

中国自动化学会系统仿真专业委员会 中国自动化学会应用专业委员会
中国系统仿真学会仿真计算机与软件专业委员会 中国金属学会冶金自动化专业委员会

’2000 学术论文集 (第二卷)

系统仿真技术及其应用

System Simulation Technology & Application

(Vol. 2)

陈宗海 主编

中国科学技术大学出版社

中国自动化学会系统仿真专业委员会 中国自动化学会应用专业委员会
中国系统仿真学会仿真计算机与软件专业委员会 中国金属学会冶金自动化专业委员会

’2000 学术论文集 (第二卷)

系统仿真技术及其应用

System Simulation Technology & Application

(Vol. 2)

陈宗海 主编

中国科学技术大学出版社
2000 · 合肥

内 容 简 介

本书为中国自动化学会系统仿真专业委员会和中国系统仿真学会仿真计算机与软件专业委员会于 2000 年 8 月 15 日至 17 日联合召开的'2000 系统仿真技术及其应用学术交流会'的论文选编。

书中收录了会议录用论文 97 篇,是近两年来系统仿真技术在航空、航天、石油、化工、能源、国防、轻工等领域中应用的最新成果,以及建模与仿真方法的最新进展。

本书可供科研、设计部门和厂矿企业中系统仿真技术研究和应用人员以及高等学校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统仿真技术及其应用 第二卷/陈宗海主编. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2000.8
ISBN 7-312-01215-9

I. 系… II. 陈… III. 系统仿真—学术会议—文集 IV. TP391.9-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 36388 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本: 787×1092/16 印张: 30.5 字数: 761 千

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

定价: 200.00 元

《系统仿真技术及其应用》编委会

主 编：陈宗海

副主编：王正中 屠仁寿

编 委：王正中 丛 爽

李伯虎 吴 刚

吴连伟 陈宗海

汪增福 屠仁寿

写在卷首

随着新世纪的到来,近代计算机技术、通信技术等高科技的发展,伴随的信息产业革命已经初现端倪。信息时代的曙光,使“仿真”这个古老而又年轻的学科更加朝气蓬勃地播散着无限青春的活力。

信息社会化的进程,迫使系统仿真技术面对丰富多彩的客观世界。信息化和信息社会化,使人类处理的系统规模与复杂性日益增长,人类对系统的认识和研究逐步深化,可利用的信息资源的影响已具有全球的性质。这个信息社会化和高科技迅猛发展的背景,推动了系统仿真方法学的革新、发展与进步。

近年来,建模与仿真方法学致力于更自然地抽取事物的特征、属性和实现其更直观的映射描述,寻求使模型研究者更自然地参与仿真活动的方法。现阶段依托包括网络、多媒体等在内的计算机技术、通信技术等科技手段,通过友好的人机界面构造完整的计算机仿真系统,提供强有力的、具有丰富功能的软硬件营造的仿真环境,使开放复杂巨系统的模型研究,从单纯处理数学符号映射的计算机辅助仿真(CAS),强化包括研究主体(人)在内的具有多维信息空间的映射与处理能力,逐步创建人、信息、计算机融合的智能化、集成化、协调化高度一体的仿真环境。可见,信息时代的来临正在孕育着系统仿真方法学某些新的突破。正待开发的系统仿真方法和仿真技术广阔无垠,需要我们从事系统仿真的技术工作者付出艰辛的劳动,使仿真这门迄今为止最有效的经济的综合方法和推动技术进步的战略技术在现代化进程中发挥更大的促进作用。

由中国科学技术大学自动化系承办,中国自动化学会系统仿真专业委员会、中国系统仿真学会仿真计算机与软件专业委员会主办的'2000系统仿真技术及其应用学术会议,共收到论文112篇,录用97篇。其中,大会发言——建模与仿真方法学4篇,建模与仿真24篇,民用系统仿真25篇,航天与装备系统仿真21篇,控制系统仿真12篇,其它11篇。收录的论文涉及广泛的领域,内容丰富多彩。这次学术交流,无疑将对我国系统仿真学科和仿真技术的发展起到有效的促进作用。

在本书的出版过程中,戴耀华承担了全部排版工作,还有一些硕士生和本科生参加了部分校对、排版工作,在此深表谢意。

最后,我们衷心祝愿这次新世纪的学术交流会议取得圆满成功。

编委会

2000年7月于中国科学技术大学

目 录

一、大会报告

1. 虚拟现实技术综述.....胡社教 陈宗海 (1)
2. 定性建模、仿真和控制研究综述.....朱六璋 陈宗海 (13)
3. 线性系统测量网络多目标优化设计的研究.....李 博 陈丙珍 (22)
4. 基于矩阵模型的 DEDS 仿真.....高慧敏 曾建潮 孙国基 (28)

二、建模与仿真技术

5. 实时仿真器设计与实现.....廖良才 陈英武 (33)
6. X 窗口系统下的仿真支撑系统.....黄庆宏 侯小刚 (39)
7. 实时视觉仿真中帧连贯性应用.....齐 曼 张 珩 (44)
8. 控制文件与仿真试验数据显示.....安树林 段绍展 董印权 (49)
9. 虚拟仪器技术与航空测试系统.....曲东才 周胜明 王学宝 穆成波 (54)
10. 基于 VRML 的分布式虚拟现实技术.....周凯波 唐 超 冯 珊 (58)
11. 重要事件采样仿真技术及其在网络性能评价中的应用.....
.....金志刚 王继东 舒炎泰 (64)
12. 基于 HLA 的分布式建模与仿真系统中的数据库设计.....王召福 凌云翔 金士尧 (68)
13. 模糊定性仿真理论与算法实现.....王东锋 王军民 陈英武 (74)
14. 生命科学领域的计算机仿真模型.....傅廷亮 凌代俊 傅南枝 (78)
15. 分层、时统、异步仿真结构.....金伟新 (82)
16. 面向对象建模研究.....李洪儒 冯月领 冯振声 (86)
17. 飞行保障计算机仿真模型.....高全仁 余子山 孙明永 (90)
18. 船舶动力定位系统低频运动模型的建立.....张 圆 周爱军 (95)
19. 全景图像的虚拟场景漫游.....谈 正 张志军 周建龙 (99)
20. BP 神经网络仿真软件.....陈作炳 艾春庭 夏雪峰 (104)
21. 故障仿真预测系统的知识处理.....黄景德 王兴贵 王祖光 (108)
22. 舰船非接触式水下爆炸数字仿真有限元方法.....王官祥 汪 玉 (112)
23. 基于等高线地图的地形建模方法及其应用.....
.....张小超 黄一斌 薛 青 周涛武 (116)
24. 导弹系统数学模型验证技术研究.....王春方 邢起峰 崔 彬 (120)
25. 水下武器作战系统的虚拟场景生成技术.....华 锋 黄建国 (126)

26. 基于 ANFIS 的非线性电机系统的建模.....高雪鹏 丛 爽 (131)
27. 基于遗传算法控制步长的定性仿真方法.....庞国仲 王元西 (136)
28. 去除交叉定位中假定位的一种方法.....董志峰 汪增福 刘庆文 (141)

三、民用系统仿真

29. 综合业务流模型的仿真研究.....杨武学 陈鑫林 熊秉群 (147)
30. 基于网络化技术的大型集装箱船舶轮机模拟器.....郑华耀 (152)
31. 过程工业仿真应用系统的设计与开发.....方 毅 吉建良 (158)
32. 数控机床编程及仿真系统.....瞿希良 (162)
33. 基于粒子系统和图象合成的船舶航迹流实时动态仿真.....
.....尹 勇 金一丞 任鸿祥 谭家万 (168)
34. 主生产调度过程的随机 Petri 网模型.....韩亚欣 罗明宇 谭跃进 (173)
35. 汽车操纵性的仿真评价.....赵又群 郭孔辉 (179)
36. WMSE: 基于 WEB 的离散事件系统 M&S 开发环境.....白 涛 曾建潮 王 猛 (184)
37. Apros Multifunctional Simulator for Power Plant Simulation.....
.....顾军扬 展锦鹏 Kari Porkholm (188)
38. 利用面向方框图的仿真方法对风力发电机进行仿真.....侯书红 张新燕 (193)
39. 面向对象的精馏塔控制结构可视化仿真软件的研制.....王维波 李树荣 (197)
40. 通信网络仿真系统的开发现状及发展趋势.....
.....曹 阳 周 兰 张维明 沙基昌 徐 磊 (202)
41. 压缩制冷空调装置动态仿真研究 (一)
.....陈则韶 戚学贵 周相芝 陶 然 程文龙 (207)
42. 电站仿真支撑环境的作用及其发展概况.....程芳真 陈鸣山 吕崇德 (212)
43. 虚拟样机技术在汽车发动机气门机构设计中的应用.....
.....任卫群 金国栋 张云清 浦耿强 (217)
44. 提高 DCS 仿真培训系统的通用性.....张 鹏 (223)
45. 仿真系统 GPSSC 的研究与开发.....任 毅 陈 凯 范炳健 (227)
46. 基于 OpenGL 的灌装生产线虚拟系统的研究与开发.....
.....王书亭 吴义忠 任卫群 陈立平 (234)
47. 轮机模拟器的船舶主机故障仿真.....胡以怀 王一明 虞金霞 刘平健 (239)
48. 高速列车运行过程的仿真模拟研究.....卜艳萍 周 伟 (246)
49. 驾驶模拟装置三维场景自动生成系统的开发.....曾纪国 熊 坚 (251)
50. 舰艇指控中心仿真训练系统.....成 琪 刘小江 刘继青 陆东升 韩瑞新 (255)

51. 用 MATLAB 仿真精馏过程.....屈 强 罗金生 (262)
52. 油气水多相流管道动态仿真软件应用研究.....
.....姚 健 韩方勇 宋益莹 贾 娟 王克力 崔永春 (266)
53. 交互式汽车驾驶训练仿真器系统.....
.....李 刚 陆 虹 潘小龙 张培忠 朱云海 (270)

四、航天与装备系统仿真

54. 坦克武器射击模拟训练展望.....赵碧君 林式阳 朱竞夫 (275)
55. 分布交互仿真系统及其军事应用.....魏沛杰 张 韬 唐 克 (280)
56. 电子战装备仿真试验系统数据传输的实现方案.....董印权 马晓龙 安树林 (285)
57. 虚拟现实技术在导弹视景仿真中的应用.....宋学清 关正西 郭文普 (289)
58. 装备仿真平台的系统软件开发技术.....
.....马亚龙 王精业 郑常伟 刘永红 曹军海 (293)
59. 用 OpenGL 实现航天视景仿真.....秦加法 曹明亮 刘承勇 蒋桂荣 (297)
60. DIS 仿真网与 C³I 网通信接口设计与实现.....
.....徐丙立 周深根 王精业 徐享忠 (302)
61. 航天视景仿真特殊效果图形生成技术.....周 惠 陈善广 沈旭昆 (307)
62. 基于 CORBA 的自行火炮效能仿真 HLA 原型的开发.....
.....吴 松 韩国柱 罗学深 (311)
63. 某型直升飞行模拟器视景系统.....雷励星 陈晓明 (316)
64. 空间对接机构中结构锁的动力学仿真.....任卫群 吴义忠 陈立平 (321)
65. 单舰多功能模拟训练系统.....金同华 刘云飞 杨淑英 (325)
66. 虚拟现实仿真技术与军事应用.....马 野 沈鹤鸣 王 军 (330)
67. 坦克 CGF 系统的初步实现.....杨立功 郭齐胜 张雪超 黄一斌 (335)
68. 导弹系统模型仿真与性能评估.....夏惠诚 李 泉 (340)
69. 基于 PC 机的 PPI 雷达显示仿真.....
.....刘继青 刘小江 黎时勇 钱自林 成 珙 韩瑞新 (344)
70. 基于 HLA 的水中兵器对抗仿真系统开发环境的研究.....李玉华 (350)
71. 舰载指控通用仿真系统.....杨美健 (355)
72. 武器随动系统动态特性的可视化仿真.....张 玮 杨作宾 全厚德 朱元昌 (359)
73. 基于 HLA/RTI 的战术 C³I 系统仿真应用研究.....
.....杨作宾 张 剑 邱彦强 朱元昌 (365)
74. 计算机仿真辅助消防指挥决策系统.....夏东海 殷载立 (371)

五、控制系统仿真

75. A New Extremum Hunting Method for Optimum Control Systems.....张三宝 刘文江 张树明 (376)
76. 基于远程控制的虚拟实验室基本模型.....李仁发 (381)
77. 冷连轧张力的最优和互不相关控制系统的实验.....张进之 郑学锋 薛 栋 (384)
78. 冷连轧控制系统优化设计及计算机仿真实验.....石 勇 张进之 (389)
79. 钻井综合试验装置钻压伺服控制系统.....
.....王晓陵 张 锐 李文秀 李国义 焦洪柱 (395)
80. 编组站自动化调速实时系统减速器闭环控制仿真的研究.....李佳玉 (399)
81. 机电控制系统仿真与软件设计.....陈作炳 艾春庭 夏雪峰 (404)
82. 船舶航速动态矩阵控制 MATLAB 仿真.....谢成祥 曾庆军 周耀庭 (409)
83. 分布式楼宇中央空调温控、计费综合系统.....柴竹新 漆德宁 吴学伍 (414)
84. 基于 KDD 的自动化单元仿真系统.....刘复岩 吕韶义 (420)
85. 原油集输生产工艺过程自动控制仿真实验研究.....
.....宋益莹 姚 健 贾 娟 张 工 王克力 崔永春 (423)
86. 基于遗传算法的模糊神经网络控制器的设计与仿真.....薛福珍 唐 琰 (428)

六、其它

87. 激光非接触微小尺寸测量技术的研究.....梁东明 杜新华 李玉奎 (434)
88. PCVR 实时图形生成的多级消隐策略.....齐 曼 潘力均 许 滨 张 珩 (439)
89. 基于组合逻辑电路的演化硬件设计.....杨怡伟 李元香 (445)
90. 巧算等效电阻.....吴学伍 (450)
91. 突出质量效益 管理实验设备.....吴学伍 许自富 漆德宁 杨 萌 (452)
92. 培养自学能力, 促进创新思维.....漆德宁 刘昌锦 张 马风 (456)
93. 《信号与系统》仿真实验初探.....漆德宁 刘昌锦 张 马风 (459)
94. 现代可编程逻辑器件.....乙君 学伍 希梅 姜辉 (462)
95. 电气课程改革研究.....丙君 学伍 姜辉 希梅 (464)
96. 数字多路传输 DMX512 系统结构.....李炳兴 (467)
97. 采矿工程中的可视化仿真及虚拟现实.....李仲学 李翠平 赵文广 (473)

虚拟现实技术综述

胡社教 陈宗海

(中国科学技术大学自动化系, 合肥, 230027)

摘 要: 本文系统地阐述了虚拟现实技术, 分析了目前国内外在虚拟现实技术理论、应用的现状以及影响虚拟现实技术发展的一些关键技术。

关键词: 虚拟现实; 虚拟环境; 系统仿真; 交互

Virtual Reality Technology and Application

Hu Shejiao Chen Zonghai

(University of Science & Technology of China, Department of Automation Hefei 230027)

Abstract: This paper describes the virtual reality technology, analyzes the achievements of the theory and its applications. Some key technologies that influence the development of virtual reality are finally discussed.

Keywords: Virtual reality; Virtual environment; Virtual simulation; Interaction.

1 虚拟现实概述

虚拟现实 (Virtual Reality-VR) 又称灵境技术, 是利用计算机生成一种模拟环境, 通过多种传感设备使用户“投入”到该环境中, 实现用户与该环境直接进行自然交互的技术。该模拟环境不是真实的, 而是用计算机生成的具有表面色彩的立体图形, 它可以是我们能直接感觉得到的东西, 也可以是我们不易感觉得到的东西, 甚至可以是你的头脑中想象出来的任何事物, 只要你能把它的特征用数据表示出来就行。使用的传感设备包括立体头盔 (Head Mounted Display-HMD)、数据手套 (Data Glove)、数据衣 (Data Suit) 等。自然交互指以日常使用的方式对虚拟环境中的物体进行操作, 并得到实时立体反馈^{[1][4]}。

1.1 虚拟现实系统的基本特征

虚拟现实系统的最大优势是能够充分发挥在由计算机和人构成的系统中人的主观能动性, 即把人的感知能力、认知能力和心理状态在计算机系统中得到体现, 人与该系统交互采用完全自然的方式。通常 VR 系统的基本特征可以用一个“灵境技术三角形”加以描述, 即“三个 I”, 它们是 Immersion-Interaction-Imagination (沉浸——交互——构想)。(见图 1)

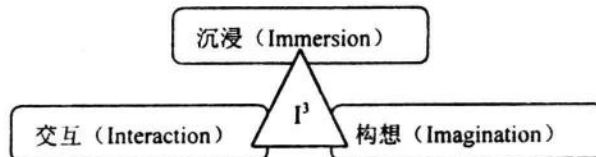


图 1 三 I 图

沉浸 (Immersion) : 这是 VR 系统的核心, 指使用户投入到由计算机生成的虚拟场景中的能力。用户在虚拟场景中有“身临其境”之感。

交互性 (Interaction): 指用户与虚拟场景中各对象相互作用的能力。它是人机和谐的关键性因素。交互性包含对象的可操作程度、用户从环境中得到反馈的自然程度以及虚拟场景中对象依据物理学定律运动的程度等; VR 是自主参考系,即以用户的视点变化进行虚拟交换。

构想 (Imagination): 虚拟现实不仅仅是一个用户与终端的接口,而且可使用户沉浸于此环境中获取新的知识,提高感性和理性认识,从而产生新的构思。把这种构思结果输入到系统中去,系统将处理后的状态实时显示或由传感装置反馈给用户。如此反复,这是一个学习——创造——再学习——再创造的过程,因而可以说,VR 是启发人的创造性思维的活动[2][3]。

1.2 虚拟现实系统的构成

为实现上述的虚拟环境,人们想出了多种构造 VR 系统的方法,根据 VR 系统中采用显示屏幕的不同,目前市场上的 VR 系统一般可以分为三类:

桌面式: 以计算机的显示器或其它台式显示器的屏幕为虚拟环境的显示装置。交互手段有手杆、六自由度鼠标、键盘等。这种桌面式虚拟系统虽然可以通过六自由度鼠标进行上下左右前后的全方位空间搜索与屏幕显示,但观察者的视角始终限制在较小的屏幕范围内,这样,视野和视角都很小,仅靠景物的移动来进行大范围观察。桌面式虚拟环境不能很好地将观察者与周围的真实环境隔离,其虚拟效果就不太好,但成本低、制作要求低、易普及、易实现。

大屏幕式: 针对桌面式虚拟系统视野小、虚拟效果不甚理想的缺点,人们研制出了大屏幕 VR 系统。大屏幕式 VR 系统包括弧形宽屏幕,360 度环形屏幕甚至全封闭的半球形屏幕。这种大视野的虚拟环境很好地把观察者与现实环境隔离开来,使人和环境完全融合,虚拟效果接近完美。而该虚拟方式的实现技术非常复杂,开发和运行费用相当高,通常只为特殊目的而专门开发研制。

头盔式: 又称浸入式,是针对桌面式成本低但虚拟效果不太好,而大屏幕式效果好但费用太高而巧妙设计的一个变通的虚拟环境。它将观察景物的屏幕接近到观察者眼前,这样便大大扩张了观察者的视角,而头盔又把观察者与周围的现实环境隔离开来,反过来增加了临境的效果。人们还利用双眼视差而产生立体感的原理,在显示屏上将显示的图象进行双幅叠加,以形成更好的立体图象。同时在头盔上安装立体声和一些控制装置,更加增强它的沉浸感。故头盔式显示器是目前人们研究的最主要的虚拟环境显示系统[4]。

无论以上哪一种 VR 系统,它们的系统构成都可以划分为以下六个功能模块(如图 2 所示);其中:

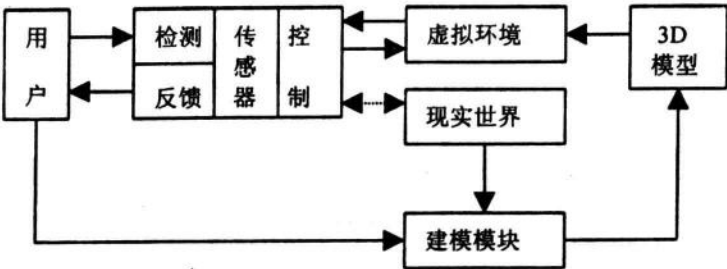


图 2 虚拟现实系统的构成

检测模块 检测用户的操作命令, 并通过传感器模块作用于虚拟环境。

反馈模块 接受来自传感器模块的信息, 为用户提供实时反馈。

传感器模块 一方面接受来自用户的操作命令, 将其作用于虚拟环境, 另一方面将操作后产生的结果以相应的反馈形式提供给用户。

控制模块 对传感器进行控制, 使其对用户、虚拟环境和现实世界产生作用。

3D 模型库 现实世界各组成部分的三维表示, 并由此构成对应的虚拟环境。

建模模块 获取现实世界各组成部分的三维数据, 并建立它们的三维模型^[1]。

2 虚拟现实技术的理论

1965 年, 美国 ARPA 信息处理技术办公室 (IPTO) 主任 Ivan Sutherland 发表了题为“终极的显示”的论文, 文中描述了如何把计算机显示屏幕作为“一个通过它观看虚拟世界的窗口”, 标志着 VR 这一学科的诞生。VR 技术是多门学科的交叉和融合。建立一个 VR 系统需要包括计算机图形学、图象处理和模式识别、智能接口技术、人工智能技术、多传感器技术、多信息融合技术、语音处理与音响技术、网络技术、并行处理技术和高性能计算机系统 etc 学科的理论。目前在 VR 技术理论方面已经明确的概念和方法包括以下方面的内容。

2.1 虚拟现实系统应达到的目标

计算机是二十世纪人类最伟大的发明之一, 它的贡献不仅表现在对科学技术的促进上, 且由此引起了人类生活方式和思想观念的改变。但由于冯·诺依曼式计算机体系结构的局限性, 计算机能解决的问题一定是满足“可计算”的三个条件, 即: 首先是可以形式化的方法描述该问题, 然后是可以找到一个算法去解决这个已被形式化了的问题, 最后是可以以一个合理的复杂度在当时的计算机上实现这个算法。事实上, 人类是依靠自己的感知和认知能力全方位地获取知识的, 是在多维化的信息空间中认识问题的, 而现有的信息处理工具 (尤其是数字计算机) 只具有在数字化的单维信息空间中处理问题的能力, 这就产生了人类认识问题的认识空间与所用工具的处理问题的方法空间不一致的矛盾, 就产生了人类较难直接理解信息处理工具的处理结果, 更难以把自己已有的感知体验或认知经验与处理工具的处理结果发生直接联系。

VR 系统的目标就是要不断地缩短人与计算机之间的隔阂, 直至建立一个适人化的多维信息空间。在这样一个适人化的多维信息空间内, 信息处理工具是虚拟现实环境 (系统), 人与虚拟现实系统是通过各种先进的传感器和作用器发生联系的, 人类可以按照自己习惯的方式与虚拟环境进行自由地交互, 人类以往的经验 and 体验 (全部的感性知识和理性知识) 都是理解问题、寻求解答和提出新概念的基础。真正体现人在虚拟系统中的核心作用。

2.2 虚拟环境中虚拟对象的构造

现代理论心理学和实验心理学的研究表明, 人类对于自然环境的感知机理极其复杂, 但概括起来可以分为以下三个方面: 视觉感知、听觉感知、记忆与认知等。

视觉感知和视景生成 对人类视觉感知生理的研究表明, 人类的视觉系统是由眼睛和视觉神经系统构成的; 眼睛的结构和照相机相似, 作用像光电转换器和信息编码器; 视觉神经系统的作用像信息网络。人的视觉感知由视网膜图象差、运动视差、色彩感知等部分组成;

视域、视敏度、时间分辨率和空间分辨率是视觉系统感知外界环境的具有生理局限的参数。VR 系统中视景的生成有基于图形的和基于图象的虚拟环境生成技术。

基于图形的虚拟环境生成技术是通过多边形进行平移、放大与缩小、旋转、剪切、等多种数学变换,把虚拟环境中的复杂视景用许多个多边形加以描述。利用计算机在图形设备上生成连续色调的真实感对象图形一般必须完成四个基本任务:

- 用数学方法建立所需三维场景的几何描述,由三维立体造型或曲面造型系统来完成;
- 通过对场景的透视变换将三维几何描述转换为二维视图;
- 使用隐藏面消除算法将视域之外或被其他物体遮挡的不可见的部分消去,以确定场景中的所有可见面;

• 根据基于光学物理的光照模型计算可见面投射到观察者眼中的光亮度大小和色彩,将它转换成适合图形设备的颜色值,从而确定投影画面上每一像素的颜色,最终生成图象。

基于图象的虚拟环境生成技术与计算机图形学中重构场景的根本区别在于:它不依赖于几何模型,而是利用事先获取的一组图象,对环境进行编码,并通过适当地组合这些图象生成位于不同视点的新视图,最终实现环境的完全漫游。其最大优点在于,生成的环境是这组图象所反映的客观真实场景。当然,这项技术首先必须解决下述两个基本问题:

• 给定某个真实场景的一组局部图象,如何生成包含这组局部图象的新视图——图象整合;图象整合问题的核心是:即寻找一个变换,使图象间相重叠的部分对准、并“缝合”成一个新的更大画面的视图。

• 给定某个真实场景的两个不同视点下的场景图象,如何生成这两个视点间新的场景图象——图象插补;图象插补技术能够保证插补图象是同一场景或物体在新视点下的图象[7][17][20]。

听觉感知与听觉生成 在虚拟环境系统中听觉通道是最重要的接口之一,人类从自然界获取的信息大约有 15%是通过耳朵得到的。人的听觉系统由外耳、中耳和内耳组成;外耳负责定向收集声波,中耳负责保护内耳,并将外耳收集到的声音传送给内耳;内耳负责保护放大、滤波和提取声音特征,然后传送给大脑。人的听觉系统的可感知语音的频率范围约为 20~20000Hz。为了产生虚拟环境的声音,人们采用了空间声音合成方法,该方法利用具有滤波器的声音信号的直接卷积,这些滤波器对应于被测试的耳廓的冲击响应。

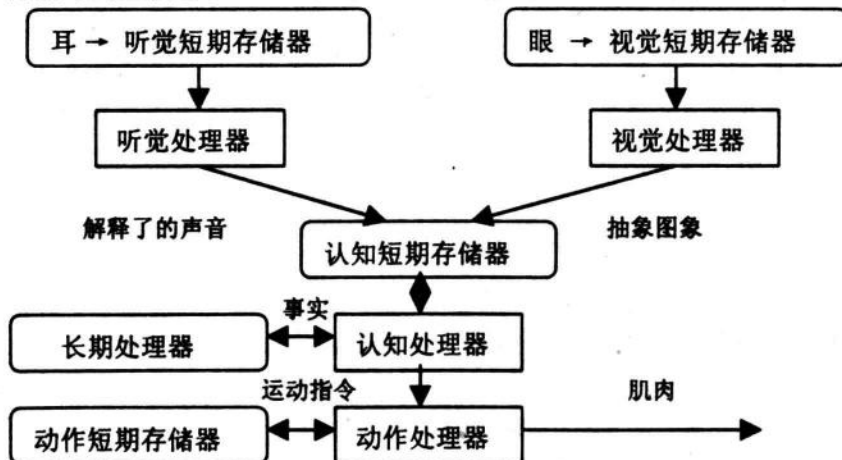


图 3 人的知觉和认知信息处理过程

记忆与认知 人的记忆由短期记忆和长期记忆构成，短期记忆的容量约为 7 ± 2 个存储单位，若不及时更新，短期记忆的信息会在 20ms 内消失，须对它不断地进行刷新。长期记忆几乎有无限容量；人的认知过程，是一个优化安排短期记忆存储器的使用和有效检索长期记忆的过程。人的知觉和认知信息处理过程如图 3 所示。

2.3 虚拟环境的系统设计方法

虚拟环境是一个相当复杂的系统，对它的设计和实现的困难程度绝非一般的应用程序开发能比拟。研究表明，面向对象技术和面向智能体技术是 VR 系统设计的首选方法。

人对客观世界的认识和判断，主要采用从一般到特殊（演绎）及从特殊到一般（归纳）两种方法。实际上，它是对所认识和判断的对象进行属性继承和属性归类——这就是“面向对象”技术的基本思想。面向对象的技术领域目前已涉及：面向对象的设计（OOD）、面向对象的语言（OOL）、面向对象的数据库（OODB）、面向对象的智能程序设计（OOIP）和面向对象的体系结构（OOA）。在面向对象的系统观中，构成系统的基本部分是对象，且它应当具有以下特征：**模块性**：一个对象是一个可以独立存在的实体。从外部只能了解这个模块的功能，而该功能是如何实现的，则是“隐蔽”在模块的内部。**继承性**和**类比性**：每个具体的对象都是在它所属的某一类对象的层次结构中占据一定的位置，下一层次的对象继承了上一层次的某些属性，而一些不同的对象又具有某些相同的属性。**动态连接性**：对象和对象间所具有的统一、方便、动态连接以及传递消息的能力和机制。**易维护性**：任何一个对象对实现本对象的功能的细节隐蔽在该对象的内部，对对象功能的完善和修改都不会传播到外部，因而增强了对于对象和整个系统的易维护性。

面向智能体的程序设计方法是满足更高层次的 VR 系统要求而提出的。它能使目前的“对象”进化为“聪明的对象”（Agent）=“知识表示结构 + 处理方法”。面向智能体的程序设计（AOP）是一种以计算的社会观为基础的新型程序设计风范，它以 Agent 的设计与构造作为程序设计的核心。一个完整的 AOP 系统应当包含三个基本元素：

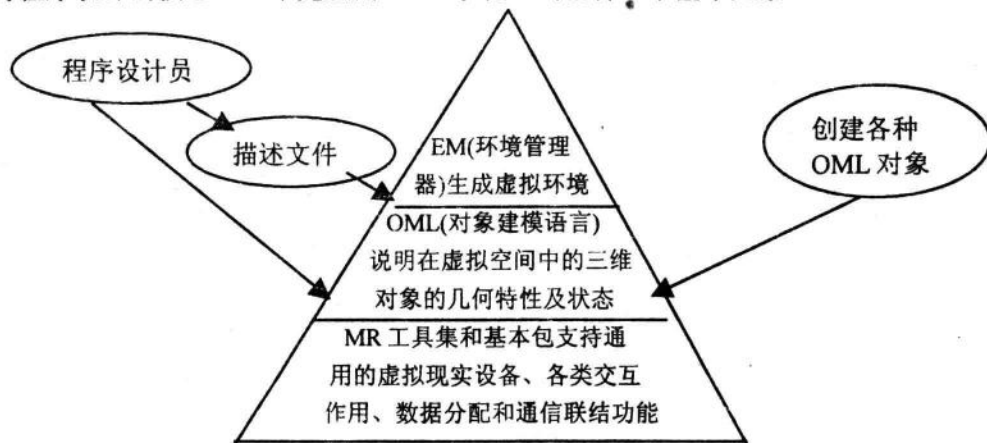


图 4 虚拟现实开发系统的概念模型

- 一种严格的形式化语言，该语言具有清晰的语法和语义来描述 Agent 的精神状态；
- 一种解释性程序设计语言，该语言用于定义和编程 Agent，并具有诸如请求和通知这样的通信原语，其语义应当忠实于精神状态语义；

- 一个 Agent 形成器 (agentifier), 用于将中性设备转化为可编程的 Agent。

由此可以构造出一个虚拟现实开发系统的概念模型 (见图 4)。从图 4 可以看出, 在 VR 开发系统的最高层的是虚拟环境管理器 EM, 它可根据用户在描述文件中所规定的要求启动一个用 OML 所描述的虚拟环境, 也可使用工具创建各类 OML 对象。

3 虚拟现实系统的硬件

在 VR 系统中, 为了使人与计算机能很融洽的进行交互, 让人“沉浸”到计算机所创造的虚拟环境中去。必须配备相应的硬件设备, 它们包括:

- 跟踪系统——以确定参与者的头、手和身躯的位置;
- 触觉系统——提供力与压力的反馈;
- 音频系统——提供立体声源和判定空间位置;
- 图象生成和显示系统——产生视觉图象和立体显示;
- 高性能计算处理系统——具有高处理速度、大存储容量、强联网特性^[11]。

3.1 跟踪系统

当人们转动或移动头部时, 眼睛所看到的视野也随着变动, 当然人们希望在虚拟环境中也有这样的功能。即能够实时地检测出人头、人手的位置与指向, 以及每个手指的位置与角度等数据, 以便把这些数据反馈给控制系统。目前跟踪三维空间中物体的方位的系统有以下几类:

电磁跟踪系统 电磁跟踪系统有两种类型: 即交流电磁跟踪系统和直流电磁跟踪系统, 交流电磁跟踪系统由励磁源、磁接收源和计算模块组成。励磁源由三个磁场方向相互垂直的交流电流产生的双极磁源构成, 磁接收器由三套分别测试三个励磁源的方向上相互垂直的线圈组成, 通过三次测量, 可以测得九个数据。通过计算可确定被测目标的六个参数 (即空间坐标 x 、 y 、 z 和旋转角 α 、 β 、 γ)。直流电磁跟踪系统与交流电磁跟踪系统工作原理基本相同, 其优点是可以避免测量环境中铁磁材料的干扰。

声学跟踪系统 利用不同声源的声音到达某一特定地点的时间差、相位差、声压差, 可以进行定位与跟踪。与电磁跟踪法相似, 超声波式传感器也有发射器、接收器和电子部件组成。发射器由三个相距约 30 厘米的超声扩音器所构成, 接收器是由三个相距较近的花筒所组成的。其中声波飞行时间测量法和相位相干测量法是实现声音位置跟踪的两种基本算法。

声波飞行时间设备通过测量声波的飞行时间来确定距离, 通过使用多个发射器和传感器获得一系列的测量以计算位置和方向。相位相干位置跟踪器通过比较基准信号与由传感器检测到的发射信号二者的相位来确定距离。这两种方法各有优缺点, 相互结合才能得到满意的结果。

光学跟踪系统 光学跟踪系统使用从普通的视频摄像机到 x - y 平面光敏二极管的阵列, 利用周围光或者由位置器控制的光源发出的光在图象投影平面不同时刻或不同位置上的投影, 计算得到被跟踪对象的方位。光学跟踪系统可以被描述为固定的传感器或者图象处理器。

3.2 触觉系统

在 VR 系统中, 能否让用户产生“沉浸”效果的关键因素之一是用户能否用手或身体的

其他能动部分去操作虚拟物体，并在操作的同时能够感觉到虚拟物体的反作用力。否则，会使参与者缺乏真实感，以及给视觉计算带来麻烦。目前使用较为普遍的是力学反馈手套。

力学反馈手套常使用了两个手套，第一个手套在手套下部安装有 20 个压敏元件，当戴上手套时，用户感觉到压敏元件随着手的用力产生的阻力。压敏元件的输出经模数转换后，传送给主机处理。第二个手套有 20 个空气室，这些空气室能够由 20 个空气泵来控制膨胀和收缩，从而对用户施加力感。这些泵由主计算机轮流控制。

3.3 音频系统

听觉环境系统由语音与音响合成设备、识别设备和声源定位设备所构成。随着立体声的发展，人们都在试图改进声音的立体感，为了能产生逼真的环境音，已尝试使用四声道系统。在环境音系统中，开始考虑人头的自由运动，采用了空间声音合成方法，该方法对应于被测试的耳廓的冲击响应，响应是通过由不同方向到达左耳道和右耳道的声音测试得到的，比测试更好的分辨率响应可以通过线性插值估计得到^[2]。

3.4 图象生成和显示系统

人类对外部世界的感知有近 70~80%来自视觉；因而在 VR 环境中，图象生成和显示技术就显得特别重要。由计算机生成视景的工作主要包括以下三个步骤：

- 计算生成具有真实感的图形，真实感的图形包括颜色、光照、立体感和运动感；
- 计算生成或直接从图象库中取得已经压缩了的具有真实感的背景图象；
- 经过扫描变换将图形和背景图象统一安排在同一坐标系中。

用计算机图象生成 CIG (Computer Image Generation) 系统能够解决真实感图象的实时生成与显示的问题；CIG 系统为了实时生成特定的三维计算机图象，服务于人的视觉系统，就必须产生连续的 (24~30 幅 / 秒) 高度逼真的彩色画面；该系统必须完成两类的处理工作：首先是图象显示要完成的基本处理工作，它包括物体的坐标变换、剪裁、透视投影、隐藏面移去、明暗处理、扫描转换和表面纹理等一系列复杂的处理工作以及大量的逻辑判断工作；其次是系统级的附加工作，如对参数做预处理、对运动目标进行处理和对特殊效应进行处理等。

头盔式显示器(HMD)是 VR 系统中常用的显示设备，它不仅集成了图象生成和显示系统、跟踪系统和音频系统等多项技术，而且还人类对视觉感知的生理特点；其显示屏幕被设置在一个特制的头盔的前部，把计算机图象生成系统生成的图象（左、右显示屏幕对应着两幅不同的图象）分别送到头盔显示器的两个屏幕，利用人眼的生理感知特点产生一幅立体图象；且当人的头或身体转动时，计算机图象生成系统送出相应的图象也跟着发生变化^{[7][17]}。

3.5 高性能计算机处理系统

VR 系统的特点就是能够给参与者提供逼真的三维图象，让用户“沉浸”在一个由计算机生成的虚拟环境之中；自然就提出了对高性能计算机处理系统的要求，目前在 VR 系统中使用计算处理系统有以下两种：

基于工作站的计算机处理系统 多数 VR 系统以工作站为基础构成。因为对大型 VR 应用系统而言，低性能的计算机难以满足实时要求，必须具有较高图形性能的工作站开发环境。基于工作站的硬件平台主要有：

- **SGI 图形平台**：它是 SGI 公司为虚拟现实系统提供了一系列最先进的硬件平台，它向用户提供了超高速的图形系统。

- **虚拟全息图形工作站**：它基于 SUN10-51，并配置 ZX 图形加速卡，还配置了立体眼镜以及头部三维定位装置和三维鼠标等设备。

- **工作站组成集成化**：该类虚拟现实系统工作站为完全的集成化环境，分别采用不同的 CPU 来处理声音、图像、手势识别等。

基于 PC 的系统计算机处理系统 随着 PC 机性能与工作站的距离的缩小，面向 PC 的多媒体技术飞速发展，这使得中低档的 VR 应用落户 PC 成为可能。目前许多国内高校和研究单位已开发了基于 PC 的 VR 系统，它们可以被用于像艺术和教育之类非实时的 VR 系统 [10][19]。

4 虚拟现实系统的软件

一个成功的 VR 系统是极其复杂的，必须是面向对象的和实时的，具有内在的灵活性和可移植性，自然对软件开发环境提出了很高的要求。当人们在开发一个 VR 系统时，不可能也没有必要自己去构造 VR 环境的平台，而是应该在现有的 VR 环境平台上进行开发和设计。

4.1 虚拟现实环境开发平台

国内外 VR 环境开发平台种类繁多，其中比较有代表性的 VR 环境综合平台有以下几种：

- **桌面虚拟环境系统 VRT** 桌面虚拟环境系统 VRT 主要包括三个功能模块：形状 (shape) 编辑器、世界 (world) 编辑器和可视化器 (visualizer)。形状编辑器用于生成虚拟环境中的对象，世界编辑器用于将这些对象与在虚拟环境中的运动和行为联系起来，可视化器用于形成一个应用的运行系统。且 VRT 允许较高度上的交互性和网络处理。

- **分布式虚拟环境系统 dVS** 分布式虚拟环境系统被设计用于一系列不同的体系结构，且支持松耦合网络、对称式多处理器系统。dVS 提出了虚拟环境 “Actor” 的想法：一个 Actor 是离散进程的集合体；被一个 Actor 所操纵的对象是一种抽象数据模型，不代表任何实际数据；本地 Actor 与其他 Actor 之间进行通信来通告包的改变和访问。

- **VPL 的 RB2 系统** RB2 由一套集成的、可以在 SGI 系列计算机上运行的软件工具组成。它是第一个实用的、完备的虚拟环境系统；RB2 系统中使用的很多外部设备形成了虚拟现实系统的基础，利用 RB2 可以不用编程即可快速构建一个完备的虚拟环境。

- **虚拟环境操作外壳 VEOS** 是原型化分布虚拟世界的软件环境；其目标是：创建一种机制用于规定在分布设计中的任务并指派计算资源；一个 VEOS 应用程序可以分解成不同的进程，每个进程尽可能自我依赖；每个进程可以独立编码，遵守系统中与其他进程相互通信的规定。

- **SGI 的 VR 开发平台** 是 SGI 公司开发的适于虚拟环境的图形平台，它将虚拟世界产生系统与各种外围设备集成在一起。其产品 SkyWriter 和现实引擎 (reality engine) 支持 “窗口输出”、一般的 UNIX 计算和高级图形操作，支持数据库开发、任务规划、任务预演和映象。

4.2 虚拟现实环境的编程软件