

doi: 10.7690/bgzd.2019.09.016

岸舰导弹作战体系网络结构优化研究

邵云龙, 孙学锋, 隋江波, 孙厚飞

(海军航空大学岸防兵学院, 山东 烟台 264001)

摘要: 为提高岸舰导弹作战体系的反应速度, 分析岸舰导弹作战体系的结构组成和主要功能, 基于复杂网络理论建立平台中心战模式下的某岸舰导弹作战体系网络结构。利用复杂网络性能指标构建网络效能评估指标体系, 给出效能评估方法。通过火力打击层、指挥控制层和预警探测层分层网络协同, 对作战体系的网络结构进行优化。结果表明, 优化后的作战体系网络效能有明显提升。

关键词: 岸舰导弹; 网络结构; 效能评估; 优化

中图分类号: TJ760.3 **文献标志码:** A

Research on Network Optimization of Shore-to-ship Missile Combat System

Shao Yunlong, Sun Xuefeng, Sui Jiangbo, Sun Houfei

(College of Coast Guard, Navy Aviation University, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to improve the response speed of the shore-to-ship missile combat system, the structure composition and main functions of the shore-to-ship missile combat system are analyzed, and the network structure of the shore-to-ship missile combat system under the platform central warfare mode is established based on the complex network theory. The efficiency evaluation index system was constructed by using the performance index of complex network and the efficiency evaluation method was given. The network structure of the combat system was optimized through the network coordination of firepower layer, command layer, and pre-alarming detection layer. The results indicate that the network efficiency of the optimized combat system had been improved obviously.

Keywords: shore-to-ship missile; network structure; efficiency evaluation; optimization

0 引言

科学技术的飞速发展加速了武器装备体系作战能力的提升。在网络技术推动下, 军队作战模式由以往的“平台中心战”演化为由网络技术主导的“网络中心战”^[1]。“网络中心战”的本质是通过有效连接武器系统各节点实体, 将信息优势转为战斗力。

岸舰导弹作为海军现役主战反舰导弹之一, 是打击敌大中型水面舰艇的主要岸防武器。随着信息技术的不断发展, 信息化、智能化和协同作战, 已逐步成为未来高技术战场环境下岸舰导弹武器系统的主要发展方向^[2]。目前, 岸舰导弹作战体系主要由通信网连接的预警探测单元、指挥控制单元和火力打击单元组成^[3], 意味着如何通过网络将分布配置的作战节点连接起来, 实时共享战场环境变化、指控命令和目标指示信息等资源, 夺取信息优势, 是提高作战体系的反应速度, 发挥信息“倍增器”作用的关键; 因此, 笔者对岸舰导弹作战体系网络结构进行优化研究。

1 岸舰导弹作战体系分析

预警探测节点, 主要由空间侦察卫星、预警机、远程侦察机、超视距雷达、作战舰艇和舰载直升机等构成, 用于提供战场态势, 对目标进行识别跟踪和打击效果评估, 并将目标数据向指控中心(作战平台)传输。指挥控制节点, 对海突击指挥所主要依托岸基指控中心或预警机开设, 次级指挥控制节点为导弹指控车, 用于接收远程预警探测兵力提供的战场信息, 进行数据处理和数据融合, 提供统一的战场感知, 进行作战指挥决策, 向火力平台分发目标指示数据和进行火力分配等。岸舰导弹火力单元主要由岸舰导弹发射车组成, 用于完成导弹装载和机动接收指控中心与探测平台提供的目标指示, 求解火控数据, 并实施导弹发射任务。笔者基于复杂网络构建岸舰导弹作战体系, 用复杂网络中的节点表示体系中的作战实体, 边表示作战实体间的信息交互。假设平台中心战模式下某岸舰导弹作战体系网络结构如图 1 所示。

收稿日期: 2019-05-26; 修回日期: 2019-06-14

作者简介: 邵云龙(1987—), 男, 山东人, 硕士, 从事海军航空、导弹装备管理研究。E-mail: 355821387@qq.com。

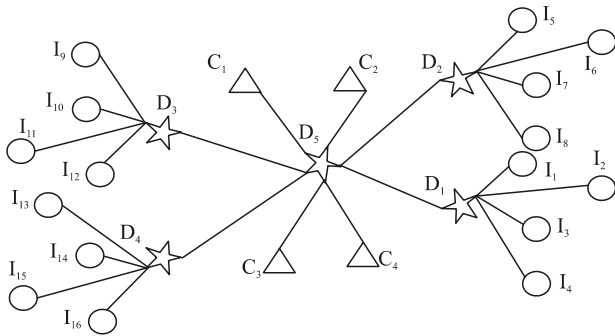


图 1 平台中心战模式下岸舰导弹作战体系结构

其中预警探测节点 4 个 (C₁-C₄)、对海突击指挥所节点 1 个 (D₅)、指控车节点 4 个 (D₁-D₄)、发射车节点 16 个 (I₁-I₁₆)。笔者在图 1 的基础上对岸舰导弹作战体系进行网络效能评估和网络协同结构优化。

2 体系网络效能评估模型

为了对优化效果进行合理评价，笔者首先建立作战体系网络效能评估模型。

2.1 指标因素分析

结合岸舰导弹作战体系结构和作战实际，确定时效性、连通性、鲁棒性、抗毁性和紧密性。

1) 时效性^[4]。

时效性指作战体系中各作战实体间信息共享时间的效率，取 2 个节点间距离的倒数来表征系统的时效性，定义岸舰导弹作战体系的时效性指标：

$$T = \frac{\sum_{i \leq j \in N} \frac{1}{d_{ij}}}{N(N-1)/2} \quad (1)$$

其中：N 为网络结构节点数；d_{ij} 为节点 i 到节点 j 经历的最小边数。

2) 连通性。

复杂网络理论中，使用网络密度来衡量网络的连接程度；但是，网络密度考虑的只是节点之间的连通性，没有考虑节点之间的连通距离。定义网络密度和平均路径长度的比值为网络连通性指标：

$$C = \frac{m}{APL} = \frac{2M}{N(N-1)} \cdot \frac{N(N-1)}{\sum_{i \neq j} d_{ij}} = \frac{2M}{\sum_{i \neq j} d_{ij}} \quad (2)$$

其中：M 为网络结构的边数；d_{ij} 为节点 i 到节点 j 经历的最小边数。

3) 鲁棒性^[5]。

鲁棒性是指网络中的节点在失效或者降效的情况下，仍然保持原有效能的能力。节点连接度在一

定程度上反映了其在网络中的重要性。定义网络中节点的重要度：

$$I_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^N k_i} \quad (3)$$

通过定义网络的结构熵来度量系统鲁棒性：

$$R = -\sum_{i=1}^N I_i \ln I_i \quad (4)$$

其中 k_i 为节点 i 的连接度。

4) 抗毁性。

系统的抗毁性是指网络结构中的关键节点(节点介数大)失效后，其他节点保持连通的能力。定义系统抗毁性：

$$S = \frac{C'}{C} \quad (5)$$

其中：C' 为关键节点失效后的体系连通性；C 为关键节点失效前的体系连通性。

5) 紧密性。

紧密性实际是作战体系网络结构的紧密程度，是对网络结构中节点间信息共享效率的度量。定义系统紧密性为系统结构中任意一个节点与其他节点之间最短距离之和的均值：

$$Cl = \frac{1}{n} \sum D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n d_{ij} \right)^{-1} \quad (6)$$

2.2 确定指标因素权重

笔者使用层次分析法确定指标因素的权重。该方法的优点是通过对层次分解的方法把定性指标转化为定量指标进行计算，具有清晰的逻辑性和很好的参考价值。

1) 构建判断矩阵。

构建网络效能指标因素评价矩阵如表 1 所示。

表 1 岸舰导弹网络效能指标判断矩阵

指标	时效性	连通性	鲁棒性	抗毁性	紧密性
时效性	1	1/2	1/5	1/4	1
连通性	2	1	1/3	1/2	2
鲁棒性	5	3	1	1	5
抗毁性	4	2	1	1	4
紧密性	1	1/2	1/5	1/4	1

求解构建的判断矩阵，求得该判断矩阵的最大特征值 λ_{max}=5.013 2，其对应的特征向量为 v=(0.144 0, 0.278 5, 0.717 8, 0.604 8, 0.144 0)。

2) 一致性检验。

引入判断矩阵最大特征根以外的其余特征根的负平均值，用来检查决策者判断思维的一致性。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.0132 - 5}{4} = 0.0033。 \quad (7)$$

对于阶数不同的判断矩阵来说，一致性指标值 CI 的要求也不同，因此，引入平均随机一致性指标 RI [6]。

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0033}{1.12} = 0.0029 < 0.1。 \quad (8)$$

可见，构建的判断矩阵达到满意的一致性，可以进行后续评估。将特征向量归一化后得到 5 个因素的权重向量为：

$$\omega = (0.0762, 0.1474, 0.3800, 0.3202, 0.0762)。 \quad (9)$$

3 作战体系网络协同分析

按照 3 类作战单元的功能类别，将作战实体划分为预警探测层、指挥控制层和火力打击层 3 个层面，从火力打击层网络协同开始，自底向上对指挥控制层和预警探测层进行网络协同 [7]。使用 Ucinet 软件仿真图 1 所示的作战体系如图 2 所示。

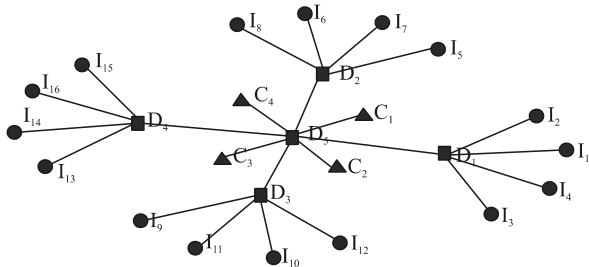


图 2 平台中心战模式下岸舰导弹作战体系结构仿真

3.1 火力打击层网络协同

火力打击层的网络协同主要是实现火力打击节点间的信息交互，减少信息延迟，提高打击的精确性和时效性。

考虑到岸舰导弹作战体系的指挥关系和地域限制，使所建模型更加贴近实际体系，构建火力打击层复杂层次网络模型：同一指挥车建制内的 4 辆发射车网络协同更加紧密，跨指挥车建制的发射车之间网络协同相对较少，由此构成的作战体系仿真结构模型分别如图 3 所示。

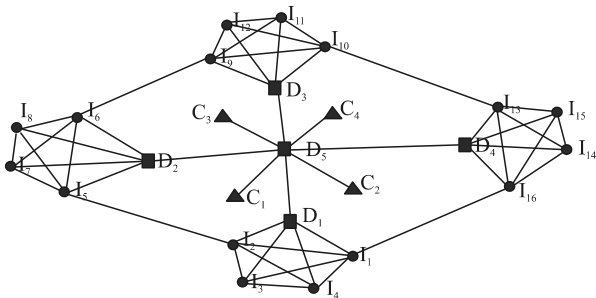


图 3 火力打击层协同后岸舰导弹作战体系结构仿真

作战体系的单项和整体效能如表 2 所示，表中数据为归一化后的效能值，无量纲。

表 2 火力打击层协同后作战体系效能变化

类别指标	原结构	火力打击层协同
时效性	0.635 5	0.772 0
连通性	0.365 5	0.930 4
鲁棒性	0.673 9	0.738 9
抗毁性	0.617 7	0.786 4
紧密性	0.656 3	0.754 5

3.2 指挥控制层网络协同

指挥控制层的网络协同主要是对各级指挥机构进行互联，在平台中心战中树状指挥网络的基础上，增加同级指挥节点和越级指挥节点之间的连接，实现指挥信息流的快速传递。对指挥控制层进行网络化协同的研究主要有 2 种情况：1) 同层级指挥控制节点网络协同；2) 越级指挥控制节点网络协同。

同层指挥控制节点网络协同是指控车节点之间的网络协同，将作战体系的单项和整体效能随指挥车网络协同程度的变化绘制成图表，如图 4 所示。

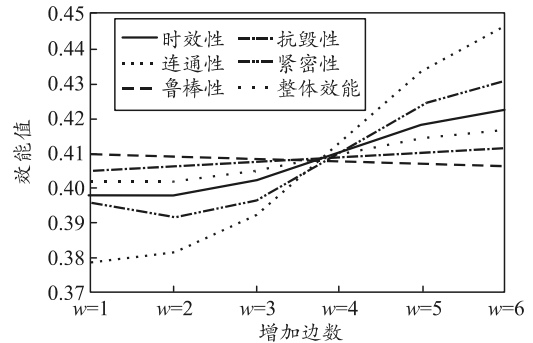


图 4 效能随指挥车网络协同变化情况

从图可看出：作战体系的整体网络效能随着指挥车节点网络协同程度的加深而增大，由于指挥车节点只有 4 个，可以实现局部全局耦合网络。

越级指挥控制节点网络协同是指对海突击指挥所越级指挥发射车。对海突击指挥所节点 1 个，发射车节点 16 个，共产生 16 条连边。作战体系效能随网络协同的变化情况如图 5 所示。

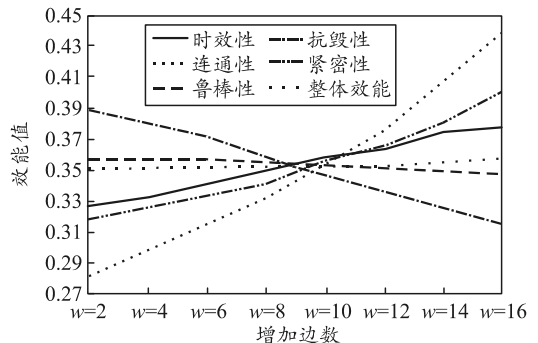


图 5 效能随指挥所越级网络协同变化情况

从图可以看出：作战体系的整体网络效能出现先增加后平稳再增加的变化趋势，整体变化不大。考虑到网络建设成本和作战体系抗毁性等因素，选择 $w=6$ ，即越级产生 6 条连边时的结果为指挥控制层网络协同优化结构。

3.3 预警探测层网络协同

预警探测层的网络协同主要是预警探测节点之间的互连，实现预警探测信息的共享。不同的预警探测节点对同一个目标舰艇，获取的目标情报信息会有差异。预警探测节点之间实现信息共享后，能够极大地提高获取目标信息的时效性和准确性。对预警探测层进行网络化协同的研究主要有 2 种情况：1) 预警探测节点间的网络协同；2) 预警探测节点越级与指控车节点的网络协同。

首先对预警探测节点进行网络协同，作战体系效能随网络协同的变化情况如图 6 所示。

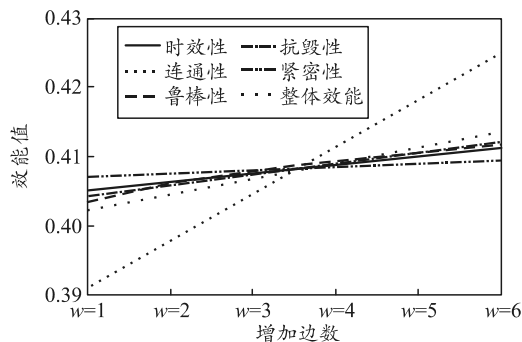


图 6 效能随预警探测节点网络协同变化情况

从图可见：作战体系的整体网络效能随着预警探测节点网络协同程度的加深而增大。由于预警探测节点只有 4 个，可以实现局部全局耦合网络。

对预警探测节点越级与指控车节点网络协同情况进行分析。预警探测节点 4 个，指控车节点 4 个，共产生 16 条连边。作战体系效能随网络协同的变化情况如图 7 所示。

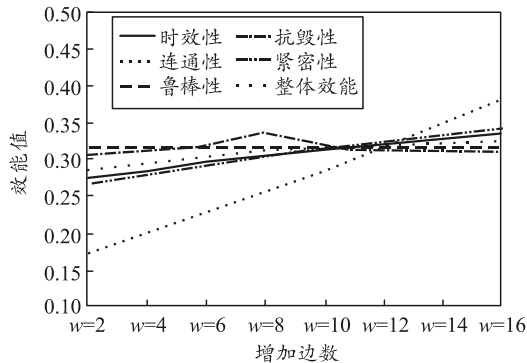


图 7 效能随预警探测节点越级网络协同变化情况

从图 7 可以看出：作战体系的整体网络效能出

现先增加后平稳再增加的变化趋势。考虑到网络建设成本和作战体系抗毁性等因素，选择越级增加 8 条连边时的结果为预警探测层网络协同优化结构。优化后的网络结构如图 8 所示。

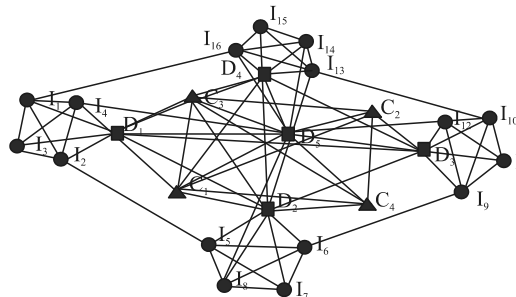


图 8 岸舰导弹作战体系网络协同优化结构仿真

3.4 网络协同优化过程分析

在图 2 的基础上，通过火力打击层、指挥控制层和预警探测层的网络协同，岸舰导弹作战体系的网络结构不断优化，最终的优化网络结构如图 8 所示。为了更好地体现效能的变化过程，将网络结构分层优化的数据汇总如图 9。

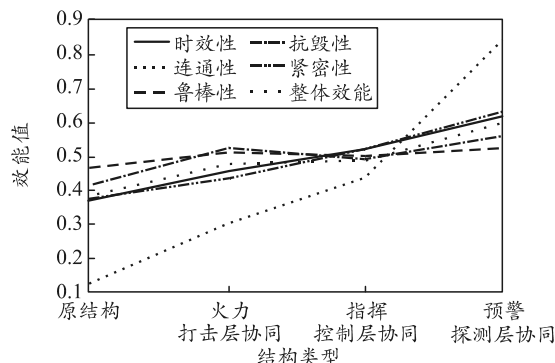


图 9 效能随网络协同变化情况

从图可以看出：随着火力打击层、指挥控制层和预警探测层网络协同的深入，岸舰导弹作战体系的网络效能不断提升，表明文中的优化方法可以有效提升岸舰导弹的网络效能。

4 结束语

笔者在分析岸舰导弹作战体系组成及功能的基础上，构建了网络效能评估体系，通过分层网络协同对作战体系网络结构进行了优化。网络协同优化过程为提升岸舰导弹部队信息化作战条件下的快速反应能力和作战效能，提供了理论依据。

参考文献：

[1] 梁炎. 网络中心战的实施与应用分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 1-2.

素材库，实现“模型参数的动态化、设备运行动态及健康数据的远程监控、虚拟车间可视化”，是融合 MR 技术企业数字化的转型目标，可为全面实现智能化工厂做准备^[15]。

参考文献：

- [1] 汤轶, 肖高明, 陈跃军. 虚拟现实、增强现实和混合现实技术在胸壁肿瘤切除及重建手术治疗中的应用[J]. 中华胸部外科电子杂志, 2018(2): 129-133.
- [2] 彭斐. 汽车零部件: 黑科技入侵改变汽车未来生活[J]. 汽车与配件, 2017(5): 38-40.
- [3] 金玺曾. Unity 3D 手机游戏开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 25-33.
- [4] 际向东, 张茜. 基于增强现实的教学演示[J]. 中国电化教育, 2012(9): 102-105.
- [5] 唐小成, 康波. 基于 AR 的设备维护系统的交互设计与实现[J]. 微计算机信息, 2008(27): 224-225.
- [6] 李娣, 王玉, 刘双健. HoloLens 教育应用述评[J]. 新课程研究(中旬刊), 2018(5): 30-31.
- [7] 金荣深. 基于 HoLoLens 的飞行仿真辅助视景系统设计
- *****
- (上接第 71 页)
- [2] 刘家祺, 谢晓方, 王诚成, 等. 国外反舰导弹网络作战发展历程和方向[J]. 飞航导弹, 2017, 46(9): 9-12.
- [3] 孙学锋, 严建钢. 分布式岸导杀伤链系统作战特点研究[J]. 海军学术研究, 2012, 27(4): 52-53.
- [4] 刘成刚, 王永刚, 刚建勋, 等. 联合作战指挥控制体系网络建模与分析[J]. 指挥控制与仿真, 2018, 40(2):
- [J]. 工业设计, 2018(6): 138-139.
- [8] Vanessa Ho. 微软 HoloLens 和混合现实正在改变建筑师看待世界的方式[J]. 建筑技艺, 2017(9): 70-71.
- [9] 李林瞳, 王有春, 谢晔. 适用宇航智能交互场景的混合现实技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2017(12): 255-258.
- [10] 张伟, 赵新灿, 徐兴民. 增强现实技术及其在航空发动机维修中的应用[J]. 江苏航空, 2006(1): 21-23.
- [11] 窦岩. HoloLens 技术在电梯维修维护中应用展望[J]. 科技展望, 2017(8): 203-205.
- [12] 石磊, 罗涛, 张理. HoloLens 眼镜在肝癌切除手术中的初步应用[J]. 中南大学学报(医学版), 2018(5): 500-504.
- [13] 苏萍, 张长杰, 程雪岷. 基于 LabVIEW 机器视觉的全息透镜板自动拼接系统[J]. 传感器与微系统, 2016(1): 110-113.
- [14] 盛兆玄, 孙新利. 计算全息技术在光学相关识别中的应用[J]. 激光技术, 2008(1): 61-63.
- [15] PTC 与微软 HoloLens 合作, 加速企业混合现实技术的开发[J]. 智能制造, 2017(11): 7.
- *****
- 9-12.
- [5] 谭跃进, 吴俊, 邓宏钟, 等. 复杂网络抗毁性研究综述[J]. 系统工程, 2006, 24(10): 1-5.
- [6] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015: 20-21.
- [7] 马良, 王书齐. 舰空导弹网络化协同反导作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 28-30.