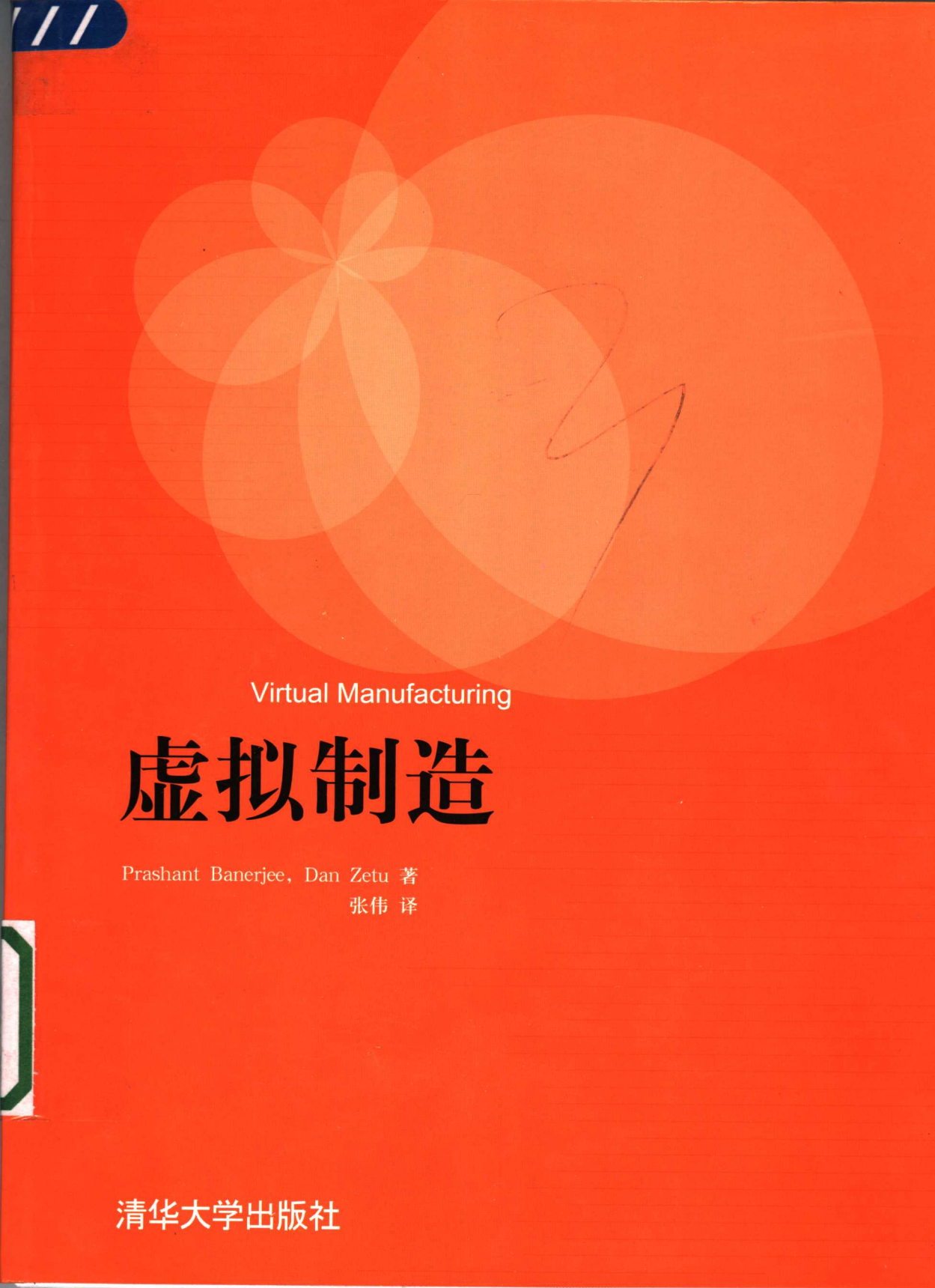




Virtual Manufacturing

虚拟制造

Prashant Banerjee, Dan Zetu 著

张伟 译

清华大学出版社

Virtual Manufacturing

虚拟制造

Prashant Banerjee, Dan Zetu 著

张伟 译

清华大学出版社
北京

EISBN: 0-471-35443-0
Virtual Manufacturing
By Prashant Banerjee, Dan Zetu

Copyright © 2001 by John Wiley & Sons, Inc.
All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons, Inc. 出版公司授权清华大学出版社出版发行。
未经出版者书面许可,任何人不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

ALIAS/WAVEFRONT®, GRAPHICS LIBRARY/GL™, IRIX™, OPENGL®, OPEN INVENTOR™, and PERFORMER™ are all trademarks of SGI Inc. CAVE™ and IMMERSADESK R2™ are trademarks of Electronic Visualization Laboratory, University of Illinois at Chicago. CONACT™ is a trademark of MTI Research. MOTIONSTAR® is a registered trademark of Ascension Technology Corporation. SOFTIMAGE® is a registered trademark of SoftImage/Avid Technology. TELEGRIP is a trademark of Deneb Robotics Inc. 3D STUDIO MAX® and 3D STUDIO VIZ® are registered trademarks of Autodesk Inc. WORLDTOOLKIT® and the Sense8® Product Line are registered trademarks of Engineering Animation, Inc.

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2003-8324

图书在版编目(CIP)数据

虚拟制造/班纳吉(Banerjee, P), 泽图(Zetu, D)著; 张伟译. —北京: 清华大学出版社, 2005. 2
书名原文: Virtual Manufacturing
ISBN 7-302-10219-8

I. 虚… II. ①班… ②泽… ③张… III. 计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. TP391.73
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 139316 号

出版者: 清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>
社总机: 010-62770175

地址: 北京清华大学学研大厦
邮编: 100084
客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 张秋玲

文稿编辑: 曾洁

封面设计: 何凤霞

印刷者: 北京密云胶印厂

装订者: 三河市李旗庄少明装订厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开本: 170×230 印张: 18.75 字数: 314 千字

版次: 2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-302-10219-8/TP·1105

印数: 1~3000

定价: 29.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前 言

随着高速、高分辨率图形计算技术和人机交互装置的发展,最近出现了一种新技术,即虚拟现实技术(virtual reality, VR)。许多 VR 系统提出了一个重要概念——沉浸。沉浸指的是通过跟踪用户,实现以用户为中心的透视图形,从而使用户感到完全被计算机生成的三维环境所包围。虚拟现实技术与典型的建模和 CAD/CAM 软件技术相比是一个巨大的进步,这是因为后者在直觉用户交互方面存在固有的限制。现在虚拟现实技术已经应用到很宽的领域,其中最著名的是飞行模拟器、预排演、视频游戏以及医学(虚拟外科手术)。从制造角度看,虚拟现实一些吸引人的应用领域包括培训、协同产品和过程设计、设施检测与管理。另外,最近宽带网络的发展也使远程协同式虚拟环境应用于这些领域。

本书选择了一些会对虚拟制造带来重要潜在影响的技术进行讨论。尽管这些技术本身还在不断扩展中,但基于作者在本领域几年来的经验,这些技术包括设施规划和工作单元管理、实时精确碰撞检测、运动建模、化身技术以及培训中的虚拟—真实环境交互。除了这些领域以外,本书还针对虚拟制造中的深度恢复,探讨了一些虚拟现实与计算机视觉(尤其是照相机自定标和立体视觉)的联系。从这些概念中发展出来的一些自动化技术,可以减少使用 CAD 技术手工创建虚拟环境用户的工作时间并增加工作的趣味性。最近,随着 VR 补充技术的出现,如增强现实技术(augmented reality, AR),人们将关注虚拟世界与真实世界之间至关重要的注册问题。

本书第 1 章简要介绍了虚拟制造的背景,给出了一些应用举例,并强调了研究中的关键问题。第 2~5 章介绍了计算机图形学、虚拟现实、深度提取和形状重构技术的基本原理。第 6~10 章给出了大量虚拟制造中的应用实例,这些应用实例的开发是基于伊利诺伊大学芝加哥分校的工业虚拟现实研究所的研究工作,包括 A. Banerjee, R. Tesic, D. Zetu 和 V. Giallorenzo 的学位论文。我们也特别感谢下列人员对本书的贡献: A. Akgunduz, C. Luciano, D. Thompson, P. Schneider, S. Anantharaman 和 K. Gierach。本书的目标

II 虚拟制造

是不仅向工科学学生,也向那些有意在虚拟制造领域进行应用开发的专业人士介绍虚拟制造的基本概念。最后,作者还想向 T. DeFanti, D. Sandin, M. Brown, J. Leigh, D. Pape, D. Plepys, G. Dawe, A. Verlo 和许多伊利诺伊大学芝加哥分校电子可视化实验室的其他人员致谢,感谢他们几年来给予的不断鼓励和支持,是他们的努力使本书的一些内容能呈现在读者面前。

P. Banerjee

D. Zetu

于芝加哥

2001 年 1 月

目 录

第 1 章 虚拟制造及自动化简介	1
1.1 虚拟制造及自动化	1
1.2 虚拟现实简介	2
1.3 代表性应用软件	7
1.4 虚拟制造的重要成果：未来的虚拟工厂	9
1.5 虚拟制造模型发展中需要考虑的问题	11
补充阅读资料	13
参考文献	13
第 2 章 三维计算机图形与几何变换原理	15
2.1 简介	15
2.2 虚拟世界与观察者空间	15
2.2.1 虚拟观察者定位	16
2.2.2 XYZ 轴定角方法	16
2.2.3 XYZ 轴欧拉角	20
2.2.4 四元数	22
2.3 透视投影	34
2.3.1 透视投影及视野	36
2.3.2 映射到显示装置	37
2.4 视锥、视野和裁剪平面	38
2.5 用来消除隐藏面的 Z 缓冲器	38
2.6 光照模型	39
2.6.1 点光源	39
2.6.2 多光源	40
2.7 反射模型	40
2.7.1 漫反射	40

IV 虚拟制造

2.7.2 镜面反射	41
2.7.3 环境反射	41
2.8 颜色模型	42
2.9 渲染	43
2.10 反走样	44
2.11 物体几何变换	45
补充阅读资料	47
参考文献	47
练习	48
第3章 虚拟现实原理	51
3.1 立体透视投影	51
3.2 简单三维建模	54
3.2.1 多边形网格	54
3.2.2 模型构建技术	59
3.2.3 模型装配技术	60
3.2.4 模型准备、确认和修复:快速原型制造实例	61
3.3 实时图像生成	65
3.3.1 延迟与帧频率	66
3.4 细节程度	67
3.5 实例	67
3.6 用户-对象交互	84
3.6.1 二维形状抓取	85
3.6.2 三维对象抓取	87
3.6.3 飞行	88
补充阅读资料	89
参考文献	89
练习	89
第4章 基于遥测的深度恢复	93
4.1 简介	93
4.2 由立体视觉恢复第三维信息	93
4.3 特征提取和匹配	95

4.3.1	数字图像量化	95
4.3.2	图像滤波	96
4.3.3	图像分割	100
4.3.4	边缘检测	105
4.3.5	边缘连接	110
4.3.6	拐角检测	112
4.3.7	立体匹配方法	114
4.4	照相机模型与定标	117
4.4.1	透视照相机模型	117
4.4.2	照相机定标	118
4.4.3	图像定标点搜寻	121
4.4.4	再论立体视觉	122
4.5	免定标深度恢复	125
4.5.1	技术发展水平	125
4.5.2	基于遥测的三维重构	126
4.5.3	在噪声情况下的深度和焦距同步优化	129
	补充阅读资料	138
	参考文献	139
	练习	141
第 5 章	基于视点的多视角形状恢复	143
5.1	简介	143
5.2	德劳内三角剖分初步	143
5.3	现有形状恢复技术及其局限	147
5.3.1	Boissonnat 技术	147
5.3.2	三维 α 形状	148
5.4	基于视点的形状恢复方法	152
5.4.1	形状恢复算法	152
5.4.2	检验点是否在多边形内	154
5.4.3	去除冗余四面体	156
5.4.4	去除隐藏三角形	157
5.4.5	修正表面法向	158
5.4.6	性能与复杂性分析	159
5.4.7	举例	160

补充阅读资料	162
参考文献	163
第 6 章 制造系统自动化混合跟踪	165
6.1 简介	165
6.2 混合跟踪系统与运动跟踪一般方法	167
6.3 混合跟踪器预定标	169
6.4 违反视线约束	171
6.5 混合跟踪器操作	171
6.6 应用于人体运动跟踪	173
补充阅读资料	177
参考文献	177
练习	178
第 7 章 精确碰撞检测	181
7.1 简介	181
7.2 碰撞检测技术	182
7.2.1 解析方法	182
7.2.2 几何方法	182
7.3 针对虚拟制造的碰撞检测技术	187
补充阅读资料	200
参考文献	200
第 8 章 运动建模	201
8.1 简介	201
8.2 轨迹描述	202
8.3 轨迹建模	204
8.4 确定运动参数	207
补充阅读资料	211
参考文献	211
第 9 章 远程协同式虚拟制造体系结构	213
9.1 虚拟制造网格数据结构	213
9.1.1 场景图的局限	213

9.1.2 VML 结构与对象库	215
9.2 四元体节点结构	218
9.3 虚拟制造脚本	220
9.3.1 VMS 需求	220
9.3.2 VMS 分类	221
9.3.3 VMS 描述	223
9.4 实例:用 VML-VMS 实现任务自动执行	225
9.5 实例:用 VML-VMS 实现任务交互执行	228
9.5.1 网络规划	228
9.5.2 带宽研究	229
补充阅读资料	231
参考文献	232
第 10 章 用计算流体力学和虚拟现实实现特殊场所气流设计	233
10.1 简介	233
10.2 制造行业的通风	233
10.3 CFD 和 VR 用于污染控制	235
10.4 实验设计:房间设置参数化	238
10.5 结果	243
10.6 解析方法	248
10.7 虚拟现实应用	257
10.8 结论	260
参考文献	261
附录 1 B 样条曲线拟合	263
附录 2 线性方程超定系统的伪逆解法	267
附录 3 卡尔曼滤波简介	269
附录 4 卡尔曼滤波器应用于头部和手部跟踪	273
附录 5 虚拟现实建模语言	275

第1章 虚拟制造及自动化简介

1.1 虚拟制造及自动化

“虚拟制造”一词在 20 世纪 90 年代初才第一次突显出来,其中部分原因来自美国国防部发起的虚拟制造项目。现在虚拟制造不仅在概念和专业术语上都获得了国际范围内的认可,而且其内涵也被拓宽了。在 20 世纪 90 年代的前半期,少数几个主要组织开展了虚拟制造的前期研究工作,这些组织主要来自航天业、挖掘设备制造业、汽车工业和一些专业的学术研究群体。最近,由于所需的软硬件技术在性能和价格方面的改善以及人们对虚拟制造巨大潜力的了解,全球对虚拟制造的市场兴趣显著增加,它被认为是快速发展的信息技术基础结构的支持技术之一。

“虚拟制造”这一术语广泛使用于好几种背景下。虚拟制造泛指通过有效运用视听和(或)其他感觉特征在计算机上对制造系统及其组件进行建模、仿真以及(或)在实际制造环境下进行方案设计。其主要目的在于扩展预测能力,使设计者在实际制造发生之前就能预测产品在功能和可制造性方面可能存在什么问题,哪些产品因素会影响生产效率等。敏捷制造(agile manufacturing)是在虚拟制造领域中时常被提到的一个术语,有时敏捷制造定义为一个通过集成组织、员工和技术这三种基本资源来获得敏捷性的组织结构。实现敏捷制造的办法是运用创新的管理结构和组织,拥有具有知识和自觉性的高素质的员工以及使用柔性的智能化的技术。敏捷性关注的是根据客户的需求对产品和工艺进行快速应变,而虚拟制造技术恰好提供了一种实现这一目的的办法。虚拟制造对快速原型制造设备构成了冲击,如一种快速原型制造工艺称为选择性激光烧结(SLS),它通过一层一层精确地堆积金属粉末来制造实物原型,现在有些公司像 General Motors(通用汽车)和 Caterpillar 已经开始使用虚拟现实(virtual reality, VR)技术来构建车辆的电子原型,用以取代上述实物原型,这样显著地缩短了产品的开发时间。

虚拟制造及自动化通常着重于虚拟现实技术、制造、自动化的理论与实践

的接口,本书重点关注虚拟现实技术在开发这种接口方面的角色,如果更好地理解虚拟现实技术在开发这一接口方面的角色,那么对将来制造理论和实践的发展方向就会认识得更加清晰。

一些能在发展虚拟制造中获益的领域包括:

- 产品设计;
- 危险操作的建模;
- 生产建模;
- 工艺流程建模;
- 培训;
- 教育;
- 信息可视化;
- 远程通信与远程旅游。

为了有效地发展虚拟制造技术,在虚拟现实软件和制造软件之间创建接口层是必需的。目前虚拟现实软件的例子都是基于一些图形图像公司的硬件规范,包括 AutoDesk 公司的 3D Studio[®]、SGI 公司的 Open Inventor[™]、Sense8 公司(现被 EAI 公司收购)的 WorldToolKit[®]、SGI 公司的 Performer[™]、VRCo 公司的 CAVE[™](Computer Assisted Virtual Environment,计算机辅助虚拟环境)软件库和 Division library(现被 PTC 公司收购)。CAVE 由多个 SGI 处理器驱动,组合在一起构成像房间那么大的 VR 执行装置。最近,人们开始使用虚拟现实建模语言(VRML),而且 VRML 也已经成为 ISO 标准。由 SGI 公司开发的 Cosmo Player 是一种很有用的 VRML 浏览器,后来该浏览器被计算机协会收购。非商业化的能够高度并行处理图像的多电脑系统(称为像素平面)也已经问世,但它主要还是用于科研。制造及自动化软件的例子包括仿真软件、控制软件和布局设计软件,等等。

1.2 虚拟现实简介

定义

虚拟现实:VR 可广义地定义为一种在电脑空间中可以创建和交互的能力,电脑空间代表的是一种与我们所处的环境有许多相似之处的空间。VR 与通常所称的虚拟环境(virtual environment,VE)关系紧密,VE 系统与以往以计算机为中心的系统的区别在于它们的实时交互程度不一样,它具有几个方面的特征:所感知的视觉空间是三维的而不是二维的;人机界面是多模型

的,操作者沉浸在电脑生成的环境中。

虚拟环境: VE 常用的定义是经过特殊处理的交互视觉图像显示以及经过特殊处理的非视觉显示,例如听觉、触觉,以便使用户相信他们沉浸在人工合成空间中。“沉浸”(immersion)指用户产生了他(或她)融入计算机环境中的感觉,即用户感到其与计算机环境之间的分割屏幕好像不存在一样。

仿真方法

现在对虚拟环境进行仿真时,一般通过计算机图形、声学界面以及一些通用的和专用的交互装置来实现用户在这一环境中的沉浸感,像操作棒等属于通用的交互装置,而模拟车辆驾驶的方向盘和刹车板、模拟挖掘机或者模拟飞机的仪表盘等属于专用的交互装置。沉浸使人们获得身临其境(深度)的感觉,这对于产生三维效果至关重要。目前的虚拟现实系统使用如下一些技术来产生沉浸感:

(1) 头盔显示器(HMD)。一个由空间跟踪装置配合一对液晶显示器(LCD)或者微型阴极射线管(CRT)组成的装置。将它戴在用户的头上显示视觉图像信息,当用户的头部移动时能实时更新显示信息。这种装置比较大,移动性能受到限制。另外有一种装置,称为双目全方位显示器(BOOM),适用于个人沉浸式立体显示(如图 1.1 所示)。它固定在一个平衡的具备高精度运动跟踪功能的支撑结构上,因此感觉不到头盔的重量,而且其显示分辨率高

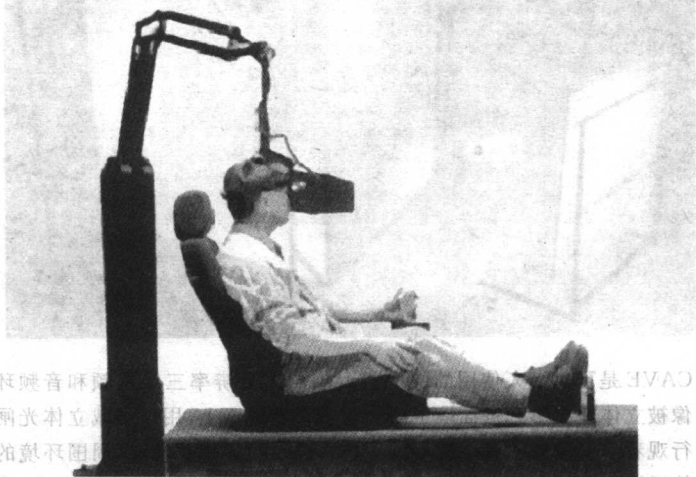


图 1.1 BOOM 个人沉浸式显示装置

(资料来源: Fakespace Inc. 提供)

于其他任何类似技术。高分辨率沉浸式 CRT 技术可以产生对于每只眼高达 1280×1024 像素的显示分辨率,适于全色图像的细节显示;清晰的图像、真实感的阴影以及难以置信的高速图像刷新性能可显著增加真实感;另外还可以选择多个镜组,使视野达到 140° 全景宽度,进而使你能针对具体应用优化显示方式及实现希望的沉浸度。

(2) 立体投影机。根据我们左右眼观察物体时的情况,两眼视点与物体构成一个小小的角度,由投影机分别从两个视点向屏幕投影,我们观察屏幕时,就可以像实际观察物体一样获得三维深度感觉。用户一般戴一副 LCD 液晶光闸眼镜以便区分左右眼图像,投影的分辨率可以达到 1280×1024 像素,如图 1.2~图 1.5 所示为立体投影机的例子。与头盔显示器不同的是,立体投影机可以使多个用户一起体验,但通常只有一个用户可以获得最佳观察效果。现在使用主动式 CRT 技术,已经可以达到 1600×1200 像素的投影分辨率,当然成本也会随之升高。使用被动式数字立体技术,投影分辨率甚至还可能达到 1600×1600 像素。目前伊利诺伊大学芝加哥分校的电子可视化实验室正在进行这一方面研究。最近, Fakespace 公司推出了 RAVE 系

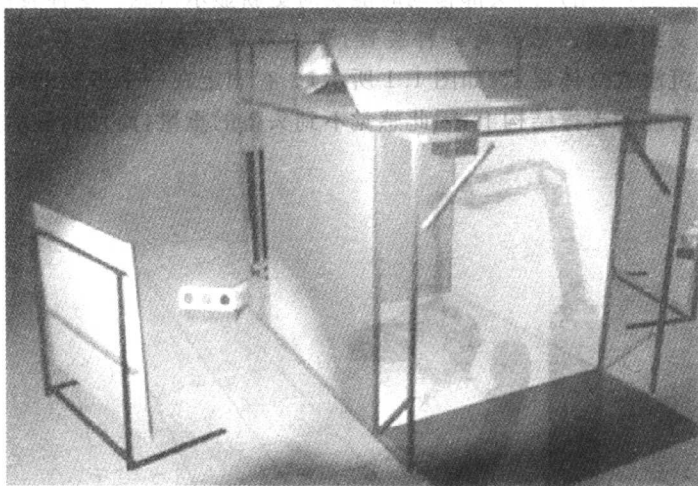


图 1.2 CAVE 是可供多人使用的像房间大小的高分辨率三维视频和音频环境。图像被立体地投影到三面墙上(左、右、前)和地面上,用户佩戴立体光闸眼镜进行观看。当佩戴位置传感器的用户在显示边界内移动时,周围环境的正确立体透视图像被不断地更新,因此图像会随着观看者的移动而移动,并始终包围着观察者,使用户达到身临其境的效果

(资料来源:伊利诺伊大学芝加哥分校电子可视化实验室提供)

统,这是一个可以进行完全重新设置的投影系统,根据空间大小和观众情况可以快速地将投影系统设置成平面投影墙、类似 CAVE 的沉浸式影院或者其他形式。

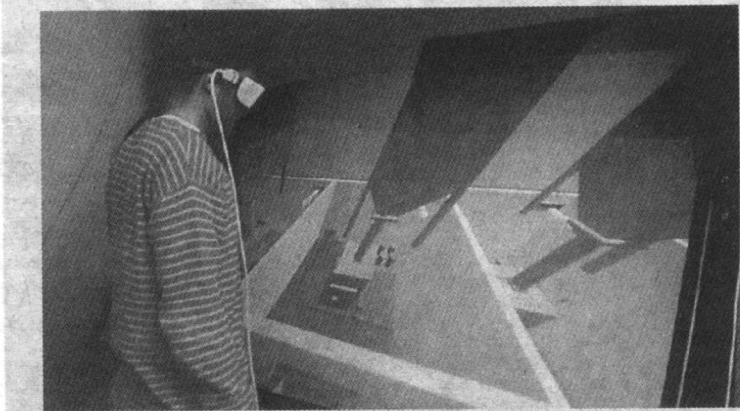


图 1.3 ImmersaDesk 是绘图桌式的 CAVE 系统。它折起时可以通过一扇标准大小的门,展开时只占据 $6\text{ft} \times 8\text{ft}$ 的面积。它只需要一台 SGI Onyx 或者 Octane 图形引擎和一台投影机,并且不需要对工作空间进行改建 ($1\text{ft} \approx 0.3048\text{m}$)。

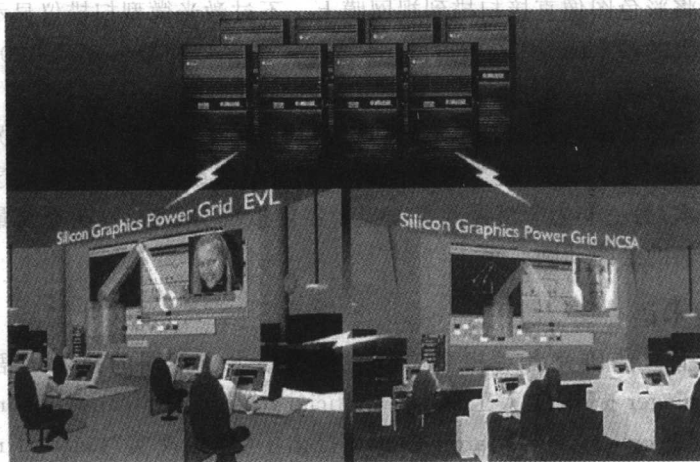


图 1.4 PowerWall 通过并行机制实现非常高的显示分辨率。它利用一系列背投画面拼接成一幅大型图像画面,依靠 Onyx 并行读取极其高速的磁盘系统可以高速播放事先渲染好的图像。

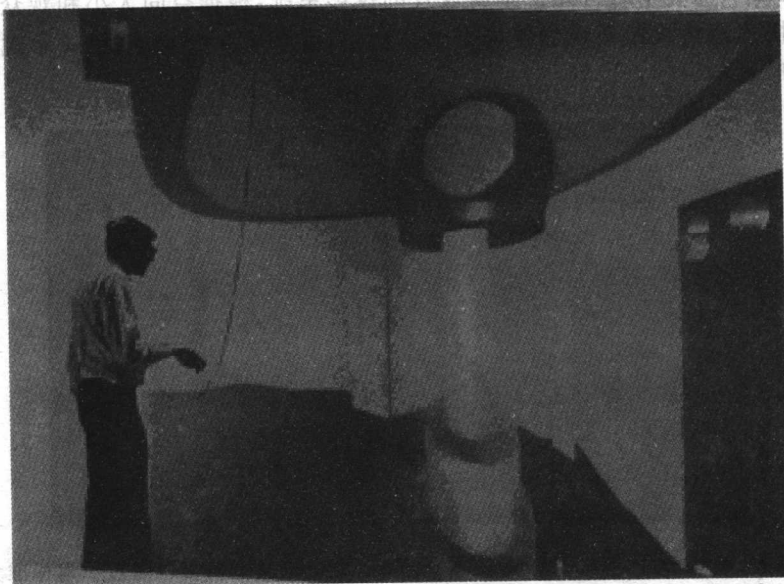


图 1.5 在 CAVE 内部看到的情况

(3) 视网膜显示器。这种显示器基于激光微型扫描仪技术,它使用微型固体激光将彩色图像直接扫描到视网膜上。不过激光微型扫描仪显示器仍然面临着重大的技术障碍。它的目标是通过一个轻型的装置提供 1000×1000 像素的高分辨率。

根据使用方法的不同,虚拟现实系统可分为两个截然不同的类别:一类是沉浸式虚拟现实系统,这类系统使用头盔显示器或者立体投影机这类沉浸式显示技术;另一类为非沉浸式桌面显示器虚拟现实系统,这类系统最初产生于计算机辅助绘图动画。

其他术语

历史上一些研究者对相互关联的事物给出了不同的技术术语,例如:Myron Krueger 提出了“人工现实”(artificial reality),William Gibson 提出了“电脑空间”(cyberspace),Jaron Lanier 提出了“虚拟现实”(virtual reality)。有很多术语在涵盖范围上与虚拟现实或虚拟环境是相似的,例如:人工环境、人工现实、虚拟世界、增强现实。举个例子,与虚拟现实将用户完全沉浸在仿真环境中不同,增强现实能将计算机生成的图像与真实世界的视景集成起来。增强现实技术的一个典型应用是将信息覆盖到真实物体上,例如不是通过沉



浸式系统来浏览机器内部某个组件的位置,而是将该组件模型叠加到真实机器上。虚拟现实、电脑空间、虚拟环境、遥控操作、遥控机器人、扩充现实和人工环境等术语都有一个共同的特征,那就是在所有这些系统中,基本的组件都是操作者、机器和将人与机器连接起来的人机界面。

与相关事物的比较

(1) 增强现实系统。在增强现实系统中,操作者与真实世界之间的交互(直接地或者通过遥控操作系统间接地)通过将真实世界的有关信息与计算机储存的信息(依据模型产生的信息或者从以前其他传感系统得到的信息等)叠加在一起而得到增强。

(2) 传统模拟器(如飞行模拟器)。虚拟环境系统不同于传统的模拟系统的地方在于,在操作者可及范围内,虚拟环境系统对于模拟对象的实物模样的依赖远少于传统的模拟器系统,而且虚拟环境系统的柔性和可重置性能更好。

(3) 传统模拟器与虚拟现实的融合。因为传统模拟器的出现早于虚拟现实系统,这两种技术已自然地开始融合。这里有一个有趣的事件可以说明这一趋势,最近在日本出现了一种摩托车模拟器技术。在这个项目中,日本的本田汽车公司和总部位于美国犹他州盐湖城的 Evans and Sutherland 电脑公司合作完成了这项新型模拟技术的开发,日本所有的摩托车新手在获得摩托车驾驶执照之前都必须使用这一技术。日本在 1988 年到 1995 年间,有大约 15000 位摩托车手死于交通事故,日本政府通过了一项法律规定所有的新摩托车驾驶员都必须在模拟器上接受培训。在实施这一计划的第一阶段,Evans and Sutherland 电脑公司发运了 300 套基于其 Liberty 图像生成技术的视觉系统,所设计的这套系统能够模拟运动、声音、视景以及交通控制。

1.3 代表性应用软件

虚拟现实技术在多个领域都有代表性的应用软件,在制造或相关方面的应用尤其受到重视。沉浸式显示技术可以用来建立产品或者工艺过程的虚拟原型,使用户置身在仅次于真实产品和工艺过程的虚拟环境中。从产品的角度,虚拟原型的例子包括挖掘机虚拟原型以代替昂贵的实物原型;从工艺过程的角度,应用例子包括很难量化的详细布局设计,比如充分的照明、由重物 and 走廊中人员走动等对操作者造成分神影响的因素等。

在虚拟制造中要考虑的问题包括:各系统之间 CAD 模型的可交换性,高