

密集火力打击目标选择及 WTA 求解算法^{*}

贾汝娜 宋贵宝 李一夫

(海军航空大学 山东 烟台 264001)

摘要: 针对舰艇编队进行攻击作战任务时,目标数量多且攻击火力有限的情况,提出了基于模糊隶属集理论的目标任务契合度计算方法,有助于减少主观判断的失误,找到任务价值最高的目标;同时,进行密集火力攻击时,提高火力的攻击密度的重要途径就是进行合理的目标火力分配,通过考虑火力单元转火攻击时间准备问题,建立多波次火力攻击平台目标分配模型,并采用改进的多层次编码的遗传算法,通过算例证明求解效率较高,可以适应作战需要,并有助于提高战场决策和战场武器资源分配效率。

关键词: 舰艇编队; 火力分配; 目标价值; 任务契合度; 遗传算法; 密集火力攻击

doi: 10.3969/j.issn.1009-086x.2019.02.10

中图分类号: E834

文献标志码: A

文章编号: 1009-086X(2019)-02-0055-06

Target Selection and WTA Solution Algorithm Under Intensive Fire Strike

JIA Ru-na, SONG Gui-bao, LI Yi-fu

(Naval Aeronautic University, Shandong Yantai 264001, China)

Abstract: When the naval formations perform the attack mission, they may face many targets but have limited attack firepower. A method is proposed for calculating the fitness between target and task based on fuzzy membership theory, which helps to reduce subjective judgment errors and find the targets with the highest mission value. At the same time, when conducting intensive fire attacks, an important way of increasing the attack density of firepower is to make reasonable target fire distribution. By considering the problem of firepower unit attack preparation time, a multi-wave fire attack platform target distribution model is established and improved. The example can prove that multi-level coded genetic algorithm can meet the operational needs with high efficiency. The research may improve the efficiency of battlefield decision-making and distribution of weapon resources on the battlefield.

Key words: ship formation; fire distribution; target value; mission fit; genetic algorithm; intensive fire strike

^{*} 收稿日期: 2018-04-02; 修回日期: 2018-07-10

基金项目: 有

第一作者简介: 贾汝娜(1993-),女,山东滨州人。硕士生,研究方向为武器系统技术分析。

通信地址: 264001 山东省烟台芝罘区二马路 188 号 E-mail: 571957729@qq.com

0 引言

美军在《快速决定性作战》中提出“基于效果作战”的理论,即“对知识、计划和作战都有重要意义的战争哲学,重在战略、战役和战术级使用军事和非军事能力以获取所期望的战略结果”,其理论基础是认为“敌人是一个系统”,改变了传统歼灭有生力量达到作战目的的“基于摧毁的作战”思想,强调通过影响关键点来控制局势,找到攻击的重心和关键弱点^[1]。2003年的伊拉克战争体现了上述特点,美军抓住重心巴格达城市,巧妙打击要害,最终通过控制萨达姆指挥基地使得整个对方作战系统崩溃。在现代作战中,美军的目标选择理论有许多借鉴之处,尤其是敌我双方战斗力量不再悬殊巨大,作战的兵力和武器装备等消耗巨大,准确判断敌方系统的重要价值目标和关键环节可以起到掌控战场局势、加速战争进程和减少战争损失的作用。

对价值目标进行密集火力攻击,以集中火力对敌方进行摧毁性打击是海上作战的经典思路^[2],但在实战中不同火力发射平台的发射准备时间和发射转火时间存在差异,如何进行多波次打击时火力目标分配以提高打击效率是一个重要问题。在火力分配(weapon target assignment, WTA)的求解上,常采用的方法有精确算法和智能算法。精确算法,如目标规划算法、动态规划算法,可以求得问题的唯一精确解,但不适用于求解规模较大的情况;现代智能算法包括遗传算法、粒子群算法、蚁群算法等,可以通过提高求解次数不断寻找优化解,求解问题规模大且求解效率高^[3-4]。

1 目标任务契合度计算方法

1.1 直觉模糊隶属度函数求解目标任务契合度思路

对于敌方目标的价值判断首先要确定目标价值的影响因素,通常包括作战任务、战场态势、威胁等级、战场环境等因素表征具体目标在整个作战任务中的任务价值模式 $P^{[5-7]}$ 。

常见的专家等级打分法、经验判断法等受专家非理性因素影响较大,所以结合直觉模糊集理论,选取直觉隶属度函数,在一定程度上规避了非理性决策行为的影响^[8-10]。

对各敌方目标 $G_p(p=1, 2, \dots, n)$,计算其与任

务价值模式 P 的契合度,用 Q_{G_p} 表示。选择模糊集 $\langle \alpha_p, \beta_p \rangle$ 表示敌方目标的任务价值,直觉模糊集 $\langle \mu, \nu \rangle$ 表示任务价格模式 P 的作战需求,那么敌方目标 G_p 与作战需求模式 P 的非相似程度表示为 $D(\langle \alpha_p, \beta_p \rangle, \langle \mu, \nu \rangle)$ ($0 \leq D \leq 1$),而且 D 越小表示两者的匹配程度越高,所以这里取 $Q_{G_p} = 1 - D$ 。模型建立过程如下。

选择 $X = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$ 表示 m 个敌方目标,用 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 表示能力需求集合,建立与作战需求模式 P 匹配,用 $\mu_j(j=1, 2, \dots, n)$ 表示作战需求模式 P 关于 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 的隶属程度,用 $\nu_j(j=1, 2, \dots, n)$ 表示作战需求模式 P 关于 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 的非隶属程度,其中 $0 \leq \mu_{ij}^d \leq 1, 0 \leq \nu_{ij}^d \leq 1$ 且 $0 \leq \mu_{ij}^d + \nu_{ij}^d \leq 1$ 。那么作战需求模式 P 关于 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 的能力特征值用直觉模糊集 $\langle \mu_j, \nu_j \rangle$ 来表示,记为 $s_j = \{a_j, \langle \mu_j, \nu_j \rangle\}$ ($j=1, 2, \dots, n$),从而直觉模糊环境下作战需求模式可以表示为矩阵形式:

$$S = (s_j)_{1 \times n} = R(\langle \mu_1, \nu_1 \rangle, \langle \mu_2, \nu_2 \rangle, \dots, \langle \mu_n, \nu_n \rangle).$$

同样用 $\alpha_{pj}(j=1, 2, \dots, n)$ 表示敌方目标 G_p 关于 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 的隶属程度,用 $\beta_{pj}(j=1, 2, \dots, n)$ 表示敌方目标 G_p 关于 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 的非隶属程度,其中 $0 \leq \alpha_{pj} \leq 1, 0 \leq \beta_{pj} \leq 1$ 且 $0 \leq \alpha_{pj} + \beta_{pj} \leq 1$ 。那么敌方目标 G_p 关于 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 的能力特征值用直觉模糊集 $\langle \alpha_{pj}, \beta_{pj} \rangle$ 来表示,记为

$$r_{pj} = \{a_j, \langle \alpha_{pj}, \beta_{pj} \rangle\} (p=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

从而直觉模糊环境下 G_1, G_2, \dots, G_m 个敌方目标关于可以表示为矩阵形式:

$$R = (r_{pj})_{m \times n} = \begin{bmatrix} \langle \alpha_{11}, \beta_{11} \rangle & \langle \alpha_{12}, \beta_{12} \rangle & \dots & \langle \alpha_{1n}, \beta_{1n} \rangle \\ \langle \alpha_{21}, \beta_{21} \rangle & \langle \alpha_{22}, \beta_{22} \rangle & \dots & \langle \alpha_{2n}, \beta_{2n} \rangle \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \langle \alpha_{m1}, \beta_{m1} \rangle & \langle \alpha_{m2}, \beta_{m2} \rangle & \dots & \langle \alpha_{mn}, \beta_{mn} \rangle \end{bmatrix}$$

假设能力特征 $a_j(j=1, 2, \dots, n)$ 相对于模糊概念“重要”的隶属度为 ρ_j ,非隶属度为 ξ_j ,其中 $0 \leq \rho_j \leq 1, 0 \leq \xi_j \leq 1$ 且 $0 \leq \rho_j + \xi_j \leq 1$ 。那么能力特征 a_j 的权重用直觉模糊集 $\langle \rho_j, \xi_j \rangle$ 来表示,记为 $\omega_j = \{a_j, \langle \rho_j, \xi_j \rangle\}$ ($j=1, 2, \dots, n$),从而直觉模糊环境下任务价值特征的权重可以表示为如下向量形式

形式:

$$W = (\omega_j)_{1 \times n} =$$

$$P(\langle \rho_1 \xi_1 \rangle \langle \rho_2 \xi_2 \rangle \cdots \langle \rho_n \xi_n \rangle).$$

利用直觉模糊集规范化欧式距离公式和直觉模糊集算子,敌方目标 G_p 与能力需求模式 P 的非相似测度可以表示为

$$\begin{aligned} D(\langle \rho_j \xi_j \rangle \langle \alpha_{pj} \beta_{pj} \rangle, \langle \rho_j \xi_j \rangle \langle \mu_j \nu_j \rangle) = \\ D(\langle \rho_j \alpha_{pj} \xi_j + \beta_{pj} - \xi_j \beta_{pj} \rangle, \langle \rho_j \mu_j \xi_j + \nu_j - \xi_j \nu_j \rangle) = \\ \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \{ [\rho_j(\alpha_{pj} - \mu_j)]^2 + [(\beta_{pj} - \nu_j)(1 - \xi_j)]^2 + (\gamma_{pj}^\omega - \pi_j^\omega)^2 \}}, \end{aligned} \quad (1)$$

式中:

$$\gamma_{pj}^\omega = 1 - \rho_j \alpha_{pj} - (\xi_j + \beta_{pj} - \xi_j \beta_{pj}), \quad (2)$$

表示专家对于敌方目标关于 G_p 相对于 $A = \{a_1, a_2, \cdots, a_n\}$ 能力估计的加权犹豫度;而

$$\pi_j^\omega = 1 - \rho_j \mu_j - (\xi_j + \nu_j - \xi_j \nu_j), \quad (3)$$

表示专家对于作战任务 P 相对于 $A = \{a_1, a_2, \cdots, a_n\}$ 能力估计的加权犹豫度。 D 越小,表示敌方目标 G_p 与能力需求模式 P 的匹配程度越高。

1.2 实例分析

假设我方的可选敌方目标有 G_1, G_2, G_3, G_4 和 G_5 5 个,分析 5 种敌方目标对于我方作战任务的任务契合度指标 Q 。专家根据威胁等级、抗毁伤能力、成本价值、攻击能力、协同能力、机动性能、侦察能力和支援保障能力^[11]确定其作战需求模式,其对应的权重直觉模糊集,任务需求直觉模糊集和 5 个敌方目标对应的能力指标值直觉模糊打分如表 1 所示,第 1 行表示 8 个指标权重,第 2 行表示对各权重的模糊隶属度打分,第 3~7 行表示各目标对应 8 个指标的模糊隶属度打分。

我们用 $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8$ 分别表示威胁等

级、抗毁伤能力、成本价值、攻击能力、协同能力、机动性能、侦察能力和支援保障能力 8 种任务价值需求的直觉模糊集,作战需求模式集合 S 的数据如下:

$$S = \begin{bmatrix} \langle 0.04 \ 0.78 \rangle \\ \langle 0.34 \ 0.37 \rangle \\ \langle 0.31 \ 0.69 \rangle \\ \langle 0.06 \ 0.72 \rangle \\ \langle 0.54 \ 0.25 \rangle \\ \langle 0.30 \ 0.60 \rangle \\ \langle 0.36 \ 0.27 \rangle \\ \langle 0.04 \ 0.88 \rangle \end{bmatrix}^T.$$

权重向量为

$$W = \begin{bmatrix} \langle 0.11 \ 0.15 \rangle \\ \langle 0.11 \ 0.18 \rangle \\ \langle 0.08 \ 0.14 \rangle \\ \langle 0.17 \ 0.11 \rangle \\ \langle 0.17 \ 0.06 \rangle \\ \langle 0.20 \ 0.05 \rangle \\ \langle 0.08 \ 0.16 \rangle \\ \langle 0.09 \ 0.15 \rangle \end{bmatrix}^T.$$

表 1 指标权重、价值需求和目标模糊隶属度打分结果表

Table 1 Index weight, value need, and target fuzzy membership rating score results table

指标	威胁等级	抗毁伤能力	成本价值	攻击能力	协同能力	机动性能	侦察能力	支援保障
权重	$\langle 0.11 \ 0.15 \rangle$	$\langle 0.11 \ 0.18 \rangle$	$\langle 0.08 \ 0.14 \rangle$	$\langle 0.17 \ 0.11 \rangle$	$\langle 0.17 \ 0.06 \rangle$	$\langle 0.20 \ 0.05 \rangle$	$\langle 0.08 \ 0.16 \rangle$	$\langle 0.09 \ 0.15 \rangle$
价值需求	$\langle 0.04 \ 0.78 \rangle$	$\langle 0.34 \ 0.37 \rangle$	$\langle 0.31 \ 0.69 \rangle$	$\langle 0.06 \ 0.72 \rangle$	$\langle 0.54 \ 0.25 \rangle$	$\langle 0.30 \ 0.60 \rangle$	$\langle 0.36 \ 0.27 \rangle$	$\langle 0.04 \ 0.88 \rangle$
目标 1	$\langle 0.07 \ 0.89 \rangle$	$\langle 0.02 \ 0.84 \rangle$	$\langle 0.52 \ 0.19 \rangle$	$\langle 0.29 \ 0.47 \rangle$	$\langle 0.05 \ 0.92 \rangle$	$\langle 0.34 \ 0.48 \rangle$	$\langle 0.25 \ 0.60 \rangle$	$\langle 0.27 \ 0.35 \rangle$
目标 2	$\langle 0.41 \ 0.25 \rangle$	$\langle 0.10 \ 0.60 \rangle$	$\langle 0.17 \ 0.50 \rangle$	$\langle 0.14 \ 0.84 \rangle$	$\langle 0.48 \ 0.27 \rangle$	$\langle 0.06 \ 0.70 \rangle$	$\langle 0.53 \ 0.21 \rangle$	$\langle 0.38 \ 0.33 \rangle$
目标 3	$\langle 0.03 \ 0.82 \rangle$	$\langle 0.49 \ 0.28 \rangle$	$\langle 0.15 \ 0.70 \rangle$	$\langle 0.14 \ 0.85 \rangle$	$\langle 0.21 \ 0.70 \rangle$	$\langle 0.03 \ 0.67 \rangle$	$\langle 0.48 \ 0.16 \rangle$	$\langle 0.05 \ 0.95 \rangle$
目标 4	$\langle 0.56 \ 0.35 \rangle$	$\langle 0.61 \ 0.10 \rangle$	$\langle 0.13 \ 0.78 \rangle$	$\langle 0.37 \ 0.39 \rangle$	$\langle 0.30 \ 0.33 \rangle$	$\langle 0.16 \ 0.84 \rangle$	$\langle 0.31 \ 0.50 \rangle$	$\langle 0.00 \ 0.95 \rangle$
目标 5	$\langle 0.45 \ 0.18 \rangle$	$\langle 0.15 \ 0.62 \rangle$	$\langle 0.18 \ 0.74 \rangle$	$\langle 0.08 \ 0.65 \rangle$	$\langle 0.17 \ 0.68 \rangle$	$\langle 0.27 \ 0.46 \rangle$	$\langle 0.45 \ 0.47 \rangle$	$\langle 0.56 \ 0.16 \rangle$

直觉模糊环境下 5 个敌方目标相对于 8 个任务价值需求的直觉模糊集指标值如下:

$$R = \begin{bmatrix} \langle 0.07, 0.89 \rangle & \langle 0.41, 0.25 \rangle & \langle 0.03, 0.82 \rangle & \langle 0.56, 0.35 \rangle & \langle 0.45, 0.18 \rangle \\ \langle 0.02, 0.84 \rangle & \langle 0.10, 0.60 \rangle & \langle 0.49, 0.28 \rangle & \langle 0.61, 0.10 \rangle & \langle 0.15, 0.62 \rangle \\ \langle 0.52, 0.19 \rangle & \langle 0.17, 0.50 \rangle & \langle 0.15, 0.70 \rangle & \langle 0.13, 0.78 \rangle & \langle 0.18, 0.74 \rangle \\ \langle 0.29, 0.47 \rangle & \langle 0.14, 0.84 \rangle & \langle 0.14, 0.85 \rangle & \langle 0.37, 0.39 \rangle & \langle 0.08, 0.65 \rangle \\ \langle 0.05, 0.92 \rangle & \langle 0.48, 0.27 \rangle & \langle 0.21, 0.70 \rangle & \langle 0.30, 0.33 \rangle & \langle 0.17, 0.68 \rangle \\ \langle 0.34, 0.48 \rangle & \langle 0.06, 0.70 \rangle & \langle 0.03, 0.67 \rangle & \langle 0.16, 0.84 \rangle & \langle 0.27, 0.46 \rangle \\ \langle 0.25, 0.60 \rangle & \langle 0.53, 0.21 \rangle & \langle 0.48, 0.16 \rangle & \langle 0.31, 0.50 \rangle & \langle 0.45, 0.47 \rangle \\ \langle 0.27, 0.35 \rangle & \langle 0.38, 0.33 \rangle & \langle 0.05, 0.95 \rangle & \langle 0.00, 0.95 \rangle & \langle 0.59, 0.16 \rangle \end{bmatrix}^T$$

根据公式(1) (2) (3) 计算任务价值敌方目标 G_1 与作战任务能力需求的非相似度

$$\begin{aligned} D_{G_1} &= D(\langle \rho_j, \xi_j \rangle, \langle \alpha_{pj}, \beta_{pj} \rangle, \langle \rho_j, \xi_j \rangle, \langle \mu_j, \nu_j \rangle) = \\ &D(\langle \rho_j \alpha_{pj}, \xi_j + \beta_{pj} - \xi_j \beta_{pj} \rangle, \langle \rho_j \mu_j, \xi_j + \nu_j - \xi_j \nu_j \rangle) = \\ &\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \{ [\rho_j(\alpha_{pj} - \mu_j)]^2 + [\beta_{pj} - \nu_j](1 - \xi_j)]^2 + (\gamma_{pj}^\omega - \pi_j^\omega)^2 \}} = \\ &\sqrt{\frac{1}{2} (0.02 + 0.27 + 0.36 + 0.08 + 0.70 + 0.02 + 0.15 + 0.39)} = 0.9987 \end{aligned}$$

同理可计算出 G_2, G_3, G_4, G_5 与作战任务能力需求的非相似度:

$$D_{G_2} = 0.6881, D_{G_3} = 0.4408,$$

$$D_{G_4} = 0.5731, D_{G_5} = 0.9501.$$

因此可计算 G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 的任务契合度指标数据:

$$Q_{G_1} = 0.0013, Q_{G_2} = 0.3119, Q_{G_3} = 0.5592,$$

$$Q_{G_4} = 0.4269, Q_{G_5} = 0.0949.$$

可以看出 5 个敌对目标的任务价值排序为 3, 4, 2, 5, 1, 目标 5 和目标 1 的任务契合度较低, 在进行目标攻击时优先选择目标 3, 4, 2。

2 密集火力攻击 WTA 求解方法

本文的 WTA 问题是指求解对价值目标进行多次火力攻击时舰艇平台与目标的分配问题^[12], 包含每波次平台目标分配情况和舰艇平台多次目标攻击的时间优化。任务价值编队攻击作战时, 通常会以最大规模进行协同攻击^[13], 包括每波次导弹发射数量最大和缩短多波次打击的时间间隔。当进行多次密集的火力攻击时, 如果认为每次火力攻击不存在干扰, 将会出现某舰艇敌方目标尚未完成上一波次火力打击任务而又接到新的拦截任务的情况, 从而导致任务失败, 所以对于连续多波次的火力攻击, 要合理考虑舰艇敌方目标资源占用情况。由于该问题求解规模较大, 考虑的约束因素较多, 所以本文采用改进的遗传算法(GA)进行求解。GA 是一种模仿自然演化规律的进化算法, 通过把问题参

数编码产生一条染色体, 通过选择、交叉、变异等生成符合条件的染色体, 该问题模型在决策变量为正整数, 易于编码, 基于专家经验的启发式规则能够极大地提高寻优速率, 所以 GA 是解决该组合优化问题的有效方法^[14-16]。

2.1 模型建立

数学模型及约束条件如下:

(1) 对已筛选出的敌方价值目标敌方目标进行编号, 表示为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n\}$, 用 p_i 表示第 i 个价值敌方目标。

(2) 对我方舰艇敌方目标进行编号, 并表示为 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_j, \dots, m_m\}$, 用 m_j 表示编号为 j 的舰艇敌方目标。不同舰艇敌方目标的反舰导弹携带数量、发射准备时间和转火调整时间不同。携带反舰导弹数量约束体现在各舰艇敌方目标可参与的打击波次数, 不同敌方目标的发射准备时间和转火调整时间不使用具体时间, 以 1~10 的正整数表示, 这是因为时间计算复杂, 为简化模型, 只体现不同舰艇敌方目标所需时间的对比。

(3) 打击波次序列集为 $OP = \{op_1, op_2, \dots, op_j, \dots, op_n\}$, $op_j = \{op_{j1}, op_{j2}, \dots, op_{jk}\}$ 表示敌方价值目标各波次打击序列。

(4) 舰艇敌方目标目标匹配集合 $OP_M = \{op_{i1}, op_{i2}, \dots, op_{ik}\}$, $op_{ij} = \{op_{ij1}, op_{ij2}, \dots, op_{ijk}\}$, 表示各波次中目标 p_i 与各舰艇敌方目标的匹配序列集。

基于改进 GA 的算法流程为: 建立符合条件的初始种群; 计算染色体的适应度值, 采用轮盘赌法

择优; 通过整数交叉和整数变异得到新个体; 不断择优直到达到设定遗传代数, 算法结束。算法流程如图 1 所示。

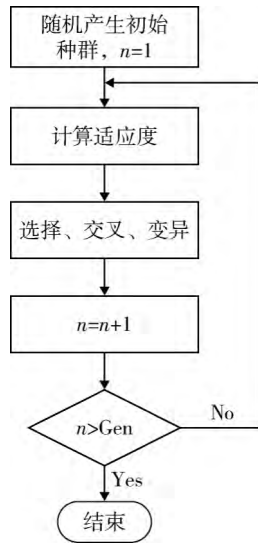


图 1 遗传算法流程图

Fig.1 Genetic algorithm flow chart

2.2 算法实现

(1) 编码

本文中要采用多层的十进制编码方式来表达多层信息, 即对待攻击的 n 个价值目标进行 m 波次的攻击, 以长度为 $2nm$ 的整数表示, 前 nm 个整数表示对各价值目标打击序列, 后 nm 个整数表示各波次各价值目标匹配的舰艇敌方目标。

(2) 选择适应度函数, 本文中完成全部波次打击的总时间作为适应度函数, 即

$$fitness(i) = time.$$

(3) 选择操作

保证种群数量不变情况下, 选择适应度最好的个体到新种群中。通常采用轮盘法选择, 当待选择个体总数为 n 时, 个体 i 被选择的概率一般表示为

$$P_i = \frac{fitness(i)}{\sum_{i=1}^n fitness(i)}. \quad (4)$$

产生一个 $(0, 1)$ 间的随机数, 按照个体编号顺序依次对被选择概率进行加总, 如 $P_1 = 0.15$, $P_2 = 0.12$, 对于个体 2 而言, 其对应的随机数区间为 $[0.15, 0.27]$, 当随机数为 0.25 时选择个体 2。

(4) 交叉操作

由于编码的特殊性, 交叉操作的个体为前 nm 位, 并对交叉后缺失和多余的个体进行相应的目标和敌方目标调整。

(5) 变异操作

遗传过程中会有基因发生突变的小概率事件, 此时会产生新的个体。变异操作为选择 2 个变异位置进行交换。

(6) 重复以上操作, 选择合适的遗传代数, 结束操作后选出最优排序。

2.3 算例求解

假设敌方待攻击目标有 4 个, 我方舰艇平台构成 2 艘护卫舰和 1 艘驱逐舰, 记为 a , b 和 c , 分别可进行的攻击波次数为 2, 2, 4; 考虑转火攻击时增加的发射准备延迟, 将转火后再攻击记为一次新的攻击方式, 那么一共有包括平台 1 的 2 次攻击, 平台 2 的 2 次攻击, 平台 3 的 4 次攻击的 8 种攻击方式, 编号为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 拟进行 3 波次密集火力攻击。目标波次与攻击方式匹配如表 2, 对应的耗用时间如表 3。

表 2 目标波次攻击方式匹配表

Table 2 Target, attack wave, and attack mode match table

攻击方式	目标 1	目标 2	目标 3	目标 4
波次 1	[1, 3, 5]	[1, 3, 5]	[1, 3, 5]	[1, 3, 5]
波次 2	[2, 4, 6]	[2, 4, 6]	[2, 4, 6]	[2, 4, 6]
波次 3	[7, 8]	[7, 8]	[7, 8]	[7, 8]

表 3 目标波次攻击方式耗用时间表

Table 3 Target, attack wave and attack duration table
min

耗用时间	目标 1	目标 2	目标 3	目标 4
波次 1	[5, 4, 3]	[5, 4, 3]	[3, 4, 3]	[3, 4, 3]
波次 2	[6, 5, 4]	[6, 5, 4]	[4, 5, 4]	[4, 5, 4]
波次 3	[4, 5]	[4, 5]	[4, 5]	[4, 5]

算法设定种群数目为 40, 最大迭代次数为 50, 交叉概率 0.8, 变异概率 0.6。结果显示为, 所需最短时间为 16, 一种攻击方案如图 2 所示, 用 3 位

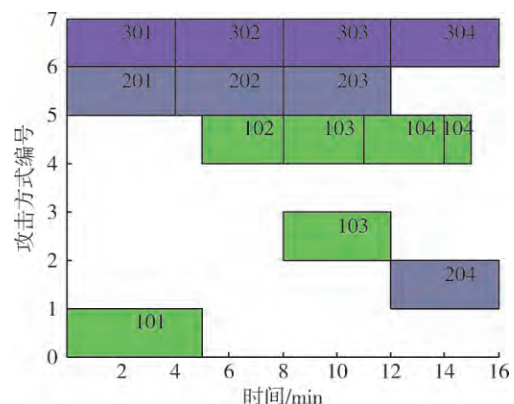


图 2 目标打击方式分配结果图

Fig.2 Target strike distribution results graph

数序列表示目标和对应波次,如 202 所在位置表示目标 2 第 2 波次攻击分配给舰艇平台 3 的第 2 次转火攻击。

种群均值和最优个体的适应度变化情况如图 3 所示,可以看出,由于数据规模小,在第 7 代左右就可以求出最优个体,对于更大规模和层次的 WTA 问题可以通过增加遗传代数进行求解。

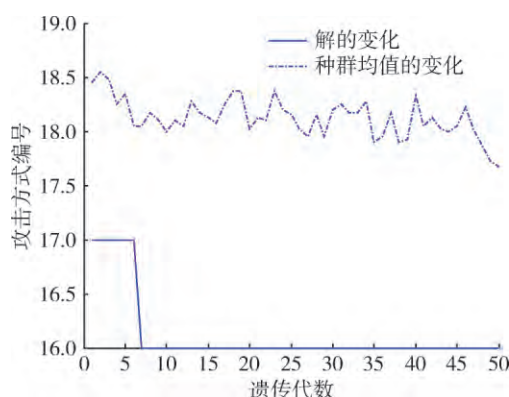


图 3 解和种群均值变化表

Fig. 3 Solution and mean value of population changes table

3 结束语

针对多目标攻击场景下火力打击问题,提出了一种基于模糊隶属集理论的目标任务契合度计算方法,建立了多波次火力攻击平台目标分配模型,并通过算例求解进行了验证,对舰艇编队密集火力打击下的作战决策有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 方宏亮. 浅析美军快速决定性作战理论及影响[J]. 云南社会主义学院学报 2014(1): 362-363.
FANG Hong-liang. Analysis of the Theory and Influence of the Fast Deterministic Operation of the US Army[J]. Journal of Yunnan Institute of Socialism 2014(1): 362-363.
- [2] 杨飞,董朝阳,王青. 实施饱和和攻击的反舰导弹武器目标分配[J]. 系统仿真学报 2011 23(2): 316-320.
YANG Fei, DONG Chao-yang, WANG Qing. Target Allocation of Anti-Ship Missile Weapon with Saturation Attack[J]. Journal of System Simulation 2011 23(2): 316-320.
- [3] 张最良. 钱学森论军事运筹与军事系统工程[J]. 军事运筹与系统工程 2001(4): 4-9.
ZHANG Zui-liang. The Discussion of QIAN Xue-sen on Military Operations and Military Systems Engineering [J]. Military Operations and Systems Engineering 2001 (4): 4-9.
- [4] 李建立. 武器—目标动态火力分配及战效评估的研究[D]. 南昌: 南昌航空大学 2014.
LI Jian-li. Research on Weapon-Target Dynamic Fire-power Distribution and Effectiveness Evaluation [D]. Nanchang: Nanchang Aviation University 2014.
- [5] 王玮,史红权,王磊. 等. 舰艇编队协同作战的空中目标威胁评估研究[J]. 现代防御技术 2014 42(6): 79-83, 110.
WANG Wei, SHI Hong-quan, WANG Lei, et al. Research on Air Target Threat Assessment of Ship Formation Cooperative Operation [J]. Modern Defence Technology 2014 42(6): 79-83, 110.
- [6] 李佳. 任务编队与基于贝叶斯网络的防空威胁评估模型研究[D]. 武汉: 华中科技大学 2016.
LI Jia. Research on Mission Formation and Air Defense Threat Assessment Model Based on Bayesian network [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology 2016.
- [7] 陈开元,宋元. 海面目标威胁评估指标体系分析[J]. 舰船电子工程 2009 29(6): 66-70.
CHEN Kai-yuan, SONG Yuan. Analysis of the Threat Assessment Index System for Sea Surface Targets [J]. Ship Electronic Engineering 2009 29(6): 66-70.
- [8] 陈守煜. 可变模糊集理论与可变模型集[J]. 数学的实践与认识 2008(18): 146-153.
CHEN Shou-yu. Variable Fuzzy Set Theory and Variable Model Sets [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2008(18): 146-153.
- [9] MIAO Xu-dong, WANG Yong-chun. Intuitionistic Fuzzy Multiattribute Group Decision Making Models Using Mathematical Programming Approach [J]. Journal of Computational Information Systems, 2008, 4(6): 2793-2801.
- [10] 董奎义,杨根源,王子明. 基于概率神经网络的编队协同防空威胁评估[J]. 现代防御技术 2011 39(5): 71-74, 80.
DONG Kui-yi, YANG Gen-yuan, WANG Zi-ming. Evaluation of Cooperative Air Defense Threat Based on Probabilistic Neural Network [J]. Modern Defence Technology 2011 39(5): 71-74, 80.
- [11] MA Shi-dong, ZHANG Hong-zhi, YANG Guo-qing. Target Threat Level Assessment Based on Cloud Model under Fuzzy and Uncertain Conditions in Air Combat Simulation [J]. Aerospace Science and Technology 2017 67: 49-53.

(下转第 160 页)

- 器与微系统 2018 37(2):50-52.
- JIANG Ang-bo, WANG Wei-wei. Research on Optimization of ReLU Activation Function [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2018 37(2):50-52.
- [8] GIMPEL K, SMITH N A. Softmax-Margin CRFs: training log-linear models with Cost Functions [C] // Human Language Technologies: Conference of the North American Chapter of the Association of Computational Linguistics, Proceedings, June 2-4 2010, Los Angeles, California, USA. DBLP 2010: 733-736.
- [9] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks [C] // International Conference on Neural Information Processing Systems. Curran Associates Inc 2012: 1097-1105.
- [10] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition [J]. arXiv Preprint arXiv: 1409.1556-2014.
- [11] PACHORI R B, NISHAD A. Cross-Terms Reduction in the Wigner-Ville Distribution Using Tunable-Q Wavelet transform [J]. Signal Processing 2016 120(2016):288-304.
- [12] CHOI H I, WILLIAMS W J. Improved Time-frequency Representation of Multicomponent Signals using Exponential Kernels [J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech & Signal Processing 2002 37(6):862-871.
- [13] COHEN L. Generalized Phase-Space Distribution Functions [J]. Journal of Mathematical Physics, 1966 7(5):781-786.
- [14] 毕太平, 董晖, 姜秋喜. 基于瞬时频率的脉内调制识别技术 [J]. 电子信息对抗技术 2005 20(2):6-9.
- BI Da-ping, DONG Hui, JIANG Qiu-xi. In Pulse Modulation Identification Technique by the Instant Frequency [J]. Electronic Warfare Technology 2005 20(2):6-9.
- [15] 邹兴文. 雷达辐射源信号时频图像处理研究 [D]. 成都: 西南交通大学 2009.
- ZOU Xing-wen. Research on Time Frequency Image Processing of Radar Emitter Signal [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University 2009.

(上接第 60 页)

- [12] 姜鲁东, 余家祥, 斗计华. 水面舰艇编队区域防空导弹目标分配模型研究 [J]. 现代防御技术 2012 40(3):29-33, 71.
- JIANG Lu-dong, YU Jia-xiang, DOU Ji-hua. Research on Target Distribution Model of Surface Air Defense Missile in Surface Ship Formation [J]. Modern Defence Technology 2012 40(3):29-33, 71.
- [13] 谢宇鹏, 王宗杰, 杨士锋, 等. 舰艇编队抗导弹饱和攻击模型 [J]. 火力与指挥控制 2014 39(3):23-26.
- XIE Yu-peng, WANG Zong-jie, YANG Shi-feng, et al. Model of Anti-Missile Attack of Warship Formations [J]. Fire Control & Command Control 2014 39(3):23-26.
- [14] 董朝阳, 路遥, 王青. 改进的遗传算法求解火力分配优化问题 [J]. 兵工学报 2016 37(1):97-102.
- DONG Chao-yang, LU Yao, WANG Qing. Improved Genetic Algorithm for Solving Firepower Distribution Optimization Problem [J]. Acta Armamentari 2016 37(1):97-102.
- [15] 杨颖, 魏鹏, 蒋鸣, 等. 基于并行蚁群算法的常规导弹作战任务分配 [J]. 弹箭与制导学报 2014 34(5):189-192.
- YANG Ying, WEI Peng, JIANG Ming, et al. Conventional Missile Combat Task Assignment Based on Parallel Ant Colony Algorithm [J]. Journal of Projectiles, Rockets and Guidance 2014 34(5):189-192.
- [16] 李亚雄, 刘新学, 武健. 基于改进遗传算法的多弹型混合火力分配优化模型 [J]. 指挥控制与仿真 2017 39(4):50-54.
- LI Ya-xiong, LIU Xin-xue, WU Jian. Multi-Elastic Hybrid Firepower Distribution Optimization Model based on Improved Genetic Algorithm [J]. Command Control & Simulation 2017 39(4):50-54.