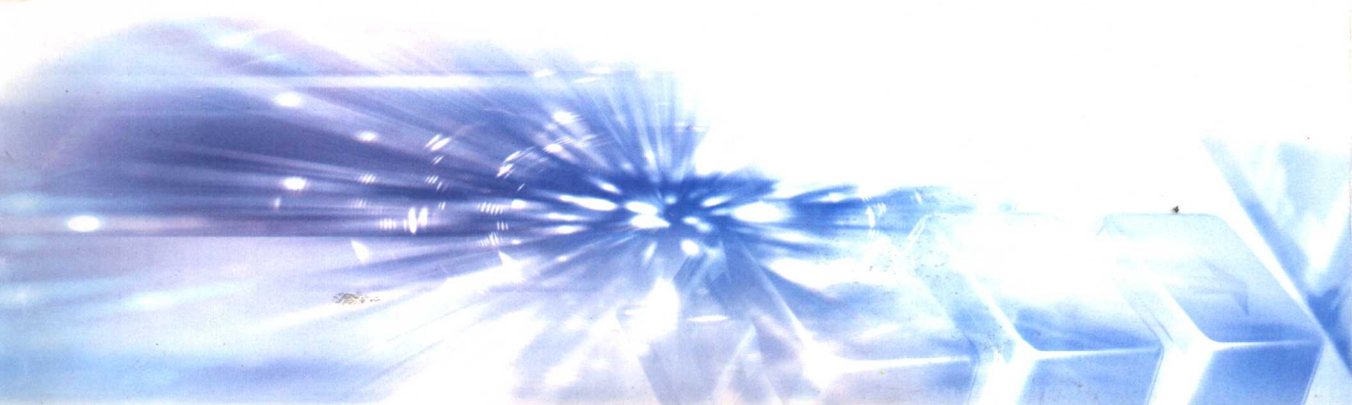
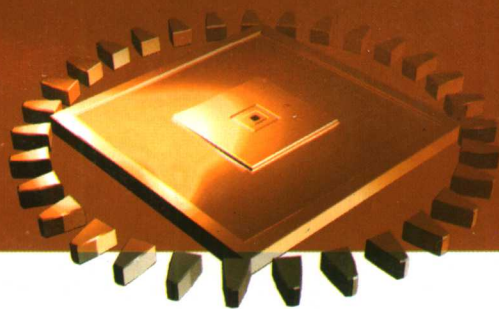


FUZA DAXITONG FENBU JIAOHU FANGZHEN JISHU

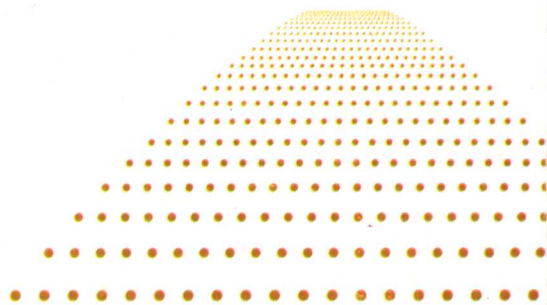


复杂大系统 分布交互仿真技术

李智 等编著



- 第一章 绪论
- 第二章 分布式交互仿真DIS
- 第三章 高层体系结构HLA/RTI仿真
- 第四章 跨平台分布式交互仿真与实现
- 第五章 跨协议分布式交互仿真系统互连
- 第六章 分布式仿真系统的多联邦互连
- 第七章 基于Multigen Vega的视景仿真
- 第八章 基于CORBA的分布式仿真



国防科技大学出版社

复杂大系统分布交互仿真技术

李智 肖斌 来嘉哲 张恒源 刘海洋 编著

国防科技大学出版社
湖南·长沙

图书在版编目(CIP)数据

复杂大系统分布交互仿真技术/李智等编著. —长沙:国防科技大学出版社,2007.8
ISBN 978-7-81099-419-4

I. 复… II. 李… III. 计算机仿真 IV. TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 078298 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4572640 邮政编码:410073
<http://www.gfkdcbs.com>
责任编辑:文 慧 责任校对:唐卫葳
新华书店总店北京发行所经销
长沙市富洲印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:12 字数:285 千
2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-3000 册
ISBN 978-7-81099-419-4
定价:19.80 元

序

军事应用是许多高新技术诞生和发展的重要因素。国家要保持现代化的国防力量和军事手段,就必须开展经常性的军事训练和演习,而现代战争规模越来越大,综合性越来越强,科技水平越来越高,耗费资金越来越多,并且大规模军事演练往往具有国际政治敏感性或者受到有关国际条约的约束,所以需要研究服务于军事演练的系统、技术、手段和方式,分布交互仿真技术就是其中的一个典型代表。具有科学性、交互性、实时性、分布性、经济性的分布交互仿真技术,已经得到了许多国家的重视和认可,已经成为执行某些任务的决策工具和重要手段,已经应用于近期的某些局部战争或地区冲突。

近年来,国际上关于分布交互仿真技术的研究又有了新的突破和进展。各发达国家更加重视分布交互仿真技术及其应用,并且部分应用系统已经从国防领域延伸到民用行业,分布交互仿真的关键技术、运行平台、支撑环境、典型应用已经成为越来越重要的研究热点。分布交互仿真技术的近期发展,体现了多个方面的新特点,例如分布交互仿真的标准化与兼容性、合成虚拟环境的综合性、增强现实场景的虚实结合性、分布交互仿真对信息化设施的适应性、分布交互仿真的实用化。特别地,多类型、大规模、复杂化的分布交互仿真系统,尤其需要能够体现新特点的多学科关键技术和运行支撑平台。

专著作者根据实验室近年来承担的科研课题和积累的工作成果,从大规模复杂化系统仿真的概念和特点、分布式交互仿真 DIS、高层体系结构 HLA/RTI、跨平台分布式交互仿真、跨协议分布式交互仿真、仿真系统的多联邦互连、分布式交互仿真的视景生成、基于 CORBA 的分布式仿真等方面,完成了《复杂大系统分布交互仿真技术》专著。其中,既阐述了相关概念、理论和特点,又介绍了关键技术研究 and 典型应用实践,具有较强的技术性和实用性。相信这本专著书对大家了解复杂大系统分布交互仿真技术的状况,推动相关关键技术的研究和应用,都将会有所裨益。

分布交互仿真技术具有巨大的发展潜力和广阔的应用前景,同时也存在大量有待解决的问题,希望越来越多的科研工作者加入分布交互仿真研究开发队伍,为我国在这一重要的科学技术方向达到国际领先水平做出贡献。

陈小武

于北航虚拟现实技术国家重点实验室

2007 年 8 月 7 日

目 录

第一章 绪论

1.1 概述	(1)
1.1.1 系统仿真	(1)
1.1.2 系统	(2)
1.1.3 系统模型	(3)
1.1.4 建模与仿真	(4)
1.2 复杂大系统	(5)
1.3 复杂大系统仿真的特点	(6)
1.4 大型仿真系统发展与趋势	(7)
1.4.1 系统仿真方法的发展	(7)
1.4.2 系统仿真应用的发展	(15)

第二章 分布式交互仿真 DIS

2.1 DIS 仿真的原理及特点	(17)
2.1.1 DIS 的基础结构概念	(17)
2.1.2 DIS 的技术特点	(18)
2.2 DIS 仿真规范 IEEE 1278	(19)
2.2.1 DIS 标准的协议数据单元	(20)
2.2.2 DIS 标准的通讯服务	(22)
2.3.2 DIS 标准的仿真管理	(24)
2.3 典型 DIS 仿真系统的设计与分析	(27)
2.3.1 系统设计	(27)
2.3.2 PDU 设计	(28)
2.3.3 同步设计	(30)
2.3.4 系统运行流程	(31)
2.4 DIS 的局限性和缺陷	(32)

第三章 高层体系结构 HLA/RTI 仿真

3.1 HLA/RTI 仿真原理	(34)
3.1.1 HLA 的层次结构和逻辑结构	(34)

3.1.2 RTI 的体系结构	(36)
3.1.3 HLA 的优势	(36)
3.2 HLA/RTI 仿真规范 IEEE 1516	(37)
3.2.1 HLA 规则	(37)
3.2.2 HLA 对象模型模板	(40)
3.2.3 HLA 接口规范	(40)
3.3 基于 HLA/RTI 的仿真实现	(54)
3.3.1 联邦开发和执行过程模型	(54)
3.3.2 HLA/RTI 仿真执行过程	(55)
3.4 典型 HLA/RTI 仿真系统的设计与分析	(57)
3.4.1 模型设计	(58)
3.4.2 联邦设计	(59)
3.4.3 对象和交互设计	(60)
3.4.4 联邦信息流程	(61)

第四章 跨平台分布式交互仿真与实现

4.1 分布式交互仿真跨平台互连的必要性	(63)
4.1.1 提高关键节点实时性能的需要	(63)
4.1.2 仿真系统中大规模计算的需要	(65)
4.2 Linux - Window 互连	(65)
4.2.1 Linux 操作系统的优势	(65)
4.2.2 Linux - Windows 互连的实现	(67)

第五章 跨协议分布式交互仿真系统互连

5.1 跨协议分布式交互仿真系统互连的必要性	(73)
5.2 跨协议分布式交互仿真系统互连方法	(74)
5.2.1 DIS/HLA 转换器	(74)
5.2.2 分布式桥接器	(75)
5.3 IEEE 1278 PDU 的扩展	(76)
5.4 分布式桥接器的设计与实现	(80)
5.4.1 协议转换	(80)
5.4.2 复合联邦的时间管理	(88)
5.4.3 开发实例	(89)

第六章 分布式仿真系统的多联邦互连

6.1 联邦桥接器(Fed - Bridge)的设计与实现	(93)
6.1.1 系统功能	(93)

6.1.2 系统结构	(94)
6.1.3 程序设计	(97)
6.2 同构 RTI 的多联邦互连	(99)
6.3 异构 RTI 的多联邦互连	(103)

第七章 基于 Multigen Vega 的视景仿真

7.1 视景仿真	(104)
7.1.1 概述	(104)
7.1.2 视景仿真系统的组成	(105)
7.1.3 视景仿真的应用领域	(106)
7.2 MultiGen 简介	(107)
7.2.1 MultiGen Creator	(107)
7.2.2 MultiGen Vega	(108)
7.3 基于 MultiGen Creator 的三维实体建模	(109)
7.3.1 OpenFlight 结构	(110)
7.3.2 纹理映射技术	(112)
7.3.3 LOD 技术	(115)
7.3.4 材质建模	(116)
7.4 基于 Vega 的视景仿真(Prime、Vega)	(119)
7.4.1 LynX 图形界面	(119)
7.4.2 Vega 程序设计	(120)
7.4.3 Vega 环境中动画仿真方法	(120)
7.4.4 Vega Prime 及 LynX Prime	(122)
7.4.5 基于粒子系统的特效仿真	(125)
7.5 面向集群的分布式视景仿真	(126)
7.5.1 图形集群概述	(126)
7.5.2 基于分布式 Vega 的视景输出	(130)
7.5.3 立体投影环境的建立	(131)
7.6 目标特性仿真	(133)
7.6.1 红外成像仿真	(133)
7.6.2 雷达图像仿真	(134)
7.7 典型视景仿真系统分析	(136)
7.7.1 基于 Creator 的星体建模	(136)
7.7.2 卫星运行的视景驱动	(137)
7.7.3 卫星的红外成像	(139)
7.7.4 视景显示	(140)

第八章 基于 CORBA 的分布式仿真

8.1 CORBA 简介	(142)
8.1.1 CORBA 概述	(142)
8.1.2 CORBA 的发展历程	(143)
8.1.3 CORBA 的基本概念和术语	(144)
8.1.4 CORBA 的体系与流程	(147)
8.2 CORBA 核心	(148)
8.2.1 ORB	(148)
8.2.2 OR 对象引用	(150)
8.2.3 POA 可移植的对象适配器	(152)
8.2.4 命名服务	(155)
8.3 IDL 接口定义语言	(158)
8.3.1 IDL 简介	(158)
8.3.2 语法规则	(159)
8.3.3 基本类型	(160)
8.3.4 用户定义类型	(160)
8.3.5 接口与操作	(161)
8.3.6 模块	(163)
8.4 omniORB	(164)
8.4.1 omniORB 简介	(164)
8.4.2 omniORB 的安装	(164)
8.4.3 开发环境的配置	(166)
8.4.4 IDL 编译器	(170)
8.5 开发 CORBA 应用程序	(172)
8.5.1 定义 IDL 接口	(172)
8.5.2 编译 IDL 文件	(172)
8.5.3 实现对象的伺服类	(173)
8.5.4 实现服务器的主程序	(174)
8.5.5 实现客户端程序	(177)
8.5.6 实际工程中的细节	(180)
参考文献	(183)

第一章 绪 论

1.1 概述

系统仿真是一门迅速发展起来的新兴学科，随着系统仿真实论方法和应用技术研究深入以及计算机、网络等技术的发展，应用计算机对真实或假想系统进行仿真的技术也已受到人们越来越多的关注，仿真技术已成为继理论研究和试验研究之后的第三种认识和改造客观世界的重要手段，以计算机、网络为工具的系统仿真已经成为系统特别是复杂大系统设计、分析、研究、测试、评估、研制和技能训练的重要手段，并已广泛应用于国防、教育、交通、制造、能源、生物、农业、环境、医疗、经济、天气预报等各个行业和重要领域。

1.1.1 系统仿真

1946 年第一台计算机诞生以来，以模拟机、数模混合机和数字机为工具的建模与仿真技术首先在航天、航空、航海、电力等领域得到了成功的应用。进入 21 世纪以来，计算机技术、网络技术及其他相关领域技术取得的新成就，使系统仿真技术得到了迅猛的发展，传统的连续系统仿真和半实物仿真的精度、置信度都提高到一个新水平，分布式仿真、虚拟现实技术、离散事件系统仿真、面向对象建模和仿真、仿真的 VV&A (Verification, Validation and Accreditation, 校核、验证和确认) 技术等成为现代系统仿真技术的主要研究热点。

所谓系统仿真，就是以控制原理、相似理论、系统技术、信息技术及其应用领域有关专业技术为基础，以计算机和各种模拟器及专用物理效应设备为工具，借助系统模型，对真实的或假想的系统进行动态研究的一门多学科综合性技术。它是用来研究系统的先期规划、开发工作以及系统的检验与评估的一种有效手段，是一种可控制的、无破坏性的、有效而经济的、可多次重复的试验手段。

系统、模型和实验系统是系统仿真的三要素。系统是客观世界的一部分，是相对于研究目的而定义的研究对象的集合；模型是对实际系统的一种抽象，是对系统本质的描述和抽象，它是系统仿真的核心和精髓；实验系统一般由仿真计算机和物理效应设备组成，模型在实验系统上运行，以获取所需要的信息。建模—实验—分析是系统仿真概念的基本框架。

为全面、正确地理解系统仿真，必须了解系统仿真所涉及的几个基本概念。

1.1.2 系统

“系统”一词早已为人们所熟悉，它广泛存在于自然界、人类社会以及人类思维描述的领域中。从非生命系统到生命系统，从生产建设系统到组织管理系统，从复杂的大系统到微小系统，应有尽有。

由于学科的不同，使用方法的不同，要解决的问题不同，对系统一词有许多不同的解释。如果仅从整体和局部的关系而言，可以将系统定义为：系统是由相互作用、相互依存的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。而构成系统的组成部分则称为元素，它是系统中最小的不需要再分的部分。

上述定义说明，系统具有如下基本特征：目的性、整体性、相关性等。

1. 目的性

无论设计一个新系统或改进一个已有的系统，都是为了实现一定的目的。系统的目标就是系统目的性的具体化、数量化指标。当系统要达到的目标不止一个时，就要从整体出发，进行目标分析，优先考虑主要目标，全面协调地实现所有目标。

2. 整体性

系统整体性是系统的一个重要特性，它主要表现为系统的整体功能。系统整体性特征来源于系统的整体对于它的元素之间的“非加和性”关系，即“整体不等于它的部分和”。由于系统内各元素之间存在着相干性、协同性，因而系统在整体上会有“新质”突现。这些新质不是它的任何单个元素所具有的，而是作为系统整体而具有的。例如，导弹系统由弹体、弹头、发动机、制导装备等组成，它具有远程精确打击的功能，而构成导弹的这些零部件却不具备这样的功能。也就是说，系统中的任何一个部分在整体中所实现的功能，一旦离开了系统这个整体，其功能也将丧失。

3. 相关性

系统相关性是指系统的各元素按一定的方式或要求结合起来，各元素之间存在着相互作用、相互依存的内在联系。正是由于具有这种内在联系，系统才能作为一个有机整体去完成其特定的功能。除系统内部各组成部分之间具有相关性外，系统还通过输入输出与外部环境相关联。系统与外界环境的关联往往会影影响其他系统的存在与发展。

无论什么系统，一般都包括实体、属性和活动三个要素。

实体是指存在于系统中具有信息的可区分的个人、地点、单元、事情、事件或概念，例如导弹系统中的弹体、发动机、制导装备等；工厂系统中的生产部门、商品、仓库等。系统中的实体既具有一定的相对独立性，又相互联系构成一个整体。

属性指实体所具有的每一项有效的性质或特征。例如，在导弹飞行的过程中，与弹体有关的属性包括飞行速度、姿态、高度等；在工厂系统中，部门的属性包括职员数量、部门职能等，商品的属性包括生产日期、保质期、成本、售价等。

活动是在一段时间发生的情况，是导致系统状态发生变化的一个过程，它反映了系

统的变化规律。例如,导弹飞行速度和飞行高度的变化、仓库库存的变化等。

从不同的角度可将系统分为不同的类型。按系统的组成部分是否是物质实体,可将系统分为实体系统和概念系统;按系统状态与时间的关系,可将系统分为动态系统和静态系统;按系统规模,可将系统分为小系统、大系统和巨系统。按系统结构,可将系统分为简单系统、复杂系统。

1.1.3 系统模型

仿真是一种模仿行为,建模与仿真就是利用模型进行的一种试验。要对系统进行仿真,首先就要建立起系统模型。所谓系统模型,就是对某一系统的写照或缩影,用以描述系统的结构、形态和信息传递的规律。由于具体的系统往往很庞大,因素极多,关系错综复杂,所以模型不可能也没有必要把全部因素都包括进去,它只是对实际系统的对象和过程,就某些最本质的属性进行抽象。所以,模型是对相应的实际对象和真实关系中那些有用的和令人感兴趣的特性的抽象,是对系统某些本质方面的描述,它以各种有用的形式提供被研究对象的信息,即系统模型是对实际系统的一种抽象、本质的描述。

利用模型进行试验的活动被称为仿真,或称作模拟。在研究已有系统或假想系统的过程中,为了了解系统的内在特性,必须进行一定的试验。但由于现实系统很难进行试验,或即使可以做试验,亦需要花费昂贵的代价,因此,只能设法构造既能反映系统特征又能符合系统试验要求的系统模型,并在该系统模型上进行试验,以达到了解系统的目的。同时,模型比实际系统更容易理解、易于操作,尤其是改变模型中的一些参数数值,比在实际系统中去改变要容易得多。另外,正确建立的模型,能更深刻、更集中地反映实际系统的主要特征和运动规律,从而达到对实际系统的抽象。因此可以说,模型更优于实际系统。

从不同的角度观察系统模型,可以得出多种不同的分类,其中最重要的、应用最为广泛的就是数学模型。系统的数学模型是对系统与外部的作用关系及系统内部的运动规律所做的抽象,并将此抽象用数学的形式表示出来,如静态投入产出模型、概率统计模型、兰彻斯特方程等。数学模型有定性的和定量的,可采用微分方程、代数方程、逻辑关系等形式来描述系统。

无论是在科学领域,还是在工程领域,模型都有着十分广泛的应用,并取得了巨大的成功,对现实世界有着很大的影响。概括起来讲,模型具有两个方面的作用:一是提高了人们对实际系统的认识能力,二是提高了人们对实际系统决策的能力,即提高了认识世界和改造世界的能力。

在提高认识能力方面,模型具有通信、思考、理解三个层次的作用。首先,一个数学描述应提供一个准确的、易于理解的通信模式,即在信息传递时,这种描述模式可以减少引起误解的概率。其次,在研究系统的各种不同问题或考虑选择假设时,需要一个相当规模的辅助思考过程。最后,一旦模型被综合成为一组公理或定律时,这样的模型将会使研究者更好地认识客观世界的现象。

1.1.4 建模与仿真

所谓建模,就是对所要仿真的系统特征进行抽象提取的过程。建立模型,尤其是建立抽象程度很高的模型,并不是一件轻而易举的事情,而是一种高度创造性的劳动,可以说,建立系统模型既是一种技术,又是一种艺术。

建模依据的相似性原理,根据所研究问题的不同,相似性的判别也有所不同。在系统建模与仿真中,主要包括功能相似性、逻辑相似性、几何比例相似性、特性比例相似性和感觉相似性等,这些相似性奠定了系统仿真的理论基础。

建立系统模型的任务是要确定模型的结构和参数。对于内部结构和特性清楚的系统,即所谓的白盒系统,可采用直接分析法、类似建模法等方法,利用已知的定理、定律分析推导出系统模型,如利用 RLC 串联电路类比研究具有弹簧和阻尼器的机械运动系统。对于内部结构和特性不清楚的系统,即所谓的黑盒系统,则可以采用人工现实法、统计分析法等,根据试验观测建立假设模型,进而通过试验验证盒修正该模型。而介于二者之间的系统,即对它们的内部结构盒特性有所了解但又不甚了解时,则可以结合运用前面的方法来建立其模型。

由于系统的复杂程度不同,要求与目的也不同,因此,模型是多种多样的,在这种情况下,试图寻找一种在任何情况下都能行之有效的建模固定格式或方法,显然是不切合实际的。建模是一个反复的、不断调整的过程,也是逐渐深入认识实际系统的过程。虽然建模问题十分复杂,但不管建立什么样的模型,都应遵循如下的要求。

1. 真实性

模型必须在一定程度上反映现实系统的本质规律。一旦模型确定后,就要能根据模型中的各种变量、数据、公式、图表来求解模型、研究模型,因此,数据必须可靠,公式和图表必须正确,要有科学依据,合乎科学规律。

2. 精密性

模型既然是现实系统的替代物,它必须能反映事物的本质,且具有一定的精确度。如果一个模型不能在本质上反映现实实际,或者在某些关键环节缺乏足够的精确度,那么所建的模型就失去了意义。对于同一个系统,考虑不同的研究目的,其精确度要求也是不一样的。例如,研究低速运动的物体时,可以忽略空气阻力的影响,而当物体运动速度提高时,则必须考虑空气阻力的影响,甚至当物体运动速度接近光速时,还必须考虑物体的质量已不再是一个常量。

3. 简明性

在真实性的基础上,模型的表达方式应明确、简单,抓住本质,能简就简,以节约模型建立和计算的时间。一个实际系统可能是相当复杂的,如果模型也很复杂,则构造和求解模型的费用太大,甚至由于因素太多,而使得模型难以控制和操纵,这就失去了建模的意义。所以,当简单的模型能很好地满足实际需求时,就没有必要建立复杂的模型。

建立模型的过程就是对实际系统逐渐深入认识的过程,一个好的模型可以帮助人们不断地加深对实际系统的认识,并且启发人们去进行试验,以获取满意的效果。

1.2 复杂大系统

人类认识客观世界是由浅到深、由表及里、由简单到复杂的往复循环过程。从第二次世界大战结束后,我们就处于科学发展史上的一个大转折时代,这就是从经典的机械论科学向新兴科学的转变。按普利高津的说法,是从简单性科学向复杂性科学的转变。

从20世纪40年代开始,世界科学界就开始了复杂性探索。70年代,普利高津、哈肯、艾根断言复杂性是物质世界自组织运动的产物。艾根特别研究了生物复杂性的起源,阐明了生物复杂性是如何从物理简单性中产生出来的。哈肯认为“由大量数目的部分所构成”和“具有复杂的行为”是复杂系统的两个基本特征,并以代数复杂性为基础来定义一般复杂性,把复杂性研究的要点归结为复杂系统空间的、时间的或功能的结构变化。普利高津则断言现代科学在一切层次上都遇到了复杂性,倡导建立复杂性科学。80年代,以诺贝尔物理学奖得主盖尔曼(M. Gell-Mann)为主的圣塔菲研究所的科学家们试图建立能够处理一切复杂性的一元化理论,但是,关于是否存在一元化理论,科学界(甚至是圣塔菲的学者之间)一直有着激烈的争论。从科学哲学的观点来看,建立能处理一切复杂性的一元化理论很不现实,复杂性科学是未来科学的总称,而不是一门学科。

究竟什么是复杂性,目前尚无法给出一个统一而精确的定义。其实,复杂性和简单性一直是一个相对的概念。一个问题,在我们认识它并找到解决办法之前,它是复杂的,而一旦认识了它的本质和规律,找到了解决它的方法后它就是简单的。当然,这种认识并不能从根本上区分复杂性和简单性,科学界仍力求给出复杂性的严格定义。而复杂性是很难定义的概念,不同的学者从不同的角度给出了不同的表述,例如, L. Loyd收集了复杂性的31种定义方式。当然,这些定义都有很大的局限性,只能在特定的范围内得到有效应用。这里,我们使用钱学森依据系统学观点给出的定义:所谓“复杂性”实际是开放的复杂巨系统的动力学。这个定义指明了复杂性是一类系统的属性,它具有巨型性、内在差异性、层次性、开放性和动态性等特点。即规模巨大、组分差异显著、层次众多、对环境开放的系统的动力学特性,就是复杂性。

20世纪60年代科学家提出了大系统概念,建立了大系统理论,把以前所研究的或对象称为小系统,它们只有少量的元素,规模很小。大系统理论发现,系统规模的增大会引起系统性质上的某些改变,增加理论分析和工程处理的困难。综合复杂性和大系统理论,可以认为,复杂大系统是规模庞大的具有复杂性的系统,它具有如下特点。

1. 分散性

大系统的构成元素或子系统常常是由许多联系松散的小系统构成的,这种特性将导致信息具有分散性。

2. 不确定性

不确定性主要包括两个方面,一是由于复杂大系统中同时存在负反馈和正反馈,负

反馈使得系统通过自我调节而保持稳定,正反馈则促使系统偏离原来的发展轨迹。当正反馈在一定条件下处于主导地位时,它就使得系统的发展表现为不合目的性的运动,从而导致系统发展的不确定性。二是系统参数的不确定性,大系统的随机因素比小系统更加复杂多样,大系统具有明显的模糊性,许多情况无法确知。

3. 规模庞大

复杂大系统的组成元素数目很大,关系错综复杂。按钱学森的观点,组分只有几个、十几个的是小系统,组分有几十个、上百个的是大系统。

4. 涌现性

由于系统内部各元素之间存在着相干性、协同性,因而系统在整体上会有“新质”突现,这种性质只能在系统整体中表现出来,一旦把系统分解为它的组成部分,便不复存在。换言之,涌现性即是指系统整体具有部分或部分总和所没有的性质,或高层次具有低层次所没有的性质。

1.3 复杂大系统仿真的特点

许国志、顾基发等指出:“任何一门学科,只有当它是所处时代的社会生存与发展客观需要的自然产物,同时学科内在逻辑必要的前期预备性条件又已基本就绪时,它才会应运而生,并为世所容所重,得以充分发展。”复杂大系统仿真的出现与发展充分体现了这一点。

现代社会日益信息化,人类的实践活动日益大型化、复杂化,系统仿真技术所面临的问题域也从过去单一的工程系统范围,扩展为具有丰富内涵的复杂大系统,随着人们对系统的认识和研究的发展,系统的规模和复杂性也有了很大的增长,复杂大系统的研究正受到人们的重视。计算机技术、网络技术、可视化技术、信息处理技术、自动控制技术等的发展,使得系统的开放性、分布性大大增加,有力地推动了复杂大系统仿真的发展和进步。

简单说来,复杂大系统仿真就是以复杂大系统为研究对象的系统仿真技术。它是一项应用技术,其主要目的是要提高建模与仿真的效率,提高仿真的逼真度、可靠性,改进仿真系统的体系结构,其特点如下。

1. 多学科综合

现代社会日趋大型化、复杂化,出现了大工业、大农业、大经济、大军事、大政治、大科学等等。任何一个大型复杂问题的解决都不能由某一学科单独完成,必须综合应用多学科知识,进行跨学科研究。复杂大系统仿真需要充分运用数学、自动控制、相关领域的专业技术知识等分析、构建系统模型,利用计算机技术、网络技术、虚拟现实技术等构建系统仿真平台,完成对实际系统的仿真试验,并利用统计学、效能评估、优化技术等,根据试验结果对实际系统进行分析、评估和优化。

2. 定性与定量分析相结合

复杂大系统中一般都包含有目前尚不能定量描述的因素,如人的思想、性格、感情

等因素,所以,在进行复杂大系统仿真时,往往需要采用定性与定量相结合的分析方法。定性与定量相结合的分析方法已经成为研究复杂系统,如武器装备系统发展的主要研究方法。这种方法体现了现代科学技术发展的综合趋势,引起了国内外一些专家、学者的重视,并产生了一批研究成果。著名科学家钱学森提出的综合集成方法是一种定性与定量相结合的方法,并进一步发展提出“从定性到定量的综合集成研讨体系”。日本科学家也提出类似的复杂系统研究方法,称为“既软又硬”的 Shinayaka 方法。这些方法的基本思想概括为五个结合:定性分析与定量分析相结合,科学理论与经验知识相结合,多种学科相结合,多领域、多层次专家相结合,宏观研究与微观研究相结合。

3. 集成性

复杂大系统仿真的另一个突出特点就是对已有系统的集成。对于复杂大系统仿真,由于其研究的对象复杂,涉及众多要素,为了提高建模与仿真的效率,提高仿真系统的真实性,这就要求在做好仿真系统顶层设计的同时,应能充分利用已有成果,结合优势单位,共同完成仿真系统的设计、开发、测试、运行和维护。因此,在复杂大系统仿真中的一个关键问题就是如何将位于不同地域的、不同单位设计开发的、系统硬件和软件具有不同结构和配置的、实体表示与描述各异的仿真节点连接起来并实现互操作。

1.4 大型仿真系统的发展与趋势

近年来,随着信息化技术、计算机技术、网络技术、虚拟现实技术的发展,系统仿真理论和应用的研究也逐步得到深化,其应用领域也不断得到拓展。国外有人提出,应用仿真技术要解决六大难题——核反应过程、宇宙起源、生物工程、结构材料、社会经济和战争。

1.4.1 系统仿真方法的发展

系统仿真是一门综合性的应用技术,在系统理论和相关技术日益发展的同时,系统仿真也面临着许多新的要求,如提高仿真的逼真度、可靠性,提高建模与仿真的效率,改进仿真系统的体系结构,改善仿真系统的沉浸感,实现大规模仿真等,为了满足这些要求,系统仿真学者们提出了一系列的技术方案,以期建立标准的、具有强烈沉浸感的分布交互式仿真系统。这些技术代表了系统仿真发展的趋势,归纳起来主要有如下几点。

1.4.1.1 分布交互仿真

自 1978 年美国空军上尉 J.A.Thorpe 提出了联网仿真的思想以来,系统仿真已由原来的单机、单平台仿真,走向了以网络为基础的分布交互仿真。1983 年,美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Project Agency, DARPA)制定了“SIMNET (Simulation Networking)”。1989 年, DARPA 建成了分布于美国和德国 11 个基地的综合仿真网络,第一次实现了作战单元之间的直接对抗。在 SIMNET 的基础上,由美国 DAR-

PA、联合作战中心 JWFC、国防部建模与仿真办公室 DMSO、陆军模拟训练与装备司令部 STRICOM、联邦航空管理局 FAA 等机构牵头,开始开发先进的分布仿真技术 (Advance Distributed Simulation, ADS),并于 1989 年发展为支持异构网络互联的分布交互仿真技术 (Distributed Interactive Simulation, DIS)。按我军军用仿真术语标准研究课题组的定义,分布交互仿真一般是指连结处于分散位置的各类仿真系统,以营造能仿真高度相互作用活动的复杂虚拟世界。

分布交互仿真采用协调一致的结构、标准、协议和数据库,通过局域网和广域网将分散配置的仿真硬件、软件和仿真环境综合成为一个人可以参与交互作用的时空一致的共用仿真环境。从系统的物理构成来看,分布交互仿真系统是由仿真节点和计算机网络组成的。仿真节点负责实现本节点的仿真功能,包括模型求解、自动兵力生成、环境模拟、运动模拟、视景生成和音效合成、人机交互等。计算机网络将分布在不同地域的仿真节点连接起来,实现平台与环境、平台与平台、环境与环境之间的交互作用。在 DIS 的体系结构、数据通信方面,IEEE 协会在 1990—1993 年制定了 IEEE1278DIS 标准系列。该标准的核心是通过使用协议数据单元 PDU,支持异地分布的真实、虚拟和构造的平台级仿真之间的互操作。

DIS 环境应用具有分布交互仿真功能、实时并发功能,它主要用在军事训练上,尤其是大规模、多兵种协同作战训练上。1983 年, DARPA 实施了有陆军参加的仿真器联网计划 (SIMNET)。SIMNET 是由广域网将分布在美国和欧洲各地的由 120 台计算机控制的 M1A1 坦克和布雷德利步兵战车等的仿真器连接在一起,构成一个分布式交互仿真系统,每个仿真器都能单独模拟 M1 坦克的全部特性,包括导航、武器、传感和显示功能。1990 年 SIMNET 计划结束时,已形成了包含约 260 个地面装甲车辆仿真器、指挥所和数据处理设备等的互联网络。SIMNET 第一次实现了作战单元之间的直接对抗,并能在其所提供的虚拟作战环境中让营以下部队进行联合军种协同作战训练和相关战术研究。

在 DIS 发展的同时, MITRE 公司对照 SIMNET 对实验进行了技术分析,开展了聚合级分布交互仿真的研究,提出了聚合级仿真协议 (Aggregate Level Simulation Protocol, ALSP)。聚合级仿真指的是基于部队单位而非具体武器装备平台的仿真,用于支持作战而非技能的演练,主要用于较高层次的训练。与基于平台的 DIS 相比,ALSP 将平台实体聚合成更大的单位,参与仿真试验,其实体粒度更大。1991 年,美军进行了 ALSP 原型系统的试验,1992 年形成了第一个聚合级仿真协议联邦 (ALSP Confederation)。目前世界上规模最大的分布并行仿真应用系统联合训练联邦 (Joint Training Confederation, JTC) 就是采用 ALSP 标准构建的。

ALSP 既是协议,也是软件,它包括三个部分:

- (1) ALSP 基础设施软件 AIS,提供分布式仿真运行的支持和管理;
- (2) 可重用的 ALSP 接口,该接口由一组数据交互协议构成,用于支持不同仿真所表示对象之间的交互;
- (3) 各类参与 ALSP 仿真的仿真系统。

虽然 DIS、ALSP 标准大大推动了分布交互仿真的应用与发展,但它们都只解决了特

定领域内的仿真系统之间的互连互操作,即只有有限的互操作性,不能满足越来越复杂的作战仿真需求。1995年,美国国防部建模与仿真办公室(DMSO)提出了建模与仿真的高层体系结构(High Level Architecture, HLA),它是计算机仿真系统的通用技术框架,其主要目的是提高仿真应用的互操作性和仿真资源的可重用性,从而提高仿真系统的效率。

HLA把在其上开发的分布式仿真系统称为联邦(Federation),把参与联邦运行的应用程序称为联邦成员(Federate)。HLA是一种软件体系结构,其标准包括三部分。

1. HLA 规则

HLA规则是指在联邦执行过程中,实现联邦成员间交互所必须遵循的原则和协议,是接口规范和对象模型模板(Object Model Template, OMT)的设计规则。同时,它也规定了联邦成员和联邦设计者的职责。

2. 对象模型模板 OMT

每个联邦都有一个联邦对象模型(Federation Object Model, FOM),OMT规定了每个FOM可以采用的结构。OMT是HLA实现互操作和可重用的基础。

3. 接口规范

接口规范定义了联邦运行过程中,支持联邦成员之间互操作所需的基本服务与接口,这些服务由运行支持环境(Run-Time Infrastructure, RTI)软件系统实现。

HLA是一个开放的、支持面向对象的分布式仿真体系结构。HLA最显著的特点就是通过提供通用的、相对独立的支撑服务程序,将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层通信三者分离。从而可以使各部分相对独立地进行开发,最大程度地利用各自领域的最新技术来实现标准的功能和服务。同时,HLA可实现应用系统的即插即用,易于新的仿真系统的集成和管理,并能根据不同用户需求和不同的应用目的,实现联邦的快速组合和重新配置,保证了联邦范围内的互操作和重用。

HLA是美国国防部公布的建模与仿真主计划(Modeling and Simulation Master Plan)的三大核心内容之一,目前已成为新一代分布交互仿真最主要的系统体系结构规范。美国国防部规定,在2001年以后,所有的建模与仿真应用必须与HLA兼容。

1.4.1.2 面向对象仿真技术

面向对象仿真(Object Oriented Simulation)是当前仿真领域最新的研究方向之一,它根据系统的构成对象及其相互作用关系来构建仿真模型,模型的对象通常表示实际系统中相应的实体。由于其分析、设计和实现系统的思想与人们认识客观世界的自然思维方式极为一致,所以,它使得仿真模型更为直观,更易于理解,有利于提高仿真系统软件的安全性、可靠性和可重用性。

20世纪80年代,人们提出了应用面向对象概念和方法进行软件分析、设计、开发的思想,出现了面向对象分析(Object Oriented Analysis, OOA)以及面向对象设计(Object Oriented Design, OOD)等方法,这些方法与面向对象程序设计(Object Oriented Program Design, OOPD)一起,形成了被称为(Object Oriented: OO)面向对象范型的系