

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.001

基于协同决策理论的防空火力分配模式探析

张海峰¹, 郑宝华², 陈邓安¹

(1. 海军航空工程学院指挥系, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 92232 部队, 北京 100161)

摘要: 针对协同决策理论现状与军事指控系统的发展需求矛盾突出的问题, 分析了国外 C2 协同决策理论和舰艇编队协同防空的研究现状, 对比研究了舰艇编队协同结构对协同防空作战效果的影响, 在此基础上提出了舰艇编队分布式协同结构下的防空火力目标分配协同决策模式。仿真结果表明, 舰艇编队协同结构的选择应充分考虑空袭目标数量、通信量等因素。

关键词: 协同决策; 防空; 协同结构

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Analysis of Weapon-target Assignment Pattern in Naval Warship Formation's Air Defense Based on Collaborative Decision-making Theory

Zhang Haifeng¹, Zheng Baohua², Chen Deng'an¹

(1. Department of Command, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China;
2. No. 92232 Unit of PLA, Beijing 100161, China)

Abstract: Aiming at the antinomy between collaborative decision-making theory and the need of the military accuses system, studies the research situation of foreign C2 collaborative decision-making theory and naval warship formation's air defense. It also makes a comparative research on the effect of collaborative air defense caused by warship formation collaborative structure. On the basis of the research, a weapon-target assignment collaborative decision-making pattern under warship formation distributed collaborative structure is put forward. The simulation results show that, it is important to considering the quantity of air attack target and communication quantity before selecting warship formation structure.

Keywords: collaborative decision-making; air defense; collaborative structure

0 引言

随着信息技术发展和军事思想变革, 21 世纪现代局部战争将从平台中心战转移到网络中心战^[1]。中心战概念最早由美国海军提出, 后被美国国防部接受, 成为指导全美军信息化建设的理论。武器装备的网络化作战是在武器由机械化向信息化发展的背景下产生的, 与之相对应的是平台中心战。网络化作战是以网络为中心的作战方式, 通过将战场各作战单元连入网络来实施各种军事作战行动。

信息技术在海军作战系统中的运用, 牵引了指挥控制的新概念、方法和技术的研发。这些研究的起点是强调在网络中心战条件下 C2(command and control)组织的协同和信息优势如何转化成决策优势。同时, 作战组织的决策主体是人(Decision-maker), 有人参与的决策使得 C2 组织成为一个复杂系统。决策主体的反应时间、认知水平等属性不同, 将导致在协同决策设计中, 制定协同决策规则的难度增加, 协同规则如何与决策主体的执行能力相匹配, 也缺乏有效的支撑理论和方法。

计算机和信息技术的进步推动了协同决策设计理论与技术的发展, 也导致了协同决策理论现状与军事指控系统的发展需求矛盾的突出。基于此, 笔者针对协同决策理论的防空火力分配模式进行了探析。

1 协同决策理论国外研究情况及发展趋势

美国海军舰艇编队主要以航母舰队战斗群为主, 队形通常以航母和伴随支援舰为核心, 其他舰艇部署在周围, 通过协同作战系统(CEC)将各舰艇、舰载预警机、空基天基预警系统等联成一体化网络, 最大限度地发挥武器作战能力^[2], 其协同作战概念图如图 1 所示。

美海军在 C³I 系统的基础上, 为加强海上防空作战能力, 专门研制了 CEC 系统, 该系统利用计算机、通信和网络等技术, 把航母战斗群中各舰艇的目标探测系统、指控系统、武器系统和舰载预警机联成网络, 实现作战信息共享, 统一协调战斗行动。每艘舰艇都可以及时掌握战场态势和目标动向, 对来袭的空中目标, 可由处于最佳位置的舰艇发射武器进行拦截, 从而提高整个航母编队的防空能力。

收稿日期: 2015-12-21; 修回日期: 2016-01-26

作者简介: 张海峰(1969—), 男, 河北人, 硕士, 副教授, 从事兵种战术和武器系统作战效能建模仿真研究。

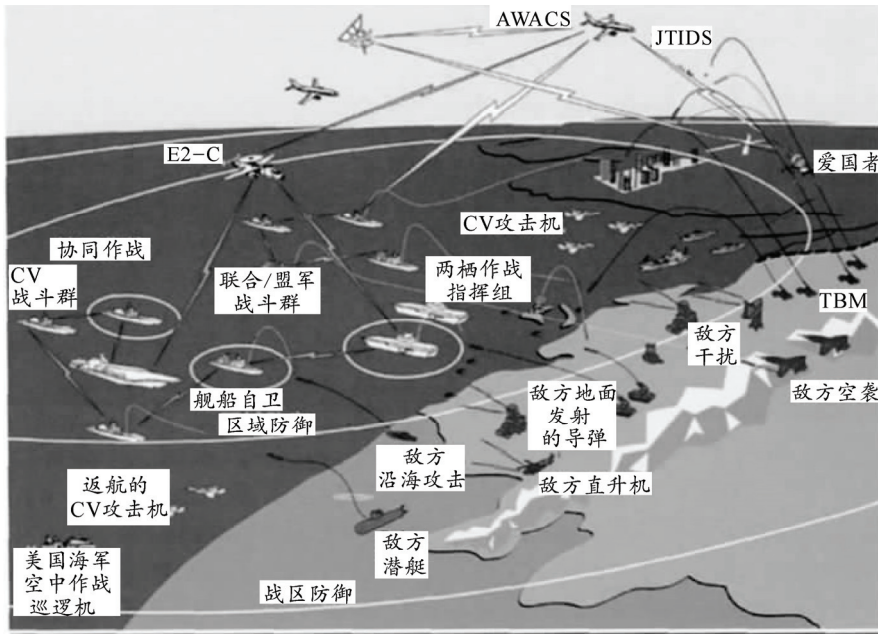


图 1 美海军舰艇协同作战概念图

CEC 可与海军宙斯盾作战系统 (AEGIS)、陆军 THAAD 和 PAC-3 组成的防空反导联合特遣部队 (AMDTF)、联合对地攻击巡航导弹升高探测系统 (JLENS) 等集成, 可完成的主要作战样式包括合成跟踪与识别、精确提示、远距离数据发射、远距离数据交战等。

2 编队协同结构对作战效果的影响

舰艇编队协同结构主要指作战单元的组成和信息流构成情况。多作战单元多个决策节点和作战单元的信息结构影响了决策的质量和决策时间, 进而也影响了协同作战效果。随着信息技术与作战理论的发展, C2 组织将改变传统的信息与决策同样分布的组织结构, 信息时代的战争将把信息流从军事组织的层次结构中剥离出来, 现有的 C⁴ISR 系统之间的烟囱式结构将被网络结构所代替。目前, 国内许多科研院所针对指控系统协同结构的 A2C2 展开了多层次研究。从目前的研究结果看, 各种协同结构均具有一定的优缺点和适应性。面临的情况不同, 每种协同结构对作战效果的影响也不相同^[3]。

2.1 独立式结构

与其他方式相比, 独立式结构缺乏战术协同, 只能各自为战, 存在对目标的重复火力分配或者漏分配的现象, 不能很好地发挥编队的整体作战效能。然而, 独立式结构却具有生存能力强, 不易受干扰和组织简单等优点, 成为舰艇编队协同作战的一种不可或缺的结构。通常情况下, 舰艇编队的防空应以协同作战为主, 当舰艇编队的指挥协调中心遭敌毁环或通信链路受到严重干扰时, 编队中的各艘舰

艇必须进行分散作战, 独立完成作战任务。

2.2 集中式结构

采用集中式结构的协同作战方式时, 编队指挥舰负责对空袭目标进行威胁评估、拦截适宜度计算和火力分配, 编队中的其他舰艇在接收到指挥舰的目标分配命令后再进行拦截。集中式协同方式可以实现作战资源的优化, 但中心指控节点容易遭受打击, 编队整体抗毁能力较差。集中式协同方式的独有特性是: 1) 编队的防空决策和火力分配主要由中心指挥节点来完成; 2) 编队中的其他各舰的决策功能弱化, 只承担单纯的决策执行者的角色; 3) 整个编队的协同防空由指挥舰统一组织实施, 严格控制, 保证各火力单元在统一作战意图下遂行编队协同防空任务。舰艇编队集中式协同示意图如图 2 所示。

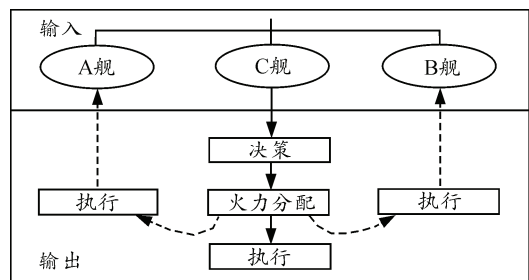


图 2 舰艇编队集中式协同示意图

2.3 分布式结构

采用分布式结构的协同作战方式时, 编队中的各舰艇各自对空袭目标进行威胁评估和排序, 并进行拦截适宜度计算和火力分配, 当出现决策冲突时由指挥舰进行协调。由于各舰艇按照相同的决策准

则进行推理和决策,从而实现了防空作战的自同步,保证了各艘舰艇通过各自的决策来实现整个编队的战术协同。与其他协同结构相比,分布式结构提高了整个编队决策的质量和抗毁能力,同时由于各舰之间通信量的增加,也延长了指挥决策的时间。分布式协同独有特性是:1) 指控协调中心和各舰艇采用相同的决策准则进行决策,它们的任务和功能相同。但某一时刻只能有一个协调者,当此指控中心失效时,立即按照预先指定的接替原则由其他舰艇担任;2) 防空作战的指挥和控制是从整个编队的角度考虑问题,既要发挥整个编队的整体防空效能,又要充分发挥各舰的主观能力性。舰艇编队分布式协同示意图如图 3 所示。

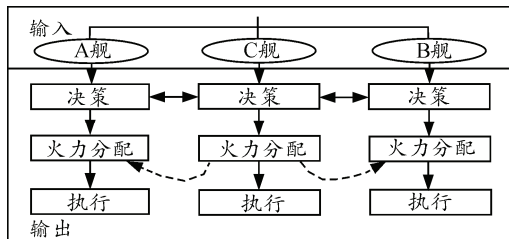


图 3 舰艇编队分布式协同示意图

通过以上分析可知,信息共享条件下的分布式协同结构具有较优的适应性。当作战节奏很慢时,

集中式 C2 组织结构能够全盘考虑整个战场态势,能够更加合理地调配资源,具有最佳的作战效能^[4]。考虑到各结构的特点和抗毁能力,在我舰艇编队协同防空作战时,应尽量采用分布式协同结构。

3 分布式协同结构下的目标决策模式

舰艇编队对空袭目标分配的合理程度将直接关系到整个舰艇编队的整体生存能力。目前数学规划算法和启发式算法在火力分配模型中应用比较广泛,其本质上都是由一个 C2 中心节点对所有目标进行分配的集中式算法,然而以上 2 种火力分配方法没有充分考虑舰艇编队之间指挥通信和兵力协同现状。近年来,随着传感器技术、数据融合技术和宽带无线通信技术的发展,舰艇编队内部成员共享统一的目标态势图像已成为可能,进行分布式目标分配协同决策在理论上也成为现实。2000 年 Brown 首次提出了分布式目标分配算法。Brown 算法^[5]是一种完全的分布式目标分配算法,但该算法在防空作战行动频繁受到干扰时,全局火力分配方案需要频繁重新计算,严重影响防空反导火控系统的稳定性。为克服 Brown 算法的缺陷,笔者将 Brown 算法和合同网协议 CNP 理论相结合,在此基础之上提出一种更为合理的分布式目标分配算法。

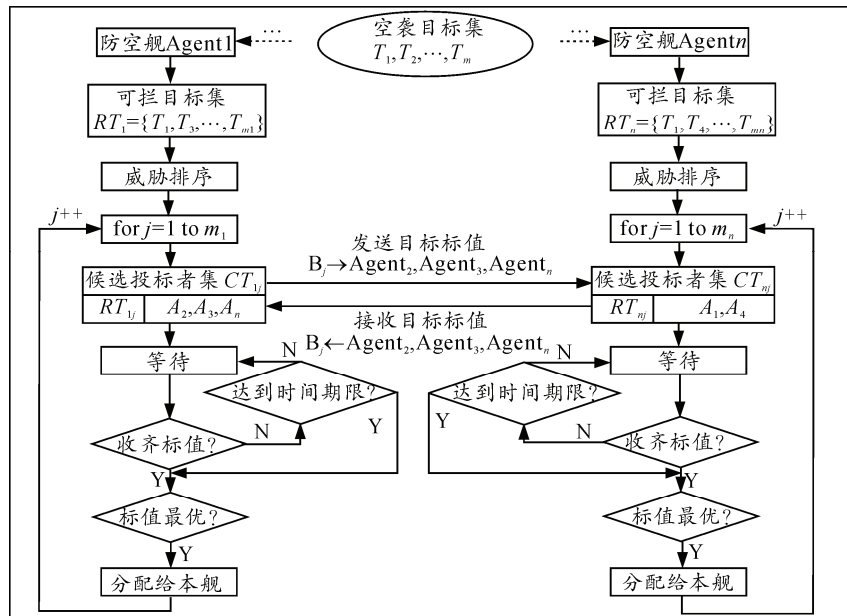


图 4 分布式结构下目标分配算法流程

分布式结构目标分配与集中式结构目标分配的不同在于分布式结构没有中心节点,各 Agent 之间地位完全平等,均扮演投标者的角色。随着舰艇编队防空系统逐步实现网络化和作战节点之间通讯能力的大幅增强,各 Agent 之间不仅可共享目标数据,也完全可能共享有效作战区域、当前载荷等作战参

数。这样,各 Agent 战时可及时了解哪些目标可由本舰拦截,也可以由其他的 Agent 拦截,并主动就这些目标的分配和其他 Agent 协商,实现目标分配的智能化、分布式和异步化,从整个舰艇编队防空系统的角度看,在同一时刻,Agent 之间可能进行多个目标的协商,从而提高目标分配的效率。

在该算法中, 由空袭目标扮演招标者的角色, 各防空舰艇担任投标者, 根据各防空 Agent 对空袭目标的标值来决定由哪艘舰艇对哪个目标进行抗击。与真实招标过程不同的是: 其一, 是否达成招标协议由各防空 Agent (即投标者) 决定, 而不是由招标者决定; 其二, 各防空 Agent 之间可以并且必须共享信息, 该算法实施流程如图 4 所示。

分布式结构下目标分配算法做如下假设:

1) 多主体系统 (MAS) 由一组相对独立的自治主体组成, 编队中每一艘防空舰艇都可以看作是具有自主性、反应性和社会性的 Agent。MAS 中的每个 Agent 都是完全合作的, 各 Agent 之间的防空信息完全共享, 包括有效作战区域和当前载荷等作战参数信息; 2) 每个 Agent 都是同类型的, 并采用完全相同的算法; 3) 所有的 Agent 都确信其他 Agent 都遵守前 2 个假设。

如图 4 所示, 该算法主要有以下几个步骤组成:

1) 各 Agent 在共享态势的基础之上, 确定出各自的可拦截目标集, 即潜在招标项目集 $RT_i (i=1, 2, \dots, n)$, 其中 Agent_{*i*} 对应的第 *j* 个可拦截目标用 $RT_{ij} \{T_j | j=1, 2, \dots, m_i\}$ 表示。

2) 各 Agent 利用共享的其他 Agent 杀伤区域信息, 确定出每个潜在招标项目 RT_{ij} 的候选投标者集合 $CT_{ij} \{A_k | k=1, 2, \dots, c_{ij}\}$, 其中 c_{ij} 为 CT_{ij} 中包含的候选投标者的个数。

3) 对每一个可拦截目标 $T_j (j=1, 2, \dots, m_i)$, 该 Agent 向其他候选投标者 CT_{ij} 发送目标标值信息 B_j 。

4) 各 Agent 在规定的时间内, 对于每一个可拦截目标判断是否已收齐相应的标值信息。并判断自身标值是否为最优, 从而进行相应目标分配。

由以上分析可知, 该分布式结构目标分配模型的关键问题有: 一是目标标值的计算, 二是对每个可拦截目标候选投标者的确定。目标标值的计算可通过集中式结构目标分配模型实现, 这里不再赘述。在防空作战中, 编队内各舰艇对目标的拦截适宜度主要依靠目标相对于本舰的航路捷径来判断, 基于 CPA 的方法能够满足拦截适宜度的建模计算需求。

如图 5 所示, 对于防空舰艇 Agent1 来说, 其潜在招标集 $RT_1 = \{T_1, T_2, T_3\}$ 。对于目标 T_1 , 由于 $R_{21} < \max CPA_2$, 因此 Agent1 的第 1 个可拦截目标 T_1 所对应的候选投标者集合 $CT_{11} = \{A_2\}$ 。同理, 可确定出 Agent1 的第 3 个可拦截目标 T_3 所对应的候选投标者集合 $CT_{13} = \{A_3\}$ 。

由以上分析可知: 采用该算法在对目标 1 进行分配时, Agent1 只需和 Agent2 进行协商; 而对目标 3 分配时, Agent1 只需和 Agent3 进行主动协商。

与 Brown 算法相比, 该算法不必在所有 Agent 之间进行通信, 减少了总的通信量, 增加了协商的针对性和效率。

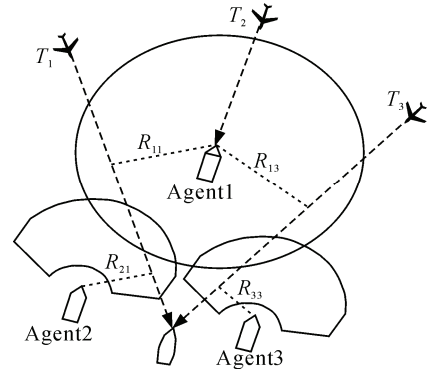


图 5 基于 CPA 的候选投标者确定示意

4 结论

通过舰艇编队协同防空模拟仿真系统进行实验验证, 得出以下 3 个结论: 1) 当空袭目标数量较少时, 集中式 (分布式) 目标分配协同决策与独立式相比, 其效果基本相当, 甚至有时会出现独立式模式下舰艇编队生存率更高的情况。但这并不意味着在空袭目标数量较少时应当采用独立式模式, 其原因在于独立式模式会增加舰空导弹浪费数量, 防空效率偏低; 2) 当空袭目标数量较多时, 集中式模式和分布式模式的效果明显高于独立式, 且其防空效率较高。同时, 从通信量方面考虑, 由于分布式目标分配协同决策的通信次数明显少于集中式模式, 且分布式模式无中心节点, 战时可有效降低敌方电子干扰对我防空作战效果的影响; 因此, 在编队协同防空时应尽量采用分布式目标分配协同决策模式; 3) 当空袭目标数量大于舰艇编队总的防空火力通道数时, 编队防空效率将大幅度降低。

参考文献:

- [1] 冯中国. 美国网络中心战[M]. 北京: 国防大学出版社, 2009: 66-72.
- [2] 陈善松. 海军舰艇编队舰空导弹协同作战技术研究[J]. 现代防御技术, 2013, 41(3): 1-5.
- [3] Levchuk G M, et al. From Hierarchies to Heterarchies: Application of Network Optimization to Design of Organizational Structures[Z]. Proceedings of the 7-th Command & Control Research & Technology Symposium, 2002, Monterey, CA, June 11-14, 2002.
- [4] Chris Brown, Dick Lane. Anti-air warfare co-ordination - an algorithmic approach[Z]. In Command and Control Research and Technology Symposium, Monterey, CA, USA, October 2008.
- [5] Brown C, Lane D. Anti-air warfare co-ordination - an algorithmic approach[Z]. in Command and Control Research and Technology Symposium, Monterey, CA, USA, October 2006.