

战争系统的分析仿真实验

杨镜宇, 胡晓峰

国防大学信息作战与指挥训练教研部, 北京 100091

[摘要] 作为一个典型的复杂系统, 战争系统的分析与实验应该符合信息化战争条件下体系对抗、整体性和动态性特征的要求。将自顶向下的战争分析与计算实验方法相结合, 提出了战争分析仿真实验的概念, 并对其模式、阶段以及基本框架进行了理论研究和探讨。重点研究了探索性仿真实验方法及其关键技术, 简要介绍了支撑战争分析仿真实验的实验平台。

[关键词] 战争系统; 战争分析仿真实验; 探索性仿真实验; 体系建模

[中图分类号] E911, TP391.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)06-0054-06

Analytical Simulation Experiments of War System

YANG Jingyu, HU Xiaofeng

Department of Information Operation and Command Training, National Defense University of PLA, Beijing 100091, China

Abstract: The analysis and experiments of the war system, as a typical complex system, should meet a series of requirements, such as the system of systems encounter, their integrity and dynamic characteristics under the conditions of information warfare. With the up-down warfare analysis methods being integrated into the Computational Experiments, the conception of Simulation based Warfare Analysis Experiment (SWAE) is proposed. Its modes, phases and basic framework are discussed. This paper focuses on the exploratory simulation experiment method and its key technique, and also briefly describes the experiment environment support to the warfare analysis simulation.

Key Words: war system; simulation based warfare analysis experiment; exploratory simulation experiment; system of systems modeling

CLC Numbers: E911, TP391.9

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)06-0054-06

0 引言

长期以来, 军事科学之所以被人称之为“艺术”, 主要是因为人们很难直接对战争系统进行重复实验, 许多至关重要的复杂战争过程和规律无法用传统牛顿科学的实验方法进行还原分析和实验分析, 这直接导致了人们对战争系统的科学实验, 特别是涉及到大量人的决策行为的、具有体系对抗特征的高层战争问题的科学实验存在着疑问。

传统的作战模拟是以确定模型和随机模型为基础, 其根本的思想基础是还原论, 即将所研究的问题进行分解, 直到分解为可以解决的小问题为止, 将所有小问题解决后, 大问题便自然解决了。这种传统方法对于研究线性系统是有效的, 但对于有着明显非线性特征

的战争系统是很难奏效的。因此, 必须另辟蹊径, 从方法学和技术途径等方面寻找出路, 在分析理念和实验技术上有所突破。随着信息化时代的到来, 科学实验方法与计算机仿真模拟的结合而产生的计算实验方法, 为探索战争复杂系统的规律和研究信息化战争的演化发展提供了一条很好的思路。

本文针对战争系统高度不确定性以及体系分析顶层设计的特点, 利用计算实验方法研究战争系统, 用战争系统的体系分析来指导仿真实验, 提出了战争分析仿真实验的概念, 在此基础上, 针对战争系统研究和探索的需求, 提出了一种探索性仿真实验方法, 强调在高度复杂和不确定条件下, 按照自顶向下探索性建模的思路设计多维分析空间, 通过在虚拟战争空间中的大

收稿日期: 2007-02-02

作者简介: 杨镜宇, 男, 北京市海淀区红山口甲 3 号国防大学信息作战与指挥训练教研部, 副教授, 主要研究方向为体系建模与仿真等; E-mail: yangjyu@yahoo.com.cn

量可重复受控计算实验,探索未来战争规律,并通过一个仿真实验平台的设计和实现来验证提出的理论。

1 战争系统的计算实验:战争分析仿真

1.1 计算实验

计算实验方法源自计算机仿真,原是一种指利用数值手段求解描述物理或化学过程的微分或差分方程方法,当前更多是对系统动态离散事件和混合系统的行为模拟,这种方法由于结合了复杂系统建模与仿真的思想,在社会科学领域立即找到了立足之地,也为研究军事科学开启了一条工程化的道路。就如圣菲学派的约翰·卡斯蒂的观点一样^[1],计算机仿真实验是自近代以来科学方法论的又一场革命。由于计算实验方法的快速发展,我们在历史上第一次处在与伽利略时代的科学家们相同的位置上。“我们不再被迫生活在假言性的阴暗世界中,或仅仅敲下实际系统的碎片,孤立地研究这些碎片,期望可以将这一大块片面的知识重新拼成对整体系统本身的理解”。“我们现在拥有了一种必要的工具,可以用来建立复杂系统的理论,这些理论最终将可以与牛顿及其继承者所发展的用来描述简单质点系统的力学过程的理论相媲美”。

1.2 战争分析仿真

人们面对不确定信息条件下的复杂系统时,一般会具备有限理性和合理决策行为,也就是会不断地将人的动态认知反馈到决策分析行为过程中,有人把这种思路称为“复杂性在人脑之中”。由于战争系统分析具有天然的顶层设计的特点,因此,笔者将自顶向下的体系分析与计算实验的思路相结合,提出了战争分析仿真实验的概念。所谓战争分析仿真实验^[2](简称战争分析仿真,Simulation based Warfare Analysis Experiment, SWAE),就是战争分析人员对战争问题的设计、规划、仿真实验、评估的动态反馈实验过程。战争分析仿真将分析人员对战争问题的认知过程与计算机仿真实验结合起来,将分析人员在各种想定背景条件下设计规划的多种方案,以及各种方案的各种可能因素,在虚拟战争系统中进行多样本的受控仿真实验,从海量实验数据结果找出与实验分析目标相关的因素和条件,并不断修正分析人员的知识,最终用数据来解释达成分析目标的关键因素和具体办法。这种技术路线一方面充分利用人(一个团队)的决策控制和规划能力,强调人对战争问题的分析、设计和控制;另一方面,充分利用计算机的计算能力,强调对大量不确定战争空间的探索计算,从实验数据中找到战争的规律。

1.3 战争分析仿真的 3 种模式

一般对实验效用有 3 方面的解释:① 确定以前没有试过的一些事情的效果;② 解释假说的有效性;③ 演示一个已知的知识。按照这 3 种解释,可以将战争分

析仿真实验划分成为以下 3 类模式。

1) 发现模式

发现模式(Discovery Experiment)的实验目的是确定潜在的军事效益、产生新的作战思想、创新战法等。这种实验模式一般用于形成作战概念阶段,通过实验,提出创新的提议,产生观点和理论假说。由于可借鉴的知识较少,需要打破常规。就算对实验进行了仔细的观察,这种观察的结果通常很难提供足够的信息和证据来形成有效的结论。一般来讲,虽然发现模式的实验在其极值上是可以观测的,但由于缺少对战争系统内部因果关系的控制和掌握,经常会因为缺乏案例和测试数据而无法支持有效的统计推理,因此是一个比较艰难、同时也是比较费时的过程,需要从大量的因素中找到与结果关联紧密的因素。然而这些限制并不能成为阻碍发现模式仿真实验的障碍。一些新的作战概念、理念以及技术都得益于这种方法。比如,美军的联合 2010、联合 2020 的概念首先就是从发现模式开始。特别是在信息化战争的今天,可借鉴的经验很少,需要勇敢地进行理论创新,而理论创新不能从假设到假设、从理论到理论,应该将创新的理论通过发现模式的仿真实验来检验,再通过进一步实验形成作战概念。

2) 假言模式

假言模式(Hypothesis Testing Experiment)实验是一种经典的实验模式,一般可以用“如果……那么……”来表示,从科学意义上讲,通过假言型实验,可以更深入地构建知识体系,加深人们对相关知识领域的理解。为了引导假言模式实验,实验者一般假设一个场景,在这种态势下,对一个或者多个因变量(dependent variable)进行观察和测量。同时,通过自变量(independent variable)的变化来观测输出因变量的变化,也就是建立起原因-效果之间的变化关系表。同时,不管是通过经验还是通过统计处理,其他潜在的相关因素(控制变量,control variable)都尽量维持不变。事实上,假言模式实验的结果一般都会出现“如其他条件一样,则不会出现异常的情境”,无论如何控制还是操作,都是这样的结果。这种情况的产生是因为其假设的设置不能反映客观战争系统的现实,也就是说,并没有找到对结果敏感的原因。因为自变量、因变量以及控制变量的数目巨大,从中找出是比较困难的。因此,可以采取探索性的策略来设计假言模式的实验。不过,这种探索可能会出现组合爆炸,一方面要采取一些方法来减少不确定的输入参数,另一方面,需要多组人员一起来进行假言性探索实验,加快实验效率。

3) 实证模式(Demonstration Experiment)

或称为演示验证模式。当从一定条件的作战环境和想定背景获得的先验知识被确认后,一般采用实证模式实验。通过敏感性分析方法,在给定范围内评估战

争规律的适用范围, 并采用恰当的手段对这些验证的知识进行演示和展示, 使人们更加了解这些先验知识。实证模式是为了展示理论的正确性, 一般来讲不会产生新的知识, 而会显示已经存在的知识, 只是这些知识并不被别人熟悉而已。因此, 需要提前定义和设置好想定、参与者等初始参数。实证模式的仿真实验一般不会采用多次重复的样式, 只是实验展示这种知识的正确性, 通过展示来证实已经明确的作战概念和作战知识。美军的先期技术概念演示、先期概念演示以及当前提出的作战能力概念演示都属于这种模式。

1.4 战争分析仿真的 3 个阶段

战争分析仿真实验过程一般分为实验准备阶段 (Pre-Experiment Phase)、实验运行阶段 (Experiment Phase) 以及实验分析 (Post-Experiment Phase) 阶段 (如图 1 所示)。它反映了战争分析仿真实验的生命周期, 体现了从定性到定量的分析, 再从定量向定性综合不断螺旋上升的过程。

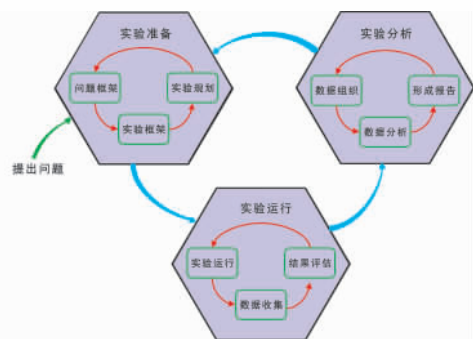


图 1 战争分析仿真实验的 3 个阶段

Fig. 1 Three phases of SWAE

仿真实验准备阶段主要进行实验规划和开发, 需要回答“我们要研究什么或者思考什么”, 其次是通过实验计划详细描述“实验将采取什么策略, 具体干什么”。主要包括 3 项活动: ① 进行初步问题的设计和规划; ② 建立实验框架, 明确描述实验内容; ③ 进行实验的详细规划。

实验实施阶段产生实验数据, 主要是按照实验的设计进行可控实验, 即在后台运行实验并产生实验数据, 主要包括 3 项活动: ① 实验运行; ② 数据收集; ③ 结果评估。

实验分析阶段是通过各种工具或者人脑的分析, 进行数据抽取、数据组织、数据挖掘和数据分析, 从实验产生的数据中找到其中的奥秘和规律。主要包括 3 项活动: ① 数据组织; ② 数据分析; ③ 形成报告。

战争分析仿真实验强调实验准备、实验实施和实验分析, 是一个不断循环、迭代和反馈的过程, 最终形成分析结论。因此, 战争分析仿真实验各种实验模式的不同阶段是可以重叠的。如图 2 所示, 前一种实验模式

的实验分析阶段紧接着下一种模式的实验准备阶段, 且准备的基础一般是上一模式实验所得的实验结果。

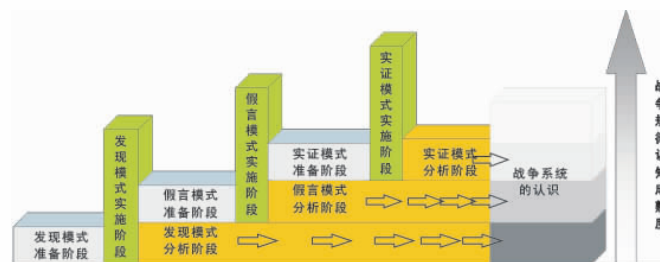


图 2 战争分析仿真实验的全过程

Fig. 2 Whole process of SWAE

1.5 战争分析仿真实验的基本框架

从战争分析仿真实验的生命周期可以看出它是从定性到定量的分析, 再从定量向定性综合分析并不断螺旋上升的过程。图 3 是战争分析仿真实验的基本框架, 它从战争问题提出开始, 在决策分析模型组的支持下, 确定研究分析的问题及其边界, 找出问题的顶层目标, 构建形成问题的指标体系, 并在指标体系的牵引下规划战争行动; 从初始状态集和决策策略集中挑选若干参量作为可控的实验输入参数, 并设置分析策略 (例如单一分析、敏感性分析或者探索性分析); 通过仿真运行管理控制仿真实验, 数据收集和评估; 然后, 按照分析策略对仿真实验的结果进行综合分析, 最后得出分析报告。

从图 3 中可以看出, 战争分析仿真实验的总体框架包括 3 部分内容: ① 实验设计, 包括问题域的问题设计和实验域的仿真实验规划; ② 实验的管理和控制, 将整个战争整体概念的开发与底层组分模型联系起来, 其实质是如何用模型来支撑仿真实验的全过程, 包括对决策分析类模型的调用、仿真模型的运行控制、仿真过程数据的收集以及仿真结果评估模型的管理与控制; ③ 实验结果的综合分析, 通过各种分析工具和手段找出实验输入和输出之间的联系, 从数据中探寻知识和规律。

在图 3 所示的框架中, 实验设计具有核心作用, 它规定了仿真实验的运行管理以及仿真实验结果的综合分析过程, 起到了战争系统仿真分析与实验框架的总体规划作用。实验设计必须明确 4 部分设计内容: ① 逻辑层面的问题框架设计, 从战争问题的结构化开始, 包括确定研究分析的问题, 及问题的边界、问题的顶层目标 (因变量), 包括用什么指标来度量, 该指标期望的范围等; ② 在问题框架下构建目标价值评估指标体系, 主要是建立 (预测) 起输入 (自变量) 和顶层目标 (因变量) 之间的关系, 也就是建立起原因和期望效果之间的关联体系, 其中自变量的设计既包括初始时刻战争系统

的状态参量,也包括战争系统演化过程中若干决策点的策略变量;③进行战争计划的拟制,也就是战争系统的演化过程;④进行仿真实验设计,实验的运行规划是从实验运行的视角来设计仿真实验。

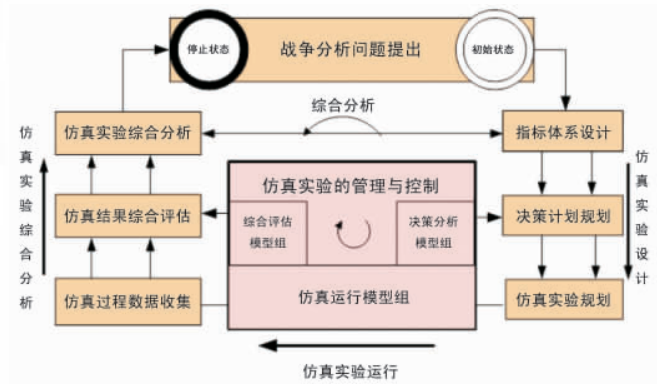


图 3 战争分析仿真实验的基本框架

Fig. 3 Basic framework of SWAE

2 一种战争分析仿真的实践:探索性仿真实验

2.1 探索性仿真实验方法

1994 年,美国兰德(Rand)公司的 Steve Bankes 在“计算实验与探索性模型”一文中介绍了一种基于探索性建模及适应性策略的方法,它能够在广大范围的不确定性问题空间中找到一种合适的解决方案。为了在问题解空间内选择合理分布的子空间,需要自动且迅速地进行大量的计算实验,通过互动地改变输入变量,从而更好地认识数据结构以及输入与作战效能评估之间的复杂关系,这便是探索性分析方法的主要思想,也是从另外一个层面对计算实验思想初级概念的具体体现。但是从其实践效果看,它还存在着以下问题。一是探索空间过大与有限计算能力的矛盾,在许多实际应用中,为了减少探索规模只有不断简化问题,这样造成了问题分析的失真^[3]。例如,在“恐怖的海峡”^[4]中,为了减少探索规模,把大陆方精确制导武器的数量确定为 300 与 3 000 两个级别,显然跨度过大,过于粗略,极大地影响了分析的效果。二是在探索性分析模型构建上,一般采用低分辨率的解析模型(如联合一体化应急模型, JICM)对分析结果进行评估,虽然评估效率较高,却难以描述评估对象与环境之间复杂的关联,评估结果不太精确,特别是没有考虑到武器装备体系的综合建模和整体效能的涌现性问题,较少考虑模型的适应能力。

正是看到了探索性分析方法存在的两大不足,笔者从 2003 年起开始研究如何吸收探索性分析方法对不确定问题的处理思路,并将其与计算机仿真实验方法进行结合,提出了探索性仿真实验方法,这是一种在信息化战争体系对抗条件下,对关联复杂和动态演化的战争复杂问题进行探索性分析和仿真实验相结合的

新方法。所谓探索性仿真实验^[5],就是将不确定性条件下的探索性分析方法与计算机仿真实验方法相结合,探寻和发现复杂系统规律的一种新的分析实验方法。该方法充分考虑了大量不确定性条件下所有合理假设的可能因素,按照面向整体需求的探索性分析策略对复杂问题进行全面的设计和规划,通过反复多次的仿真实验不断调整和修正设计方案,验证各种可能的结果,从而全面把握不确定性因素对于整体目标的影响。

与传统的探索性分析方法相比,它强调利用计算机仿真实验而不仅仅是解析计算的方法进行探索求解,充分考虑了对抗双方各个体系内部之间的动态交互以及体系之间的对抗特性,能够更高层次地探寻体系的整体涌现性规律,并能通过仿真实验的运行控制策略来提高探索效率。与一般的体系对抗仿真实验方法相比,它强调顶层设计和不确定性分析,利用探索性分析策略而不是单一性个案分析或者敏感性局部分析策略来指导仿真实验,充分考虑了各种想定背景、各种能力方案等不确定因素,通过从海量实验数据结果中挖掘而不是简单对比,得出与战争整体目标相关的关键能力需求。要真正实现和应用这种方法,还需要研究许多新的理论问题,突破相应的关键技术。这主要包括:①如何对多维不确定性战争空间进行合理优化设计,避免有限计算能力的不足;②如何描述体系内部错综复杂的相互关系,也就是信息化战争的体系建模技术。

2.2 仿真实验空间的设计技术

对战争系统的探索性仿真实验不仅仅是计算机仿真实验方法的简单应用,重要的是针对战争复杂系统的特征难以建立相关的解析模型,只能通过仿真分析手段来解决问题。在借鉴经典实验设计理论的基础上,笔者提出了两种进行实验空间设计的技术路线。如果将战争系统的问题空间看成一个向量空间 P ,对战争系统的实验设计其实就是对向量空间 P 的探索过程设计。为了解决探索性分析方法在实验设计方面存在的不足,可以采用连续向量空间的仿真探索和离散向量空间的仿真探索 2 种技术路线。

1) 连续性向量空间的探索优化

第 1 种技术路线是一种连续向量空间的探索优化^[6]。视向量空间 P 为连续向量空间,在 P 中通过仿真模型,用分支定界方法筛选出关键指标,然后采用超盒快速逼近算法,探索出有效的探索区域,最后在此基础上完成其分析与设计。这种处理方法假定计算量不大,所具有的计算能力能够完成相应计算分析任务。其优点是精度较高,能更加全面地分析问题,能够用最规则的超盒形式描述能力需求空间,极大地方便了后续的能力分析与设计。其缺点是计算量大,不适合于高维以及计算量大的问题。

2) 离散化向量空间的探索优化

第2种技术路线是离散化向量空间的探索优化。视向量空间 P 为离散向量空间,首先运用分支定界方法筛选出关键指标,然后基于这些关键指标组成问题向量空间,按一定的原则(拉丁方、均匀抽样等)进行试验抽样,再通过相关的元模型(线性回归、克立格、支撑向量机等)技术,进行问题空间的预测、描述以及能力的分析论证。这种技术路线适合于问题指标数量大、计算量大的问题,但其缺点是精度不高。

2.3 基于 EBI 的体系建模框架

在信息化的背景下,战争同时发生在物理域、信息域、认知域之内以及三者之间^[7],因此,作为战争系统体系实验的对象,对其描述应该反映战争系统三域结构的特点,反映战争系统整体和不同层次的OODA(Observable-Orient-Decide-Act)环的过程,反映战争系统对抗体系双方的动态交互、体系内部的多个层面的相互关联。笔者借鉴面向对象思想和CMMS(Conceptual Models of Mission Space)思想提出了EBI(Entity, Behavior, Interact)建模框架^[8-9],以期对体系对抗仿真建模提供指导。所谓EBI建模框架是指从高层上对建模内容及相关方法进行抽象,即描述的内容可归结为对实体、行为、交互及网络4个方面进行建模,如图4所示。

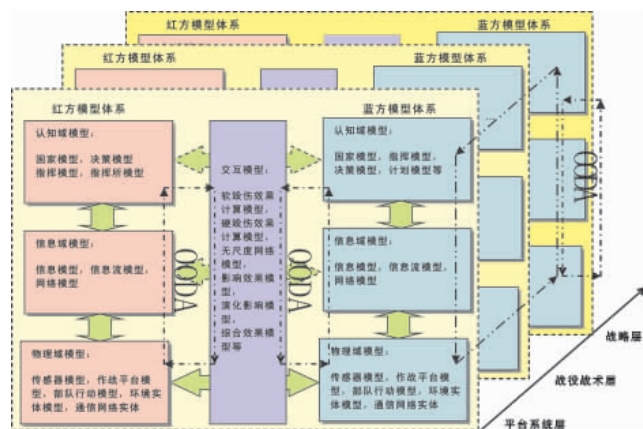


图4 基于EBI的体系建模框架

Fig. 4 EBI based system of systems modeling framework

与传统的建模框架相比,EBI建模框架更加强调信息领域和认知领域的实体与行为的建模,并突出了实体之间的交互(包括体系内部以及体系与体系之间),这些交互包括了物质、能量、信息3个方面,并期望在网络模型的基础上,使实体间交互的作用能够形成系统整体的、连锁的、累积的效果。因此,除了实体、行为和交互建模外,更加强调对网络的建模。战争空间的网络建模包括两部分内容:一部分是信息网络建模,主要是对战场环境中真实的物理网络的建模,包括各种通信网络和计算机网络的拓扑、数据通信的流量、质量等

通信网络的建模;另一部分是对构建在信息网络之上的各种逻辑的、运行机理层面的各种关联关系。

关联模型的提出不是为了描述在物理域内的连通性,而是为了描述指挥体制、组织条令和相关战术、技术与程序的制定,使部队能创造和利用信息优势来确保指战员能够共享所有相关的有用信息,正确掌握相应的武器装备,以实施主宰机动、精确交战、全维保护和集中式后勤等行动。基于效果作为一种作战概念层面的方法学,将其运用到建模仿真领域,关键要建立起促使战争系统按照战略目标运行的组织结构和运行机制的模型。这种结构和运行机制释放了体系中各种作战单元的主观能动性,大大提高了各作战单元对战场的自适应能力。“结构决定功能、行为产生涌现”,正是战争系统的组织结构、运行机制和体系内部作战单元中被释放出来的强大自适应性产生了体系整体性能的良好涌现。所以对战争系统的组织结构和运行机制的建模是否能够完整、真实反映当前战争系统规律是关键,而战争体系的关联关系又是建模的重中之重。如果说实体、行为、交互模型是基础的话,那么,关联模型是综合各个模型、产生体系整体效果的关键。体系对抗过程中的关联关系需要从几个层面去描述:一是体系内部各个战争域之间的关系;二是体系内部各个层次之间的关系;三是体系之间的交战关系。只有建立起了这3类关系模型,才能使战争系统按照其运作模式和组织形式良性运转。

3 战争分析实验环境设计

战争分析综合仿真环境(图5)是以战争分析仿真实验方法为指导,以综合分析为目的,针对战争层次的决策方案或作战方案进行仿真分析的一个支持复杂系统建模与仿真运行的开放式的综合仿真系统。该系统面向分析人员、军事人员、仿真实验人员,主要以计算机和网络为平台对战争问题进行研究和分析,通过运用模拟仿真的方法刻画战争系统中各个元素之间的相互作

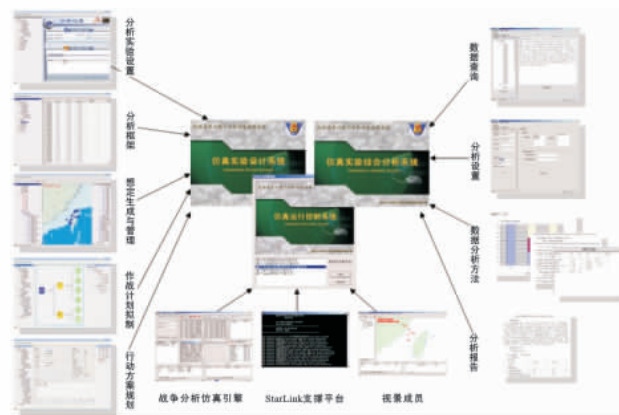


图5 战争分析仿真实验环境结构及截图

Fig. 5 Architecture of SWAE environment

用,描述战争系统的演化过程,通过对仿真结果数据的静态和动态分析,得出较为可行的结论,从而辅助高层决策。目前,该系统经过 2 年的开发已经基本成形,可以支持面向探索性仿真实验的战争分析仿真实验。

该实验环境采用松耦合的系统设计结构,从逻辑上包括进行实验准备的仿真实验设计系统,进行实验运行控制与管理的仿真运行控制系统,以及进行实验分析的仿真实验综合分析系统等 3 个组成部分。仿真实验设计系统的主要功能是针对所分析问题的不同要求,为实验进行顶层设计和数据准备,包括战争空间问题描述工具、实验设计工具集、想定编辑工具集、作战计划拟制工具集等。仿真运行控制系统目前可以管理和控制 3 类不同的仿真实验运行模式(单次仿真、样本仿真以及参量化样本仿真),并在多类仿真运行支撑平台下(包括网格仿真、分布交互式仿真以及演化仿真),对包括 HLA(High Level Architecture)仿真盟员、独立仿真系统、基于 Agent 的模型、组件模型在内的各类模型进行调度与控制。仿真实验综合分析系统提供了仿真实验数据结果的数据观察器以及多种数据分析与可视化工具,支持用户完成对实验结果的分析处理,辅助其形成分析结论并生成实验报告。

4 结束语

笔者提出的战争分析仿真以及探索性仿真实验方法,是建立在整体、对抗和动态三位一体的思维模式基础上,将成为研究体系对抗机理、论证战争需求的重要手段。这种方法首先是采用了自顶向下的整体性分析思路,将人们对战争系统的有限理性认识与各种统计实验设计方法相结合,在探索性实验空间的设计中既考虑了大量不确定性的存在,也考虑了人的有限预测能力(比如分支定位方法等)。其次是采用了基于对抗的体系建模方法,将战争系统的建模落实到物理存在的信息网络、信息网络基础上的各种关联网络,以及嵌入在各种网络(信息网络和关系网络)之中的各类实体之上,通过网络建立起实体之间的非线性关系。而触发这些实体相互之间错综复杂的关联,产生各种非预测结果的关键是对抗交互,也只有在体系建模基础上的对抗关系,才能反映出战争系统复杂的涌现特征。最后是在虚拟动态的仿真实验环境对战争系统进行反复多次的仿真实验;战争系统的演化是动态的、曲折前进的,对战争复杂系统的研究不可能一蹴而就,而是不断反复、不断演化的动力学研究过程;战争系统中的大量随机性和不确定性因素,必须通过大量的实验,也只有在多次可控反复的实验中,才能挖掘出战争系统的规律和异常情况。

笔者采用探索性仿真实验方法,开展了武器装备体系的能力需求论证以及作战体系的方案运用论证等

方面的初步实验,取得了比传统系统分析方法更好的结果,但还是初步的,今后将进一步加强不同体系建模技术的研究,特别是要在通信网络和关联网络建模技术上下功夫,争取通过网络和关联关系描述战争系统各元素在非线性的作用下的相互依赖、相互制约的关联效应,使战争整体呈现出子系统所不具备的性质,使战争系统的演化过程复杂多样、行为难以预测,符合其复杂性的各种特征。

参考文献 (References)

- [1] 李建会. 计算机仿真实验: 一场新的方法论革命[N]. 科技日报, 2001-02-19(2).
LI Jianhui. The computer simulation experimentation: A new methodology revolution[N]. Science and Technology Daily, 2001-02-19(2).
- [2] 杨镜宇, 司光亚, 胡晓峰. 战争分析仿真实验: 战争工程方法学的一类实践[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(11): 2775-2779.
YANG Jingyu, SI Guangya, HU Xiaofeng. Simulation based warfare analysis experiment: a practice of the war engineering methodology [J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(11): 2775-2779.
- [3] DAVIS P K, CARRILLO M. Exploratory analysis of the halt problem: a briefing on methods and initial insights [R]. RAND, DB-232, Santa Monica, CA, 1997.
- [4] DAVIS S, et al. Dire strait, military Aspects of the China-Taiwan confrontation[R]. MR-1217-SRF/AF Rand.
- [5] 杨镜宇, 司光亚, 胡晓峰. 信息化战争体系对抗探索性仿真实验方法研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(6): 1469-1472.
YANG Jingyu, SI Guangya, HU Xiaofeng. Study on the simulation based exploratory analysis method of the information warfare system of system (SoS) encounter [J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(6): 1469-1472.
- [6] 胡剑文, 张维明, 胡晓峰, 等. 一种基于复杂系统观的效能分析新方法: 单调指标空间分析方法[J]. 中国科学 E 辑, 2005, 35(4): 352-367.
HU Jianwen, ZHANG Weiming, HU Xiaofeng, et al. A kind of complex system view of new effectiveness analytical method: the monotonous index sign space analysis method [J]. Science in China, Ser. E, 2005, 35 (4): 352-367.
- [7] HORNE G E. Data farming: a meta-technique for research on 21st century questions [C]. Rhode Island Newport: briefing presented at the Naval War College, 13 November 1997.
- [8] 胡晓峰, 罗 批, 司光亚, 等. 战争复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2005, 6.
HU Xiaofeng, LUO Pi, SI Guangya, et al. War complex system modeling&simulation [M]. Beijing: National Defense University Press, 2005, 6.
- [9] 祝曙光, 胡晓峰, 司光亚, 等. 对抗体系的一种建模方法研究[J]. 系统仿真学报. 2006, 18(12): 3626-3629.
ZHU Shuguang, HU Xiaofeng, SI Guangya, et al. Study on the modeling method of confrontation-oriented SoS[J]. Journal of System Simulation. 2006, 18(12): 3626-3629.

(责任编辑 赵佳)