

# 舰艇编队作战任务分配优化模型构建

修智宏<sup>1</sup>, 王延辉<sup>1</sup>, 杜巍<sup>2</sup>

(1 海军大连舰艇学院信息作战系, 大连 116018; 2 海军大连舰艇学院研究生管理大队, 大连 116018)

**摘要:** 舰艇编队完成作战使命需要进行有效的任务分配, 编队指挥员一般根据战场态势, 将作战使命分解为粒度较粗的作战任务, 并指派给编队内相应的作战平台, 形成可行的作战任务分配方案。舰艇编队的编成形式多样, 并经常需要执行对海、对空、对潜、对岸等多样化作战任务, 由于编队内多平台协同执行任务和单平台同时执行多项任务时, 作战效能会发生显著变化, 这些因素带来了舰艇编队作战任务分配优化模型研究的复杂性。本文从舰艇编队的实际作战需求出发, 对以上问题进行全面深入的研究, 构建了三种舰艇编队作战任务分配模型, 利用这些模型进行优化计算可以获得较优的任务分配方案, 使得舰艇编队在作战效益最大的前提下高质量地完成作战使命。通过了一个典型案例的仿真研究分析, 验证了本文模型构建方法的合理性。

**关键词:** 作战任务分配; 舰艇编队作战; 优化模型; 计算机仿真

## 0 引言

编队作战是水面舰艇基于信息系统体系作战的主要样式。现代化水面舰艇战术群编队一般由多型舰艇组成, 各型舰艇由于武器装备配置和使命任务不同, 使得其各方面作战能力相差很大, 因此, 作战任务分配是舰艇编队作战指挥过程中的一个关键环节, 是舰艇编队完成作战使命的前提。在进行任务分配时, 舰艇编队指挥员一般根据战场态势, 将作战使命分解为粒度较粗的作战任务, 并指派给编队内相应的作战平台, 使得作战平台与作战任务形成一一映射的关系, 形成可行的作战任务分配方案。作战任务分配方案的优劣直接影响到编队作战使命能否完成以及作战效益大小, 一个优化的任务分配方案能够合理地编队中的各作战平台指派合适的作战任务, 以使舰艇编队在作战效果最大、代价最低、风险最小的前提下高质量地完成作战使命。

目前国内对于舰艇编队作战任务分配优化模型研究很少, 相关研究文献主要集中在舰艇火力分配<sup>[1-3]</sup>和无人机协同多任务分配模型<sup>[4-8]</sup>等领域。舰艇火力分配方面目前主要研究单舰或编队静态和动态武器目标分配, 无人机任务分配方面国内外现有的研究成果大多集中于独立且不关联作战任务的分配问题。由于舰艇编队编成形式多样, 并需要执行对海、对空、对潜、对岸等多样化作战任务, 科学地组织编队内各平台协同执行任务可以实现效能互补, 同时单平台在同时执行多项任务时武器装备会有相互干扰, 这些因素带来了舰艇编队作战任务分配优化模型研究的复杂性和困难性。本文从舰艇编队的实际作战需求出发, 对以上问题进行全面深入的研究, 从简单的基本模型出发, 逐步深化, 构建了三种舰艇编队作战任务分配优化模型。通过对典型案例的仿真研究分析, 验证了本文模型构建方法的合理性。

## 1 基本模型

设某舰艇编队由  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_M$  共  $M$  个作战平台组成, 承担的作战使命可分解为  $T_1, T_2, \dots, T_N$  共  $N$  个作战任务。为了简化舰艇编队作战任务分配问题模型, 首先作以下假设:

**假设 1:** 每个作战平台只可执行一个作战任务, 而每一个作战任务可以由一个或者多个作战平台共同完成。

**假设 2:** 不考虑作战平台在协同执行任务过程中的作战效能变化。

基于以上假设条件, 编队作战任务分配基本模型中作战平台与作战任务关系的示意图如图 1 所示。

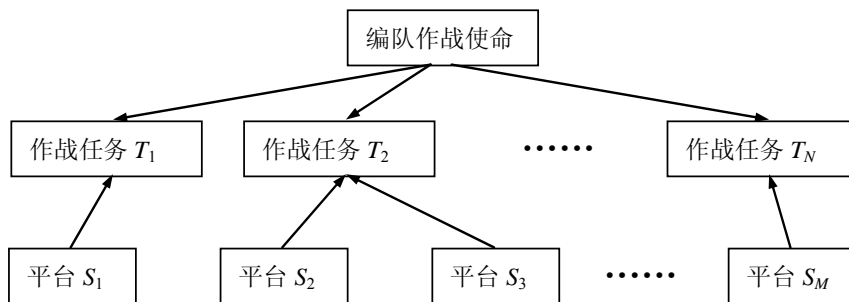


图1 编队作战任务分配基本模型示意图

舰艇编队作战任务分配方案可视为1个 $M \times N$ 的矩阵变量 $U=[u_{ij}]$ , ( $i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$ )。矩阵变量 $U$ 中的每一个元素 $u_{ij}$ 只能取0或1。如果以作战使命整体效益最大化为目标寻求舰艇编队作战任务分配的最优方案,则可以用以下数学模型来描述:

$$\max F(U) = \sum_{j=1}^N w_j \left[ 1 - \prod_{i=1}^M (1 - u_{ij} p_{ij}) \right] \quad (1)$$

约束条件为:

$$\sum_{j=1}^N u_{ij} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

其中: $u_{ij}$ ——作战平台 $S_i$ 和作战任务 $T_j$ 之间分配变量,当作战平台 $S_i$ 执行作战任务 $T_j$ 时 $u_{ij}=1$ ,当作战平台 $S_i$ 不执行作战任务 $T_j$ 时 $u_{ij}=0$ , ( $i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$ )。

$p_{ij}$ ——作战平台 $S_i$ 执行作战任务 $T_j$ 的成功率。 $p_{ij}$ 与作战任务性质、作战平台的作战能力和地理位置有关,作战平台和作战任务确定后, $p_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$ ) 可视为一组固定的参数。

$w_j$ ——作战任务的效益,该参数表示在作战使命中各作战任务 $T_j$  ( $j=1,2,\dots,N$ ) 的重要程度,作战任务的重要程度越高,该作战任务的效益 $w_j$ 越大。

$F(u_{ij})$ ——作战任务分配方案的整体效益。

舰艇编队作战任务分配的最优方案就是在约束条件(2)下使(1)式成立的一组 $u_{ij}$ , ( $i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$ )。

## 2 考虑协同效益的作战任务分配模型

在实际作战过程中,作战平台 $S_i$ 执行作战任务 $T_j$ 的能力不是一成不变的,当有我方其他平台协同时,其作战能力是会发生变化的。例如有的舰艇装备的反舰导弹射程远大于本舰雷达的探测距离,当该舰独立执行对海导弹攻击任务时,其能力只局限于本舰雷达的探测范围,而如果有其他平台(舰艇或飞机)协同,借助于数据链的信息共享,扩大了本舰的信息获取范围和提高了信息精度,相应地会大大提高该舰对海导弹攻击的范围和能力。因此有必要进一步考虑舰艇编队平台之间的协同效益。

**定义1:** 协同效益 $v_{ijk}$ 是指平台 $S_i$ 在有平台 $S_k$ 协同下完成作战任务 $T_j$ 成功率的增加系数。 $-1 < v_{ijk} < 1$ , 且 $v_{iji}=0$ 。

由于三个以上平台协同时,协同效益非常复杂,难以量化确定,因此这里只考虑实际作战中经常遇到的两个平台之间协同效益。此时,假设条件1不变,假设条件2更改为:

**假设3:** 考虑各作战平台在协同执行任务过程中的作战效能变化,但协同执行同一作战任务的平台数不超过2个。

编队作战任务分配基本模型中(1)式可修改为:

$$\max F(U) = \sum_{j=1}^N w_j \left[ 1 - \prod_{i=1}^M \left( 1 - u_{ij} p_{ij} \left( 1 + \sum_{k=1}^M u_{kj} v_{ijk} \right) \right) \right] \quad (3)$$

的约束条件(2)式不变, 基于假设 3 再增加一个约束条件如下:

$$\sum_{i=1}^M u_{ij} \leq 2, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

### 3 考虑平台可执行多任务的作战任务分配模型

传统的水面舰艇一般分为防空型、对海型、反潜型等种类, 其作战能力主要集中在某一类作战任务。随着高技术武器装备的发展和运用, 为了满足在现代海战中应对多方面威胁的需要, 目前新型舰艇一般都具有较强综合作战能力, 能同时执行多种作战任务。当舰艇同时完成多项任务时, 由于不同的任务对本舰通用资源如平台的机动、传感器使用的要求有一定的冲突, 因此, 舰艇执行某一作战任务的能力会因受到同时执行的其他作战任务的干扰而降低, 有必要进一步考虑一个平台同时执行两项任务时相互的影响。

**定义 2:** 任务干扰度  $s_{ijh}$  是指平台  $S_i$  同时执行任务  $T_j$  和任务  $T_h$  时, 由于任务  $T_h$  的干扰, 平台  $S_i$  执行任务  $T_j$  作战效能的降低系数。  $0 \leq s_{ijh} < 1$ , 且  $s_{ijj} = 0$ 。

由于一个平台同时执行三个以上作战任务时, 情况比较复杂, 实际作战中很少出现, 因此这里只考虑作战中经常遇到的一个平台最多可同时执行两个作战任务的情况。此时, 假设条件 3 不变, 假设条件 1 修改为:

**假设 4:** 一个平台同时执行的作战任务数不超过 2 个。

基于以上假设条件, 考虑平台可执行多任务的作战任务分配模型中作战平台与作战任务关系的示意图如图 2 所示。

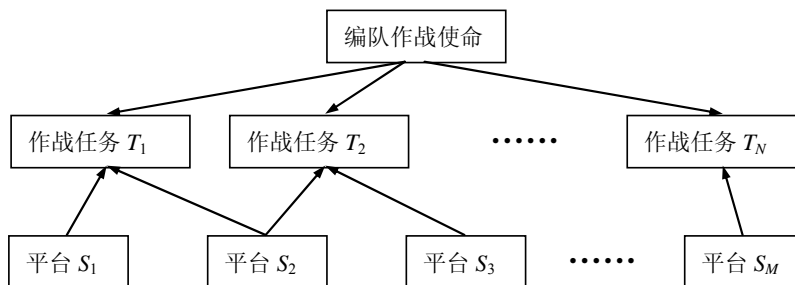


图 2 考虑平台可执行多任务的编队作战任务分配模型示意图

在考虑协同效益的作战任务分配模型基础上, 将(3)式进一步修改为:

$$\max F(U) = \sum_{j=1}^N w_j \left[ 1 - \prod_{i=1}^M \left( 1 - u_{ij} p_{ij} \left( 1 + \sum_{k=1}^M u_{kj} v_{ijk} \right) \left( 1 - \sum_{h=1}^N u_{ih} s_{ijh} \right) \right) \right] \quad (5)$$

相应地, 约束条件(4)式不变, 约束条件(2)式修改为:

$$\sum_{j=1}^N u_{ij} \leq 2, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

### 4 仿真分析示例

为了验证以上三中模型构建方法的合理性和有效性, 我们选取一个典型案例进行仿真分析: 假设某舰艇编队由 4 条舰组成, 代号为  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ , 承担的作战使命可以分解为反潜 ( $T_1$ )、防空 ( $T_2$ )、对海攻

击 ( $T_3$ ) 三项任务。其中, 三项作战任务的效益分别为  $w_1=0.8$ ,  $w_2=0.9$ ;  $w_3=0.5$ 。

作战平台  $S_i$  单独执行作战任务  $T_j$  的成功率  $p_{ij}$  如表 1 所示:

表 1 作战平台单独执行作战任务的成功率  $[p_{ij}]$

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$S_1$	0.9	0.5	0.8
$S_2$	0.7	0.9	0.6
$S_3$	0.6	0.8	0.8
$S_4$	0.5	0.7	0.9

两个平台协同完成任务  $T_j$  的协同效益  $v_{ijk}$  如表 2—表 4 所示:

表 2 两个作战平台协同完成作战任务  $T_1$  的协同效益  $v_{21k}$

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$S_1$	0	0.2	0.2	0.1
$S_2$	0.2	0	0.2	0.1
$S_3$	0.1	0.2	0	0.1
$S_4$	0.3	0.2	0.1	0

表 3 两个作战平台协同完成作战任务  $T_2$  的协同效益  $v_{22k}$

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$S_1$	0	0.2	0.1	0.1
$S_2$	0.3	0	0.2	0.1
$S_3$	0.2	0.2	0	0.1
$S_4$	0.3	0.2	0.1	0

表 4 两个作战平台协同完成作战任务  $T_3$  的协同效益  $v_{23k}$

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$S_1$	0	0.2	0.1	0.1
$S_2$	0.3	0	0.2	0.2
$S_3$	0.2	0.2	0	0.1
$S_4$	0.1	0.2	0.1	0

单平台同时承担  $T_j$  和  $T_h$  两个任务时的干扰度  $s_{ijh}$  如表 5—表 8 所示:

表 5 平台  $S_1$  同时承担  $T_j$  和  $T_h$  两个任务时的干扰度  $s_{1,jh}$

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$T_1$	0	0.1	0.2
$T_2$	0.1	0	0.2
$T_3$	0.2	0.2	0

表 6 平台  $S_2$  同时承担  $T_j$  和  $T_h$  两个任务时的干扰度  $s_{2,jh}$

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$T_1$	0	0.2	0.1
$T_2$	0.1	0	0.2
$T_3$	0.1	0.2	0

表 7 平台  $S_3$  同时承担  $T_j$  和  $T_h$  两个任务时的干扰度  $s_{3,jh}$

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$T_1$	0	0.1	0.1
$T_2$	0.2	0	0.1
$T_3$	0.2	0.2	0

表 8 平台  $S_i$  同时承担  $T_j$  和  $T_b$  两个任务时的干扰度  $s_{a,b}$ 

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$T_1$	0	0.1	0.1
$T_2$	0.2	0	0.2
$T_3$	0.1	0.2	0

根据以上典型案例数据, 分别运用前面提出的三种模型, 采用遍历法计算每一种作战任务分配方案的整体效益  $F(u_{ij})$ , 然后选取整体效益最大值所对应的方案即为最优编队作战任务分配方案。

通过计算机编程和仿真计算, 采用编队作战任务分配三种模型计算得到最优分配方案分别如表 8—表 10 所示:

表 8 采用基本模型计算得到的最优分配方案  $[u_{ij}]$ 

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$S_1$	1	0	0
$S_2$	0	1	0
$S_3$	0	1	0
$S_4$	0	0	1

表 9 考虑协同效益的作战任务分配模型计算得到的最优分配方案  $[u_{ij}]$ 

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$S_1$	1	0	0
$S_2$	0	1	0
$S_3$	1	0	0
$S_4$	0	0	1

表 10 考虑平台执行多任务的作战任务分配模型计算得到的最优分配方案  $[u_{ij}]$ 

	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$S_1$	1	0	1
$S_2$	0	1	0
$S_3$	1	1	0
$S_4$	0	0	1

由表 8—表 10 我们可以看到, 用三种模型计算出的最优分配方案与人工专家决策方案基本相符, 同时(3)式所示的模型由于考虑到了平台间的协同效益, 决策方案比(1)式所示的基本模型更加准确, 而(5)式所示的模型由于在(3)式基础上进一步考虑到了一个平台同时执行两项任务时的影响因素, 决策方案比(1)和(3)式所示的模型更加符合编队指挥员的实际作战决策。

## 5 小结

舰艇编队作战任务分配优化模型是编队指控系统辅助决策软件研制的基础, 本文从舰艇编队的实际作战需求出发, 充分考虑了编队内各平台协同执行任务时的效能互补和单平台同时执行多项任务时的相互干扰等因素, 构建了三种舰艇编队作战任务分配优化模型, 并进行了典型案例的仿真计算与分析, 验证了三种模型的合理性。在本文提出的三种模型中: (1) 式所示的模型最简单, 并且考虑到了 3 个以上平台同时执行一项任务的情况, 缺点是没有考虑编队内各平台协同执行任务时的效能互补和单平台同时执行多项任务时的相互干扰等因素; (2) 式所示的模型考虑了编队内 2 个平台协同执行任务时的效能互补因素, 缺点是没有考虑单平台同时执行多项任务时的相互干扰等因素; (3) 式所示的模型同时考虑了编队内 2 个平台协同执行任务时的效能互补和单平台同时执行 2 项任务时的相互干扰等因素, 在实际作战中实用价值最高, 可以直接应用于舰艇编队指控系统作战软件研制, 缺点是该模型对编队内协同执行某一任务的平台数和单平台同时执行任务数有限制, 需要今后作进一步完善。另外还需要补充明确一点: 本文研究过程中定义的作战

平台单独执行作战任务的成功率包含了本平台的作战能力和位置参数，为了研究的方便设定为固定参数，可直接适用于作战筹划阶段的辅助决策。对于作战过程中的实时决策，由于在作战过程中随着武器消耗和敌我态势变化，成功率也会不断变化，因此，在实时决策应用中，编队指控系统的战术软件提供辅助决策时应充分考虑这些参数的变化，进行动态决策，才能达到最优的作战效果。

#### 参考文献:

- [1] 刘传波, 邱志明, 吴玲, 王航宇. 动态武器目标分配问题的研究现状与展望[J]. 电光与控制. 2010.11: 43-47.
- [2] 杨雪, 李英杰, 车延文. 防空导弹武器系统目标分配建模研究[J]. 舰船电子工程. 2010.11: 21-23.
- [3] 陈国生, 甲子英. 舰艇编队协同防空火力分配模型研究[J]. 指挥控制与仿真. 2011.12, 33 (6): 13-19.
- [4] 龙国庆, 祝小平, 周洲. 多无人机系统协同多任务分配模型与仿真[J]. 飞行力学. 2011.8, 29 (4): 68-71.
- [5] 姜荣凯. 无人机分布式任务规划技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学. 2008.
- [6] 胡中华, 赵敏. 无人机任务规划系统研究及发展[J]. 航天电子对抗. 2009,25(4): 49-51.
- [7] 航空兵突击作战联盟形成与作战任务分配问题研究[D]. 西安: 空军工程大学. 2012.10.
- [8] 寇英信, 王琳, 周中良. 多目标攻击条件下的作战任务分配模型研究[J]. 系统仿真学报. 2008.8, 20(16): 4408-4411.