

1-8-2019

## Method Research on Collaborative Simulation of Multi-Resolution Models

Gaofeng Zhang

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

Yujie Ji

*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.

---

## Method Research on Collaborative Simulation of Multi-Resolution Models

### Abstract

**Abstract:** The collaborative simulation of multi-resolution models is an effective method to meet the requirement of “wide-area confrontation and local high imitation” in combat simulation. *The generalized supporting platform for multi-resolution models collaborative simulation is constructed, and the collaborative simulation mechanism with mirror entity and control right dynamic migration as core technology is proposed, which can effectively solve the problem of interconnection and homomorphic mapping between multi-resolution models, as well as collaborative operation consistency issues.* Under the support of this technique, the joint operation among different resolution models in a tactical deduction simulation system is stable, efficient and consistent. This makes the simulation of complex combat process more complete and accurate, and meets the needs of multi-level tactics analysis for commanders.

### Keywords

multi-resolution, model, collaborative simulation, mirror entity, consistency issues

### Recommended Citation

Zhang Gaofeng, Ji Yujie. Method Research on Collaborative Simulation of Multi-Resolution Models[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(7): 2525-2532.

## 多分辨率模型的协同仿真方法研究

张高峰, 吉玉洁

(中国人民解放军 91336 部队, 秦皇岛 066326)

**摘要:** 多分辨率模型协同仿真是满足作战仿真中“广域对抗, 局部高仿”需求的一种有效方法。构建了通用化多分辨率模型协同仿真支撑平台, 提出了以镜像实体和控制权动态迁移为核心技术的协同仿真机制, 可有效解决多分辨率模型间的互联互通和同态映射问题, 以及协同运行一致性问题。基于该方法实现了某战法推演仿真系统中不同分辨率模型稳定、高效、一致地联合运行, 使得对复杂作战过程的模拟更完善、更精确, 满足了指挥员多层次作战分析的需要。

**关键词:** 多分辨率; 模型; 协同仿真; 镜像实体; 一致性问题

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 07-2525-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201807012

## Method Research on Collaborative Simulation of Multi-Resolution Models

Zhang Gaofeng, Ji Yujie

(Unit 91336 of PLA, Qinhuangdao 066326, China)

**Abstract:** The collaborative simulation of multi-resolution models is an effective method to meet the requirement of “wide-area confrontation and local high imitation” in combat simulation. *The generalized supporting platform for multi-resolution models collaborative simulation is constructed, and the collaborative simulation mechanism with mirror entity and control right dynamic migration as core technology is proposed, which can effectively solve the problem of interconnection and homomorphic mapping between multi-resolution models, as well as collaborative operation consistency issues.* Under the support of this technique, the joint operation among different resolution models in a tactical deduction simulation system is stable, efficient and consistent. This makes the simulation of complex combat process more complete and accurate, and meets the needs of multi-level tactics analysis for commanders.

**Keywords:** multi-resolution; model; collaborative simulation; mirror entity; consistency issues

## 引言

信息化条件下的现代战争日益复杂多变, 体系对抗受到高度重视, 关键节点效应也越来越突出, 小规模兵力或者单一装备在关键时刻、关键地点完成的作战行动往往会导致战争全局的重大变化<sup>[1]</sup>。



收稿日期: 2017-02-20 修回日期: 2017-05-25;  
作者简介: 张高峰(1980-), 男, 山西寿阳, 本科, 高工, 研究方向为系统建模与仿真、分布式交互仿真; 吉玉洁(1984-), 女, 河南偃师, 硕士, 工程师, 研究方向为多分辨率建模、作战仿真技术应用。

在研究多兵种合同海战过程中, 不仅需要从宏观战术决策上对联合作战行动进行仿真推演, 更需要从微观技术层面研究具体装备作战运用对整个战场态势的影响, 如为研究战场综合电磁环境对作战环境的影响, 需要在装备实体级对电子干扰实施方法和干扰效果进行精细仿真。

根据不同的仿真应用需求对同一作战过程或作战实体进行不同详略程度的模拟, 分别建立不同分辨率的模型, 可以较好地地从不同角度不同层次分析作战问题。而实现不同分辨率模型间的互联、互

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

• 2525 •

通和互操作,即协同仿真,可以实现在一次仿真运行过程中兼顾宏观和微观两个不同层次的作战分析研究需求,具有较高的系统建设效费比,也使得军事研究人员对作战过程的研究具有很强的连续性和针对性。本文在多兵种合同海战战法仿真推演研究背景下,构建了具有一定通用性的多分辨率模型协同仿真支撑平台,提出了镜像实体的概念,采用实体控制权动态迁移机制,对复杂作战模拟中多分辨率模型协同仿真方法进行理论探索和工程实践。

## 1 协同仿真技术

### 1.1 技术需求

多分辨率模型协同仿真必须着力解决系统互联互通和协同运行一致性两个方面的问题。

(1) 系统互联互通方面。互联就是在异构系统间建立信息交互的通道,主要通过硬件网络及通信软件实现。目前,先进分布式仿真 ADS(Advanced Distributed Simulation)和试验与训练使能体系结构 TENA(Test and Training Enabling Architecture)均规定了异构系统互联的标准体系结构<sup>[2]</sup>。互通则主要解决异构系统间通信协议及交互数据的转换问题,使得异构系统间相互发送的数据可被对方正确识别。

目前,异构系统的互联互通主要通过集成法和中间件法实现。集成法就是重新设计仿真应用系统的外部通信技术架构,使其外部通信模块与其它仿真系统规范相一致,该方法要求开发者掌握系统相关源代码,以对系统通信接口进行二次开发,对开发者要求较高、耗时较长,但系统互联后运行效率较高;中间件法是设计特定软件作为异构系统间信息交互的桥梁,各仿真系统通过自身通信格式与中间件软件进行通信,中间件软件负责对接收到的数据进行转换处理,再以特定通信格式将数据发送给相应的仿真系统,该方法不需要对现有仿真系统进行代码修改,开发难度较低,但由于需要通过中间

件软件进行数据中转,系统互联后的运行效率会受到一定影响。

(2) 协同运行一致性方面。一致性问题是指在相同的时空环境和仿真条件下,同一对象的不同分辨率模型之间在实体结构、实体状态等方面彼此一致的程度,也包括各分辨率模型运行的因果关系连贯性。一致性问题包括数据一致性和剧情一致性问题<sup>[3]</sup>。

数据一致性主要指同一对象的不同分辨率模型之间仿真运行数据的一致性。在实体结构上,在战役级视角下,可能看到一个飞机编队进攻一个舰艇编队,默认编队内子实体行动过程相同;在战术视角下,则会看到一个飞机编队的3架飞机进攻一个舰艇编队的3艘舰艇,每个实体具有完全独立的行动过程。在实体状态上,在战役级视角下,一个步长内编队实体的状态是唯一确定的;在战术级视角下,同样仿真时间内可能走过多个步长,每个步长内编队内各实体的状态都可能改变。因此,实体结构的不同和信息产生的不均等是造成不同分辨率模型之间数据一致性偏差的根本原因<sup>[4]</sup>。目前,较多采用映射校准的方法来进行数据一致性维护,即用一种分辨率模型的数据校准另一分辨率模型的数据,来实现不同分辨率模型的暂态一致性。

剧情一致性是指分辨率切换前后仿真剧情的逻辑一致性。低分辨率模型一般涵盖更多的模型范围,如飞机、舰艇、导弹、电子对抗等各种作战实体,而局部高分辨率模型可能只包括其中一种或几种。因此,分辨率转换过程中高分辨率模型无法完全“接力”低分辨率模型的剧情,或者某一分辨率下实体状态受到外界干扰而导致的时序因果关系错乱是仿真剧情割裂的根本原因。目前,较多采用建立虚拟实体对象的方法来避免仿真剧情割裂,即在高分辨率模型中针对缺乏的实体创建虚拟实体对象,运行过程中虚拟实体对象的行为规则被忽略,完全由低分辨率模型更新虚拟实体对象属性,从而解决高分辨率模型中由于缺乏某些实体而导致的剧情无法衔接的问题。

## 1.2 研究现状

ADS 和 TENA 的逐步完善和广泛应用使得异构系统互联更标准化、更易于实现, 多分辨率模型互联是异构系统互联的一种典型形式, ADS 和 TENA 规定的异构系统互联标准体系结构, 为多分辨率模型间的互联互通提供了解决方案<sup>[5]</sup>。

近年来, 国内各科研单位在多分辨率模型协同仿真方面也有了一些有益的研究成果和实践经验。如国防科技大学黄柯棣教授在基于 HLA 协议的多分辨率模型互联方面进行了大量的理论研究, 初步探索了不同分辨率模型的互联应用; 北京航空航天大学的王江云博士在其论文《基于 HLA 的协同仿真环境研究》中初步探讨了不同分辨率模型间的互操作、重用和可组合问题, 并就协同仿真机理进行了有益探索<sup>[6]</sup>。

当前, 对于多分辨率模型协同仿真的研究主要存在两个问题:

一是不同分辨率模型间的互联和集成在理论研究上还不够成熟。一方面, 多分辨率模型协同仿真的概念和研究范畴仍处于提出和探索阶段; 另一方面, 对协同仿真过程中的数据聚合解聚和映射技术、协同运行一致性算法以及技术实现途径等问题的研究还不够深入细致, 尚没有形成统一的可供参考的技术框架。

二是未形成标准化的工程应用规范。虽然多分辨率模型互联可采用 ADS 和 TENA 作为开发标准, 但是实现系统互联只是协同仿真的第一步, 随着信息系统复杂性的提高, 多分辨率模型协同仿真工程实践在数据聚合解聚有效性、剧情一致性、信息兼容性等方面还普遍存在缺乏标准化的工程应用规范指导的问题, 这制约了系统效用的发挥, 必须通过大量的技术探索和实验研究予以解决, 从而为后续的协同仿真应用开发提供规范化的实践参考。

综上所述, 本文主要针对异构系统联合运行面临的现实问题, 研究建立一套具有一定通用性且较为标准化的协同仿真支撑平台, 对基于该支撑平台

的协同仿真机制进行理论研究, 并结合某两组不同分辨率模型的协同仿真问题进行工程实践, 以求为复杂异构系统之间实现联合运行和协同推进提供一套较为可行的解决方案。

## 2 协同仿真支撑平台

多分辨率模型协同仿真时, 针对不同的应用场景, 参与的模型类型、接口协议、时统要求, 以及研究重点等均不尽相同, 为快速实现不同分辨率模型间的互联互通与协同运行, 构建了协同仿真支撑平台(Collaborative Simulation Supporting Platform, 简称 CSSP), 该平台总体上采用面向服务的体系结构 SOA(Service Oriented Architecture), 以松散耦合的方式将不同分辨率的模型集成在一起, 形成有机的整体, 实现信息集成、过程集成与功能集成, 其技术架构如图 1 所示。

CSSP 针对多分辨率模型协同仿真的技术需求, 充分考虑通用性和可扩展性, 综合采用模块化封装、资源式拼装、插件式接入等技术方法, 为用户提供协议适配、聚合解聚、信息传输、实体管理、时间管理、仿真控制和资源管理等协同仿真运行支撑服务, 可支持遵循不同通信协议标准的模型间的信息传输, 可支撑基于实体控制权动态迁移的协同仿真机制, 可支持不同仿真系统间的时间同步管理。

(1) 协议适配模块。可将 UDP、HLA、DDS、TENA 等模型常用的通信协议标准转换为一种中间通信协议标准, 称为统一应用层通信协议, 支持在不改变原有系统对外通信方式的前提下提供系统间的信息交互服务, 从而实现基于不同通信协议标准的模型间的快速互联互通。

(2) 聚合解聚模块。用于完成不同粒度的模型间交互信息的聚合和解聚, 从而实现异构系统间的互理解和一致性运行, 可根据应用场景开发信息接口和相应的数据映射算法, 并逐步积累形成仿真映射算法资源库, 通过算法拼装可快速支撑各类聚合解聚应用。

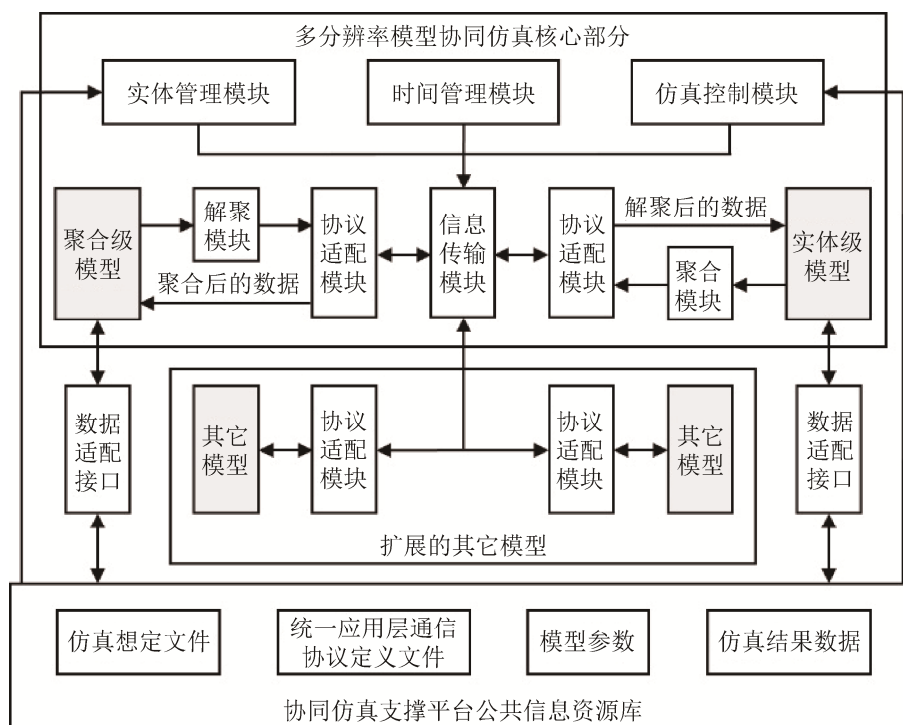


图1 多分辨模型协同仿真支撑平台技术架构

Fig. 1 Multi-resolution models collaborative simulation support platform technology architecture

(3) 信息传输模块。支持按照统一应用层通信协议，基于 RTI、DDS 等通信中间件，以发布订阅的方式实现不同模型间的实时信息交换，支持不同通信中间件之间的灵活切换。

(4) 实体管理模块。负责在多分辨率模型协同运行过程中，在不同系统间维护同类实体的状态一致性，完成镜像实体的创建和销毁，完成实体控制权的迁移控制。

(5) 时间管理模块。负责协同仿真运行时的时间推进管理，该模块在仿真过程中作为一个单独的时间管理成员加入仿真运行，采用严格逻辑时钟同步的时间同步策略，支持实时与非实时两种时间推进控制方式，支持变步长时间推进控制。

(6) 仿真控制模块。用于读取并分发仿真想定、控制仿真进程、控制仿真时间推进比例。

(7) 公共信息资源库。用于存储各分辨率模型的共用信息资源，包括仿真想定文件、统一应用层通信协议定义文件、模型参数、仿真结果数据等，各模型通过数据适配接口进行资源读取与存储。

### 3 协同仿真机制

下面从数据映射、实体控制、时间管理、互联扩展等几个方面对 CSSP 所支撑的核心的协同仿真原理进行介绍。

#### 3.1 数据映射机制

系统间交互的目的是传递数据和交换信息，因此交互双方的模型必须处于同一分辨率，处于不同分辨率的模型不能直接交互<sup>[7]</sup>。如同人们分析讨论军事问题，要么在战役层面，要么在战术层面，才具备讨论的前提条件，才有可能达成一致。基于聚合解聚的数据映射是实现不同分辨率模型之间协调一致地进行交互的必要条件。数据映射的方法不要求两个异构系统必须遵循统一标准，两个系统仍然按照各自应用领域的的数据标准和通信方式，而是采用一定的映射方法使两个系统能够对另一方不同标准的数据进行顺畅接收和正确理解<sup>[4]</sup>。数据映射涉及通信协议转换、数据聚合解聚、实时信息传输等三个方面，分别由 CSSP 的协议适配模块、聚

合解聚模块和信息传输模块支持。

以水面舰艇为例, 重点说明在多分辨率模型应用过程中聚合解聚的一般方法。聚合级模型中的水面舰艇为单一实体, 其对舰载软硬武器系统的模拟为实体内部功能, 且算法实现较为简单, 一般基于经验数据以毁伤概率的方法实现; 实体级模型则可能分别对舰载软硬武器系统进行模拟, 如建立舰空导弹系统、有源干扰系统和无源干扰系统等实体, 这些实体往往实现为机理级仿真模型, 通过较为复杂的运算过程得出毁伤结果和干扰效果, 有的甚至可能会将不同的导弹发射架和无源干扰弹发射架分别处理。因此, 如果想实现这两组分辨率的模型协同仿真, 就必须开发相应的转换算法, 使得在任何时刻, 知道聚合级模型中舰空导弹对目标的毁伤结果, 就能通过解聚算法得出实体级模型中各枚舰空导弹的毁伤结果。反过来, 知道实体级模型中各枚舰空导弹对目标的毁伤结果, 就能通过聚合算法得出聚合级模型中舰空导弹的毁伤结果。在实际应用过程中, 数据映射的需求往往比上述情况更为复杂, 同样需要开发对应的聚合解聚算法, 建立映射机制, 以保证不同分辨率模型间数据交互的需求。

### 3.2 实体控制机制

两组不同分辨率的模型, 即使相互间已建立了数据映射关系, 还需要确保两组模型仿真过程与仿真结果一致且合理, 以实现两组模型的协调一致运行。本文提出采用镜像实体的概念, 通过实体控制权动态迁移机制来实现多分辨率模型间的数据一致性和剧情一致性, 该功能由 CSSP 的实体管理模块支持。

在聚合级模型中, 可根据需要将部分内部仿真对象设置为实体级模型中对应实体的镜像实体, 如可将水面舰艇平台的指控系统、雷达、防空导弹、电子对抗装备等设置为镜像实体, 这些镜像实体在仿真过程中将由 CSSP 的实体管理模块动态激活和销毁, 并完全接受外部模型(实体级模型)的控制。与此类似, 实体级模型同样可以将内部的装备级仿

真对象设置为镜像实体。

在某组模型中设置的镜像实体, 将代替本组模型内部对应实体的功能和接口, 被代替的实体将暂时停止工作, 直至镜像实体被销毁, 镜像实体是作为另一分辨率模型中对应实体的镜像而存在的, 因此镜像实体没有自己的行为规则, 完全接受外部模型的控制, 但是为了将外部仿真数据转换为本模型可以识别的数据, 镜像实体的运行还是需要聚合解聚算法的支持, 在 CSSP 的支撑下, 该功能由聚合解聚模块支持。镜像实体需要根据仿真分析需求在仿真运行前预先建立, 需要涉及到对原模型的代码修改, 以实现内部仿真功能的动态交接。在仿真运行开始后, 各镜像实体均处于静默状态, 只有被实体管理模块激活后才开始工作, 一旦一个镜像实体被激活, 它能够被本组模型中的其它实体和外部模型实时发现, 除具备被代替实体的交互接口外, 还具备接受实体管理模块控制的管理控制类接口。实体管理模块根据模型的请求激活和销毁镜像实体, 镜像实体被激活后, 实体的控制权由本组模型迁移至外部模型; 镜像实体被销毁后, 实体的控制权将交还原模型。实体控制权动态迁移机理如图 2 所示。

在协同仿真系统中, 为保证数据一致性, 同一仿真对象的两个不同分辨率实体的控制权在某一仿真时刻只能归其中一个实体所有<sup>[8]</sup>, 或者是原仿真实体, 或者是由镜像实体代表的外部仿真实体, 仿真过程中可根据需要在两个实体之间动态迁移控制权。在多分辨率模型协同仿真的实际应用中, 为避免剧情割裂的问题, 一般以其中某一种分辨率的模型运行为主, 如以聚合级模型运行为主, 只是在需要重点分析的环节将聚合级模型中的低分辨率实体以镜像实体的方式替换为实体级模型中的高分辨率实体<sup>[9]</sup>, 高分辨率实体在开始运行前由实体管理模块负责对其进行初始化, 剧情推进以聚合级模型为准, 这样既可降低协同仿真系统构建的难度, 也可有效避免由于实体级模型缺乏部分实体而造成的剧情无法“接力”的问题。

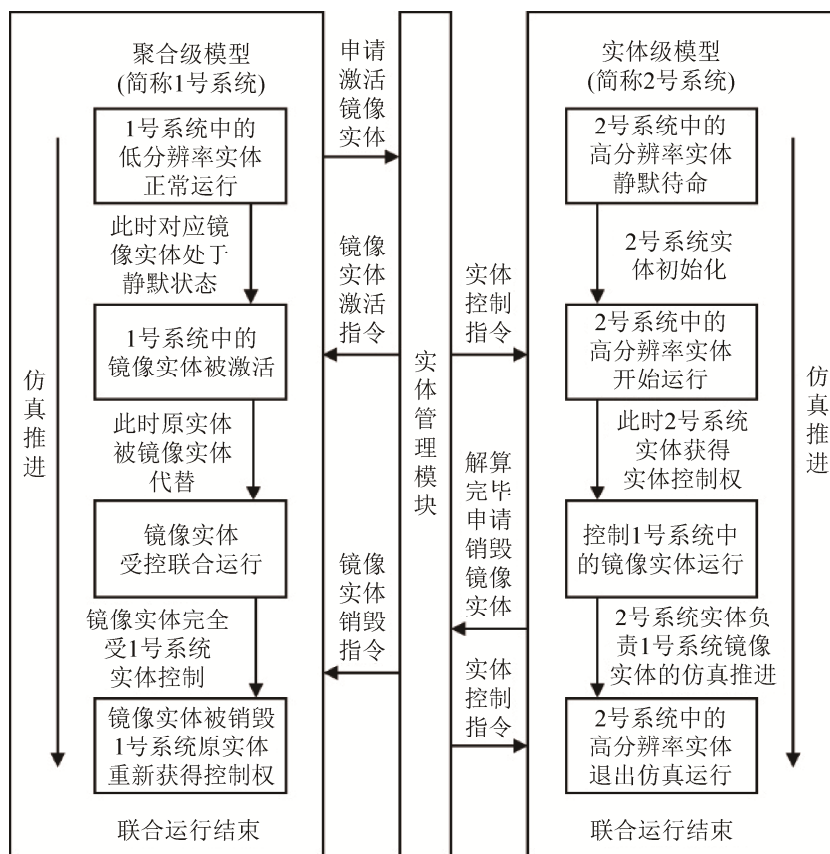


图2 实体控制权动态迁移机理

Fig. 2 Dynamic migration mechanism of entity control right

### 3.3 时间管理机制

基于 CSSP 的协同仿真, 将把低分辨率模型和高分辨率模型分别设置为两个仿真成员, 并设置一个单独的时间管理成员来进行时间推进协调, 该功能由 CSSP 的时间管理模块支持。多分辨率模型协同仿真涉及到的时间管理问题主要包括两个方面: 仿真成员间的时间同步和仿真剧情推进速度控制。

仿真成员间的时间同步关注的是事件在各仿真成员中按一致的顺序发生的问题。不同分辨率仿真成员的时间推进速度可能是不一样的, 如果成员间的交互信息不能保持时间一致, 可能会发生时间混乱和因果倒置的问题<sup>[4]</sup>。为解决这一问题, 由时间管理模块来统一协调时间推进, 各成员的时间推进均受时间管理模块的控制, 支持实时推进与比例推进两种时间推进策略。

仿真剧情推进速度控制解决的是变步长时间推进的问题。时间管理模块可根据仿真运行事件发

生的密度动态调整仿真步长。事件密度较小, 则适当加大仿真步长; 事件密度较大, 则缩小仿真步长。仿真剧情推进的时间管理通过规划剧情运行的关键点来完成, 如准确设定实体控制权迁移的时机, 配置低分辨率模型与高分辨率模型的步长跨度比例等, 以准确协调仿真运行进度, 保证每个仿真环节的逻辑一致性。

### 3.4 互联扩展机制

CSSP 具备根据仿真应用的实际需要灵活快速接入其它模型的能力, 通过不断扩充 CSSP 协议适配模块的适配协议类型和聚合解聚模块的算法, 可支持具有不同技术架构、通信方式和分辨率水平的模型高效接入协同仿真运行。外部模型接入协同仿真运行需满足以下几个条件: 一是模型的初始数据与其它模型保持逻辑一致; 二是提供系统通信协议向统一应用层通信协议的转换算法; 三是在模型分



分辨率不一致的情况下应提供聚合解聚算法;四是根据应用需求完成模型内部镜像实体的建立,并实现相关控制接口;五是模型应按照时间管理成员的控制推进仿真时间。

#### 4 仿真实例与运行结果分析

在前述讨论的基础上,本文基于协同仿真支撑平台 CSSP 搭建了多兵种合同海战战法推演协同仿真系统,由作战平台级粒度的聚合级模型和武器装备级粒度的实体级模型构成。聚合级模型主要面向多兵种联合作战行动的推演和裁决,该组模型将合同海战涉及的水面舰艇、岸基阵地、航空兵、潜艇等兵力类型中的单个作战平台作为基本实体,这个层次的模型关注作战平台整体的作战性能、战术使用和作战效果;实体级模型主要面向武器装备级的对抗推演,该组模型将各作战平台搭载的指控系统、导弹武器、电子战系统等武器装备作为基本实体,这个层次的模型关注装备之间的对抗机理和对抗效果。

在仿真推演过程中,作战指挥员既需要掌握整体作战进程和各种兵力的综合运用效果这些宏观的信息,也比较关注电子战武器的战术使用方法和作战使用性能这类微观的信息。根据应用需求,将聚合级模型作为协同仿真研究的主线,实体级模型作为聚合级模型的补充,主要面向电子对抗过程的精细推演,当作战过程涉及到电子对抗效果仿真时,相关实体控制权迁移至实体级模型。

以多兵种合同海战中的导弹攻防协同仿真作战片段为例,聚合级模型中的航空兵发射导弹攻击水面舰艇,反舰导弹末制导雷达开机后,将聚合级的反舰导弹、舰载电子战武器装备实体的控制权均迁移至实体级模型,实体级模型利用导弹运动、雷达导引头、雷达侦察、有源干扰、无源干扰等模型对基于电子对抗手段的导弹防御过程进行精细仿真,电子对抗过程结束后,聚合级模型收回实体控制权,继续接下来的导弹攻防过程仿真。导弹攻防协同仿真流程如图 3 所示。

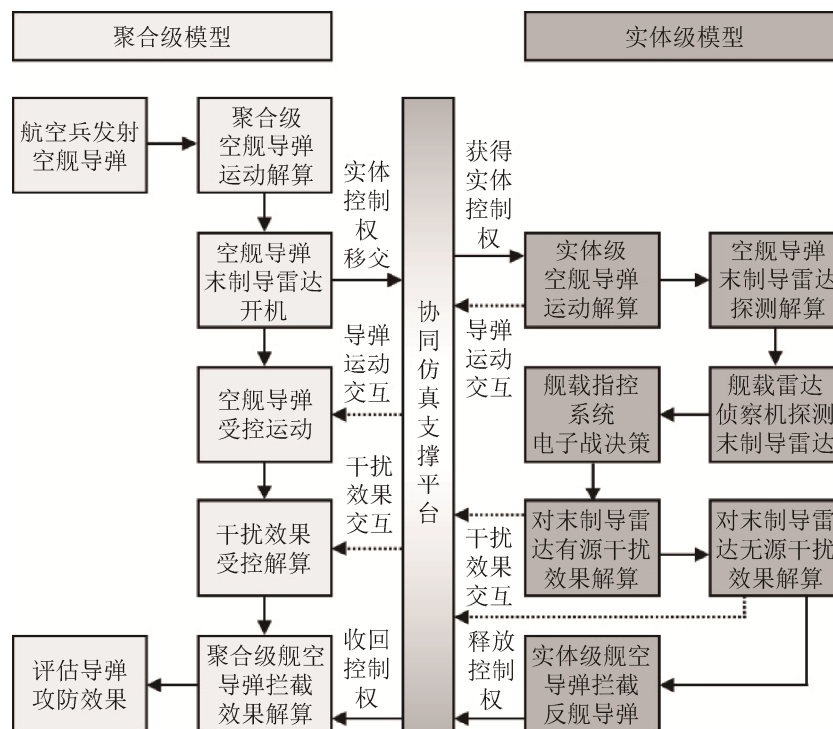


图 3 导弹攻防协同仿真流程

Fig. 3 The collaborative simulation process of missile attack and defense

到本文截稿时为止,多兵种合同海战战法推演仿真系统已经实现了3组不同分辨率模型的联合运行和协同仿真,支持了复杂战场环境下对海突击、综合预警、联合反导等仿真推演应用,并经过了3次40余人参加的大规模仿真推演任务检验,各组模型联合运行稳定、高效、一致,协调机制有效,仿真结果可靠,达到了预期的系统设计目标。表明基于协同仿真支撑平台CSSP实现多分辨率模型联合运行是完全可行的,证明了以镜像实体和控制权动态迁移为核心技术的协同仿真机制的有效性。

## 5 结论

多分辨率模型协同仿真是满足作战仿真中“广域对抗,局部高仿”需求的一种有效方法。系统间的互联互通和同态映射问题,以及统一的协调运行机制,是多分辨率模型实时交互和协同运行必须解决的关键问题。本文研究构建了基于镜像实体和控制权动态迁移技术的通用性较强的协同仿真支撑平台,并在多兵种合同海战战法仿真推演中得到成功应用,实现了多分辨模型的互联互通和协同运行,使得对复杂作战过程的模拟更完善、更精确,满足了指挥员多层次作战分析的需要,具有显著的军事、经济意义和学术参考价值,应用前景广泛。后续将逐步提高支撑平台的标准化程度,并在协同运行一致性评估方法方面开展深入研究。

## 参考文献:

- [1] 周忠旺,柳少军. 基于EBI框架的战争模拟多分辨率概念建模[J]. 计算机仿真, 2014, 31(9): 1-5.  
ZHOU Zhong-wang, LIU Shao-jun. Multi-Resolution Conceptual Modeling in War Game Based on EBI Framework [J]. Computer Simulation, 2014, 31(9): 1-5.
- [2] 王国玉,冯润明,陈永光. 无边界靶场[M]. 北京:国防工业出版社, 2007: 186-188.  
WANG Guo-yu, FENG Run-ming, CHEN Yong-guang. Borderless Range [M]. Beijing: National Defense

Industry Press, 2007: 186-188.

- [3] 周忠旺,柳少军,吴琳,等. 基于委托模式的多分辨率联合仿真[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(4): 33-37.  
ZHOU Zhong-wang, LIU Shao-jun, WU Lin, et al. Research on Multi-Resolution Joint Simulation Based on Delegation Pattern [J]. Fire Control and Command Control, 2015, 40(4): 33-37.
- [4] 周忠旺,柳少军. 战争模拟多分辨率联合仿真关键技术研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2014, 28(2): 70-76.  
ZHOU Zhong-wang, LIU Shao-jun. Key Technology Research on Multi-Resolution Joint Simulation in War Game [J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2014, 28(2): 70-76.
- [5] 蔡继红,卿杜政,谢宝娣. 支持LVC互操作的分布式联合仿真技术研究[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(1): 93-97.  
CAI Ji-hong, QING Du-zheng, XIE Bao-di. Research of Joint Simulation Platform Supporting Interoperability of LVC [J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(1): 93-97.
- [6] 迟刚,胡晓峰,吴琳. 异构模型系统协同仿真与联合运行研究[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(11): 2704-2708.  
CHI Gang, HU Xiao-feng, WU Lin. Research of Coordinated Simulation and Joint Action among Heterogenous Model Systems [J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(11): 2704-2708.
- [7] 李京伟. 多分辨率建模在航母战斗群作战仿真中的应用研究[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(8): 1924-1929.  
LI Jing-wei. Research on Application of Multi-Resolution Modeling in Carrier Combat Group Operation Simulation [J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(8): 1924-1929.
- [8] 朱滨,朱敏洁,周深根. 多分辨率模型一致性维护模块的设计与实现[J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37(5): 128-132.  
ZHU Bin, ZHU Min-jie, ZHOU Shen-gen. Design and Implementation on Consistency Maintenance Module of Multi-Resolution Model [J]. Command Control & Simulation, 2015, 37(5): 128-132.
- [9] 朱敏洁,周深根. 多分辨率模型转换的触发机制[J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37(5): 44-47.  
ZHU Min-jie, ZHOU Shen-gen. Multi-Resolution Combat Model Triggering Mechanism [J]. Command Control & Simulation, 2015, 37(5): 44-47.