

doi: 10.7690/bgzd.2013.02.008

## 基于异类齐射战斗模型的舰艇编队火力分配

王标, 任耀峰

(海军工程大学理学院, 武汉 430033)

**摘要:** 针对休斯齐射战斗模型存在的局限性, 提出一种采用整数规划方法分析编队分组对抗的火力的分配策略。根据海上舰艇编队导弹战斗特点, 在休斯齐射战斗模型的基础上建立了异类齐射战斗模型, 将异类齐射战斗模型抽象为整数规划模型, 利用 Lingo10.0 对该整数规划的最优函数进行求解获得最终的分组对抗策略。实例仿真运算结果表明: 该方法编程实现简单, 运行速度快, 可为舰艇作战指挥决策提供理论参考。

**关键词:** 异类齐射战斗模型; 整数规划; 舰艇编队; 火力分配

**中图分类号:** TJ303 **文献标志码:** A

## Missile Fire Distribution of Warship Formation Based on Heterogeneous Salvo Combat Model

Wang Biao, Ren Yaofeng

(College of Science, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** Aimed at the limitation problem of Hughes' salvo combat model, the approach of using integer programming method is proposed to analyze the strategy of missile fire distribution of formation. According to the characteristic of vessel formation in missile combat, the heterogeneous salvo combat model is established on the basic of Hughes' salvo combat model, and the heterogeneous salvo combat model abstract for integer programming model, using Lingo10.0 on the integer programming for optimal function was applied to get the final group confrontation strategy. The simulation calculation results show that the method is simple for programming, its running speed is fast, and it can provide warship combat command decision-making with academic reference.

**Key words:** heterogeneous salvo combat model; integer programming; vessel formation; firepower assignment

### 0 引言

1995年, 休斯提出并建立了齐射战斗模型<sup>[1]</sup>, 用来分析海上舰艇编队导弹齐射战斗中的战损问题。该模型形式简单易懂, 作战指挥员不需具备较深的理论知识便可利用模型进行战损预测及火力分配问题的分析<sup>[2]</sup>; 但是, 休斯齐射战斗模型适用于双方各自只有一类舰艇参战的情况, 而在实际的舰艇编队导弹作战中, 作战双方往往有2种或2种以上舰艇参加战斗, 不同类型的舰艇, 其战斗参数也不同。异类齐射战斗模型是描述异类舰艇组成的编队导弹战斗的确定型模型, 研究该战斗的火力分配问题, 是为了探讨导弹战斗的特点, 优化战略战术武器配置等环节。笔者根据海上舰艇编队导弹齐射战斗的特点, 利用异类齐射战斗模型<sup>[3]</sup>, 对由异类舰艇组成的舰艇编队在作战中分组对抗的火力分配问题进行分析 and 讨论。

### 1 异类齐射战斗模型

#### 1.1 基本假设

1) 舰艇导弹战斗中, 每艘舰艇所发射的反舰导弹均为精确瞄准敌方目标且成功发射的导弹, 若该导弹未被拦截, 则必定击中敌方目标并对其造成损失。而每艘舰艇所发射的舰空导弹均能够成功拦截敌方反舰导弹。攻击方某型舰艇对防御方某型舰艇的攻击力是指其所发射的反舰导弹数量; 防御方某型舰艇对攻击方某型舰艇的防御力是指其所发射的舰空导弹数量<sup>[4]</sup>。

2) 舰艇的抗毁力是指舰艇在丧失战斗力之前所能承受导弹攻击的数量。

3) 水面舰艇整体的作战能力与多种因素有关, 包括侦查能力、指挥控制系统、航海参数、舰艇本身结构、携带武器数量与性能以及官兵军事素质等等<sup>[5]</sup>。在此简化为3个参数: 攻击力、防御力和抗

收稿日期: 2012-08-25; 修回日期: 2012-09-16

作者简介: 王标(1985—), 男, 河北人, 硕士研究生, 从事军事系统建模与优化决策研究。

毁力。

4) 舰艇均在双方导弹射程之内, 双方导弹数量足够多, 战斗双方都具有较高的训练水平及战斗士气, 且没有重大人为决策失误<sup>[6]</sup>。

### 1.2 异类齐射战斗模型的基本形式

为了更好地描述异类舰艇组成的舰艇编队之间的齐射导弹战斗, 从而使战斗结果更加贴近实际, 文献[3]在休斯齐射战斗模型的基础上建立了异类齐射战斗模型, 其基本形式如下:

$$\begin{aligned} \Delta A &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\beta_{ji} B_j - a_{3(ji)} A_i}{a_{1(ij)}} \\ \Delta B &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{\alpha_{ij} A_i - b_{3(ji)} B_j}{b_{1(ji)}} \end{aligned} \quad (1)$$

表达式中各符号意义如下:

- 1)  $m, n$ : A、B 双方参战的舰艇种类数目;
- 2)  $A_i, B_j$ : A、B 双方第  $i$  类舰艇和第  $j$  类舰艇的数量;
- 3)  $\alpha_{ij}$ : A 方第  $i$  类舰艇对 B 方第  $j$  类舰艇的攻击力, 即在一轮齐射内 A 方一艘第  $i$  类舰艇对 B 方一艘第  $j$  类舰艇成功发射的导弹数量;
- 4)  $\beta_{ji}$ : B 方第  $j$  类舰艇对 A 方第  $i$  类舰艇的攻击力, 即在一轮齐射内 B 方一艘第  $j$  类舰艇对 A 方一艘第  $i$  类舰艇成功发射的导弹数量;
- 5)  $a_{1(ij)}$ : A 方第  $i$  类舰艇对 B 方第  $j$  类舰艇所发射导弹的承受力, 即在失去作战能力之前可以承受 B 方第  $j$  类舰艇所发射导弹命中的数量;
- 6)  $b_{1(ji)}$ : B 方第  $j$  类舰艇对 A 方第  $i$  类舰艇所发射导弹的承受力, 即在失去作战能力之前可以承受 A 方第  $i$  类舰艇所发射导弹命中的数量;
- 7)  $a_{3(ji)}$ : A 方第  $i$  类舰艇对 B 方第  $j$  类舰艇的防御力, 即在一轮齐射内 A 方可拦截 B 方第  $j$  类舰艇所成功发射的导弹数量;
- 8)  $b_{3(ji)}$ : B 方第  $j$  类舰艇对 A 方第  $i$  类舰艇的防御力, 即在一轮齐射内 B 方可拦截 A 方第  $i$  类舰艇所成功发射的导弹数量;
- 9)  $\Delta A, \Delta B$ : 在一轮齐射中 A、B 双方兵力总的战损量。

## 2 编队分组对抗火力分配策略分析

火力分配主要指火力单元对目标的分配方案。

最优火力分配策略的目标是当弹药消耗量一定时保证获得最大毁伤程度<sup>[7]</sup>。编队分组对抗火力分配, 是指在进行导弹攻击时, 根据作战任务需要, 对敌方舰艇编队合理分配己方兵力, 确保各类舰艇的作战效能充分发挥, 使既定兵力取得最大战果。而对火力分配问题的研究, 通常将其合理抽象后, 表示成一个数学规划问题, 用线性规划、整数规划、非线性规划或动态规划等方法求解<sup>[8]</sup>。笔者将异类齐射战斗模型抽象为整数规划模型<sup>[9]</sup>, 利用Lingo10.0对该整数规划的最优函数进行求解。该求解方法较以往对编队作战火力分配研究方法相比, 具有快速简单, 较易掌握的优点。笔者仅研究A方为攻击方、B方为防御方时, 最终的分组对抗火力分配策略。具体分析如下:

设 A 方舰艇编队由  $m$  类舰艇组成, 参战舰艇数量分别为  $A_i (i=1, 2, \dots, m)$ ; A 方第  $i$  类舰艇对 B 方第  $j$  类的总的攻击力为  $A_i \alpha_{ij}$ 。B 方舰艇编队由  $n$  类舰艇组成, 参战舰艇数量分别为  $B_j (j=1, 2, \dots, n)$ 。B 方第  $j$  类舰艇对 A 方第  $i$  类舰艇的总的防御力为  $B_j b_{3(ji)}$ 。战斗中, A 方第  $i$  类舰艇对 B 方第  $j$  类的总的攻击力不小于 B 方第  $j$  类舰艇对 A 方第  $i$  类舰艇的总的防御力, 否则 A 方第  $i$  类舰艇对 B 方第  $j$  类舰艇造成的损伤为 0, 即  $\Delta B_{ji} = 0$ 。

笔者以  $x_{ij}, y_{ji}$  作为决策变量,  $x_{ij}$  表示 A 方第  $i$  类舰艇分配给 B 方第  $j$  类舰艇的数量;  $y_{ji}$  表示 B 方第  $j$  类舰艇对 A 方第  $i$  类舰艇进行防御时应分配的舰艇数量 ( $x_{ij}, y_{ji}$  为非负整数)。那么, 基于异类齐射战斗模型的舰艇编队火力分配可简化为一个整数规划问题, 火力分配最优策略的目标是使 B 方总的兵力损失最大, 数学模型如下:

$$\Delta B_{\max} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (x_{ij} \alpha_{ij} - y_{ji} b_{3(ji)}) \omega_{ji} \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = A_i (i=1, 2, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m y_{ji} = B_j (j=1, 2, \dots, n) \\ x_{ij} \alpha_{ij} - y_{ji} b_{3(ji)} \geq 0 (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \\ x_{ij} \geq 0, y_{ji} \geq 0 (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

其中:  $\omega_{ji} = \frac{1}{b_{3(ji)}}$  为 B 方第  $j$  类舰艇的损伤因子, 即

单枚A方第*i*类舰艇所发射导弹的损伤程度,其取值范围为(0,1]。

对上述整数规划模型进行求解,便可以获得最终的分组对抗策略。

### 3 数值示例及结果分析

假定A方舰艇编队共由3类作战舰艇组成,即  $m=3$ 。B方舰艇编队共由2类作战舰艇组成,即  $n=2$ 。双方各类舰艇的数量及其他参数如下所示:

$$A_i = [A_1 \ A_2 \ A_3]^T = [2 \ 3 \ 1]$$

$$B_j = [B_1 \ B_2]^T = [3 \ 3]$$

$$\alpha_{ij} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 2 & 4 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$$

$$b_{3(ji)} = \begin{bmatrix} b_{3(11)} & b_{3(12)} & b_{3(13)} \\ b_{3(21)} & b_{3(22)} & b_{3(23)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\omega_{ji} = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/3 & 1/2 \\ 1/3 & 1/3 & 1/2 \end{bmatrix}$$

Lingo10 软件可用来求解线性规划、二次规划以及非线性规划等问题。该软件的最大特色在于可以允许决策变量是整数(即整数规划,包括 0-1 规划),而且执行速度很快;因此,笔者根据式(2)所建立整数规划模型,利用 Lingo10.0 软件编程求解,得到其编队分组对抗策略矩阵为:

$$\text{A 方攻击策略矩阵: } x_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 3 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; \text{ B 方防御策}$$

$$\text{阵: } y_{ji} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 0 \end{bmatrix}。$$

综上,A、B 双方的对抗策略矩阵为:

$$DK = \begin{bmatrix} (1 \ 2) & (1 \ 0) \\ (0 \ 0) & (3 \ 3) \\ (1 \ 1) & (0 \ 0) \end{bmatrix}$$

B方舰艇编队的最大损失为:  $\Delta B_{\max} = 5.16 \approx 5$ 。

对上述结果进行分析可知:

B方编队中的第一类舰艇共3艘,其中2艘分配给A方编队中的第一类舰艇,其余1艘分配给A方编队中的第三类舰艇。这样A方编队的第一类舰

艇将1艘用于攻击B方第一类作战舰艇,而A方编队的第三类舰艇全部用于攻击B方编队的另一艘第一类作战舰艇;

B方编队中的第二类舰艇共3艘,且3艘全部分配给A方编队中的第二类舰艇。这样A方编队的第一类舰艇其中的一艘用于攻击B方编队的第二类舰艇,而A方编队中的第二类舰艇全部用于攻击B方编队的第二类舰艇。

目标分配完毕后,A方编队对B方编队造成最大损失  $\Delta B_{\max} = 5.16 \approx 5$ 。

上述结果表明:利用整数规划模型进行数值仿真的算法是有效的,该方法编程实现简单,运行速度快,可用于编队对抗火力分配策略方案的预测。

### 4 总结

笔者采用整数规划数值仿真的方法,对异类齐射战斗模型进行分析研究,得到了相应的火力分配策略模型,并利用Lingo软件对实例进行了分析讨论,得到了基于整数规划数值仿真的有效火力分配策略。但笔者仅对水面舰艇导弹攻击作战过程进行了初步分析,与实际的海上战争还存在一定的差距。进一步的研究重点将考虑随机模式下的火力分配策略,以确保研究结果更加接近实战。

### 参考文献:

- [1] Hughes W P. A Salvo Model of Warship in Missile Combat Used to Evaluate Their Staying Power. Naval Res. Logist [J]. 1995, 42(2): 267-289.
- [2] Michael J. Armstrong. Effects of Lethality in Naval Combat Models. Naval Res. Logist [J]. 2004, 51(6): 28-43.
- [3] Michael D. Johns, Steven E. Pilnick, Wayne P. Hughes, Jr. Heterogeneous Salvo Model for the Navy After Next[D]. Monterey, California: naval postgraduate school, 2001.
- [4] 安儒奎, 邢昌凤. 一种改进的模糊 AHP 法在舰艇作战效能分析中的应用[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(1): 57.
- [5] 邢昌凤. 海军武器系统概论[M]. 北京: 海潮出版社, 2006.
- [6] Armstrong M J. A stochastic salvo model for naval surface combat [J]. Oper Res, 2005, 53(5): 830-841.
- [7] 谢军, 等. 高技术条件下炮兵作战火力优化系统研究与实现[D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 2008.
- [8] 张最良, 等. 军事运筹学[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.
- [9] 李维铮, 等. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.