

基于直觉模糊与模拟退火遗传算法的多阶段任务军机选派模型

任恒^{1,2}, 张亮¹

(1. 空军工程大学装备管理与无人机工程学院, 西安, 710051; 2. 95855 部队, 北京, 102600)

摘要 面向战训任务科学合理选派军机是确保任务成功性的重要支撑。针对多阶段任务军机选派问题具有的不确定性评估、组合优化特点,在构建任务军机适战能力评估指标体系的基础上,基于直觉模糊与群层次分析法确定不同任务科目的军机适战能力;然后,以最大化多阶段任务体系适战能力为目标,基于模拟退火遗传算法实现了多阶段任务军机组合优化选派。通过实例分析,验证了模型方法的有效性,为部队多阶段任务军机选派提供决策支撑。

关键词 直觉模糊;模拟退火遗传;多阶段任务;适战能力;军机选派

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2021.06.009

中图分类号 V37 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2021)06-0055-06

Research on the Multi-Phase Mission Aircraft Selection Based on Intuitional Fuzzy and Simulated Annealing Genetic Algorithm

REN Heng^{1,2}, ZHANG Liang¹

(1. Equipment Management and Unmanned Aerial Vehicles Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Unit of 95855, Beijing 102600, China)

Abstract Being geared to the operation-training mission, the scientific and reasonable selection of mission aircraft is an important support to ensure the success of the mission. In view of the characteristics of fuzzy evaluation and combinatorial optimization for multi-stage mission aircraft selection, based on the evaluation index system of mission aircraft combat fitness, the combat fitness of different mission subjects is evaluated based on intuitional fuzzy and group analytic hierarchy process (AHP). Then, based on the simulated annealing genetic algorithm, the aircraft selection for multi-phase mission system is realized with the target of combat adaptability of multi-phase mission system. The validity of the model method is verified by case analysis, providing decision support for multi-phase mission aircraft selection in the first-line troops.

Key words intuitional fuzzy; simulated annealing genetic; multi-phase mission; combat ability; the aircraft selection

当前,随着实战化要求的不断提高,多点保障、机动保障成为新常态,科学合理选派任务军机、提高

收稿日期: 2021-05-26

基金项目: 国家社会科学基金西部项目(19XGL029);全军军事类研究生资助课题(YJ2019B133)

作者简介: 任恒(1993—),男,陕西西安人,硕士生,研究方向为航空装备保障。E-mail:1837718764@qq.com

引用格式: 任恒,张亮.基于直觉模糊与模拟退火遗传算法的多阶段任务军机选派模型[J].空军工程大学学报(自然科学版),2021,22(6):55-60. REN Heng, ZHANG Liang. Research on the Multi-Phase Mission Aircraft Selection Based on Intuitional Fuzzy and Simulated Annealing Genetic Algorithm[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2021, 22(6): 55-60.

军机与战训任务的匹配度,是确保任务成功率的关键,已成为航空兵部队装备战勤工作的重要内容。传统上,任务军机选派只考虑单阶段任务或单一科目的适战能力并直接择优遴选,不适应轮战轮训等较长周期的多阶段任务军机选派决策需求。多阶段任务军机选派的关键在于不同任务科目下军机适战能力的评估以及任务军机的组合优化。

在适战能力评估研究方面,近年来,许多学者对任务军机的作战使用能力进行了分析研究,文献[1~2]以军机平台固有特性为研究对象,建立评估指标体系,对军机的作战使用能力进行了分析研究。上述研究主要集中在军机固有特性和保障资源对军机作战使用能力的影响,并未涉及不同任务科目对军机适战能力差异化要求的研究。任务军机适战能力评估本身是一个定性定量相结合的异质多属性决策问题。对于异质多属性决策问题的研究,目前主要采用物元可拓^[3]、模糊数学^[4]和灰色聚类^[5]等方法,这些方法在对于定性指标的处理过程中,指标属性值的完整性难以得到很好的保留,导致部分指标信息的缺失。而直觉模糊理论,对指标属性值从隶属度和非隶属度两个方面进行描述,能够科学刻画定性指标所携带的信息,较好解决异质多属性决策问题。在组合优化方面,当前主要采用模拟退火^[6-7]、遗传算法^[8-9]、粒子群算法^[10]、蚁群算法^[11]、局部搜索^[12]等智能算法,这些算法在组合优化方面均有一定的优势,单一使用则存在优化效率低下或者非全局最优搜索不全面的缺陷。为克服这个问题,本文拟采用模拟退火与遗传算法相结合的方法,在全局搜索的情况下,提高优化效率。

1 多阶段任务军机选派问题描述

假设某作战单元有 K 架军机,需从中选出 p 架军机执行 n 个阶段的战训任务,任务阶段集合为 $M=[M_1, M_2, \dots, M_n]$ 。根据任务内容特点,可将任务划分为 m 个任务科目,记为 $T=[T_1, T_2, \dots, T_m]$,每一科目类型对军机数量需求集合为 $S=[S_1, S_2, \dots, S_m]$,单一任务阶段包含一个或者多个任务科目,其中任务阶段-任务科目-军机需求的映射关系如图1所示。

根据以上假设,多阶段任务军机选派可以用如下模型表示:

$$f(x) = \max \left[\lambda_1 \sum_{j=1}^{S_1} A_{1j} (1 - X_{1j}) + \lambda_2 \sum_{j=1}^{S_2} A_{2j} (1 - X_{2j}) + \dots + \lambda_n \sum_{j=1}^{S_n} A_{nj} (1 - X_{nj}) \right]$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} 0 < A_{ij} < 1 \\ S_i \leq p, (i = 1, 2, \dots, n) \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$X_{nj} = \begin{cases} 1, \text{第 } j \text{ 架飞机未被选中执行第 } n \text{ 型科目} \\ 0, \text{第 } j \text{ 架飞机被选中执行第 } n \text{ 型科目} \end{cases}$$

其中: $f(x)$ 称为多阶段任务军机体系适战能力值,该数值越大越好; $\lambda_i = d_i / \sum_{i=1}^n d_i$, 且满足 $\sum_{i=1}^n d_i = N$, d_i 为任务周期内第 i 个科目的任务阶段占有数; S_i 为第 i 个任务科目所需任务军机数量,同一任务科目在任一任务阶段所需的军机数量均相同; A_{ij} 为第 j 架军机对 i 科目的适战能力值,该值越大表示军机与任务匹配度越高,越适合执行该任务。

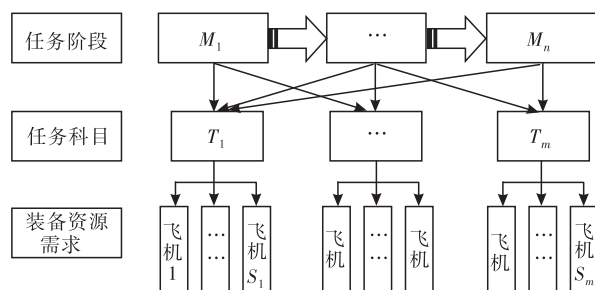


图1 任务阶段-任务科目-装备资源分解模型

通过上述模型,可以看出多阶段任务军机选派研究问题的关键在于:①建立评估指标体系,评估单架军机对单个科目的适战能力值 A ;②在任务类型和时间占比条件约束下,求解 $\max f(x)$ 。

基于此,本论文结合直觉模糊理论,对评估指标属性值进行处理,评估单机单科目适战能力水平;运用模拟退火遗传算法寻优,求解多阶段任务军机体系适战能力最优值。

2 基于直觉模糊的任务军机适战性评估

2.1 任务军机适战能力评估指标体系及规范化

根据当前部队战训保障实际,在充分调研和分析论证的基础上,以系统性、独立性和关键性为原则,选取了11个指标作为任务军机适战性的评估指标,见表1。指标体系的选择综合考虑了各个任务类型对任务军机的能力需求。

评估指标属性值从数据类型上分为区间数和语言描述两类,从数据影响上分为效益型和成本型两类,效益型指标用 B 表示,成本型指标用 C 表示,指标体系对应的数据类型见表1。根据属性值类型的不同,对评估指标进行规范化处理,将其统一转化为直觉模糊数。

表 1 作战军机适战性评估指标体系

目标层	准则层	指标层	指标类型	分类	描述
任务军机适战能力综合评估	平台适战能力 B_1	军机余寿百分比 C_1	定量	B	军机阶段剩余寿命与阶段总寿命的占比
		发动机余寿百分比 C_2	定量	B	发动机阶段剩余寿命在阶段总寿命的占比
		发动机性能 C_3	定性	B	发动机推力大小和各状态工作情况的定性判断
		故障率 C_4	定量	C	过去半年内军机因故障影响任务执行情况
		可操纵性 C_5	定性	B	军机横向操纵性和非对称状态操纵能力的定性判断
		预期维修工作量 C_6	定量	C	任务前开展的预防性维修工作所需耗费工时
		梯次使用优先度 C_7	定性	B	军机年度梯次使用寿命裕度的定性判断
	任务适战能力 B_2	电子战能力 C_8	定性	B	电子战系统干扰和反干扰能力的定性判断
		隐身能力 C_9	定性	B	军机隐身涂层完好情况和 RCS 水平的定性判断
		武器系统能力 C_{10}	定性	B	武器系统搜索、跟踪和控制能力的定性判断
		雷达搜索能力 C_{11}	定性	B	雷达搜索距离、截获距离和跟踪能力的定性判断

对于区间数评估指标^[13],假设第 i 个评估对象的第 j 个指标属性值为 $r_{ij} = (r_{ij}^L, r_{ij}^U)$

当 $r_{ij} \in B$,则有:

$$\tilde{r}_{ij} = (\tilde{r}_{ij}^L, \tilde{r}_{ij}^U) = \left(\frac{r_{ij}^L}{\sum_{i=1}^m r_{ij}^L}, 1 - \frac{r_{ij}^U}{\sum_{i=1}^m r_{ij}^U} \right) \quad (2)$$

当 $r_{ij} \in C$,则有:

$$\tilde{r}_{ij} = (\tilde{r}_{ij}^L, \tilde{r}_{ij}^U) = \left(\frac{1/r_{ij}^U}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{r_{ij}^U}}, 1 - \frac{1/r_{ij}^L}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{r_{ij}^L}} \right) \quad (3)$$

对于语言类评价信息,根据语言描述中反映出来的专家的偏好信息,将其划分为 9 个等级,分别与直觉模糊数相对应,对应关系如表 2 所示。

表 2 语言变量与直觉模糊数的对应关系

语言变量	标记	直觉模糊数
极差/极低	EP/EL	(0.05, 0.95)
非常差/非常低	VP/VL	(0.15, 0.80)
差/低	P/L	(0.25, 0.65)
偏差/偏低	MP/ML	(0.35, 0.55)
一般/中等	F/M	(0.50, 0.40)
偏好/偏高	MG/MH	(0.65, 0.25)
好/高	G/H	(0.75, 0.15)
非常好/非常高	VG/VH	(0.85, 0.10)
极好/极高	EG/EH	(0.95, 0.05)

综上,则可得 K 架军机, m 个评价指标的初始能力直觉模糊评估矩阵 $F_{m \times k}$,其中 $F_{ij} = \tilde{r}_{ij}, \mu_{ij} = \tilde{r}_{ij}^L, \nu_{ij} = \tilde{r}_{ij}^U$ 。

$$F = (F_{ij})_{m \times k} = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & \dots & P_k \\ \langle \mu_{11}, \nu_{11} \rangle & \langle \mu_{12}, \nu_{12} \rangle & \dots & \langle \mu_{1k}, \nu_{1k} \rangle \\ \langle \mu_{21}, \nu_{21} \rangle & \langle \mu_{22}, \nu_{22} \rangle & \dots & \langle \mu_{2k}, \nu_{2k} \rangle \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \langle \mu_{m1}, \nu_{m1} \rangle & \langle \mu_{m2}, \nu_{m2} \rangle & \dots & \langle \mu_{mk}, \nu_{mk} \rangle \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 指标权重确定

1)不同任务科目下评估指标差异化赋权。当前,军机任务科目类型主要包括近距空战、空战对抗、战斗值班、非制导武器地靶、制导武器地靶和空靶 6 类。同一军机对不同任务科目的适战能力是不同的,比如:在空战对抗任务科目中,机群配合和中距弹的使用是制胜关键,所以雷达电子战系统性能和武器系统性能是军机选派考虑的重点因素;在战斗值班任务科目中,雷达电子战系统和载机稳定性是完成任务的关键,所以雷达电子战系统性能和军机载机稳定性是军机选派考虑的重点因素。针对多阶段任务不同科目类型特点,论文通过不同任务下指标权重的差异化赋值方案,区分同一军机在不同任务科目下的适战能力大小。

2)群决策层次分析法确定指标权重。由于不同专家在知识背景、专业能力、任职年限和自身偏好等方面均存在差异,会影响指标权重的科学性,因此在指标赋权时邀请多位专家,根据每人给出判断矩阵的一致性情况,确定专家自身权重,最终通过群决策得出各任务科目指标的权重值。

$$p_i = 1 / (1 + \alpha R_i) \quad (5)$$

$$p_i^* = p_i / \sum_{i=1}^n p_i \quad (6)$$

$$\omega_k = \sum_{i=1}^n p_i^* \omega_k^i \quad (7)$$

式中:参数 α 一般取 10; R_i 为专家 i 给出权重矩阵的一致性情况值; p_i^* 为归一化之后专家自身权重值; ω_k 为指标 k 的群决策权重值; ω_k^i 为专家 i 对第 k 个指标的权重赋值。

3)任务科目权重矩阵。由以上公式可得各科目类型下评估指标权重矩阵 $\omega_{n \times m}$,如表 3 所示。

表3 任务科目指标权重矩阵

科目	指标										
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
T ₁	0.057 3	0.040 3	0.051 6	0.168 7	0.103 0	0.073 0	0.074 6	0.055 3	0.147 2	0.123 7	0.105 3
T ₂	0.098 0	0.078 0	0.069 6	0.060 3	0.052 3	0.045 3	0.046 6	0.178 7	0.142 2	0.128 7	0.100 3
T ₃	0.074 6	0.055 3	0.083 0	0.093 0	0.057 3	0.040 3	0.051 6	0.137 2	0.133 7	0.100 3	0.173 7
T ₄	0.103 7	0.101 6	0.058 3	0.080 0	0.096 0	0.054 3	0.103 3	0.048 6	0.043 3	0.134 2	0.176 7
T ₅	0.093 7	0.095 6	0.054 3	0.084 0	0.092 0	0.058 3	0.099 3	0.052 6	0.039 3	0.158 2	0.172 7
T ₆	0.134 2	0.136 7	0.071 6	0.058 3	0.080 0	0.096 0	0.054 3	0.043 3	0.100 3	0.054 6	0.170 7

2.3 任务军机适战能力评估

根据层次分析法得出的指标权重结果,结合前面得到的任务军机初始能力直觉模糊评估矩阵,对任务军机能力进行评估,得到任务军机能力水平矩阵 \mathbf{A} 。

$$\tilde{\mathbf{A}} = \tilde{\mathbf{A}}_{n \times k} = \boldsymbol{\omega}_{n \times m} \tilde{\mathbf{F}}_{m \times k} = \begin{bmatrix} \langle \hat{\mu}_{11}, \hat{\nu}_{11} \rangle & \langle \hat{\mu}_{12}, \hat{\nu}_{12} \rangle & \cdots & \langle \hat{\mu}_{1k}, \hat{\nu}_{1k} \rangle \\ \langle \hat{\mu}_{21}, \hat{\nu}_{21} \rangle & \langle \hat{\mu}_{22}, \hat{\nu}_{22} \rangle & \cdots & \langle \hat{\mu}_{2k}, \hat{\nu}_{2k} \rangle \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \langle \hat{\mu}_{n1}, \hat{\nu}_{n1} \rangle & \langle \hat{\mu}_{n2}, \hat{\nu}_{n2} \rangle & \cdots & \langle \hat{\mu}_{nk}, \hat{\nu}_{nk} \rangle \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中:

$$\tilde{\mathbf{A}}_{ij} = \omega_i * \tilde{\mathbf{F}}_{*j} = \left(1 - \prod_{t=1}^m (1 - \mu_{ij}^{\omega_t}), \prod_{t=1}^m \nu_{ij}^{\omega_t} \right) \quad (9)$$

$$\mathbf{A}_{ij} = M(\tilde{\mathbf{A}}_{ij}) = \hat{\mu}_{ij} - \hat{\nu}_{ij} \quad (10)$$

3 基于遗传模拟退火算法的多阶段任务军机选派问题优化

在前面已经得到任务军机对任务科目适战能力的基础上,多阶段任务军机选派问题可以描述为组合优化问题。为使得选派军机综合适战能力最大化,论文采用模拟退火遗传算法^[14]对备选军机进行智能寻优,具体步骤如下:

1) 设定种群大小 sizepop 、最大进化次数 MAXGEN 、交叉概率 p_c 、变异概率 p_m 、退火初始温度 T_0 、温度冷却系数 k 、终止温度 T_{end} 等初始化控制参数;

2) 采用混沌序列法对种群进行初始化,得出初代;

3) 评价种群中个体的适应度,适应度函数如式(1),采用轮盘赌法和最大保留法,选择群体中优秀的个体形成新的种群;

4) 遗传算法搜索。根据设定的遗传控制参数,采用随机遍历抽样、单点交叉算子和随机选择方法,

对种群进行选择、交叉、变异操作;

5) 模拟退火优化。令 $T_0 = 1\ 000$, $k = 0.9$, $T_{i+1} = kT_i$,对遗传操作得出的群体进行模拟退火循环,寻找符合要求的个体集合;

6) 设置停止条件 $\text{MAXGEN} = 400$,若 $\text{gen} < \text{MAXGEN}$,返回迭代循环;否则结束循环,输出结果。

4 实例分析

某作战单元接到上级指示,计划从6架军机中选派3架前往某基地执行30天的轮战任务,此次任务共分3个阶段,分别为:值班警戒、空战训练和对地突击,各任务阶段在整个任务周期中时间占比为5:3:2。其中值班警戒主要执行战斗值班科目,空战训练主要执行近距空战、空战对抗和空靶科目,对地突击主要是非制导武器地靶和制导武器地靶科目。战斗值班、近距空战、空战对抗、空靶、非制导武器地靶和制导武器地靶中,各任务科目所需军机数量分别为3、2、2、1、2、2。

1) 根据选定的军机适战能力评估指标体系,通过收集军机技术状态数据和相关专家测评打分,得到6架军机的适战能力评估指标初始数据矩阵,如表4所示。

2) 根据式(2)、式(3)以及表2的评估指标规范化规则,可得备选军机评估指标规范化直觉模糊矩阵 \mathbf{F} ,如表5所示。

3) 根据得到备选军机评估指标直觉模糊矩阵结果,结合表3给出的不同任务类型的指标权重值和任务方案对任务科目类型的要求,运用式(8)和式(9)可计算得出备选军机任务能力加权直觉模糊矩阵,如表6所示。根据得到的任务能力加权直觉模糊矩阵,结合式(10)可得出备选军机任务能力水平矩阵,如表7所示。

表 4 备选军机评估指标初始数据矩阵

飞机号	指标										
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
P_1	(0.50,0.55)	(0.30,0.35)	MP	(0.10,0.15)	G	(4,6)	EG	G	MG	MG	MG
P_2	(0.40,0.45)	(0.50,0.55)	VG	(0.05,0.10)	G	(2,4)	VG	EG	EG	VG	VG
P_3	(0.30,0.35)	(0.40,0.45)	VG	(0.15,0.20)	MG	(8,10)	G	MG	P	MG	F
P_4	(0.20,0.25)	(0.20,0.25)	MP	(0.20,0.25)	F	(10,12)	F	MP	MG	G	MP
P_5	(0.35,0.40)	(0.60,0.65)	VG	(0.05,0.10)	G	(2,4)	G	G	MP	MG	F
P_6	(0.60,0.65)	(0.35,0.40)	VG	(0.10,0.15)	G	(8,10)	EG	EG	EG	VG	EG

表 5 备选军机评估指标规范化直觉模糊矩阵

指标	飞机号					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
C_1	<0.19,0.77>	<0.15,0.81>	<0.11,0.85>	<0.08,0.89>	<0.13,0.83>	<0.23,0.72>
C_2	<0.11,0.85>	<0.19,0.77>	<0.15,0.81>	<0.08,0.89>	<0.23,0.72>	<0.13,0.83>
C_3	<0.35,0.55>	<0.85,0.10>	<0.85,0.10>	<0.35,0.55>	<0.85,0.10>	<0.85,0.10>
C_4	<0.09,0.86>	<0.14,0.72>	<0.07,0.91>	<0.06,0.93>	<0.14,0.72>	<0.09,0.86>
C_5	<0.75,0.15>	<0.75,0.15>	<0.65,0.25>	<0.50,0.40>	<0.75,0.15>	<0.75,0.15>
C_6	<0.10,0.84>	<0.16,0.69>	<0.06,0.92>	<0.05,0.94>	<0.16,0.69>	<0.06,0.92>
C_7	<0.95,0.05>	<0.85,0.10>	<0.75,0.15>	<0.50,0.40>	<0.75,0.15>	<0.95,0.05>
C_8	<0.75,0.15>	<0.95,0.05>	<0.65,0.25>	<0.35,0.55>	<0.75,0.15>	<0.95,0.05>
C_9	<0.65,0.25>	<0.95,0.05>	<0.25,0.65>	<0.65,0.25>	<0.35,0.55>	<0.95,0.05>
C_{10}	<0.65,0.25>	<0.85,0.10>	<0.65,0.25>	<0.75,0.15>	<0.65,0.25>	<0.85,0.10>
C_{11}	<0.65,0.25>	<0.85,0.10>	<0.50,0.40>	<0.35,0.55>	<0.50,0.40>	<0.95,0.05>

表 6 备选军机任务能力加权直觉模糊矩阵

科目	飞机号					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
T_1	<0.600 9,0.305 2>	<0.823 1,0.145 1>	<0.510 7,0.390 6>	<0.432 3,0.464 2>	<0.563 9,0.327 1>	<0.849 7,0.133 2>
T_2	<0.587 2,0.326 7>	<0.768 7,0.181 2>	<0.468 1,0.433 3>	<0.427 1,0.472 2>	<0.519 1,0.364 2>	<0.806 2,0.169 0>
T_3	<0.570 8,0.336 4>	<0.770 1,0.183 7>	<0.472 9,0.430 3>	<0.426 8,0.473 0>	<0.528 4,0.363 1>	<0.798 4,0.172 1>
T_4	<0.510 7,0.390 6>	<0.427 1,0.472 2>	<0.587 2,0.326 7>	<0.768 7,0.181 2>	<0.849 7,0.133 2>	<0.519 1,0.364 2>
T_5	<0.768 7,0.181 2>	<0.427 1,0.472 2>	<0.510 7,0.390 6>	<0.587 2,0.326 7>	<0.519 1,0.364 2>	<0.426 8,0.473 0>
T_6	<0.519 1,0.364 2>	<0.587 2,0.326 7>	<0.768 7,0.181 2>	<0.427 1,0.472 2>	<0.510 7,0.390 6>	<0.849 7,0.133 2>

表 7 备选军机任务能力水平矩阵

科目	飞机号					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
T_1	0.295 8	0.678 0	0.120 1	-0.031 9	0.236 9	0.716 5
T_2	0.260 6	0.587 6	0.034 8	-0.045 1	0.154 9	0.637 2
T_3	0.234 4	0.586 3	0.042 7	-0.046 2	0.165 2	0.626 3
T_4	0.120 1	-0.045 1	0.260 6	0.587 6	0.716 5	0.154 9
T_5	0.587 6	-0.045 1	0.120 1	0.260 6	0.154 9	-0.046 2
T_6	0.154 9	0.260 6	0.587 6	-0.045 1	0.120 1	0.716 5

4)结果分析。结合任务方案要求,通过模拟退火遗传算法寻优可得备选军机体系适战能力优化值,方法 1 为本论文研究方法,方法 2 为参考文献[1]在考虑梯次使用寿命和维修工作量等因素下得

出的结果,见图 2。从图中可得知,当算法迭代到 140 次时,适战能力值收敛,方法 1 得出的选派方案为 1、5、6,体系适战能力值为 1.595;方法 2 得选派军机方案为 2、3、5,体系适战能力值为 0.987 4。

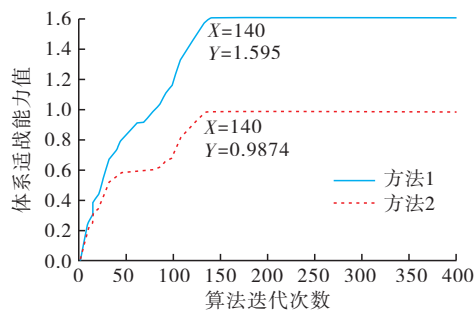


图2 体系适战能力值

通过对比可以看出,运用本文提出的研究方法适战能力更高,得出的军机选派方案更合理。

5 结语

论文针对多阶段任务需求特点,为解决当前多阶段多类型战训科目任务军机选派缺乏决策针对性的问题,通过构建多阶段任务军机适战能力数学模型,建立评估指标体系,通过直觉模糊理论对单机单任务适战能力进行了评估,运用模拟退火遗传算法对选派方案进行智能寻优。最后通过实例分析验证了研究方法的有效性,为多阶段任务军机选派决策提供科学方法支撑。

参考文献:

- [1] 何宇廷,张腾,崔荣洪. 基于作战效能的军用飞机维修与保障[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2019,(1):1-6.
- [2] 齐玉东,闫晓斌,谢晓方. 海军航空兵飞行团转场飞机选择模型[J]. 兵工自动化,2012,31(1):30-32.
- [3] GUO Q J, AMIN S, HAO Q W, et al. Resilience Assessment of Safety System at Subway Construction Sites Applying Analytic Network Process and Extension Cloud Models [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2020, 201. (prepublish)
- [4] 李世豪,丁勇,高振龙. 基于直觉模糊博弈的无人机空战机动决策[J]. 系统工程与电子技术,2019,41(5):1063-1070.
- [5] 陈希,杨兵,孙志豪. 基于灰色聚类的信息作战指挥协同效能评估[J]. 火力与指挥控制,2020,45(4):71-76.
- [6] WU H H, QU Z F. Gray Clustering Model Based on the Degree of Dynamic Weighted Incidence for Panel Data and Its Application[J]. Grey Systems: Theory and Application, 2020, 10(4): 413-423.
- [7] ELIAS D, YANG X S. Improved Tabu Search and Simulated Annealing Method for Nonlinear Data Assimilation[J]. Applied Soft Computing Journal, 2019, 83(c):105624.
- [8] 温瑞英,李璐,魏志强. 基于遗传算法的分段多参气动阻力研究[J]. 飞行力学,2021,39(2):27-32+44.
- [9] MA C X, LIU P F, XU X C. Vehicles Robust Scheduling of Hazardous Materials Based on Hybrid Particle Swarm Optimisation and Genetic Algorithm[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2020, 14(14): 1955-1966.
- [10] 黄书召,田军委,乔路,等. 基于改进遗传算法的无人机路径规划[J]. 计算机应用,2021,41(2):390-397.
- [11] 杜云,彭瑜,邵士凯,等. 基于改进粒子群优化的多无人机协同航迹规划[J]. 科学技术与工程,2020,20(32):13258-13264.
- [12] ZHOU Y P, ZHAO M Y, FAN M J, et al. An Efficient Local Search for Large-Scale Set-Union Knapsack Problem [J]. Data Technologies and Applications, 2020, 55(2): 233-250.
- [13] 杜永浩,向尚,邢立宁,等. 天临空协同对地观测任务规划模型与并行竞争模因算法[J]. 控制与决策,2021,36(3):523-533.
- [14] 张亮,王坚浩,郑东良,等. 基于直觉模糊熵和 VIKOR 的装备器材供应商选优决策[J]. 系统工程与电子技术,2019,41(7):1568-1575.

(编辑:徐敏)