

仿真科学的研究

刘藻珍

北京理工大学宇航科学技术学院, 北京 100081

[摘要] 仿真学科是一门正在蓬勃发展的综合性学科, 近年来在国民经济的各个领域均得到广泛应用。从仿真建模与模型验证方法、仿真支撑系统和仿真应用工程 3 个方面论述了仿真学科的主要研究内容, 通过实例阐述了仿真学科与其他相关学科新技术相结合而带来的新的技术飞跃, 并展望了仿真学科的发展方向。

[关键词] 系统仿真; 仿真建模与模型验证; 仿真支撑系统; 仿真应用工程

[中图分类号] TP391.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)02-0014-08

Study on Simulation Science

LIU Zaozhen

School of Astronautics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Abstract: Simulation science is a new branch of science, related to many areas of national economy. This paper gives an introduction to simulation science from the following three aspects: simulation modeling and model validation, simulation support system, and simulation application engineering. Examples are given, which show that the new science is closely related with other branches of science and sees a rapid development. This paper also discusses the development tendency of simulation science in the future.

Key Words: system simulation; simulation modeling and model validation; simulation support system; simulation application engineering

CLC Number: TP391.9

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)02-0014-08

0 引言

从 20 世纪 40 年代以来, 在各类应用需求的牵引及相关学科技术的推动下, 仿真技术已经逐渐发展为一门综合性学科。通俗地讲, 仿真(simulation)是通过建立实际系统的模型, 并以计算机和各种物理效应设备为工具, 利用所建模型或部分实物, 对实际(或设想)系统进行动态实验研究的过程。目前, 它已经成功地应用于航空、航天、军事、医学、信息、生命科学、材料、能源、先进制造等高新技术领域以及工业、农业、商业、教育、交通、经济、社会服务和娱乐等众多领域的系统论证、试验、分析、维护、辅助设计及人员训练等方面。可以说, 仿真技术与高性能计算机技术相结合, 已经成为人类认识和改造世界的重要手段之一。

从普遍意义来看, 仿真的研究对象是系统, 系统是各个学科共同使用的一个基本概念。由于系统实在是包罗万象, 使得我们难以用简明扼要的文字准确地定义它, 这里给出一个能被普遍接受的说法, 即系统是由相互联系、相互制约、相互依存的若干组成部分(要素)结

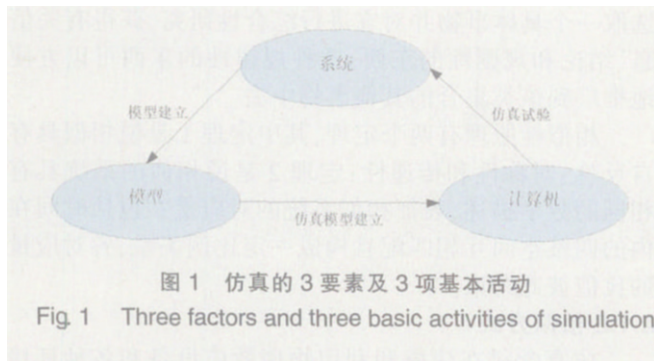
合在一起的具有特定功能和运动规律的有机整体。构成系统的各组成部分可称为子系统或分系统, 而系统本身又可看作它所从属的那个更大的系统的组成部分。

为了研究系统, 从理论上讲可以用实际系统来做试验, 但往往出于经济、安全及可能性等方面的考虑, 或者系统还处于设计中、实际系统尚不存在等原因, 需要借助系统模型进行试验, 故系统的模型化是进行仿真的核心和必要前提; 而对复杂系统的模型处理和模型求解, 离不开高性能计算机; 于是仿真的 3 个基本要素是系统、系统模型和计算机, 进而联系这 3 个要素的基本活动是模型建立、仿真模型建立和仿真试验, 如图 1 所示。

因为仿真是作为分析和研究系统运动行为、揭示系统动态过程和运动规律的一种重要手段和方法, 所以众多科技领域对仿真技术都有着迫切的需求。近年来在系统科学、控制理论、信息处理技术及计算机技术的发展推动下, 仿真科学在理论研究、工程应用、仿真工程和工具开发环境等许多方面取得了令人瞩目的成就, 逐渐形成了一门独立发展的综合性学科。

收稿日期: 2006-12-19

作者简介: 刘藻珍, 女, 北京海淀区中关村南大街 5 号北京理工大学宇航科学技术学院, 教授, 主要研究方向为飞行器制导、控制与仿真; E-mail: liuzaozhen@bit.edu.cn



仿真学科涉及的应用领域十分宽广, 包括本文开头提到的各个领域, 以及多种领域之间的交叉应用, 如工程和经济领域的相互交叉 (产品与市场总是密切相关的)、工程和军事领域的相互交叉 (战争与武器也是密不可分的) 等。

仿真学科的应用渗透到决策、管理、科研、生产等的各个层次, 大体可分为 3 个层次的应用。

顶层应用主要是在各个领域的顶层对系统的效果评估与辅助决策等方面起到重要作用。如对国家的某项经济政策可能会引起的整个国民经济的反映进行评估; 对某大型水利工程 (如三峡工程)、对生态环境、经济发展等的影响进行评估; 对某项大的军事行动 (如美军对伊战争) 的效果进行评估等。

中间层应用主要指各种项目的方案论证, 从总体技术方案到具体的实施方案的论证。如某项产品 (如新型汽车的设计) 的投资决策、市场分析、产品性能/价格比分析, 某类武器型号或某工程项目的立项论证等。

底层应用指仿真作为产品的辅助设计、性能考核、故障定位等强有力的工具, 在各领域的各类产品的研制开发过程中, 为研究人员提供了重要的技术支撑。如某具体产品 (如陀螺仪、汽车发动机等) 的故障定位、性能指标调整等, 某型汽车的虚拟样机设计、试验、评估, 投产决策等等。

顶层与中间层的应用属于系统级的, 底层应用则属于产品级。10 年前, 可以说国内仿真的应用更多注重在底层应用上, 随着科技的发展和进步, 中间层和顶层对仿真的需求越来越迫切, 国外亦有相同的发展趋势, 所以说仿真是一门“朝阳”学科, 并不为过。

仿真学科的内涵, 即研究内容主要包括仿真建模与模型验证方法、仿真支撑系统和仿真应用工程 3 大部分。

1 仿真建模与模型验证方法

仿真学科首先要研究的是仿真建模方法与模型验证方法。

1.1 仿真建模方法

仿真的应用领域十分广泛, 不同应用领域的研究对象千差万别, 仿真学科将各应用领域的对象均抽象

为“系统”, 仿真学科的建模与具体应用领域的建模区别在于, 它是从研究“系统”的角度出发, 研究仿真建模的共用理论和方法。

仿真建模方法研究的主要内容有机理建模方法、系统辨识建模方法、多分辨率建模方法、面向对象的建模方法、多视图建模方法、数据可视化建模方法、多媒体建模方法、面向组件的建模方法和面向服务的建模方法等, 其中机理建模方法根据不同系统行为的不同特征, 分为连续系统、离散系统、智能系统、灰色系统及环境等类。表 1 较详细地列出了各类系统建模研究的具体方法。

表 1 仿真建模方法研究的主要内容

Table 1 Main modeling methods

建模方法	研究的主要方向
机理建模方法	连续系统建模方法
	线性/非线性、连续/离散、确定/随机
	集中/分布、定常/时变
	离散事件系统建模方法
	面向活动、面向事件、面向进程、Petri 网
智能系统建模方法	Kuipers 定性建模方法、符号定向图、神经网络、模糊数学、智能代理、本体论等
	灰色系统建模方法
电磁环境与光学环境建模方法	灰色微分方程
	有限元、时域有限差分、矢量衍射波阵面基础公差分析
系统辨识建模方法	最小二乘、极大似然、结构辨识、模糊辨识
多分辨率建模方法	各种分辨率模型的分解与聚合
面向对象的建模方法	UML、HLA/OMT 等
多视图建模方法	“Statemat”方法等
数据可视化建模方法	标量/矢量/张量、动态数据场/流场
	多参数数据场可视化建模方法
多媒体建模方法	声音、图形/图像建模方法
面向组件的建模方法	DEVS/HLA
面向服务的建模方法	Web-service

在仿真学科研究中还有一类称之为定性仿真的方法, 用以区别于通常的定量仿真方法, 其特点是通过系统的定性模型描述、演绎系统定性行为, 以非数值手段处理信息输入、建模、行为分析和结果输出等。定性仿真能够处理多种形式的信息, 有推理能力和学习能力, 能初步模仿人类思维方式, 特别是在处理不完备知识和“深层”知识以及决策等方面有其独到的长处。适合于以下研究情况^[1]: ① 实际系统过于复杂或知识不完备, 无法构造系统精确定量模型; ② 客观对象的许多特性具有模糊性、不确定性, 难以量化; ③ 只需获得系统的定性结果, 不愿花费大量的时间与精力去进行繁杂的精确计算; ④ 希望模仿人类的思维习惯, 使用定性的方法进行推理, 得到一类模型的一般解, 而不是特定模型的特定解等。

定性仿真方法中的关键之一是对知识的表示与操作, 因而模糊数学法、归纳推理法和朴素物理学法是定

性仿真建模常用的建模方法。

模糊数学法:主要解决模型信息与所得数据的不确定性,离不开结构模型。方法的成果多出自模糊逻辑,代表人物 L.A.Zadeh。

归纳推理法:完全省略结构模型,行为模型全部来自测量数据,建模完全自动化;有学习能力,能模仿人的归纳思维。植根于系统理论中的 GPS 技术。

朴素物理学法:发源于人工智能,与定量仿真框架偏离较小,需要方程形式的结构模型。代表为 B.J. Kuipers 1986 年提出的 QSIM,是目前公认较为先进的方法。

而基于符号定向图(SDG)的深层知识模型近年来在定性仿真中得到了广泛的应用。

1.2 模型的验证方法

由于模型是仿真系统的核心和基础,模型是否准确地描述了被仿真的对象,是仿真结果是否可信的前提,仿真学科将模型验证^[2]作为其主要的研究内容。

模型验证的含义:一是检查模型是否正确地描述了实际系统,二是检查模型输出是否充分接近实际系统的行为。所以模型验证包括可信性验证和一致性验证。

可信性验证采用的方法是:

- 1) 通过对建模时的各种前提条件是否真实的检验,来验证模型是否可信;
- 2) 通过对建模时的推理过程是否符合思维规律、规则,推理形式是否正确,来验证模型是否可信。

对于模型的一致性验证,主要是通过考察在相同的输入条件下,仿真模型输出的结果与实际系统输出结果是否一致,及一致性程度来判断模型的可信度。一致性验证采用的方法主要有专家经验评估法、动态关联分析法、系统分解法、灵敏度分析、参数估计法、假设检验法、时间序列与频谱分析方法及综合法等。

综上所述,仿真学科不仅研究以“系统”为对象的建模方法,同时也要研究模型的验证方法,和提高模型可信度的方法。因此仿真建模方法、模型的校核/验证/确认方法、仿真运行的实验方法与仿真结果的评估方法均为仿真学科方法研究的重要内容。

2 仿真支撑系统

仿真支撑系统是进行仿真试验的软、硬件环境,是仿真的重要工具。相似理论是研究仿真支撑系统的理论依据和重要准则之一,而计算机技术、网络技术、图像处理技术等许多相关领域飞速发展的新技术促进了仿真支撑系统(环境)的技术飞跃。

2.1 相似理论

相似理论是仿真学科的最主要的基础理论之一,相似理论包括相似性原理、相似方式和实现相似的方法。

2.1.1 相似性原理

相似性原理是指按照某种相似方式或相似规则对各种实物进行分类,获得多个类集合;在每个类集合中

选取一个具体事物并对它进行综合性研究,获得有关信息、结论和规则性的东西;这种规律性的东西可以方便地推广到该类集合的其他事物中去。

相似性原理有两个定理,其中定理 1 是说相似具有自反性、对称性和传递性;定理 2 是说相似的系统具有相同的数学描述,表征相似系统的对应量在包括时间在内的四维空间互相匹配且构成一定比例关系,各对应量的比值彼此约束。

2.1.2 相似方式

仿真学科在建模和利用物理效应设备和各种环境模型进行仿真试验时,用到了多种相似方式。如比例相似(几何相似和综合参量比例相似)、感觉信息相似(运动感觉信息相似、视觉相似音响感觉相似等)、数学相似(如数学模型、仿真模型、物理模型均要求尽可能逼真地描述某系统的同一物理特征,也就是性能相似)、逻辑相似(采用各种神经网络、模糊理论、定性仿真方法等尽可能描述人类分析和综合事物的思维方法等)。

2.1.3 相似方法

在仿真学科中实现相似的方法也是多种多样,常见的有模式相似方法、模糊相似方法、组合相似方法、坐标变换相似方法、多级和循环仿真结构方法等。

2.2 仿真支撑系统

为仿真学科的应用研制出各类物理效应设备和仿

表 2 仿真支撑系统的研究内容
Table 2 Research contents of simulation support system

名称	研究内容
仿真系统总体技术	规范化体系结构、标准、规范与协议 系统集成技术和集成方法,如基于 HLA 标准的全生命周期建模仿真工具的互操作与集成技术
建模/仿真试验/评估工具引擎技术	支持(复杂)仿真工程全生命周期各类活动、面向问题的建模/仿真试验/评估的各类算法(串/并/分布)、程序、语言、软件及工具
VR/可视化技术	计算机图形生成、多媒体、VR 及人机交互技术等
集成框架/平台技术	基于 HLA 的协同仿真平台、综合仿真环境、仿真网格平台等
中间件/网络中间件技术	CORBA/COM/DCOM/RTI/XML 技术 下一代网络中间件技术等
网络/通信技术	Internet 有关技术、IPv6、以智能光网为核心的下一代光网技术 采用 3G、4G 的下一代无线通信网技术
数据库/模型库/知识库/内容管理等	关系/面向对象等数据库建立与管理技术,包括分布式数据库、主动数据库、实时数据库、演绎数据库、并行数据库、多媒体数据库 数据/知识挖掘技术、数据/知识仓库技术、实时/分布模型库技术 内容管理技术等
仿真计算机	个人计算机、大/中型计算机、并行机及基于 Internet/web 网络技术的网格计算系统

真支撑系统(数学仿真和半实物仿真的硬件和软件平台),或生成各种实时仿真环境是仿真学科研究中的一大分支。

仿真支撑系统研究的主要内容有仿真系统总体技术、建模/仿真试验/评估工具引擎技术、VR/可视化技术、集成框架/平台技术、中间件技术、网络/通信技术、数据库/模型库/知识库/内容管理等,以及仿真计算机。每项技术要研究的内容均在表 2 中详细列出。其中有一些内容涉及到相关学科。仿真学科要研究的是仿真这些技术要求的具体指标,以及在仿真中应用这些相关技术的方法。

仿真支撑系统的研制目前已经发展为仿真产业,为在国民经济的各领域、教育与文化娱乐以及国防工业与军事应用领域等应用仿真技术提供了重要的支撑平台。

3 仿真应用工程

3.1 仿真应用领域的广泛性

仿真学科涉及的应用领域十分宽广,几乎涉及到国民经济的所有领域,中国系统仿真学会的专业委员会的设置范围,以及作为仿真学会的学术刊物——系统仿真学报的栏目的类型的覆盖面,从两个不同的角度显现出仿真学科应用领域的广泛程度。表 3 列出了中国系统仿真学会的专业委员会的名称,表 4 列出了系统仿真学报的栏目。

表 3 中国系统仿真学会的专业委员会列表
Table 3 Special committees of Chinese Association for System Simulation

序号	专业委员会的名称	序号	专业委员会的名称
1	仿真方法与建模	2	系统仿真技术应用
3	仿真器	4	航空航天系统仿真
5	仿真计算机与软件	6	仿真算法
7	虚拟技术及应用	8	离散系统仿真
9	生命系统建模仿真	10	体育系统仿真
11	数字娱乐仿真	12	教育与科普

表 4 《系统仿真学报》的栏目表
Table 4 Fields covered of The Journal of System Simulation

序号	栏目	序号	栏目
1	建模与仿真理论及方法	2	仿真建模与仿真算法
3	仿真计算机及仿真软件	4	仿真器与仿真系统
5	人工智能与仿真	6	网络化仿真
7	虚拟样机与虚拟制造技术	8	虚拟现实与可视化
9	信息、控制、决策与仿真	10	复杂系统建模与仿真
11	仿真技术应用	12	分布式仿真
13	仿真训练	14	军事仿真

3.2 仿真应用工程的研究热点

仿真应用工程是仿真科学研究中最为活跃、发展最

快的一块内容。最初,仿真主要应用于航空航天、原子反应堆、电力系统代价昂贵、周期长、危险性大、实际系统试验难以实现的少数领域。随着仿真应用领域的扩大,各应用领域涉及的研究内容也越来越丰富,有仿真的共性技术,也有具体领域的特殊应用需求,仿真应用的时段也从需求分析、设计制造到使用维护涵盖了产品乃至项目的全生命周期。例如制造领域的仿真,它的研究内容就涉及到产品研制的各个阶段,包括:虚拟产品及其在虚拟环境中功能、性能、行为、外观的仿真技术;对产品成本、加工、制造过程,直至使用、报废的仿真分析技术;企业层次的企业建模(结构、资源、过程、供应链等)技术;战略决策分析、市场评估分析、风险效益评估、质量成本分析等多项仿真技术。

仿真作为人类认识和改造世界的重要手段之一,最终目的是为各应用领域服务,因此近年来,仿真应用工程的研究成为国内、外仿真学科研究的重点和热点。

仿真应用工程研究问题的核心是针对各应用领域的不同仿真目的,如何构成仿真系统,以及如何应用仿真系统进行仿真,以达到预期的目标。

当前,仿真应用发展的方向是网格化、虚拟化、智能化、协同化、普适化。研究重点包括基于现代网格技术的分布建模与仿真的研究与应用、智能系统建模及智能仿真系统的研究与应用、综合自然环境的建模/仿真研究与应用、复杂系统/开放复杂巨系统的建模/仿真研究与应用、虚拟样机工程技术研究与应用、嵌入式仿真研究与应用等。仿真应用工程正向服务于系统的全寿命、全系统和管理的全方位方向迅速发展。

下面以有关仿真应用工程的几个研究热点为例,说明仿真应用工程研究内容的丰富和广泛,并已取得显著的经济和社会效益。

3.2.1 复杂产品虚拟样机工程支撑平台

随着仿真系统的规模和结构日益扩大和复杂,一种具有分布、异构、协同、互操作、重用等性能的,以现代网格技术为支撑的分布式仿真系统应运而生,并成为仿真学科的重要研究内容。在许多应用领域,这种系统的运行已经构成了“仿真系统工程”。

图 2 表示了一种异地、协同、多学科虚拟样机开发平台^[3],支持多学科虚拟样机的设计和综合优化。

多学科虚拟样机技术是当前复杂产品研究与开发的热点,并已有部分支持多学科的工具软件产生,典型的如 ADAMS、PLUG&SIM、StateMate 等。我国也已经自主开发了 COSIM(collaborative simulation)平台。

COSIM 平台是一种基于并行工程理念,综合运用现代管理技术、先进设计/制造技术、先进仿真技术、多学科优化技术,并将管理、技术与人三者之间进行有机集成而形成的一体化、部分智能化的复杂产品协同开发环境。在复杂产品设计过程的整个生命周期,该平台支持采用多学科虚拟样机技术进行产品创新设

计, 从而可缩短研制周期, 降低研制成本与研制风险, 提高研制质量。COSIM 平台推动了企业信息化与产品信息化进程, 促进了复杂产品采办模式的变革。

图 3 给出了支持复杂产品虚拟样机工程的整体解决方案。

由图 3 可见, 复杂产品虚拟样机工程支持平台(COSIM)包括 3 个层次。

COSIM 的技术平台软件套件的组成如图 4(a), 而软件的体系结构如图 4(b)所示。COSIM 具有如下 7 个特

色:

- 1) 基于 XML 集成的软件套件;
- 2) 以项目管理为中心的全生命周期管理;
- 3) 支持并行工程的 V 字型系统的开发;
- 4) 贯彻了新的系统开发理念;
- 5) 支持不同粒度虚拟样机组件模型的重用与快速组装;
- 6) 基于模型库的总体集成;
- 7) 实现了多学科建模仿真、设计优化的无缝集成和多学科虚拟样机的系统优化。

异地、协同、多学科虚拟样机开发平台已经在我国工业生产中得到广泛的应用, 经济效益显著。下面举几个工程应用的例子。

从 1996 年起, 国家 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)中心就率先开展我国虚拟制造技术的研究, 提出了基于元建模的虚拟制造体系结构, 对多体动力学仿真、虚拟加工、虚拟装配、虚拟车间、大规模定制, 以及基于产品开发管理的集成技术等开展了深入研究, 主持建立了具有国际先进水平的虚拟制造实验室。

国家 CIMS 中心首次基于虚拟样机成功地开发出了我国具有自主知识产权的剑杆织机, 当年新增产值超过 3 亿元, 新增利税超过 3 000 万元, 为纺机从有梭织机到无梭织机产品结构调整做出了突破性贡献。

北内孵化基地工装设计中心在“异地同步协同设计与开发”平台支持下, 完成了安徽全椒柴油机厂 200 万元 40 套夹具的设计生产合同和江淮汽车 600 万 42 套夹具的设计、制造合同; 2 年来, 累计销售收入达 2 000 万元, 节省设计费达 20%, 缩短时间达 30%。北内孵化基地已在 11 家企业进行了典型应用, 200 余家进行了推广应用。获得直接经济效益为累计新增产值 8 880 万元、利税 1 318 万元, 增收节支 527 万元。

该平台还在中关村电子城的十余家企业进行了示范应用, 获得直接经济效益为累计新增产值 14 794 万元、利税 2 020 万元, 增收节支 3 537 万元, 创汇(折合人民币)1 938 万元。

在镇江地区, 江奎集团利用“ASP 异地协同产品设计平台”结合 TFT 液晶彩电、DVD+TV 二合一、DVD 机芯、彩电模具等产品开发进行了示范应用, 获得直接经济效益为累计新增产值 9 723 万元、利税 1 053 万元, 增收节支 1 808 万元, 创汇(折合人民币)9 528 万元。

3.2.2 综合自然环境的建模与仿真

许多仿真应用情况要同时考虑自然环境条件的影响, 以获得更符合

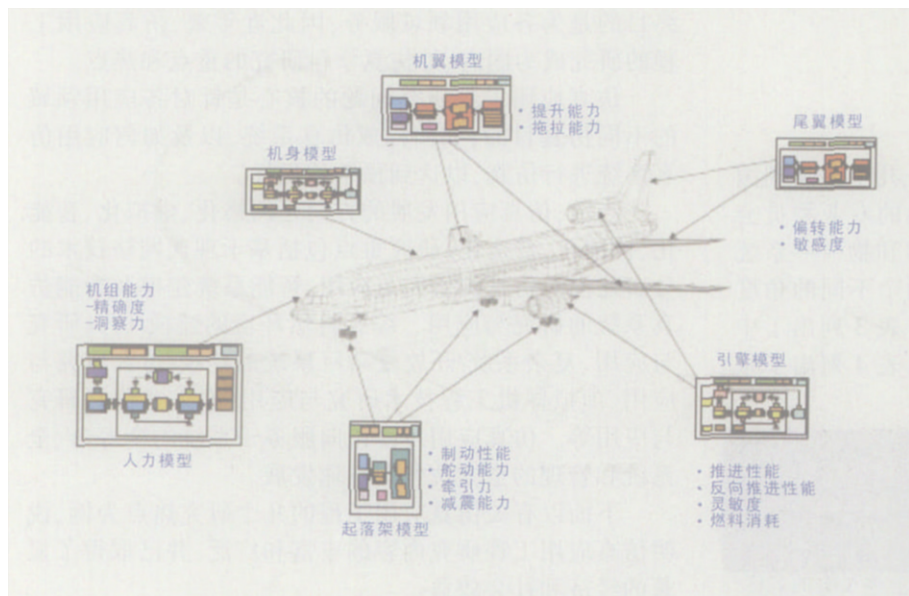


图 2 异地、协同、多学科虚拟样机开发平台

Fig. 2 Distributed collaborative multi-disciplinary virtual prototype development platform

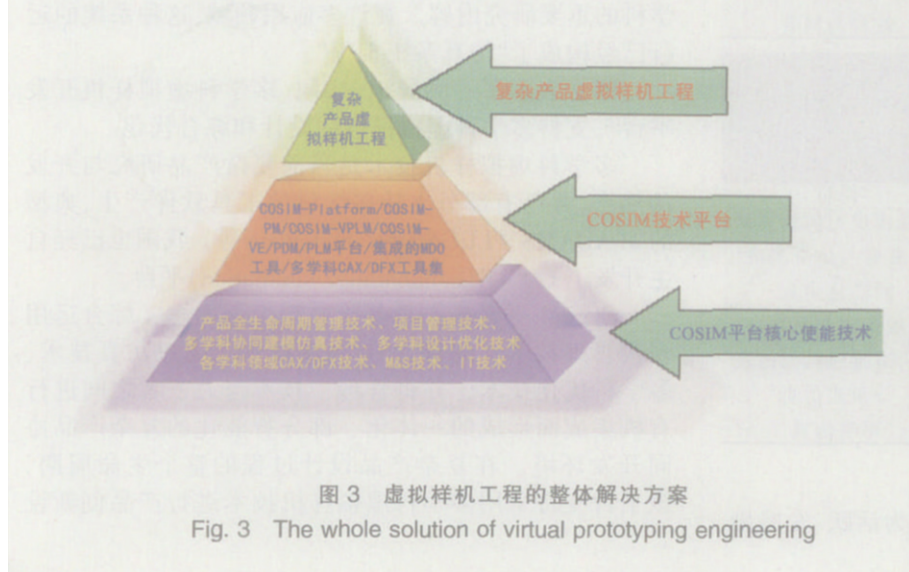
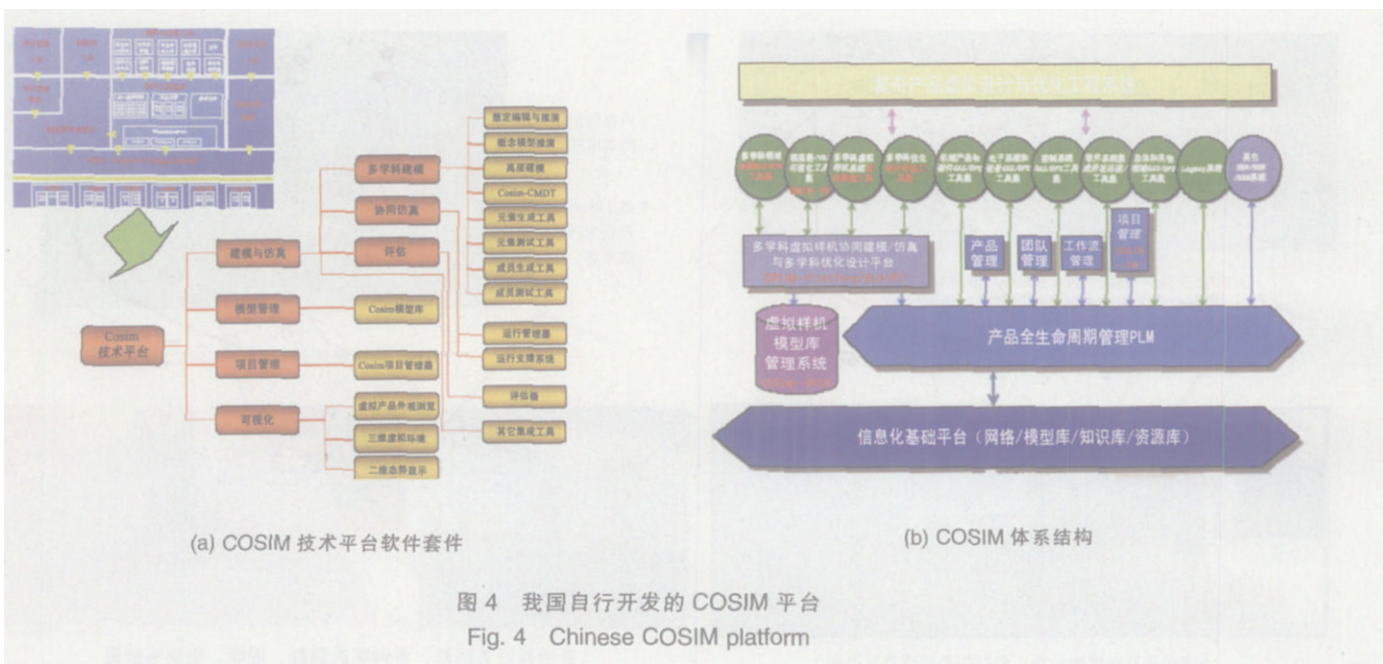


图 3 虚拟样机工程的整体解决方案

Fig. 3 The whole solution of virtual prototyping engineering



实际情况的仿真结果; 甚至有时自然环境对实体运行和决策行为将直接产生影响。因此, 综合自然环境的建模与仿真^[4]由此而生, 它包括对地形地貌、海洋、空间、大气、电磁等环境的仿真。

目前自然环境建模与仿真已应用于战场模拟、军事训练、空间技术、工业检测与评估等领域。传统的自然环境建模与仿真的重点是可见物质特性的模拟, 随着在电子战、电力系统、数字通讯和电子等领域仿真应用的扩展, 电磁环境与光学环境的建模与仿真也得到了相当的重视。

电磁环境的建模与仿真目前采用的技术有有限元和边界元法的电磁场分析方法、矩量法、快速多极子法、物理光学法和一致性绕射理论

等; 而典型的工具有 ANSYS、PExpirt、A- UEST、MSS- 2。

光学环境的建模与仿真目前采用的技术有变焦结构优化和分析、环境热量分析、MIT 和 RMS 波阵面基础公差分析、干涉和光学校正准直、矢量衍射计算、融合光纤色散、损耗和偏振模色散、红外成像投影等。典型的工具有 CODEV、ZEMAS、OSLO 等。

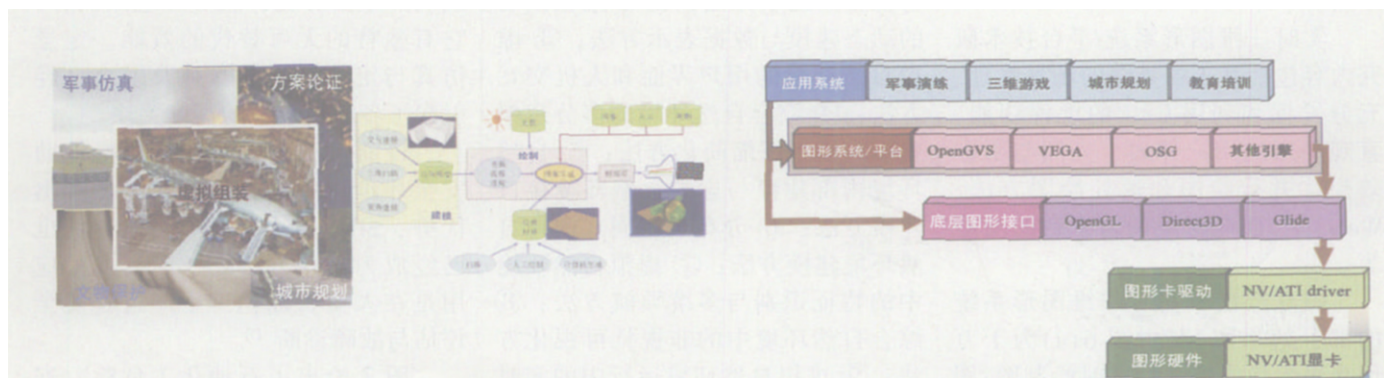
已有的半实物仿真系统有 ASC 的第二套毫米波系统 (MSS- 2)、ASC 的红外图像仿真系统 (IIRSS)、美国埃格林空军基地的射频目标仿真系统、美国埃格林空军基地的动能拦截器半实物仿真系统。

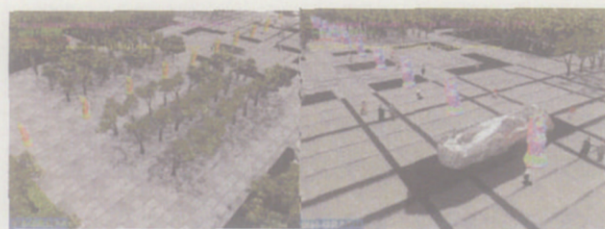
当前电磁与光学环境仿真研究的热点内容如下。

1) 成像制导的仿真, 包括多波段视频/红外动态图像转换技术、射频成像辐射阵列源与变换技术、红外/射频 CIG 技术、气动光学效应仿真生成技术、真空冷背景红外特性仿真技术等。

2) 射频制导的仿真, 包括高分辨率、高精度毫米波目标与背景仿真实现技术, 射频制导综合对抗仿真环境实时生成技术, 宽带、闪烁、散射面目标辐射源及馈电技术, 宽带目标辐射实时仿真生成技术、极化雷达/多波束雷达仿真技术。

实时三维图形系统/平台技术是在综合自然环境建模与仿真中用到的一项通用技术, 其特点是应用广泛、需求强劲, 系统复杂、技术综合性强, 开发难度大。



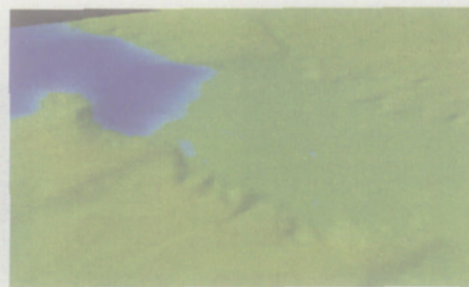


1500万三角形场景, 在P3.0GB/512MB内存, NV7800显卡下, 同时处理半运动对象及纹理数据, 绘制帧率20帧/秒

(a) 千万面片级大规模场景的实时绘制

◆ 内存到显存分级的
调度处理方法

◆ 基于地形分块的
外存到内存的调
度方法



(b) 大规模地形处理



HDR光源及材质的绘制, 更好的表现明暗反差较大的环境, 增强绘制的真实感

(c) 高动态范围材质的绘制



支持预计算阴影、多种实时阴影、透明、倒影等效果

(d) 实时阴影生成与绘制



雨景

三维云

(e) 基于GPU的粒子系统

图6 实时三维图形系统的效果图

Fig. 6 Simulation of the real time 3D graphics system

图5描述了实时三维图形系统/平台的应用领域和软件结构。目前已有相当多的软件产品, 如国外的VEGA/VEGA Prime、Virttools、Qest3D等, 国内的VRP、VRMAP和CX3D等产品。

实时三维图形系统/平台技术研究内容包括基于场景图的场景管理、充分发挥和利用CPU的硬件功能、直观易用的用户界面、光照与阴影效果、并行绘图和远处绘图方法、Web/3D、面向对象的跨平台的功能等。

图6给出了实时三维图形系统的部分效果图, 其中图6(a)为千万面片级大规模场景的实时绘制图; 图6(b)为大规模地形处理的效果; 图6(c)为高动态范围材质的绘制效果;

图6(d)为多种实时阴影、透明、倒影等的效果; 图6(e)为雨景和三维云的绘制效果。

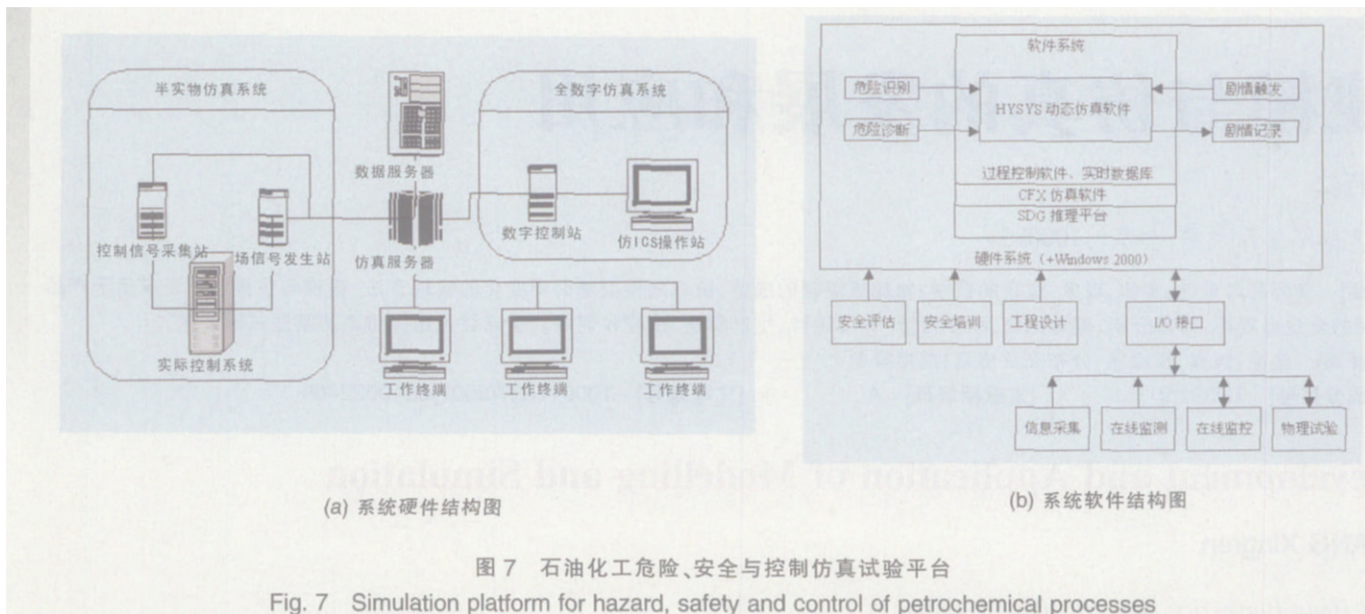
综合自然环境的建模与仿真技术研究的热点集中在: ① 自然环境特征量的提取方法; ② 多维数据场的动态建模与数据表示方法; ③ 虚拟自然环境的用户界面和人机交互方法; ④ 综合自然环境的分辨率建模与模型压缩简化方法; ⑤ 自然环境内部建模与虚拟自然环境接口建模方法; ⑥ 分布及协同式虚拟自然环境建模方法; ⑦ 虚拟自然环境中的特征识别与多维导航方法; ⑧ 综合自然环境中的非视觉可视化方法; ⑨ 虚拟自然环境运行中的实时性技术; ⑩ 基于图像的虚拟自然环境绘制技术, 等等。

3.2.3 石油化工生产过程安全评估与故障诊断平台

基于SDG深层知识模型的定性仿真技术在国内研究和应用目前还较少, 就仿真技术而言, 它是不可或缺的重要分支, 就实际应用而言, 它有独特的无可替代的效能。定量仿真与定性仿真的互补及融合已经引起了各应用领域的高度关注。

目前, SDG方法在计算机辅助安全评价(HAZOP)方面已显现出优势, SDG方法在故障诊断方面也已经成为重要方法之一。其典型应用是在大型石油化工生产过程安全评估与故障诊断^[5]。

图7给出了石油化工危险、安全与控制仿真试验平台的硬件与软件的结构图。



目前我国应用定性仿真方法在石油化工生产的复杂过程系统危险识别、计算机辅助安全评价、智能化故障诊断等领域取得了突破，并直接服务于石油化工企业，经济和社会效益显著。

4 总结

仿真作为一门正在蓬勃发展的综合性学科，它的 3 大研究内容，即仿真建模与模型验证方法、仿真支撑系统和仿真应用工程构成了仿真学科的 3 大支撑。随着科技的进步，仿真学科主动与计算机及数据处理、图形图像等相关学科飞速发展的新技术相结合，激发出仿真技术新的飞跃。仿真学科正在向服务于系统的全寿命、全系统和管理全方位的方向发展；仿真学科与应用领域的紧密结合，使得仿真正在从试验室走向国民经济的主战场，成为仿真工程，从仿真学术发展研究到仿真产业；仿真的确已经成为人类认识和改造世界的重要手段之一。可以预见，在不久的将来，仿真学科必将为科技进步和国民经济的发展做出令人瞩目的贡献。

参考文献(References)

- [1] 吴重光. 仿真技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
WU Chongguang. Simulation technologies [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [2] 刘藻珍, 魏华梁. 系统仿真 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.
LIU Zaozhen, WEI Hualiang. system simulation[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1998.
- [3] 李伯虎, 柴旭东, 熊光楞, 等. 复杂产品虚拟样机工程的研究与初步实践 [J]. 系统仿真学报, 2002, 14(3): 336- 341.
LI Bohu, CHAI Xudong, XIONG Guangleng, et al. Research and primary practice on virtual prototyping

engineering of complex product [J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(3): 336- 341.

- [4] 李伯虎, 王行仁, 黄柯棣, 等. 综合仿真系统研究 [J]. 系统仿真学报, 2000, 12(5): 429- 434.

LI Bohu, WANG Xingren, HUANG Kedi, et al. The research of synthetic simulation system [J]. Journal of SystemSimulation, 2000, 12(5): 429- 434.

- [5] 夏涛, 张贝克, 吴重光. 石油化工危险、安全与控制仿真试验平台的结构设计[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(10): 1388- 1390.

XIA Tao, ZHANG Beike, WU Chongguang. Architectural design of hazard, safety and control simulation platform for petrochemical process [J]. Journal of System Simulation, 2003, 15(10): 1388- 1390.

(责任编辑 赵佳)

读者来信摘登

贵刊 2007 年第 1 期刊登的“2006 年中国重大科学进展”写得很好。我注意到贵刊每年都发表一篇类似的文章，希望这项工作长期坚持下去，长期坚持就会形成特色，就会产生权威。不过，第 1 期的这篇文章有两处编校错误，一处是第 10 页“2.7 发现 9 个人类新基因并获世界卫生组织认可命名”中的“2000 年，河南省血液中心……”里的年份有错，“2000 年”应为“2006 年”；另一处是第 12 页“4.4 成功制备金属超疏水薄膜”文中的“并以金属铜为例做了详细介绍(图 5)”里的图号有误，“图 5”应为“图 15”。希望贵刊今后多加注意。

——北京大学罗少功

编辑部回音：

感谢罗少功同志指出我刊 2007 年第 1 期编校工作中出现的错误并给出正确的文字。欢迎广大读者随时检查我刊的编辑出版质量，继续对我刊予以支持和帮助。