

2-16-2023

Design of System Combat Simulation Platform for Complex Electromagnetic Environment

Baiyuan Ding

1.PLA 96901 Troops, Beijing 100094, China;; dingbaiyuan_nudt@163.com

Fuling Mu

2.Beijing Fangzhou Technology Co. Ltd, Beijing 100144, China;

Yunpeng Li

3.No. 8511 Research Institute, CASIC, Nanjing 320100, China;

Zhongkuan Chen

2.Beijing Fangzhou Technology Co. Ltd, Beijing 100144, China;

See next page for additional authors

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.

Design of System Combat Simulation Platform for Complex Electromagnetic Environment

Abstract

Abstract: War gaming and simulation can be divided into four levels of strategy、campaign、tactics and technique. Existing system combat simulation platforms of campaign and tactics at home and abroad cannot drive the special model of electromagnetic equipment in technique level, resulting in the low fidelity of battlefield complex electromagnetic environment simulation. To solve the problem, flexible analysis modeling and exercise system (FLAMES) model architecture as the reference, based on the simulation engine library of a discrete event system simulator (ADEVS), a *flexible operation simulation platform (FOSim)* is designed and developed, which integrates three levels of campaign, tactics and technology, supports three levels independence simulation step of system, entity and component and can be adjusted in simulation process. By driving special model in technology level, more granular electromagnetic equipment model is adopted to support the simulation circuit of campaign and tactics operation on FOSim, and the high fidelity complex electromagnetic environment generation and electromagnetic environment effect simulation are realized in large-scale campaign and tactics combat simulation.

Keywords

system combat simulation, complex electromagnetic environment, simulation platform, flexible analysis modeling and exercise system (FLAMES), a discrete event system simulator (ADEVS)

Authors

Baiyuan Ding, Fuling Mu, Yunpeng Li, Zhongkuan Chen, and Chengyu Liu

Recommended Citation

Baiyuan Ding, Fuling Mu, Yunpeng Li, Zhongkuan Chen, Chengyu Liu. Design of System Combat Simulation Platform for Complex Electromagnetic Environment[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(2): 330-338.

面向复杂电磁环境的体系作战仿真平台设计

丁柏圆¹, 穆富岭², 李云鹏³, 陈忠宽², 刘承禹¹

(1. 96901 部队, 北京 100094; 2. 北京方州科技有限公司, 北京 100144; 3. 中国航天科工集团有限公司 8511 研究所, 南京 320100)

摘要: 战争模拟可划分为战略、战役、战术和技术 4 个层级。国内外现有战役战术级体系作战仿真平台无法驱动技术层电磁设备专用模型, 导致其战场复杂电磁环境仿真逼真度受限。借鉴柔性分析建模与训练平台(flexible analysis modeling and exercise system, FLAMES)系统模型体系架构, 基于离散事件仿真系统(a discrete event system simulator, ADEVS)引擎模拟库, 设计开发了一套融合战役、战术和技术 3 个层级, 支持系统、实体和组件三级独立仿真步长设置且动态可调的柔性作战仿真平台柔性作战仿真平台(flexible operation simulation, FOSim)。通过驱动技术层专用模型, 该平台可将更细粒度电磁设备模型纳入体系作战仿真回路, 从而在大规模的战役战术级体系作战仿真中实现高逼真度的复杂电磁环境生成和电磁环境影响效应模拟。

关键词: 体系作战仿真; 复杂电磁环境; 仿真平台; 柔性分析建模与训练平台; 离散事件仿真系统中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2023)02-0330-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.21-1098

引用格式: 丁柏圆, 穆富岭, 李云鹏, 等. 面向复杂电磁环境的体系作战仿真平台设计[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(2): 330-338.**Reference format:** Ding Baiyuan, Mu Fuling, Li Yunpeng, et al. Design of System Combat Simulation Platform for Complex Electromagnetic Environment[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(2): 330-338.

Design of System Combat Simulation Platform for Complex Electromagnetic Environment

Ding Baiyuan¹, Mu Fuling², Li Yunpeng³, Chen Zhongkuan², Liu Chengyu¹

(1. PLA 96901 Troops, Beijing 100094, China; 2. Beijing Fangzhou Technology Co. Ltd, Beijing 100144, China; 3. No. 8511 Research Institute, CASIC, Nanjing 320100, China)

Abstract: War gaming and simulation can be divided into four levels of strategy, campaign, tactics and technique. Existing system combat simulation platforms of campaign and tactics at home and abroad cannot drive the special model of electromagnetic equipment in technique level, resulting in the low fidelity of battlefield complex electromagnetic environment simulation. To solve the problem, flexible analysis modeling and exercise system(FLAMES) model architecture as the reference, based on the simulation engine library of a discrete event system simulator(ADEVS), a flexible operation simulation platform (FOSim) is designed and developed, which integrates three levels of campaign, tactics and technology, supports three levels independence simulation step of system, entity and component and can be adjusted in simulation process. By driving special model in technology level, more granular electromagnetic equipment model is adopted to support the simulation circuit of campaign and tactics operation on FOSim, and the high fidelity complex electromagnetic environment generation and electromagnetic environment effect simulation are realized in large-scale campaign and tactics combat simulation.

Keywords: system combat simulation; complex electromagnetic environment; simulation platform; flexible analysis modeling and exercise system(FLAMES); a discrete event system simulator(ADEVS)

收稿日期: 2021-10-28 修回日期: 2022-01-13

基金项目: 国家自然科学基金(62001501)

第一作者: 丁柏圆(1990-), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为电子对抗与仿真。E-mail: dingbaiyuan_nudt@163.com

0 引言

战争模拟的层次从上往下划分为战略、战役、战术、技术 4 个层级^[1], 越往上层建模粒度越粗、越注重定性指挥决策的模拟, 越往下层建模粒度越细、越注重定量技术机理的模拟。传统的战役战术级体系作战仿真平台主要针对战役层和战术层, 重点是开展各类作战任务的指挥、协同和战斗活动仿真, 用于支撑的各类电磁设备模型都是采用通用公式, 只能简单反映电磁环境在空域和能量域上的主要特点, 对时域和频域上的描述严重不足, 也无法反映不同电磁设备的具体技术特性。在现代信息化战场上, 交战双方激烈对抗所产生的多类型、全频谱、高密度的电磁辐射信号, 以及己方大量使用电子设备引起的相互影响和干扰, 形成了在时域上突发多变、在空域上纵横交错、在频域上拥挤重叠、在能量域上相辅相消的复杂战场电磁环境, 严重影响着武器装备作战效能、作战指挥和部队作战行动。因此, 为提高战役战术级体系作战仿真的逼真度, 必须将技术层更细粒度的专用电磁装备模型(如雷达、通信、导航等)纳入仿真回路, 在战役、战术层次合成数字电磁环境并进行电磁环境影响效应模拟。

上述需求对传统的战役战术级体系作战仿真平台是一个不小的技术挑战, 这一技术挑战主要体现在模型驱动方面: 在传统的战役战术级体系作战仿真平台中, 所有模型只能基于同一个仿真步长进行驱动和数据交互, 而技术层的电磁装备模型多是基于装备原理构建的专用模型, 其仿真步长按型号固定且不可外部设置(以典型脉冲雷达仿真为例, 其仿真步长必须采用雷达资源调度帧周期, 不同型号雷达、同一型号雷达的不同工作模式其帧周期也各不相同)。在体系作战仿真中集成多类、多型专用电磁设备模型时, 传统的战役战术级体系作战仿真平台只有一个仿真步长, 只能取所有模型仿真步长的最大公约数或最小公倍数。采用最大公约数的仿真步长设置方法, 数据同步周期过小(甚至 1 ms

内), 难以满足战场大规模实体仿真的运算效率要求; 采用最小公倍数的仿真步长设置方法, 同步周期过大, 各类电磁设备仿真模型分别运算多个周期才能同步一次, 无法满足战场复杂电磁环境在空、时、频、能领域的同步精度要求。

为此, 本文借鉴国外柔性分析建模与训练平台^[2](flexible analysis modeling and exercise system, FLAMES)仿真平台的组件化模型体系架构和实体模型装配技术, 基于离散事件仿真系统(a discrete event system simulator, ADEVS)开源引擎及其模型开发与装配技术, 设计开发了一个融合战役、战术和技术 3 个层级, 支持系统、实体和组件 3 级独立仿真步长设置且仿真步长动态可调的柔性作战仿真平台。该平台可开发与集成战役、战术和技术 3 个层次的仿真模型, 能够将技术层细粒度电磁设备专用模型与战术层武器装备通用功能模型相结合, 以支撑战术层各类武器装备交战活动和战役层各类作战任务的仿真, 从而高逼真度地实现了战场复杂电磁环境下的体系作战仿真过程。

1 组件化的模型体系架构设计

1.1 基于 FLAMES 的模型体系架构设计

FLAMES 是由美国 Ternion 公司研制的一个国际上先进的商业化仿真平台, 其开放地构造仿真模型体系架构, 可以支撑战役、战术层级各类武器装备的作战任务和交战活动仿真。然而, 与现有其他战役战术级体系作战仿真平台一样, FLAMES 全系统只能设置一个仿真步长, 限制了其对技术层专用模型的集成。

本文针对复杂电磁环境仿真需求, 在 FLAMES 模型体系架构的基础上, 增加了电磁背景、电波传播、地海杂波、决策树和交互事件 5 类组件模型, 从而设计出柔性作战仿真平台的组件化模型体系架构, 如图 1 所示, 主要包括环境模型、实体模型、辅助模型和交互模型四大类 26 种组件模型。

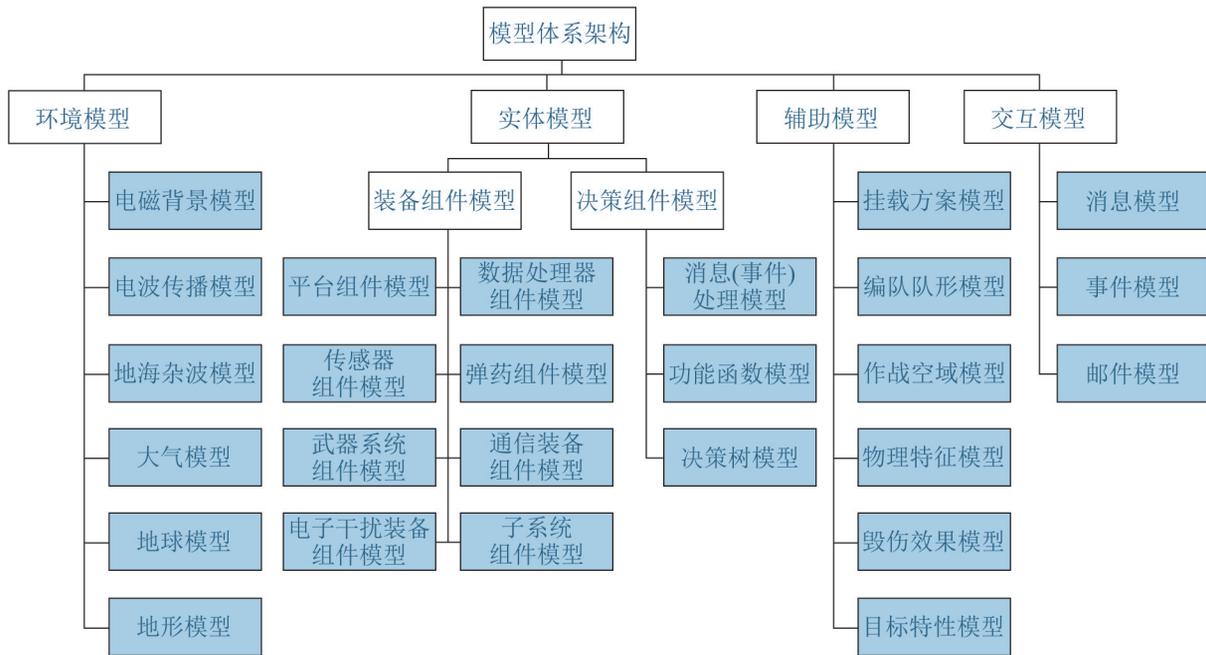


图1 组件化模型体系架构
Fig. 1 Component model architecture

图1中，环境模型、装备组件模型、决策组件模型、辅助模型和交互模型都属于模型分类并没有具体模型，而实体模型则是基于组件模型装配的具体仿真实体模型。此外，在平台、传感器、武器系统、通信装备、电子干扰装备等装备组件模型无法满足建模粒度需要时，可利用子系统组件模型对其进行更细粒度的建模，如构建传感器模型的天线模型。

(1) 环境模型

环境模型用于自然环境、气象环境和电磁环境的模拟，主要包括电磁背景、电波传播、地海杂波、大气、地球和地形6类组件模型。

(2) 实体模型

实体模型用于各类作战仿真实体的模拟，采用组件化建模方法，由决策组件模型和平台、传感器、武器系统、电子干扰装备、通信装备等11类装备组件模型通过脚本组装而成。

(3) 辅助模型

辅助模型用于辅助实体模型完成作战任务和交战活动，主要包括面向任务的挂载方案、编队

队形和作战空域，以及面向交战活动的物理特征、毁伤效果和目标特性6类组件模型。

(4) 交互模型

交互模型用于各类作战仿真实体之间、实体内部各组件模型之间的交互数据模拟，主要包括消息、事件和邮件3类。

1.2 本文拓展的组件模型具体功能设计

图1中，原FLAMES组件模型的具体功能见文献[3-5]，此处不再详述。本文拓展的电磁背景模型、电波传播模型、地海杂波模型、决策树模型和事件模型5类组件具体功能如下：

(1) 电磁背景模型

电磁背景模型用于自然环境和民用电磁设备合成的战场环境噪声的模拟，通常采用经验公式或通过基于实测数据的查表方式进行建模^[6-8]，也可根据仿真需求进一步细化。

(2) 电波传播模型

电波传播模型用于电磁波在不同媒质中传播时的衰减计算，通常包括天波传播、地波传播、视距传播等16种电波传播传输损耗计算模型，可

以根据作战场景、设备类型、传播链路和天线高度等信息自动选择^[9-10]。

(3) 地海杂波模型

地海杂波模型用于不同地形地貌、不同海情条件下的不同频段地海杂波生成模拟, 通常基于经验公式进行建模(可基于实测数据进行校验)^[11-12], 也可根据仿真需求进一步细化。

(4) 决策树模型

决策树模型是对原 FLAMES 功能函数模型的拓展, 将功能函数模型增加输出参数定义(原来只有输入参数定义)作为决策元模型^[13], 再通过“与”(&&)、“或”(||)门和启动条件连接多个决策元模型形成决策树模型, 如图2所示。图2中A1~A6均为决策元模型; A1、A2任意一个事件完成后, A3和A4均可根据自定义的条件启动; A4、A5必须全部完成后, A6和A2才能根据自定义的条件启动。

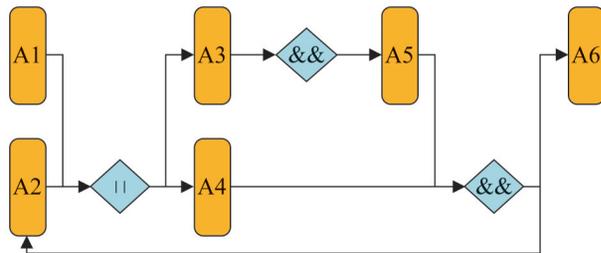


图2 决策树模型
Fig. 2 Decision tree model

(5) 事件模型

事件模型用于仿真实体之间自然存在的不经过通信装备的数据交互模拟, 如爆炸毁伤、电磁波激励、声呐激励等。事件模型也可在不进行通信仿真时代替消息模型描述指挥指令、控制指令、目标轨迹等, 以减少传输环节、提高系统运算效率。

2 支持组件并行的模型驱动设计

2.1 FLAMES 与 ADEVS 相结合的组件模型设计

ADEVS 是一个开源、高效的跨平台离散事件

模拟库, 提供了离散/连续事件仿真建模框架和并行驱动引擎, 其工作原理如图3所示。

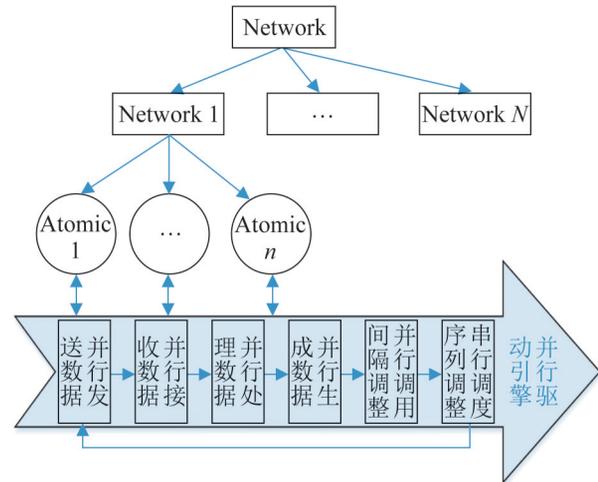


图3 ADEVS 工作原理
Fig. 3 Operating principle of ADEVS

ADEVS 主要由 Atomic 原子模型、Network 路由模型和并行驱动引擎构成: Atomic 原子模型用于实现具体功能, 可响应输入数据、内部处理数据和生成输出数据, 可在并行驱动引擎中设置启动时间和启动时间间隔, 每执行一次之后可调整下一次启动时间; Network 路由模型可包括多个 Atomic 原子模型且可多级级联, 可处理下属 Atomic 之间、Atomic 与 Network 之间、Network 与 Network 之间的输入输出数据, 支持动态增加和删除下属 Network 和 Atomic; 并行驱动引擎对所有 Atomic 按启动时间先后进行排序, 从前到后分6个步骤驱动同一时刻的所有 Atomic, 即并行发送数据、并行接收数据、并行处理数据、并行生成数据、并行调用间隔调整和串行调度序列调整, 详见文献[14]。

为了能够基于 ADEVS 的并行驱动引擎来驱动上述基于 FLAMES 设计的模型体系架构, 本文在组件模型中融合了 Atomic 模型。图1中, 所有26类组件模型按调用方法可分为两大类: ①驱动型组件模型, 主要包括实体模型中的8类装备组件模型和3类决策组件模型, 在仿真过程中需要仿

真引擎来直接驱动进行运算；②资源型组件模型，主要包括环境、辅助和交互 3 类模型中的 15 类组件模型，在仿真过程中可作为仿真资源由其他模型进行调用。与资源型组件模型相比，驱动型组件模型多了一个按时间调度函数(主要用于 8 类装备组件模型)或一个按事件调度函数(主要用于 3 类决策组件模型)。

本文的组件模型融合设计方法：

(1) 对每一个驱动型组件模型都关联一个 Atomic 模型；

(2) 在 Atomic 的并行数据接收环节，存储需要组件模型处理的输入数据；

(3) 在 Atomic 的并行数据处理环节，驱动组件模型的按时间调度函数或按事件调度函数进行输入数据处理、内部状态转移和输出数据生成；

(4) 在 Atomic 的并行数据生成环节，将所有生成的输出数据发送给上级 Network，由 Network 下一步进行分发；

(5) 在并行调用间隔调整环节，根据对应组件模型的功能需求调整并行驱动引擎下一次调用当前 Atomic 的时间(对于 8 类装备组件模型相当于动态调整组件模型仿真步长)。

2.2 FLAMES 与 ADEVS 相结合的实体模型装配设计

基于柔性作战仿真平台构建作战仿真系统，其主要工作就是建立陆、海、空、天、电各类武器装备仿真实体的模型。参照 FLAMES 实体模型装配方法，仿真实体模型的通用组成结构如图 4 所示。

如图 4 所示，主要通过实体描述脚本和模型参数指定 2 种方式将各类装备模型对象和决策模型对象组装成仿真实体对象。在执行作战任务时，仿真实体还需要另外附加目标特性、挂载方案等各类辅助组件模型对象。其中，面向任务的挂载方案、编队队形和作战空域 3 类组件模型，可根据作战任务的需要在仿真过程中动态加卸载。

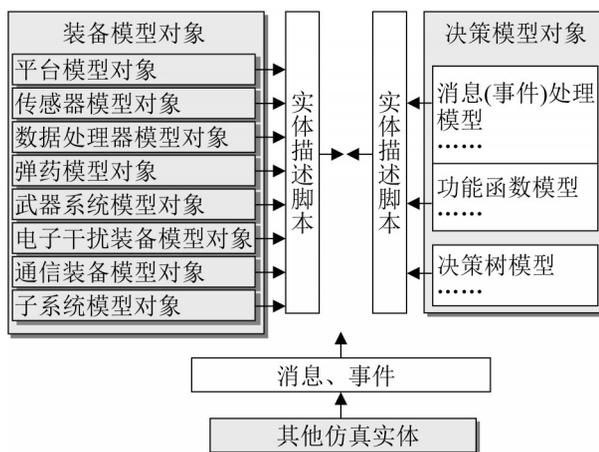


图 4 仿真实体模型通用组成结构
Fig. 4 General composition structure of simulation model

默认情况下，仿真实体不具有任何功能，只有在组装了具体的平台、传感器、数据处理器和武器等模型时，实体才具有相应的作战功能，通过子系统模型的扩展还可以实现更为复杂的作战功能(如雷达天线、信号处理器等)，本文主要是在原 FLAMES 组装脚本的基础上增加了决策树绑定脚本。

为了能够基于 ADEVS 的并行驱动引擎来驱动基于 FLAMES 设计和装配的模型体系，在实体模型装配中融合了 ADEVS 的 Network 模型设计方法：

(1) 按图 4 所示方法进行仿真实体模型组装，每一个实体模型对应构建一个 Network 模型；

(2) 将实体下属所有驱动型组件模型对应的 Atomic 注册到对应的 Network 模型中；

(3) 在仿真过程中，仿真实体通过对应的 Network 模型完成实体内部和外部的数据交互。

2.3 基于 ADEVS 的组件模型并行驱动架构设计

本文利用 Network 可以多级级联的特点，新建一个信息交互中心 Network，并将基于想定生成的所有实体模型的 Network 模型注册到信息交互中心 Network，从而实现了仿真实体与仿真实体之间的数据交互。通过以上所述的组件模型融合设

计、实体模型融合设计和信息交互中心 Network 模型设计, 本文设计了一个可基于 ADEVS 并行驱动引擎来驱动的战战役战术级体系作战仿真平台架

构, 如图 5 所示。图中, 信息交互中心既可接收外部的人工干预, 也将内部的仿真数据输出给外部系统用于在线存储和显示。

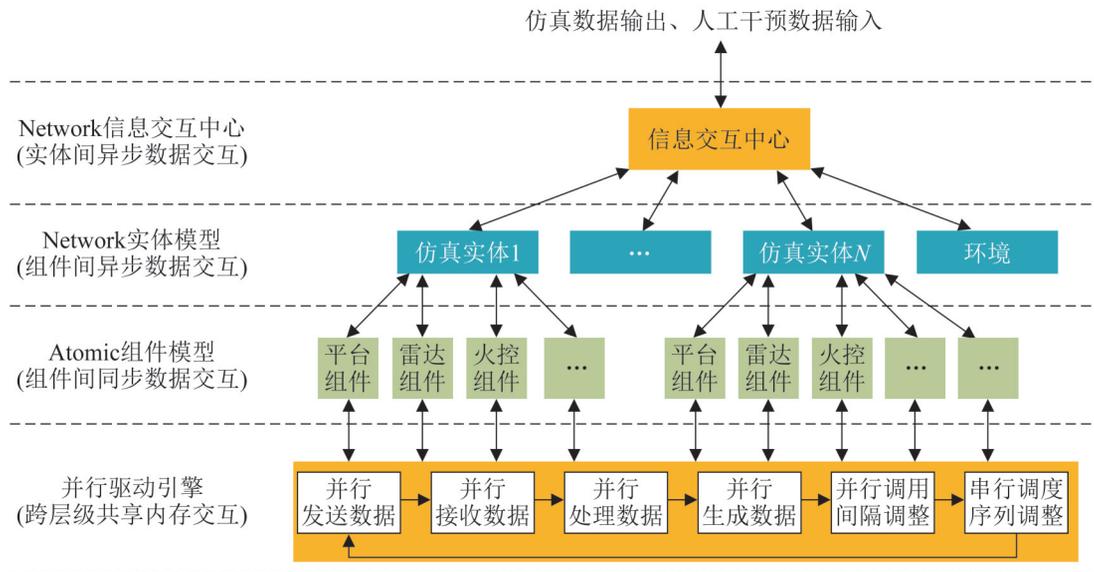


图 5 基于 ADEVS 的组件模型并行驱动架构
Fig. 5 Parallel driven architecture of component model based on ADEVS

图 5 所示的并行驱动架构, 主要基于 ADEVS 的并行驱动引擎, 驱动所有关联 Atomic 模型的驱动型组件模型(主要包括 8 类装备组件模型和 3 类决策组件模型), 通过对应 Network 的实体模型实现组件之间、组件与实体之间的数据交互, 通过 Network 信息交互中心实现实体之间的数据交互。该架构可实现系统、实体和组件 3 级独立仿真步长设置且仿真步长动态可调, 其具体方法如下:

- (1) 全系统可设置一个仿真步长, 作为所有仿真实体、所有组件模型的默认仿真步长;
- (2) 每个仿真实体只能装配一个平台组件, 因此, 可将平台组件的仿真步长作为实体仿真步长, 利用对应 Atomic 模型调用间隔动态可调整的功能, 在仿真过程中仿真平台可根据运动速度的变化动态调整实体仿真步长, 以确保卫星、导弹、飞机、舰船等不同实体在不同速度条件下每一步距离跨度相同, 从而在提高实体相对位置计算精度的同时保证全系统大规模运算效率;
- (3) 加载了技术层专用模型的雷达、通信装备

等组件模型, 可根据模型本身的需要设置单独的仿真步长, 同样利用对应 Atomic 模型调用间隔动态可调整的功能, 在仿真过程中根据调度策略动态调整组件模型自己的仿真步长。

3 多层级的体系作战仿真模型交互设计

为满足体系级作战仿真模型的大量交互开发需求, 本文综合利用 ADEVS 模型和 FLAMES 模型交互原理, 设计了多层级的体系作战仿真模型交互方法, 如图 5 所示, 主要包括实体间异步数据交互、组件间异步数据交互、组件间同步数据交互和跨层级共享内存交互 4 种。其中, “异步”是指不阻塞当前代码运行; “同步”是指阻塞当前代码运行。前 3 种交互的具体内容可由模型开发人员自定义, 跨层级共享内存交互则是由仿真平台内部定义由模型使用。

(1) 实体间异步数据交互

实体间的异步数据交互, 是通过信息交互中

心 Network 模型的路由功能来实现的, 主要包括图 1 所示的消息模型和事件模型 2 种。消息模型和事件模型对信息交互中心 Network 模型来说都是一样的, 它们的不同点在于: 对于消息模型(对象), 发送实体在发送时需要调用下属通信装备组件模型来判断与接收实体的通信装备组件模型是否在同一个通信网络内, 接收实体在接收时需要调用下属通信装备组件模型来判断双方通信装备在空、时、频、能领域上能否联通, 再调用决策模型中的消息(事件)处理模型进行处理; 对于事件模型(对象), 则没有上述通信处理过程, 发送实体直接发送, 接收实体收到后直接调用决策模型中的消息(事件)处理模型进行处理。

(2) 组件间异步数据交互

组件间异步数据交互, 主要用于同一仿真实体装配的多个功能函数模型之间的相互调用。每个仿真实体都有一个功能函数目录, 由其装配的所有功能函数模型在加载时进行注册、在卸载时进行注销。当组件模型中的一个功能函数模型要启动另一个功能函数模型时, 直接将启动命令发送给所属仿真实体, 由仿真实体根据目录进行调用和启动。

(3) 组件间同步数据交互

组件间同步数据交互, 主要用于组件模型之间的数据查询和数据修改。这类交互完全参照 FLAMES 的模型交互机制: 每个组件模型都有 Query 和 Alter 2 个组件间交互函数; 当一个组件模型对另一个组件模型发出查询或修改指令时, 仿真平台将当前指令封装成邮件模型, 再将邮件模型交给另一个组件模型的 Query 和 Alter 函数来处理; 如果是查询指令, 则由组件模型的 Query 函数进行处理, 并将返回值压入邮件模型带回给发送指令的组件使用; 如果是修改指令, 则由组件模型的 Alter 函数进行处理, 没有返回值。要注意的是, 由于各个组件模型是并行驱动的, 在 Alter 函数中修改数据时要进行内存互锁, 避免与本身的模型数据修改代码产生并发访问冲突。

(4) 跨层级共享内存交互

对于常用的数据, 如仿真实体的生存状态、位置、速度、加速度、姿态等, 仿真平台设计了共享内存, 存储了所有仿真实体的常用数据, 每一步仿真后动态更新, 可供所有仿真实体模型、组件模型直接查询使用, 但不能修改。

4 基于流程的平台交互界面设计

本文借鉴国外 FLAMES 仿真平台, 基于 ADEVS 离散事件模拟库设计的柔性作战仿真平台已经开发完成, 简称 FOSIM(flexible operation simulation system), 其主界面如图 6 所示, 其人机交互设计思路主要参考了面向体系论证的仿真应用流程。

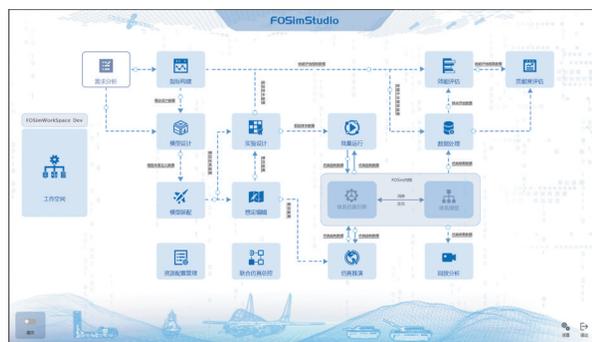


图6 FOSIM主界面

Fig. 6 Home page of FOSIM

基于本平台开展体系作战仿真实验的主要流程如下。

(1) 指标构建: 针对仿真实验需求, 设计输出结果数据表, 构建作战效能评估指标体系, 建立基于输出结果数据表的底层指标计算模型。

(2) 模型设计: 针对仿真实验需求和输出结果要求, 设计并开发各类组件模型。

(3) 模型装配: 对开发完成的组件模型进行型号化参数装订, 再基于型号化的组件模型装配武器装备模型。

(4) 想定编辑: 加载武器装备模型, 基于二维 GIS 地图进行武器装备的部署、指挥关系设置和作战任务设置, 形成仿真实验想定。

(5) 仿真推演: 加载仿真实验想定和武器装备模型, 自动生成数字兵力并基于三维 GIS 地图进行推演, 在推演过程中支持人工干预(通常也用于模型和想定的调试)。

(6) 实验设计: 加载基于仿真推演调试通过的仿真实验想定和武器装备模型, 提取关键参数设置多个水平值, 基于正交设计、均匀设计等方法生成多个仿真实验样本。

(7) 批量运行: 加载仿真实验样本并设置每个样本的运算次数, 启动仿真引擎进行多样本并行的批量仿真运算(无界面显示), 输出仿真过程和结果。

(8) 回放分析: 加载仿真过程数据, 基于三维 GIS 地图进行事后回放分析。

(9) 数量处理: 根据评估要求, 可加载外部实验数据、其他仿真系统数据对当前系统仿真结果数据进行预处理。

(10) 效能评估: 仿真结果数据和作战效能评估指标体系, 进行当前想定(任务)条件下的体系作战效能评估和分析, 为武器装备关键指标论证和作战使用方法研究提供支撑。

(11) 贡献度评估: 加载同一武器装备体系完成的多个任务(想定)的效能评估结果, 设置各任务的权重, 通过加权聚合计算分析关键武器装备在武器装备体系中的贡献度。

5 平台应用情况及存在的问题

该平台已经成功应用于某全数字仿真系统的建设, 能够基于各类武器装备的专用电磁设备模型和电子对抗决策库以及相应的环境模型库, 在作战全流程重构战场复杂电磁环境。在该系统的大规模测试想定中, 包括各型导弹 100 枚和各型海面装备 40 个, 每枚导弹采用组件化方法装载导弹平台组件 1 个(采用功能级通用模型)、制导与控制组件 1 个(采用功能级通用模型)和导引头组件 2 个(采用技术级专用模型), 每个海面装备装载舰船平台组件 1 个(采用功能级通用模型)、雷达组件 2 个(采用功能级通用模型)和干扰机组件 2 个(采用

功能级通用模型)。基于该想定, 采用 4 个至强 CPU、80 个核的工作站, 全系统仿真步长 0.5 s 时能够以 10 倍以上加速比进行超实时仿真。每枚导弹上 2 个导引头仿真步长单独设置, 可同时采用不同工作模式和不同仿真步长(0.04~0.1 s)进行协同探测, 有效解决了不同步长模型在同一仿真系统、同一仿真实体中的高效推进问题; 导弹平台、海面装备可根据自身速度变化自动调整仿真步长, 以确保每个仿真步进距离跨度都是 10 m, 有效解决了以往同一仿真步长下各类武器装备运动速度差异过大带来的交汇计算精度问题。通过具体应用发现, 当前 FOSIM 平台除了稳定性问题外, 还有以下几个问题需要注意:

(1) 模型开发问题。由于 FOSIM 平台中同一仿真实体的多个组件模型也是并行驱动, 组件之间在修改数据时应尽量使用异步交互, 以避免并发访问冲突。

(2) 系统调试问题。基于 FOSIM 开开的仿真系统引擎和模型相对分离, 虽然降低了模型开发人员的技术门槛, 但也增加了系统调试的难度, 后续仿真引擎需要增加调试运行模式以辅助模型开发人员进行系统调试。

(3) 运算效率问题。FOSIM 平台底层的 ADEVS 并行驱动引擎将所有仿真实体的所有驱动型组件都视为独立可调度的模块进行统一排序, 引擎本身资源消耗很高, 系统运算效率受 CPU 主频影响很大。

此外, 系统的稳定性还有待进一步提高, 在实际开发过程中, 频发的系统崩溃问题严重拖累了整体的研制进度。

6 结论

本文设计开发了一套跨层级、全要素、组件化的体系作战仿真平台, 仿真层次跨战役、战术和技术 3 层, 模型粒度跨作战编队和单个装备、设备组件 3 种, 仿真环境涵盖自然环境、人为环境和电磁环境, 仿真对象涵盖多型作战装备, 集

成了模型设计、想定编辑、实验设计、仿真运行和效能评估等全流程的仿真工具集，支持装备组件、装备实体和装备聚合体的多层次联合仿真，可为作战概念演示验证、武器装备论证、装备试验鉴定和作战模拟训练等仿真研究提供环境支撑。

通过实际应用，该平台相对于国内外其他体系仿真平台的突出特点得到了有效验证，但系统的功能和成熟度还有待进一步的完善和提高。

参考文献:

- [1] 胡晓峰. 战争复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2005.
Hu Xiaofeng. Modeling and Simulation of War Complex System[M]. Beijing: National Defence University Press, 2005.
- [2] 陈欣. 美军建模仿真对象模型体系框架研究[M]. 北京: 军事科学出版社, 2008.
Chen Xin. Simulation Object Model Architecture Framework of U. S. Military Research[M]. Beijing: Military Science Press, 2008.
- [3] 魏江龙, 杨世荣, 张明刚, 等. FLAMES仿真系统中目标毁伤仿真的实现[J]. 指挥控制与仿真, 2011, 33(3): 83-85.
Wei Jianglong, Yang Shirong, Zhang Minggang, et al. Target Damage Simulation Method in FLAMES Simulation System[J]. Command Control & Simulation, 2011, 33(3): 83-85.
- [4] 王俊达, 卿杜政. 柔性可扩展装备体系对抗仿真建模框架研究[J]. 现代防御技术, 2020, 48(4): 122-131.
Wang Junda, Qing Duzheng. Research on Flexible and Extensible Modeling Framework for Warfare Equipment Confrontation Simulation[J]. Modern Defence Technology, 2020, 48(4): 122-131.
- [5] 任晔, 车万方, 曹秀云. 体系环境下的雷达导引头仿真测试环境[J]. 系统仿真技术, 2018, 14(4): 297-303.
Ren Ye, Che Wanfang, Cao Xiuyun. Simulation Test Environment of Radar Seeker under System Background [J]. System Simulation Technology, 2018, 14(4): 297-303.
- [6] 时磊, 刘江波, 熊永坤. 靶场复杂电磁环境构建方法研究[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(7): 138-140.
Shi Lei, Liu Jiangbo, Xiong Yongkun. Range Method of Building Complex Electromagnetic Environment Research[J]. Ship Electronic Engineering, 2018, 38(7): 138-140.
- [7] 时磊, 王东阳. 复杂电磁环境效应分析及环境控制实现与研究[J]. 电子世界, 2018(14): 34-35.
Shi Lei, Wang Dongyang. Analysis Of Complex Electromagnetic Environmental Effects And Environmental Control Research[J]. Electronics World, 2018(14): 34-35.
- [8] 姜博文, 姜勤波, 齐世举, 等. 战场复杂电磁环境仿真平台的设计方案研究[J]. 现代防御技术, 2018, 46(2): 208-213.
Jiang Bowen, Jiang Qinbo, Qi Shiju, et al. Design of Complex Electromagnetic Environment Simulation Platform in Battlefield[J]. Modern Defence Technology, 2018, 46(2): 208-213.
- [9] 汤云革, 王满喜, 周食未, 等. 无线电波传播特性模拟计算方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2020.
Tang Yunge, Wang Manxi, Zhou Shilei, et al. Simulation Calculation Method Of Radio Wave Propagation Characteristics[M]. Xi'an: XiDian University Press, 2020.
- [10] 郭立新, 弓树宏, 吴振森, 等. 对流层传播与散射及其对无线系统的影响[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.
Guo Lixin, Gong Shuhong, Wu Zhensen, et al. Tropospheric Propagation and Scattering Impact on Wireless Systems[M]. Xi'an: XiDian University Press, 2018.
- [11] 陈岩, 李艳艳, 杨立波, 等. 地海杂波统计特性研究概述[J]. 空天防御, 2020, 3(4): 44-51.
Chen Yan, Li Yanyan, Yang Libo, et al. An Overview of Statistical Characteristics of Ground-Sea Clutter[J]. Air & Space Defense, 2020, 3(4): 44-51.
- [12] 高铮, 张安清. 海杂波典型幅度分布模型的仿真分析[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(9): 76-78.
Gao Zhen, Zhang Anqing. Simulation Analysis of Typical Amplitude Distribution Model of Sea Clutter[J]. Ship Electronic Engineering, 2018, 38(9): 76-78.
- [13] 侯国超. 作战仿真实体组件模型化构建方法设计[J]. 舰船电子对抗, 2021, 44(4): 48-52.
Hou Guochao. Design of Componentization Construction Method for Combat Simulation Entity Model[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2021, 44(4): 48-52.
- [14] Bernard P Zeigler, Hessam S Sarjoughian. 体系建模与仿真: 基础与实践[M]. 张霖, 宋晓, 吴迎年译. 北京: 清华大学出版社, 2018.
Bernard P Zeigler, Hessam S Sarjoughian. Guide to Modeling and Simulation of Systems of Systems[M]. Translated by Zhang Lin, Song Xiao, Wu Yingnian. Beijing: Tsinghua University Press, 2018.