

基于能力的国防资源分配方法

张玉婷^{1,2}, 杨镜宇^{3,*}

(1. 国防大学研究生院, 北京 100095; 2. 海军参谋部机要局, 北京 100841;
3. 国防大学联合作战学院, 北京 100091)

摘要: 针对体系建设发展过程中国防资源有限、分配困难问题,考虑国防总经费预算受限、年度资源平均分配、体系能力满足能力需求等方面的约束,首先采用数学规划法,构建基于能力的国防资源静态分配模型,将资源分配到不同能力领域的体系建设发展中。其次,给出了基于遗传算法的模型求解算法。最后,通过示例验证所构建的资源分配模型能够合理地进行国防资源分配,且计算结果高效、可行,为体系建设发展中的资源分配问题提供了一定的理论支撑。

关键词: 资源分配; 数学规划法; 体系能力; 遗传算法

中图分类号: TP 202

文献标志码: A

DOI:10.12305/j.issn.1001-506X.2024.02.23

Capability-based defense resource allocation method

ZHANG Yuting^{1,2}, YANG Jingyu^{3,*}

(1. Graduate School, National Defense University, Beijing 100095, China; 2. Naval Staff Confidential Bureau, Beijing 100841, China; 3. Joint Operations College, National Defense University, Beijing 100091, China)

Abstract: In view of the limited national defense resources and allocation difficulties in the process of system construction and development, this paper considers the constraints of the limited national defense total budget, the average allocation of annual resources, and the ability of the system to meet the needs of capabilities. Firstly, it uses mathematical programming to build a static allocation model of national defense resources based on capabilities to allocate resources to the system construction and development in different capability areas. Secondly, the model solving algorithm based on genetic algorithm is given. Finally, an example is given to verify that the resource allocation model constructed can reasonably allocate national defense resources, and the calculation results are efficient and feasible, which provides a theoretical support for the resource allocation problem in the development of system construction.

Keywords: resource allocation; mathematical programming; capability of system; genetic algorithm (GA)

0 引言

资源分配问题源于经济学,旨在将有限的资源,如人力、物力等,通过一定的规则分配给众多对象,进行资源优化配置,以提升经济效益。作战体系结构复杂、规模庞大,在有限的国防预算约束下,对其进行资源分配及统筹规划是体系建设发展中的一重要内容,对于提升国防资源利用率、提高军事效益、形成强大的军队战斗力具有重要的现

实意义。

现实生活中,各行各业都存在资源分配问题,许多学者也进行了一定程度的应用研究,并取得了一些成果。文献[1]提出了一种与资源管理相关的混合整数非线性数学模型,为救灾行动等不确定场景下的资源分配选址问题提供了帮助。文献[2]针对土地资源分配问题,根据当前政策和未来趋势,构建“粮食-水-能源”关系框架,对光伏产量、可行性、利润、生物质产量进行了全面评估。文献[3]基于“灰色-自

收稿日期:2023-01-06; 修回日期:2023-03-23; 网络优先出版日期:2023-05-23。

网络优先出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2422.TN.20230523.1324.008.html>

* 通讯作者。

引用格式: 张玉婷, 杨镜宇. 基于能力的国防资源分配方法[J]. 系统工程与电子技术, 2024, 46(2): 599-604.

Reference format: ZHANG Y T, YANG J Y. Capability-based defense resource allocation method[J]. Systems Engineering and Electronics, 2024, 46(2): 599-604.

回归移动平均模型”算法,构建改进的集装箱维修费用分配模型。文献[4]在贪婪调度算法的基础上,研究下一代光学数据中心网络资源调度问题,引入并行技术,加快了资源调度速率。文献[5]为高通量多波束通信卫星系统构建资源分配模型,并通过遗传算法对模型进行求解。文献[6]基于改进萤火虫优化算法,对云计算中的动态资源分配问题进行了研究,提出一种基于负载平衡优化的改进 Firefly 算法,提高了资源利用效率和生产力。文献[7]为武器装备经费分配问题构建数学规划模型,并通过差分进化方法求解模型。文献[8]使用机器学习算法预测了医院每日急诊就诊资源分配策略。文献[9]对战争不确定因素下的国防和民用支出资源分配问题进行了研究。文献[10]通过引入 Agent 构建优化框架,为解决军事规划中的成本效益优化问题提供了思路。文献[11]围绕战略管理环节评估,提出一种资源配置需求的形式化描述和探索性方法。文献[12]利用强化学习的方法,设计了一种基于异步深度强化学习算法的资源分配方法,实现了资源的自动规划。文献[13]开发了一种通过统计矩传播不确定性的方法,优化了建模和分析中的系统资源分配方案。文献[14]给出了一种基于 Web 的实时资源分配工具,辅助指挥员完成复杂的资源分

配和运输任务。

可见,当前资源分配问题的研究思路和方法众多,且在军事方面已有学者研究了火力资源分配、装备经费分配、卫星资源分配等^[15-20]相关问题,但对于联合作战体系建设发展层面的资源分配问题尚缺乏具体的模型和算法。

本文从体系建设发展的顶层设计角度出发,借鉴“基于能力的规划(capability-based planning, CBP)”^[21-22]思想,在国防预算的约束下,通过分析各体系能力需求,构建体系资源分配的数学规划模型,并采用遗传算法对模型进行求解,得到体系建设发展的帕累托最优资源分配方案及体系总能力最大值。

1 基于数学规划法的国防资源静态分配模型

1.1 问题描述

体系建设发展中基于能力的国防资源分配问题可描述为:在一个五年规划内,在总预算 B 有限的约束下,以体系能力 C 作为输入,如何对 N 种不同类型的体系/系统进行合理的资源配置,达到预算最低、体系总能力最高的目标。基于能力的国防资源分配问题如图 1 所示。

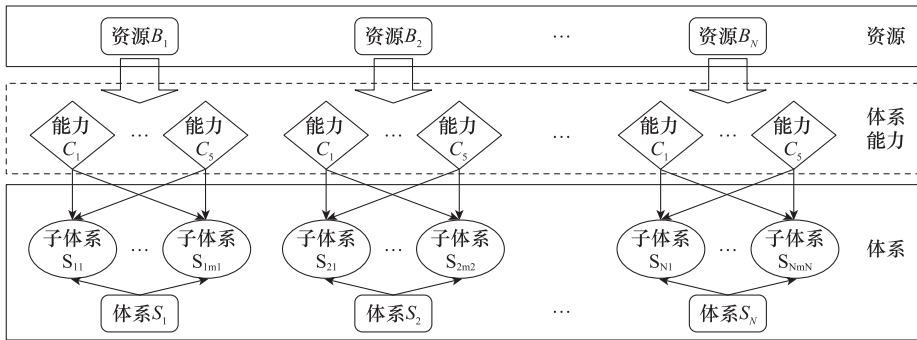


图 1 基于能力的国防资源分配问题

Fig. 1 Capability-based defense resource allocation problem

1.2 符号和决策变量说明

(1) 对建模将用到的符号做出如下说明

B : 表示一个五年规划的总预算;

δ : 表示年度费用允许的波动范围,单位为%;

S_i : 代表一级体系, $i \in I = (1, 2, 3, \dots, n)$, n 表示一级体系个数;

S_{ij} : 代表二级体系, $j \in J = (1, 2, 3, \dots, m_i)$, 其中 m_i 表示第 i 个一级体系下的二级体系个数;

$C_k^{S_{ij}}$: 表示二级体系 S_{ij} 的第 k 种能力, $k \in K = (1, 2, 3, \dots, p)$, 假定能力与二级体系相互映射;

$r_u^{S_{ij}}$: 表示第 S_{ij} 个二级体系第 u 年的发展费用需求, $u \in U = (1, 2, 3, 4, 5)$;

L_{k, S_i}^u : 表示第 u 年 S_i 体系第 k 种能力的最低需求;

$L\alpha_k^u$: 表示第 u 年所有体系第 k 种能力加权后的最低需求;

α_{S_i} : 表示第 S_i 个体系的能力权重系数;

β_k : 表示第 k 个能力的权重系数;

γ_u : 表示第 u 年能力的权重系数。

(2) 对建模的决策变量做出如下说明

$$x_u^{S_{ij}} = \begin{cases} 1, & \text{子体系 } S_{ij} \text{ 在第 } u \text{ 年得到发展} \\ 0, & \text{子体系 } S_{ij} \text{ 在第 } u \text{ 年未得到发展} \end{cases}$$

$x_u^{S_{ij}}$ 表示第 S_{ij} 个二级体系, 第 u 年是否发展该二级体系, 为 0-1 变量。

1.3 基于数学规划法的资源分配模型

1.3.1 条件声明

(1) 假定能力生成过程为理想化的累积生成过程, 所有种类的能力构成体系总能力。

(2) 假定能力值为标量值, 具备可加性。

(3) 假定国防经费在一个五年规划内按年度平均分配。

(4) 假定在一个五年规划内,每个二级体系仅有一次建设发展机会,即选择五年内的某一年进行发展。

1.3.2 模型构建

针对体系建设发展中的国防资源分配问题,采用数学规划法构建模型。

(1) 目标函数:体系建设发展的体系总能力达到最大值

$$\max F = \sum_{u=1}^5 \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} \cdot C_k^{S_{ij}} \cdot \beta_k \cdot \alpha_{S_i} \cdot \gamma_u \quad (1)$$

式(1)为目标函数,其中 $\sum_{u=1}^5 \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} \cdot C_k^{S_{ij}} \cdot \beta_k \cdot \alpha_{S_i} \cdot \gamma_u$ 表示在一个五年规划内所有体系对应的所有能力,即体系总能力,目标是寻求该值的最大值。

(2) 约束 1: 所有体系的实际建设发展费用不超过总预算

$$\sum_{u=1}^5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} \cdot r_u^{S_{ij}} \leq B, u \in U; i \in I; j \in J \quad (2)$$

式中: $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}}$ 表示所有体系中的所有二级体系的实际建设发展费用需求之和, $\sum_{u=1}^5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} r_u^{S_{ij}}$ 表示一个五年规划内所有体系中的所有二级体系的实际建设发展费用需求之和,该值不超过一个五年规划的总预算。

(3) 约束 2: 年度经费平均分配,且在允许范围内波动

$$\frac{B}{5}(1-\delta) \leq \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} \cdot r_u^{S_{ij}} \leq \frac{B}{5}(1+\delta), \\ i \in I; u \in U; j \in J \quad (3)$$

式中: $\sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} \cdot r_u^{S_{ij}}$ 表示分配给每个年度用于体系建设发展的经费总数,该值在 $[B(1-\delta)/5, B(1+\delta)/5]$ 范围内波动。

(4) 约束 3: 一级体系对应的能力加权和满足最低需求

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} \cdot C_k^{S_{ij}} \cdot \alpha_{S_i} \geq L_{k,S_i}^u, \\ u \in U; k \in K; i \in I; j \in J \quad (4)$$

式中: $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} x_u^{S_{ij}} \cdot C_k^{S_{ij}} \cdot \alpha_{S_i}$ 表示第 u 年,一级体系 S_i 所对应的第 k 种体系能力加权和,该值不小于最低需求值 L_{k,S_i}^u 。

(5) 约束 4: 五年规划内的第 u 年,所有体系对应的 k 种能力加权和满足最低需求

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^p x_u^{S_{ij}} \cdot C_k^{S_{ij}} \cdot \alpha_{S_i} \cdot \beta_k \geq La_k^u, \\ u \in U; i \in I; j \in J; k \in K \quad (5)$$

式中: $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^p x_u^{S_{ij}} \cdot C_k^{S_{ij}} \cdot \alpha_{S_i} \cdot \beta_k$ 表示第 u 年,所有一级体系所包含的二级体系对应的第 k 种能力加权和,该值不小于最低需求值 La_k^u 。

(6) 约束 5: 一个五年规划内,每个二级体系仅发展 1 次

$$\sum_{u=1}^5 x_u^{S_{ij}} = 1, i \in I; j \in J \quad (6)$$

式中: $\sum_{u=1}^5 x_u^{S_{ij}}$ 表示五年内每个二级体系是否得到发展,其值为 1 表示仅发展一次。

2 基于遗传算法的模型求解算法

2.1 遗传算法

遗传算法是 Holland^[23] 受自然进化理论启发而提出的一种搜索算法,是启发式算法的一种,通过模仿自然选择和繁殖过程,进行染色体选择、交叉、变异等运算,并不断迭代寻找问题的全局最优解。相比传统搜索和优化算法,遗传算法有许多优点,如能够高效处理参数规模大、数学表达式复杂等问题。遗传算法的流程如图 2 所示。

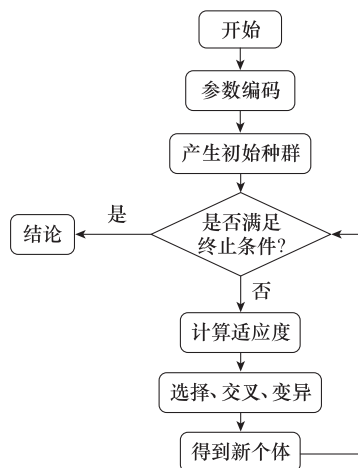


图 2 遗传算法流程图

Fig. 2 Flowchart of genetic algorithm

国内外学者运用遗传算法解决了许多现实问题。文献[24]提出一种基于遗传算法的增强型资源分配算法,实现了云数据中心资源的高效分配。文献[25]设计了一种具有调度规则和双亲进化的改进遗传算法,有效逼近了网络效用和收敛速率。文献[26]基于遗传算法开发了一种可靠的柔性供应链网络设计模型,能够在一定程度上增强战略能力。文献[27]针对颌面部弹性体颜色配方问题,通过遗传算法开发了一种临床应用程序,辅助临床医生制定颜色并降低成本。文献[28]对 P2P 网络借贷问题进行了研究,运用遗传算法优化了传统网贷预警模型,提升了预警效果。文献[29]采用遗传算法,对数据预处理过程的特征选择和特征提取步骤进行了改进。

本文提出的国防资源分配模型中的数学表达式复杂,用传统算法求解较困难,容易导致组合爆炸,因此本文采用遗传算法进行编程,进行模型求解。为了使算法与模型较好地融合,对遗传算法进行相关设计,如确定初始种群、确定适应度函数、确定终止条件,进行编码和解码、选择、交叉、变异等。

2.2 编码和解码

通过将编码过程转化为计算机可识别的语言,本文将

上述数学模型转化为遗传空间的染色体。本文的决策变量为 $x_u^{S_j}$, 其表示第 S_j 个二级体系, 第 u 年是否被投资, 为 0—1 变量, 若使用二进制 0—1 编码, 则染色体的编码所需要的决策变量个数为

$$\text{num}_{\text{pop}} = \sum_{i=1}^n 5m_i \tag{7}$$

考虑到约束 5, 每个二级体系仅能发展 1 次, 故可以使用实数编码, 将决策变量中的参数 u 转换为 1—5 的实数, 即针对一个二级体系, 分配一个 1—5 的实数决定其在哪一年进行发展, 于是决策变量个数可缩小至之前的 20%。

例如, 采用 0—1 编码: $(x_1^{S_1}, x_2^{S_1}, x_3^{S_1}, x_4^{S_1}, x_5^{S_1})$, 则 S_{11} 在第 2 年投资为 (0, 1, 0, 0, 0), S_{12} 在第 3 年投资为 (0, 0, 1, 0, 0), S_{13} 在第 1 年投资为 (1, 0, 0, 0, 0); 采用实数编码: 则 S_{11} 在第 2 年投资为 2, S_{12} 在第 3 年投资为 3, S_{13} 在第 1 年投资为 1。

2.3 求解步骤

步骤 1 确定初始种群

初始种群是种群迭代的基础, 其数量不能过少或过多, 否则容易陷入局部最优或增加计算难度。此处设定初始种群规模为 200。

步骤 2 确定适应度函数

通过适应度函数能够判断染色体的优劣, 本文将目标函数映射为适应度函数进行评估, 即体系总能力最大为目标函数, 目标函数值越大, 适应度越大; 反之亦然。

步骤 3 选择

选择算子指从群体中选择优秀个体、淘汰劣质个体, 使得有用的遗传信息保留下来, 提高收敛性。其过程需要根据由适应函数得到的适应度值的大小来实现, 即不断选择优秀基因进行遗传, 从而完成种群迭代。本文采用较常用的轮盘赌法进行选择操作, 即个体被选择的概率与个体的适应度有关, 适应度越高的个体被选择的概率越大, 适应度越低的个体被选择的概率越小。被选择的个体进一步进行遗传操作。

步骤 4 交叉

交叉算子是遗传算法的核心, 指由父代个体形成新个体的操作, 其过程需按规定选择交叉点, 以及交换交叉点的基因片段。本文采用的交叉策略为两点交叉和均匀交叉两种方式结合的交叉。

两点交叉指在父代中随机选择两个位置进行交叉, 若父代 1=1—2—3—4—5—4—3—2—1—2, 父代 2=5—5—5—5—4—5—4—3—2—1。假设选择的交叉点位置为 2 和 4, 则子代 1=1—5—5—5—5—4—3—2—1—2, 子代 2=5—2—3—4—4—5—4—3—2—1; 均匀交叉是个体中各个位置的基因都以相同的概率参与交叉, 即在每个基因位置上都进行判定, 如果随机数的大小满足概率要求, 则该位置进行交叉, 否则判定下一个交叉位置。

步骤 5 变异

变异算子指替换父代染色体基因片段, 产生新的子代染色体序列。本文采用的变异方法为单点变异, 即在满足

变异概率的前提下, 随机选择一个变异位置, 将其基因随机转换为 1—5 的值。变异操作后应计算父代、子代染色体的适应度, 若子代较优, 则变异成功, 父代由子代替换; 若父代较优, 则变异失败, 继续迭代, 直至满足终止条件。

步骤 6 确定终止条件

进化次数限制、计算资源限制、最优解限制、适应度限制等均可设置为终止条件。本文设置迭代次数为 10 000, 通过不断迭代达到预设的迭代次数并得到最优解时, 结束迭代, 输出迭代结果。

3 示例分析

以某个五年规划中的联合作战体系建设发展资源分配问题为例进行示例分析。

3.1 参数设置

对模型中的参数做如下设置:

假设 1 一个五年规划内, 年数 $u=5$, 总预算 $B=10$ 亿元。

假设 2 年度费用允许的波动范围 $\delta=0.3$ 。

假设 3 需建设的一级体系的数量 $n=4$, 每个一级体系下的二级体系的数量 $m_i=[10, 12, 14, 13]$ 。

假设 4 考虑 5 种体系能力, $p=5$ 。

假设 5 能力权重系数设置为

$$\begin{aligned} \alpha_{S_i} &= [1, 1, 1, 2, 1, 3, 0, 9] \\ \beta_k &= [0.89, 0.9, 1.0, 1.05, 1.1] \\ \gamma_u &= [0.05, 0.1, 0.15, 0.3, 0.4] \end{aligned}$$

假设 6 L_{k, S_i}^u 和 La_k^u 分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 每种能力最低需求
Table 1 Minimum requirements for each capability

一级体系	能力 1	能力 2	能力 3	能力 4	能力 5
S_1	3/4/4/	0/2/4/	1/5/9/	2/5/8/	3/3/9/
	6/7	6/11	16/16	10/15	14/17
S_2	2/3/7/	2/2/2/	4/8/12/	0/1/3/	3/3/8/
	10/16	6/11	17/18	3/10	9/16
S_3	1/4/4/	2/7/10/	2/6/9/	0/4/4/	1/4/9/
	8/14	13/20	12/19	7/10	15/19
S_4	3/5/6/	1/3/4/	3/7/10/	2/6/11/	2/3/5/
	10/17	6/14	11/11	16/22	10/14

表 2 每年每种能力加权 and 最低需求
Table 2 Weighted and minimum demand of each capacity per year

年数	能力 1	能力 2	能力 3	能力 4	能力 5
1	1.064	6.651	24.244	3.320 8	13.219
2	21.359	20.463	24.857	24.034	20.035
3	27.890	22.866	41.073	41.858	22.267
4	33.356	35.244	46.107	68.330	49.581
5	46.276	39.166	61.315	92.205	67.561

3.2 结果分析

设置初始种群规模为 200, 迭代次数为 10 000, 利用算

法迭代求解模型,输出一个五年规划内每个二级体系 S_{ij} 得到发展的年份,如表 3 所示。

表 3 二级体系发展年份														
Table 3 Year of development of secondary system														
j	i													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	4	2	3	5	1	3	4	4	3	2	—	—	—	—
2	1	5	2	5	3	3	1	3	4	2	1	3	—	—
3	4	2	1	1	2	1	3	1	2	4	1	1	5	1
4	—	5	5	2	1	2	5	4	2	3	2	3	2	5

可见,每个一级体系对应的二级体系在一个五年规划内分别发展一次,表格中数字代表得到发展的年份。输出模型求解迭代图如图 3 所示。

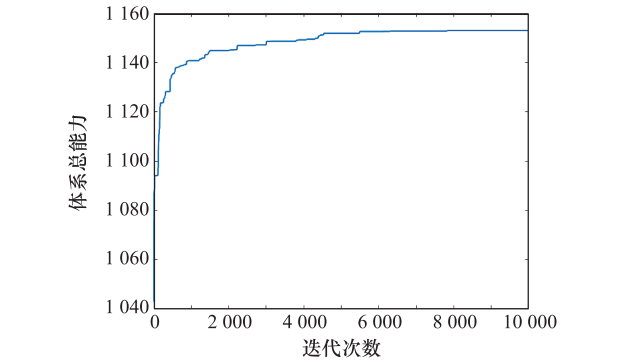


图 3 模型求解迭代图
Fig. 3 Iterative diagram of model solution

由图 3 可知,当种群迭代至大约 5 500 次后,目标函数值保持不变,得到帕累托最优解,即体系总能力最大值。输出一个五年规划内每个二级体系每年的实际发展费用,如表 4 所示。

表 4 二级体系发展费用					
Table 4 Secondary system's development cost					
二级体系	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年
S_{11}	—	—	—	0.242 7	—
S_{12}	—	0.263 2	—	—	—
S_{13}	—	—	0.252 7	—	—
S_{14}	—	—	—	—	0.239 1
S_{15}	0.284 2	—	—	—	—
S_{16}	—	—	0.256 6	—	—
S_{17}	—	—	—	0.219 3	—
S_{18}	—	—	—	0.245 4	—
S_{19}	—	—	0.245 9	—	—
$S_{1,10}$	—	0.272 4	—	—	—
S_{21}	0.235 1	—	—	—	—
S_{22}	—	—	—	—	0.189 8
S_{23}	—	0.214 6	—	—	—
S_{24}	—	—	—	—	0.194 4
S_{25}	—	—	0.208 9	—	—
S_{26}	—	—	0.201 9	—	—
S_{27}	0.202 2	—	—	—	—

续表 4					
Continued Table 4					
二级体系	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$S_{4,12}$	—	—	0.184	—	—
$S_{4,13}$	—	0.197 9	—	—	—
$S_{4,14}$	—	—	—	—	0.168 9

可见,设置的 49 个二级体系在其对应的年份内均得到发展。输出一个五年规划内每个一级体系每年的发展费用,如表 5 所示。

表 5 一级体系每年的发展费用					
Table 5 Annual development cost of the first level system					
费用	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年
S_1	0.284 2	0.535 6	0.755 2	0.704 7	0.239 1
S_2	0.652 3	0.443 8	0.815 2	0.185 3	0.384 2
S_3	1.401 2	0.571 6	0.180 9	0.336 8	0.158 9
S_4	0.215 2	0.997 5	0.373 8	0.175 2	0.333 9

综上所述,该示例结果表明,在一个五年规划内,在达到总能力最大目标的同时,体系建设发展的总费用为 9.744 6 亿元,未超出总预算 10 亿的约束范围,因此通过该示例能够验证所提方法的正确性与可行性。

4 结 论

资源分配是联合作战体系建设发展中的重要问题,合理配置资源、实现资源有效利用,对于提高军事能力意义重大。本文采用数学规划的方法,基于体系能力对联合作战体系资源分配问题构建模型,并运用遗传算法重复迭代、求解模型,得到模型的帕累托最优解,通过示例验证了所提方法能够完成五年规划内的国防资源统筹分配,进一步支撑联合作战体系建设发展的顶层规划。

参考文献

[1] SHAW L, DAS S K, ROY S K. Location-allocation problem for resource distribution under uncertainty in disaster relief operations[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2022, 82: 101232.

[2] BAO K, THRÄN D, SCHRÖTER B. Land resource allocation between biomass and ground-mounted PV under consideration of the food-water-energy nexus framework at regional scale[J]. Renewable Energy, 2023, 203: 323–332.

[3] 包晗. 基于运营效益评价的铁路集装箱维修预算分配管理研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.

BAO H. Research on budget allocation management of railway container maintenance based on operational benefit evaluation[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.

[4] PATRONAS G, VLASSOPOULOS N. Accelerating the scheduling of the network resources of the next-generation optical data centers[J]. Parallel Computing, 2023, 115: 102993.

[5] 王磊, 郑军, 贺川, 等. 高通量多波束通信卫星系统资源分配方法[J]. 中国空间科学技术, 2021, 41(5): 85–94.

- WANG L, ZHENG J, HE C, et al. Resource allocation method for high-throughput multi-beam communication satellite system[J]. China Space Science and Technology, 2021, 41(5): 85–94.
- [6] ABEDI S, GHOBAEI A M, KHORAMI E, et al. Dynamic resource allocation using improved firefly optimization algorithm in cloud environment[J]. Applied Artificial Intelligence, 2022, 36(1): 2055394.
- [7] 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 X X, JIANG J, GE B F. Planning model and algorithm for allocation of scientific research funds for weapons and equipment[J]. Systems Engineering and Electronics, 2015, 37(9): 2061–2066.
- [8] GAFNI P G, KHAN M. Predicting daily emergency department visits using machine learning could increase accuracy[J]. The American Journal of Emergency Medicine, 2022, 65: 5–11.
- [9] SHABTAY H, TISHLER A. Budget allocation under uncertainty and the costs of war and insecurity[J]. Defence and Peace Economics, 2014, 25(5): 461–480.
- [10] KANGASPUNTA J, SALO A. Expert judgments in the cost-effectiveness analysis of resource allocations: a case study in military planning[J]. OR Spectrum, 2014, 36: 161–185.
- [11] ZHANG X, LIU Q, XIE Z R. A quantitative analysis and planning model for strategic management resource allocation demand[C]//Proc. of the 34th Chinese Control and Decision Conference, 2022: 126–130.
- [12] WANG C H, DONG Q, LI D X, et al. Resource allocation based on IMPALA algorithm[C]//Proc. of the 2nd International Conference on Electronics, Communications and Information Technology, 2021: 1136–1142.
- [13] YILMAZ E, GERMAN B J, PRITCHETT A R. Optimizing resource allocations to improve system reliability via the propagation of statistical moments through fault trees[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2023, 230: 108873.
- [14] INAMPUDI V S, GANZ A. Web based tool for resource allocation in multiple mass casualty incidents[C]//Proc. of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2009: 1710–1713.
- [15] SHABTAY H, TISHLER A. Budget allocation under uncertainty and the costs of war and insecurity[J]. Defence and Peace Economics, 2014, 25(5): 461–480.
- [16] BASTIAN N D, FULTON L V, SHAH V P, et al. Resource allocation decision making in the military health system[J]. IEEE Trans. on Healthcare Systems Engineering, 2014, 4(2): 80–87.
- [17] XIONG J, LEUS R, YANG Z Y, et al. Evolutionary multi-objective resource allocation and scheduling in the Chinese navigation satellite system project[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 251(2): 662–675.
- [18] BIER V, OLIVEROS S, SAMUELSON L. Choosing what to protect: strategic defensive allocation against an unknown attacker[J]. Journal of Public Economic Theory, 2007, 9(4): 563–587.
- [19] HAPHURIWAT N, BIER V M. Trade-offs between target hardening and overarching protection[J]. European Journal of Operational Research, 2011, 213(1): 320–328.
- [20] PAULSON E C, LINKOV I, KEISLER J M. A game theoretic model for resource allocation among countermeasures with multiple attributes[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 252(2): 610–622.
- [21] DAVIS P K, SHAVER R D, BECK J. Portfolio-analysis methods for assessing capability options[M]. USA: RAND Corporation, 2008.
- [22] DAVIS P K. Analytic architecture for capabilities-based planning, mission-system analysis, and transformation[R]. Pittsburgh: RAND Corporation, 2002.
- [23] HOLLAND J H. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1992.
- [24] ARIANYANE, MALEKI D, YARI A. Efficient resource allocation in cloud data centers through genetic algorithm[C]//Proc. of the 6th International Symposium on Telecommunication, 2012: 566–570.
- [25] BHATANMN, VIJAYALAKSHMI M, PATIL A, et al. Enhanced genetic algorithm with dispatching rules and diploid multi-parent evolution[C]//Proc. of the IEEE Mysore Sub Section International Conference, 2021: 159–164.
- [26] RAJAN V C, DAS S P, SRIDHARAN R, et al. Development of a reliable and flexible supply chain network design model: a genetic algorithm based approach[J]. International Journal of Production Research, 2021, 59(20): 6185–6209.
- [27] NAKAMURA D M, TESSARO Y V, FURUIE S S, et al. Color formulation in maxillofacial elastomer by genetic algorithm[J]. Dyes and Pigments, 2021, 196: 109820.
- [28] 丁越. 基于遗传算法的P2P网贷违约预警模型研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- DING Y. Research on P2P network loan default warning model based on genetic algorithm[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [29] ADITYA S, SANJAY H A. A modified genetic algorithm and weighted principal component analysis based feature selection and extraction strategy in agriculture[J]. Knowledge-Based Systems, 2021, 232: 107460.

作者简介

张玉婷(1991—),女,博士研究生,主要研究方向为联合作战体系仿真分析与评估。

杨镜宇(1971—),男,高级工程师,博士研究生导师,博士,主要研究方向为联合作战体系仿真分析与评估。