



中国计算机学会
学术著作丛书

灵境(虚拟现实)技术的 理论、实现及应用

汪成为 高文 王行仁



清华大学出版社
广西科学技术出版社

灵境(虚拟现实)技术的 理论、实现及应用

汪成为 高文 王行仁

清华大学出版社
广西科学技术出版社

(京)新登字 158 号

(桂)新登字 06 号

内 容 简 介

灵境(虚拟现实)技术是一门由应用驱动的涉及众多学科的新的实用技术,是集先进的计算机技术、传感与测量技术、仿真技术、微电子技术等为一体的综合集成技术。在计算机技术中,灵境(虚拟现实)技术的发展又特别依赖于人工智能、图形学、网络、面向对象、Client/Server、人机交互和高性能计算机等技术。全书分 17 章力图全面介绍灵境(虚拟现实)技术的发展历史、理论、系统构成原理与设计方法以及典型应用系统等内容。

本书适合从事灵境(虚拟现实)系统设计、研制、开发及应用的工程技术人员以及大专院校计算机科学学科各专业、信息和其它学科有关专业师生的阅读。本书可以作为相关专业研究生的教材和参考书,部分节选内容还可以作为大学生的选修课教材。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用/汪成为等著. —北京:清华大学出版社,1996

(中国计算机学会学术著作丛书)

ISBN 7-302-02144-9

I . 灵… II . 汪… III . 虚拟存取 - 概论 IV . TP333

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 04886 号

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

广西科学技术出版社(广西南宁市河堤路 14 号,邮编 530021)

责任编辑:帅志清

印 刷 者:清华大学印刷厂

发 行 者:新华书店总店科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:37.75 字数:937 千字

版 次:1996 年 9 月第 1 版 1996 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-02144-9/TP·1013

印 数:0001—2000

定 价:58.00 元

Abstract

VR is a new application-driven technology which is integrated in partly by the technologies of computer science, sensing and measurement, simulation, micro-electronics. Within the area of computer science, the development of VR is particularly depended on the technologies of artificial intelligence, computer graphics, networking, Object-Oriented, client/server, human computer interaction, and high performance computer. This book addresses to introduce VR' s history, theory, system design and implementation techniques, and application cases. The book consists of 17 chapters.

This book can be used as a reference book for VR researchers and development engineer, as well as used as a VR text book for graduated students and undergraduated students.

清华大学出版社 广西科学技术出版社
计算机学术著作出版基金

评 审 委 员 会

主任委员 张效祥

副主任委员 周远清 汪成为

委 员 王鼎兴 杨芙清 李三立 施伯乐 徐家福
夏培肃 董韫美 张兴强 徐培忠

出版说明

近年来,随着微电子和计算机技术渗透到各个技术领域,人类正在步入一个技术迅猛发展的新时期。这个新时期的主要标志是计算机和信息处理的广泛应用。计算机在改造传统产业,实现管理自动化,促进新兴产业的发展等方面都起着重要作用,它在现代化建设中的战略地位愈来愈明显。计算机科学与其它学科的交叉又产生了许多新学科,推动着科学技术向更广阔的领域发展,正在对人类社会产生深远的影响。

科学技术是第一生产力。计算机科学技术是我国高科技领域的一个重要方面。为了推动我国计算机科学及产业的发展,促进学术交流,使科研成果尽快转化为生产力,清华大学出版社与广西科学技术出版社联合设立了“计算机学术著作基金”,旨在支持和鼓励科技人员,撰写高水平的学术著作,以反映和推广我国在这一领域的最新成果。

计算机学术著作出版基金资助出版的著作范围包括:有重要理论价值或重要应用价值的学术专著;计算机学科前沿探索的论著;推动计算机技术及产业发展的专著;与计算机有关的交叉学科的论著;有较大应用价值的工具书;世界名著的优秀翻译作品。凡经作者本人申请,计算机学术著作出版基金评审委员会评审通过的著作,将由该基金资助出版,出版社将努力做好出版工作。

基金还支持两社列选的国家高科技重点图书和国家教委重点图书规划中计算机学科领域的学术著作的出版。为了做好选题工作,出版社特邀请“中国计算机学会”、“中国中文信息学会”帮助做好组织有关学术著作丛书的列选工作。

热诚希望得到广大计算机界同仁的支持和帮助。

清华大学出版社
广西科学技术出版社 计算机学术著作出版基金办公室

1992年4月

序 言

计算机是当代发展最为迅猛的科学技术,其应用几乎已深入到人类社会活动和生活的一切领域,大大提高了社会生产力,引起了经济结构、社会结构和生活方式的深刻变化和变革,是最为活跃的生产力之一。计算机本身在国际范围内已成为年产值达 2500 亿美元的巨大产业,国际竞争异常剧烈,预计到本世纪末将发展为世界第一大产业。计算机科技具有极大的综合性质,与众多科学技术相交叉而反过来又渗入更多的科学技术,促进它们的发展。计算机科技内容十分丰富,学科分支生长尤为迅速,日新月异,层出不穷。因此在我国计算机科技尚比较落后的情况下,加强计算机科技的传播实为当务之急。

中国计算机学会一直把出版图书刊物作为学术活动的重要内容之一。我国计算机专家学者通过科学实践,做出了大量成果,积累了丰富的经验与学识。他们有撰写著作的很大积极性,但相当时期以来计算机学术著作由于印数不多,出版往往遇到不少困难,专业性越强越有深度的著作,出版难度越大。最近清华大学出版社与广西科学技术出版社为促进我国计算机科学技术及产业的发展,推动计算机科技著作的出版工作,特设立“计算机学术著作出版基金”,以支持我国计算机科技工作者撰写高水平的学术著作,并将资助出版的著作列为中国计算机学会的学术著作丛书。我们十分重视这件事,并已把它列为学会本届理事会的工作要点之一。我们希望这一系列丛书能对传播学术成果、交流学术思想、促进科技转化为生产力起到良好作用,能对我国计算机科技发展具有有益的导向意义,也希望我国广大学会会员和计算机科技工作者,包括海外工作和学习的神州学人们能积极投稿,出好这一系列丛书。

中国计算机学会

1992年4月20日

序

信息技术是现代文明的技术基础，是开展科学研究和技术开发的重要支撑手段，是高新技术中的关键技术。信息技术的发展，正在~~一些~~（一些国家）国民经济增长方式从粗放型向集约型转变中起着重要作用，直接影响着社会生产力和综合国力的变化。因此，人们已经认识到，信息技术是一项战略性技术。

自从地球上有了生物的那时起，就开始有信息的产生和存在。人类伊始也离不开信息活动，人类社会的发展更是人类的信息能力不断提高的跃进的过程。但信息真正成为一门科学和技术，还只是本世纪40年代的事。近50年来，由于半导体、计算机和通信技术的飞速发展，以微电子技术为基础的、数字化的信息技术已渗透到科学、技术、生产、文化、艺术和生活的各个领域。

但是，数字化信息只是信息的一种表示方式。由于人们更习惯于用自己的各种感官接受多种表示形式的信息，科学家们多年来一直致力于突破人机之间信息交互^{作用}的单纯数字化方式，期望能在一种图文并茂、绘声绘色，以致身临其境、栩栩如生的、人和潜的信息环境中工作、学习和创造，增强人和信息的密切联系。在这一强烈需求的牵引下，近20~30年来，多媒体（数值、文字、声音、图形、图像等信息载体）和磁盘、磁带、光盘等信息存储件和灵境（虚拟现实）技术就兴起了，并取得了令世人瞩目的成就，被认为是21世纪可能使社会发生巨大变化的几大技术之一。

今后15年，在我国社会主义现代化建设的征

程上,是承前启后、继往开来的重要时期。邓小平同志早在1978年全国科学大会上^就提出了科学技术是生产力、四个现代化,关键是科学技术的现代化等著名论断。后来他又进一步指出:科学技术是第一生产力。江泽民同志在1991年中国科协第4次全国代表大会上提出了要把经济建设真正转移到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来;在今年全国科学技术大会上他^{全面}阐述了^{实施}科教兴国战略的重要意义,还指出“特别要重视用先进技术武装基础产业和支柱产业,加速实现经济和社会管理的信息化、自动化和智能化。”多媒体技术、智能技术是综合应用性的信息技术,各行各业的“需求”是促进“综合集成”的巨大牵引力。因此,如何向我国信息技术领域的科技工作者、尤其

是向各行各业的广大劳动者介绍这样的这、新技术，
就是一项十分重要的工作了。

中国工程院院士汪成为近年来积极从事“面向对象技术”、“智能化决策支持系统”等的研究，最近他与冯友、王行仁、祁颂平教授合作，以灵感技术为主题写了两本书。一本是《灵感(虚拟现实)技术的理论、实现及应用》，是面向信息领域科技人员的专著；另一本是《灵感漫谈——虚拟现实技术漫谈》，是面向广大读者的这级科普读物。为介绍和推广一门新兴的技术，以两个层次、两个面向、两种风格同时出两本书，这实在是一件值得支持和鼓励的好事。我尤其要感谢我们的技术作者亲自动手撰写科普读物，这是有关专家和教

国战略、提高全民科技意识的任务。

让我们共同努力，在我国经济建设和科技、文化、教育的各个领域，建立起人、机和谐的信息环境，使人与信息发生越来越密切的联系。我相信，当广大人民群众掌握和运用信息时，就必然会大大加速我国物质文明和精神文明的建设。

朱台五

一九九五年十一月二十三日

目 录

1 概论	1
1.1 信息技术的发展及面临的挑战.....	1
1.2 灵境系统的特征及基本构成.....	5
1.2.1 灵境系统的特征.....	5
1.2.2 灵境系统的构成.....	6
1.2.3 构建灵境系统所需的部分软、硬件设备.....	7
2 适人化的多维信息空间	17
2.1 适人化的多维信息空间的基本概念及构成.....	17
2.2 简单的历史回顾.....	20
2.2.1 灵境技术的发展过程.....	20
2.2.2 灵境系统的几个应用实例.....	25
2.2.3 VR 在欧洲的研究开发.....	26
2.3 多维化信息空间的发展前景.....	34
3 人的环境感知与虚拟环境	35
3.1 视觉感知生理.....	35
3.1.1 眼睛.....	36
3.1.2 视觉神经系统.....	38
3.1.3 可视区域.....	38
3.1.4 视敏度和视觉感受性.....	41
3.1.5 立体与深度感知.....	42
3.1.6 色彩感知.....	45
3.1.7 分辨率.....	45
3.2 听觉感知.....	46
3.2.1 耳朵.....	46
3.2.2 声音知觉机理.....	47
3.2.3 听觉的预处理.....	48
3.2.4 听觉定位.....	48
3.2.5 声音的解释.....	49
3.3 人类感知的极限.....	50
3.4 人的感知和认知信息处理模型.....	53
3.4.1 短期记忆.....	54
3.4.2 长期记忆.....	55
3.4.3 记忆机制.....	56
3.4.4 记忆组织.....	57

3.5	虚拟环境对人类感知的影响.....	58
3.6	小结.....	60
4	人机交互系统的设计准备.....	61
4.1	基本设计准则.....	61
4.2	虚拟环境系统分类.....	62
4.3	虚拟环境中人机接口系统的构成.....	62
4.4	硬件系统.....	63
4.5	软件系统.....	67
4.6	用户界面系统.....	70
4.6.1	用户界面系统的研究问题.....	70
4.6.2	一般用户界面的设计原则.....	72
4.6.3	虚拟环境界面设计准则.....	72
4.7	系统集成.....	73
4.7.1	多信息流同步与集成.....	73
4.8	小结.....	79
5	视景的内部表示.....	80
5.1	生成视景的内部条件.....	80
5.1.1	视景生成过程.....	80
5.1.2	对象的几何建模.....	81
5.2	视景的基本内部表示.....	85
5.2.1	图形学表示.....	85
5.2.2	图象表示.....	89
5.2.3	运动图象的表示.....	93
5.3	视景的高层内部表达.....	95
5.3.1	三维物体的几何模型.....	96
5.3.2	物体的结构表示.....	97
5.3.3	物体的多视特征表示.....	105
5.4	小结.....	112
6	视景的生成.....	114
6.1	生成真实感图形的基本理论与算法.....	114
6.1.1	真实感三维表面的构造生成方法.....	115
6.1.2	曲面表示.....	116
6.1.3	光照模型与算法.....	121
6.1.4	自然景象的模拟.....	136
6.2	动画生成[金 95].....	137
6.2.1	关键帧动画.....	137

6.2.2	变形物体的动画.....	139
6.2.3	人体动画.....	143
6.3	复杂背景图象存储与处理.....	146
6.3.1	数据压缩算法.....	146
6.3.2	图象变形与生成.....	159
6.4	复杂图象实时生成与显示:CIG对通用图形工作站.....	160
6.5	小结.....	161
7	支持视景生成的程序设计语言.....	163
7.1	OpenGL的目的与特点.....	163
7.1.1	OpenGL的目的.....	163
7.1.2	OpenGL的特点.....	163
7.2	二维与三维图形的生成.....	164
7.2.1	OpenGL基本原理.....	164
7.2.2	OpenGL基本操作.....	165
7.2.3	OpenGL图形的描绘.....	169
7.2.4	网栅化.....	174
7.2.5	OpenGL中几种特殊的函数.....	176
7.2.6	有关OpenGL图形库的补充.....	176
7.3	利用OpenGL的三维计算机动画生成.....	179
7.3.1	OpenGL动画工作原理.....	179
7.3.2	生成动画.....	180
7.3.3	动画性能最佳化.....	187
7.4	图形开发环境.....	187
7.5	小结.....	188
8	虚拟环境中常用的视听设备原理与系统.....	189
8.1	头盔式显示器.....	189
8.1.1	显示技术.....	189
8.1.2	CRT显示设备.....	189
8.1.3	直视式显示设备.....	192
8.1.4	液晶开关显示设备.....	198
8.1.5	投影式设备.....	200
8.1.6	微机械硅(micromechanical silicon)显示设备.....	202
8.1.7	头盔式显示器HMD光学系统.....	204
8.1.8	头盔式显示器系统.....	211
8.1.9	基于CRT的头盔式显示器.....	215
8.1.10	带有光导纤维的头盔式显示器.....	216
8.1.11	其他头盔式显示设备.....	220

8.2	听觉环境系统.....	224
8.2.1	3D 声音定位系统.....	224
8.2.2	Convolvotron.....	224
8.3	小结.....	227
9	虚拟环境中操作者的检测与操作数据获取.....	229
9.1	电磁跟踪系统.....	229
9.1.1	交流电磁跟踪系统.....	229
9.1.2	直流电磁跟踪系统.....	234
9.2	声音定位与跟踪系统.....	238
9.2.1	声波飞行时间位置跟踪器.....	239
9.2.2	Lincoln Wand.....	239
9.2.3	Piltown 三维罗盘.....	239
9.2.4	Mattel Power 手套.....	241
9.2.5	Space Pen.....	241
9.2.6	相位相干位置跟踪器.....	241
9.2.7	Seitz-Pezaris 的 HMD 位置跟踪器.....	241
9.2.8	声音位置跟踪器的评价.....	242
9.3	视觉跟踪系统.....	242
9.3.1	固定传感器.....	242
9.3.2	SELSPOT.....	243
9.3.3	遥现光学追踪系统.....	243
9.3.4	GEC-Marconi 视觉跟踪系统.....	245
9.3.5	Honeywell 旋转射线.....	248
9.3.6	图象处理光学系统.....	248
9.3.7	HoneywellLED 阵列.....	249
9.3.8	对光学位置跟踪器的评价.....	249
9.3.9	其他空间跟踪系统.....	249
9.4	视点感应系统.....	250
9.5	数据手套.....	251
9.5.1	VPL 数据手套.....	251
9.5.2	VPL 数据手套的工作原理.....	251
9.5.3	EXOS 的精巧手控设备.....	253
9.5.4	计算精巧手控设备输出角度.....	254
9.5.5	PowerGlove.....	255
9.5.6	CyberGlove.....	255
9.6	数据衣.....	256
9.7	小结.....	257

10 触觉与力学反馈装置	259
10.1 力学反馈手套.....	259
10.1.1 ARRC 遥控力学反馈手套.....	260
10.1.2 力反馈手套 RM II	261
10.2 压力反馈系统.....	266
10.2.1 压力反馈操纵杆.....	266
10.2.2 笔式力量感知装置.....	267
10.3 表面压力反馈装置.....	272
10.3.1 点阵式表面压力反馈装置.....	272
10.3.2 触觉接口 SPICE.....	278
10.4 小结.....	284
11 人脸图象的认知	285
11.1 面部图象的合成.....	285
11.1.1 分析与合成.....	285
11.1.2 一般二维模型的建立.....	286
11.1.3 从普通模型到特定模型的映射与参数修正.....	287
11.1.4 基于特定图象合成时图象特征点的提取.....	288
11.2 面部动作(表情)的合成.....	289
11.2.1 唇动合成.....	290
11.3 面部图象的检测、跟踪与识别.....	291
11.3.1 面部图象检测.....	292
11.3.2 人脸跟踪.....	297
11.4 面部表情及唇动的识别.....	298
11.4.1 面部表情的识别.....	298
11.4.2 面部表情的分析与分类.....	299
11.4.3 面部表情的功能模型.....	299
11.4.4 面部表情的特点与特征.....	300
11.4.5 特征提取.....	301
11.4.6 面部表情的分析与识别.....	307
11.4.7 表情识别实验结果.....	309
11.4.8 口型识别.....	310
11.5 小结.....	311
12 手势的合成与识别	312
12.1 手势合成.....	312
12.1.1 CAD 手势模型.....	312
12.2 手势的检测与识别.....	314