

# 仿真技术发展及应用

王子才

(哈尔滨工业大学仿真中心, 哈尔滨 150001)

**[摘要]** 从仿真技术的发展、成熟、再发展的观点论述了它的发展过程。介绍了仿真技术在国民经济各个领域中的应用。分析了国内外仿真技术水平及现状, 展望了仿真技术的发展趋势。

**[关键词]** 仿真技术; 系统仿真; 半实物仿真; 分布交互仿真

**[中图分类号]** TP391.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)02-0040-05

## 1 概述

从一般意义上讲, 系统仿真可以理解为对一个已经存在或尚不存在但正在开发的系统进行系统性研究的综合科学。对于实际系统不存在或已经存在但无法在现有系统上直接进行研究的情况, 只能设法构造既能反映系统特征又能符合系统研究要求的系统模型, 并在该系统模型上进行所关心的问题研究, 揭示已有系统和未来系统的内在特性、运行规律、分系统之间的关系并预测未来。

系统仿真是以建模理论、计算方法、评估理论为基本理论<sup>[1]</sup>, 以计算机技术、网络技术、图形图像技术、多媒体技术、软件工程、信息处理、自动控制及系统工程等相关技术为支撑的综合性交叉科学。

仿真技术的应用一般是以仿真系统的形式来体现的。

## 2 仿真技术的发展

仿真技术经过半个多世纪的发展, 从研究简单系统到现在已经成为人们研究复杂系统的有力工具<sup>[2, 3]</sup>, 大致经历了三个阶段。

1) 发展阶段 二次大战末期, 火炮控制与飞

行控制动力学系统的研究促进了仿真技术的发展, 20世纪40年代研制成功第一台通用电子模拟计算机。50年代末期到60年代, 导弹和宇宙飞船的姿态及轨道动力学的研究、仿真技术在阿波罗登月计划及核电站的广泛应用、以及50年代末第一台混合计算机系统用于洲际导弹的仿真, 促进了仿真技术的发展。这是仿真技术的发展阶段。

2) 成熟阶段 在军事需求推动下, 70年代中期, 仿真技术不但在军事领域迅速发展, 而且扩展到许多领域。在这个时期出现了用于培训民航客机驾驶员和军用飞机飞行员的飞行训练模拟器和培训复杂工业系统操作人员的仿真系统等产品。相继出现了一些从事仿真设备和仿真系统生产的专业化公司。例如美国的GSE公司、E&S公司、ABB公司、Dynetics公司等, 使仿真技术达到了产业化阶段。这标志着仿真技术进入了成熟阶段。

70年代末, 国际政治军事格局的改变, 为仿真技术的发展创造了新的机遇。一方面, 随着世界范围内冷战状态的缓和, 各国政府纷纷把投资重点转向了本国的经济建设, 并开始大规模地削减常规军队, 大规模的军事演习不仅受到政治环境的约束, 同时也受到经济状况的制约, 与之相矛盾的是现代战争越来越强调部队联合作战能力的培养以及

战略战术的运用；另一方面，现代武器系统装备越来越复杂，武器系统研制的费用越来越高，研制周期越来越长，培训使用操作人员的时间也越来越长，必须找到研制开发新武器系统的更加有效的途径和方法，形成一个新武器的决策者、开发者与使用者协调配合、共同参与的武器研制体系，缩短武器系统研制开发的周期和成本，这成为各国军方都在探索的问题。仿真技术为解决这些问题提供了一条有效的技术途径。

同样，随着技术进步，工业生产设备越来越复杂，操作水平要求越来越高，面临着与武器系统装备同样的问题。

这种技术需求推动了仿真技术快速发展。

3) 高级阶段 20世纪80年代初以美国国防高级研究计划局(DARPA)和美国陆军共同制定和执行的SIMNET(Simulators Network)研究计划和美国三军建立先进的半实物仿真试验室为标志，标志着仿真技术发展到了一个新的高级阶段。

SIMNET计划是分布交互仿真的初型和开始<sup>[4~7]</sup>。到90年代，各个部门相继建设分布交互仿真系统、并行分布交互仿真系统、聚合级仿真系统。这些仿真系统绝大多数是针对某领域的具体需求而建立的，它们之间不能互操作，其应用和各组件也不能在新的仿真应用和开发中得到重用。随着国防工业和工业系统的发展，被仿真的系统日益复杂，规模越来越大，若各应用部门根据各自的需要完全从头开始开发大型仿真系统，工作效率低，财力人力浪费大，且模型和仿真结果的准确性、可信度难以保证。为了更好的实现信息、资源共享，促进仿真系统的互操作和重用，到90年代，以美国为代表的发达国家在分布交互仿真、先进的并行分布交互仿真以及聚合级仿真的基础上，仿真技术开始向仿真的高层体系结构(HLA)发展。HLA是促进所有类型仿真之间互操作、仿真模型组件重用的高级协议<sup>[8~10]</sup>。

### 3 仿真技术应用

随着仿真技术的发展，仿真技术应用目的趋于多样化、全面化。最初仿真技术是作为对实际系统进行试验的辅助工具而应用的，而后又用于训练目的，现在仿真系统的应用包括：系统概念研究、系统的可行性研究、系统的分析与设计、系统开发、系统测试与评估、系统操作人员的培训、系统预

测、系统的使用与维护等各个方面。它的应用领域已经发展到军用以及与国民经济相关的各个重要领域。

#### 3.1 军事领域

3.1.1 武器装备研制 仿真技术在武器装备研制过程中，使得在新武器研制计划开始前，能够充分利用仿真系统检验武器系统的设计方案和战术、技术性能的合理性，避免在实际研制过程中出现的方案的不合理现象，缩短研制周期，并支持技术评估、系统更新、样机研制，使得能够以较低的代价提高武器装备的战术性能。各用户(包括武器装备的研制部门、采购部门、训练部门和军事使用部门)可在合成环境中按需要综合应用各种仿真手段进行演习、训练和试验，鉴定现有的和研制中的武器装备的性能、战术部署和后勤保障。现在，在武器装备研制生产过程中，已规定将仿真系统列为必需的装备。

3.1.2 军事训练 分布式仿真系统通过联网技术将分散在各地的人在回路中的仿真器、计算机生成的兵力以及其他设备联结为一个整体，形成一个可以在时间和空间上互相耦合的虚拟战场合成环境，参与者可以自由地交互作用。这样，使过去主要依靠野战演习完成的任务可以利用计算机、仿真器和人工合成的虚拟环境来进行。技术的进一步发展还将把野外演习的部队和这种仿真器联系起来进行演习。利用仿真器产生动态的、直观的环境，配合仿真的地形、烟雾和“敌人”的武器装备，使部队能够进行生动逼真的军事演习。

3.1.3 先进概念与军事需求分析 在先进概念与军事需求分析方面(例如使用新概念与先进技术的试验)，对于未来军事行动中在条令、训练、指挥人员培养、组织、装备和士兵发展等方面的需求上，可以通过仿真和使用真实部队的士兵体验来评估技术综合集成的影响。

#### 3.2 工业领域

同军事领域的需求和推动一样，由于工业系统的复杂性、大型化，出于安全性、经济性考虑，仿真技术广泛应用于工业领域的各个部门。在大型复杂工程系统(项目)建设之前的概念研究与系统的需求分析过程中，都发挥着越来越重要的作用。

电力工业中，随着单元发电机组容量越来越大，系统越来越复杂，对它的经济运行、安全生产提出了更高的要求，仿真系统是实现这个目的的最

佳途径。通过仿真系统可以优化运行过程，可以培训操作人员。电站仿真系统已成为电站建设与运行中必须配套的装备。

核电站的运行必须安全，操作人员的技术素质、技能是保证安全运行的前提，培训提高操作人员素质、技能的有效手段是仿真培训系统。

在经济全球化、贸易自由化和社会信息化的今天，在技术更新速度加快的新形势下，制造业的经营战略发生了很大变化。如何在最短的时间内，以最经济的手段开发出用户能够接受的产品，已成为今天市场竞争的焦点。虚拟制造<sup>[11, 12]</sup>是解决这个焦点问题的有效技术途径。虚拟制造是采用建模技术在计算机及高速网络支持下，在计算机群组协同工作下，通过三维模型及动画实现产品设计、工艺规划、加工制造、性能分析、质量检验以及企业各级过程的管理与控制的仿真产品制造过程。虚拟制造是对已有的或未来的制造活动进行的仿真过程，所进行的过程是仿真的，所生产的产品也是仿真的。仿真技术将在制造企业中发挥重要的作用。

### 3.3 其他应用领域

在为武器系统研制作战训练和工业过程服务的同时，仿真技术的应用正不断向交通、教育、通讯、社会、经济、娱乐等多个领域扩展<sup>[13]</sup>。近年来，国内研制了能够表述交通流特征和交通流质量的交通仿真软件平台，可以对交通规划、交通控制设计、交通工程建设方案等进行预评估。在引黄入晋输水工程中，建立了全系统运行仿真系统。利用仿真系统验证了工程设计，提出了现有工程设计中影响运行的重大问题，寻找调度运行最佳模式等。在医学仿真方面，建立了有关人体的生物学模型和三维视觉模型，为深入开展人体生命机理研究和远程医疗工作提供了有力的工具。为了满足大容量、高速度通讯网络研究的需要，对通讯仿真的方法和软件开展了广泛的研究，为提高通讯网络的性能和网络方案的优化提供了重要的分析和验证工具。此外，仿真技术和虚拟现实技术在娱乐业中亦显示出广阔的发展前景。

## 4 国内外现状及展望

### 4.1 国外现状

以美国为代表的发达国家高度重视仿真技术的发展和运用。10多年来美国国防部一直将仿真和建模技术列为国防关键技术。1997年度的“美国

国防技术领域计划”，将建模与仿真列为提高军事能力的四大支柱（战备、现代化、部队结构、支持能力）的重要技术。

美国三军先后建成了：

为满足红外成像制导武器仿真需要的红外制导半实物仿真系统。

为满足雷达寻的制导的毫米波半实物仿真系统MSS-2，它是当今世界上规模最大、技术最先进的射频仿真系统。可以满足地空导弹毫米波精确制导仿真的需要。目前，用于爱国者PAC-2和PAC-3型导引头半实物仿真<sup>[14]</sup>。

复合制导是精确打击武器装备的标志性发展，支持复合制导武器的仿真技术，成为当今最具挑战性的仿真技术。美国于1995年研制成功共孔径的毫米波和红外双模制导半实物仿真系统。

1983年，美国国防部国防高级研究计划局(DARPA)和美国陆军共同制定了SIMNET研究计划，此计划是将分散在多个地点的地面车辆（如坦克、装甲车等）仿真器用计算机网络联结起来，进行各种复杂任务的策划和训练，以演示、验证实时联网的人在回路中的作战仿真和作战演习的可行性，最终达到降低训练成本、实现作战想定、提高训练安全性及减小对环境的不良影响的目的。1989年，SIMNET最终移交给美国陆军时，已经联结了9个操作性仿真结点（5个分布在美国、4个在欧洲）和2个开发仿真结点，大约250台套地面车辆模拟器和飞机飞行模拟器。SIMNET作为一套训练系统，目前仍在发挥作用。SIMNET计划的完成，标志着仿真技术进入了分布交互仿真阶段，为分布交互仿真的发展奠定了基础。此后，在90年代，美国在HLA基础上相继建立了JADS (Joint Advanced Distributed Simulation)、JWARS (Joint Warfare System)、HLA的应用系统、JSIMS (Joint Simulation System) 和ALSP应用系统等。

欧洲对于仿真技术的研究也十分重视。北大西洋公约组织(NATO)对应于美国分布交互仿真工作组成立了相应的研究机构进行跟踪研究，并制定了建模与仿真的计划。

美国等西方国家除军事用途外的其他行业中的仿真技术及应用都居于世界领先水平，如飞机模拟器、车辆运输仿真、电力系统、石化工业仿真系统等。

### 4.2 国内状况

通过几个五年计划的努力，我国仿真技术得到

了快速发展,并取得了突破性成果。

在国防工业领域,建成了不同类型的半实物仿真系统。半实物仿真系统的应用在国防工业产品研发、生产、使用、维护过程中发挥了巨大作用。

在军事领域建立了指挥、作战、训练的仿真系统及半实物仿真试验室。仿真技术的应用为我军部队指挥、作战、训练提供了有效的工具,为我军现代化建设做出了重要贡献。

在先进分布交互仿真技术方面,我国初步建成了分布交互综合仿真系统<sup>[4]</sup>。该系统是一个含有灵境技术的、开放的、支持分布交互仿真的支撑环境,支持复杂系统设计、运行和评估,并开始应用于实际系统的研制和开发工作。

在民用工业中,我国已自行研制生产电力工业的大型电站(200 MW, 300 MW, 600 MW)仿真系统、交通运输仿真系统、石油化工过程仿真系统等<sup>[15]</sup>。

我国仿真技术经过“七五”、“八五”、“九五”期间的努力,已有长足发展。在某些方面达到了国际先进水平。但总的技术水平,特别是应用水平与发达国家比较还有差距,需要进一步努力,加速发展仿真技术以缩小差距。

系统仿真技术的优良特性和巨大效益,可能将成为今后人们特别重视和大力发展的综合技术。仿真系统将应用于人类生产实践的全过程,这样可以避免决策失误,可以预测可能发生的问题,达到避免故障、安全控制的目的。

#### 4.3 展望

建模理论和方法,仍然是推动仿真技术进步发展的重点研究方向。它是系统仿真可持续发展的基础。美国等发达国家在仿真领域一直是将建模理论和方法的研究工作列为重中之重。另外,无论是武器系统还是工业系统,都向大型化、复杂化方向发展,相应的必须开展支持复杂大系统建模的理论和研究方法研究<sup>[16]</sup>。

仿真系统将是支持研究各类复杂大系统全生命周期的必要手段。大型复杂工业系统,都需要预估其安全性,从安全性出发设计实施。仿真系统是预估其安全性的有效工具,因此仿真系统自身的可信度就变得非常重要。从理论上建立仿真系统的评估体系及相应的方法、工具是推动仿真技术应用的重要研究方向<sup>[17~20]</sup>。

先进的分布式仿真技术的发展,在 21 世纪,

可能将分布在各个应用领域的人员和资源集成为一个大型仿真环境<sup>[21, 22]</sup>。它将打破各个领域的界限,使人们在仿真环境里对拟定的设想和任务进行研究、分析。现代建模技术、计算机技术、网络技术、虚拟现实技术等技术的发展,为建立这种跨行业具有虚拟环境的仿真系统提供了强有力的技术支撑。这种仿真系统的建成,将会帮助人们解决难度更大的问题,将对经济或社会带来更大影响。应该努力去实现这个目标。

支持这个发展的关键技术是分布式协同技术。它可以帮助处于不同地理位置的人们共享和交换数据、信息、知识和行为状态,完成特定的任务,并为实现交叉学科信息共享以及决策支持服务。

虚拟世界所需要的转换技术也是建立跨行业具有虚拟环境仿真系统的有挑战性的研究发展方向。

仿真技术是极具挑战性的新兴技术之一,它广泛的应用在军事、工业、生物、医疗、人类行为、生态环境、农林、牧业、城市规划、空间探测等领域。在 21 世纪,它的发展将对经济、社会以及人们的观念产生巨大影响。

## 5 结语

仿真作为一门综合性科学,将随着其相关领域技术的深入发展,继续向纵深快速发展,同时将扩大其综合应用的领域,在国防建设和国民经济建设中发挥更大的作用。但是,作为一门综合性技术学科,仿真技术还有许多理论及技术问题需要继续进行深入的研究探讨。

我国应大力开展仿真技术的理论研究和技术应用研究,尽快缩短与先进发达国家在技术上的差距。系统仿真技术的发展,必将推动我国科学技术水平的进一步提高。

#### 参考文献

- [1] 王子才. 关于仿真实理论的探讨[J]. 系统仿真学报, 2000, 12(6): 604~608
- [2] Fishwick P A. Computer simulation: growth through extension[J]. Transactions of the SCS International, 1997, 14(1): 13~23
- [3] 王行仁. 建模与仿真的回顾及展望[J]. 系统仿真学报, 1999, 11(5): 309~311
- [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
- [5] Tarr R W, Jacobs J W. Distributed interactive

- simulation (DIS): what is it and where is it going [A]. Proceedings of the SCSC'95 [C]. Ottawa, Ontario, Canada, 1995. 1010~1029
- [6] Zhang Bing, Yang Ming, Wang Zicai, et al. Distributed interactive simulation (DIS): an effective tool for systems testing and evaluation (T&E) [A]. Proceedings of ISIST'99 [C]. Luo Yang, 1999. 406~412
- [7] Goodin II J R, Cochran M. Using distributed interactive simulation for test and evaluation [A]. Proceedings of the SCSC'95 [C]. Ottawa, Ontario, Canada, 1995. 366~371
- [8] Chadha B, Welsh J. Architecture concepts for simulation-based acquisition of complex systems [A]. Proceedings of the 2000 Summer Computer Simulation Conference [C]. Vancouver, Canada, 2000. 609~612
- [9] IEEE Std 1516. IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-framework and rules [S]. Simulation Interoperability Standards Committee of the IEEE Computer Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, New York, USA, 2000. 15~17
- [10] IEEE1278. IEEE standard for information technology-protocols for distributed interactive simulation applications [S]. IEEE Computer Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, New York, USA, 1993. 1~52
- [11] Naud J M. Integrating simulation within the product-engineering life cycle [A]. Proceedings of the 2000 Summer Computer Simulation Conference [C]. Vancouver, Canada, 2000. 566~570
- [12] 肖田元, 韩向利, 张林. 虚拟制造内涵及其应用 [J]. 系统仿真学报, 2001, 13(1): 118~123
- [13] 蒋鄯平, 谢道奎. 仿真与国民经济 [J]. 系统仿真学报, 2001, 13(1): 14~17
- [14] 梁炳成, 王恒霖, 郑燕红. 军用仿真技术的发展动向和展望 [J]. 系统仿真学报, 2001, 13(1): 18~21
- [15] 吴重光, 沈承林, 侯贵海. 石油化工仿真培训系统的研制 [J]. 系统仿真学报, 1993, 5(1): 31~39
- [16] Macedonia M. In search of the grand challenge [J]. Simulation, 2001, 76(2): 96~97
- [17] Wiedewitsch J, Heusmann J W. Future direction of modeling and simulation in the department of defense [A]. Proceedings of the SCSC'95, Ottawa [C]. Ontario, Canada, 1995. 585~590
- [18] 王子才, 张冰, 杨明. 仿真系统的校核、验证与验收(VV&A):现状与未来 [J]. 系统仿真学报, 1999, 11(5): 321~325
- [19] Amico V, Bruzzone A G, Guha R. Critical issues in simulation [A]. Proceedings of the 2000 Summer Computer Simulation Conference [C]. Vancouver, Canada, 2000: 202~206
- [20] Swartout W R, Lindheim R. Does simulation need a reality check? [A]. Proceedings of the 2000 Summer Computer Simulation Conference [C]. Vancouver, Canada, 2000. 1022~1026
- [21] McQuay W K. Distributed collaborative environments for 21th century modeling and simulation [J]. Simulation, 2001, 76(2): 94~95
- [22] 张冰, 杨明, 王子才. 计算机支持协同工作在大型复杂仿真系统开发中的应用 [A]. 第二届全国CSCW学术会议论文集 [C]. 上海, 2000. 257~263

## Development and Application of Simulation Technology

Wang Zicai

(Simulation Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

[Abstract] This paper discusses the developing process of simulation technology in view of its development, maturation and further development. Then this paper introduces the application of simulation technology in the fields of national economy. Finally, this paper analyzes the level and status quo of home and overseas simulation technology, and presents its future trend in the new century.

[Key words] simulation technology; system simulation; hardware in loop simulation; distributed interactive simulation