

doi: 10.7690/bgzd.2013.07.019

海军合成编队反舰体系作战能力涌现性分析

曹鹏^{1,2}, 侯博³, 谭健²

(1. 汽车士官学校司训勤务系, 安徽 蚌埠 233011; 2. 海军指挥学院研究生管理大队, 南京 210016;
3. 海军士官学校训练模拟中心, 安徽 蚌埠 233011)

摘要: 为了使海军合成编队具有基于体系的编队反舰能力, 对编队反舰体系作战能力涌现性进行定量分析。分析了海军合成编队反舰作战流程, 构建了基于 Perron-Frobenius 特征值的编队反舰体系网络模型; 结合实例, 对平台中心反舰、改进型平台中心反舰、网络中心反舰 3 种类型的作战体系网络效应系数进行了研究, 并以网络效应系数为依据对体系作战能力涌现性进行了分析。分析结果表明: 该方法思路简单, 能够有效分析不同类型反舰力量的网络效应, 准确度量基于体系的编队反舰作战能力涌现性。其中, 网络中心反舰由于各作战节点间的信息共享程度高, 其整体作战能力得到大幅度跃升, 较改进型平台中心反舰模式提高 112.81%。

关键词: 海军合成编队; 反舰体系; 网络效应; 涌现性; Perron-Frobenius 特征值

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Analysis of Naval Combined Formation Anti-Ship System Operational Ability Avalanche

Cao Peng^{1,2}, Hou Bo³, Tan Jian²

(1. Department of Training Service, Bengbu Automobile Petty Officer School, Bengbu 233011, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Command Academy, Nanjing 210016, China;
3. Training & Simulation Center, Naval Petty Officer School, Bengbu 233011, China)

Abstract: In order to endow naval combined formation with the ability of anti-ship system and achieve the combat ability avalanche' quantitative analysis. Analyze the naval combined formation' anti-ship operational process, establish the network model based on Perron-Frobenius eigenvalue (PFE). Integrating with the example, study the networking effect coefficient of three typical operational systems. Analyze the ability avalanche of naval combined formation anti-ship system with the increment of networking effect coefficient. The analysis results show the way is simple, also it can achieve the accurate measurement of different anti-ship system' networking effect and the ability avalanche of naval combined formation anti-ship system. Because of the high information sharing degree between each combat node, the model of net-center anti-ship system achieve the huge boost in ability, it get the improvement of 112.81% compared with improved platform-center anti-ship model.

Key words: naval combined formation; anti-ship system; networking effect; avalanche; PFE

0 引言

海军合成编队, 亦称海军合同编队, 是指海军 2 个或 2 个以上兵种的兵力遂行共同的海上作战任务或其他任务而组成的编队。反舰是海军合成编队的重要作战样式。信息化条件下, 海军合成编队作战能力生成模式必须由传统的依托平台能力转变为依托信息系统, 即形成基于体系的编队反舰能力。

体系是由 2 个或 2 个以上已存在的有关系统组成或集成的具有整体功能的系统集合。根据结构决定功能原理, 构成作战体系的各系统、要素、单元对体系整体能力的贡献并非其各自能力的线性叠加, 而是具有放大或缩小功能的非线性作用。结构合理的体系, 能够表现出远超各分系统能力之和的

总能力, 并且可能具备各分系统没有的新能力, 这就是体系能力的“涌现性”。由于体系能力与分系统能力间存在复杂的非线性关系, 采用传统方法对体系能力“涌现性”进行描述和度量是比较困难的^[1]。复杂网络理论作为一门新兴的交叉学科, 将复杂性和网络有机结合, 通过物理统计、模拟仿真和动力学演化等途径来挖掘复杂系统的本质特性, 已在诸多领域得到成功应用。笔者从网络角度出发, 建立合成编队反舰体系网络模型, 利用网络效应值变化对反舰体系作战能力“涌现性”进行定量分析。

1 海军合成编队反舰体系作战流程

海军合成编队反舰体系, 是指编队针对特定的作战任务, 将各作战系统、要素、单元按照一定结

收稿日期: 2013-01-09; 修回日期: 2013-02-28

作者简介: 曹鹏(1978—), 男, 安徽人, 博士, 讲师, 从事作战效能分析研究。

构进行组织联合，并按相应机理实施运作的整体反舰作战系统，主要由预警探测系统、指挥控制系统、火力打击系统、信息对抗系统、综合保障系统构成。其基本反舰作战流程是：首先由侦察卫星、远程预警机、超视距雷达和其他远程侦察手段为合成编队测定待打击目标(群)的精确位置和相关运动参数，对获取的信息进一步通过数据融合、威胁判断等程序形成海上目标综合态势；然后，编队指挥机构根据战场综合态势、作战任务需要及战术要求，依托综合电子信息系统，通过下达指令完成兵力优化编组和攻击阵位的合理选择，实现对各参战力量的实时指挥控制；接着，已根据指令做好战斗准备的对海打击平台，先后或同时向目标发起精确打击；最后，由分布海战场的各种传感器收集受打击后目标信息，汇集融合形成目标毁伤评估信息，融入战场综合态势，为是否实施下一轮次打击提供依据^[2-5]。海军合成编队反舰体系基本作战流程如图 1。

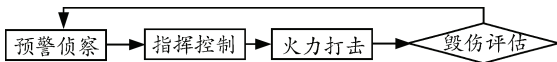


图 1 海军合成编队反舰体系作战流程图

2 海军合成编队反舰体系网络建模

2.1 反舰体系的网络模型^[6-7]

海军合成编队反舰体系网络结构是一个由链路连接的节点集合，节点是作战过程的基本元素，分为传感器节点(S)、指挥控制节点(D)、火力节点(I)、目标节点(T)4类。编队反舰体系的网络效应主要依赖于节点之间通过链路的动态交互来实现，这种节点间动态交互的活跃性和可靠性决定了网络效应的高低，这也正是体系作战能力涌现的主要来源。经过抽象简化，海军合成编队反舰体系网络模型如图 2 所示。

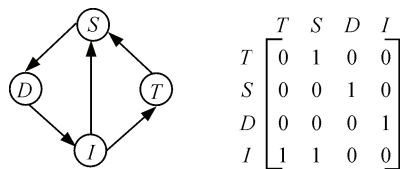


图 2 反舰体系网络模型及其邻接矩阵

合成编队反舰体系网络模型具有明确的数学特性，可用“邻接矩阵”进行描述，为量化研究提供了便利条件。图 2 左边所示的网络模型可等同于其右的邻接矩阵^[8]。构造方法：矩阵的每行每列分别代表一个网络节点，交点处的取值决定于该行节点是否有指向该列节点的连接，有取 1，没有取 0。

2.2 反舰体系网络效应的度量

矩阵特征值在数学上有明确的意义，反映着矩阵构成的性质。对海军合成编队反舰体系网络而言，邻接矩阵可以用于计算该网络的各种参数和性能，特征值是其中最重要的参数，能够同时反映网络连接的静态与动态特性。由 Perron-Frobenius 定理可知：矩阵至少存在一个大于其他所有特征值的实数、非负特征值 λ_{PFE} ，叫做最大特征值，能够表征网络最大伸缩性，即网络的动态适应性。 λ_{PFE} 越大，网络动态适应性越强，体系作战能力表现越明显；因此，采用邻接矩阵 λ_{PFE} 值来度量合成编队体系反舰网络效应是适当的^[9-10]。

$N \times N$ 邻接矩阵的 λ 最大值为 N ，定义网络效应系数(CNE)来度量不同网络的网络效应，计算公式为

$$CNE = \frac{\lambda_{PFE}}{N} \tag{1}$$

3 实例研究

研究思路：设想 3 种情况——平台中心反舰、改进型平台中心反舰、网络中心反舰，分别建立其作战网络拓扑结构图，计算网络效应系数，利用网络效应系数的变化分析反舰体系能力的涌现性。为凸显网络效应在体系能力涌现中的主体地位，笔者不考虑平台性能提升给体系能力带来的提高，即假设 3 种反舰作战中编队具有相同的兵力构成，不同的只是信息系统性能差异带来的网络结构变化。

海军合成编队编成：1 艘大型驱逐舰(D)作为编队指挥控制中心，承担整个编队的指挥控制任务；1 架预警机(S_1)、2 架预警直升机(S_2, S_3)组成预警侦察群，获取目标信息；2 架歼击轰炸机(I_1, I_2)组成航空兵突击群；4 艘驱护舰(I_3, I_4, I_5, I_6)组成水面舰艇突击群；1 艘潜艇(I_7)组成潜艇突击群。各作战群在编队指控中心统一协调指挥下，对敌舰(T)发起合同突击。

3.1 平台中心反舰

平台中心反舰是平台中心战思想在反舰作战领域的集中体现，是机械化条件下反舰作战的主要模式。海军合成编队平台中心反舰作战，采用传统的树状指挥控制结构。作战力量间协同困难，各作战单元基本无法做到信息共享，各要素节点间连接数量少，网络鲁棒性、抗毁性差。经过抽象，平台中心反舰体系网络拓扑结构如图 3。通过计算，得到其邻接矩阵最大特征值 $\lambda_{PFE}=2.5143$ ，网络效应系数 $CNE=0.2095$ 。

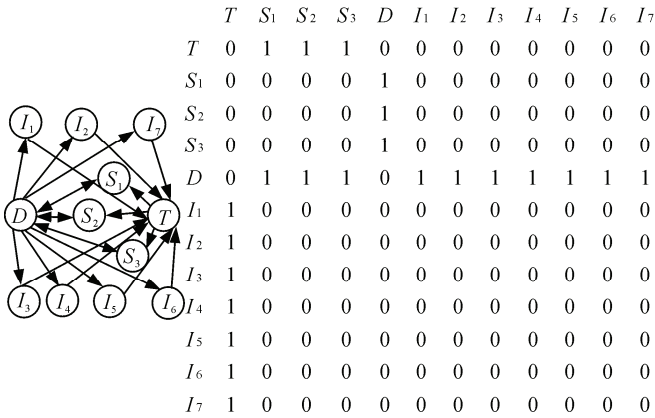


图 3 平台中心反舰体系网络拓扑结构及邻接矩阵

3.2 改进型平台中心反舰

改进型平台中心反舰是编队信息能力达到一定程度时,对平台中心反舰模式进行局部优化的产物。相对于平台中心反舰,改进型平台中心反舰的进步主要体现在 2 个方面: 1) 预警侦察节点(S₁,S₂,S₃)除执行预警侦察任务外,还承担了对部分火力节点的指挥控制任务。指控关系为 S₁对 I₁、I₂、I₇, S₂对 I₃、I₄, S₃对 I₅、I₆, 节点 D、S₁、S₂、S₃构成编队指挥控制网; 2) 指挥控制网内节点间双向联通,信息共享。个别节点重要性大大降低,网络鲁棒性、抗毁性增强,指挥控制可靠性明显提高。改进型平台中心反舰体系网络拓扑结构如图 4。通过计算,得到其邻接矩阵最大特征值 λ_{PFE}=3.720 1,网络效应

系数 CNE=0.31。

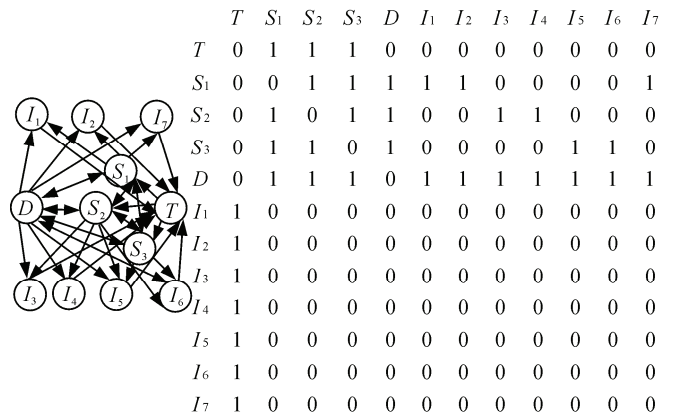
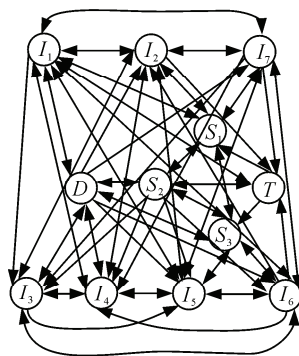


图 4 改进型平台中心反舰体系网络拓扑结构及邻接矩阵

3.3 网络中心反舰

网络中心反舰是网络中心战思想在反舰作战领域的具体运用,是未来信息化条件下反舰作战的主要模式。相对于改进型平台中心反舰模式,网络中心反舰的进步主要体现在 2 个方面: 1) 指控节点与其指控的火力节点间信息双向联通,指控节点能够及时得到来自火力节点的反馈信息,及时调整指令,指控效果提高; 2) 各火力打击节点间达成了双向联通、信息共享,节点间协同作战能力大大提高。网络中心反舰体系网络拓扑结构如图 5。通过计算,得到其邻接矩阵最大特征值 λ_{PFE}=7.916 6,网络效应系数 CNE=0.659 7。



	T	S ₁	S ₂	S ₃	D	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇
T	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S ₁	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
S ₂	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
S ₃	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
D	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
I ₁	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
I ₂	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1
I ₃	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
I ₄	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
I ₅	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
I ₆	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
I ₇	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0

图 5 网络中心反舰体系网络拓扑结构及邻接矩阵

从网络效应系数 CNE 计算结果看,随着反舰体系节点间连接数量的增加,作为体系作战能力主要表征的网络效应系数显著提高。也就是说,在作战平台能力不变的前提下,依靠作战体系网络结构的优化,反舰体系作战能力出现了明显的涌现效应。其中,改进型平台中心反舰模式较平台中心反舰模式提高了 47.96%,网络中心反舰模式较改进型平台中心反舰模式提高 112.81%,后者的提高幅度明显

大于前者。这是因为,虽然改进型平台中心反舰网络化程度有所提高,但只是对平台中心反舰的局部优化,多数作战平台间尚无法达成信息共享,整体作战能力提高有限。而网络中心反舰已基本达成各作战节点间的信息共享,各作战力量、作战单元间的整体联动、自主协同程度大大增强,信息网络能力的提升成为整体作战能力提升的主要增长点,编队整体反舰作战能力显著提高。

4 结束语

信息化条件下的反舰作战，必须全面贯彻体系作战思想，充分发挥信息系统在作战中的核心作用，强调以体系的力量克敌制胜，实现各种作战平台和要素的代偿、互补和增效，最大限度地提高整体作战能力。基于 Perron-Frobenius 特征值的合成编队反舰体系网络模型，能够有效度量不同类型反舰体系的网络效应，并通过网络效应系数的对比，得到合成编队反舰体系作战能力涌现性的量化结论。该方法思路简单，对定量分析体系作战能力的生成及涌现性是有效的。

参考文献：

[1] 陈雷, 罗好. 海上联合机动编队作战复杂性探析[J]. 海军兵种学术, 2010(4): 7-8.
 [2] 张涛, 周奎. 浅析海军合成编队对海远程精确打击战术

思想及要求[J]. 海军学术研究, 2011(7): 52-54.
 [3] 周奎, 等. 对诸兵种合同对海远程精确打击的几点认识[J]. 海军学术研究, 2011(4): 26-28.
 [4] 杨祖快. 信息化条件下对海火力打击问题探讨[J]. 海军军事学术, 2010(2): 25-27.
 [5] 尹高扬, 等. 舰艇对来袭反舰导弹威胁评估算法[J]. 兵工自动化, 2011(12): 1-2.
 [6] 陈国生, 等. 舰机协同防空体系网络化效应分析[J]. 指挥控制与仿真, 2011(5): 16-17.
 [7] 邱原, 邢焕革. 基于复杂理论的作战网络关键边评估方法[J]. 兵工自动化, 2011(8): 22-24.
 [8] 于全. 分布式网络化作战——网络中心战的基础[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2008: 156-158.
 [9] Sean Della. Applying the Information Age Combat Model: Quantitative Analysis of Network Centric Operations[J]. The international C2 journal, 2009.
 [10] 杨耀华, 等. 面向作战网络的层次化涌现建模方法[J]. 系统仿真学报, 2011(12): 2778-2779.

(上接第 66 页)

4 卫星编队构形重构方案设计

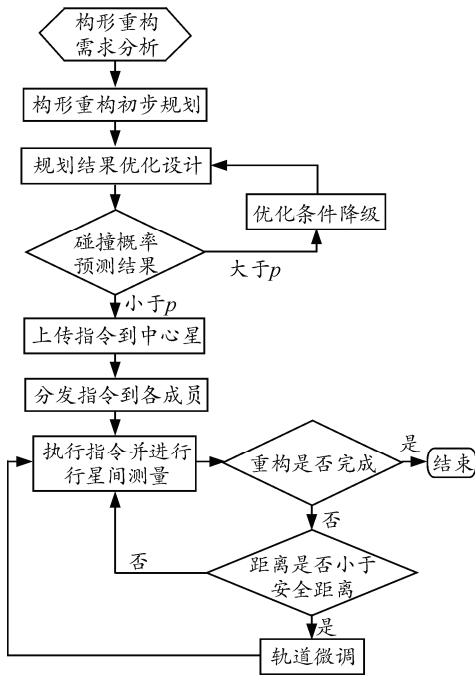


图 1 卫星编队构形重构方案流程

在进行卫星编队构形重构之前，首先要根据任务的要求，设计出重构的目标构形，然后根据任务特点和编队卫星自身状态，确定整个重构规划的约束条件^[6]，最后由地面指控中心或卫星编队中的参考星按如下步骤进行操作(如图 6)：

- 1) 根据目标构形和约束条件，进行重构轨迹的初步规划和优化设计。
- 2) 对规划结果进行初步的碰撞概率检测。如果检测结果大于可接受概率 p ，则对优化条件降级，

求出次优方案，如此迭代循环，直至设计结果的碰撞概率小于 p 。

3) 指控中心将经过碰撞概率检测的规划指令上传到编队中的中心星，并由中心星分发到各颗成员卫星。

4) 各颗成员卫星在执行规划指令的过程中，同时利用自身测量设备进行星间距离的测量，当测量结果显示某两颗星之间距离小于安全距离，则 2 颗星进行协商，由其中一颗星进行轨道微调以避免碰撞，完成实时碰撞避免。

5) 若满足实时碰撞避免条件，则继续执行重构指令，当所有测量结果显示已到达目标位置，且已达到编队成员间的相对位置要求，则构形重构完成。

5 结束语

笔者汇总了现有卫星编队构形重构各项相关技术，制定了卫星编队构形重构技术的总体方案，对空间任务中重构技术的具体应用具有参考价值。

参考文献：

[1] 朱毅麟. 新概念航天器——模块化分离式卫星[J]. 中国航天, 2008 (8): 37-38.
 [2] 张健. 分布式卫星自主构形重构技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2006.
 [3] 王兆魁, 张育林. 一种分布式卫星构形变换路径规划方法[J]. 航天控制, 2006, 24(1): 4-8.
 [4] 杨雪榕, 陈忠贵, 赵健康, 等. 编队卫星碰撞因素分析[J]. 国防科技大学学报, 2009, 31(5): 120-124.
 [5] 张育林, 曾国强, 王兆魁, 等. 分布式卫星系统理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 109-110.
 [6] 周辉峰, 万思刚, 曾国强. 卫星内编队重力场测量关键技术[J]. 四川兵工学报, 2101, 31(12): 136.