

多平台舰舰导弹饱和攻击几个协同问题与模型

曾家有, 王国卫, 钟建林, 谢宇鹏

(海军航空工程学院 指挥系, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对组织多平台舰舰导弹饱和攻击协同筹划难的问题, 运用作战任务规划理论, 划分舰艇编队协同任务层次, 确定协同任务指标, 给出协同约束条件。在此基础上, 建立多平台舰舰导弹饱和攻击协同任务分配模型与舰舰导弹时间、空间和频率的协同模型。方案实例仿真结果表明了协同模型的可行性和有效性, 可为指挥员组织反舰导弹协同饱和攻击提供决策参考。

关键词: 系统工程方法论; 任务规划; 饱和攻击; 协同; 舰艇编队; 舰舰导弹

中图分类号: TJ760 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2014)02-0256-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1093.2014.02.018

Research on Cooperative Saturation Attack Problems and Models of Ship-to-ship Missiles from Multi-ship Platforms

ZENG Jia-you, WANG Guo-wei, ZHONG Jian-lin, XIE Yu-peng

(Department of Command, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, Shandong, China)

Abstract: For the complex cooperative saturation attack planning of ship-to-ship missiles from multiple platforms, the cooperative task levels of ship formations are divided, the cooperative task indexes are defined and the constraint conditions are given based on combat mission planning theory. A cooperative task allocation model, time cooperation model, spatial cooperation model and frequency cooperation model of ship-to-ship missiles from multi-ship platforms are built. The simulation results show that the models are feasible and effective.

Key words: system engineering methodology; mission planning; saturation attack; cooperation; ship formation; ship-to-ship missile

0 引言

反舰导弹饱和攻击是指采用大密度、连续进袭的反舰导弹, 同时或在极短时间内, 从不同方向、不同层次向目标发射超出对方抗击能力的导弹数, 使防空系统反导抗击能力在该时间段内处于无法应付的饱和状态^[1]。虽然由于攻防技术的发展, 饱和攻击的内涵有一定的变化, 甚至在理解上有一些分歧, 但普遍认为饱和攻击依然是打击水面舰艇目标的有效战术。

组织多平台舰舰导弹协同饱和攻击, 涉及到统

一指挥、协同筹划, 非常复杂。指挥员可能随时需要根据新态势进行协同决策调整, 这些协同决策又与导弹武器系统复杂的约束条件、战场环境等因素密切相关^[2-5]。任务规划是导弹协同作战使用的一项关键技术, 通过合理规划, 能使得多平台发射的反舰导弹实现协同配合, 达到饱和攻击的目的^[6], 可以解决组织实施多平台舰舰导弹协同饱和攻击的问题^[7-8]。

在体系对抗作战中, 导弹使用不仅要考虑技术的复杂性, 还应考虑战术使用的复杂性^[9]。组织多平台舰舰导弹饱和攻击, 既要在约束条件下解决平台之间协同的基本问题, 还要解决导弹之间协同的

核心问题,最终实现整体优化,提高作战效能。本文对多平台舰舰导弹饱和攻击的任务分配、火力分配、时间、空间、频率协同问题进行分析与建模。

1 协同的层次、指标和约束条件

1.1 协同层次

编队受领任务后,首先要对任务进行层次划分,目的是为了明确各协同单元之间的行动顺序和方法,为进一步组织实施反舰导弹协同饱和攻击奠定基础。协同任务一般划分为以下两个层次:

1)任务划分,主要针对编队指挥员。它包括各突击群之间的协同、突击群与保障群之间的协同、各保障群之间的协同任务划分。编队内突击群之间的任务划分,通常包括确定突击的基准兵力群,打击目标、海域、时间和顺序,进入突击和撤出的方向,通信、识别和引导的方法。

2)任务划分,主要针对战术群指挥员。主要内容为根据实施饱和攻击的任务要求,确定突击群和保障群的舰艇类型和数量、执行突击或保障任务的流程和时间节点。对于执行多方向突击任务的突击群,还包括选用反舰导弹类型、数量以及攻击方式,最终形成完整的方案。

假设前期侦察发现了 M 个目标。根据态势评估和威胁判断结果,将舰艇编队协同反舰作战任务按照目标进行分解,得到系列任务 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_{N_T}\}$, 其中 N_T 为目标编号, $N_T \leq M$ 且为正整数。根据舰艇编队协同反舰作战任务层次特性,可以将舰艇编队协同分解为一系列的子任务。针对舰艇编队协同反舰作战任务 T 中任务目标 O 的每一个子目标 O_m , 对其作战任务 T_m 均可以分解为 T_m^k , 其中 m 为子目标编号, k 为作战子任务编号。作战子任务 T_m^k 又可分解为若干个按照时间顺序执行的任务序列 $T_m^{k,s}$ ($s=1, 2, \dots, n_k$), 其中 s 为任务序列编号, n_k 为作战子任务 T_m^k 包含的任务序列总数。

1.2 协同指标及要求

这里的协同指标是指完成协同作战任务的期望指标,可对反舰导弹协同饱和攻击的多个可行方案进行量化评估,为作战决策提供参考依据。5种常见指标如下:

1)目标价值收益指标 f_1 。目标价值收益最大指标主要通过评估作战舰艇执行任务时的目标价值,来引导任务规划趋向于使作战效能最大化。

2)效费比指标 f_2 。效费比指标是指在保证一定目标价值收益时还考虑反舰导弹的作战成本。以效

费比为最大指标时,要求规划的饱和攻击方案能够以最低的反舰导弹耗费获得最大的目标价值收益。

3)航程指标 f_3 。当以最短航程为协同任务指标时,要求在作战任务确定的情况下,为参与协同饱和攻击任务的舰艇设计距离尽量短的航行航迹。

4)威胁度指标 f_4 。通过最小化目标舰艇的威胁度使得任务规划中的作战舰艇任务毁伤代价最小,以得到最安全航迹。

5)可攻击目标数指标 f_5 。力求在一段时间内使可攻击目标数最大。

当确定协同指标后,协同饱和攻击方案的整体效果即可以由这些指标进行衡量,此时转化为多属性决策问题。假设多属性决策问题的可行集(也称方案集)为 X , 决策备选方案用 m 维向量表示为

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T, \quad \mathbf{x} \in X. \quad (1)$$

多目标决策问题的特点在于,评价决策方案的目标函数是 n 维向量

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_n(\mathbf{x}))^T. \quad (2)$$

一般地, \mathbf{x} 称为决策空间的解,而 $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ 称为目标空间的点,多属性决策的实质即在于找出目标空间最优解 $\mathbf{F}^*(\mathbf{x})$, 通常可用多属性效用函数方法和级别关系比较两种方法求解^[10]。假定目标空间包含 l 个方案组成集合 $\{F_1(\mathbf{x}), F_2(\mathbf{x}), \dots, F_l(\mathbf{x})\}$, 则集合中的最优解 $\mathbf{F}^*(\mathbf{x})$ 满足条件:

$$\mathbf{F}^*(\mathbf{x}) > \mathbf{F}_i(\mathbf{x}), \quad i=1, 2, \dots, l, l \in n. \quad (3)$$

通过决策获得的最优解 $\mathbf{F}^*(\mathbf{x})$ 优于或至少不劣于决策空间的可行解。

1.3 约束条件

进行协同任务规划时,需要综合考虑分配给舰艇兵力任务之间的约束条件,以判断执行任务的可行性。对于执行多个任务的舰艇,分配的任务之间应当考虑满足时序、空间、使能和促进上的约束条件^[11-12]。

时序上的约束是指任务 T_i 和 T_j 必须同步或按顺序完成。定义 S^s 为需要考虑时序约束的任务集合, $E_s(T_i, T_j)$ 为任务 T_i, T_j 的检验函数,当满足时序约束时值为 1, 否则为 0。则时序约束条件可以表示为

$$\begin{cases} E_s(T_i, T_j) = 1, & \forall T_j \subseteq T, T_i \subseteq S^s; \\ E_s(T_i, T_j) = 0, & \forall T_j \subseteq T, T_i \notin S^s. \end{cases} \quad (4)$$

空间上的约束是指任务 T_i 和 T_j 在空间上没有冲突。定义 S^c 为需要考虑空间约束的任务集合, $E_c(T_i, T_j)$ 为任务 T_i, T_j 的检验函数,当满足空间约束时值为 1, 否则为 0。则空间约束条件可以表示为

$$\begin{cases} E_c(T_i, T_j) = 1, & \forall T_j \subseteq T, T_i \subseteq S^c; \\ E_c(T_i, T_j) = 0, & \forall T_j \subseteq T, T_i \notin S^c. \end{cases} \quad (5)$$

使能约束是指任务 T_i 的完成是任务 T_j 完成的前提条件,促进约束是指任务 T_i 的完成有助于任务 T_j 的完成。类似的,定义 S^N, S^F 为需要考虑使能约束和促进约束任务的集合, $E_N(T_i, T_j), E_F(T_i, T_j)$ 分别为使能约束和促进约束任务的检验函数,则使能约束和促进约束的条件分别为

$$\begin{cases} E_N(T_i, T_j) = 1, & \forall T_j \subseteq T, T_i \subseteq S^N; \\ E_N(T_i, T_j) = 0, & \forall T_j \subseteq T, T_i \not\subseteq S^N. \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} E_F(T_i, T_j) = 1, & \forall T_j \subseteq T, T_i \subseteq S^F; \\ E_F(T_i, T_j) = 0, & \forall T_j \subseteq T, T_i \not\subseteq S^F. \end{cases} \quad (7)$$

2 协同任务分配

2.1 任务分配

设可选兵力单元空间内共有 K 型待选兵力单元(舰艇),编号为 $S = (S_1, S_2, \dots, S_K)$;每型舰艇数量依次为 $N = (N_1, N_2, \dots, N_K)$. 则可选兵力单元空间内的一定兵力单元的有机结合构成能够完成特定任务的组织形式,称为编队编成模式。将所有能够完成特定任务的作战编队编成模式构成的可行解空间记为 S_M ,则 S_M 内整体特性最优的编成模式称为编队最优编成模式,用 S^* 表示。

变量 x_{ik} 含义为:若 $x_{ik} = 1$,表示 S_K 内第 i 型第 k 号舰艇被纳入编队;若 $x_{ik} = 0$,表示 S_K 内第 i 型第 k 号舰艇未被纳入编队。则编队编成模式空间^[13]可表示为

$$S_M = \{(i, k) | x_{ik} = 1; i \in S, k \in N\}. \quad (8)$$

编队最优编成模式为 $S^* \in S_M$.

2.2 火力分配

当确定协同饱和攻击任务指标、约束条件以及舰艇编队编成模式后,还需要分析舰艇编队的火力分配问题。在进行火力分配时,一是要保证任务集合都被执行,二是要保证任务集合时能够获得最大效能,因此应当满足以下 2 条准则:

1) 准则 1. 将需执行的任务集合 T 全部分配给 M 艘舰艇,且每艘舰艇任务非空,则有 $\bigcup_{i=1}^M T(S_i) = T$,且 $T(S_i) \neq \emptyset$,这里 $T(S_i)$ 为舰艇 S_i 的任务集合;

2) 准则 2. 使舰艇编队完成任务的整体效能 $\sum_{i=1}^M U(S_i)$ 最大, $U(S_i)$ 为编队 S_i 完成任务的效能。

3 几个导弹协同问题与模型

在分析平台协同任务分配的基本问题后,进一

步考虑饱和攻击时不同平台、不同型号的舰舰导弹之间协同的核心问题。由于实际问题的复杂性,考虑过多约束条件时可能求解困难,这里仅对时间、空间和频率 3 个比较有代表性的协同问题进行分析。当导弹协同需要结合航路规划实现时,它的数学描述由航路优化指标和航路约束条件两部分组成。对于协同饱和攻击的多枚反舰导弹,全局优化模型的一般形式为

$$\min_{r_i \in R} J = f(r_1, r_2, \dots, r_N), \quad (9)$$

式中: R 为所有反舰导弹可行航路的集合; $r_i = r_i(t) (t \in R^+)$ 表示第 i 枚导弹的规划航路,它是空间中一条以时间 t 为变量的三维连续曲线。这里从空间、时间和频率三个方面进一步分析舰舰导弹饱和攻击的协同要求。

3.1 时间协同

同时到达目标,是导弹饱和攻击的基本要求和显著特点,其目的是使敌方的防空体系达到饱和,确保部分反舰导弹能够可靠突防^[14-15]。由于发射平台位置不同、各枚导弹的飞行速度也有所差异,航路和航程不同,要做到齐射的所有导弹同时到达目标,就要按照导弹航程飞行时间长短的顺序来严格控制发射顺序和发射间隔,即飞行时间最长的导弹先发射,发射时间间隔为相邻发射顺序导弹的飞行时间差。若导弹平均速度均为 v_m ,导弹航程为 R_i ,对应的航路飞行时间为 $t_i = R_i/v_m$,把 t_i 按照从大到小排序,结果记为 (t_1, t_2, \dots, t_N) ,对应记下各枚导弹编号。第一枚导弹发射的时间记为 t_0 ,发射顺序为导弹航程飞行时间大小的排序,时间协同基本模型可转化成对应发射顺序的发射时间 t_{tsi} 的模型:

$$t_{tsi} = t_0 + (t_1 - t_i), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (10)$$

3.2 空间协同

编队协同发射多枚导弹时,考虑扇面发射角的影响,导弹的初始飞行段在空间上完全避免交叉是很难做到的(由于发射间隔的原因,危险不大),但当导弹进入攻击半径 r 后(末制导雷达开机时导弹与目标之间距离),由于速度、到达时间和飞行高度差别都不大,要避免弹道交叉,以免引起导弹间的碰撞和导引头之间的相互干扰^[16-17]。因此,应对编队成员的攻击空域进行合理划分。

反舰导弹平飞段大都采用低空或超低空掠海飞行,飞行末段高度很接近。为避免弹道之间交叉,应对导弹进入攻角区域进行划分。假设参与攻击的 N 枚反舰导弹有 S 种进入角度,第 i 枚反舰导弹进

入攻角为 β_i , 则空间协同的基本模型为

$$\begin{cases} \beta_i \in \{\beta_1, \dots, \beta_s\}, & i = 1, 2, \dots, S; \\ |\beta_i - \beta_j| \geq \Delta\beta, & i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j. \end{cases} \quad (11)$$

式中: $\Delta\beta$ 为相邻反舰导弹最小角度间隔要求。

空间协同还应使相邻导弹的平飞高度不同。假设, 参与攻击的 N 枚反舰导弹有 S 种平飞高度, 第 i 枚反舰导弹的飞行高度为 H_i , 则高度协同的理想模型为

$$\begin{cases} H_i \in \{H_1, H_2, \dots, H_s\}; \\ H_i \neq H_{i+1} \dots \neq H_s, i = 1, 2, \dots, S; \\ H_i \neq H_{i+1}, i = S, S+1, \dots, N. \end{cases} \quad (12)$$

每枚导弹的飞行高度通常在发射前由射手在导弹火控系统设置完成。若受各种因素制约, 难于达到理想的高度协同, 则最低限度要求相邻导弹之间的平飞高度不同。

3.3 频率协同

反舰导弹多采用主动式自寻的导引头, 攻击时应避免自身相互干扰, 增强抗干扰能力^[18]。可能的情况下, 应混用不同波段的导引头(比如厘米波、毫米波), 合理使用同波段导引头的不同频率, 相对均匀安排波段和频段。假设导引头有 $A、B、C$ 3 种波段, 每种波段包含 S 个频段, 导弹频率 F_i (i 表示发射顺序) 协同的理想模型为

$$\begin{cases} F_i \in (F_{A1}, \dots, F_{AS}; F_{B1}, \dots, F_{BS}; F_{C1}, \dots, F_{CS}); \\ F_i \neq F_{i+1} \dots \neq F_{3S}, i = 1, 2, \dots, 3S; \\ F_i \neq F_{i+1}, i = 3S, 3S+1, \dots, N. \end{cases} \quad (13)$$

若受各种因素制约, 难于达到理想的频率协同, 则最低限度要求相邻导弹之间的频率不同。

4 协同方案举例

目标坐标为(155 km, 44 km), 任务舰艇编队携带反舰导弹有效航程为 200 km, 平均飞行速度 Ma 为 1, 导引头有 $A、B、C$ 3 种频段。反舰导弹可设置最多 5 个航路点, 最大转向角为 $\pm 90^\circ$, 最大可用过载为 10 g 。为便于舰艇编队之间通信和协同组织, 编队之间距离不应大于 10 km。航路规划时, 需要考虑的障碍物位置和安全半径分别为(40 km, 50 km, 15 km)、(65 km, 20 km, 18 km)、(100 km, 45 km, 15 km)。为使攻击效果最佳, 应使齐射的反舰导弹同时抵达目标防空导弹发射区近界(这里设定为 6 km), 且同一舰艇齐射反舰导弹最小时间间隔为 3 s。

为达到舰舰导弹协同饱和攻击的目的, 要求舰艇编队能够在尽可能短的时间内对目标齐射数量较

多的导弹, 齐射的导弹应当满足空间上多方向进入且航路无冲突、时间上尽可能同时到达目标、频率上避免相邻导弹干扰的要求。

规划方法如下:

1) 划分任务层次和确定任务指标。以达成反舰导弹饱和和攻击为任务指标, 确定编队 1、编队 2 为突击兵力, 以编队 1 设为基准突击兵力。编队 1 突击地点定为(0, 20 km), 编队 2 突击点定为(0, 30 km)。

2) 确定突击编队反舰导弹基准航路。根据突击编队、目标编队和障碍的位置, 分别对突击舰艇编队反舰导弹进行航路规划, 规划结果如图 1 所示。根据规划结果, 两条基准航路满足反舰导弹航程、最大航路点、可用过载和最大转弯角要求。

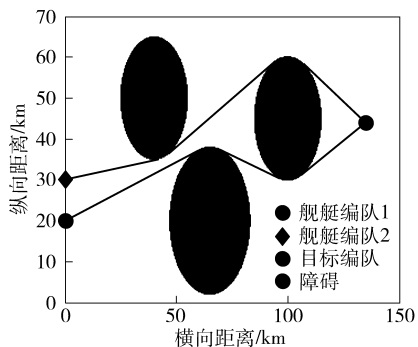


图 1 舰艇编队基准航路

Fig. 1 Basic routes of ship formation

3) 根据空间协同要求对反舰导弹航路进行调整。为达到多方向攻击, 增加末端航路点, 重新规划结果如图 2 和图 3 所示。虽然可以保证在进入目标舰空导弹防空区近界时以不同攻角进入, 达成多方向饱和和攻击。但由规划结果看出, 对编队 1 和编队 2 重新规划的航路存在较多的交叉, 因此应该重新分配编队 1 和编队 2 的空间区域, 调整后的航路规划结果如图 4 所示。此时编队 1 对目标攻角范围为 $[180^\circ, 270^\circ]$, 编队 2 对目标攻角范围为 $[100^\circ, 170^\circ]$, 这样可以避免不同编队齐射的导弹航路上出现交叉。

4) 根据时间协同要求, 对反舰导弹航路进行调整。在仅考虑空间协同要求下, 由于规划的每条航路航程不一, 难以使得不同攻角进入的反舰导弹同时抵达目标(由于齐射的反舰导弹速度相同, 若能同时抵达目标防空导弹防空区近界, 也能同时抵达目标), 反舰导弹进入攻角和导弹抵达目标时间关系如图 5 所示。

因编队 2 规划的最长航路飞行时间(以 100° 攻角进入的航路)比编队 1 最长航路飞行时间长, 以

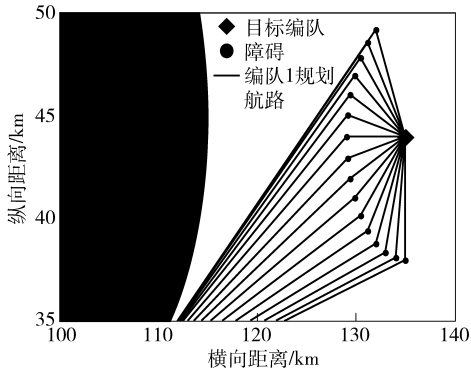


图 2 编队 1 多方向航路

Fig. 2 Multi direction routes of 1st ship formation

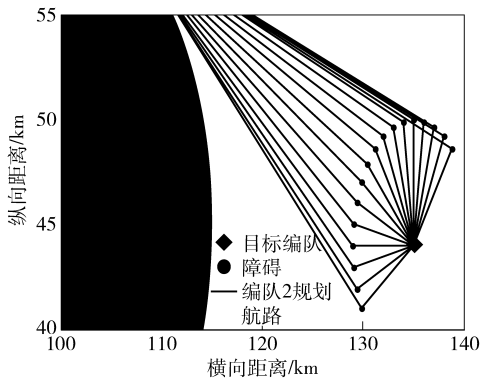


图 3 编队 2 多方向航路

Fig. 3 Multi direction routes of 2nd ship formation

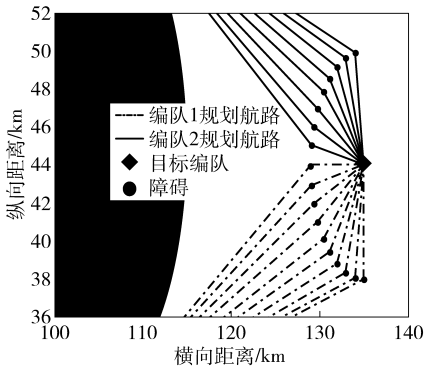


图 4 考虑空间协同的多方向航路

Fig. 4 Multi-direction routes considering spatial cooperation

编队 2 的 100° 攻角进入航路发射时间为基准突击时间, 记为 t , 则编队 1 基准突击时间为 $t + 8.4$ s. 以齐射导弹到达时间、最小时间间隔为约束条件, 得到平台内为不同进入攻角规划的导弹发射时间如图 6 所示。考虑到同一艘舰艇发射反舰导弹有最小时间间隔限制, 对于发射时间小于 3 s 的两枚反舰导弹应由同一编队的两艘舰艇组织齐射。

5) 根据频率协同要求对反舰导弹航路进行调

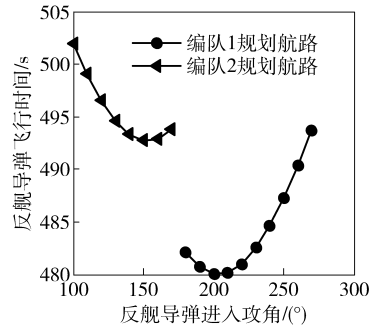


图 5 不同进入攻角航路的飞行时间

Fig. 5 Flight time of missile along various attack angle routes

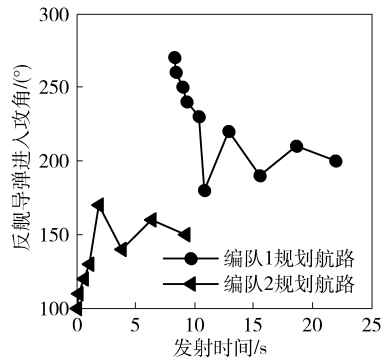


图 6 不同进入攻角航路的导弹发射时间

Fig. 6 Launch time of missile along various attack angle routes

整。为避免同频干扰, 最小时间间隔 (3 s) 内应避免使用相同频率导引头。以避免相邻导弹导引头产生同频干扰为约束条件, 得到导引头频段分配方案如图 7 所示。该方案剔除了不满足频率协同要求的航路。根据最终航路规划结果, 一波攻击中编队 1 可以向目标齐射 8 枚导弹, 编队 2 可以向目标齐射 5 枚导弹, 通过采取对应的发射时机、航路点和导引头频段, 可以达到多方向饱和攻击的目的。

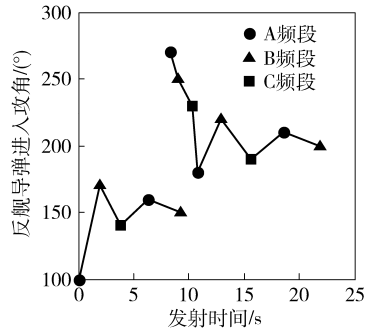


图 7 不同航路导弹导引头频段分配结果

Fig. 7 Guidance frequency distribution results of various routes

以上仿真结果从空间、时间和频率协同三个方

面,采用量化分析的方法,最终规划出了满足反舰导弹协同饱和攻击的可行航路。得到的规划结果可以使得舰艇编队在相对目标攻角范围为 $[100^\circ, 270^\circ]$ 内一波齐射13枚导弹,齐射的导弹进入角度分布均匀,可以避免产生同频干扰,还能够在极短的时间差内几乎同时到达目标,结果具有可行性,可以达成反舰导弹多方向饱和攻击的目的。参考提供的规划结果,舰艇编队还可以对目标进行第二波、若干波导弹齐射。不足之处在于,未考虑舰艇编队齐射反舰导弹的队形,导弹飞行时间可能会产生一定的小误差,决策时可修正。

5 结论

组织多平台舰舰导弹饱和攻击,平台协同任务分配是基础,导弹时间、空间和频率协同是核心。本文运用作战任务规划理论对上述问题进行了分析,建立了相应的数学模型,方案实例表明了模型的可行性和有效性,为解决多平台舰舰导弹饱和攻击协同筹划难的问题提供了一种初步方法。该方法可为指挥员组织多平台反舰导弹协同饱和攻击提供决策参考。

参考文献 (References)

- [1] 曾家有,钟建林,汪浩. 全系统对抗条件下反舰导弹突防能力计算模型[J]. 系统仿真学报,2009,21(19):6036-6039.
ZENG Jia-you, ZHONG Jian-lin, WANG Hao. Computing model of anti-ship missile penetration capability under full system countermeasures[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(19): 6036-6039. (in Chinese)
- [2] 滕克难. 舰空导弹系统抗饱和攻击反导作战效能评估[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(3):37-38.
TENG Ke-nan. Effectiveness evaluation of anti-missile saturation attack for the ship-to-air missile[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2005, 25(3): 37-38. (in Chinese)
- [3] WANG Guang-hui, SUN Xue-feng, YAN Jian-gang, et al. Study on anti-ship missile saturation attack model[J]. Journal of China Ordnance, 2010, 6(1):10-15.
- [4] ZENG Jia-you, XIE Yu-peng, BIAN Hong-fei, et al. Research on anti-saturation attack model of SAM to ARM[C]//International Conference on Communications in Computer and Information Science. Shanghai:Springer, 2012: 221-227.
- [5] 许诚,李永胜,孙锦. 基于MARKOV过程的反舰导弹突防舰艇编队能力评估[J]. 飞行力学,2009,27(2):93-96.
XU Cheng, LI Yong-sheng, SUN Jin. Evaluation on the anti-ship missile penetration ability of the formation based on queuing theory [J]. Flight Dynamics, 2009, 27(2): 93-96. (in Chinese)
- [6] ZHAO Shi-yu, ZHOU Rui. Cooperative guidance for multi-missile salvo attack [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2008 (21): 533-539.

- [7] 庄益夫,田义宏,王磊. 智能反舰导弹作战任务规划系统研究[J]. 战术导弹技术, 2009(4):13-16.
ZHUANG Yi-fu, TIAN Yi-hong, WANG Lei. Research on mission planning system of intelligent anti-ship cruise missile[J]. Tactical Missile Technology, 2009(4): 13-16. (in Chinese)
- [8] 严江江,袁鸿翼,关世义,等. 体系对抗下的任务规划技术[J]. 战术导弹技术, 2010(3):12-15.
YAN Jiang-jiang, YUAN Hong-yi, GUAN Shi-yi, et al. Mission planning technology based on systems counterwork [J]. Tactical Missile Technology, 2010(3): 12-15. (in Chinese)
- [9] 滕克难,盛安冬. 舰艇编队协同反导作战网络效果度量方法研究[J]. 兵工学报, 2010, 31(9):1247-1253.
TENG Ke-nan, SHENG An-dong. Research on metric of network effect in ship formation cooperation anti-missile operation[J]. Acta Armamentarii, 2010,31(9): 1247-1253. (in Chinese)
- [10] 孙昭旭,韩敏,邱苑华. 一种多属性决策问题的分类方法研究[J]. 控制与决策,2006,21(2):171-174.
SUN Zhao-xu, HAN Min, QIU Wan-hua. Classification approach for multicriteria decision making problem[J]. Control and Decision, 2006, 21(2): 171-174. (in Chinese)
- [11] Cheng L J, Ding Y S, Hao K R. An ensemble kernel classifier with immune clonal selection algorithm for automatic discriminant of primary open-angle glaucoma [J]. Neurocomputing, 2012, 83(15): 1-11.
- [12] Gu J W, Gu M Z, Cao C W, et al. A novel competitive co-evolutionary quantum genetic algorithm for stochastic job shop scheduling problem [J]. Computers & Operations Research, 2010, 37(5): 927-937.
- [13] 谭安胜,李登峰,汪德虎,等. 驱护舰编队编成模式生成模型研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2003(1):24-26.
TAN An-sheng, LI Deng-feng, WANG De-hu, et al. Study on generation models of destroyer and frigate formation buildup mode [J]. Military Operation and System Engineering, 2003(1):24-26. (in Chinese)
- [14] BU Xian-jin, ZHONG Wen-song, DONG Wen-hong. The evaluation of collaboration effect using the command control system response time [C] // Proceedings of International Conference of Modeling and Simulation. Nanjing:Nanjing University of Science and Simulation, 2008:1-6.
- [15] Lee J I, Jeon I S, Tahk M J. Guidance law to control impact time and angle [J]. Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2007, 43(1): 301-310.
- [16] WANG Guang-hui, SUN Xue-feng, ZHANG Li-ping, et al. Saturation attack based route planning and threat avoidance algorithm for cruise missile[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2011, 22(6): 948-953.
- [17] WANG Ling-xiao, ZHOU De-yun. Effective path planning method for low detectable aircraft[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009, 20(4): 784-789.
- [18] McLain T W, Beard R W. Coordination variables, coordination functions, and cooperative timing missions[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2005, 28(1): 150-161.