

电工高新技术丛书

中国电工技术学会
编

- 虚拟现实技术与虚拟仪表
- 智能控制技术
- 微机电系统

第4分册



机械工业出版社
China Machine Press

电工高新技术丛书

第4分册

- 虚拟现实技术与虚拟仪表
- 智能控制技术
- 微机电系统

中国电工技术学会 编



机械工业出版社

电工高新技术丛书共六个分册，本书为第4分册。本分册共分三个专题，其技术内容包括虚拟现实技术与虚拟仪表、智能集成技术、微机电技术三个部分。

随着高新技术对传统电工技术的渗透，电工技术的更新和创造日新月异，读者可从这套丛书中开拓视野、增长才智、启迪借鉴，并从中汲取营养，以促进事业的发展 and 再创造。

本丛书的内容新颖、文字深入浅出，适于中级以上的工程技术人员、国家公务员、企事业单位技术管理人员及工学院的师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工高新技术丛书/中国电工技术学会编. —北京: 机械工业出版社, 2000.3

ISBN 7-111-07898-5

I. 电… II. 中… III. 电工技术: 高技术—丛书
IV. TM-51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 03631 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 周 娟 版式设计: 冉晓华 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚 毅 责任印制: 何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 1 月第 1 版·第 2 次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·8.625 印张·183 千字

2 001—3 500 册

定价: 16.00 元 (全套 6 册, 共 108.00 元)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

《电工高新技术丛书》编辑委员会名单

主 任：赵明生

常务副主任：张林昌

副 主 任：赖 坚 严陆光 姚福生 石定寰

周鹤良 冯冠平 陈瑞藻

委 员：汪 耕 梁维燕 万遇良 吴维韩

王赞基 林良真 陈伯时 吴济钧

罗命钧 李方训 胡必权

主 编：张林昌

副 主 编：万遇良 吴维韩 李方训 满慧文

编辑部主任：王玉洁

编辑部副主任：王琳

前 言

人类历史的发展证明，科学精神、科学思想和科学方法在物质文明和精神文明建设中发挥着先导和支柱的作用。中国电工技术学会受科学技术部高新技术发展及产业化司委托，组织编写《电工高新技术丛书》，以下简称《丛书》。我会一贯具有面向人民群众宣传普及科学知识的光荣传统，最近几年来，我们以《中共中央、国务院关于加强科学普及工作的若干意见》为指导思想，经过各方面专家、教授的努力，着手编辑出版《电工高新技术丛书》（以下简称《丛书》），面向各级领导干部、技术人员普及科学知识，弘扬科学精神，提倡科学态度，传播科学思想。

本套《丛书》分为六册，内容包括新能源发电技术、超导技术、智能控制技术、电气设备状态监测技术、电力电子技术、电动车技术等，每个分册约 25 万字，由若干个相近专题组成，内容新颖，通俗易懂，文字精炼，引人入胜。《丛书》的定位为高科技科普读物，包括新理论、新产品、新方法、新技术、新工艺、新材料，主要涉及国际上技术已经成熟，且国内尚未完全掌握或属于世界电工技术的前沿课题，这样，保证了《丛书》普及高新技术的特点。

《丛书》的出版，对宣传电工技术最新发展动态，对加强技术创新，发展高科技，推动生产力跨越式发展，具有十分重要的现实意义和深远影响。《丛书》的出版，为国家公务员、科技人员提供一个了解当今世界先进电工技术的窗

口，使读者开拓视野、增长才智，起到启迪借鉴、触类旁通的作用。

《丛书》的出版在列选题、写作及编辑过程中得到了清华大学、北京邮电大学、北方交通大学、中国科学院电工研究所、天津电源研究所和文章作者的支持，在《丛书》出版之际，谨向支持的部门、单位和作者致以深切的谢意。

由于时间所限，还有其他一些电工高新技术没有编入本丛书，编写中也难免会出现某些差错，欢迎读者给予批评指正。

中国电工技术学会

2000年3月

目 录

前言

I 虚拟现实技术与虚拟仪器

第 1 章 虚拟现实技术概论	3
1.1 什么是虚拟现实技术	3
1.2 虚拟现实系统的组成	8
1.3 面向对象的方法	16
1.4 虚拟现实的哲学意义	21
1.5 并行计算技术	24
1.6 虚拟现实在工程技术中的应用	26
1.6.1 可视化计算	26
1.6.2 虚拟制造技术	28
1.6.3 数据挖掘——从数据矿山中采掘黄金	30
1.6.4 教育和培训	31
1.7 步入虚拟现实技术	33
第 2 章 虚拟仪器	35
2.1 概述	35
2.2 测量的作用与仪器仪表发展概况	37
2.3 虚拟仪器概述	40
2.3.1 什么是虚拟仪器	41
2.3.2 虚拟仪器的性能特点	43

2.4 虚拟仪器的组成与结构	45
2.4.1 虚拟仪器的组成	45
2.4.2 虚拟仪器的体系结构	46
2.5 虚拟仪器的信号调理与数据采集	47
2.5.1 信号调理	48
2.5.2 模/数 (A/D) 转换	49
2.5.3 数/模 (D/A) 转换	54
2.6 虚拟仪器的数据处理	56
2.7 虚拟仪器操作面板 (虚拟面板)	60
2.8 软件是虚拟仪器的关键	62
2.8.1 软件就是仪器	62
2.8.2 虚拟仪器的软件结构	63
2.8.3 虚拟仪器的仪器驱动器	64
2.9 可视化编程和虚拟仪器的软件开发平台	66
2.9.1 可视化 (Visualization) 编程	66
2.9.2 虚拟仪器的软件开发平台	67
2.10 虚拟仪器的一个实例——虚拟波形发生器	73
2.11 结束语	76
参考文献	76

II 智能控制技术

第1章 概论	81
1.1 常规控制与智能控制	81
1.2 智能控制系统的结构与功能	82
1.3 智能控制研究的数学工具	85
1.4 智能控制理论与技术的主要内容	86
1.5 智能控制在电力系统中的应用	90

第 2 章 模糊逻辑控制	94
2.1 概述	94
2.1.1 模糊控制与智能控制	94
2.1.2 模糊集合与模糊数学	95
2.1.3 模糊控制的发展和应用	96
2.2 模糊集合及其运算	97
2.2.1 模糊集合的定义及表示方法	97
2.2.2 模糊集合的基本运算和基本性质	99
2.2.3 模糊集合运算的基本性质	101
2.3 模糊关系	102
2.3.1 模糊关系的定义及表示	102
2.3.2 模糊关系的合成运算	103
2.4 模糊逻辑与近似推理	104
2.4.1 语言变量	104
2.4.2 模糊蕴含关系和近似推理	106
2.4.3 句子连接关系的逻辑运算	107
2.5 基于控制规则库的模糊推理	108
2.5.1 模糊推理的基本方法	108
2.5.2 模糊推理的性质	110
2.5.3 模糊推理类型	112
2.6 模糊控制的基本原理	113
2.6.1 模糊控制器的基本结构和组成	113
2.6.2 模糊化运算	116
2.6.3 数据库	117
2.6.4 规则库	121
2.6.5 清晰化计算	123
2.6.6 论域为离散时模糊控制的离线计算	124
2.6.7 模糊 PID 控制	125

第3章 神经网络控制	127
3.1 概述	127
3.1.1 神经元模型	127
3.1.2 神经网络	128
3.2 两种典型前馈神经网络	129
3.2.1 多层前馈神经网络	129
3.2.2 模糊神经网络	133
3.3 基于神经网络的系统建模、辨识与控制	142
3.3.1 概述	142
3.3.2 利用多层前馈网络的系统辨识	144
3.3.3 神经网络控制结构	148
第4章 专家控制	159
4.1 专家控制的技术背景	159
4.1.1 专家控制的功能目标	159
4.1.2 传统控制技术的局限	161
4.1.3 专家系统技术概述	164
4.1.4 专家控制的研究状况	168
4.2 专家控制的设计和实现	170
4.2.1 知识表示	170
4.2.2 黑板模型	173
4.2.3 系统结构	177
4.2.4 控制过程的运行	180
4.2.5 实时推理问题	183
4.3 专家控制技术与电力系统	186
第5章 遗传算法	189
5.1 概述	189

5.2 遗传算法的操作步骤	191
5.2.1 复制	193
5.2.2 交叉	195
5.2.3 变异	196
5.3 遗传算法的实现及改进	197
5.3.1 遗传算法的实现	197
5.3.2 遗传算法的改进	201
参考文献	203

III 微机电系统

第1章 概论	207
1.1 微机电系统概述	207
1.1.1 一些基本概念	207
1.1.2 现状和展望	209
1.2 微细加工技术	219
1.2.1 制作 MEMS 的材料	219
1.2.2 微细加工技术概要	221
第2章 微机电系统的实现	226
2.1 微机电系统的开发	226
2.1.1 开发环境	226
2.1.2 设计工具和分析手段	227
2.2 微机电系统的制造	228
第3章 微机电系统的应用及发展前景	245
3.1 汽车安全气囊装置——微型加速度计的应用	245
3.1.1 简述	245
3.1.2 微加速度计的基本性能和构成	245

3.1.3	微加速度计的工作原理	246
3.1.4	微加速度计的其他应用	247
3.2	数字投影显示系统——数字微镜装置的应用	247
3.2.1	概述	247
3.2.2	数字微镜装置的构成	248
3.2.3	数字微镜装置和投影显示的工作原理	249
3.2.4	数字微镜装置的其他应用	250
3.3	单片流量计在家用电器中的应用	250
3.3.1	概述	250
3.3.2	单片流量计的构成与工作原理	251
3.4	硅微型压力传感器的应用	252
3.4.1	简述	252
3.4.2	硅微型压力传感器的工作原理和典型结构	253
3.5	用作微位置控制的微执行器	254
3.6	用于磁信号输出的 MEMS	255
3.7	用于化学和生化系统分析的 MEMS	255
3.8	一些诱人的应用前景	255
3.8.1	硅固态微型卫星	255
3.8.2	改进飞机性能的 MEMS	257
3.8.3	大容量信息存储系统	257
3.9	微机电系统的发展前景	258
	参考文献	259

I 虚拟现实技术与虚拟仪器

清华大学 侯国屏 黄明俊

第 1 章 虚拟现实技术概论

1.1 什么是虚拟现实技术

虚拟现实技术是当前关于计算机的一个非常热门的话题。即使从未接触过计算机的人也可能从电视、电影及展览会上看到，利用计算机可以创造出一个虚幻的世界。这个世界可以是现实世界惟妙惟肖的再现，也可以是人们想象中的远古世界、未来世界。你不但可以看到这个世界，还可以融入这个世界，与之产生交流。但这仅仅是我们对虚拟现实技术的一个粗线条的印象。下面我们将试图浅显地介绍这个技术，并对它在工程中，特别是电工技术中的应用进行讨论，最后介绍一个具体的、已趋成熟的应用领域——虚拟仪器。

虚拟现实的英文是 Virtual Reality (缩写 VR)。其中 Reality 是“真实”、“实在”的意思，Virtual 这个词在物理上有“虚的”和“有效的”两个词义。因此，VR 可以理解作为一种“虚的”但同时是“有效的”东西，将其译为“虚拟现实”。这里对“Virtual”一词的译法与计算机科学中许多地方是相仿的，例如“虚拟内存”(Virtual Memory)、“虚拟终端”(Virtual Terminal)、“虚拟机”(Virtual Machine)。请注意，在电工技术中，对“Virtual”一词的译法有所不同，如“有效阻抗”(Virtual Resistance)。

为了理解 VR，我们应当从人与计算机的关系，或者说人机界面谈起。大家知道，在计算机内一切都是用数字表示

的，我们可以用下面的两个图来表示人与计算机的关系。图 1.1-1 表示在 VR 之前，人是与计算机内的数据直接打交道的。尽管这些数据来自客观现实，但均已经过了抽象，以

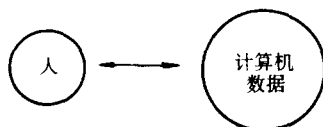


图 1.1-1 VR 之前的人机关系

便于计算机处理。另一方面，为了使计算机输出的数据便于人理解，也做了一些处理，例如绘制出曲线等。也就是说，在人机两方面都做出了一些妥协。从而也就造成了计算机与大量用户之间的很大的隔阂，或者说一种不和谐、不友好的人机环境。尽管这件事很早就引起了人们的注意，并且做了一些研究，但是基于计算机的发展水平，VR 技术大体在 90 年代才产生了实际应用效果。

我们可以用图 1.1-2 来说明 VR 中的人机关系。图 1.1-2a 是一种较简单的 VR，在这个环境中，计算机数据被一层反映这些数据现实背景的虚拟的界面（主要是图像）所包围，人不直接与计算机数据打交道，人机之间的一切交互都是通过 VR 层来实现的。这种 VR 有时被称为“台式”的 VR，其虚拟的界面基本上还是局限于显示器屏幕范围内的。这种 VR 简单，成本低，在工程技术中非常有用，其发展前景不可低估。本书谈及的虚拟仪器就属于这一种。

图 1.1-2b 表示的情况要复杂得多，在这里“人”和“计算机数据”都被一种没有边界的虚拟环境（好像过去人们所说的“以太”一样）所浸没。这种 VR 可称为“沉浸式”的 VR，它使人可以从虚拟空间的内部向周围观察，而不是像图 1.1-2a 那样，人只能作为一个旁观者由外部观察一个虚拟现实环境，它追求的目标简单说来就是使人有“身临

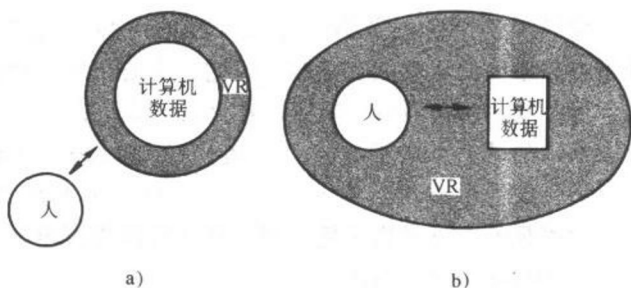


图 1.1-2 VR 中的人机关系

其境”的感觉。由于这种 VR 一般需要较多的投资，因此它开始时，首先是在航空、航天及军事领域中得到应用。典型的应用实例是训练飞行员的飞行模拟器，现在部分成熟的技术也已经转向民用，出现在娱乐业和游戏机中。

目前对 VR 还没有一个公认的定义，一种比较详细的描述如下：VR 是利用计算机生成一种模拟环境（如飞机驾驶舱、操作现场等），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。这里所谓模拟环境是用计算机生成的具有表面色彩的立体图形，它可以是某一特定现实世界的真实体现，也可以是纯粹构想的世界。传感设备包括立体头盔（Head Mounted Display）、数据手套（Data Glove）、数据衣（Data Suit）等穿戴于用户身上的装置和设置于现实环境中的传感装置（不直接戴在身上）。自然交互是指用日常使用的方式对环境内的物体进行操作（如用手拿东西、行走等）并得到实时立体反馈。

这里主要是指“沉浸”式 VR，可以看出其中包含了各种新颖的传感器。

一种比较概括的定义称：“VR 是使人可以通过计算机