

9-2-2020

## Research on Battle Simulation Framework of Warship Integrated Air-defense and Anti-missile

Gaofeng Zhang

*Unit 91336 of PLA, Qinhuangdao 066326, China;*

Liu Shu

*Unit 91336 of PLA, Qinhuangdao 066326, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Research on Battle Simulation Framework of Warship Integrated Air-defense and Anti-missile

## Abstract

**Abstract:** The establishment for simulation framework can effectively improve the efficiency and level of simulation system development, improve the reusability of resources and system ability of adaptive change. *The simulation research boundary of warship integrated air-defense and anti-missile battle was confirmed, the corresponding simulation framework was presented from two aspects of tactics and technology.* Structure and module function of the tactical simulation framework were clarified. *Based on the theory and method of model driven architecture(MDA) and component technology, a flexible reconfiguration technique simulation framework was established.* The framework provides a relatively comprehensive and feasible technology method to realize for warship integrated air-defense and anti-missile simulation. The framework has strong generality. Practical application shows that, under the guidance of the framework, the simulation system development process is standardized and simple, simulation resources reusability and simulation system expansibility are strong.

## Keywords

warship, air-defense and anti-missile, simulation framework, component, model driven architecture (MDA)

## Recommended Citation

Zhang Gaofeng, Liu Shu. Research on Battle Simulation Framework of Warship Integrated Air-defense and Anti-missile[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(1): 155-162.

## 舰艇综合防空反导作战仿真框架研究

张高峰, 刘蜀

(中国人民解放军 91336 部队, 秦皇岛 066326)

**摘要:** 仿真框架的制定可有效提高仿真系统开发效率和水平, 提高资源的可重用性和系统的自适应更改能力。确定了舰艇综合防空反导作战仿真研究的体系边界, 从战术和技术两个层面提出了舰艇综合防空反导作战仿真框架。对战术仿真框架结构及各模块功能进行了阐述; 基于模型驱动架构(MDA)及组件技术的理论和方法, 建立了可灵活重组的技术框架。该框架为舰艇防空反导仿真提供了较为全面、可行的技术实现方法, 且具有较强的通用性。实际应用表明, 在该框架的指导下, 仿真系统开发过程规范、简单, 仿真资源可重用性强, 仿真系统可扩展性强。

**关键词:** 舰艇; 防空反导; 仿真框架; 组件; 模型驱动架构(MDA)

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 01-0155-08

**Research on Battle Simulation Framework  
of Warship Integrated Air-defense and Anti-missile**

Zhang Gaofeng, Liu Shu

(Unit 91336 of PLA, Qinhuangdao 066326, China)

**Abstract:** The establishment for simulation framework can effectively improve the efficiency and level of simulation system development, improve the reusability of resources and system ability of adaptive change. The simulation research boundary of warship integrated air-defense and anti-missile battle was confirmed, the corresponding simulation framework was presented from two aspects of tactics and technology. Structure and module function of the tactical simulation framework were clarified. Based on the theory and method of model driven architecture(MDA) and component technology, a flexible reconfiguration technique simulation framework was established. The framework provides a relatively comprehensive and feasible technology method to realize for warship integrated air-defense and anti-missile simulation. The framework has strong generality. Practical application shows that, under the guidance of the framework, the simulation system development process is standardized and simple, simulation resources reusability and simulation system expansibility are strong.

**Keywords:** warship; air-defense and anti-missile; simulation framework; component; model driven architecture (MDA)

## 引言

随着计算机技术和系统仿真技术的飞速发展



作者简介: 张高峰(1980-), 男, 山西寿阳人, 本科, 工程师, 研究方向为系统建模与仿真、分布式交互仿真; 刘蜀(1984-), 男, 四川雅安人, 硕士, 工程师, 研究方向为作战仿真技术应用。

收稿日期: 2014-03-25

修回日期: 2014-10-27

和不断完善, 作战仿真被广泛应用于武器装备战技指标论证、装备使用效能评估、作战理论研究、作战方案优化、部队训练等各个领域, 涵盖战略仿真、战役仿真、战术仿真和技术仿真等多个层次<sup>[1]</sup>。防空反导是水面舰艇在未来海战中的主要作战样式之一<sup>[2]</sup>, 本文旨在研究一种可兼顾装备效能评估、战法研究和模拟训练应用的通用的舰艇防空反导

<http://www.china-simulation.com>

作战仿真框架。该仿真框架主要用于为舰艇综合防空反导建模与仿真活动确定研究对象、研究内容和体系边界,为仿真系统的构建规定基本的技术架构、确立模型体系、规划运行模式,主要包括战术层面的仿真框架和技术层面的仿真框架 2 个部分。

## 1 研究对象分析

### 1.1 舰艇综合防空反导作战体系

一个功能完整的舰艇综合防空反导作战体系,至少应包括 3 个组成部分<sup>[3]</sup>:

(1) 可靠迅速的情报链路和预警探测系统,用于情报资源共享、下达作战命令;有源和无源监测周围有关情况,搜集敌方情报;探测包括敌战术弹道导弹、巡航导弹在内的各种反舰导弹,敌预警、干扰和攻击等飞机,以及各种雷达、通信和水声信号等。

(2) 处理能力强的指控中心,用于选择、处理(综合)并显示敌我双方的各种军事情报;进行基于军事运筹、战术要求下的辅助决策;形成武器系统对目标的最佳作战配对,包括目标航迹数据处理、威胁判断、战场态势排序、武器分配辅助决策等。

(3) 有效快速的武器抗击系统,主要是硬软武器在指控系统的综合调度下,依据任务要求,进行火力拦截。

上述 3 个部分之间协同配合,并以指控系统为中心,共同完成防空反导作战任务。

### 1.2 研究的体系边界

准确确定研究对象的边界并进行基本的作战假定是开展作战仿真的前提。

#### 1.2.1 仿真对象界定

水面舰艇对反舰导弹的防御分为抗击和干扰。对反舰导弹的抗击主要是利用水面舰艇的硬武器对导弹进行拦截,硬武器主要指舰空导弹武器系统、舰炮武器系统(包括主炮和副炮)及配套的搜索和跟踪设备;对反舰导弹的干扰主要是利用舰艇的电子对抗系统对反舰导弹进行干扰和欺骗,干扰可以

分为有源干扰和无源干扰。

根据上述对舰艇综合防空反导作战体系和防御方式的分析,对本文作战仿真的研究对象体系边界约定如下:

防御方体系中考虑水面舰艇、舰载指控系统、预警探测系统(包括雷达和雷达侦察装备)、火力拦截系统(包括舰空导弹、主炮和副炮武器系统)和电子干扰系统;进攻方体系中考虑反舰导弹武器系统。

#### 1.2.2 作战过程界定

构建舰艇综合防空反导作战仿真框架,在确定仿真对象的基础上,还需要描述水面舰艇与反舰导弹武器系统在防空反导对抗过程中的相互关系<sup>[4]</sup>。

水面舰艇与反舰导弹之间的攻防对抗过程是一个复杂的动态过程,其仿真基本过程为:在反舰导弹发射前,舰艇在接到上级敌情通报或本舰雷达发现飞机、舰艇等可能的导弹发射平台目标,并且雷达侦察装备发现敌搜索警戒或目标指示雷达信号后,通报指控系统,指控系统引导电子干扰系统对可能的导弹发射平台实施有源干扰及迷惑式干扰;反舰导弹发射后,指控系统对雷达上报的目标进行综合处理、威胁判断,当判断目标是来袭导弹时,进行导弹告警,在反舰导弹末制导雷达开机之前,适时分配电子干扰系统实施冲淡干扰,并适时分配舰空导弹武器系统、主炮武器系统进行火力拦截;在反导防御的末端,当反舰导弹距离舰艇达到一定距离后,指控系统将决策实施质心式干扰和副炮拦截,并配合舰艇机动。每次软硬武器对抗过程实施完成后,均计算毁伤效果和干扰效果,为后续防御动作的实施提供依据。

反舰导弹的突防过程则需要经历舰空导弹和舰炮的多重拦截以及复杂电子干扰,如果突防成功,则计算攻击目标舰艇的脱靶量,判断是否命中目标,并评估毁伤效果。

## 2 战术层面的仿真框架

根据前面对仿真对象及作战过程的分析,舰艇综合防空反导作战仿真应该实现对舰艇平台、指控

系统、预警探测系统、火力拦截系统、电子干扰系统、反舰导弹武器系统, 以及各系统之间交互作用过程和对抗效果的仿真, 需要对舰载武器系统综合防空反导的作战效能进行评估<sup>[5]</sup>。舰艇综合防空反

导作战战术仿真框架如图 1 所示, 考虑图 1 重点描述舰载武器系统与反舰导弹之间的对抗过程, 对舰艇平台的仿真未在图中列出。下面, 按照仿真模块的形式对上述各组成部分的功能和接口进行描述。

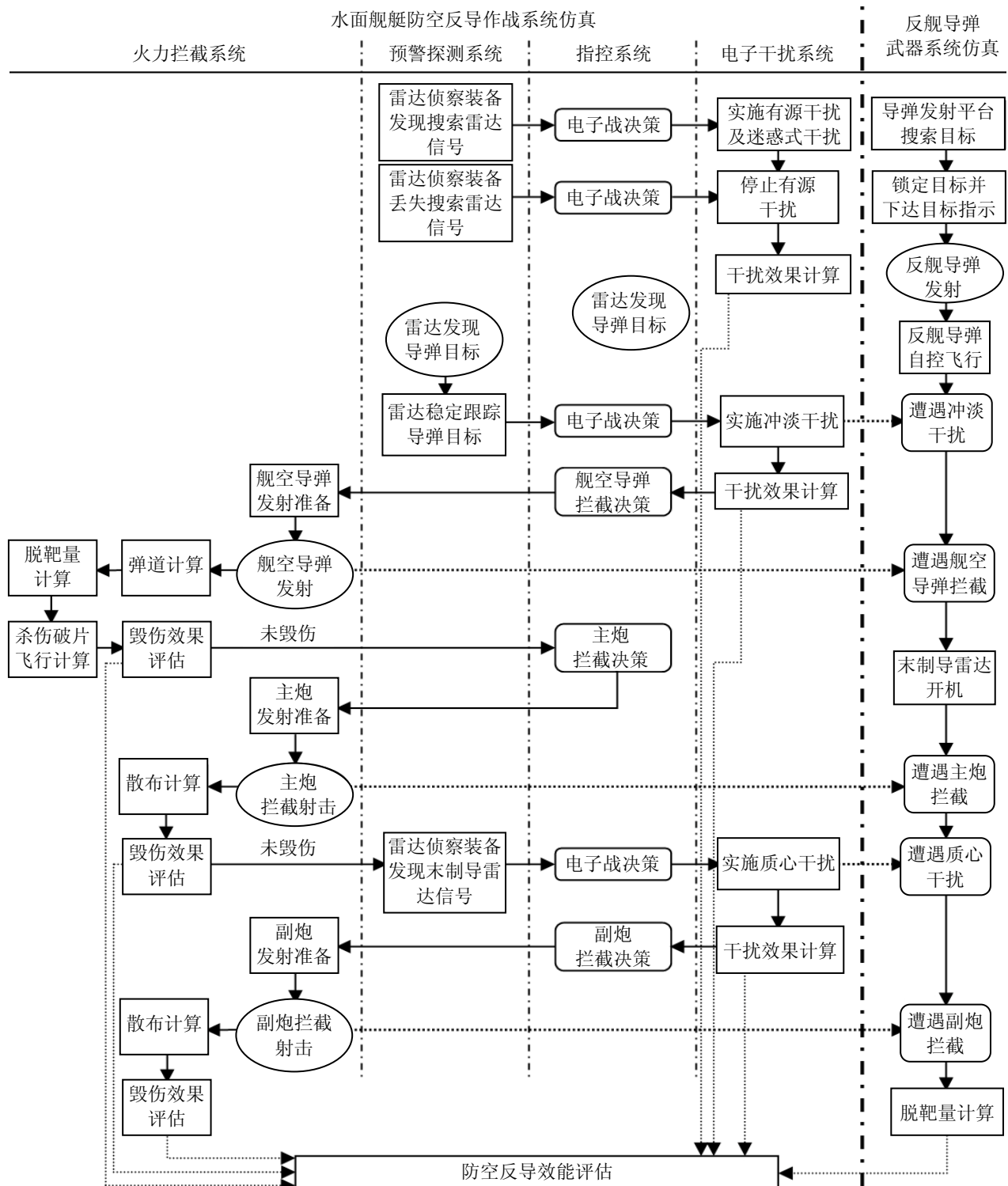


图 1 舰艇综合防空反导作战战术仿真框架

## 2.1 舰艇平台仿真模块

该模块用于模拟舰艇综合导航系统,主要模拟舰艇的运动,为舰载各武器系统提供搭载平台位置、速度、姿态等信息;模拟反舰导弹攻击的目标;并可根据指控系统指令,模拟舰艇规避动作。模块输入为:舰艇规避命令信息、反舰导弹对目标舰的毁伤效果评估信息;输出为:舰艇的空间坐标、速度、姿态、状态(是否毁伤等)信息。

## 2.2 指控系统仿真模块

该模块用于对探测系统提供的战场目标信息进行融合处理和威胁判定,对达到威胁条件的目标做出武器分配(舰空导弹拦截、舰炮拦截、电子干扰)决策,根据战术需要做出舰艇机动决策。模块输入为:雷达目标航迹信息、电子战目标信息;输出为:火力打击决策信息、电子干扰决策信息、舰艇机动命令。

## 2.3 预警探测系统仿真模块

该模块用于模拟雷达和雷达侦察装备,完成对反舰导弹目标和电子辐射信号的探测,并将探测结果上报指控系统。模块输入为:反舰导弹信息、电子辐射信号信息;输出为:雷达目标航迹信息、电子战目标信息。

## 2.4 火力拦截系统仿真模块

该模块用于模拟舰空导弹、主炮和副炮武器系统对目标的打击过程,完成舰空导弹弹道计算、脱靶量计算,以及主副炮散布计算,完成毁伤效果评估。模块输入为:反舰导弹信息、火力打击决策信息;输出为:毁伤效果评估信息。

## 2.5 电子干扰系统仿真模块

该模块用于模拟电子对抗系统有源和无源干扰的干扰过程和效果,其中对无源干扰的模拟包括迷惑式干扰、冲淡干扰和质心干扰。模块输入为:反舰导弹信息、电子干扰决策信息;输出为:电子干扰效果评估信息。

## 2.6 反舰导弹武器系统仿真模块

该模块用于模拟反舰导弹武器系统的作战过程,包括对反舰导弹的发射平台、发射动作、飞行过程,以及攻击水面舰艇全过程的模拟。能够根据目标舰软硬武器反导效果改变自身状态;具备导引头模拟功能,能够实现对导弹搜索和跟踪过程的模拟;能够判定是否命中目标,并根据命中部位计算对目标的毁伤效果。模块输入为:水面舰艇信息、毁伤效果评估信息、电子干扰效果评估信息;输出为:反舰导弹的空间坐标、速度、姿态、状态(是否被拦截、是否被干扰等)信息,对目标舰的毁伤效果评估信息。

## 2.7 防空反导效能评估模块

该模块用于对水面舰艇软硬武器综合防空反导的效果进行评估。通过综合分析各武器系统仿真模块提供的毁伤及干扰效果评估信息,根据不同的作战对象和目的建立评估指标体系,并选用相应的评估模型,得出评估结果<sup>[6]</sup>。模块输入为:毁伤效果评估信息、电子干扰效果评估信息、反舰导弹对目标舰的毁伤效果评估信息;输出为:防空反导效果评估信息。

# 3 技术层面的仿真框架

## 3.1 仿真技术架构

为有效提高仿真框架的通用性和仿真资源的可重用性,提高基于框架的系统开发效率和可扩展性,舰艇综合防空反导作战仿真技术框架基于组件化思想和模型驱动架构 MDA(model driven architecture)<sup>[7]</sup>的思想,综合采用模块化封装、资源式开发、多模式运行等技术方法,实现了功能实现与应用软件分离、仿真应用与支撑平台分离、组件模型与运行节点分离的可灵活重组的技术框架,如图 2 所示。

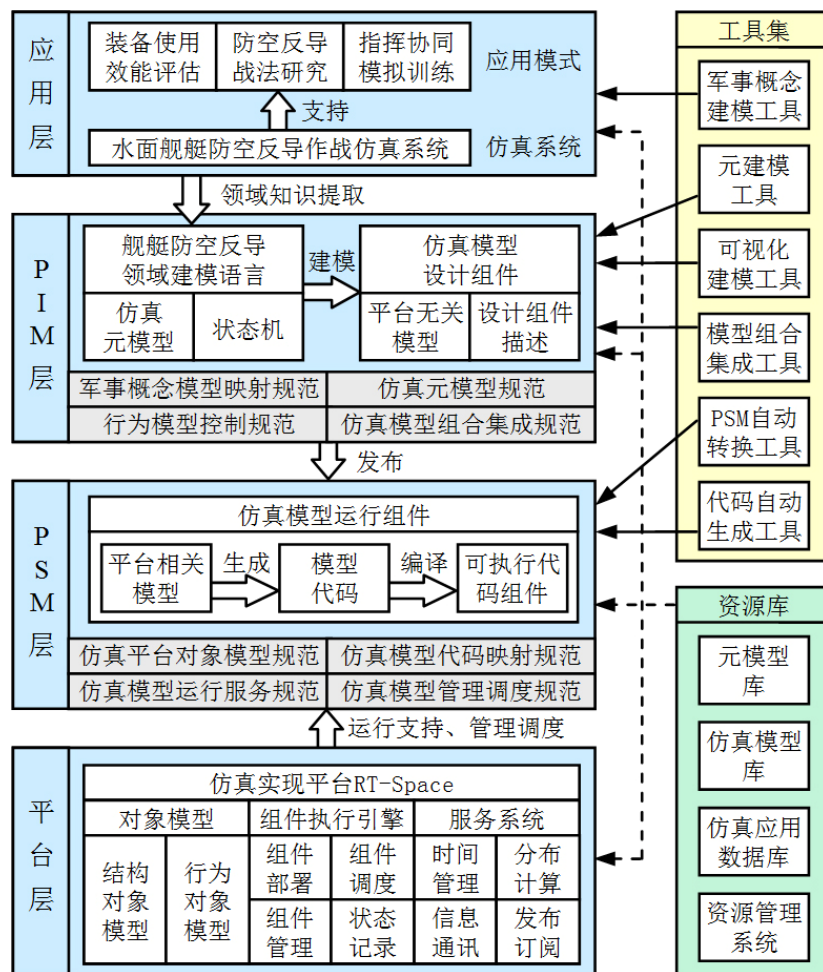


图2 舰艇综合防空反导作战仿真技术框架

该技术框架实现了MDA与组件技术的相互协作,其基本思想是:将所有应用功能均设计为仿真模型,所有仿真模型均按照组件规范封装。在该框架下,仿真系统宏观结构的制定是基于MDA,仿真模型设计实现则基于组件技术<sup>[8]</sup>,分别建立仿真模型设计组件和运行组件。这样,仿真系统各应用软件的开发就转变为模型开发与组件模型的集成,实现了功能实现与应用软件的分离。

从装备使用效能评估、防空反导战法研究、指挥协同模拟训练这三个应用需求出发,将舰艇综合防空反导作战仿真系统的行为逻辑从特定的支撑环境和平台中抽象出来,建立平台无关模型PIM(platform independent mode),采用元建模的方法建立舰艇防空反导领域建模语言,并基于该语言

开发平台无关模型;基于相关工具,平台无关模型经过发布之后可直接转换到平台相关模型PSM(platform specific model),并自动生成各种类型的软件代码,以适应不同的软件环境;平台层用于为仿真模型提供运行和管理调度支持,本仿真框架所采用的平台为清华大学自主研发的实时模型驱动平台RT-Space<sup>[9]</sup>,其核心部件包括:对象模型、组件执行引擎和服务系统,RT-Space的引入实现了仿真应用与支撑平台的分离;工具集用于为仿真模型建立的全过程提供工具支持;资源库用于存储和管理各类模型及数据资源。

下面重点对仿真模型体系、组件模型设计、组件执行引擎和仿真运行模式等舰艇综合防空反导作战仿真技术框架中的核心内容进行介绍。

## 3.2 仿真模型体系

### 3.2.1 仿真模型分类

图 2 中的设计组件和运行组件是仿真模型在不同开发阶段的表现形式, 最终均实现为组件模型, 且具有相同的分类方式。按照封装粒度的不同, 组件模型分为原子组件和复合组件 2 类。原子组件是仿真模型的最小封装单元, 一个原子组件对应实际系统的一个最小细分功能, 实现为一个可执行库文件; 复合组件是仿真模型的组合单元, 一个复合组件由多个具有逻辑关系的原子组件或其他复合组件构成, 实现为一系列可执行库文件。

根据具体功能的不同, 原子组件又分为算法组件(Calculate Component, 简称 CC)、流控组件(Flow Control Component, 简称 FC)、状态组件(State Component, 简称 SC)和界面组件(User Interface

Component, 简称 UI) 4 种类型。算法组件负责仿真实体的相关算法实现, 如雷达装备对目标的探测捕获算法、效能评估算法等; 流控组件负责维护算法组件的调用顺序, 如指控系统的信息融合、威胁判定、武器分配流程控制由其相应的流控组件来完成; 状态组件负责维护仿真实体的运行状态, 如导弹武器的余弹量、舰炮武器的射击状态等; 界面组件负责显示仿真实体的相关信息, 如雷达的 P 显、指控系统的表页显示等。

### 3.2.2 舰艇综合防空反导作战仿真模型体系

舰艇综合防空反导作战仿真模型体系与战术仿真框架的各仿真模块相对应, 包含舰艇平台、指控系统、预警探测系统、火力拦截系统、电子干扰系统、反舰导弹武器系统、防空反导效能评估等七大类组件模型, 如图 3 所示。

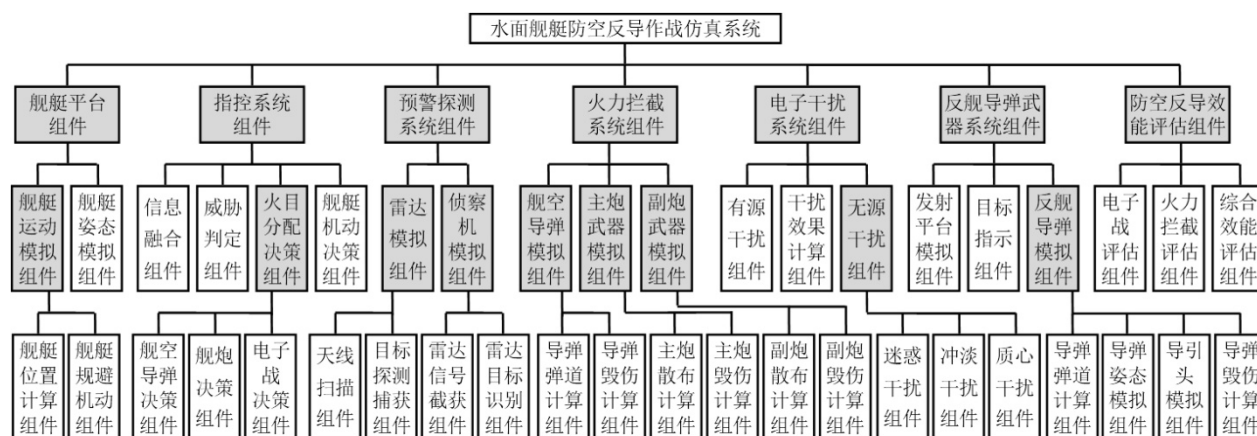


图3 舰艇综合防空反导作战仿真模型体系

图 3 主要描述了算法组件的层次结构, 其中白色背景的为原子组件, 具有深色背景的为复合组件, 各复合组件均对应一个流控组件和状态组件, 7 大类组件模型各对应一个界面组件。

## 3.3 组件模型设计

### 3.3.1 组件总体设计

综合考虑对组件的描述、组件间交互、事件响应等需求, 遵循通用的组件设计规范, 为原子组件设计了基本信息、属性、接口、事件等要素<sup>[10]</sup>。其中, 基本信息用于定义组件的名称、开发者、类

型(live, virtual, and constructive 实况-虚拟-构造)及描述信息等; 属性用于定义组件的初始化信息, 作为组件运行前的初始数据; 接口包括输入接口及输出接口, 用于接收和发送周期性更新的数据, 如舰艇的位置信息; 事件包括监听事件和产生事件, 用于响应和产生偶然性的交互信息, 如导弹发射指令。事件与接口的不同在于, 组件在一个运行周期中可以多次发送相同的事件, 而接口是产生一次, 持续使用。

复合组件除具有原子组件的所有要素外, 其内

部各子组件之间具有关联关系, 子组件与复合组件之间具有映射关系。关联包括接口关联和事件关联, 就是将各子组件的输入接口和输出接口、发送事件和监听事件进行连接; 映射是将子组件级别的属性、接口和事件对应到复合组件的相应要素。以简化的舰载指控系统组件为例, 复合组件的设计如图 4 所示。

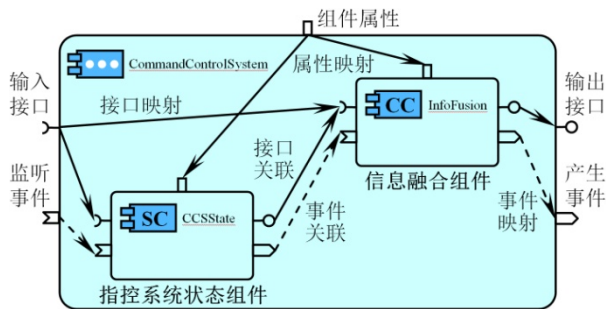


图4 复合组件设计示例

图 4 中, 指控系统复合组件包含 2 个子组件, 分别是指控系统状态组件(状态组件, SC)和信息融合组件(算法组件, CC)。两个子组件之间具有关联关系, 子组件与指控系统复合组件之间具有映射关系。

组件具有未发布和已发布 2 种状态, 组件的发布是指将平台无关模型按照所采用的仿真平台的规范实现, 并选用某种编程语言生成组件代码并最终产生可执行库文件的过程。

### 3.3.2 内部流程设计

组件模型的内部实现包括并行处理的 3 个线程: 信息(包括接口和事件)接收存储线程、信息处理循环线程和信息发送循环线程, 这 3 个线程各自独立运行, 信息处理和信息发送循环可以具有不同的定时周期, 各线程对共享内存资源的使用采用 boost 互斥锁进行权限约束, 保证信息存取的正确性, 如图 5 所示。

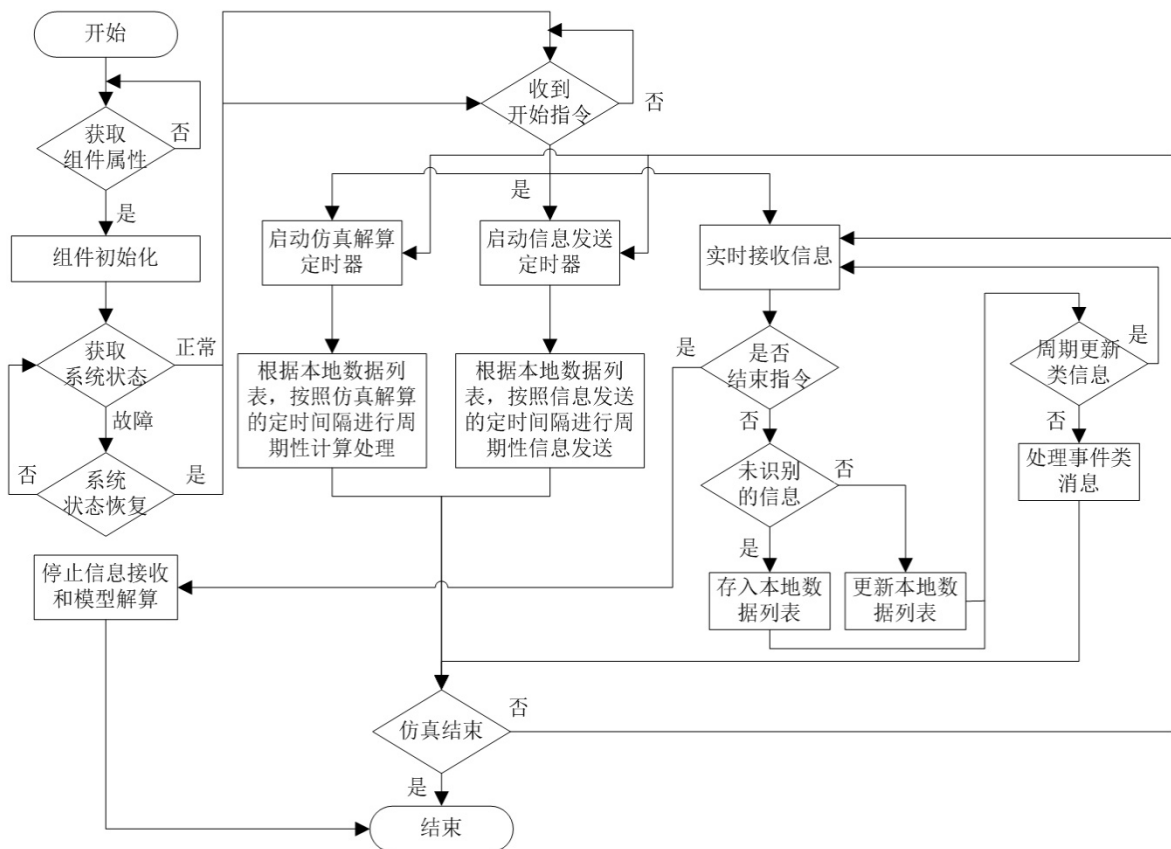


图5 组件模型内部流程设计

### 3.4 组件执行引擎

组件执行引擎用于为组件模型的运行提供支撑,如图 6 所示。其主要功能包括:支持各组件模型在不同节点的灵活部署,可自动识别在当前计算机节点部署的组件模型资源;根据组件内部接口定义关系和接口通讯协议,可自动加载、调度组件模型内部的各子组件,支撑部署的各组件模型资源的独立运行;支持仿真管理控制软件对组件模型的远程运行管控,控制所托管组件模型的运行过程<sup>[11]</sup>;记录组件模型的运行状态情况。

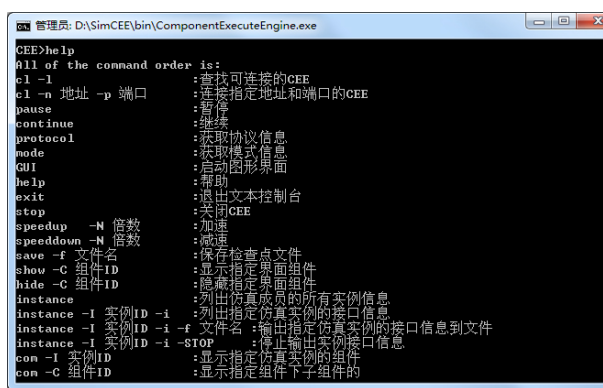


图6 组件执行引擎

### 3.5 仿真运行模式

从运行节点分布特点方面可分为单机运行与分布运行 2 种运行模式;从是否可支持人的参与方面可分为自主闭环运行与人机交互运行两种运行模式。一般在开展装备效能评估和战法研究应用时,采用自主闭环运行模式,且采用单机运行模式,此时,各武器系统组件模型的界面组件可以不被部署运行;在开展模拟训练应用时,采用人机交互运行模式,且采用分布运行模式,此时,需要部署运行界面组件,以供受训人员观察和操控。灵活的运行模式实现了组件模型与运行节点的分离。

为提高各组件模型之间的通信效率,降低网络带宽占用量,在同一计算机节点部署的组件模型之间采用进程间通信方式,部署于不同节点的组件模型之间采用 RT-Space 仿真平台进行组播通信。

## 4 结论

舰艇综合防空反导作战仿真涉及的装备种类多,各装备间交互关系复杂,且同时需要满足效能评估、战法研究和模拟训练等多种应用需求,对建模与仿真的灵活性和可重用性要求较高。本文提出的仿真框架基于组件化思想和 MDA 思想,使得“模型即软件”的理念在作战仿真系统中得到了成功运用,提高了软件的适应能力,模型的重用性、可移植性及可扩展性得到了最大限度的发挥。在具体仿真应用系统设计开发时,系统规划层面,可参考本框架提出的舰艇防空反导作战仿真的模块组成、逻辑关系和仿真流程;在仿真模型技术实现方面,可参考本框架提出的仿真模型组织结构、设计方法和运行机制。为适应装备型号、作战样式及应用种类的多样性需求,仿真框架的通用性水平还需要进一步提高;同时在舰艇防空反导领域建模语言的完善性、软件开发的自动化程度等方面还有较大的拓展完善空间。

### 参考文献:

- [1] 宋辉,周晶,邹文萌.基于HLA的水面舰艇作战仿真系统研究[J].计算机与数字工程,2011,39(9):49-52.
- [2] 杨丽,刘庆峰.水面舰艇一体化防空反导作战研究[J].航天电子对抗,2011,27(5):7-9.
- [3] 金虎,马冬冬,郭新民.水面舰艇单舰反导技术[J].舰船电子工程,2011,31(2):12-14.
- [4] 梁严刚,陈磊,唐国金.面向效能评估的导弹攻防系统仿真框架[J].系统仿真学报,2007,19(17):3978-3980.
- [5] 金斌,宋贵宝,袁洪武.面向效能评估的反舰导弹作战仿真模型框架[J].海军航空工程学院学报,2011,26(4):453-456.
- [6] 郭齐胜,鄧志刚,杨瑞平,等.装备效能评估概论[M].北京:国防工业出版社,2005:179-181.
- [7] 庞雪娇.基于MDA架构的快速开发平台及其应用研究[D].济南:济南大学,2012:9-42.
- [8] 李辉.面向表示层集成的组件模型研究[D].合肥:中国科学技术大学,2011:13-62.
- [9] 张高峰,张志勇,张静瑜,等.基于模型驱动架构的舰载指控系统仿真研究[J].系统仿真学报,2011,23(增刊1):232-236.
- [10] 刘宏芳,彭浩,郭连义.作战仿真系统中的模型管理方法[J].兵工自动化,2011,30(1):28-31.
- [11] 黄建新,李群,余文广,等.基于线程的进程交互仿真框架研究[J].系统仿真学报,2011,23(4):652-658.