	4.01	9.25	8.73	
STD	11.5	25.2	23.9	

4 结语

在同机型同类航材数量足够的情况下，允许航材股与航材股之间发生横向调拨，考虑了支援距离的远近、隶属度的大小、航材股的满意度等因素建立了多目标航材分配模型。将蝗虫优化算法引入航材分配实际问题解决过程中，并与其他群智能算法相比较，实例分析表明，蝗虫算法在求解航材分配多目标规划问题上具有搜索全局和局部最优解的能力，优化了航材的库存结构，缓解了“缺货立即订货”的问题，为下一步建立空军航材智能调拨系统奠定了基础。

参考文献：

[1] SHAHRZAD S, SEYEDALI M, ANDREW L. Grasshopper Optimization Algorithm: Theory and Applica-

tion[J]. Advances in Engineering Software, 2017, 105(1): 30—47.

[2] SEYEDDEH Z M, SEDEDALI M, SHAHRZAD S, et al. Grasshopper Optimization Algorithm for Multi-Objective Optimization Problems[J]. Appl Intell, 2018, 48(8): 805—820.

[3] 黄超, 梁圣涛, 张毅, 等. 基于多目标蝗虫优化算法的移动机器人路径规划[J]. 计算机应用, 2019, 39(10): 2859—2864.

HUANG Chao, LIANG Sheng-tao, ZHANG Yi, et al. Path Planning of Mobile Robot Based on Multi-Objective Grasshopper Optimization Algorithm[J]. Journal of Computer Applications, 2019, 39(10): 2859—2864.

[4] 陈涛, 李由之, 黄湘松. 基于改进 MOGOA 的无人机群航迹规划研究[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2020, 53(9): 967—975.

CHEN Tao, LI You-zhi, HUANG Xiang-song. Research on UAV Group Path Planning Based on Improved MOGOA[J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2020, 53(9): 967—975.

[5] ALAA T, ESSAM H H, MOHAMMED M A, et al. MOGOA Algorithm for Constrained and Unconstrained Multi-Objective Optimization Problems[J]. Appl Intell, 2018, 48(11): 2268—2283.

[6] 何亚群, 史霄霏. 航材保障学[M]. 徐州: 空军勤务学院, 2015: 116—120.

HE Ya-qun, SHI Xiao-pei. Air Material Support Science[M]. Xuzhou: Air Force Logistics University, 2015: 116—120.

[7] 邵雨晗, 辛后居, 徐启丰, 等. 航空装备携行配置优化研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(9): 68—72.

SHAO Yu-han, XIN Hou-ju, XU Qi-feng, et al. Research on Optimization of Aviation Equipment Portability Allocation[J]. Computer Simulation, 2016, 33(9): 68—72.

[8] 蔡芝明, 金家善, 陈砚桥, 等. 基于关键性的备件库存配置优化模型[J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(8): 1765—1773.

CAI Zhi-ming, JIN Jia-shan, CHEN Yan-qiao, et al. Optimization Model of Spare Parts Inventory Allocation Based on Key Points[J]. Systems Engineering and Electronics, 2017, 39(8): 1765—1773.

[9] 陈明天. 突发自然灾害救灾物资分配优化决策研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012: 25—26.

CHEN Ming-tian. Research on Optimal Decision of Relief Materials Allocation in Sudden Natural Disasters[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012: 25—26.

[10] 张家维, 李昊. 多目标蚁狮算法在航材配置优化中的应用研究[J]. 计算机仿真, 2019, 36(7): 71—74.

- ZHANG Jia-wei, LI Hao. Application of Multi-objective Ant-Lion Algorithm in Air Material Allocation Optimization[J]. Computer Simulation, 2019, 36(7): 71—74.
- [11] 张斯嘉, 郭建胜, 钟夫, 等. 基于费用与完好性的多目标航材存储决策优化[J]. 计算机仿真, 2015, 32(9): 124—127.
- ZHANG Si-jia, GUO Jian-sheng, ZHONG Fu, et al. Multi-Objective Air Material Storage Decision Optimization Based on Cost and Integrity[J]. Computer Simulation, 2015, 32(9): 124—127.
- [12] PREETI R S, PRAKASH K H, SIDHARTHA P. Comparison of Grasshopper and Whale Optimization Algorithm for Design of FACTS Controller with Power System Stabilizer[C]// 5th IEEE International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing(PDGC-2018), Solan India, 2018: 20—22.
- [13] TALAAT M, HATATA A Y, ABDULAZIZ S. A, et al. A Smart Load Management System Based on the Grasshopper Optimization Algorithm Using the Under-Frequency Load Shedding Approach[J]. Energy, 2020, 190(1): 1—25.
- [14] TANG Rong, LI Ke, DONG Wei, et al. Reference Point Based Multi-Objective Optimization of Reservoir Operation: a Comparison of Three Algorithms[J]. Water Resources Management, 2020, 34(3): 1005—1020.
- [15] 温海骏, 李清, 邵延君, 等. 基于 Pareto 排序法的战时装备维修任务多目标调度方法[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(11): 146—150.
- WEN Hai-jun, LI Qing, SHAO Yan-jun, et al. Multi-objective Scheduling Method for Wartime Equipment Maintenance Task Based on Pareto Sort Method[J]. Fire Control and Command Control, 2017, 42(11): 146—150.
- [16] SRINIVASA R G, KIRAN J, PREETHAM G, et al. Grasshopper Optimization Algorithm Based Two Stage Fuzzy Multi-Objective Approach for Optimum Sizing and Placement of Distributed Generations, Shunt Capacitors and Electric Vehicle Charging Stations[J]. Journal of Energy Storage, 2020, 27(2): 1—13.
- [17] ZHAO Wan-zhong, LUAN Zhong-kai, WANG Chun-yan. Parameter Optimization Design of Vehicle E-HHPS System Based on An Improved MOPSO Algorithm[J]. Advances in Engineering Software 2018, 123(9): 51—61.
- [18] GUPTA R, NANDA S J. Vector-Angle Penalized NSGA-III to Solve Many-Objective Optimization Problems[J]. Electronics Letters, 2019, 55(4): 198—200.
- [19] 肖燕, 周康渠, 田帅辉, 等. JMI 方式下供应链利益分配模型研究[J]. 包装工程, 2010, 31(9): 113—116.
- XIAO Yan, ZHOU Kang-qu, TIAN Shuai-hui, et al. Research on Profit Allocation Model for Supply Chain Based on JMI[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(9): 113—116.
- [20] ZHANG Zhu-hong, WANG Lei, LONG Fei. Immune Optimization Approach Solving Multi-Objective Chance-Constrained Programming[J]. Evolving Systems, 2015, 6(6): 41—53.