

攻防对抗仿真在武器装备体系论证中的若干问题研究

张克^{①*}, 高文坤^②, 关世义^①, 殷志宏^③

① 北京机电工程研究所, 北京 100074;

② 西北工业大学航天学院, 西安 710072;

③ 哈尔滨工业大学航天工程系, 哈尔滨 150001

* E-mail: mailto:zhangkehut6@yahoo.com

收稿日期: 2008-09-18; 接受日期: 2008-11-02

摘要 介绍了作为武器装备体系论证定量分析基础的攻防对抗仿真, 分析了武器装备体系攻防对抗仿真和建模需要注意的几个问题, 重点探讨了基于元模型、基于(智能体)Agent 技术的复杂系统建模方法, 研究了复杂系统的多分辨率建模, 构建了基于HLA的武器装备体系攻防对抗仿真系统体系结构, 提出了基于仿真的武器装备体系效能探索性评估方法的思路.

关键词

武器装备体系
攻防对抗仿真
复杂系统
元模型
Agent
多分辨率
不确定性
探索性评估

信息技术在军事领域的广泛运用, 将使信息化时代的武器装备的作战方式发生革命性变化. 作战的胜负已不单单取决于某一作战要素或系统功能的发挥, 而取决于概括战争整体对抗思想的“体系对抗”. 因此, 武器装备体系的论证和发展必须置于未来信息化体系作战的环境中进行考核和评价. 由于武器装备体系论证的复杂性, 将攻防对抗仿真技术应用于我军装备体系建设的各个环节, 无疑是一种事半功倍的途径^[1~19].

攻防对抗仿真是在实验室软、硬件系统的支持下, 根据一定的作战想法, 通过相关的模型, 对武器装备攻防对抗过程及其战场环境所进行的仿真研究. 近年来, 世界上许多国家先后研制和建立了各种类型的、先进的攻防试验平台, 利用它不仅可以进行基于仿真的武器装备采办; 还可以在战前进行战斗对抗仿真, 修订作战计划与原则; 进行任务演练, 使战斗员在模拟实战环境下

积累作战经验; 在全球战略攻防对抗的环境下, 综合模拟防御系统结构方案, 评价各种拟议中的战略防御技术或分系统, 鉴定武器系统之间的接口、反应能力、作战管理系统的功能等等. 攻防对抗仿真的有效性和经济性已经在一些局部战争和突发事件中充分体现出来^[4~9].

然而, 由于复杂系统建模、仿真技术发展自身存在的潜在问题, 使得武器装备体系的攻防对抗仿真目前陷入了困境. 本文针对复杂系统的特点, 探讨了武器装备体系的建模与仿真存在的一些问题, 希望能为这些问题的解决提供一种思路.

1 攻防对抗仿真系统的复杂性及其建模与仿真的难点

1.1 系统科学的基本概念

人们把相互联系、相互作用的诸元素组成具有一

定功能的整体称为系统, 系统是由系统的元素集合及元素之间的关系集合组成的. 系统元素间的一切联系方式的总和, 称为系统的结构, 有序的结构称为组织.

把系统的概念用于系统的内部, 发现系统中有一些元素彼此聚集, 比其他的元素有更紧密的方式关联在一起, 并有一定的独立性, 称为子系统, 子系统是系统内的系统. 一个系统之外的一切与系统相关的事物构成集合, 称为环境.

系统和环境之间的界限是系统的边界, 边界有时是清晰的, 有时是模糊的、不确定的、变化的. 系统相对它的环境所表现出来的任何变化, 称为系统的行为. 由系统行为引起有利于环境中的某些事物乃至整个环境存续和发展的作用称为系统的功能.

系统有8个特性: 系统的整体性、层次性、开放性、目的性、变化性、稳定性、组织性、相似性.

1.2 复杂系统

复杂系统、复杂性的定义可有几十种, 从不同的侧面, 不同的学科, 不同的观点提出.

著名科学家钱学森先生认为:“凡不能用还原论方法处理的, 或不宜用还原论方法处理的问题, 而要用或宜用新的科学方法处理的问题, 都是复杂性问题”, “复杂性是复杂巨系统的动力学”^[10].

复杂系统作为系统具有上述8个特性外, 还有复杂系统具备而简单系统不具备的特性, 它们是非线性、涌现性、不确定性、突变性、不可逆性、自组织性, 自相似性等, 具有这些性质的系统是具有复杂性表现的系统, 一般称它为复杂系统^[13~15,19].

1.3 攻防对抗系统属于复杂系统

1.3.1 攻防对抗系统具备了复杂系统的各种特性 攻防对抗系统除了具有一般系统的特性之外, 还具有复杂系统的特性.

(1) 非线性. 攻防对抗系统最为突出的就是作战的投入和效果之间不是线性, 而是非线性. 如从战略上看, “不战而屈人之兵”称为上上策; 从战役、战术的火力打击来看, 投入的兵力、兵器及打击效果之间, 都不是线性关系.

(2) 涌现性. 涌现性是复杂系统的重要特性之一,

攻防对抗系统中表现在某时某地会产生系统原来不存在的现象和事件; 如单一兵种、军种作战和联合作战, 产生的结果有着质的不同, 这就说明作战系统的涌现性.

(3) 不确定性. 攻防对抗系统中的不确定性是历来军事家最关心的、最头疼的问题, 作战的演化中, 会有很多随机现象出现, 事先无法确定它的时空特性, 也无法确定它的内容及特征.

(4) 不重复性、不可逆性. 攻防对抗系统具有不重复性、不可逆性, 如历代多次战争没有一次完全相同, 也无法再现, 攻防对抗系统的演化不是确定解, 它只向前不会倒退.

(5) 自相似性. 自相似性是复杂系统的特性, 自相似是系统的整体和部分的相似, 攻防对抗系统中存在大量的自相似. 如指挥所的结构、作战指挥过程等. 攻防对抗系统中绝大部分都是有限自相似.

1.3.2 攻防对抗系统是复杂巨系统 复杂巨系统的定义是: 复杂巨系统的组成成份种类很多, 组成的元素数量极大, 元素相互关系复杂, 层次结构丰富, 系统会呈现混沌性, 这种系统称为复杂巨系统.

攻防对抗系统是一种复杂巨系统. 因为从系统组成的成份来看, 攻防对抗系统涉及对抗的各方, 每一方作战部队又有多种类型的装备和参战人员. 仅从装备上分析, 装备中分主战装备和保障装备, 主战装备有飞机、舰艇、导弹、火炮、坦克等; 保障装备又分作战保障装备、装备保障装备和后勤保障装备等, 现在又增加了侦察情报、电子战、指挥系统的信息装备, 可以说种类繁多, 数量很大. 而它们的关系有对抗、有合作, 有上下级的指挥关系、指导关系, 有同级的协同、配合关系, 相互有支持、相互又有制约等等, 这样的系统是没有办法用还原论来解决的. 作战复杂现象的本质是和攻防对抗系统中的人紧紧关联, 人是有生命的实体, 每一个人有自己的经历、知识、性格、价值观等, 在攻防对抗中的每一个具体的环节, 作战人员都会有自己的表现, 有自己的行为, 它就是攻防对抗系统复杂性的根本原因. 因而, 攻防对抗作战是发生在一个时间段中, 以消灭对方为目的的武装斗争过程, 是一个有生命的整体的复杂演化过程.

1.4 复杂巨系统建模与仿真的难点

对于武器装备体系攻防对抗仿真这个复杂的巨系统而言, 其建模方法学的难点如下.

(1) 复杂系统研究的理论基础尚未达到像物理系统领域一样的抽象程度, 通过系统分析而产生的数学模型常常可信度比较低.

(2) 复杂系统往往具有定性和定量相结合的特征, 即很难以一种严格的数学形式来对它进行定义及定量分析.

(3) 复杂系统的另一个难点是病态结构, 系统结构很难从空间和时间上加以分割, 很难确定系统的边界和水平.

(4) 对复杂系统的观测和试验都比较困难, 从而使获得的数据对于系统行为的反映可信度及可接受性降低.

(5) 复杂系统的模型验证难度大、技术复杂、费用高.

对于这样的复杂巨系统建立仿真平台的难点如下.

(1) 构成复杂系统的子系统通常包括连续系统、离散系统、混合系统、定性系统等各种各样的系统, 对这些不同类型的子系统使用的仿真开发工具是不同的, 需要解决这些不同类型的仿真工具的集成问题.

(2) 复杂系统仿真不仅涉及到仿真技术领域的问题, 而且包括大量不同专业领域人员的协同工作, 不同资源、不同领域知识和技术的集成, 是一项复杂的系统工程.

(3) 构成复杂系统的子系统往往是位于不同的地理位置, 需要解决分布式异地环境下子系统之间的协同开发和运行.

2 武器装备体系攻防对抗仿真复杂巨系统建模技术研究

2.1 基于元模型的复杂系统建模方法研究

元模型是关于模型的模型, 是关于如何建立模型、模型的语义或模型之间如何集成和互操作等信息的描述, 是对某一特定领域建模环境的规范定义, 它定义了该领域的语法和语义, 能够表示该领域内的所有或全部系统. 元模型建模是一种创建元模型的

活动, 它和建模很相似, 但是, 它是针对于更高的抽象层次和信息进行的^[3].

基于元模型的建模方法, 忽略系统内部的具体特征和细节描述, 从系统需要解决的问题出发, 采用自上而下的层层分析方法, 通过分析和研究子系统之间的约束关系和因果关系, 建立复杂系统的系统模型. 基于元模型的复杂系统仿真建模方法的特点如下.

(1) 基于元模型对象规范(meta object facility, MOF). 使得符合 MOF 规范的元模型具有开放性、扩展性和互操作性.

(2) 基于 XML 的元数据交换规范(XML-based metadata interchange, XMI). 使用可扩展标记语言(extensible markup language, XML)和基于 XMI 规范的系统模型可以更好的实现模型的重用和互操作.

(3) 构成复杂系统的各子系统之间的互操作是通过信息交换来实现的. 这样就可以在比模型更高的层次上实现模型的集成, 从而可以得到复杂系统的元模型描述^[13].

(4) 很难找到一个严格意义上的符合所有复杂系统的元模型, 而且由于复杂系统的新概念不断增加, 通常是不可能有一个元模型的. 元模型的实现是不断修正的过程, 每一次提出的元模型都要首先进行实例化, 产生模型, 然后进行检验, 加以改进和修正, 是一个循环往复的螺旋式的过程, 可以用下图进行描述, 这种循环递进的过程如图1所示.

复杂系统仿真的元模型建立是在对组成这个系

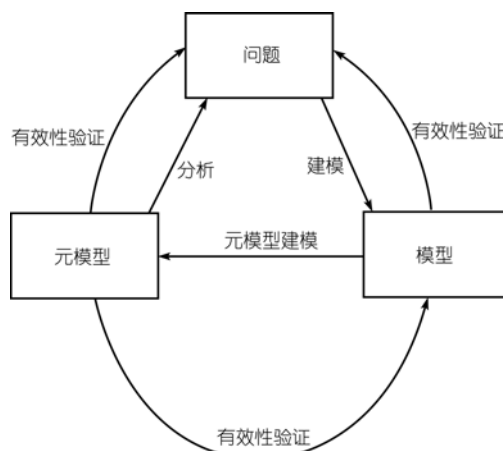


图1 模型和元模型的建立过程

统的各个子系统本身以及它们之间关系研究的基础上的进一步工作, 将复杂系统分解为最终的子系统以后, 通过对每一个子系统的模型以及它们之间的关系进行分析研究, 就可以建立复杂系统在仿真领域的元模型. 因此复杂系统元模型建立的步骤可以用图 2 表示.

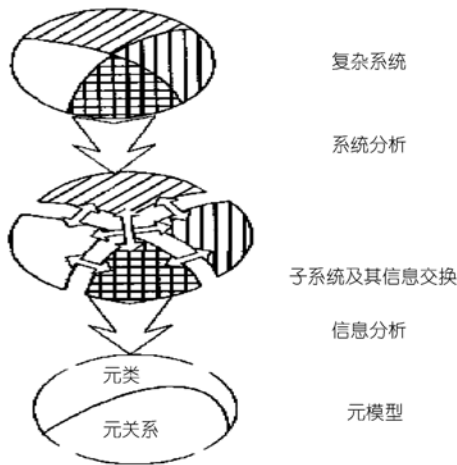


图 2 元模型的建立步骤

2.2 基于 Agent 的复杂系统建模方法研究

2.2.1 基于 Agent 的集散递阶复杂智能系统结构 处理复杂系统的一种有效手段是采用结构化的建模手段进行分解和协调, 即通常说的递阶过程, 这种结构建模方法已成为复杂系统建模的有效工具.

分布式人工智能主要研究在逻辑上和物理上分散的复杂智能系统如何并行、协调地实现问题求解. 这里将分级递阶的人为划分与集散系统的自然划分结合起来, 并以 Agent 作为各级智能控制器, 构成多 Agent 系统. 集散递阶智能系统结构如图 3 所示.

2.2.2 基于 Agent 的集散递阶系统联合行动的工作过程 MAS(multi-agent systems, MAS)有一定的联合意图、共同目标和联合行动. 以多枚导弹协同攻防对抗仿真的联合行动过程为例, 其工作过程描述如图 4 所示.

- (1) 监控中心建立新的多 Agent 联合监控目标, 完成多 Agent 联合监控任务.
- (2) 目的手段分析是进行单枚、多枚导弹组合或与其他武器协同完成任务的选择.
- (3) 经过目的手段分析, 认为新的目标需要联合

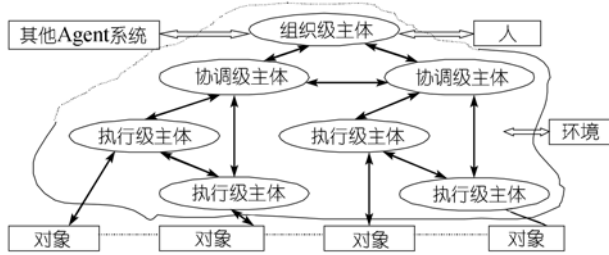


图 3 基于 Agent 的集散递阶系统结构

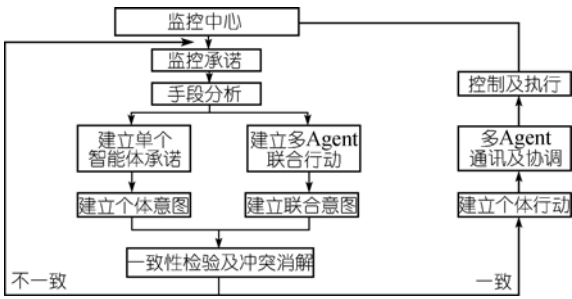


图 4 多 Agent 联合监控工作过程

实现则建立联合行动.

(4) 联合意图是对多枚导弹联合行动进行求解的一种描述, 不能直接执行, 因为个体意图是和行动联系在一起的.

(5) 一致性检验. 如果意图不一致, 则需重新回到监控过程进行协调, 做进一步目的分析.

(6) 联合意图和个体意图相结合, 变成 Agent 的个体行动, 完成对任务的控制和执行.

(7) 监控过程接受来自控制及过程的反馈, 以决定是否支持或放弃 Agent 的承诺, 重新检验联合意图和联合行动.

2.2.3 集散递阶系统中 Agent 的基本结构和特征 集散递阶复杂系统的 Agent 采用具有反应和认知能力的复合结构如图 5 所示. 图 5 中的环境是指广义的环境, 可以是被控对象, 甚至是人. 感知器通过传感器接受环境信息, 并进行预处理和特征辨识. 反应器对来自感应器的信息做出判断, 对于紧急状态或简单状态直接启动效应器, 采用相应的动作. 对于非紧急状态, 通常通过决策器做出相应的决策后, 再启动效应器采用相应的动作. 决策器的决策不仅需要环境的信息, 而且需要综合其他 Agent 的信息和知识库中相应的知识规则才能预测其未来的行为.

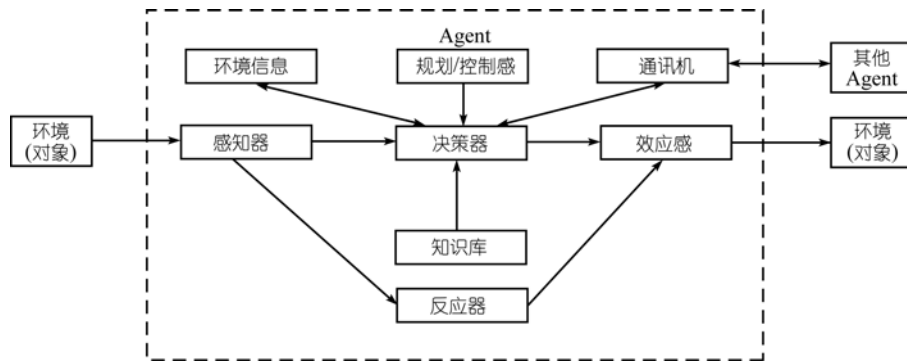


图 5 集散递阶系统中 Agent 的基本结构

2.3 基于聚合/解聚技术的多分辨率建模方法研究

人们对所认识和研究的对象总是希望建立起尽可能精细的模型。但精细的模型并不是万能的，人们需要对问题从整体上把握时，总是忽略次要因素，抓住主要矛盾，建立起粗粒度的低分辨率模型。在低分辨率下对系统进行宏观地仿真研究，然后再逐渐提高分辨率以透视各个层次的状态，这样会使问题的分析更具灵活性。然而，在许多实际情况下，人们所掌握的对象的数据和信息既包括粗粒度的数据信息，也包括细粒度的数据信息，通过建立多分辨率的模型簇及它们之间的聚合与解聚关系，可以使不同粒度的知识和信息之间实现互补，从而能够对问题进行全面的认识和把握。过分地、盲目地追求精细的模型对于问题的求解不仅无益，而且有害，会带来经济上的巨大浪费^[1,3]。

根据不同的实际问题背景，分辨率的概念包括对时间、空间、过程、逻辑关系、属性、实体等多个不同侧面进行多粒度的透视。模型的聚合是指在满足平滑一致性的条件下，从高分辨率的细粒度模型到低分辨率的粗粒度模型的转化过程，解聚则是相反的过程。通过模型的聚合和解聚过程，同一对象的不同分辨率模型能够为人们提供具有一致性和连贯性的信息和决策依据。同时，使各分辨率模型之间具有一致连贯性，亦即基于不同分辨率的模型分别进

行优化控制之决策，所得到的控制规律和决策结果在分辨率转换意义上是一致的。综合不同分辨率模型，就形成关于所研究对象的多分辨率的模型簇，其过程如图6所示。

图6中 $\text{agg}(\cdot)$ 和 $\text{disagg}(\cdot)$ 分别为数据状态聚合与解聚算子， $\text{AGG}(\cdot)$ 和 $\text{DISAGG}(\cdot)$ 为模型的状态聚合与解聚算子， $g(\cdot)$ 为低分辨率模型化算子， $G(\cdot)$ 为高分辨率模型化算子。

在多分辨率模型簇中，当细粒度的数据和高分辨率模型与相应的粗粒度的数据和低分辨率模型之间具有一致性转换关系时，不同分辨率的模型之间都可以相互提供信息和检验标准的参照。

目前多分辨率建模的方法和理论还处于起步阶段，关于多分辨率建模的实现方法可以参考2.1和2.2节的研究内容。

3 武器装备体系攻防对抗仿真系统体系结构研究

结合对复杂系统的分析和建模技术的研究，本文给出了一种基于HLA的武器装备体系攻防对抗仿真系统体系结构，如图7所示^[2,3,12,18]。

它是可以支持复杂武器装备体系论证和仿真检验、评估的新一代虚拟样机仿真平台。该系统平台可以为总体设计部门提供一个支持多专业仿真模型集

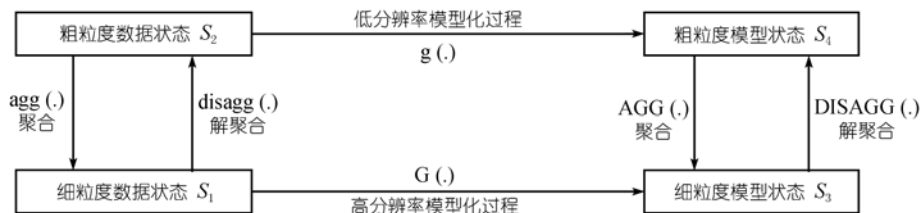


图 6 多分辨率建模原理图

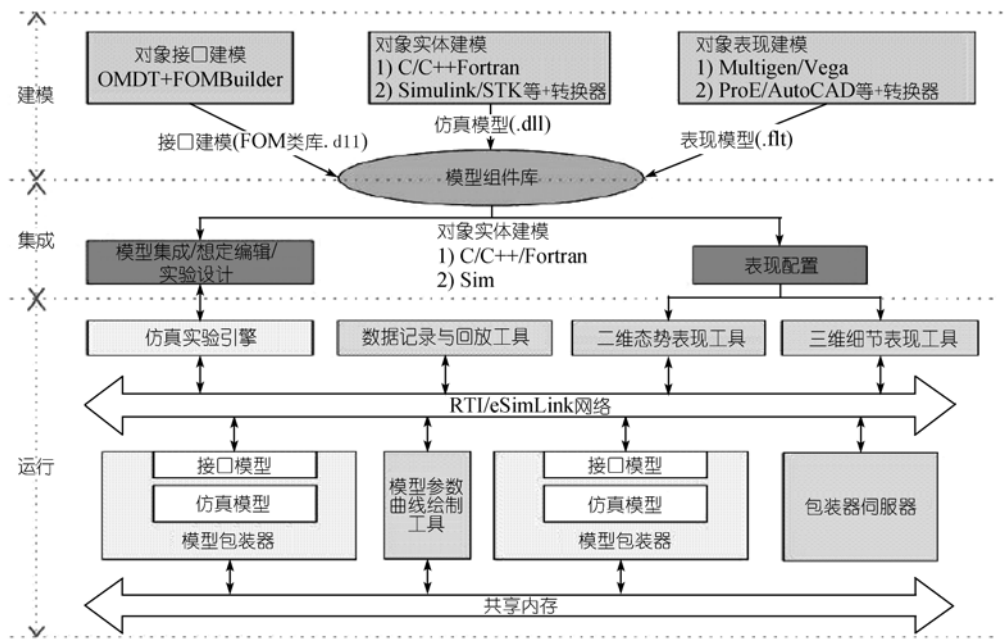


图7 基于HLA的武器装备体系攻防对抗仿真系统体系结构

成仿真的支撑环境,支持基于仿真的虚拟样机总体设计方案的探索、论证和检验.通过无缝集成各专业领域人员开发的异构仿真模型,并提供灵活的满足各种仿真目标的多种表现方式,支持总体设计人员在总体设计的各个阶段跟踪各子系统各专业的设计进展,检查子系统之间的协调性和匹配性,检验全系统性能对战技指标的满足程度等.

4 武器装备体系攻防对抗仿真评估的不确定性研究

在研究国防规划与武器装备体系论证问题时,目前常用的效能评估方法基本上分为3大类:解析法、统计法和作战仿真法.这3类评估方法在解决武器装备体系对抗条件下效能评估问题时存在2个较大的缺陷:第一,人们无法深刻地洞察影响武器系统效能高低的原因,也无法在不确定性条件下对效能评估结论的合理性与典型性进行评价,这表明这些方法不能有效地应对体系复杂度;第二,低层仿真评估的结果数据无法有效地综合到高层仿真论证的框架中,使得模型的聚合与解聚的参数真实性大打折扣.特别的,由于低层仿真评估所得的对抗武器的效能指标只在有限的框架、条件、前提下成立,往往不能反应不确定性空间的分布情况,因而当这样的效能指标被高层仿真论证引入作为

输入参数时,得到的结论会出现很大的偏差,这表明这些方法不能有效地应对不确定性复杂度.

为了解决这一问题,提出了基于仿真的武器装备体系效能探索性评估方法思路,方法论的示意图如图8所示.

5 结束语

总之,基于军用仿真“要从武器系统性能的仿真向武器装备体系分布式交互仿真一体化仿真的方向发展”的发展思路,军用仿真技术正在从主要服务于型号研制阶段,前伸后延,发展到能服务于型号论证、方案制定、武器性能鉴定评估到概念开发、作战使用全过程、作战试验鉴定及演练、以仿真为基础的采办、基于仿真的武器装备管理和对不同层次的决策支持等过程.这使得对复杂系统建模与仿真的研究正在成为仿真技术发展与应用热点.本文针对武器装备体系攻防对抗仿真和建模需要注意的几个问题,重点探讨了基于元模型、基于Agent技术的复杂系统建模方法;构建了基于HLA的武器装备体系攻防对抗仿真系统体系结构;针对仿真评估的不确定性问题,提出了基于仿真的武器装备体系效能探索性评估方法的思路,希望能为这方面的后续研究起到一定的探索性作用.

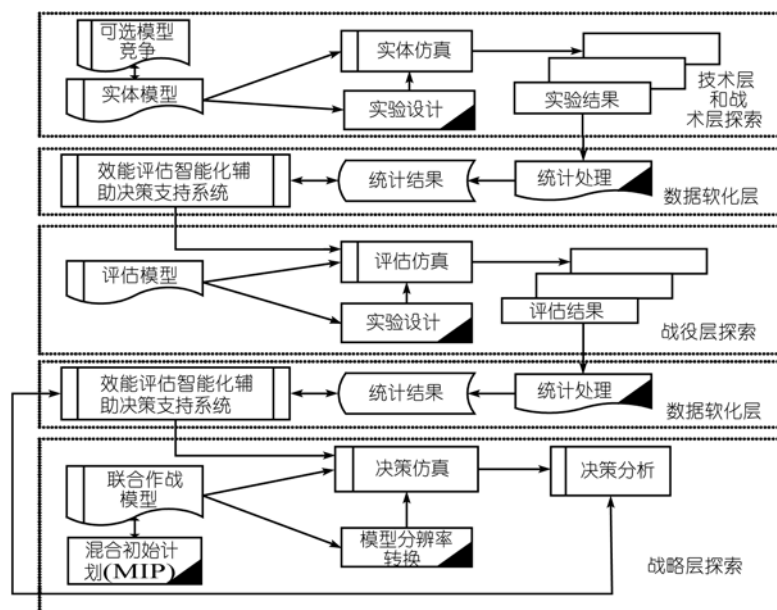


图 8 基于仿真的武器装备体系效能探索性评估方法

参考文献

- 1 戴剑伟, 蒋晓原, 李学军, 等. 基于 HLA 的武器对抗仿真系统开发研究. 计算机仿真, 2002, (2): 10—14
- 2 邱晓刚, 黄柯棣. 武器装备体系论证仿真环境的设计. 系统仿真学报, 2004, (4): 717—723
- 3 The institute of electrical and electronics engineers, Inc. IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-framework and rules, IEEE Std, 1516—2000
- 4 张克, 刘永才, 关世义. 关于导弹武器系统作战效能评估问题的探讨. 宇航学报, 2002, 23(2): 58—66
- 5 张克, 刘永才, 关世义, 等. 作战指挥辅助决策系统探讨. 战术导弹技术, 2002, (3): 63—68
- 6 张克. 面向巡航导弹任务规划的攻防对抗研究. 博士学位论文. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002
- 7 张克, 邵长胜, 强文义. 基于面向 Agent 技术的任务规划系统研究. 高技术通讯, 2002, (5)
- 8 张克, 刘永才, 关世义. 多智能体系统在导弹攻防对抗仿真中应用的可行性研究. 战术导弹技术, 2001, (6): 59—65
- 9 张克, 刘永才, 关世义. 面向效能评估辅助决策支持系统的导弹攻防对抗仿真研究. 战术导弹技术, 2004, (3): 54—60
- 10 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域—开放和复杂巨系统及其方法论. 自然杂志, 1990, (1)
- 11 林涛, 张克, 关世义. 攻防对抗仿真在多武器综合效能评估中的可行性研究. 见: 航天导弹总体专业情报网学术研讨会, 2004
- 12 童军, 惠天舒, 李伯虎, 等. 高级体系结构(HLA)中的面向对象方法学研究. 系统仿真学报, 1998, (6): 35—39
- 13 Pykh Y A, Kennedy E T, Grant W E. An overview of systems analysis methods in delining environmental quality indices. Ecol Nodeling, 2000, (130): 25—38[DOI]
- 14 Page E H, Nicol D M, Balci O, et al. Strategic direction in simulation research. In: Proceeding of WSC, 1999
- 15 Auger P, Charles S, Viala M, et al. Aggregation and emergence in ecological modeling: Integration of ecological levels. Ecol Modeling, 2000, 127(1): 11—20[DOI]
- 16 张克, 刘永才, 关世义. 试论巡航导弹智能作战系统. 战术导弹技术, 2001, (3): 11—15
- 17 Dickson K W, Li C Q, Kamalakara K. A meta modeling approach to workflow management systems supporting exception handling. Inf syst, 1999, 24(2): 159—184
- 18 Defense Modeling and Simulation Office. High Level Architecture Interface Specification. Versionl 3 DMSO, 1998
- 19 Davis P K, Huber R K. Variable resolution combat modeling: Motivations issues, and principles. RAND, 1992