

文章编号:1002-0640(2009)02-0032-04

舰艇编队作战系统的武器目标分配问题*

韩 双,刘以安,杨新刚,刘 静
(江南大学信息工程学院,江苏 无锡 214036)

摘 要:设我方 m 艘战舰,对方 n 个来袭目标。运用灰色局势决策求得目标对各个战舰产生的威胁值排序;再用模拟退火算法,参考目标威胁,单舰根据自身装载的火力发射进行初步武器分配;最后将分配结果传送至融合中心,应用大系统理论的分解协调法,协调武器分配,使得我方武器对本批目标的打击概率最大。仿真基于 VC++ 编程实现,具体分析了算法及思想的可行性。

关键词:灰色局势决策,威胁值,模拟退火算法,融合中心,分解协调法

中图分类号:E925.6

文献标识码:A

WTA Problem in the Warship Fleet

HAN Shuang, LIU Yi-an, YANG Xin-gang, LIU Jing
(College of Information Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: Given there are m vessels against n targets. first, the threat of air targets against every vessel was evaluated by applying gray situation decision; then for every vessel, simulated annealing algorithm is used to assign the weapons against targets originally according to the threat of targets; At last, taking a variety of unsatisfied conditions into account, such as the limitation of the number of firepower on every vessel, decomposition-coordination method of the large scale system theory is used to coordinate assignment in the center to which all the results produced in the second step are transmitted, so that the targets can be destroyed as accurately as possible. The simulation shows the feasibility of the methods and the ideas proposed in this paper.

Key words: gray situation decision, threat of air targets, simulated annealing algorithm, fusion center, decomposition-coordination method

引 言

武器目标分配(Weapon Target Assignment)是指根据已知的敌方来袭目标对己方的破坏概率、威胁度、己方防御武器的杀伤概率以及受防御资源的重要程度,通过一定的分配策略,在敌方的来袭目标间,科学地分配己方的防御武器,以使得来袭目标受到的打击效果最佳或使得己方受防御资源得到最好的保护^[1]。对武器目标分配的研究,以往的很多算法如蚁群算法、遗传算法未考虑来袭目标的威胁评估,

即使将其考虑在内,也仅仅是作为已知量或运用模糊决策的方法对作战系统的目标威胁综合评估;而实际上,由于现代战场作战资源大多采用编队形式,从各个资源角度探测到的目标威胁程度会有不同。另外,本文提出一种新的武器目标分配思想,单个资源根据目标威胁先进行初步武器分配,后将结果送入指挥中心进行整体协调分配,以便与其他资源形成统一严密的作战方案。这种思想既考虑了作战武器的价值,又实现了很好的作战效能,为实际作战指控系统适时进行武器分配提供了一种有效的参考处理方法。

本文方法研究基于海上舰艇作战,目标威胁主要针对空中、海面目标加以讨论。先用灰色局势决策对目标威胁值排序建立数学模型;再运用模拟退火

收稿日期:2007-12-05

修回日期:2008-02-18

* 基金项目:国防预研应用基础研究资助项目(A1420061266)

作者简介:韩 双(1982-),女,山东德州人,硕士,研究方向:雷达对抗。

算法,针对海战中各个战舰火力发射的不同进行初步武器目标分配;最后根据大系统理论的分解协调法对武器目标分配进行系统协调,达到最大限度的击毁目标的目的。

1 灰色局势决策

自然界中的系统大多数为灰色系统,灰色局势决策是灰色系统的一部分,它是专门解决灰色系统多目标决策问题的一种方法。根据某些准则对各个局势(局势是事件和对策的二元组合)所产生的实际效果规定效果测度,然后计算每一方案综合效果测度,据此进行方案的排序优选^[2]。本文用灰色局势决策求得目标对我方战舰威胁值排序的思想,可归结为多目标决策中的方案排序问题,即把一个来袭目标看成一个方案,根据目标的可利用参数,产生目标威胁值的顺序。

1.1 判断模型的建立

设我方有 Q 艘战舰,敌方 m 个目标,每个目标对应每艘战舰都有 n 个评估参数。 Q 艘战舰作为事件,即 $(v_1, v_2, \dots, v_Q)$; m 个目标作为对策,即 $(t_1, t_2, \dots, t_m)$;事件和对策构成局势 $S_{ij} = (v_i, t_j)$, (令 $i = 1, 2, \dots, Q; j = 1, 2, \dots, m$), 其中每个敌方目标对每个战舰都有对应的 n ($k = 1, 2, \dots, n$) 个评估参数。本文中,敌方目标威胁评估参数取为^[5]:

- ① 敌方目标与我方某一战舰的直线距离;
- ② 向我方袭来的目标与我方某一战舰的夹角;
- ③ 敌方目标的袭来速度;
- ④ 敌方目标的袭来加速度;
- ⑤ 敌方目标的机型。

针对一个战舰,每个目标都有其对应的评估因素,目标 t_j ($j = 1, 2, \dots, m$) 的第 k 个指标因素 c_k ($k = 1, 2, \dots, n$) 的数据为 u_{jk} , 用矩阵表示为 $(U_{jk})_{m \times n}$ 。由于量纲和要求不同,需要统一量纲和要求。即一个多指标局势决策,在效果进行量化之前,将效果白化值(样本)转化成各种指标可以比较的效果测度^[2]:

① 对于“越大越好”的评估因素采用上限效果测度:

$$r_j^{(k)} = \frac{u_j^{(k)}}{u_{\max}^{(k)}}, u_{\max}^{(k)} \geq u_j^{(k)}, 0 \leq r_j^{(k)} \leq 1$$

式中 $u_j^{(k)}$ 为指标 k 下 u_{jk} 的实际效果; $u_{\max}^{(k)}$ 为所有实际效果的最大值。

② 对于“越小越好”的目标采用下限效果测度:

$$r_j^{(k)} = \frac{u_{\min}^{(k)}}{u_j^{(k)}}, u_{\min}^{(k)} \leq u_j^{(k)}, 0 \leq r_j^{(k)} \leq 1$$

式中 $u_{\min}^{(k)}$ 为所有实际效果的最小值。

③ 对于要求“适中”的目标采用适中效果测度:

$$r_j^{(k)} = \frac{\min\{u_j^{(k)}, u_0\}}{\max\{u_j^{(k)}, u_0\}}, 0 \leq r_j^{(k)} \leq 1$$

本文提到的敌方目标威胁评估参数效果测度分别为:越小越好、越小越好、越大越好、越大越好、越大越好。

接下来计算多目标综合效果测度。由于有 n ($n = 5$) 个威胁评估参数,根据各种指标的权重,求取综合效果测度。

$$r_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \theta_k \cdot r_j^{(k)} \quad (1)$$

θ_k ($k = 1, 2, \dots, n$) 是第 k 个评估参数的权重,且 $\sum_{k=1}^n \theta_k = 1$ 。目标各评估指标对目标影响程度不一定相同,为此,对评估结果的影响确定一个恰当的权重,权重的求法可根据专家评估、指挥员的意图用 AHP(层次分析法)来确定,考虑权重的影响^[3],根据所得综合测度值的大小即得出敌方目标对我战舰的威胁值排序。

2 模拟退火算法

模拟退火算法^[7]是源于对固体退火过程的直接简单模拟而建立起的一种通用随机搜索技术。此算法已在求解许多组合优化问题,特别是在解 NP 完全问题中得到了成功应用。本文中,根据以上得出的目标威胁值排序,将此算法用于解决单舰武器分配。

2.1 基本假定与目标函数的确定

假设每个目标只攻击一艘战舰,每个防御武器也只迎击它的射程范围内的某一来袭目标。设 Q 艘战舰各自的火力发射点数为 w_q ($q = 1, 2, \dots, Q$), w_{qi} ($q = 1, 2, \dots, Q; i = 1, 2, \dots, w_q$), 为第 q 艘战舰第 i 个火力发射点。 p_{ij} 为某一战舰第 i 个火力发射点武器迎击第 j 个目标的命中概率,并规定第 j 个目标所能分配的武器数量的最大值为 $t[j]$ ^[6]。

如某舰第 i 个火力点武器迎击第 j 个目标,则 $y_{ij} = 1$, 否则 $y_{ij} = 0$, 可得某一战舰上武器目标分配的最佳解是分配迎击全部目标的杀伤概率和最大^[6]。

$$\maxsum0 = \sum_{j=1}^m (1 - \prod_{i=1}^{w_q} (1 - y_{ij} p_{ij})) \quad (2)$$

又根据以上得到的各个目标的威胁度的效果测度值 r_j , 可得某一战舰武器目标分配的最佳解是分配迎击全部目标的杀伤威胁值概率和最大^[6]。

$$\maxsum = \sum_{j=1}^m r_j (1 - \prod_{i=1}^{w_q} (1 - y_{ij} p_{ij})) \quad (3)$$

2.2 模拟退火算法的单舰武器目标分配决策

具体实现步骤为:

①以均匀概率随机产生一组武器目标分配,作为初始状态的当前最优点;

②设置初始温度 $T_0 = T_{\max}$;

③设置循环初值 $num = 1$;

④按式(2)算出当前最优点武器迎击目标的杀伤威胁值概率和 sum ;

⑤对当前最优点作一随机扰动(如,交换操作),产生一个新的最优点。重新计算式(2),得出两者之间的增量 Δ ;

⑥应用 Metropolis 规则确定是否接受新产生的最优点。如果 $\Delta > 0$,则接受该新产生的最优点为当前最优点,否则以概率 $p = \exp(-\Delta/T_0)$ 接受该新产生的最优点为当前最优点;

⑦判断 num ,若 $num < \text{终止步数}$,则 $num = num + 1$,转至第④步,否则进行降温,使 $T_0 = \alpha \cdot T_0$,这里 $0 < \alpha < 1$;

⑧若连续若干次降温后最优点没有改进或降温到给定的阈值,或 Δ 最小,则输出当前最优点,计算结束。否则转至第④步。

运用此方法,每个战舰都产生一个粗略的武器目标分配表。考虑到各个战舰火力发射点数目有限,武器装备状况、各个武器迎击目标的命中概率不同及来袭目标数目多的特点,为使我方资源损失最小、打击目标概率最大,还需设立融合中心,将分配结果送入其中进行整体分配协调。

3 系统协调

采用大系统理论的分解协调法中的目标协调法^[8]来实现整体分配。由于目标协调法是将关联约束方程的 Lagrange 乘子作协调向量,通过改变子问题的目标函数进行协调,并不断修正子问题的目标函数,直到最优为止。所以,对式(2)的 WTA 数学模型,作 Lagrange 函数

$$L = sum0 + \lambda (\sum_{j=1}^m n_j - M) \quad (4)$$

此处 L 是迎击全部目标的杀伤概率, λ 是协调变量, n_j 是迎击第 j 个目标的火力点武器, M 是所有战舰的火力发射点数之和。满足的约束条件

为 $\sum_{j=1}^m n_j \leq M$ 。 L 按可加性分解

$$L = \sum_{j=1}^m L_j \quad (5)$$

式中

$$L_j = (1 - \prod_{i=1}^{w_j} (1 - y_{ij} p_{ij})) + \lambda n_j - \lambda \frac{M}{m} \quad (6)$$

这样,第一级的 m 个子问题是在由第二级给定 λ^0 的情况下,使 $L_j (j=1, 2, \dots, m)$ 分别最优,即求 $\max L_j$;第二级中使用梯度形算法 $\lambda^{k+1} = \lambda^k + \eta L_\lambda$ 不

断修正 λ 来实现整体最优,其中 $L_\lambda = \frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{j=1}^m n_j - M$, $\eta > 0$ 为步长, k 为迭代次数。

基于已经产生的初步分配,对迎击目标概率大于最大命中概率 P 的情况运用目标协调法,而对那些达不到 P_0 的情况则按照一定的准则进行手动分配,尽量做到对该目标的命中概率最大,使用武器最少。

Begin: ①置初值 λ^0 , 并令 $k=0$;

②由已知 λ^k 对迎击概率大于最大命中概率 P 的情况求解 $\max L_j$, 解出 n_j ;

③对达不到 P 的情况,从闲置火力点中按照 (p_{ij} /火力点发射武器价值)由大到小的顺序手动分配,解出 n_j ;

④由式 $\lambda^{k+1} = \lambda^k + \eta L_\lambda$ 算出 Lagrange 乘子 λ^{k+1} ;

⑤检验误差 $\zeta = |\lambda^{k+1} - \lambda^k|$;

⑥若 $\zeta > \epsilon$ (ϵ 为预先给定的误差阈值),则令 $k = k + 1$, 并转至②;

End

4 仿真分析

对本文算法思想采用 Visual C++ 6.0 编程,其仿真举例如下:

例:假设目标数 $m=5$,我方战舰数 $Q=3$,每艘战舰火力发射点数分别为 5、6、3。武器对目标的命中概率、预发射武器的自身价值(规定为 1、2、3,数字越大,价值越大)、我方探测到的目标的五个评估参数均由编队 C³I 系统提供。我方战舰预发射武器对目标的打击概率如下页表 1 所示,根据探测到各个目标的评估参数,运用灰色局势决策方法,得到威胁值排序如下页表 2 所示。

由下页表 1、表 2、表 3,综合考虑武器价值、武器对目标的打击概率及来袭目标威胁,经融合中心协调,得出合理的武器目标分配方案,如下页表 4 所示。这里取 $p_0=0.95$, $\epsilon=0.01$, $\eta=0.001$, $\lambda=0.001$ 。

经过系统协调,在满足我方对目标的打击概率 p_0 达到最大概率的前提下,达到了尽量使用最少武器及保留贵重武器的目的,其中第 2、6、12 火力点空闲,其装备武器价值分别为 3、2、3。经测算,此仿真过程耗时 599 ms,有利于中心指挥者再行调整分

配,适时摧毁目标。

表 1 我方战舰预发射武器对目标的打击概率

舰艇	武器	目标	打击概率					武器 价值
			1	2	3	4	5	
1	1		0.91	0.35	0.69	0.26	0.62	2
	2		0.66	0.51	0.20	0.85	0.62	3
	3		0.46	0.93	0.33	0.57	0.29	1
	4		0.65	0.19	0.57	0.74	0.53	3
	5		0.30	0.11	0.78	0.24	0.82	2
2	6		0.45	0.81	0.29	0.22	0.24	2
	7		0.75	0.11	0.20	0.28	0.63	1
	8		0.39	0.39	0.88	0.49	0.32	3
	9		0.66	0.71	0.78	0.79	0.92	1
	10		0.88	0.81	0.75	0.91	0.48	2
	11		0.76	0.41	0.84	0.58	0.78	1
3	12		0.18	0.31	0.68	0.73	0.47	3
	13		0.67	0.11	0.84	0.61	0.55	3
	14		0.47	0.64	0.33	0.73	0.24	1

表 2 目标对单舰的威胁值排序

目标	舰艇	次序	1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
1		1	1	5	3	4	2
2		4	4	3	2	1	5
3		1	1	5	4	2	3

根据威胁值排序,单舰进行初步武器分配,分配结果如表 3 所示。

表 3 单舰武器目标分配结果

舰艇	武器	目标	1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
1	1		1				
	2		1				
	3				1		
	4						1
	5						1
2	6		1				
	7					1	
	8				1		
	9				1		
	10					1	
	11					1	
3	12						1
	13		1				
	14		1				

表 4 经融合中心协调后的武器目标分配方案

舰艇	武器	目标				
		1	2	3	4	5
1	1	1				
	2					
	3		1			
	4					1
	5					1
2	6					
	7					1
	8			1		
	9			1		
	10				1	
	11				1	
3	12					
	13	1				
	14		1			

5 结束语

本文提出一种适时有效的武器目标分配思想,并提前将目标威胁值排序,在实际作战中不失为一种好的作战决策,但仿真程序只是针对静态武器目标分配,而现代战场形式复杂多变,要想更有效地阻击对方,该思想还需深入研究。

参考文献:

[1] 韩 斌,王士同,张 帆.基于层次遗传算法的动态武器目标分配[J].华东船舶工业学院学报,1999,13(6):19-23.

[2] 龙腾芳.灰色局势决策算法及其应用[J].微电子学与计算机,2005,22(7):62-64.

[3] 邱继进,周冬华,梅建庭.目标打击价值的灰色决策分析[J].情报指挥控制系统与仿真技术,2005,27(4):36-38.

[4] 邓聚龙.灰预测与灰决策[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.

[5] 张由余,罗丽莉.多因子动态加权威胁估计方法[J].火力与指挥控制,1997,22(4):44-48.

[6] 曹奇英,何张兵.WTA 问题的遗传算法研究[J].控制理论与应用,2001,18(1):76-79.

[7] 张 波,叶家玮,胡郁葱.模拟退火算法在路径优化问题中的应用[J].中国公路学报,2004,17(1):79-81.

[8] 刘以安,陈松灿,王士同.分解协调法在武器目标分配问题中的应用研究[J].应用科学学报,2006,24(3):262-264.