

基于自协同的分布式编队防空指挥决策模式

(海军大连舰艇学院信息作战系)

摘要: 针对舰艇编队防空作战体系由以平台为中心向以网络为中心的分布式体系发展, 迫切需要对现有编队指挥决策模式进行改进和完善的现实需求, 在对比分析集中式和分布式指挥决策模式优缺点的基础上, 针对编队跨平台协同防空作战体系特点, 提出了基于自协同的分布式编队防空指挥决策模式, 并用 MAS 规划进行了具体描述, 对深化智能控制理论在舰艇编队防空作战指挥控制领域的应用进行了一种有益尝试。

关键词: 分布式 自协同 编队防空 指挥决策

0 引言

舰艇编队防空作战体系为完成作战任务提供了平台、技术和信息保障, 而如何指挥、协调整个作战体系有效运转则是发挥编队防空作战效能的关键, 这主要取决于编队指挥决策模式是否与作战体系特点相适应, 是否能够充分释放体系的作战潜力。因此, 探寻科学、高效的指挥决策模式是编队防空作战体系必需着力解决的问题。

1. 舰艇编队防空作战体系的发展

传统编队防空作战体系是以舰艇平台为基本作战单元, 在编队指挥机构的统一指挥下形成的运作整体, 每个作战单元仅依靠自身装载的探测器材获取信息, 然后指挥武器遂行防空任务。如图 1 (a) 所示, 平台 A 和平台 B 可以共享战场态势信息, 即平台 A 可以获取平台 B 的预警探测信息, 同样平台 B 也可以获取平台 A 的预警探测信息, 二者在统一指令下协同行动。但是, 编队共享信息的精度并不支持武器使用, 即平台 A 和平台 B 仍然只能依靠自身装载的传感器指挥武器对发现的目标实施抗击, 无法实施跨平台协同作战。

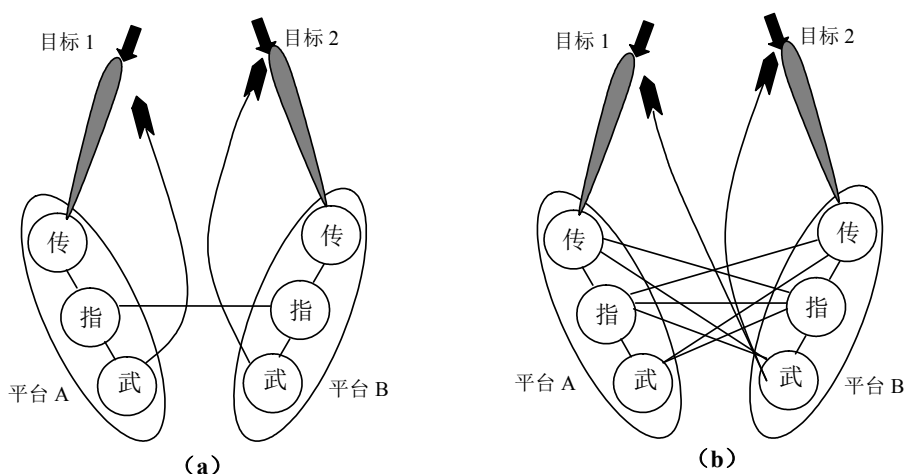


图 1 编队协同防空作战示意图

信息化战场对情报搜集、信息处理和指挥控制的时效性、精确性、可靠性提出了更高要求, 传统编队防空作战体系已难以适应错综复杂的战场环境和瞬息万变的作战节奏, 信息时代的作战体系应该为适应技术与战术的更新而变革其构建形式与运作机理^{[1][2]}, 由此, 分布式编队防空作战体系成为各国海军发展的主方向。

分布式作战体系是分布的作战单元在统一使命的支配下通过单元间的自同步行为形成的统一整体, 各探测系统、指控系统和武器系统作为节点连接在信息网络上, 借助软硬件实现结构分布、功能分布和控制分布。在具体防空任务驱使下, 各平台的传感器、武器和指控系统可以自由组合, 通过无线网络构成跨平台的探测跟踪→指挥控制→火力打击信息链。如图 1 (b) 所示, 借助高质量的信息融合、大容量的信息传输和标准化的火控数据求解, 平台 A 和 B 可以共享目标跟踪数据甚至是火控数据, 对于平台 A 发现的目标可以控制平台 B 的武器实施抗击, 反之亦然。可见, 结构分布、功能整合和协同控制是分布式编队防空作

战体系的最大变革，也是维持分布式作战体系运行的基石。

2. 编队防空作战指挥决策模式分析

通常，舰艇编队防空作战指挥决策模式分为集中式和分布式两种。

2.1 集中式指挥决策模式

如图 2 所示：在集中式指挥决策模式下，严格的中心控制作用十分强烈，几乎所有的指挥控制功能和信息处理功能都集中在编队指挥节点上。指挥节点负责从整体性能最优角度来制定编队防空作战决策方案，来自各协同节点的探测信息和系统状态信息汇集到指挥节点，经决策计算与统一规划后，向各协同节点分配任务，协调控制各节点的行动。指挥节点对网络中所有资源进行调配，对作战平台实施集中控制和统一协调，这对于规范各种兵力行动，保持作战体系完整性，形成战斗合力具有重要意义。

尽管集中式指挥决策模式能够从全局对问题进行求解和优化，但在实际作战应用中也不可避免地暴露出许多不足。

(1) 信息交互频繁，通信负担重。

各协同节点需要实时地将自身状态与探测到的目标信息传送到指挥节点，并实时接受指挥节点发送的战场态势信息、作战方案信息和指挥控制信息，信息传输量大、时效性强，对通信链路的可靠性和通信带宽提出很高要求。而在日益复杂的战场电磁环境下，编队信息网络往往成为体系对抗攻击的重点，其生存能力和运作有效性将面临严峻考验。

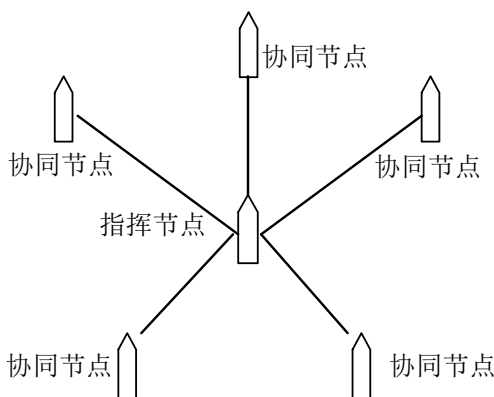


图 2 集中式指挥控制模式

(2) 指挥节点信息处理任务繁重。

指挥节点需要将各节点上报信息、友邻通报信息、上级下发信息等进行融合，形成一个覆盖范围更大、精度更高、内容更全面的编队态势并下发到各节点。而编队信息来源广泛，数据样式多、数量多，融合算法非常复杂，且编队防空作战过程中所有的决策计算也都集中在指挥节点完成，使得指挥节点信息处理任务繁重，并且常常难以找到最优解。

(3) 作战体系鲁棒性差。

在集中式指挥决策模式下，指挥节点是整个编队防空体系的瓶颈，指挥节点的效能在很大程度上决定了整个体系的效能，如果该节点出现故障或受到干扰、毁伤，则整个作战网络就会瘫痪。而信息化战争中体系对抗的焦点往往就集中在中心控制节点，因此，整个作战体系面临的风险较大。

(4) 作战体系反应速度慢

协同节点需要等待指挥节点的决策结果并按指令行动，大大束缚了下级指挥机构的积极性和创造性。当局部态势发生变化时，需要各节点先将自身状态与探测到的信息传回指挥节点，指挥节点进行重新分配后再将结果传给协同节点，这存在很大的通信延迟，并且每次重分配时均需要对所有任务的分配方案进行重新计算，难以实现对态势变化的快速反应。

2.2 分布式指挥决策模式

分布式是相对于集中式而言的, 它没有中心控制节点, 各节点独立完成基于全局信息和自身状态的决策, 如图 3 所示。各节点通过信息共享全面了解编队作战任务, 依据自身状态和作战能力计算可承担任务的能力, 如可对哪些目标进行抗击, 抗击成功概率如何等。各节点将决策结果在编队信息网络内通播, 以编队整体作战效益最大化为原则进行协商和冲突消解。如某个作战任务可被多个作战单元承担, 则需要根据各作战单元完成任务的效费比确定由某作战单元作为执行者, 或者多个作战单元协同完成该任务; 如多个作战单元在行动方案上存在冲突, 则需要对各自的方案进行协调处理, 甚至重新分配作战任务。经过这种基于消息的协商机制, 确定最终的全局决策方案。

分布式指挥控制采用自治和协作的方法来解决全局控制问题, 各节点具有充分的自治权, 在大部分时间里按照自己的任务目标和控制策略自主控制, 只在必要的时候通过信息交换与相互协商实现任务分配和任务协调。这种形散而神不散的控制模式既有利于编队整体效能的发挥, 又能充分调动各作战单元的积极性、主动性, 并且具有很强的可靠性与适应性。与集中式指挥决策模式相比, 分布式指挥决策模式具有以下优点^{[3][4]}:

(1) 对通信依赖性相对较小

充分发挥作战单元的自治性, 各节点之间只有中等程度的信息交流, 即大量信息处理在局部, 只有高层协作信息进行交互, 使得通信量减少, 对通信的依赖性减小。

(2) 作战体系鲁棒性强

各节点处于平等地位, 没有中心控制节点, 任何一个节点出现故障或功能丧失, 都不会对作战体系的整体性能产生太大的影响, 系统具有更强的鲁棒性和容错性。

(3) 系统反应速度快

各节点通过自主控制和相互协商实现对局部态势变化的快速反应, 不必像集中式模式下需要等待指挥节点的指令行动, 能够更有效应对瞬息万变的防空作战态势。

考虑到编队防空作战的实际, 当各节点采用分布协商的方式对方案中存在的冲突进行协调时, 如果存在消除不了的矛盾, 必须牺牲部分作战单元的利益以获得全局利益最大时, 就需要一个权威机构来进行仲裁。由此, 部分学者提出了基于中心控制的分布式决策模式^[5], 有限中央控制下的分布式决策模式^[6]等, 这些都是对分布式指挥决策模式的丰富和完善。

3. 基于自协同的分布式指挥决策模式

尽管分布式指挥决策模式更加适用于分布式作战体系的指挥控制, 但其控制过程仍然是各作战单元以自我为中心独立完成为主, 单元之间的协同主要是各自可执行的作战任务集合相交区域的协调和优化, 没有体现分布式作战体系下作战单元之间融合后能力的提升, 也难以全面发挥整个作战体系的作战潜力。自组织性是分布式体系适应复杂多变的防空作战的最突出优点, 为充分发挥分布式作战体系的效能, 本文提出基于自协同的分布式指挥决策模式。

3.1 决策基本思路

各作战单元独立完成基于自身作战能力的决策后, 将决策方案在编队信息网络内共享, 方案内容包括: 作战单元可完成的任务集合、各任务执行的顺序、执行方案、执行效率、协同共用潜力等, 各作战单元通过协商确定最终的全局决策方案。在此提出协同共用潜力的概念, 它是协商过程中至关重要的决策依据。

【协同共用潜力】是指作战单元按照某一决策方案执行任务时潜在的与其它作战单元达成传感器、武器协同共用的能力。协同共用潜力应该包括探测潜力、制导潜力、打击潜力等, 是各种因素的综合结果。

如图 1 (b) 所示, 平台 A 能够对目标进行精确定位和跟踪, 但其防空导弹作用距离有限, 只有等待目标进入其导弹发射区才能使用导弹, 无法快速对目标实施抗击; 平台 B 导弹射程能够覆盖目标区域, 但其探测系统或制导系统作用距离有限, 无法引导导弹抗击目标。此时, A、B 均具备一定的协同共用潜力, 可以由平台 A 为平台 B 提供目标数据或直接为平台 B 发射的导弹提供接力制导, 达成传感器、武器协同共用, 实现对目标的远程抗击。

各作战单元相互获取对方的协同共用潜力信息后,通过协商确定是否达成传感器、武器协同共用,达成后新的作战任务进入各协同单元的任务集合,根据新任务的优先级调整执行任务序列,以及调整执行方案。

3.2 MAS 规划描述

基于 MAS 的建模仿真方法^{[7][8]},是把智能体作为系统的抽象单元,采用相关的智能体技术,先建立组成系统的每个个体智能体模型,然后采用合适的 MAS 系统结构来组装这些个体智能体,建立起整个系统模型。由于 Agent 所具有的自治性、灵活性和对分布的适应性及协同工作的能力,将编队防空作战体系中的各作战单元抽象为 Agent,利用 MAS 规划来描述编队协同防空决策过程是适宜的。

所谓规划,就是 Agent 为了完成系统分配的任务,达到某一目标而制定的一个操作序列,它描述了从给定的初始状态到目标状态的一条路径。MAS 规划不仅要考虑单 Agent 规划中的所有问题,还要解决不同 Agent 规划之间的冲突。需要考虑其它 Agent 活动对某一 Agent 行为选择的约束、Agent 对其它 Agent 的承诺约束影响其自身的行为选择,以及开放系统中环境变化的不可预测性对 Agent 行为选择的影响等等。

任务是智能体为完成规划而必须承担的工作,任务描述为 $M=(K,T)$, K 表示任务 M 的类型, T 表示 M 所针对的威胁目标。智能体的各项任务构成一个任务集合,表示为 $MG=\{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ 。编队协同防空作战系统中的每个智能体都拥有自己的任务,主要分为两种类型:一类是作战单元能够单独或与其它作战单元通过传统协同方式完成的任务,称为“独立任务”;另一类是多个作战单元通过传感器、武器协同共用来完成的任务,称为“协作任务”。

确定好承担的作战任务后,作战单元单独或协同其它作战单元共同拟制作战行动方案,各作战任务的行动方案构成作战方案集合 $P=\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ 。

基于自协同的分布式指挥决策模式可用 MAS 规划方法描述如下:

Step1: 作战单元 Agent 根据作战态势和自身的作战能力,确定其可执行的作战任务集合 MG ,同时计算执行任务 M_i 的效率,以及自身的协同共用潜力,并将上述信息向外发布。

Step2: 作战单元 Agent 依据执行任务 M_i 的效率与其它作战单元 Agent 进行协商,对彼此作战任务集合相交部分进行优化,并视情调整作战任务集合 MG 。

Step3: 作战单元 Agent 依据协同共用潜力与其它作战单元 Agent 进行协商,若彼此能达成传感器、武器协同共用,则根据作战任务的优先级对作战任务集合 MG 进行调整;否则,继续下一步。

Step4: 作战单元 Agent 从任务集合中顺序获取当前处理的任务 M_i 。所有任务处理完毕后,说明规划已经完成,成功退出。

Step5: 若 M_i 为独立任务,作战单元 Agent 将基于自身作战资源制定针对当前任务的独立行动预案,完成后转入 Step7。若 M_i 为协作任务,则继续下一步。

Step6: 作战单元 Agent 根据作战任务优先级和其它作战单元 Agent 的能力,确定针对当前任务的协作伙伴集合,并与协作伙伴一起根据协作目标、协作需求和自身作战资源情况制定协作预案,完成后转入下一步。

Step7: 生成了作战预案的作战单元 Agent,将该预案发送给所有其它作战单元 Agent 进行冲突检测。若无冲突,该预案正式成为方案,加入作战方案集 P ;若存在冲突,采用冲突消除方法对预案进行冲突消除,返回处理结果;若冲突无法消除,上报指挥节点 Agent 仲裁,根据返回的仲裁结果进行相应处理,完成后转入下一步。

Step8: 作战单元 Agent 当前任务完成,转入 Step4,进行下一任务的规划。

Step9: 当所有作战单元 Agent 的任务均完成后, MAS 规划结束,编队的防空作战方案已产生。

4. 结论

舰艇编队防空作战体系逐渐向分布式发展,要求我们必须针对体系特点对现有指挥决策模式进行改进。本文提出的基于自协同的分布式指挥决策模式是以各作战单元的自决策为基础,以单元间的协同共用潜力

为重要考量指标,通过单元之间的协商确定最终决策方案,具有单元自主性强、决策速度快的特点,适宜解决编队防空作战决策等时效性要求高的决策问题。下一步将对编队防空指挥决策过程中的任务分配机制和冲突消解策略进行深入研究,并结合具体的编队防空作战想定对指挥决策过程进行仿真验证,提高决策方法的针对性、实用性。

参考文献

- [1]屈维意, 屈其仁.对信息战条件下新型驱护舰编队防空作战的思考[J].海军兵种学术, 2006 (1): 15~18
- [2]魏刚.复杂电磁环境下新型舰艇编队防空反导问题初探[J].海军学术研究, 2008 (7): 33~34
- [3]黄广连, 阳东升等.分布式作战体系的自同步作战[J].舰船电子工程, 2008, 28 (1): 9~14
- [4]宋启勋, 廖兴禾等.分布式网络化作战理论特征探析[J].四川兵工学报, 2009, 30 (9): 104~142
- [5]王超.海战协同决策方法及其在防空作战中的应用研究[D].大连: 大连舰艇学院, 2008
- [6]龙涛.多UCAV协同任务控制中分布式任务分配与任务协调研究[D].长沙: 国防科技大学, 2006
- [7]陈禹.复杂性研究的新动向——基于主体的建模方法及其启迪[J].系统辩证学学报, 2003, 11
- [8]Wooldridge, M.J.and N.R.Jennings.Agent Theories,Architectures and language:a Survey.In Wooldridge and Jennings,Intelligent Agents,Berlin:Spinger-Verlag,1995