

第八讲 仿真模拟技术及其应用*

汪 国 平[†]

(北京大学信息学院软件研究所 北京 100871)

摘 要 简要介绍了仿真模拟技术的应用背景及其主要技术特征,以及这一技术在制造业、医学、军事、娱乐等多个领域的重要应用成果. 通过典型的实例说明仿真模拟技术对科学技术、国民经济和国防等领域的发展所起的重要推动作用.

关键词 仿真模拟, 虚拟现实, 分布交互, 建模

Simulation techniques and applications

WANG Guo-Ping[†]

(Institute of software, School of EECS at Peking University, 100871 Beijing, China)

Abstract The background and key techniques of simulation are discussed, with mention of various application in the manufacture, medical, military and entertainment fields. Some typical examples are given to illustrate its significance in the development of science and technology, the national economy, national defence, and so forth.

Keywords simulation, virtual reality, distributing interactive, modeling

1 概述

仿真(emulation)是指用一个数据处理系统,来全部或部分地模仿某一数据处理系统,使得模仿的系统能像被模仿的系统一样接受同样的数据,执行同样的程序,获得同样的结果. 模拟(simulation,有时也译作仿真)是指用一个数字处理系统表达某个物理系统或抽象系统中选取的行为特征^[1]. 但在习惯上我们总是将仿真模拟两个词连用,有时也简称为仿真,并用 simulation 来表示,是用模型(物理模型或数学模型)来模仿实际系统,代替实际系统进行实验和研究,是产品设计和制造中的常用技术手段. 例如:在飞机或者汽车设计中,为了研究其空气动力学性能,通常先制造一个按照等比例缩小的飞机或者汽车模型,放在气流场相似的风洞中进行吹风实验,以得到优化的外形尺寸;在设计舰船时,也

常常先做一个缩小的舰船模型,在水池中进行各种试验等等. 这些自然直观的仿真模拟手段直到现在仍然被设计人员采用.

确切地说,仿真模拟技术是以数学理论、相似原理、信息技术、系统技术及其应用领域有关的专业知识为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具,利用系统模型对实际或者设想的系统进行试验研究的一门综合性技术^[2]. 它综合了计算机、信息处理、自动控制等等多个高新领域的技术,已经成为科学研究中除理论研究和科学实验以外的第三种方法^[3,4]. 目前的广泛应用不仅有力地推动了计算机、电子和控制技术等相关学科的发展,其应用成果也

* 国家自然科学基金项目(批准号:60173062)、北京市自然科学基金项目(批准号:4012008)和国家高技术研究发展计划项目(批准号:2004AA115120)的资助项目

2004-11-18 收到初稿, 2005-06-07 修回

[†] Email: wgp@graphics.pku.edu.cn

产生了巨大的经济效益和社会效益.用仿真模拟系统进行试验,不受气候、场地和时间等客观条件限制,具有经济、灵活、可多次重复使用的优点,尤其适用于航空、航天、国防、航海及其他大规模复杂系统的分析、设计、试验和评估过程,已经成为许多复杂系统必不可少的辅助设计手段.其中著名的有美国 NASA 在航天器外的空间活动和哈勃天文望远镜修复的地面仿真模拟训练系统^[3].因此,美国国防部将建模和仿真技术列为 21 世纪保证美军优势地位的七大关键技术之一^[4].国外产业界也将其视为一项参与新世纪竞争的重要技术.

早期的仿真系统侧重在模拟,是按照真实系统的物理性质构造仿真系统的物理模型,并在物理模型上进行实验,但这种模型改变困难,实验限制多,投资较大.随着计算机技术和其他电子设备的发展,仿真模拟技术有逐渐以计算机仿真技术为主的发展趋势,但很多情况下,由于对系统演变过程的物理规律认识不足,系统数学模型不易建立,仅仅采用计算机仿真技术来模拟系统演变过程不够真实.将数学模型与物理模型甚至实物联合起来进行实验,就是半实物仿真技术.虚拟现实技术中,这种在虚拟环境中结合实物的方法,就是增强现实研究的内容.这样既可以避免建模过程中过于抽象而导致的简单化和片面化,也可以充分发挥实物模型的真实感,使得系统更具真实感,提高了仿真模拟的可信度.

2 仿真模拟技术的特点与分类

传统上,仿真模拟技术是探讨系统、模型、仿真三者之间的关系,仿真就是对模型的实验,模型是系统的抽象,仿真建模就是对不同形式的系统模型研究其求解算法.现代的仿真技术,更多的是根据物理规律通过计算机的程序计算,建模方法和手段更为丰富,如通过基于模型库的结构化建模,采用面向对象建模方法,在类库的基础上实现模型拼合与重用等软件工程技术.由此涌现出来的众多的新算法和新软件,大大加快了仿真模拟过程.仿真模拟过程的一般步骤如下^[5]:

(1)系统建模与形式化:确定系统物理模型及其边界,以及模型的可信性分析和形式化处理.

(2)算法分析和程序设计:考虑算法的稳定性、计算精度和速度,考虑仿真程序对运行参数、控制参数、输出要求等.

(3)模型校验:检验所选仿真算法的合理性、系

统模型的正确性.

(4)仿真结果分析:对系统性能作出评价,模型可信性检验.

模型的可信度取决于建模所用的信息“原材料”(先验知识、试验数据)是否正确完备,还取决于所用建模方法(演绎、归纳)是否合理、严密.此外,对于许多仿真软件来说,还要将数学模型转化为仿真算法所能处理的仿真模型.因此,这里还有一个模型的转换精度问题.建模中任何一个环节的失误,都会影响模型的可信度.

要想通过仿真模拟得出正确、有效地结论,必须对仿真结果进行科学的分析.现代仿真软件广泛采用了可视化技术,通过图形、图表,甚至动画生动逼真地显示出被仿真对象的各种状态,使模拟仿真的输出信息更加丰富、更加详尽、更加有利于对仿真结果的科学分析.

2.1 仿真模拟的分类

仿真模拟技术在不同的应用领域和应用中,具有不同的实现形式,主要体现在系统模型或者仿真模型的不同实现形式,根据系统模型中是否包含随机因素,可分为随机型和确定型模型;根据模型是否具有时变性,可分为动态模型和静态模型;从仿真模拟的形态区分,通常有实物仿真和半实物仿真甚至全软件仿真等形式;从系统状态来区分主要可以分为离散事件仿真、Monte - Carlo 仿真和连续仿真等形式.

对于离散事件的系统仿真,系统中的状态只是在离散时间点上发生变化,而且这些离散时间点一般是不确定的.例如,理发馆系统,库存系统等典型实例,具有随机性特点,其中的分析工具更多地使用排队论,概率统计理论等理论.

Monte Carlo 仿真模拟方法,也称为统计试验方法,可以用来解决数学和物理问题的非确定性的(概率统计的或随机的)数值模拟方法.例如研究均匀介质的稳定状态.

对于连续仿真过程,也有实时仿真和非实时仿真等形式,如很多化学反应变化缓慢,通过非实时仿真可以较快地得到反应结果,核反应过程通常在一瞬间完成,我们也可以通过非实时仿真减缓核反应进度,并可以仔细观察和分析反应构成的各种瞬时形态的变化,为了解和掌握核反应原理提供有利的工具和方法.本文主要侧重在连续仿真过程的描述.

2.2 仿真模拟与虚拟现实技术

在有关文献中,我们经常可以看到仿真模拟技

术与虚拟现实技术等表达方式密切相关,虚拟现实和仿真模拟是从不同的角度、不同的对象或者不同的应用范围来阐述实物虚化和虚物实化的控制操作过程.两者之间的研究目标和实现手段等大部分是相似的.虚拟现实从用户感受角度分为桌面级虚拟现实和沉浸式虚拟现实两种类型,从研究对象角度分为仿真级虚拟现实和假想性虚拟现实,还有其他依据不同的背景和要求对虚拟现实研究方法和表现形式的各种分类^[5].通常我们要求虚拟环境满足三要素:沉浸感(immersion)、互动性(interaction)和构想性(imagination),但是对于不同的应用目标,虚拟现实技术对三个要素的实现要求也有很大的不同.仿真模拟技术按照技术交互手段和实现目的不同分为过程仿真和结果仿真,前者侧重在系统行为过程活动的真实性验证,它与虚拟现实技术联系更为紧密,后者侧重在对系统模型计算结果的验证,通常借助于高性能计算机等设备获得数据,再对计算结果作可视化重现.而通常我们所说的计算机仿真更侧重在利用计算机软件模拟环境与真实环境结合进行的操作和推演,因此仿真模拟更注重于系统中的一些物理特性或真实特性,有时并不注重系统的沉浸感.但是目前越来越多的仿真模拟技术与虚拟现实技术相结合以提高仿真模拟的沉浸感,虚拟现实也越来越多地使用仿真模拟常用的设备和装置来提高虚拟现实的真实感,因此两者的界限也越来越模糊.这里我们不对两者作清晰的区分,这里所说的仿真模拟技术就是综合使用这两种技术的统称.

3 仿真模拟中的关键技术

仿真模拟技术的关键是模型和环境的构建以及实时交互和反馈技术.它涉及到数据表示、运动计算和实时视景生成等基本环节.数据表示与管理不仅与物理模型或者数学模型的构建和环境生成等图形图像数据有关,也与其他数据格式和具体应用背景所需要的数据有关.运动计算不仅需要高性能的计算能力也与仿真应用背景密切相关,它包括动力学或者运动学方程等具体的数学物理模型求解以及实时交互计算.实时视景生成对于强调过程真实感的体验型仿真模系统尤为重要.

3.1 动态环境建模技术

虚拟环境的建立是体验型虚拟仿真模拟技术的核心内容.动态环境建模技术的目的是根据应用的需要获取实际环境的三维数据,建立相应的虚拟环

境模型和仿真对象.三维数据和三维对象的获取可以采用场景建模、图像等多种形式,有效提高数据获取的效率.它的技术特点是执行人在一个通过计算机和其他设备构建起来的三维视觉或者听觉、以及包括触觉反馈在内的操作环境中,对执行人的反馈做出及时响应,造成与真实场景和系统几乎一样的操作感觉.因此系统要求具有很强的实时交互性.据统计,仿真模拟系统所提供的视景为仿真模拟提供了70%的有用信息^[6],仿真模拟系统内容的丰富程度、逼真度、清晰度和视场角的大小,直接影响到仿真系统的质量和仿真模拟效果.尽管目前构成的虚拟场景已经有了较为逼真的场景效果,但是利用图形图像技术生成的真实感场景与真实场景相比仍有不小的差距.目前采用的增强现实技术,采用部分真实的场景对象代替计算机生成对象,对仿真模拟过程起到了很好的效果.三维声音处理也是一个虚拟仿真场景所需要的,它包括声音合成、三维声音定位和语音识别等技术.在某些应用中,还需要声光电磁等环境因素的考虑.

3.2 交互设备和工具

人与虚拟环境交互的硬件接口装置,涉及图形图像硬件设备,用于产生沉浸感,以及跟踪装置,用于跟踪用户头部的位置和方向及从手的位置跟踪到全身各肢体的位置,跟踪装置把这些信息送入应用软件,以确定眼睛的位置及视线方向.如头盔式显示器(HMD)、空间沉浸式显示器(SID,如洞穴式和圆顶式).触觉和力反馈系统提供触觉刺激,如三维动作跟踪器可提供32个关节传感器,带力反馈的数据手套等.虚拟仿真模拟技术的交互能力依赖于立体显示和传感器技术的发展.现有的虚拟仿真技术还远远不能满足系统的需要,例如,数据手套有延迟大、分辨率低、作用范围小、使用不便等缺点,虚拟现实设备的跟踪精度和跟踪范围也有待提高.

3.3 仿真场景管理技术

虚拟仿真中包括大量的感知信息和模型,如信息的同步技术、模型的标定技术、数据转换技术、数据管理模型、识别和合成技术等等.同时需要协调景、物、事件、输入信息等.仿真场景的管理技术为系统的正常运行提供技术保障.尤其对于当前的分布式模拟仿真技术,仿真场景的数据组织和管理更为复杂也更为重要.

3.4 网络环境技术

当前,随着计算机网络技术的发展和广泛应用,也由于各种应用需求的驱动,分布式仿真模拟系统

成为目前的研究热点之一. 系统中数据和交互命令的快速传输, 要求分布式系统能够及时响应, 同时系统的规模还要求可扩展、功能可扩充、甚至要求是异构型的软件结构.

仿真模拟系统之间的互操作性和重用性成为一个重要的技术问题, 其中起重要作用的有 IEEE1278 的 DIS 标准协议^[7-9]. 在 DIS 基础上发展起来的标准是高层体系结构(HLA)^[10], 它通过一组共用规则来提高互操作性与重用能力, 比 DIS 协议更开放. 从而可以采用协调一致的结构、协议和数据库, 通过计算机网络技术将地区上分散的、各种人在回路中的仿真器、处理器、计算机生成兵力以及其他仿真设备有机地联结为一个整体, 形成一个在时间上和空间上相互耦合并且一致的虚拟集成环境, 用户可以自由地与之交互, 从而完成较为复杂的系统仿真任务, 如军事人员训练、战术方案的有效验证与评估、武器系统性能分析与评估等.

分布式仿真模拟系统在功能上不仅需要考虑到地域上、功能上、计算能力上, 还需要考虑各仿真节点之间是平等自治的、交互性、实时并发性、集成性和开放性等特点. 从而使得整个仿真模拟系统具有时空一致性、互操作性、可伸缩性的分布式综合环境的表达.

3.5 应用环境系统

应用系统是面向具体问题的软件部分, 描述仿真的具体内容, 包括仿真的动态逻辑、结构以及仿真对象与用户之间的交互关系, 与具体的应用有关, 仿真对象的行为模拟的真实性和可信性很大程度上取决于对场景对象构建的物理模型和数学模型的量化程度和模型的精度.

4 仿真模拟技术的几个典型应用

仿真模拟活动对社会和科学技术的影响体现在很多方面. 例如, 在军事领域的应用, 有力地推动了军事理论和军事思想的深刻变革, 提升了国家的国防安全实力; 在设计制造业中的广泛应用, 不仅缩短了企业的产品设计与制造周期, 而且提高了产品质量, 从而提高了企业的竞争力; 在政府决策和管理领域的应用, 提高了决策管理的科学水平, 减少了决策错误, 提高了政府管理效率; 在文化娱乐方面的应用, 不仅丰富了娱乐内容, 也提高了节目的观赏性, 创造了更多的梦幻效果, 同时节约了娱乐节目制作的成本, 提高了文化传播能力. 随着计算机技术和其

他相关装备技术的发展, 仿真模拟技术越来越朝着真实性、实时性和隐形性方向发展. 仿真模拟技术已经越来越多地融合到我们的生活中, 并影响着我们的生活方式和生活习惯.

4.1 制造工业中的虚拟仿真技术

试验阶段是产品设计完成后的关键阶段. 大多数企业都是先制造物理样机, 投入试验, 如果某些地方试验失败, 则重新设计、重新制造、重新试验, 如此反复, 直到通过定型. 显然, 这样反复多次的“设计、试验、修改”过程, 耗时长, 成本高.

制造工业中的产品设计仿真分析, 主要是为了发现设计缺陷、减少重量、增加强度、优化零部件尺寸、优化性能等. 在数字样机的仿真试验中发现问题、修改设计, 与物理样机相比, 显然其成本降低很多. 据统计, 数字样机的开发方式能够减少一半以上的物理样机制造和试验, 从而争取到更多的时间, 节约大量的费用. 例如汽车碰撞仿真、模具设计与数控加工仿真系统等.

波音 777 飞机的无纸化设计和制造是仿真模拟技术的成功应用. 整架飞机有 24 万多个零部件, 几何模型多达 5000 万个面片. 整个设计制造过程有一百多台高性能工作站联网协同设计完成, 通过建立一个逼真的三维模型, 实现了整个飞机零件的虚拟装配. 当设计师戴上头盔显示器后, 就能“穿行”于“飞机”中, 去审视“飞机”的各项设计. 使最终的实际飞机与设计方案相比, 偏差小于千分之一英寸, 而且实现了飞翼与机身的一次试装成功, 减少了数千小时的工作量, 节约了大量经费, 使其开发周期从过去 8 年时间缩短到 5 年^[3].

在武器设计研制过程中, 仿真模拟技术提供先期演示, 让研制者与用户同时进入虚拟的作战环境中操作武器系统, 检验其设计方案、战术技术性能指标及其操作的合理性, 把先进设计思想溶入武器装备研制的全过程, 加快了武器系统的研制周期, 又能合理评估其作战效能, 使之更能接近实战的要求. 采用虚拟仿真技术还可对未来高技术战争的战场环境、武器装备的战术技术性能和使用效率等进行仿真. 据美《防务新闻》报道, 美陆军耗资 2600 万美元, 利用模拟仿真技术进行新概念武器的辅助设计与早期研制, 大大降低了武器系统的全寿命成本, 大大缩短了研制周期. 美军在购买武器装备的前后, 通常要应用模拟仿真技术对新装备进行测试评估、模拟训练、机上任务演练等, 这种作法对于缩短战斗力生成时间、深化战术研究以及节省经费都具有重

意义^[4].

例一:美国三种典型导弹研制过程仿真技术的作用从下表1可以看出^[6]:

表1

	原计划发射	仿真后实发	节省导弹	节省费用 (单位:千万美元)
爱国者	141	101	40	8.0
罗兰特	224	95	129	4.2
尾刺	185	114	71	2.5

例二:美国在1997年对汽车气囊弹射速度确定^[6].原来气囊弹射速度是220英里/小时,但是在加拿大一年统计的6000件事件中,汽车气囊弹射救了4000人,但也打死了2000人.通过仿真验证于1997年把气囊弹射速度调整到180英里/小时.

4.2 医学领域的仿真模拟

传统的医疗手术训练和学习是按照“师傅带徒弟”的方式进行的,有经验的医生通过“作一个,看一个,学一个”的方式训练初学者,教学内容依赖于病人的出现的随机性,难于进行系统的教学.同时,这样的训练方法可能导致手术时间延长,手术成本增加,甚至影响手术质量,因而常常遭到病人的抵制.据报道,80%的手术失误是人为因素引起的.“虚拟人”(或者称为“可见人体”)计划^[11]就是根据人体的CT或MRI数据在计算机内建立人体组织结构的三维模型,赋予相应的纹理以提高真实感,并可实现该组织结构的三维动态显示.虚拟环境还为操作者提供方便的三维交互工具,可以模拟手术的定位与操作,如图1所示.在高性能的计算机环境下,还可以对手术者的操作给出实时的响应,如在外力作用下的软组织形变、撕裂、缝合等.这样的虚拟环境可以为初学者提供一个具有真实感的、高效的、可重复使用的外科手术训练和教学环境.目前,出现了多个基于虚拟现实的手术训练和模拟系统,例如基于微机的具有力反馈功能的腹部手术模拟器,介入式心脏外科手术训练系统,基于虚拟现实和力反馈的内窥手术模拟器^[12].用于训练腹部手术和用于膝关节手术训练的虚拟环境等^[13].有些系统还可以提供具有良好的真实感和沉浸感的训练环境,力反馈装置可以提供良好的临场感,系统还能够给出一次手术练习的评价.

目前的虚拟人体仅仅是虚拟人体计划中的物理模型,以后还可以构造虚拟解剖人和虚拟生理人,使得我们的仿真模拟手术更接近于真实的人体反应,

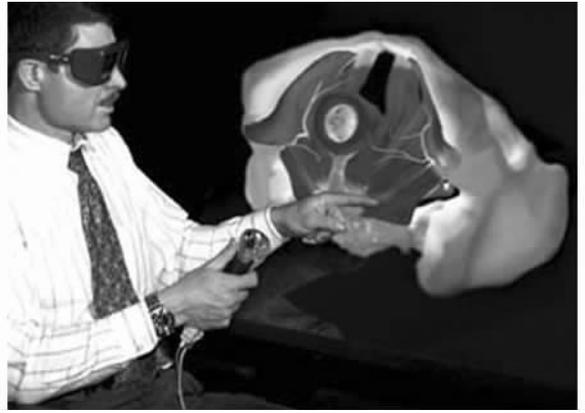


图1 虚拟手术

除了手术刀的力反馈和触觉反馈外,还可以模拟身体所起的生理反应和药物反应.

4.3 航海航空中的仿真模拟

国内外一些航海院校和军事单位开始装备由计算机成像显示昼/夜视景功能的船舶操纵模拟器.这种模拟器可以直观地模拟和显示船舶在海上或港内航行及操纵情境的视景,便于受训人员接受真实感强、训练项目多的船舶航行、避碰、定位及靠离泊位操纵等方面的训练和操作.现有的船舶操纵模拟器也将雷达、ARPA及导航模拟器的功能与自有的功能集为一体,成为综合航海模拟器或全功能模拟器.例如我国大连航海大学开发的航海模拟器采用了先进的仿真模拟技术,武汉理工大学也装备了先进的船舶模拟器,美国海军开发的“虚拟舰艇作战指挥中心”,能逼真地模拟与真舰艇作战指挥中心几乎完全相似的环境,生动的视觉、听觉和触觉效果,可使受训军官沉浸于“真实的”战场之中.

仿真模拟技术也可以用来验证发生的空难事故.例如前苏联著名的航天员加加林的空难的一种说法是“加加林驾驶的米格15进入前面飞机产生的湍流区域而进入螺旋飞行状态”;“驾驶员做了5—6次摆脱操作,但缺少约2秒的时间”^[5].另一个例子是广州白云机场1992年的坠机事件,就是由于飞机起飞飞行中突然遭遇切变风所致.这两个实例都是人们后来通过仿真分析得出的结论^[5].

4.4 作战演习的仿真模拟

现代作战仿真模拟是计算机技术、军事运筹学理论和战役战术学等多学科相结合的产物^[3-5].从单件武器的操作训练发展到作战协同和对抗训练,再到战术合同演练乃至大规模高速远程网络支持的多兵种多武器平台环境下的联合作战演习,仿真模拟技术都有广泛的应用.其主要功能有三:一是直接

或通过导调人员给受训者提供逼真的战场态势信息,使官兵有如“身临其境”的感受;二是接受受训人员对态势信息的反馈(判断和决策);三是通过模拟系统运行结果,对受训人员的反应给以评估。所以加强现代作战仿真模拟系统的研究开发,不仅可以节约大量的资金,避免大量的物资消耗,有助于实现我国的国防现代化,也有助于改善我国国际周边环境,改善我国的国际形象。

海湾战争期间,以美国为首的多国部队发动了代号为“沙漠风暴”的大规模空袭行动,在进行大规模空中打击前,美军将高分辨率卫星图像与战场数字地图相结合,产生出一种逼真的战场模拟环境。飞行员在战斗前,先在这个合成环境中演练,熟悉预定飞行路线以及作战目标的特性,从而大大提高了空袭效果。据报道,这种具有虚拟现实功能的航空兵作战模拟系统使美国空军只需出动原定飞行架次的50%就可以摧毁预定目标。事后据有关人士透露:海湾战争刚爆发不久,美军利用美国RDA公司开发的军团战斗作战模拟系统,对地面作战的战斗和指挥计划进行了模拟分析,通过这个作战模拟系统获得了俗称“4天计划”或“100小时战争”的作战方案。美国一家仿真公司提供了图形评价系统,准确地预测了伊拉克将把主力部队用于防御对科威特的攻击,并推测出,迂回到伊军西侧的盟军装甲部队的攻击具有最大成功的可能性。后来“沙漠军刀”行动结果证明,仿真模拟过程精确地描绘了实战,而实战又忠实地体现了仿真模拟结果。这种来自于实验室的战争真正实现了“运筹于帷幄之中,决胜于千里之外”。美军把计算机作战模拟(美国国防部称为建模与仿真)看作是“五角大楼处理事务的核心方法中的一种战略技术”,因而从各方面加强对计算机作战模拟的研究和投入^[4]。从1988年到现在,美国用于仿真和建模的经费提高了十几倍。美国国防部的一项调查表明,仅直接、间接用于支持武器系统研制的模型就有将近2000个,仿真建模的应用贯穿于武器装备转化为战斗力的全过程。

4.5 虚拟娱乐

仿真模拟技术不仅在军事领域得到了深入研究和成功应用,在虚拟设计、游戏动画等方面也到了成功的应用。网络游戏和演示也是仿真模拟技术一个比较成功的应用领域。SGI公司的Gary Tarolli在1983年3月开发了SGI工作站上的演示程序Flight(飞行模拟),1984年加入了联网功能,形成网络版Flight,1985年推出其演示程序DogFlight。有人认为

网络版Flight/DogFlight对仿真模拟开发的推动作用要大于SIMNET^[10]。事实上,NPSNET系统的开发也受到DogFlight的影响。

1999年在伦敦自然历史博物馆展出的Endeavour(即Cook船长在18世纪探索南中国海时驾驶的船只)的虚拟模型^[14]。这个虚拟展品可以让参观者迅速通过一条用虚拟手段再现出来的船只,同时能触发出声音和剪辑的图像,并操纵挂在船舱周围的三维模型物体等。

动画与艺术的结合,也是虚拟仿真一个十分有趣的课题,仿真侧重在对现实对象的真实性的模拟和重现,是以真实感强为目标,而艺术更多地侧重在美学愉悦的表现,更侧重在构想和夸张。我国近几年一直在研制中的数字敦煌工程就是一个仿真技术与艺术的结合。也许再过一个百年,敦煌石窟因为自然的原因,终于不得不关闭时,你只需鼠标轻点,通过屏幕,即可在计算机上实现对敦煌石窟的漫游,到莫高窟的任意一个洞窟的任意一个角落,而且看到的均是光线充足、色彩斑斓的壁画真实再现。由敦煌研究院牵头组织的国家重点科技计划专题“濒危珍贵文物信息的计算机存储与再现”。对220等八个洞窟进行了近景立体摄影、数字摄影测量、色彩矫正、虚拟洞窟漫游和洞窟档案资料数据库等工作,虚拟仿真技术在文物保护中已经有了很好的应用效果。

5 结束语

仿真模拟技术是在实际应用需求的驱动下发展起来的,军事应用是仿真模拟技术发展的主要推动力之一。同时,在大规模科学计算所获得海量数据的可视化处理、在各种高难度和危险环境下的操作训练(如载人航天、核设施维护等)、在大型复杂产品的虚拟原型机的研制和验证、模拟气候和灾害过程、远程医疗和模拟手术训练等方面,正得到越来越广泛和深入的应用。

同时,仿真模拟技术与其他学科的联系越来越密切,针对大量的应用背景,仿真模拟技术的研究内容也越来越丰富和庞杂,基础理论也日益丰富,覆盖面宽,新的研究领域和技术形态也不断出现,例如,目前出现的定性仿真(qualitative simulation)是以非数字手段处理信息输入、建模、行为分析和结果输出等仿真环节,通过定性模型推导系统的定性行为描述,是系统仿真与人工智能理论交叉产生的新领域。

相对于传统的数字仿真,定性仿真有其独到之处,它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,人机界面更符合人的思维习惯,所得结果更容易理解^[15]。可以预料,仿真模拟技术能够为我们的生活和工作带来越来越多的便利。

致谢 本方写作过程中参考了众多文献和资料,文中个别地方难以一一标出,在此一并致谢。

主要参考文献

- [1] ISO 标准《数据处理词汇》2382(01.06.01) [ISO Standard : Data Processing Glossary 2382(01.06.01) in Chinese]
- [2] 何江华. 计算机仿真技术平话. 北京 :国防工业出版社 ,2005 [He J H. The Stories of Computer Simulation Technology. Beijing : Defense Industry Press ,2005(in Chinese)]
- [3] Siggraph96 , Introduction of VR. 1996 ,CourseNotes
- [4] 赵沁平. DVENET 分布式虚拟环境. 北京 :科学出版社 ,2002 [Zhao Q P. The Distributing Virtual Environment DVENET. Beijing : Science Press ,2002(in Chinese)]
- [5] 吴重光. 仿真技术. 北京 :化学工业出版社 ,2000 [Wu C G. Simulation Technology. Beijing : Chemical Industry Press , 2000(in Chinese)]
- [6] 王惠刚. 计算机仿真原理及应用. 长沙 :国防科技大学出版社 ,2000 [Wang H G. Computer Simulation Principle and Its Applications. Changsha : National Defense University Press , 2000(in Chinese)]
- [7] GTE Government systems. An Object - Oriented Software Architecture DIS Application
- [8] IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation - Application Protocol , IEEE Std 1278 1 - 1995
- [9] IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation - Communication Servers and Profiles , IEEE Std 1278 2 - 1995
- [10] Calvin J. The SIMNET Virtual World Architecture. Proceedings of the IEEE VRAIS93 Conference ,1993 450
- [11] http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html
- [12] <http://cs.millersville.edu/~webster/haptics/cgw.pdf>
- [13] http://www.cars-int.de/History/cars_2000_start.htm

- [14] <http://www.barkendeavour.com.au/>
- [15] Kuipers B J. Artif Intel ,1986 29 289

相关参考文献

- [16] 何红梅,吕良权,赵沁平. 系统仿真学报 ,2000 ,12(7) :343 [He H M , Lv L Q , Zhao Q P. J. Syst. Simul. , 2000 ,12 (7) :343(in Chinese)]
- [17] 赵沁平等. 系统仿真学报 ,2000 ,12(4) :291 [Zhao Q P et al. J. Syst. Simul. , 2000 ,12(4) :291(in Chinese)]
- [18] 贾岩等. 灵境技术开启未来军事革命之门 ,<http://ztwl.home.sohu.com/02/012.htm> [Jia Y et al. Open the Future Military Revolution Door of Virtual Reality , <http://ztwl.home.sohu.com/02/012.htm>]
- [19] 杜志斌等. 美军作战模拟研究 :把战争请进实验室 <http://jczs.sina.com.cn/waijun/> [Du Z B et al. The Campaign Emulation Research of USA Military :Put the War into the Laboratory , <http://jczs.sina.com.cn/waijun/>]
- [20] Macedona M R , Anda M J et al. NPSNET :A Network Software Architecture for Large-Scale Virtual Environment
- [21] Acedonia M D , Zyda M J , Pratt D R et al. PRESENCE ,1994 3(4) :265
- [22] Snowdon D N , West A J. PRESENCE ,1994 3(4) :288
- [23] Carlsson C , Hagsand O. Computer & Graphics ,1993 ,17(6) : 663
- [24] Morrison J. PRESENCE ,1995 4(2) :194
- [25] Singhal S K , Cheriton D R. PRESENCE ,1995 4(2) :169
- [26] Spriet Jan A , Vansteenkiste G C. Computer - Aided Modeling and Simulation , Orlando : Academic Press , Inc. 1982
- [27] Some Citations About the Scientific Work of Tuncer I. Ören , http://www.site.uottawa.ca/~oren/index-cit/citations_sim_meth.htm
- [28] <http://www.engineeringourfuture.co.uk/gallery/>
- [29] http://www.cars-int.de/History/cars_2000_start.htm
- [30] http://www.transas.com.cn/images/productimage/ntpro4000_1.jpg
- [31] 刘瑞叶. 计算机仿真技术基础. 北京 :电子工业出版社 ,2004 [Liu R Y. The Foundation of Computer Simulation. Beijing : Electronic Industry Press ,2004(in Chinese)]