

面向能力需求的武器装备组合规划模型与算法*

张骁雄,葛冰峰,姜江,谭跃进

(国防科技大学 信息系统与管理学院,湖南长沙 410073)

摘要:针对武器装备组合规划中存在的选择难、规划难问题,在给定能力需求的条件下,从分析装备的组合变更对整体体系的影响出发,考虑了总的经费预算、年度费用分配、装备规划周期等约束,以能力差距和发展风险最小为准则,构建了双目标优化模型,并设计了基于差分进化和非支配排序的遗传算法的求解算法,获得模型的 Pareto 解。通过逼近理想解排序法方法从所求 Pareto 解中求得令决策者满意的折中解。通过一个具体示例验证了模型和算法的有效性,能够为武器装备组合规划提供辅助决策。

关键词:武器装备;组合规划;非支配排序的遗传算法;差分进化;逼近理想解排序法

中图分类号: O22; N94 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2486(2017)01-102-07

Capability requirements oriented weapons portfolio planning model and algorithm

ZHANG Xiaoxiong, GE Bingfeng, JIANG Jiang, TAN Yuejin

(College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Aiming at solving the difficulties of choosing and planning in the weapon systems development problems, a bi-objective optimization model was proposed to minimize the capability gaps plus the total risk values, and to look for the best development scheme by comparing different combinations of weapons based on the given capability requirements. The total budget limitation, annual budget constraint and the planning period were taken into account in this model. A solving algorithm, based on non-dominated sorting genetic algorithm-II and differential evolution, was presented to obtain the Pareto set. The technique for order preference by similarity to ideal solution method was employed to reach a final compromise solution. A case was studied to demonstrate the effectiveness of the proposed model and hybrid algorithm, which can support the decision making on the weapons development and planning.

Key words: weapon; portfolio planning; non-dominated sorting genetic algorithm; differential evolution; technique for order preference by similarity to ideal solution

武器装备组合规划是在进行武器装备选型及发展时所面临的重大问题,通常是指在发展战略的指导下,对规划期内武器装备的具体建设进行总体设计和实施方案论证。如今,信息化条件下的军事斗争不仅仅是某一种或几种参战装备的事,而是逐渐转变为依靠所有参战装备所构成的整体。同时随着武器装备体系的建设和发展,武器装备的种类和数量也日益增加,不同军种提出的装备组合规划存在功能重叠和相似的情况也愈演愈烈^[1]。因此,迫切需要从武器装备体系发展的顶层角度出发,提出科学的方法,辅助决策发展哪些类型装备、如何安排装备发展等问题,从而形成科学有效的装备组合规划方案。

针对装备规划问题,美国国防部在《四年防

务评论报告》^[2]中首次提出了“基于能力的方法”,并将其贯穿于整个国防建设的各个领域和阶段。在此基础上衍生出了“基于能力的规划(Capabilities-Based Planning, CBP)”^[3]。国外学者对此开展了大量的研究:文献[4]中指出CBP是在不确定条件下考虑经济因素后通过提出一组能力来应对诸多挑战和事件的一类规划思想和方法;文献[5]介绍了如何基于CBP思想提高澳大利亚政府部门在国防安全策略规划上的协同和整合能力,并提出了国防安全能力管理的概念、原理和执行步骤;文献[6]基于能力的视角,研究了装备采办过程中的选型问题。国内相关机构和研究人员从能力的角度,在武器装备论证、分析评估等方面取得了一定的成果:文献[7]提出了一种基

* 收稿日期:2015-08-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71501182,71571185)

作者简介:张骁雄(1990—),男,江苏淮安人,博士研究生,E-mail:zxxandxx@163.com;

葛冰峰(通信作者),男,讲师,博士,E-mail:bingfengge@nudt.edu.cn

于能力需求的体系结构建模方法;文献[8]研究了基于能力的武器装备体系评估方法,并采用证据推理的方法对能力需求满足度和能力差距优先级进行了评估。然而,当前的研究成果中都普遍缺少比较定量的规划模型和算法,难以真正实现CBP的思想以支撑武器装备体系的顶层规划和决策。

因此,本文拟借鉴基于能力的思想,在考虑经费预算、装备规划周期等多种现实约束条件下,建立武器装备组合规划问题的多目标优化模型,并设计基于非支配排序的遗传算法(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II, NSGA-II)和差分进化的混合求解算法。

1 问题分析及建模

1.1 问题描述

武器装备组合规划问题可以描述为:在 m 年规划期内,在给定总经费预算 S 的前提下,如何从 M 个待发展的装备型号中选取 K 个装备,并合理安排这 K 个装备的发展顺序和发展年限,使得规划方案能够最大限度地满足 n 项能力需求,同时最小化装备的发展风险。通常情况下,装备可提供的能力越大,对应的发展风险也越高。假设有 A, B 两种类型装备,定义为一般型和引进型。其中,引进型装备需要分 2 年进行购买,分别支付该装备总金额的 60% 和 40%^[9]。装备的各项能力属性已知,且考虑能力需求的演化。同时,需要考虑费用预算、装备规划周期等现实约束。

1.2 决策变量分析

1.2.1 符号说明

- M : 所有待发展的装备数量;
- M_1 : 所有待发展的一般型号装备数量;
- M_2 : 所有待发展的引进型号装备数量;
- K : 所有被选择发展的装备数量;
- K_1 : 所有被选择发展的一般型号装备数量;
- K_2 : 所有被选择发展的引进型号装备数量;
- m : 总的规划年限;
- n : 总的规划能力的数量;
- RC_i : 第 i 项规划的能力;
- RC_{ij} : 第 i 项能力第 j 年的需求值;
- C_{ij} : 规划方案所能提供的第 i 项能力第 j 年的实际值;
- S : 武器装备总经费预算;
- s_i^1 : 第 i 项一般型号装备的经费需求值;
- s_i^2 : 第 i 项引进型号装备的经费需求值;

- r_i^1 : 第 i 项一般型号装备的发展风险值;
- r_i^2 : 第 i 项引进型号装备的发展风险值;
- u : 年度经费分配允许波动幅度;
- w_i : 第 i 项规划能力的权重。

1.2.2 决策变量

- X_i^2 : 第 i 项一般型号装备选择位,代表该装备是否被选中发展;
- Y_i : 第 i 项一般型号装备时间位,代表该装备开始发展时间;
- Z_i : 第 i 项一般型号装备发展位,代表该装备发展年限长度;
- X_i^2 : 第 i 项引进型号装备选择位,代表该装备是否被选中发展;
- Q_i : 第 i 项引进型号装备发展位,代表该装备发展方式。

1.3 约束条件分析

1.3.1 总经费限制

$$\sum_{i=1}^{K_1} s_{\sigma_1(i)}^1 + \sum_{j=1}^{K_2} s_{\sigma_2(j)}^2 \leq S \quad (1)$$

式中, $s_{\sigma_1(i)}^1$ 表示第 $\sigma_1(i)$ 项一般型号装备的经费需求值, $s_{\sigma_2(j)}^2$ 表示第 $\sigma_2(j)$ 项引进型号装备的经费需求值。式(1)表示未来所有安排发展的装备经费需求之和不能超过总预算。

1.3.2 年度经费分配平均

$$\begin{aligned} \frac{S}{m} \cdot (1 - u) &\leq \sum_{i=1}^{K_1} s_{\sigma_1(i)j}^1 + \sum_{i=1}^{K_2} s_{\sigma_2(i)j}^2 \\ &\leq \frac{S}{m} \cdot (1 + u) \\ &(j = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $s_{\sigma_1(i)j}^1$ 表示分配给第 $\sigma_1(i)$ 项一般型号装备第 j 年的经费值, $s_{\sigma_2(i)j}^2$ 表示分配给第 $\sigma_2(i)$ 项引进型号装备第 j 年的经费值,为了保证经费分配的均衡性,要求年度经费分配相对平均,允许在 u 范围内波动^[9]; $\sum_{i=1}^{K_1} s_{\sigma_1(i)j}^1 + \sum_{i=1}^{K_2} s_{\sigma_2(i)j}^2$ 表示在第 j 年分配给所有选中装备的经费和。

1.3.3 取值约束

装备的建设发展,需要遵循自身的规律。在对装备进行规划论证时,也应该在规定的规划周期内安排发展,因此有如式(3)所示的取值约束。

$$\begin{cases} X_i^1 = 0 \text{ or } 1 & (i = 1, 2, \dots, M_1) \\ X_i^2 = 0 \text{ or } 1 & (i = 1, 2, \dots, M_2) \\ 0 < Y_i \leq m \text{ integer} & (i = 1, 2, \dots, M_1) \\ 0 < Z_i \leq m + 1 - Y_i \text{ integer} & (i = 1, 2, \dots, M_1) \end{cases} \quad (3)$$

其中: X_i^1 和 X_i^2 为 0 代表不选择该装备, 为 1 代表选择该装备; 在 m 年规划期内, $0 < Y_i \leq m$ 代表装备最早从第 1 年开始发展, 最迟从第 m 年发展; $0 < Z_i \leq m + 1 - Y_i$ 代表装备最少发展 1 年, 最多发展 $m + 1 - Y_i$ 年。

引进型号装备一般分两年进行投资, 分别支付总费用的 60% 和 40%, 其余年限不支付费用。故存在如式(4)所示的取值约束。

$$s_{ij}^2 = \begin{cases} 0.6s_i^2 \\ 0.4s_i^2 & (i = 1, 2, \dots, M_2; j = 1, 2, \dots, m) \\ 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, s_{ij}^2 表示分配给第 i 个引进型号装备第 j 年的经费值。

1.4 能力需求的定量描述

考虑未来我军可能面临的不同方向上的战略威胁, 假设经过专家论证, 给出不同能力属性在未来 m 年内的需求值 $RC_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 。为便于建模和分析, 将各项能力需求值统一去量纲化和归一化。

1.5 目标函数分析

当获得某一规划方案后, 需要通过设定特定的目标函数来衡量其满足能力需求的程度, 实现不同方案之间的定量比较。

能力差距分析是基于能力的体系评估核心内容的, 也是武器装备体系能力规划的基础。目前, 能力差距分析方法主要有能力分解比较法、差距矩阵判断法、能力效果比较法和时间进度比较法^[10]。基于上述方法, 采用相对能力指标差距的概念, 表示为:

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} RC_{ij} - C_{ij}, & RC_{ij} - C_{ij} > 0 \\ 0, & RC_{ij} - C_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中, Δ_{ij} 表示规划方案在第 i 项能力第 j 年产生的相对能力差距值。当 $\Delta_{ij} = 0$ 时, 说明该方案在第 j 年所提供的第 i 项能力值完全满足能力需求; 反之, 说明该方案在该项能力上存在能力差距。

需要同时对不同年限不同能力进行规划比较。即对任意可行方案, 应该同时比较其在不同年限不同能力上的所有相对能力差距, 通过聚合形成总体能力差距, 以此来衡量该方案所构成的武器装备体系在未来一定时间内满足能力需求的程度, 具体表现为式(6)。

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_i \Delta_{ij} \quad (6)$$

式中, w_i 为第 i 项能力的属性权重。

值得强调的是, 上述相对能力差距和聚合后的数值单独存在时并没有太多实际的意义, 但却可以较好地反映不同方案之间的优劣情况和变化趋势, 可用来对不同的规划方案进行排序比较。采用的能力差距分析方法, 对于提升武器装备的能力差距分析质量, 增强武器装备军事需求论证的科学性和准确性, 具有一定的实际指导意义。

同时, 装备的发展还存在一定的失效风险。通常情况下, 装备能力越强, 失效风险也越大。因此, 对于任一规划方案, 需构建如式(7)所示风险目标值。

$$f_2(x) = 1 - \prod_{i=1}^m \left[\prod_{j=1}^{k_{i1}} (1 - r_{\sigma_1(j)}^1) \prod_{j=1}^{k_{i2}} (1 - r_{\sigma_2(j)}^2) \right] \quad (7)$$

式中, k_{i1} 表示在第 i 年被选中发展的一般型号装备数量, k_{i2} 表示在第 i 年被选中发展的引进型号装备数量, $r_{\sigma_1(j)}^1$ 表示第 $\sigma_1(j)$ 项一般型号装备的失效概率, $r_{\sigma_2(j)}^2$ 表示第 $\sigma_2(j)$ 项引进型号装备的失效概率, $\prod_{j=1}^{k_{i1}} (1 - r_{\sigma_1(j)}^1) \prod_{j=1}^{k_{i2}} (1 - r_{\sigma_2(j)}^2)$ 表示在第 i 年所有被选中装备正常工作的概率。式(7)表示在整个规划年限内规划方案存在装备失效的风险概率值。

2 模型求解

2.1 引进型号装备编码规则

引进型号装备发展位 Q_i 的取值范围为 $0 \sim C_m - 1$ 之间任意整数。根据 m 的大小, 采用合适的编码方式。以 $m = 5$ 为例, Q_i 取值为 $0 \sim 9$ 之间任意整数, 则可以采用十进制编码, 对应编码方式见表 1^[9]。

表 1 引进类型装备编码方式

Tab. 1 Coding and decoding of the invested type weapons

编码	年限				
	1	2	3	4	5
0	√	√			
1	√		√		
2	√			√	
3	√				√
4		√	√		
5		√		√	
6		√			√
7			√	√	
8			√		√
9				√	√

假设某 5 年规划期内,存在 4 种引进型装备,则可生成一个 4 位数的编码,每位取值为 0~9 之间任意整数。设生成数为[3 4 9 0],对应表 1,表示第一个装备选择 1 年和第 5 年进行引进,分别支付该装备总费用的 60% 和 40%;第二个装备选择第 2 年和第 3 年进行引进,分别支付该装备总费用的 60% 和 40%,依次类推。

2.2 模型求解算法

基于能力的武器装备组合规划属于约束优化问题,传统的搜索方法效率低下,且适用范围有限。近年来,越来越多的研究人员采用智能优化算法进行求解。

NSGA-II 是目前最为流行的多目标算法之一^[11],它使用非支配排序和共享变量的方法,可以有效维护 Pareto 前沿的多样性。同时,差分进化(Differential Evolution, DE)算法^[12]基于群体搜索的智能优化算法,结构简单且性能高效,在科学研究和实际工程应用中受到越来越多的关注。

针对本模型的特点,设计了如下求解算法。

步骤 1: 定义种群规模、迭代次数、交叉概率等参数,并设置计数器为 0。

步骤 2: 随机产生初始种群。结合问题背景,装备选择位采用二进制编码,装备时间位和发展位可依据 m 的大小,采用合适的编码。个体编码如图 1 所示。

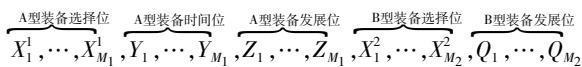


图 1 个体编码方式

Fig. 1 Individual code structure

步骤 3: 对种群进行非劣排序。根据目标函数(6)~(7)和经费约束(1)~(2),对个体进行评价。个体被赋予秩和拥挤距离值。之后对种群执行二元锦标赛选择操作。

步骤 4: 变异、交叉操作。采用 DE 算法的基本变异算子对种群进行变异操作^[12]。

$$r' = r + rand \cdot (r_{\text{gbest}} - r_3) + rand \cdot (r_2 - r_1) \quad (8)$$

式中: r_1, r_2, r_3 为当前种群中随机选择的 3 个相异个体; r' 为临时产生的变异个体; r_{gbest} 为全局最优个体; r 为当前个体; $rand$ 为均匀分布随机系数。同时,对个体中的每一位以一定的概率执行交叉操作,得到新的种群 Q 。

步骤 5: 评价临时种群。由当前种群 P 和子代种群 Q 组成临时种群,并通过个体秩和拥挤度的比较,对临时种群进行非劣排序。

步骤 6: 产生新的种群。从临时种群中选取一定的最优个体组成新的种群。

步骤 7: 若达到规定迭代次数,则输出 Pareto 最优解;否则计数器加 1,并转步骤 3 继续执行。

2.3 逼近理想解排序法

逼近理想解排序法 (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS) 是由 Hwang 和 Yoon 提出来的一种多属性决策方法^[13],其核心思想是通过比较不同方案与理想方案的接近程度来进行排序。主要步骤如下所示。

步骤 1: 建立决策矩阵并归一化, $A = (a_{ij})_{p \times 2}$ 。 p 为解方案个数, 2 为评价准则的个数, 即文中的对应能力差距和失效风险。

$$x_{ij} = a_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^p a_{ij}^2} \quad (i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2) \quad (9)$$

步骤 2: 建立加权标准化决策矩阵 $R = (r_{ij})_{p \times 2}$ 。其中, $r_{ij} = x_{ij} \cdot q_j$, q_j 为第 j 个准则的权重值。

步骤 3: 界定正理想解 f_j^+ 和负理想解 f_j^- 。由于能力差距和风险都是成本型指标,因此:

$$\begin{cases} f_j^+ = \min_i r_{ij} & (i = 1, 2, \dots, p) \\ f_j^- = \max_i r_{ij} & (i = 1, 2, \dots, p) \end{cases} \quad (10)$$

步骤 4: 计算方案与正、负理想解之间的欧式距离。

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (r_{ij} - f_j^+)^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (r_{ij} - f_j^-)^2} \end{cases} \quad (11)$$

步骤 5: 计算方案对理想点的相对贴近程度 C_i 。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (12)$$

最终,按照 C_i 进行由大到小排序。 C_i 值最大的解方案即为 Pareto 解集中的最优解。

3 示例研究

假设某个 5 年规划中要从 15 个待选装备中选取合适装备进行规划发展,总经费预算 $S = 65$, 年度经费波动值 $u = 0.30$ 。针对武器装备体系的作战能力需求,将武器装备的体系能力看作是由信息能力、打击能力、防护能力、机动能力和保障能力^[14] 5 种基本作战能力按照一定的方式共同

实现的。5 年内各种能力的需求值 RC_{ij} 已知。同时,假设 5 种能力具有相同的权重值 0.2。各装备的能力属性、发展费用和失效风险见表 2。

表 2 装备属性列表
Tab.2 Weapons attributes list

装备	类型	经费	风险	能力				
				RC_1	RC_2	RC_3	RC_4	RC_5
A ₁	一般	20	0.2	0.6	0.8	0.8	0.7	0.5
A ₂	一般	30	0.3	0.7	0.9	1	0.8	0.5
A ₃	一般	3	0.10	0.2	0.6	0.7	0.5	0.3
A ₄	一般	6	0.15	0.3	0.8	0.6	0.6	0.2
A ₅	一般	4	0.11	0.4	0.7	0.8	0.6	0.2
A ₆	一般	5	0.12	0.8	0.4	0.7	0.4	0.2
A ₇	一般	2	0.07	0.7	0.2	0.6	0.3	0.1
A ₈	一般	2	0.08	0.9	0.2	0	0.2	0.3
A ₉	一般	2	0.06	0	0.8	0.3	0.2	0.1
A ₁₀	一般	1	0.05	0	0.7	0.4	0.2	0.1
B ₁	引进	15	0.2	0.5	0.8	0.7	0.6	0.8
B ₂	引进	10	0.18	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7
B ₃	引进	10	0.15	0.5	0.6	0.6	0.9	0.7
B ₄	引进	10	0.16	0.9	0.4	0.5	0.6	0.5
B ₅	引进	8	0.10	0.5	0.4	0.8	0.7	0.6

3.1 约束确定

3.1.1 总费用约束

$$\sum_{i=1}^{K_1} s_{\sigma_1(i)}^1 + \sum_{j=1}^{K_2} s_{\sigma_2(j)}^2 \leq 65 \quad (13)$$

3.1.2 年度经费约束

目前武器装备研制费用随时间的分布主要符合以下三种模型^[15]:单峰威布尔分布模型,双峰威布尔分布模型以及生命周期曲线模型。在装备研制费用一定的情况下,对应相关模型,可以预测未来 5 年内各装备的经费发展需求。因此,对于选中装备每年经费总和存在如下约束:

$$\begin{aligned} 65/5 \times (1 - 0.3) &\leq \sum_{i=1}^{K_1} s_{\sigma_1(i)}^1 + \sum_{i=1}^{K_2} s_{\sigma_2(i)}^2 \\ &\leq 65/5 \times (1 + 0.3) \end{aligned} \quad (14)$$

3.1.3 取值约束

安排装备在哪一年开始发展以及发展几年,都需要在给定的规划周期内进行考虑。结合算法个体编码方式,存在如式(15)所示取值约束。

$$\begin{cases} X_i^1 = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1, 2, \dots, 10) \\ X_i^2 = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \\ 0 < Y_i \leq 5 \text{ integer} \quad (i = 1, 2, \dots, 10) \\ 0 < Z_i \leq 6 - Y_i \text{ integer} \quad (i = 1, 2, \dots, 10) \\ Q_i \in [0, 9] \text{ integer} \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \end{cases} \quad (15)$$

3.2 目标函数

对于每一个规划方案,将它在未来 5 年内形成的体系能力值与需求值之间的能力差距的聚合值设定为目标函数,以此来反映体系满足能力需求的程度,比较不同方案之间的优劣关系。

$$f_1 = \min \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 0.2\Delta_{ij} \quad (16)$$

规划方案失效风险目标函数为:

$$f_2 = \min \left\{ 1 - \prod_{i=1}^m \left[\prod_{j=1}^{k_{i1}} (1 - r_{\sigma_1(j)}^1) \prod_{j=1}^{k_{i2}} (1 - r_{\sigma_2(j)}^2) \right] \right\} \quad (17)$$

3.3 结果分析

求解算法的主要参数设置如下:种群规模 $Pop = 100$,迭代次数 $Gen = 500$,交叉概率设为 0.2。分别采用 NSGA-II 和基于 DE 的混合算法,对上述模型独立运行 10 次,每种算法皆可以得到 10 组 Pareto 解。再对这些解进行非劣排序,选取最好的 Pop 个解分别组成两种算法 Pareto 解集,如图 2 所示。

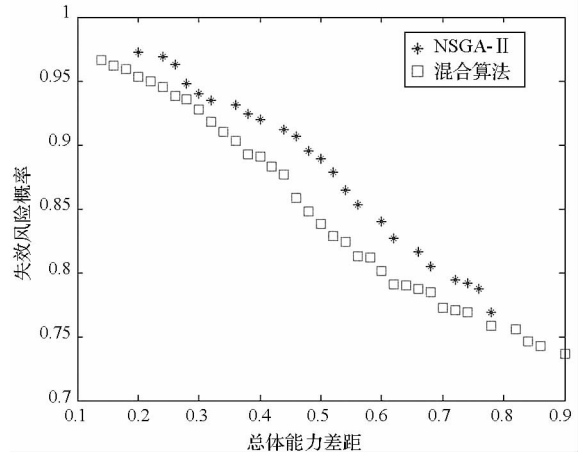


图 2 两种不同算法的 Pareto 解

Fig.2 Pareto sets of two different algorithms

由图 2 可知,基于 DE 和 NSGA-II 的混合算法拥有比传统 NSGA-II 算法更长的进化曲线。同时对比两种算法的求解结果,混合算法的 Pareto 解在多样性和收敛性上明显优于传统 NSGA-II 算法。

设能力和风险目标的权重值分别为 0.6 和 0.4,继续应用 TOPSIS 方法对求得的 Pareto 解进行分析,所求得的折中解如图 3 所示。

3.4 规划方案分析

最终的折中解方案见表 3。其中,一般型号装备分别选择第 2 和第 8 个装备进行发展。引进型号装备选择第 1、第 3 和第 5 个装备。B₁ 装备

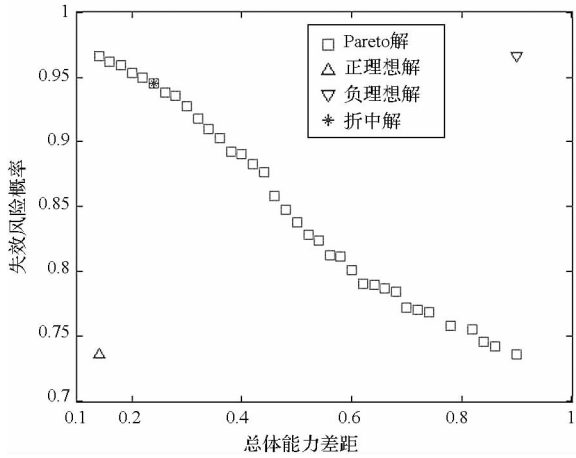


图3 Pareto 解集中的折中解

Fig. 3 Compromise solution of the Pareto set

分别选择在第1年和第5年进行引进, B_3 和 B_5 装备分别第4年和第5年进行引进。

表3 规划方案示意

Tab. 3 Illustration of the compromise solution

装备	选择	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年
A_1	否					
A_2	是					
A_3	否					
A_4	否					
A_5	否					
A_6	否					
A_7	否					
A_8	是					
A_9	否					
A_{10}	否					
B_1	是	√				√
B_2	否					
B_3	是				√	√
B_4	否					
B_5	是				√	√

注:阴影表示装备存在且发展的年限。

继续对该规划方案进行分析。图4为能力差距示意图,其坐标轴以上部分展示了方案在不同年限上可以提供的能力值,坐标轴以下展示了相应能力值与需求值之间的能力差距。由图4可知,第1年在防护能力上存在一定能力差距,第2年各项能力皆可以较好满足能力需求;第3年保障能力上存在着一定的能力差距;第4、第5年在打击能力、防护能力和保障能力上皆存在一定能力差距,同时第5年信息能力与需求值也存在一

定差距。方案总体在第4年和第5年与需求值存在较大差距。通过分析可知,应该重点发展能够有效提供防护能力和保障能力的装备,以提升整体体系的能力。

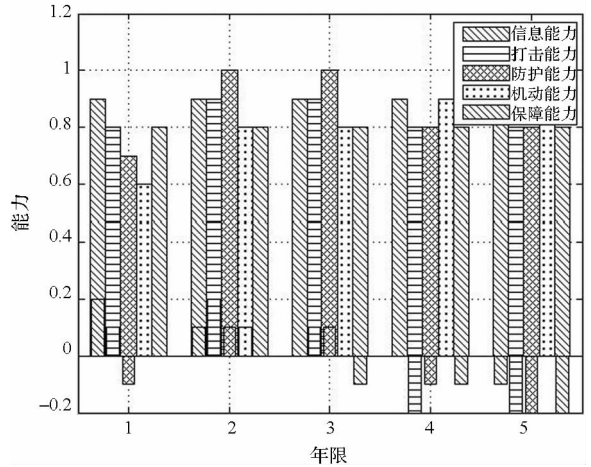


图4 能力差距示意图

Fig. 4 Illustration of capability gaps

实际的决策过程中,受客观条件限制,决策者需要人为地对方案进行一定的调整和优化,协调装备的发展。仍以 m 年规划期, M 个待发展装备的集合为例,假设结合现实的需要,以一般型号装备为例,决策人员规定:

1) 必须发展第 i 个装备。结合算法个体编码的特殊性,只需在初始化种群时,将相应装备型号选择位的决策变量设为 1 即可,即令 $X_i^1 = 1$ 。将这样生成的个体组成的种群不断演化迭代,最终输出的方案必可保证第 i 个装备被选中进行发展。同理适用于引进型号装备。

2) 第 i 个装备须在第 j 年马上发展。只需要在种群初始化时,将第 i 个装备的选择位设为 1,同时将其时间位设为 j ,即 $X_i^1 = 1 \&\& Y_i = j$ 。

3) 第 i 个装备发展必须满 k 年。在算法初始化时,首先将第 i 个装备的选择位设为 1,同时将第 i 个装备的发展位设为 k ,即 $X_i^1 = 1 \&\& Z_i = k$ 。

所建模型和对应的求解算法支持用户自行设置特定编码,对方案进行调整和优化,协调装备之间的比例规模和发展进度,该操作模式和 workflows 也更贴近实际的应用和需求。

4 结论

武器装备体系组合规划问题是我军武器装备体系建设发展亟须解决的现实问题,具有重要的战略意义。本文从能力需求的角度出发,以最小化能力差距和发展风险为目标,考虑不同经费等现实约束,构建了定量的双目标优化模型,并

采用基于 NSGA-II 和 DE 的混合算法对模型进行求解,输出未来阶段能够弥补能力差距的最佳装备发展方案。重点回答了在有限的国防预算和时间限制条件下,优先选取哪些装备并合理安排它们的发展顺序,实现资源的优化配置。通过一个具体示例验证了所建模型的合理性以及算法求解的高效性。由于算法编码的灵活性和特殊性,可以较好地决策者的主观偏好融入求解的过程中,协调装备之间的规模比例、进度安排等,最终生成满意的解方案。该方法可以支撑总部武器装备中长期规划决策和论证,为我军武器装备体系的发展指明方向。

参考文献 (References)

- [1] 周宇, 杨克巍, 姜江, 等. 武器装备体系组合规划的集成决策优化框架[J]. 国防科技大学学报, 2013, 35(3): 36-41.
ZHOU Yu, YANG Kewei, JIANG Jiang, et al. An integrated decision making and optimization framework for system of armament systems portfolio planning[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2013, 35(3): 36-41. (in Chinese)
- [2] USA DOD. Quadrennial defense review report [R]. Washington DC: Department of Defense, 2001.
- [3] Ge B, Hipel K W, Fang L, et al. An interactive portfolio decision analysis approach for system-of-systems architecting using the graph model for conflict resolution [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; Systems, 2014, 44(10): 1328-1346.
- [4] Davis P K, Shaver R D, Beck J. Portfolio-analysis methods for assessing capability options[M]. USA: RAND Corporation, 2008.
- [5] Chim L, Nunes-Vaz R, Prandolini R. Capability-based planning for Australia's national security [J]. Security Challenges, 2010, 6(3): 79-96.
- [6] Kaul A, Wu B. A capabilities-based perspective on target selection in acquisitions[J]. Strategic Management Journal, 2016, 37(7): 1220-1239.
- [7] 舒宇. 基于能力需求的武器装备体系结构建模方法与应用研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
SHU Yu. Research on the method and application of the architecture modeling of weapon system-of-systems based on capability requirement[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009. (in Chinese)
- [8] 程贇. 基于能力的武器装备体系评估方法与应用研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.
CHENG Ben. Capability-based weapon system-of-systems assessment methods and application research[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2012. (in Chinese)
- [9] 张骁雄, 姜江, 葛冰峰. 武器装备科研经费分配的规划模型与算法[J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37(9): 2061-2066.
ZHANG Xiaoxiong, JIANG Jiang, GE Bingfeng. Scheduling model and algorithm for weapon equipment scientific research budgets allocation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2015, 37(9): 2061-2066. (in Chinese)
- [10] 郭齐胜, 陈建荣. 军事能力差距分析确定方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2010, 24(2): 34-39.
GUO Qisheng, CHEN Jianrong. Research on methods of military capability gap analysis [J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2010, 24(2): 34-39. (in Chinese)
- [11] Magaia N, Horta N, Neves R, et al. A multi-objective routing algorithm for wireless multimedia sensor networks[J]. Applied Soft Computing, 2015, 30: 104-112.
- [12] Storm R, Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces[J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11(4): 341-359.
- [13] Baykasoğlu A, Gölcük İ. Development of a novel multiple-attribute decision making model via fuzzy cognitive maps and hierarchical fuzzy TOPSIS[J]. Information Sciences, 2015, 301: 75-98.
- [14] 王振宇, 马亚平, 李柯, 等. 现代战争复杂性——联合作战的“联合增效”作用研究[J]. 计算机仿真, 2004, 21(11): 10-12.
WANG Zhenyu, MA Yaping, LI Ke, et al. The complexity of modern war: study on synergistic effectiveness in joint operations[J]. Computers Simulation, 2004, 21(11): 10-12. (in Chinese)
- [15] 徐哲. 武器装备进度、费用与风险管理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
XU Zhe. Schedule, cost and risk management for weapon system[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2011. (in Chinese)