

基于动态规划的目标优化分配决策模型

刘 铭¹, 高 尚², 聂 成¹

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 华东船舶工业学院, 江苏 镇江 212003)

摘 要:针对现代防空作战特点,对区域防空体系的目标优化分配问题进行了研究,改进了目标优化分配的基本模型,并使用动态规划方法建立了相应的决策模型,给出了求解的步骤和应用实例,结果表明,对于小规模目标的问题,其计算简单,且容易取得全局最优解。

关键词: 动态规划; 优化分配; 决策模型

中图分类号: E0221.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2003)04-0045-03

在多种类型和多种型号地空导弹武器装备混合部署条件下,如何进行目标的优化分配,是最大限度地杀伤来袭目标、最大程度地保卫防御要地的关键问题之一。但是,在以往的目标优化分配模型中,主要研究的是单一型号地空导弹武器作战单元级目标分配问题,因此,针对区域防空体系大空间范围内的地空导弹群目标优化分配问题进行研究,具有非常重要的意义。

1 目标优化分配模型

1.1 基本模型

设有 n 批来袭的空中目标,共有 n 个同一型号的地空导弹火力单元来抗击这 n 批目标。为了建立目标优化分配的数学模型,假设:①每批目标只能分配给一个火力单元;②每个火力单元只能同时射击一批目标。

选择决策变量为 x_{ij} ,当 $x_{ij} = 1$ 时,表示第 i 个火力单元射击第 j 批目标;当 $x_{ij} = 0$ 时,表示第 i 个火力单元不射击第 j 批目标。建立的目标优化分配模型为

$$\max E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, E 为杀伤目标的期望值; P_{ij} 为第 i 个火力单元对第 j 批目标的杀伤概率。

这是 0-1 型整数规划模型,可以用匈牙利法求解,能解决一类防空作战目标优化分配的实际问题,但存在下列不足:第一,不适应大空间范围内区域防空体系多型号多通道地空导弹群混合部署时防空的需要;第二,在建模时,假设每批目标只能分配给一个火力单元,没有考虑集火射击问题。

1.2 改进模型

为了解决上述问题,并结合区域防空作战的实际,本文建立了目标优化分配的改进模型。假定进行空袭的蓝方由战斗机、攻击机、轰炸机、战斗轰炸机、电子战飞机、预警机、巡航导弹(CM)、空地导弹(含反辐射导弹)和战术弹道导弹(TBM)等多种类型目标组成了一个严密的空袭体系,蓝方共有 r 批目标对红方重点地区

收稿日期:2002-05-07

收稿日期:国家高等学校骨干教师计划资助项目(GG-110-90039-1004)

作者简介:刘 铭(1968-),男,山东乐陵人,博士生,主要从事防空作战决策分析。

的目标群进行打击。红方由多种型号的地空导弹混合部署,组成一个地面区域防空体系来抗击蓝方的进攻,红方共有 m 个作战单元,第 i 个作战单元有 $m_i (1 \leq m_i \leq n)$ 个火力单元, $n = \max(m_i)$ 。建立的目标优化分配数学模型如下:

$$\max T = \sum_{i=1}^r w_i [1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_{ij})^{x_{ij}}] \quad (5)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^r x_{ij} = m_i \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, r; j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中, T 为区域防空体系的射击效益; x_{ij} 为决策变量,表示分配给第 i 批目标的第 j 个地空导弹作战单元的火力单元数; P_{ij} 为第 i 个作战单元的一个火力单元对第 j 个目标的杀伤概率(地空导弹武器是指发射两发导弹的杀伤概率); w_i 为使用 AHP 或模糊综合评判等方法确定的第 i 批空袭目标的威胁程度权重。

1.3 动态规划模型

上述改进模型描述的是一个非线性最优化问题,用非线性最优化方法来求解比较复杂。由于模型(5)是和的形式,所以可以把对 r 个目标的优化分配过程看成一个 r 阶段决策过程,用动态规划方法求解。

1) 阶段变量: $k = 1, 2, \dots, r$;

2) 决策变量:由于第 k 阶段决策即为对第 k 个目标分配地空导弹火力单元的决策,故决策变量取为对第 k 个目标分配的地空导弹火力单元向量 $U_k, U_k = (u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{mk})^T$,其分量 u_{ik} 表示分配给第 k 批目标的地空导弹第 i 个作战单元的火力单元数;

3) 状态变量:状态变量应当是能描述过程变化的量,这里选择 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ 作为状态变量; X 为分配给第 k 至第 r 批目标的装备火力单元向量,其分量 x_i 是第 i 个作战单元分配给第 k 至第 r 批目标的火力单元数;

4) 状态转移方程: $\bar{X} = X - U_k, \bar{X}$ 表示分配给 $k+1$ 至第 r 批目标的装备火力单元向量;

5) 指标函数: $v_k(U_k) = w_k [1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_{jk})^{u_{jk}}]$, $v_k(U_k)$ 表示对第 k 个目标的射击效益;

6) 目标最优值函数: $f_k(X)$ 表示以地空导弹火力单元向量 X 分配给第 k 至第 r 个目标所得的最大射击效益。于是区域防空体系地空导弹群目标优化分配的动态规划模型(DP)为

$$\begin{cases} f_r(X) = v_r(U_r) \\ f_j(X) = \max_{0 \leq U_j \leq X} v_j(U_j) f_{j+1}(X - U_j) \\ U_j = (u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{mj})^T \\ X = (x_1, x_2, \dots, x_m) \\ j = r-1, \dots, 2, 1 \end{cases} \quad (8)$$

1.4 模型的应用

假设在一次区域防空作战中,空袭目标有 3 批,其威胁程度权重向量 w 为 $(0.3, 0.5, 0.2)$,则目标的威胁排序为 2, 1, 3;地空导弹作战单元有两个: A (具有 1 个火力单元,其两发导弹杀伤概率为 0.94) 和 B (具有 3 个火力单元,其两发导弹杀伤概率为 0.96)。应用动态规划模型求解最优分配方案,则该问题可看作 1 个 3 阶段分配过程,每个阶段分配两类地空导弹火力单元于 1 个空袭目标。使用编制的 DP 算法软件进行求解,解得最优策略为 $(0, 1), (1, 1), (0, 1)$ 。它表示对第 1 个目标分配作战单元 B 的 1 个火力单元进行射击;对第 2 个目标分配作战单元 A 和 B 的各 1 个火力单元进行集火射击;对第 3 个目标分配作战单元 B 的 1 个火力单元进行射击。可见,其分配结果与专家评测结果一致。

2 结束语

使用 DP 来建立目标优化分配模型,其计算步骤简单,而且容易取得全局最优解。不过,由于动态规划方法只适用于小规模目标分配问题,即装备作战单元数和空袭目标数均不太大的情况。所以,当 DP 模型规模较大时,应采用其它优化算法(如遗传算法等)来求解模型(5)。

参考文献:

- [1] 聂 成. 兵力分配的优化模型与方法[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998, 28(10): 415 - 417.
 [2] 张之坯, 李建德. 动态规划及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
 [3] 王凤山, 申卯兴. 防空战略作战的势律建模研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2000, 1(4): 80 - 83.

(编辑: 田新华)

A Decision Model of Target's Optimization Apportion Based on Dynamic Programming

LIU Ming¹, GAO Shang², NIE Cheng¹

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi, 713800, China; 2. East China Ship - building Institute, Zhenjiang, Jiangsu 212003, China)

Abstract: The basic model of target's optimization apportion is improved in allusion to the characteristics of modern anti-aircraft combat in this paper, and a decision model of target's optimization apportion is established by making use of dynamic programming. Finally, the method and approach are proposed to solve the optimal model. An ideal result can be acquired by using such a model.

Key words: dynamic programming; optimization apportion; decisive model

(上接第 37 页)

参考文献:

- [1] Dan Gonzales, Lou Moore, Chris Pernin, et al. Assessing the Value of Information Superiority for Ground Forces - Proof of Concept [R]. Technical report (ISBN: 0 - 8330 - 3048 - 5 DB - 339 - OSD), RAND's: National Security Research Security Research Division, 2001.
 [2] 毛燕芬. 空对地攻击系统效能分析[D]. 西安: 西北工业大学, 2001.
 [3] 岳韶华, 周国安, 张金成. 防空 C³I 作战效能研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(1): 30 - 32.
 [4] 杨 凡, 常国岑. C³I 战术态势评估系统结构与实现方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(4): 16 - 18.
 [5] 李 教, 敬忠良, 王 安. 多平台多传感器多源信息融合中的时空对准研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(5): 56 - 60.

(编辑: 门向生)

Tactical Fusion System Structure and its Effectiveness Analysis

LI Jiao¹, JING Zhong - liang², WANG An³, HE Jiao - na³

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China; 2. Institute of Aerospace Information and Control, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China; 3. Dept. of Auto. Control, Northwestern Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710072, China)

Abstract: This article presents the definition of main objects that make up the tactical fusion system, the systemic block diagrams in the tactical fusion system, and the process of operation. It also analyzes the influence from weather and terrain on tactical fusion system's effectiveness. And on the basis of this, the paper expatiates on the method and the process of the tactical fusion system effectiveness analysis.

Key words: tactical fusion; structure; effectiveness; weapon