

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.05.002

基于遗传算法的舰艇编队火力分配问题研究

尹文彬, 许腾, 侯博, 盖世昌
(海军指挥学院 合同战术教研室, 江苏 南京 210016)

摘要: 根据水面舰艇编队反舰作战的特点, 构建基于综合考虑多种因素(目标毁伤度、目标战略战术价值、兵力消耗和目标毁伤程度要求)的综合评价目标函数, 运用遗传算法来分析反舰导弹火力分配问题, 并给出实例进行仿真运算与结果分析。仿真表明, 该模型和方法是有效的, 可为水面舰艇编队反舰作战导弹攻击目标分配提供参考依据。

关键词: 遗传算法; 舰艇编队; 反舰作战; 火力分配

中图分类号: O224; TP391.9 **文献标识码:** A

Research on Missile Fire Distribution of Warship Formation Based on Genetic Algorithms

YIN Wen-bin, XU Teng, HOU Bo, GAI Shi-chang
(Staff Room of Contract Tactics, Naval College of Command, Nanjing 210016, China)

Abstract: According to the anti-warship warfare characteristic of warship formation, the synthesis object function which is based on synthetically thinking over multi-factors, such as object damage, object value, troops consume and the object damage degree demand is constructed. Genetic Algorithms is applied to solve the fire assignment problem of anti-warship missile, and the simulation outcome of the example is analyzed. The model and the method are indicated to be effective, and it can supply reference to the fire assignment problem of the missile attacking object in the anti-warship warfare.

Keywords: Genetic algorithms; Warship formation; Anti-warship warfare; Fire assignment

0 引言

现代海上水面舰艇编队作战, 作战双方一般都由不同型号、不同数量的水面舰艇组成。通常, 这些编队中不同型号水面舰艇装备的反舰导弹型号一般不相同, 因此这些反舰导弹武器的技术战术性能、造价等也不相同。舰艇编队应根据各目标的威胁程度、本编队各舰艇反舰导弹的性能和每艘舰艇的打击效果, 确定出最优的火力分配方案, 使舰艇编队的整体作战效能达到最大。而如何选择合理的火力分配方案, 使导弹对目标舰艇的整体打击效果最佳, 是十分复杂而又重要的战术问题, 不仅要确定每种型号导弹的攻击目标, 还要确定攻击给定目标的导弹数量, 属于典型的非线性整数规划问题。遗传算法具有全局搜索性强、稳定性好、便于编程实现等优点, 适合于解决此类最优化计算的问题。

1 模型的建立

1.1 目标毁伤最大原则

假设进攻方舰艇编队用于导弹攻击作战的舰艇数量为 m 艘, 舰艇的序号为 i , 各艘舰艇装备的导弹武器数量为 t_i , 并且每艘舰艇只装备一种反舰导

弹, 目标舰艇编队舰艇数量为 n 。用 a_{ij} 表示第 i 艘攻击舰艇分配给第 j 艘目标舰艇的导弹数量, r_{ij} 表示第 i 艘攻击舰艇的导弹对第 j 个目标的毁伤概率, 则可以得出进攻方舰艇编队反舰导弹对目标编队毁伤最优化目标函数为:

$$W = \max \sum_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^m (1 - r_{ij})^{a_{ij}}] \quad (1)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq t_i \\ a_{ij} \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

1.2 战略战术价值最大原则

编队作战中, 有的舰艇以打击大中型水面舰船为其使命任务, 有的舰艇以打击中小型水面舰艇为其使命任务, 所以符合作战任务的程度是舰艇编队导弹攻击作战使命的一个重要因素。设各目标舰艇符合进攻方作战使命的向量为:

$$SM = (sm_1, sm_2, \dots, sm_n)。$$

目标价值系数: 考虑到各个目标的不同特性和

收稿日期: 2009-12-17; 修回日期: 2010-01-21

作者简介: 尹文彬 (1981-), 男, 浙江人, 上尉, 海军指挥学院博士研究生, 从事战斗效能分析研究。

不同战术价值的、以及目标的造价等等因素, 目标价值系数也是评价打击效果的一个重要指标, 表示为: $JZ = (jz_1, jz_2, \dots, jz_n)$ 。

目标威胁程度: 目标舰艇对攻击方的威胁程度各有不同, 威胁程度主要取决于对攻击方毁伤概率的大小和毁伤发生的时间。一般情况下, 对威胁大的目标, 应该首先实施强度较大的攻击, 以确保攻击方的安全。目标威胁程度表示为:

$$WX = (wx_1, wx_2, \dots, wx_n)。$$

目标易攻击性: 目标舰艇相对攻击者的战术态势(指距离、方位、舷角), 对攻击是否易于奏效有明显影响。目标对反舰导弹的防御能力, 也是影响导弹攻击能否奏效的重要因素。一般应首先选择易于攻击、易于奏效的目标。目标易受攻击性表示为:

$$YG = (yg_1, yg_2, \dots, yg_n)。$$

综合以上原则, 可得到目标战略战术价值向量 $K = (k_1, k_2, \dots, k_n) = SM \cdot JZ \cdot WX \cdot YG$ 。对 K 进行归一化处理, 得到 $K' = (k'_1, k'_2, \dots, k'_n)$ 。于是可以将式(1)转化成一个新的最优化目标函数:

$$W' = \max \sum_{j=1}^n k_j [1 - \prod_{i=1}^m (1 - r_{ij})^{a_{ij}}] \quad (2)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n k_j = 1 \\ k_{ij} \geq 0 \end{cases}$$

1.3 兵力消耗最小原则

反舰导弹的造价通常都比较昂贵, 合理的利用导弹, 使其以最小的损耗来取得最大的打击效果也是反舰导弹攻击火力分配所追求的一个目标。并且为保持后续作战的持续性, 在本次作战中也需要考虑以最少的导弹数量来达到理想的作战效果。设进攻方舰艇编队导弹的价值向量 $F = (f_1, f_2, \dots, f_m)$, 导弹消耗向量为 $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$, 则其最终消耗价值优化函数为:

$$Z = \min \sum_{i=1}^m f_i \cdot c_i \quad (3)$$

$$s.t. \begin{cases} f_i > 0 \\ c_i > 0 \\ i = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

1.4 目标毁伤程度要求

当对毁伤程度要求不同时, 舰艇导弹的对目标的必须命中数也就有所不同, 从而完成作战任务所

需的导弹数量也不同。毁伤程度一般分为击沉、重创和轻伤3种。根据毁伤程度的不同要求, 可分别给出进攻方舰艇编队成员相应的毁伤概率矩阵。当毁伤程度要求为击沉时, 毁伤概率矩阵为 R_1 , 毁伤程度要求为重创时的毁伤概率矩阵 R_2 和毁伤程度要求为轻伤时的毁伤概率矩阵 R_3 。

1.5 综合评价函数

综合以上原则和要求, 最终可以得到最优化的综合评价目标函数:

$$W_{\text{总}} = W' - \alpha \cdot Z \quad (4)$$

式中, α 为原则偏重修正系数, 为一经验数值, 这里取值为 0.95。

2 利用遗传算法进行优化的基本步骤

2.1 编码方案

假定进攻方编队中的各艘舰艇发射的每枚导弹都能击中目标。进攻方第 i 艘舰艇打击目标舰导弹分配数量向量 $DJ_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$, 目标编队第 j 艘舰艇被进攻方分配打击的导弹数量向量 $ZD_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$, $\sum_{j=1}^n a_{ij} \leq t_i$ 。

对分配向量 P 进行编码, 把 a_{ij} 当作自变量。为了便于改变二进制编码的长度, 这里采用二级编码方法。首先, 把进攻方每艘舰艇对目标编队各艘舰艇导弹攻击的数量作为基本单元进行初始编码; 然后, 把初始编码转化为二进制编码。

初始编码的形式为 $(a_{11} \dots a_{1n} a_{21} \dots a_{2n} \dots a_{m1} \dots a_{mn})$ 。通常, 各艘舰艇对某目标舰艇进行打击时, 所发射的反舰导弹数量一般不会超过 8 枚, 所以可以认为 a_{ij} 的取值范围为 $[0, 8]$, 所以对于每个 a_{ij} , 都可以用 3 位二进制码来表示, 由此可以得到此问题的二进制编码。二级编码的形式为 $(b_1 b_2 b_3 \dots b_{(3 \times m \times n) - 2} b_{(3 \times m \times n) - 1} b_{(3 \times m \times n)})$ 。其编码长度 l : $l = 3 \times m \times n$; 编码区间为: $U_{\min} = 0$, $U_{\max} = 2^{3 \times m \times n}$, $[0, 2^l] = [0, 2^{3 \times m \times n}]$; 编码精度为:

$$\delta = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^{3 \times m \times n} - 1}; \text{ 解码公式: } x = U_{\min} + \left(\sum_{i=1}^l b_i \cdot 2^{i-1} \right) \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^l - 1}。$$

2.2 初始化群体生成

群体初始化采用伪随机数产生二进制编码，根据舰艇导弹攻击对每个目标分配数量的具体情况，要求产生的二进制编码不要较大，所以设定产生“0”的概率为 0.6，产生“1”的概率为 0.4。

2.3 个体适应度评价

此模型目标函数为求最大值函数。因此，适应度函数值一般采用下述方法求取：

$$f(x) = \begin{cases} g(x) - c_{\min} & \text{if } g(x) - c_{\min} > 0 \\ 0 & \text{if } g(x) - c_{\min} \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中， c_{\min} 设定为当前所有代或最近 K 代中 $g(x)$ 的最小值。 $g(x)$ 是当前代个体所对应的目标函数值，由染色体解码后经过目标函数计算取得。

2.4 遗传算子

遗传算法的基本算子有 3 种：选择算子、交叉算子、变异算子。

2.4.1 选择算子

选择操作是从初始群体中选择适应度较高的 M 个个体进行繁殖。常用的选择方法有适应度比例法、最佳个体保存法、期望值法、随机联赛选择法和排挤法等。此选用适应度比例法。

2.4.2 交叉算子

交叉算子是产生新个体的一个主要方法。一般有单点交叉、双点与多点交叉和一致交叉等。采以一致交叉作为交叉算子。一致交叉即染色体位串上的每一位按相同概率进行随机均匀交叉。

2.4.3 变异算子

变异算子虽然只是产生新个体的辅助办法，但是它决定了遗传算法的局部搜索能力，它能够改善遗传算法的局部搜索能力和维持群体的多样性。变异算法主要有基本位变异、均匀变异、边界变异、非均匀变异和高斯变异等。为提高遗传算法对重点搜索区域的局部搜索性能，采用高斯变异。

2.5 约束条件

因为进攻方某艘舰艇分配给目标编队导弹数量的总和不能超过这艘舰艇总的导弹携带数量，因此需要对遗传算法编码进行限制。采用最大数不变法。首先，给出一个舰艇携带反舰导弹武器数量的向量 $t = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ 。其中， t_i 为第 i 艘舰艇携带导弹的

数量。根据本文提出的约束条件的最大数不变法，在第 i 艘攻击舰艇分配给目标的导弹数量总和达到 t_i 的情况下，当进行交叉、变异等遗传操作使得分配数量超过舰艇的最大携弹量时，需要进行调整，即从没有发生变化的分配给另一目标的导弹数量中减去相应的由于遗传操作带来的那部分多出量。

3 仿真运算与分析

3.1 实例参数设定

设红方（进攻方）舰艇编队由 5 艘舰艇组成，其中：Red1 型驱逐舰 1 艘，装备有 M1 型反舰导弹；Red2 型驱逐舰 1 艘、Red3 型护卫舰 2 艘、Red4 驱逐舰 1 艘，分别装备有 M2 型反舰导弹。蓝方编队由 6 艘舰艇组成，其中：Blue1 型护卫舰 1 艘，Blue2 型护卫舰 1 艘，Blue3 型驱逐舰 1 艘，Blue4 型驱逐舰 2 艘，Blue5 型驱逐舰 1 艘。则红方编队舰艇序列为 (Red1, Red2, Red3 (1), Red3 (2), Red4)；蓝方编队舰艇序列为 (Blue1, Blue2, Blue3, Blue4 (1), Blue4 (2), Blue5)。在进行仿真计算时，设定各参数如下：

红方舰艇编队各舰艇携带导弹数量向量：
 $t = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) = (8, 16, 8, 8, 8)$ ；

红方舰艇编队导弹攻击打击效果要求为重创时，其毁伤概率矩阵 R_2 ：

$$R_2 = (r_{ij})_{5 \times 6} = \begin{bmatrix} 0.43 & 0.53 & 0.38 & 0.38 & 0.38 & 0.38 \\ 0.24 & 0.37 & 0.23 & 0.23 & 0.23 & 0.23 \\ 0.24 & 0.37 & 0.23 & 0.23 & 0.23 & 0.23 \\ 0.24 & 0.37 & 0.23 & 0.23 & 0.23 & 0.23 \\ 0.24 & 0.37 & 0.23 & 0.23 & 0.23 & 0.23 \end{bmatrix}$$

红方导弹价值系数： $JZ = (0.35, 0.18, 0.18, 0.18, 0.18, 0.18)$ ；目标符合红方作战任务使命程度向量： $SM = (1.0, 0.7, 0.8, 0.8, 1.0, 1.0)$ ；目标的战术价值系数： $JZ = (0.25, 0.15, 0.1, 0.1, 0.2, 0.2)$ ；目标对红方的威胁程度： $WX = (0.3, 0.1, 0.1, 0.1, 0.18, 0.22)$ ；目标的易于攻击性向量： $YG = (0.5, 1.0, 1.0, 1.0, 0.6, 0.6)$ 。

经过大量试验，当设定如下遗传算法运行参数时，遗传算法收敛速率最快。参数设置如下：红方舰艇数量： $m=5$ ；蓝方舰艇数量： $n=6$ ；终止代数： $T=1\ 000$ ；群体规模： $M=20$ ；选择概率方式：适应度比例法；交叉概率： $p_c=0.55$ ；变异概率： $p_m=0.003$ ；适应度函数类型：最大值函数类型。

3.2 结果分析

