

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.006

## 基于 Multi-Agent 和 HLA 的综合战场环境仿真

苏春梅, 奚宏明, 王玮, 茅文浩

(中国人民解放军 63680 部队 技术部, 江苏 江阴 214431)

**摘要:** 针对综合战场环境仿真系统在仿真实现中存在的不足, 提出将基于多 Agent (multi-agent) 的复杂系统建模思想和基于高层体系结构 (high level architecture, HLA) 的仿真技术结合起来的思路。首先用基于多 Agent 的思想对综合战场环境仿真系统进行分解建模, 然后采用基于 HLA 的分布式仿真技术来实现仿真系统。结果表明, 该技术既能降低仿真系统模型的复杂度, 又能使仿真成员具有一定的智能性。

**关键词:** 智能体; HLA; 综合战场环境仿真

**中图分类号:** TP391-9 **文献标志码:** A

## Integrated Battlefield Environment Simulation Based on Multi-Agent and HLA

Su Chunmei, Xi Hongming, Wang Wei, Mao Wenhao

(Dept. of Test Technology, No. 63680 Unit of PLA, Jiangyin 214431, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings from the implementation of the integrated battlefield environment simulation system in the simulation, the ideas of combining the modeling methods of complex systems based on Multi-Agent and technologies of distributed interactive simulation based on HLA. Firstly, the methods based on Multi-Agent is used to design the inner models of the integrated battlefield environment simulation system, and then the technologies of distributed interactive simulation based on HLA is used to implement the simulating system, the result indicates that it reduces the complexity of system modeling and provides the federations with intelligence.

**Keywords:** agent; high level architecture (HLA); integrated battlefield environment simulation

### 0 引言

高层体系结构 (high level architecture, HLA) 是复杂系统建模与仿真的支撑技术, 定义了构成分布式交互仿真各成员的功能和相互关系, 解决了仿真成员间的互操作和重用性问题, 为构造复杂系统的仿真平台提供了一种集成方法, 但 HLA 对联邦成员仿真对象及其模型智能性与灵活性的有限描述不能满足复杂系统的全方位需求。多 Agent 系统 (multi-agent system, MAS) 则是分布式人工智能领域的一个主要研究方向, 通过研究多个 Agent 间的交互、协调以及合作来进行问题求解。在联邦成员设计中应用 Agent 体系, 不仅能够提高仿真对象与模型交互性和智能性, 而且可通过复杂系统仿真属性与信息的转换来降低系统耦合性。

综合战场环境仿真系统是 C<sup>4</sup>ISR 作战仿真、开发联试和训练模拟等分布式交互仿真系统的重要组成部分, 承担为其它仿真对象提供作战背景的功能, 由于战场环境本身的复杂性和多变性, 其仿真实现是一个难点。为此, 笔者将基于 HLA 的分布式交互仿真技术和基于多 Agent 的复杂系统建模思想结合起来, 构建了综合战场环境仿真系统。

### 1 HLA 与 Agent

作为当今分布式交互仿真的标准, HLA 是仿真研究的热点和前沿。采用 HLA 的技术体制, 可将单个仿真应用连接起来组成一个大型的虚拟世界。在这个虚拟世界中, 可进行大规模的多对多/部队对部队的战术、战略原则研究和演练仿真; 可提供多武器系统的体系对抗仿真和武器性能评估仿真; 还可进行不同粒度, 不同聚合度的对抗仿真和人员训练仿真<sup>[1]</sup>。HLA 为复杂系统建模与仿真提供了公共的技术支撑框架, 在解决异构、分布、协同的仿真模型和仿真系统的互操作与可重用方面取得了重大进展<sup>[2-3]</sup>。

Agent 是指在一定的环境下能独立自主地运行, 作用于自身所处的环境也受到环境的影响, 能不断地从环境中获取知识以提高自身能力, 并能将推理和知识表示相结合的智能实体, 具有自治性、反应性、自适应性、可通信性及自学习性等特点<sup>[4]</sup>。基于 Agent 的复杂模型构建理论和方法是最具活力、最有影响的方法之一。其基本思想是: 在模拟现实世界时, 根据要研究问题的层次选择合适的分

收稿日期: 2011-02-24; 修回日期: 2011-03-28

基金项目: 军队专项建设经费资助项目 (2010ZS786)

作者简介: 苏春梅 (1979—), 女, 宁夏人, 硕士, 工程师, 从事靶场仿真试验技术研究。

分辨率或是合适的粒度, 将要研究的复杂系统划分为多个子系统, 每个子系统可再有多个 Agent 组成, 每个 Agent 具有各自的数据、知识、模型及接口等, 以自底向上的方式, 从研究个体微观行为着手, 进而获得系统宏观行为。由多个 Agent 组成的系统称为 MAS。近年来, 国内外的研究人员开始将 MAS 引入到分布交互式仿真中, 以期增强仿真系统的智能化, 提高协作性<sup>[1-2]</sup>。

基于 Agent 的建模仿真方法和基于 HLA 的分布式交互仿真技术在对复杂系统进行仿真时, 都具有各自的优点。在采用多 Agent 的方法进行建模仿真时, Agent 层次细节可以灵活设计, 可采用不同的分辨率进行建模, 各个 Agent 都具有智能性, 但各个 Agent 内部及 Agent 之间的通信需用 Agent 通信语言 (knowledge query and manipulating language, KQML) 人为设计; 而按照 HLA 的接口规范开发的运行支撑环境 (run time infrastructure, RTI) 则提供了良好的通信机制, 使仿真人员将工作重点放在仿真模型的开发设计上, 而不用去关心数据信息的交流是如何完成的, 但是 HLA 的基本组件只能以联邦成员出现, 而联邦成员却不具有智能性。基于 2 者的优点, 将基于 Agent 的建模仿真思想和基于 HLA 的仿真技术结合起来是复杂大系统建模仿真一个值得研究的方向。

## 2 基于 Multi-Agent 的综合战场环境仿真系统建模

### 2.1 系统建模分析

综合战场环境是一切军事行动的基础, 综合战场环境仿真是目前军事作战仿真领域研究的热点, 主要是指在计算机平台环境下, 应用信息技术、仿真技术、军事战役战术等技术来逼真地产生符合现代作战条件的逼真战场环境, 为作战系统仿真、开发联试和训练模拟等提供作战背景, 为作战仿真活动提供基本环境和技术支撑。因此, 该系统必须能够仿真各种战场环境, 包括战场的各类武器平台、武器装备、作战部队特性、战役战术、背景信息、自然环境和电磁信息等<sup>[5]</sup>。由于系统必须能够包罗各种当前战争和未来战争中可能出现的各类武器平台、装备和系统, 同时能够逼真模拟作战过程, 因此, 综合战场环境仿真系统必须是一个开放式系统, 并具有 Agent 的多种特性。

综合战场环境仿真系统主要包含战场自然环境生成、战场复杂电磁环境生成、战场目标和辐射源

信号模拟等功能, 其具体功能为:

#### 1) 战场自然环境生成

战场自然环境生成的主要任务是按照作战想定/方案设定的作战背景, 生成所需要的战场自然环境, 主要由战场区域地理环境模拟、气象环境模拟、大气环境模拟等功能单元组成。

地理环境模拟功能单元主要模拟地理环境对作战部队、情报侦察及电子对抗部队等的影响, 同时显示或计算地理环境对作战部队、情报侦察及电子对抗部队等的影响, 并提供地形遮蔽的计算服务。气象环境模拟功能单元主要模拟整个战场纵深的气象环境以及在作战时间、区域范围内的气象环境变化, 并根据战场区域范围的大小, 可将其配置一个或多个模块, 分别模拟整个战场区域或者各个不同区域的气象环境条件。大气环境模拟功能单元主要模拟作战时间内的大气环境变化情况。

#### 2) 战场复杂电磁环境生成

战场复杂电磁环境生成的主要任务是模拟产生作战想定/方案所设定作战区域的复杂电磁环境, 主要包括民用和自然电磁环境模拟、其它背景电磁环境模拟 2 个功能单元。

民用和自然电磁环境模拟功能单元主要模拟产生作战区域的所有民用电子电气设施和自然现象产生的电磁信号环境, 以及作战区域的所有非人为因素产生的电磁信号环境; 背景电磁环境模拟功能单元主要模拟产生设定区域的第三方电子对抗装备辐射产生的电磁信号环境。

#### 3) 战场目标和辐射源信号模拟

战场目标和辐射源信号模拟主要包括空中目标模拟、地面目标模拟、海上目标模拟和卫星目标模拟, 以及机载、地面、舰载及星载辐射源信号模拟等功能单元。

为提高系统的灵活性、方便扩展, 从运行控制角度考虑, 综合战场环境仿真系统采用分布式多 Agent 体系结构, 系统对外由仿真系统指挥控制与管理系统统一管理控制。系统内部各 Agent 无主次之分, 处于平等地位, Agent 是否被激活以及激活后做什么动作取决于系统状况、周围环境、自身状况以及当前拥有的数据。如图 1, 综合战场环境仿真系统基于战场自然环境生成、战场复杂电磁环境生成和战场目标及辐射源信号模拟 3 种不同仿真类型划分成 13 类仿真实体 Agent, 每类仿真实体 Agent 都具有自己的动力学模型和功能模型, 主要仿真每

个战场实体 Agent 的工作过程、工作能力，技术特 性、以及与环境和其他 Agent 的交流和协商。

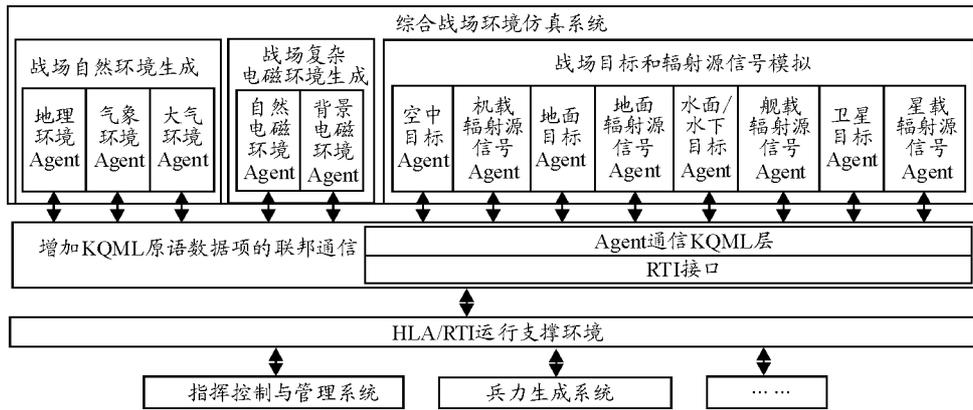


图 1 综合战场环境仿真系统体系结构图

此外，由于 Agent 都具有可通信性的特征，为了让其中某个仿真实体 Agent 和系统中别的相关仿真实体 Agent 能够进行实时通信交流，采用增加 KQML 原语数据项的联邦通信实现 Agent 之间的通信，通过 KQML 与 HLA/RTI 的集成，既实现了联邦管理成员在仿真联邦中的信息交流，又满足了仿真实体 Agent 之间协同工作的行为。各 Agent 之间的交互是通过联邦体实现的，Agent 可以动态地加入联邦体，接受联邦体提供的服务。这些服务包括：接受 Agent 加入联邦体并进行登记；记录加入联邦体的 Agent 能力和任务；为加入联邦体的 Agent 提供通信服务；对 Agent 提出的请求提供响应；在联邦体之间提供知识转换与消息路由等。

综合战场环境仿真实体 Agent 模型中的 KQML 消息遵循 KQML 语法格式如下：

```
(ask-one//操作名
:sender 发送消息的 Agent;//参数{:参考关键字
{<单词><表达式>}}
:receiver 接收消息的 Agent;
:reply-with 响应当前消息的期望标识符;
:content 通信原语所表达的消息具体内容;
:language 内容参数域所用的表达语言的名称;
:ontology 内容参数域所用的术语定义集的名
字。)
```

### 2.2 个体 Agent 的建模

仿真实体 Agent 的主要功能就是基于作战想定在和其他仿真实体 Agent 进行协商后完成综合战场环境仿真，生成符合想定要求的客观战场态势。对仿真实体 Agent 进行建模时，需考虑接口模块和内部模块 2 个部分。在接口方面，仿真实体 Agent 需要考虑与指挥控制与管理系统、兵力生成系统等进

行信息交流的接口模块，同时还有仿真实体 Agent 之间的接口模块，接口部分将由 HLA 仿真框架来实现。

一个仿真实体 Agent 应该包括的模块如图 2。下面按照仿真实体 Agent 的仿真处理流程，分别介绍各个模块的主要功能。

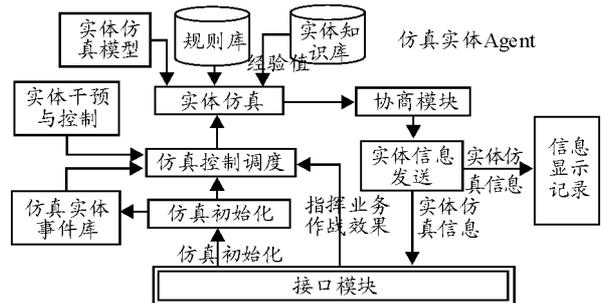


图 2 仿真实体 Agent 的内部结构图

#### 1) 仿真初始化模块

接收指挥控制与管理系统的仿真初始化命令；根据仿真配置表，装载订购的仿真实体相关软件模块，完成包括网络连接、时钟、系统变量、内部数据结构等的初始化；装载想定数据；反馈初始化完成信息。

#### 2) 仿真控制调度模块

调度各功能模块的运行；根据仿真时钟和目标刷新周期，从仿真实体事件库调用发生的事件处理模块；控制各实体目标状态的更新周期；接收处理系统时间、干预指令和指挥指令等信息，对各种干预命令进行预处理。

#### 3) 仿真实体事件库

仿真实体事件库由一系列描述仿真实体目标动作行为、搭载的辐射源设备和武器系统操作、自然环境信息和复杂电磁环境信息变化等事件组成。例如，飞机起飞、爬高、下滑、转弯、返航、击毁、

消失、分批、合批等事件,搭载辐射源设备的开机、关机、受干扰状态变化等,搭载的武器系统发射、受干扰状态变化等、环境信息时间分段状态变化。

#### 4) 实体干预和控制模块

接收人工干预命令和定制的其他实体及外部系统指挥引导指令;将人工干预命令和引导指令转换成各类目标的事件并增加到相关事件库中。

#### 5) 实体仿真模块

调用仿真实体模型、根据规则库和实体知识库存储的相关规则信息和经验阈值判断实体状态变化,推演仿真实体状态。

#### 6) 实体仿真模型模块

根据仿真实体要求调用相应仿真模型完成实体计算,计算仿真目标在每个时刻的位置、速度等信息。

#### 7) 规则库

规则库用于在仿真进行时为 Agent 提供决策判断支持,包含仿真实体相关战术规则。例如,型号武器单元制导方式、发射门限、自毁门限等,型号辐射源设备开机、关机时机等规则。

#### 8) 实体知识库

实体知识库包含所有被仿真实体的属性类别、属性值和约束条件等。例如,型号飞机目标不同高度层常用加速度、最大平飞速度、最小平飞速度,及飞机最小拐弯半径等经验阈值。

#### 9) 协商模块

每个仿真实体 Agent 都会将仿真推演执行情况和实体信息向其他相关仿真实体 Agent 共享,进行信息交流,以得出较准确的战场仿真信息。

#### 10) 实体信息发送模块

根据仿真步长周期性地或基于订购将目标的状态信息、搭载的辐射源设备和武器系统的状态信息、自然环境信息和复杂电磁环境信息等通过接口模块公布。

#### 11) 信息显示记录模块

更新界面显示并记录发送的实体仿真信息。

#### 12) 接口模块

每个仿真实体 Agent 必须包含与其他仿真实体 Agent 及相关系统 Agent 进行通信的接口。

### 3 基于 HLA 的综合战场环境仿真系统

#### 3.1 仿真系统的组成

结合上面对综合战场环境仿真系统模型结构的

分析,可把综合战场环境仿真系统内部划分为 13 个仿真成员,分别是:空中目标 Agent 仿真成员、机载辐射源信号 Agent 仿真成员等。此外,为了研究系统的整个仿真流程和工作过程,把与系统有信息交互关系的其他系统指挥控制与管理成员、剧情规划与配置成员、红方兵力仿真生成成员、蓝方兵力仿真生成成员、被试系统接入成员等也考虑在仿真系统的结构设计之中,整个综合战场环境仿真系统的逻辑结构如图 3。综合战场环境仿真系统各联邦成员的主要功能如下:

1) 仿真实体 Agent 成员。接受指挥控制与管理成员的控制命令,完成想定赋予的战场元素模拟,通过交流、协商等方式实时仿真作战实体战场状态,并实时公布自身状态变化信息。

2) 指挥控制与管理成员。① 仿真联邦管理功能——创建、撤销联邦,启动、冻结、恢复、停止联邦执行;② 仿真控制功能——向仿真系统中其他成员发布初始化信息,完成联邦执行的准备工作,控制仿真过程(包括开始、冻结/恢复、结束);③ 系统运行监控功能——在仿真执行过程中,监视各成员的运行状态,并可根据用户操作,控制成员退出、加入联邦执行。

3) 剧情规划与配置成员。① 作战想定设计功能——根据仿真的目标和任务,设计作战想定,包括设置作战区域、气象条件、兵力部署信息以及兵力活动情况等,形成作战想定文件;② 模拟对象成员配置功能——根据仿真任务要求和作战想定,设置仿真步长,输入需要模拟的对象,并设置这些模拟对象需完成的任务,定义它们的属性、初始状态、模型参数以及模拟对象之间的信息交互关系、仿真系统与被试系统的接口及通信协议等。

4) 红方兵力仿真生成成员。其主要功能是将编配不齐全的被试系统,按照仿真方案编配齐全,以通过体系对抗的方式,对被试系统进行体系对抗环境下的综合测试。

5) 蓝方兵力仿真生成成员。构建与被试系统对抗的对抗环境。通过为被试系统模拟提供对抗兵力,可使测试在动态、复杂对抗环境中进行,以全面对被试系统进行测试和评估。

6) 被试系统接入成员。系统具备与相关典型网络互联的通信接口,能够实现与被试系统互联,可以将红、蓝方兵力构成要素的各种仿真器和模型由

被试系统自带的或靶场可以配试的真实装备进行嵌入和替代。系统具有将红、蓝双方所配试的实体装

备通过实体代理的模式集成到测试系统中的能力，用来驱动或替代部分数学仿真模型进行测试。

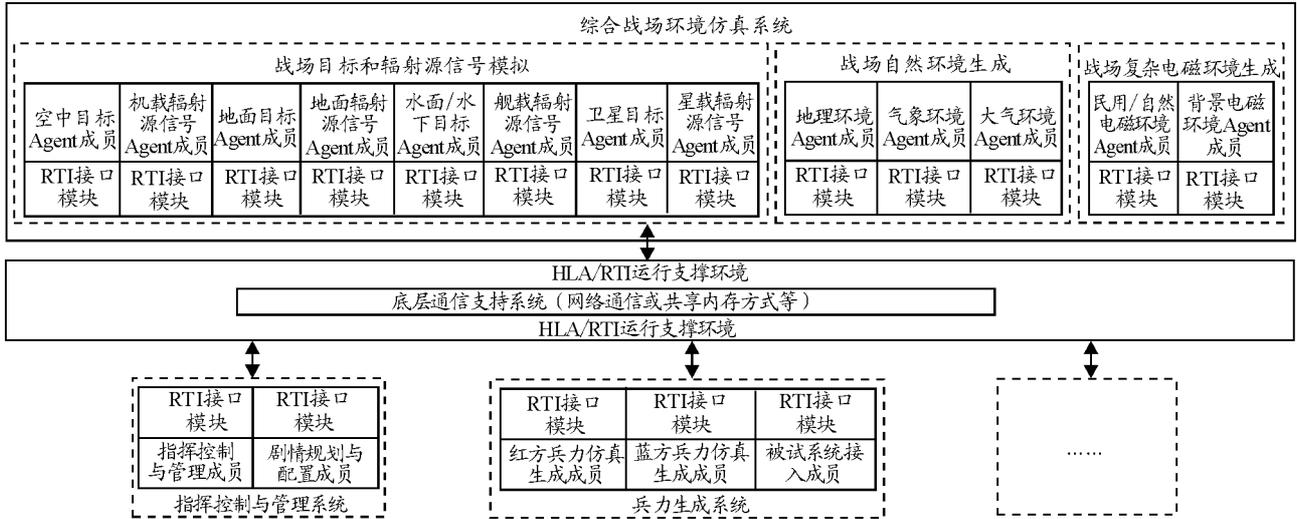


图 3 综合战场环境仿真系统的逻辑结构

3.2 对象类和交互类设计

在基于 HLA 的应用系统设计过程中，FOM/SOM 的设计是数据设计的核心，它主要用于定义联邦执行和联邦成员的交互数据，是 HLA 应用系统进行数据交互的基础。设计 FOM/SOM 最主要的内容之一就是设计对象类与交互类。设计对象类和交互类实际上就是确定各个联邦成员之间的数据信息流和控制信息流，它直接体现了 HLA 标准

的目的，即仿真对象间的互操作和仿真资源的可重用，这也是运用 HLA 技术实现仿真应用系统的关键。各联邦成员通过发布其它联邦成员感兴趣的对象类和交互类，订购自己所需要的对象类和交互类，来实现联邦成员之间的信息交换和互操作<sup>[6]</sup>。表 1 和表 2 分别列出了仿真系统中所涉及的部分对象类和交互类，由于仿真系统涉及的对象类和交互类比较多，因此不一一列举。

表 1 对象类结构示例表

对象类名称	属性	属性类型	属性含义
AirInfo_Entity (空中目标)	m_model[64]	char	目标型号
	m_type	TARGET_TYPE	目标类型
	m_curTime	C4ITIME	目标当前作战时间
	m_attribute	PROPERTY_TYPE	目标属性
	...	...	...
LandFixInfo_Entity (地面固定目标)	m_targetName[64]	char	目标的名称
	m_curTime	C4ITIME	目标当前作战时间
	m_type	LAND_TARGET_TYPE	目标类型
	m_model[64]	char	目标型号
	m_attribute	PROPERTY_TYPE	目标属性
...	...	...	...

表 2 交互类结构示例表

交互类名称	参数	参数类型	参数含义
WorkStateChange_Command (工作状态转换命令)	m_stationId	unsigned short	站代码
	m_equipmentId	unsigned short	装备代码
	m_state	INTENT_STATE	目的状态
	.....	.....	.....
PowerOnInstruction_Command (开机命令)	m_stationId	unsigned short	站代码
	m_powerOnType	EQUIPMENT_ON_OFF_TYPE	开机方式
	m_time	C4ITIME	开机时间
	...	...	...

表 1、2 中的 TARGET\_TYPE、C4ITIME、PROPERTY\_TYPE、LAND\_TARGET\_TYPE 等是自定义的复杂数据类型。

4 结论

仿真结果证明，基于 Multi-Agent 和 HLA 的综合战场环境仿真系统，既具有自主运行能力和一定

的智能性,又充分融合在其他仿真环境中和其他成员进行信息交流,共同协商推进仿真过程。但构建的 Agent 大多都属于反应型 Agent,体现出低智能性,因此,下一步需要适当地构建慎思型或者是混合型 Agent,以提高联邦成员的智能性。

### 参考文献:

- [1] 周彦,戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京:电子工业出版社,2002:10-15.  
[2] 张恒源. 分布式交互仿真半实物接入关键技术研究[D].

\*\*\*\*\*  
(上接第5页)

### 3.3 政策分析

在测试中发现改变模型中较灵敏的政策参数是:敌方威胁、发展周期、补充周期以及投入系数,这些灵敏参数在实际系统中是政策的杠杆作用点。在未来十几年我国的安全形势极为复杂,许多矛盾和斗争激化的可能性严重存在,是国家安全的高风险期。敌方威胁越大,则装备的规模目标越大;从采购开始得到装备的时间,这个时期一般比较长,由于需要进行论证,运用翔实的论据,按照科学的逻辑推理规划,通过推理的形式对军事装备问题的必要性、可能性和优选方案做出科学推断与结论。发展周期越长,发展速率越慢。从装备储备到装备编配和形成战斗力时间,期间包括装备储备、列装、人与装备的结合训练到形成真正战斗力的时间。补充周期越长,则补充速率越慢。用发展费用等折合的数值,代表一个国家的经济实力以及对装备的投入。投入系数越大,发展速率越大。

从图3和图4可以分析出大概在2030年左右装备规模差逼近于0或者一个常数,此时装备的发展和补充可以达到一个比较满意的状态。由于国家经济实力强大、科技水平发达和国家交流合作,可以加大重点型号的装备投入。根据目前装备性能落后,国防费“欠帐”太久,装备投入力度小,调整周期可能比较长。

## 4 结束语

仿真实验结果表明,仿真结果与定性分析结论基本一致,从而可以得到如下结论:

- 1) 由于影响的因素比较多,且相互之间的影响

北京:装备指挥技术学院,2006:11-16.

- [3] 李智. 复杂大系统分布交互仿真技术[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2007:34-37.  
[4] 郭齐胜,杨秀月,王杏林,等. 系统建模[M]. 北京:国防工业出版社,2006:313-318.  
[5] 苏春梅,郜竹香,郭霞勇. 综合战场环境仿真软件建模[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术,2005,27(5):86-90.  
[6] 樊鹏山,熊伟,李智. 基于多 Agent 和 HLA 的侦察卫星仿真系统设计[J]. 装备指挥技术学院学报,2009,20(1):79-84.

关系比较复杂,用传统的解析方法不能很好直观地描述各因素之间的相互影响关系。系统动力学的方法不仅给出了直观的关系描述,并且能很好地刻画各因素之间的数学关系,进行了定性和定量分析。将模型细化分析,会得到更为详细的军事装备发展政策决策信息。

2) 笔者全面系统深入地研究和论证武器装备体系建设,从体系建设的角度出发,勾画出今后一定时期我军军事装备发展的总体框架,对于指导我军军事装备的长远发展,为发展政策提供有效决策支持,充分发挥装备投入效益,逐步建立精干、高效和完善的装备体系结构,具有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 李明,刘澎. 武器装备发展系统论证方法与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2000:221-229.  
[2] 王凯,孙万国. 武器装备军事需求论证[M]. 北京:国防工业出版社,2008:50-51.  
[3] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994:1-2.  
[4] 贾仁安,丁荣华. 系统动力学—反馈动态性复杂系统[M]. 北京:高等教育出版社,2002:159-171.  
[5] 康崇禄. 国防系统分析方法(下册)[M]. 北京:国防工业出版社,2003:605-607.  
[6] 赵占龙,张斌,张明智. 基于 SD 的军事行动与战略储备关系仿真模型研究[J]. 系统仿真学报,2006(12):3642-3644.  
[7] Zhang Huai-qiang. Optimization Research on Equipment Cost Structure Based on System Dynamics[C]. Proceeding of the 2007 Conference on Systems, Management Science and System Dynamics: Sustainable Development and Complex Systems(10). ShangHai: TongJi University Press, 2007: 2813-2817.