

面向网络化防空反导体系的可组合建模框架*

朱智,雷永林,朱宁,朱一凡

(国防科技大学 信息系统与管理学院,湖南 长沙 410073)

摘要:当前网络化防空反导体系的理论及其建模仿真工作还处于探索阶段,基于可组合建模框架的思想,设计了指控网、探测网和武器网三网交互的网络化防空反导体系结构概念图,开发了包括体系顶层框架、体系决策框架和数据链接口框架的可组合建模框架,通过单机突防舰队阵地混编群的仿真实验论证了所设计的建模框架的可组合性和合理性,为网络化防空反导体系的建模与效能仿真提供了有力支撑。

关键词:防空;组合建模;网络化;框架

中图分类号:TP391 文献标志码:A 文章编号:1001-2486(2014)05-186-05

Composable modeling frameworks for networked air & missile defense systems

ZHU Zhi, LEI Yonglin, ZHU Ning, ZHU Yifan

(College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Networked air & missile defense (NAMd) which is evolving in the context of networked centric warfare is the coming trend of the air & missile defense domain. Given its initial exploring phase of theories, modeling and simulation, and based on the ideology of composable modeling framework, a conceptual diagram composed of command and control, sensors and weapons networks about the structure of NAMd systems was designed, and CMFs about top level, decision, and data link were developed. Eventually, the compossibility and rationality of CMFs were validated by a simulation case of NAMd systems warfare. Significant implication is revealed for modeling and effectiveness simulation of NAMd systems.

Key words: air defense; composable modeling; networked; framework

1997年4月,美国海军作战部长杰伊·约翰逊上将首次提出网络中心战^[1]的理念,并称网络中心战是两百多年来军事领域里最重要的变革,得到美国国防部和各国军队的极大关注。2001年,殷兴良^[2]在分析了未来防空防天导弹体系面临的新问题的基础上,提出未来防空导弹体系的体系结构是分布式无中心节点网络化结构的设想。追溯防空体系的发展历程,防空体系已由最初的单个防空导弹火力单元独立作战防空,先后经历多种多个火力单元空域重叠覆盖防空、树状体系结构网络防空,发展到当前各国正在研究和部署的网络化防空反导体系。当前主要从技术角度考虑的统一仿真协议(如HLA)^[3-4]、统一建模方法(如DEVS)^[5]和统一模型规范(如SMP2)^[6]等组合仿真途径已经不能满足网络中心环境下日益增长的建模仿真资源可组合、工程化需求。统

一的模型规范、建模方法、仿真协议从技术方法上来说,设计固化应用领域知识、形成与实现技术独立的模型框架才是组合仿真得以工程化实现的关键。

1 网络化防空反导体系结构

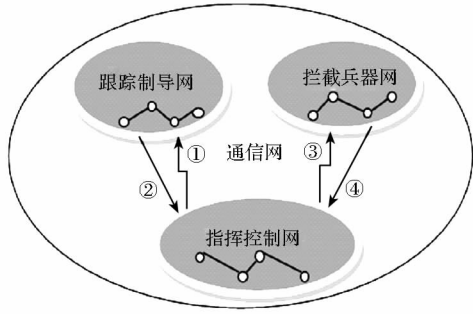
网络化防空反导体系是以通信网为物理基础,采用跟踪制导网、指挥控制网和拦截兵器网构成的适应于现代空袭体系视线外攻击、饱和攻击、隐身和电子干扰攻击等空袭样式的作战体系^[7],具有分布式一体化、无节点、网络化等新特点。分布式一体化指单元分布在不同的物理空间;无节点指体系中无中心节点,即任何一个节点都可以担当体系中管理、规划和分配作战资源的任务;网络化指基于网络通信的防空反导体系,网络是其物理基础,其结构如图1所示。

* 收稿日期:2014-01-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61273198)

作者简介:朱智(1989—),男,贵州安顺人,博士研究生,E-mail: zhuzhi0915@126.com;

朱一凡(通信作者),男,教授,博士,博士生导师,E-mail: yfzhu@nudt.edu.cn



- ①跟踪制导设备开机指令
- ②武器跟踪数据、制导指令、自身状态信息
- ③防空导弹发射指令、发射装订数据(包括发射时刻、发射角度、拦截点经纬度等)
- ④状态信息(包括武器剩余数量、敌我双方毁伤程度等)

图1 网络化防空反导体系结构

Fig. 1 Architecture of NAMD

跟踪制导网主要是由大量地理位置分散的传感器组成,其功能主要是跟踪目标与制导兵器,负责接受、处理、融合传感器的目标探测信息,以及对防空导弹提供制导等;拦截兵器网主要是由大量地理位置分散的拦截兵器组成,遂行独立作战、协同作战以及联合火力打击;指挥控制网是网络化防空体系的核心,主要是由大量地理位置分散的指挥控制中心组成,负责根据当前掌握的目标信息进行态势感知共享、分析、结算、资源分配与控制、决策和协同决策;通信网是整个网络化防空体系的基础设施,目的是实现跟踪制导网、拦截兵器网和指挥控制网的无缝连接。

2 可组合建模框架设计

可组合建模框架的设计严格地与底层实现一一对应,有助于仿真的可维护性和可扩展性,便于领域专家或用户参与仿真工程全过程。

2.1 可组合建模框架的定义和特点

网络化防空反导体系仿真属于典型的复杂系统仿真,其组成单元可以无限多,单元之间的交互、协同关系也会随节点数量的增加而愈加复杂,其描述难度高,组合潜力大。可组合模型框架是基于模型框架实现组合仿真的思路,针对所研究的应用领域,设计一套具有良好的层次组合机制和外部扩展机制、独立于具体技术实现细节、能够应对不断变化的世界、长期有价值的领域共性不变知识体系结构。基于可组合建模框架的仿真应用开发面向一定的应用领域,特别是网络化防空反导体系这类武器装备效能仿真,有着自己鲜明的特点,其设计特点可归纳为层次化、组件化、型

号化、规范化^[8]。

2.2 可组合建模框架

网络化防空反导体系的模型框架及实现技术涉及广泛,本节主要从工程化的角度来论述体系顶层框架、决策框架、数据链接口这三个方面,支持防御体系、舰队、无人机编队等体系的组合仿真。

2.2.1 体系顶层框架

如图2所示,tmGroup是体系模型框架的核心类,实现了IDecisionable接口,具备决策功能。体系节点之间有两种通信机制,一种是语音,另一种是数据链。语音通信通过事件机制实现,数据链通信通过接口机制实现。IDataLink数据链通信的抽象接口,由tmGroup实现,tmGroup在功能设计上作为对整个体系共享信息的存贮和中转,各体系节点可以通过IDataLink汇报或查询态势信息。体系对每个节点信息的获取通过IGroupNode接口来实现,即每个节点都实现IGroupNode接口。目前主要实现了两种体系:空中编队tmAirGroup和防御体系tmDefenseGroup。IDefenseGroup是防御体系专用的数据链接口,都继承自IDataLink。体系内旗舰的作用通过Token接口实现,IAirToken是空中编队中长机控制编队节点的接口;IDefenseToken则是防御体系中旗舰节点控制其他节点的接口。Token接口使得旗舰与体系之间形成动态绑定关系,支持在不修改体系的情况下灵活地更换旗舰,这也是无中心节点的工程化体现。对于特殊类型的体系节点,则通过在IGroupNode基础上定制相应的接口来描述,例如防御体系中的拦截节点是一类特殊的节点,在体系统一进行拦截决策时,需要知道哪些节点具备接收目标分配的能力,通过IInterceptNode接口可以实现这一点。

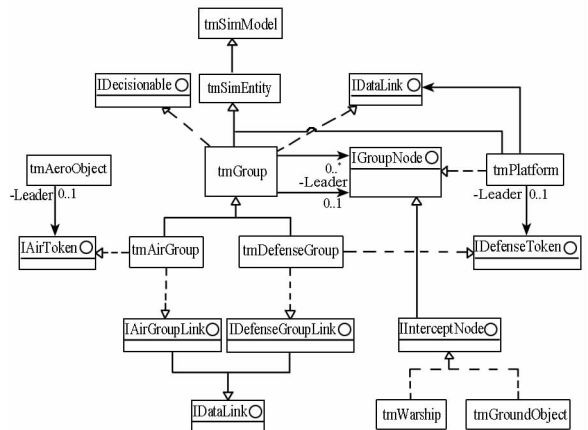


图2 体系顶层框架

Fig. 2 Top level framework

2.2.2 体系决策框架

如图 3 所示:tcGroupTarget 是体系内部对目标的表示,tcGroupMember 是体系内部对节点的表示,tcGroupWeapon 是体系内武器的表示,形成节点—武器—目标的拦截联盟,联盟内节点通过列表的形式进行交互。首先 TargetList 和 MemberList 分别是用于体系管理目标和节点的组合链接,FinderList 用于存贮已经发现目标的节点, PendingTargetList 用于存贮已经发现但尚未分配节点攻击的目标列表, AssignedTargetList 用于为每个节点存贮的分配目标列表,

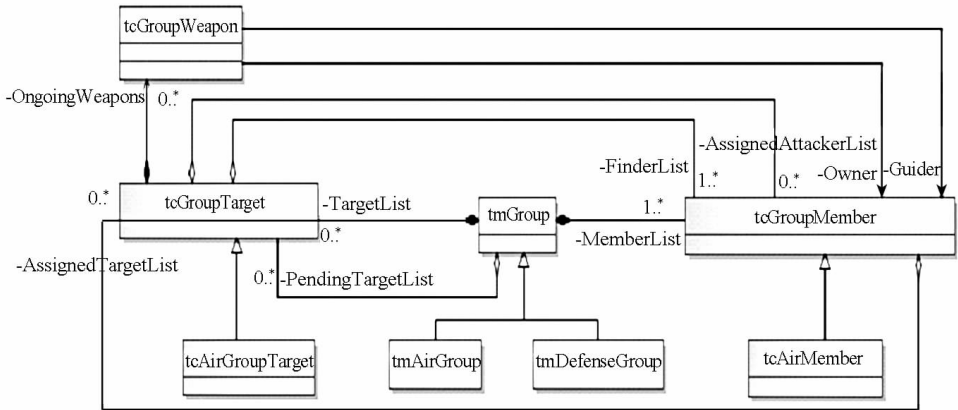


图 3 体系决策框架

Fig. 3 Decision framework

2.2.3 数据链接口

如图 4 所示, IDefenseGroupLink 是防御体系专用的数据链接口,继承自 IDataLink,由 tmDefenseGroup 实现;tmPlatform 可以是普通节点,也可以是旗舰节点,实现与体系的信息交互功能;tmDefenseGroup 继承自编队模型框架的核心类 tmGroup,功能上作为整个防御体系共享信息的存储和中转。

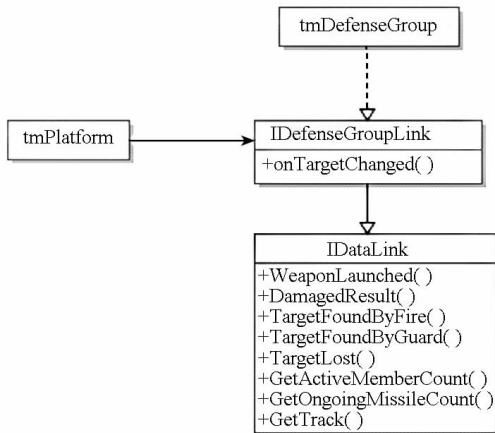


图 4 数据链接口

Fig4 Data link interface

AssignedAttackerList 用于为每个目标存贮的拦截节点列表。其次, Owner 和 Guider 用于管理武器和节点之间的隶属和制导关系。最后 OngoingWeapons 用于管理武器和目标的组合关系,表示每个目标的正在攻击的武器列表。体系对目标和节点的管理以及分配是在普通体系 (tmGroup) 的抽象层面进行的, tmAirGroup 和 tmDefenseGroup 继承自 tmGroup,这种机制同样适用于空中飞机编队。防御体系的具体层面,通过 tcDefenseGroupTarget 和 tcDefenseMember 描述特有的特征和行为。

成的防御,来论证基于可组合建模框架可实现地上、水上的联合防空,说明框架的有效性,同时也可组合其他形式的防空。

3.1 型号数据准备

如表 1 和图 5 所示,红方包括的模型有机场和飞机,蓝方包括的模型有防空阵地和战舰。飞机设置 4 个航路点,起点终点一致,表 1 列出模型的实验数据,其中高程单位为 m,速度单位为 m/s。

表 1 红蓝双方数据

Tab. 1 Data of red-blue side

双方	实体	航路点(坐标—高程—速度)		
红方	机场	(121.48, 25.05)		
		(121.50, 25.06)	5000	500
	飞机	(119.79, 26.42)	4000	400
		(119.63, 25.72)	4000	400
蓝方	阵地	(121.50, 25.06)	2000	200
		(119.28, 26.09)		
	战舰 A	(120.46, 26.86)	(119.77, 26.13)	
战舰 B	(119.77, 26.13)	(119.77, 26.13)		

3 仿真实验

本节通过单机突防由一个阵地和两艘战舰组

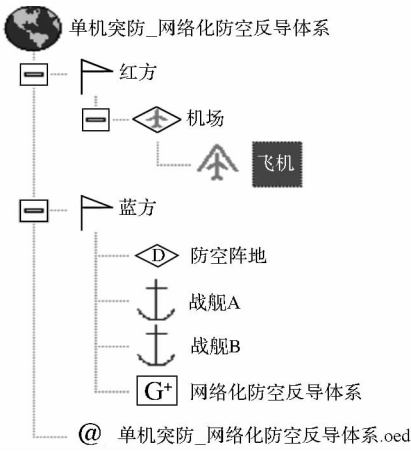


图5 红蓝双方实体列表

Fig.5 Entities tabulation of both sides

3.2 实验与分析

可组合建模框架要能支持良好的可组合性,体现在统一框架不仅能支持多个防空阵地组成的混编群的网络化反导防空,而且还能支持诸如飞机编队、无人机编队、舰队以及它们之间的交叉混编,形成海、陆、空、天、电的多维联合防空体系。本实验面向地上和海上的混编防空,实验配置见表2。

表2 单机突防舰队阵地混编群实验配置

Tab.2 Deployment of simulation experiment

实验方法	飞机突破由1个阵地,2艘战舰组成的防御体系,观察其突防毁伤情况。
兵力配置	为体现防御体系的网络化防空反导,战舰各装配2枚舰空导弹、1架舰载雷达,阵地装配1架地基雷达、4枚地空导弹,飞机装配1架机载雷达、1架导弹告警器、2枚空面导弹。
实验条件	战舰弹药耗尽,防御失败,退出仿真;飞机弹药耗尽,突防失败,加力盘旋180°返航。

3.2.1 仿真运行结果

仿真运行结果见图6,方线框体现了网络化防空反导体系能根据实时的作战态势灵活处理“雷达—导弹—目标”的火控关系。可看出火控关系中的目标有飞机也有反辐射导弹,体系分配目标飞机给阵地,而因此时飞机未进入本地雷达探测范围,所以分配制导节点战舰B。

3.2.2 二维表现

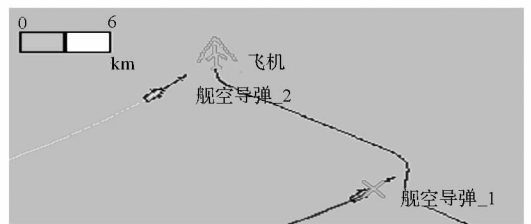
如图7(a)所示,飞机进入战舰B的射程范围,战舰B发射舰空导弹_1拦截,失败,再发射舰空导弹_2进行再次拦截。

如图7(b)所示,舰空导弹2拦截失败,飞机探测到防空阵地,发射空面导弹_1/2攻击,飞机弹药耗尽,返航。

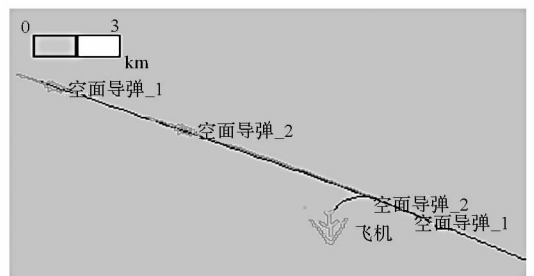
模型	实验结果
战舰 B	399.000: 体系分配目标:飞机,制导节点为:战舰 B
	399.000: 建立火控关系:[舰载雷达_2] + [舰空导弹_1]→[飞机]
	400.000: 朝目标飞机发射舰空导弹型面空导弹[舰空导弹_1]
	492.000: 体系分配目标:飞机,制导节点为:战舰 B
	492.000: 建立火控关系:[舰载雷达_2] + [舰空导弹_2]→[飞机]
	493.000: 朝目标飞机发射舰空导弹型面空导弹[舰空导弹_2]
阵地	591.000: 体系分配目标:飞机,制导节点为:战舰 B
	591.000: [脚本事件]:TargetAssign
	591.000: [脚本]分配目标:飞机
	591.000: [脚本]空袭目标(飞机),启动防空程序
	607.000: 朝目标飞机发射地空导弹型面空导弹[地空导弹_1]
	666.000: 体系分配目标:空面导弹_1,制导节点为:防空阵地
	666.000: [脚本事件]:TargetAssign
	666.000: [脚本]分配目标:空面导弹_1
	666.000: [脚本]空袭目标(拦截弹),启动防空程序
	667.000: 建立火控关系:[地基雷达_1] + [地空导弹_2]→[空面导弹_1]
	672.000: 体系分配目标:空面导弹_2,制导节点为:防空阵地
	672.000: [脚本事件]:TargetAssign
	672.000: [脚本]分配目标:空面导弹_2
	672.000: [脚本]空袭目标(拦截弹),启动防空程序
	673.000: 建立火控关系:[地基雷达_1] + [地空导弹_3]→[空面导弹_2]

图6 网络化防空反导仿真运行结果

Fig.6 Simulation results of NAMD



(a) 二维图示 1



(b) 二维图示 2

图7 网络化防空反导二维表现

Fig.7 Two dimension expression of NAMD

4 结论

空袭方式全天候、高速大机动、饱和攻击、抗干扰能力、隐身等性能的日新月异,促使以平台为中心的传统防空向无中心节点的基于网络的多平台防空反导的革新^[9-10]。网络化防空反导体系是网络中心战在空面对抗领域提出的概念,是典型的复杂系统,具有体系节点多、交互关系复杂、体系指挥结构扁平、作战决策灵活多变等特点,其建模仿真难度大。面对当前的统一仿真协议、规范和方法已不能满足越来越复杂、越来越灵活的仿真资源的组合仿真需求,以可组合模型框架(CMF)为指导思想,以网络化防空反导体系为建模对象,在深入研究应用领域知识后设计了该问题域的包括体系顶层框架、体系决策框架、数据链接口框架的可组合模型框架,最后通过仿真实验验证了所建立框架的可组合性与合理性,及用可组合仿真框架进行网络化防空反导体系建模仿真的有效性。

参考文献(References)

- [1] Department of Defense, USA. Network centric warfare, DoD report to congress[R]. Warshington D C; DoD, 2001.
- [2] 殷兴良. 未来防空防天导弹体系结构与技术(上)[J]. 中国航天, 2001, (1): 39-42.
YIN Xingliang. Missile systems structure and technology of the coming air defense[J]. Aerospace China, 2001, (1): 39-42. (in Chinese)
- [3] IEEE 1516-2000. IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-framework and rules [S]. 2010.
- [4] IEEE 1516. 1-2000, IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-federate interface specification[S]. 2010.
- [5] Liu C, Li Q, Wang W P, et al, Extend SRML schema based on DEVS: an executable DEVS language[C]//Proceedings of the 37th conference on Winter simulation, 2005:2693-2699.
- [6] ESA. SMP 2.0 handbook, EGOS-SIM-GEN-TN-0099, Issue 1.2[S]. 2005:22-25.
- [7] 罗爱民, 修胜龙, 等. 防空导弹网络化作战 C⁴ISR 系统体系结构研究[J]. 国防科技大学学报, 2004, 26(6):86-90.
LUO Aimin, XIU Shenglong, et al. Networked operation of air defense missile[J]. NUDT Transactions, 2004, 26(6):86-90. (in Chinese)
- [8] 雷永林, 李群, 杨峰, 等. 武器装备效能仿真的可组合建模框架研究[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(11):2954-2966.
LEI Yonglin, LI Qun, YANG Feng, et al. A composable modeling framework for weapon systems effectiveness simulation[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2013, 33(11):2954-2966. (in Chinese)
- [9] Baresi L, Guinea S. A-3: an architectural style for coordination distributed components[C]. IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA), 2011.
- [10] Baresi L, Guineas. A-3: self-adaptation capabilities through groups and coordination [C]//Proceedings of India Software Engineering Conference (ISEC), 2011:11-20.