

doi: 10.7690/bgzdh.2014.12.004

反舰导弹协同航路多级动态决策模型

郭新奇, 孙国磊, 李冬, 谭乐祖
(海军航空工程学院指挥系, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对解决反舰导弹协同航路决策优化的问题, 给出一种求解该问题的协同航路多级动态决策模型。运用对策理论对反舰导弹协同航路决策进行分析, 建立多级决策 Nash-Stackelberg-Nash 模型。运用对策-协进化算法进行求解, 解决了反舰导弹攻击的协同航路决策问题, 并进行试验分析。结果表明: 该方法运算简单、收敛速度快、应用效果明显, 对该类问题求解及工程应用具有借鉴意义。

关键词: 反舰导弹; Nash-Stackelberg-Nash 模型; 决策

中图分类号: TJ761+.4 **文献标志码:** A

Hierarchical Dynamic Decision-Making Model of Anti-Ship Missiles' Cooperative Routes

Guo Xinqi, Sun Guolei, Li Dong, Tan Lezu

(Department of Command, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China)

Abstract: Aiming at the optimal decision problems of anti-ship missiles' cooperative routes, introduces a hierarchical dynamic decision-making model of anti-ship missiles' cooperative routes. It gives the game-cooperative evolution algorithm to solve the decision problem and builds the Nash-Stackelberg-Nash's planning model using game theory. It found the solution of the model by using decision-cooperative evolution algorithm and carried on the simulation experiment. Experiment results show that this method is simple in operation, fast convergence speed, the application effect is obvious. It can provide reference for the solution of same problem and engineering application.

Keywords: anti-ship missiles; Nash-Stackelberg-Nash model; decision

0 引言

在现代海战中, 充分发挥反舰导弹作战效能的最主要手段就是要进行高强度、多方向、多波次的饱和攻击。为此, 各国设计了具有航路规划功能的反舰导弹, 导弹按照预先装订的航路点数据, 通过多次有规律的航向变化, 实现从不同方向攻击目标的目的, 可大大提高反舰导弹的作战效能。然而, 随着反舰导弹数量的增大、攻击方向的增多, 反舰导弹航路协同问题凸现出来, 带来了更多的复杂性和不确定性, 使反舰导弹航路决策成为难解的 NP 问题^[1]; 因此, 如何合理有效地决策反舰导弹的航路, 是亟待解决的问题。

反舰导弹协同航路决策其实质是一个组合优化问题, 是一个既有竞争, 又有合作的对策过程。笔者针对协同问题的特点, 运用对策理论对该决策问题进行分析, 在此基础上建立了决策模型及求解的 Nash-Stackelberg-Nash 模型, 运用对策-协进化算法对问题进行求解。通过仿真试验证明: 该方法收敛速度快、应用效果明显, 适合反舰导弹协同航路决策优化问题。

1 反舰导弹协同航路多级动态决策模型

1.1 反舰导弹航路决策模型

设某一反舰导弹 M_i , 运用规划方法^[2-4]计算出从初始位置 B_i 到目标位置 G_i , 且满足基本约束条件 $Q(R_i)=0$ 的飞行航路 R_i , 使得航路捕捉概率收益 $J(R_i)$ 最大^[5], 反舰导弹航路决策模型可表示为

$$\begin{cases} \max J(R_i) \\ \text{s.t.} \\ Q(R_i)=0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $J(R_i)$ 为反舰导弹 M_i 飞行航路 R_i 的效用函数; $Q(R_i)=0$ 为反舰导弹 M_i 飞行航路 R_i 条件约束函数, 包括飞行性能约束、规避障碍物及危险区域等基本约束条件。

反舰导弹协同航路规划问题是单条航路规划问题的超集^[5]。设整个反舰导弹攻击群 (M_1, M_2, \dots, M_n) 的航路组合为 $R=(R_1, R_2, \dots, R_n)$, 其在满足各自基本约束条件 $Q(R_i)=0$ 的前提下, 需进一步满足与战术协同有关的互约束条件 $H(R)=0$, 使得攻击编队具有收益最大的协调航迹 R^* , 即

收稿日期: 2014-06-25; 修回日期: 2014-07-28

基金项目: 航空科学基金“航空反潜火控技术研究”(20095184005)

作者简介: 郭新奇(1975—), 男, 山东人, 博士后, 讲师, 从事信息系统、军事运筹、辅助决策研究。

$$\begin{cases} J(R^*) = \max_R J(R) = \max_R \begin{pmatrix} J_1(R) \\ J_2(R) \\ \vdots \\ J_n(R) \end{pmatrix} & (2) \\ \text{s.t. } Q(R_i) = 0, \quad i=1,2,\dots,n \\ H(R) = 0 \\ R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\} \end{cases}$$

在协同航路规划决策过程中需满足的战术协同原则有：

- 1) 反舰导弹要尽可能同时到达舰艇编队拦截区；
- 2) 符合导弹指挥系统的战术使用原则；
- 3) 一弹一航路，且攻击航路数量等于完成任务所需的弹药数。

1.2 协同航路规划对策论分析

在反舰导弹协同航路对策过程中，导弹攻击群中的每枚导弹分别对应一个理性局中人，共有 n 个局中人。第 i 枚导弹的所有可能航路组成第 i 个局中人的策略空间 Γ_i ，他们共同组成对策的策略空间 Γ ，其对策格局如表 1 所示。 $R = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n$ 是此对策的一个可行策略，它的每个分量分别来自各局中人的策略空间。在对策过程中，各局中人相互协作或彼此竞争，目的在于提高各自的收益，最终系统达到一种均衡^[5]。

表 1 协同航路规划对策格局

局中人 M	策略空间 Γ	收益函数 J
M_1, M_2, \dots, M_n	$\Gamma = \Gamma_1 \times \Gamma_2 \times \dots \times \Gamma_n$	$J_1(R), J_2(R), \dots, J_n(R)$

根据反舰导弹战术使用原则可建立如图 1 所示的典型导弹攻击群决策组织结构。此攻击编队由 K 个子攻击群组成，每个子攻击群由第 1 枚导弹及其他枚导弹组成主从-对称结构，反映了执行协同攻击任务中各导弹之间的从属或非从属关系，形成具有 2 层主从结构的决策系统，笔者对此决策系统，运用对策理论建立问题的求解模型。

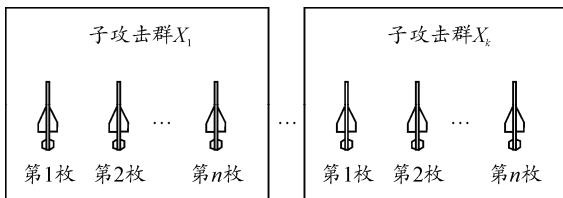


图 1 反舰导弹攻击群决策组织结构

1.3 协同航路规划 Nash-Stackelberg-Nash 对策模型

设上层主决策者 X 由 X_1, X_2, \dots, X_K 组成，即

$X = (X_1, X_2, \dots, X_K)$ ，且具有各自的收益函数 $J_L = (J_{L1}, J_{L2}, \dots, J_{LK})$ ，下层从决策者 M_k 由导弹 $M_{k1}, M_{k2}, \dots, M_{kn}$ 组成，收益函数为 $J_{Fn}(X_k, M_{k1}, M_{k2}, \dots, M_{kn})$ ，设 Γ_L, Γ_F 分别为主方、从方的可能策略，则协同航路 Stackelberg 对策为 $G = (\{X, M\}, \{\Gamma_L, \Gamma_F\}, \{J_L, J_F\})$ 。

在对策过程中，上层主方 X_k 首先提出一个 Nash 均衡策略 R_{Lk}^* ，如果下列不等式成立^[6]，

$$\sup_{R_{Fk} \in S(R_{Lk}^*)} J_{Lk}(R_{Lk}^*, R_{Fk}) \geq \sup_{R_{Fk} \in S(R_{Lk})} J_{Lk}(R_{Lk}, R_{Fk}), \quad \forall R_{Lk} \in \Gamma_L \quad (3)$$

那么 $R_{Lk}^* \in \Gamma_L$ 为主方的 Stackelberg 策略。其中 $S(R_{Lk})$ 称为针对主方策略 R_{Lk} 从方的理性反应集，有

$$S(R_{Lk}) = \left\{ \overline{R_{Fk}} \mid J_{Fn}(R_{Lk}, \overline{R_{Fk}}) \geq J_{Fn}(R_{Lk}, R_{Fk}), \forall R_{Fk} \in \Gamma_{Fk} \right\} \quad (4)$$

即 $S(R_{Lk})$ 为使 $J_{Fn}(R_{Lk}, R_{Fk})$ 达到最大的从方策略 $\overline{R_{Fk}}$ 的集合。

多个从方在观察主方的策略效果后，共同给出相应的 Nash 均衡对策策略 $(R_{Fk}^*, R_{Fk}^*, \dots, R_{Fk}^*)$ ，则称 $(R_{Lk}^*, R_{Fk}^*, R_{Fk}^*, \dots, R_{Fk}^*)$ 为该协同航路规划问题的 1 个 Stackelberg-Nash 均衡解。

对决策者 $X = (X_1, X_2, \dots, X_K)$ 分别应用上述决策方法，即可得协同航路规划 Nash-Stackelberg-Nash 决策系统解^[6]：

$$(R_{L1}^*, \dots, R_{Lk}^* \mid R_{1F}^*, \dots, R_{1F}^*, \dots, R_{kF}^*, \dots, R_{kF}^*), \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad (5)$$

根据文献[7]，上述 Nash-Stackelberg-Nash 对策求解问题可转化为二层主从非线性规划最优解问题，即

$$\begin{cases} \max_X J_L = (J_{L1}(R_{L1}, R_{1F}^1, R_{1F}^2, \dots, R_{1F}^n), \dots, J_{Lk}(R_{Lk}, R_{kF}^1, R_{kF}^2, \dots, R_{kF}^n)) \\ \text{s.t.} \\ R_{Lk} \in \Gamma_1, \dots, R_{Lk} \in \Gamma_k, k=1, 2, \dots, K \\ \text{其中, 每个 } R_{kF}^i \text{ 是如下规划的解} \\ \left(\max_{M_{ki}} J_{Fi}(R_{Lk}, R_{ki}^i), \dots, \max_{M_{ki}} J_{Fi}(R_{Lk}, R_{ki}^i) \right) \\ \text{s.t.} \\ Q(R_{kF}^1, R_{kF}^2, \dots, R_{kF}^n) = 0, H(R_{Lk}, R_{kF}^1, R_{kF}^2, \dots, R_{kF}^n) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

求解 Nash-Stackelberg-Nash 对策问题的均衡

解转化为求上述非线性规划的最优解问题。

1.4 模型求解的对策-协进化算法模型

反舰导弹协同航路规划决策问题是一个既有竞争，又有合作的对策过程，笔者将协进化算法与协同航路规划对策论分析相结合，提出对策-协进化求解算法^[5]，其基本思想是运用二层进化方法，将战术协同因素作为进化的约束条件。通过进化算法主方给出一个策略，从方运用进化算法，给出最优解，往复运算给出最终的最优解。对策-协进化算法流程如图 2 所示。

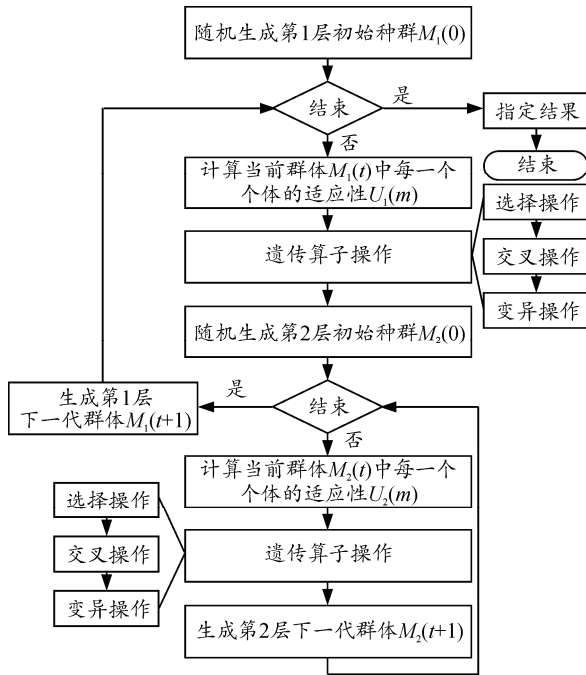


图 2 对策-协进化算法流程

2 仿真分析

200×年 10 月 2 日 07:30，上级通报有一蓝方舰艇编队 B 在某海域活动，红方舰艇编队 R1(载同类型反舰导弹)驶入该海域进行攻击，将于 08:00 开始战斗。同时上级要求红方舰艇编队 R2、R3 分别使用 8 枚、4 枚导弹协同 R1 对 B 进行导弹航路攻击，其态势数据如表 2 所示。

表 2 红蓝双方态势数据

舰艇编队	位置	航向/(°)	航速/节
B	$\phi-124^{\circ}15'23''E, \lambda-27^{\circ}31'84''N$	30	20
R1	$\phi-123^{\circ}42'07''E, \lambda-27^{\circ}40'31''N$	150	15
R2	$\phi-122^{\circ}35'25''E, \lambda-28^{\circ}54'28''N$	170	25
R3	$\phi-121^{\circ}45'13''E, \lambda-27^{\circ}16'39''N$	60	25

根据上述，舰艇编队 R1 的危险区域作为禁飞区进行航路规划，由上述算法编程计算^[8]，结果如图 3 所示。

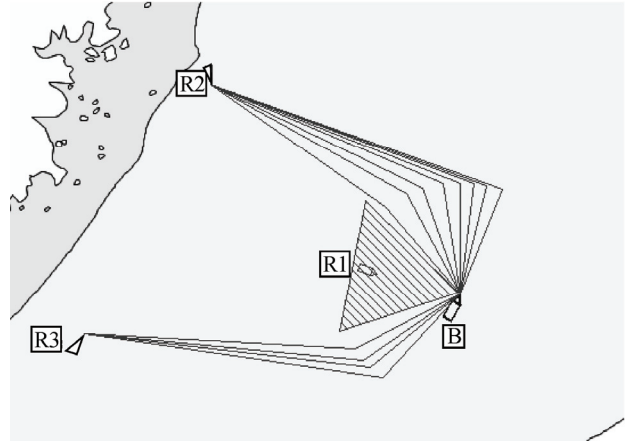


图 3 协同航路结果

由图可知，运用对策-协进化算法，能够很好地求解出满足作战要求的反舰导弹协同航路决策结果。经计算统计，得到最优结果计算量平均耗时为 10 s(CUP1.86 GHz×2，内存 2.0 GB)，基本满足实时性要求。

3 结论

笔者针对反舰导弹协同航路决策问题，运用对策理论对该决策问题进行分析，在此基础上建立了决策模型及求解的 Nash-Stackelberg-Nash 模型，运用对策-协进化算法对问题进行求解，较好地解决了反舰导弹协同航路决策优化问题。该算法在复杂空间中进行鲁棒搜索，具有运算简单、收敛速度快、实时性好等优点，对于工程应用具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 郭新奇, 严建钢, 韩希辉, 等. 基于 M-AV-GA 的反舰导弹航路决策研究[J]. 战术导弹技术, 2010(4): 16-19.
- [2] 范作娥, 张友安, 施建洪, 等. 反舰导弹航路规划的递推算法[J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(2): 207-210.
- [3] 周立军, 王昌金, 王晶横. 反舰导弹攻击方向的选择策略分析[J]. 指挥控制与仿真, 2008, 30(4): 44-47.
- [4] 郭新奇, 严建钢, 郑宝华. 一种反舰导弹航路规划模型[J]. 军事运筹与系统工程, 2009, 24(4): 44-47.
- [5] 郭新奇. 基于不确定分析理论的导弹攻击决策问题研究[D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2009: 52-55.
- [6] 张莉, 张安, 汤志荔, 等. 多编队对地攻防对抗多层决策分析仿真与研究[J]. 系统仿真学报, 2007: 19(1): 106-109.
- [7] 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲. 不确定规划及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 8-10.
- [8] 刘吉军, 李刚, 王宗亮. 基于神经网络模型的潜射反舰导弹作战效能分析[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(1): 42-44.