

上海大学出版社

虚拟仿真

原理与应用

蔡红霞 胡小梅 俞涛 编著

虚拟仿真原理与应用

蔡红霞 胡小梅 俞 涛 编著

上海大学出版社

· 上海 ·

内 容 简 介

虚拟仿真是仿真技术发展的一个崭新阶段,在教育、医疗、机械、航空等领域得到了越来越广泛的应用。本书比较系统全面地介绍了虚拟仿真技术,主要包括可视化仿真、动画仿真、视景仿真、虚拟现实以及并行与分布式虚拟仿真的原理和关键技术;并介绍了虚拟仿真在制造业领域的应用实例,包括虚拟仿真应用平台、复杂产品并行装配仿真、虚拟机床装配仿真、MOCVD 热流场仿真、GaInP 薄膜生长仿真。

本书可以作为高等院校和科研院所从事有关专业的本科生和研究生的教材,也可供有关研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟仿真原理与应用/蔡红霞,胡小梅,俞涛编著.

—上海:上海大学出版社,2010.3

ISBN 978-7-81118-566-9

I. ①虚… II. ①蔡…②胡…③俞… III. ①虚拟技术-计算机仿真 IV. ①TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 239157 号

虚拟仿真原理与应用

蔡红霞 胡小梅 俞 涛 编著

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人:姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海叶大印务发展有限公司印刷 各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 423 000

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

印数:1~1 100

ISBN 978-7-81118-566-9/TP·047 定价:30.00 元

前 言

半个多世纪以来,随着计算机技术的发展,系统仿真技术得到了蓬勃的发展,成为与实际物理实验、科学理论分析并列的人类认识客观规律的三种方法之一。但是,单纯的系统仿真擅长于实现系统的仿真过程和辅助决策,对仿真过程和结果的直观性和逼真性表示方面却存在着不足。另外,随着以信息化为主要特征的 21 世纪的到来,人们对仿真的期望也从模拟简单系统升级为描述和解决复杂系统问题。这就要求在完善仿真技术理论方法体系的同时,不断吸收融合其他相关技术。

计算机图形学和虚拟现实技术的发展,使得虚拟仿真技术成为科学研究的一种重要手段。虚拟仿真通过构建一个统一的、无缝集成不同种类虚拟系统的虚拟环境,实现“人在虚拟环境中操控虚拟系统”的仿真。虚拟仿真技术的基础是系统仿真。狭义的虚拟仿真主要是指虚拟现实技术实现的系统仿真,而广义的虚拟仿真包括可视化仿真、动画仿真、视景仿真、虚拟现实仿真等仿真方法。虚拟仿真网络化、虚拟化和集成化的特征使得该技术能够大大提高仿真的逼真性,充分满足现代仿真技术的发展要求,因此在设备研制、教育培训、军事演习、决策论证等领域得到了广泛的应用。

我国的仿真技术与欧美发达国家相比起步较晚,但鉴于该技术巨大的发展潜力和广阔的应用前景,经过几个“五年计划”的努力,已有长足发展,取得了一大批研究成果。目前国内出版的系统论述仿真技术的原理、技术与应用的著作很多,但由于虚拟仿真属于交叉领域,涉及的学科众多,结合实例全面介绍虚拟仿真技术方面的著作还很少。本书全面系统地介绍了虚拟仿真原理和应用技术,采用了理论、方法与实例相结合的形式进行了编写,对于相关领域的科研工作者具有很强的参考性和指导性。

本书的整体结构分为两个部分:虚拟仿真系统原理和虚拟仿真应用技术。第一部分比较系统全面地介绍了可视化仿真、动画仿真、视景仿真、虚拟现实以及并行与分布式虚拟仿真的原理和关键技术。第二部分介绍了自主研发的通用的虚拟仿真应用平台;详述了在该平台上使用的先进的并行装配仿真技术;以真实的数控机床为对象,开发了虚拟机床装配仿真系统;以 MOCVD 技术在 GaAs 衬底上生长 GaInP 薄膜材料为对象,用虚拟仿真方法研究 GaInP 外

延材料的生长工艺。

本文的内容编写侧重于虚拟仿真原理在制造业领域的实际应用。本书第二、三、四、七、九、十章由蔡红霞编写,第一、五、六、八、十一章由胡小梅编写,俞涛教授审阅了全书。

感谢胡贵华、王栋博士和周立波硕士等为本书的编写提供了自己研究成果的第一手资料。另外,刘继超、程慧慧、周苗、王传佳硕士参与了书稿的整理工作,在此表示衷心感谢。

在编写本书的过程中,得到了上海大学方明伦教授和上海市机械自动化及机器人重点实验室的诸多同事的关心,也得到了各方面的大力支持和帮助,在此深表感谢。

由于目前虚拟仿真的发展极为迅速,且很多相关的技术和标准尚未完善,有关虚拟仿真原理的资料较少,加之作者的水平有限,时间仓促,书中有错漏和不尽妥当之处在所难免,恳请读者批评指正,以便使本书日臻完善。

编 者

2009年10月25日

目 录

第一篇 虚拟仿真系统原理

第一章 仿真概述	3
1.1 系统、模型与仿真.....	3
1.1.1 系统	3
1.1.2 模型	4
1.1.3 仿真	5
1.2 系统仿真的发展历史与应用	6
1.3 系统仿真的分类	8
1.4 仿真过程与建模方法	9
1.4.1 仿真过程.....	10
1.4.2 建模方法.....	10
第二章 可视化仿真	15
2.1 可视化技术.....	15
2.2 仿真可视化.....	16
2.3 可视化参考模型.....	17
2.3.1 基于可视分析的研究模型.....	17
2.3.2 可视化过程模型.....	18
2.3.3 基于可视可听的扩展模型.....	20
2.4 可视化仿真支撑环境.....	20
2.4.1 硬件基础.....	20
2.4.2 软件平台.....	22
2.5 可视化仿真关键技术.....	22
2.5.1 可视化工具研究.....	23
2.5.2 可视化过程研究.....	24
2.5.3 可视化应用研究.....	25
第三章 动画仿真	28
3.1 动画技术.....	28
3.2 动画仿真.....	29
3.3 动画生成技术.....	30
3.3.1 关键帧动画.....	30
3.3.2 变形物体动画.....	31

3.3.3 过程动画	32
3.3.4 关节动画与人体动画	33
3.3.5 基于物理特征的动画	34
3.4 基于 Maya 的建模及动画技术	35
3.4.1 Maya 的建模部分	36
3.4.2 Maya 的动画技术	45
3.4.3 Maya 的渲染技术	47
第四章 视景仿真	49
4.1 视景生成原理	49
4.1.1 三维图形	49
4.1.2 图形变换技术	50
4.1.3 视景三维建模技术	51
4.2 真实感图形显示技术	55
4.2.1 可见性判定和消隐技术	55
4.2.2 颜色模型	56
4.2.3 光照模型	56
4.2.4 纹理映射技术	59
4.3 实时视景绘制技术	60
4.3.1 层次细节显示	60
4.3.2 实时消隐	61
4.3.3 实例技术	62
4.3.4 基于图像的绘制	63
4.3.5 单元分割	64
4.4 三维图形应用程序接口	64
4.4.1 OpenGL	64
4.4.2 Open Inventor	71
4.4.3 DirectX	77
4.4.4 VRML	81
第五章 虚拟现实	86
5.1 虚拟现实概述	86
5.1.1 虚拟现实的概念	86
5.1.2 虚拟现实的特点	87
5.1.3 虚拟现实系统的分类	88
5.1.4 虚拟现实的研究内容	90
5.1.5 虚拟现实的发展历史与进展	91
5.2 虚拟现实接口设备	93
5.2.1 虚拟现实的人机交互	93
5.2.2 视觉显示设备	94

5.2.3 听觉显示设备	96
5.2.4 位姿传感器设备	96
5.2.5 力觉和触觉显示设备	99
5.3 虚拟现实系统组成	101
5.3.1 虚拟现实系统结构	101
5.3.2 虚拟现实系统的硬件组成	102
5.3.3 虚拟现实系统的软件结构	104
5.4 增强现实	118
5.4.1 增强现实概述	118
5.4.2 增强现实的研究内容	119
第六章 并行与分布式虚拟仿真	123
6.1 并行虚拟仿真	123
6.1.1 并行仿真概述	123
6.1.2 并行虚拟仿真操作环境	124
6.1.3 虚拟仿真中的并行算法	127
6.2 分布式虚拟环境	128
6.2.1 分布式虚拟环境概述	128
6.2.2 分布式虚拟环境体系结构	129
6.2.3 分布式虚拟环境通用模型	132
6.2.4 分布式虚拟环境中的关键技术	132
6.3 分布式交互仿真	145
6.3.1 DIS	145
6.3.2 HLA	146

第二篇 虚拟仿真应用技术

第七章 虚拟仿真应用平台	157
7.1 虚拟仿真应用平台的软硬件配置	157
7.1.1 平台硬件组成	157
7.1.2 平台软件组成	158
7.2 虚拟仿真应用平台的系统结构	159
7.3 虚拟仿真应用平台的数据模型	159
7.4 虚拟仿真应用平台中的多模式交互技术	162
7.4.1 产品装配虚拟仿真脚本语言	162
7.4.2 三维鼠标交互	165
7.5 虚拟仿真应用平台中的碰撞检测	166
7.5.1 碰撞检测的模型表达	166
7.5.2 碰撞检测的查询类型	167
7.5.3 根据虚拟仿真环境的特征进行碰撞检测	167

第八章 复杂产品并行装配仿真	168
8.1 装配仿真概述	168
8.2 装配序列规划算法分类	168
8.3 并行序列规划	171
8.3.1 基于有向约束图的装配序列并行算法	172
8.3.2 基于二进制编码的装配序列并行优化算法	174
8.4 并行装配仿真实例与结果分析	178
第九章 虚拟机床装配仿真	183
9.1 虚拟机床装配仿真系统结构	183
9.1.1 虚拟机床的装配仿真环境	183
9.1.2 虚拟机床的装配系统体系结构	183
9.2 虚拟机床的装配仿真场景绘制	184
9.2.1 虚拟机床装配仿真场景图的结构	184
9.2.2 虚拟机床装配仿真场景的接口开发	185
9.2.3 虚拟机床装配仿真场景的优化	187
9.3 机床几何建模	188
9.3.1 基于特征造型 CAD 系统建模	189
9.3.2 几何模型转换模块	191
9.4 基于虚拟机床装配仿真中的碰撞检测方法	193
9.5 基于 V 语言的虚拟机床装配仿真	195
第十章 MOCVD 热流场仿真	201
10.1 MOCVD 概况	201
10.2 MOCVD 设备的组成	202
10.3 MOCVD 的外延薄膜生长动力学	204
10.3.1 MOCVD 沉积的基本过程	204
10.3.2 气体的运输过程	205
10.3.3 影响薄膜生长速度的因素	206
10.4 MOCVD 反应室内气体热流场的数值模拟	207
10.4.1 数学模型的建立	207
10.4.2 网格划分	208
10.4.3 边界条件的确定	209
10.4.4 数值计算方法与流程	209
10.5 MOCVD 反应室内气体热流场的可视化仿真	210
10.5.1 MOCVD 反应室内气体温度场的可视化仿真	214
10.5.2 MOCVD 反应室内气体速度场的可视化仿真	216
10.5.3 仿真结果分析	219
第十一章 GaInP 薄膜生长仿真	228
11.1 薄膜的生长过程	228

11.1.1	原子扩散过程	229
11.1.2	临界岛尺寸	229
11.1.3	岛的大小分布	230
11.1.4	薄膜生长影响因素	230
11.2	薄膜生长的理论与方法	230
11.3	动力学蒙特卡罗仿真建模	234
11.4	GaInP 薄膜生长的动力学蒙特卡罗仿真	236
11.4.1	KMC 晶格空间	236
11.4.2	KMC 事件	236
11.4.3	两原子间的作用势	238
11.4.4	GaInP 薄膜生长的 KMC 仿真流程	239
11.5	GaInP 薄膜生长的动力学蒙特卡罗并行仿真	239
11.5.1	数据分布方式	239
11.5.2	通信优化策略	240
11.5.3	KMC 生长 GaInP 薄膜并行仿真算法	240
11.5.4	并行仿真性能	240
11.6	GaInP 薄膜生长可视化仿真	242
11.6.1	二维 GaInP 薄膜生长的可视化仿真	242
11.6.2	三维 GaInP 薄膜生长的可视化仿真	245
11.6.3	仿真结果分析	249
参考文献		252

第一篇

虚拟仿真系统原理

仿真的本质是一个计算和调度的过程,它不一定需要表现过程。随着技术的发展,仿真向着虚拟化的方向发展。最简单的计算机仿真是数值仿真。为数值仿真的过程和结果显示增加文本提示、图形、图像等表现手段,从而使仿真过程更加直观,仿真结果更容易被理解,并能够验证仿真过程是否正确,这种仿真称为可视化仿真。在可视化仿真的基础上增加动画这种表现形式,就可得到动画仿真。视景仿真是动画仿真的高级阶段,它通过构造仿真对象的三维模型并再现真实的环境,达到非常逼真的仿真环境。而虚拟现实仿真通过将虚拟现实技术和仿真技术有机结合,使得仿真效果具有更加真实的沉浸感,人机交互更加自然、灵活、方便,为仿真的表现提供了新的思路和方法。狭义的虚拟仿真主要是指虚拟现实仿真,而广义的虚拟仿真包括了可视化仿真、动画仿真、视景仿真、虚拟现实仿真等。

可视化仿真包括了仿真计算过程可视化和仿真结果可视化两种类型。仿真结果可视化是将仿真计算的结果用图形、图像表示;仿真计算过程可视化是将随时间和空间变化的仿真过程用可视化的手段表示出来,使用户能够知道系统中变量之间、变量和参数之间、变量与外部环境之间的关系,直观地获得系统的静态和动态特征,实时跟踪并有效驾驭仿真过程。

动画仿真包括了非实时动画仿真和实时动画仿真两种类型。非实时动画仿真采用先运行仿真程序、后输出仿真动画的形式;实时动画仿真采用仿真与动画同步的形式。一般来说,采用实时动画仿真,可以使仿真计算更具说服力,使仿真过程和仿真结果得到更形象、更直观的描述。

视景仿真包括了仿真环境制作和仿真驱动两部分。仿真环境制作主要包括了模型设计、场景构造、纹理设计制作、特效设计等;仿真驱动包括场景驱动、模型驱动、模型调动处理、分布交互、大地形处理等,它要求高速、逼真地再现仿真环境,实时响应交互操作等。

虚拟现实仿真是以虚拟现实技术为基础,通过创造一个身临其境的虚拟世界,使仿真效果具有更加真实的沉浸感,用户在这种仿真环境中可以与虚拟物体通过各种自然技能实现交互。虚拟现实仿真系统包括前台虚拟环境、后台仿真引擎、前后台交互接口、自然的人机交互方式。其中,前台虚拟环境是用来实现仿真过程与仿真结果的虚拟表现;后台仿真引擎通过构造数学模型、编写仿真程序对系统进行数学仿真;前后台交互接口实现前台虚拟环境中的对象和后台仿真引擎的交互,调用后台的仿真程序可以实现对前台对象的操控,仿真过程和结果又可以通过前台对象来展现;自然的人机交互方式使用户不仅可以通过键盘和鼠标进行交互,还能够通过一些专业交互工具进行交互,获得相对真实的体验。

虚拟仿真技术的基础是系统仿真。但是,单纯的系统仿真擅长于实现系统的仿真过程和辅助决策,对仿真过程和结果的直观性和逼真性表示方面却存在着不足。根据实际需要采用可视化仿真、动画仿真、视景仿真、虚拟现实仿真等虚拟仿真手段,能够大大提高仿真的逼真性,使得虚拟仿真这一技术在设备研制、教育培训、军事演习、决策论证等领域得到了广泛的应用。

第一章 仿真概述

认知世界的方法有三种：理论研究、实验研究与仿真。其中，理论是从对事实的推测、演绎、抽象或综合而得出的(对某一个或某几个现象的性质、作用、原因或起源的)评价、看法、提法或程式。理论研究是抽象推理、思辨(Abstract Reasoning; Speculation)而形成“一系列假设、已被接受的定理以及用于分析、预测或解释自然或专门现象行为的程序规则”。实验是人们对认识的现实条件进行主动控制的认识活动。在实验中，内在性找到了表现其自身的最适合的现象和联系，让人们一看到这一现象和联系便会发现这种内在性。实验是在受控条件下为演示一项真理、检验假设的正确性或确定以前未试用过的某物的效能而做的试验。而仿真是用相似的模型、环境和设备模仿某个环境或系统(经济的、机械的等等)的行为的技术，或者是为更方便地获取信息，或者是为培训人。根据仿真的定义可以看出，仿真技术是一种求解实际问题的方法，当所求解的问题比较复杂时，可以先设计一个实际的或理论的物理系统的模型，在数字计算机上执行该模型，以及分析其执行输出。这三种认知世界的方法的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 三种认知世界的方法比较

分 类	研 究 对 象	中 介 工 具	研 究 基 础	结 果 形 式
理论研究	现存的或理论的	人脑推理、抽象	以前的理论、知识、模型	假设、定理、程序、规则
实验研究	现存的	可控条件下对实际对象试验	理论指导下对实际对象试验	演示、检验或确定、信息
仿真研究	现存的或假想的	计算机、设备	基于模型(理论、实验、实物)	信息、培训人

随着计算机信息处理速度的加快以及计算机的普及，仿真开始显示出强劲的发展势头，在工程技术乃至社会生活的许多领域获得了广泛的应用。仿真是基于计算机的理论研究与实验研究的交叉融合，它以理论研究为支撑，以实验研究为检验手段，通过在计算机上建模、运行、分析，可以解决其他方法难以解决的问题。例如，有的实验要求高温、高压，条件难以实现；有的实验时间过长、费用很高；有的研究对象变量多、要求实验次数过多等。而仿真技术通过在计算机上建立数学模型，模拟各种苛刻的实验条件，利用计算机处理速度快、存储容量大的优点，可以在相对较短的时间内获得结果，可以研究包含十几个甚至几百个变量的问题，相对于实验研究有着很大的优越性。但是，仿真不能完全代替实验。仿真模型中的参数往往要通过实验来确定，仿真的结果也要通过实验来验证。所以，仿真研究是理论研究和实验研究的有力补充手段，将仿真与实验有机地结合在一起，是研究复杂系统的有效方法。

1.1 系统、模型与仿真

1.1.1 系统

系统是指相互联系又互相作用着的对象之间的有机组合，包含电气、机械、机电、水力、声

学、热系统等工程系统,以及经济、社会、交通、管理、生物系统等非工程系统。因此,系统具有如下特征:整体性、相关性。系统的整体性是指系统中的各部分具有不可分割性,缺少其中一个部分,也就无法构成一个系统了;系统的相关性是指系统中各部分之间以一定的规律联系着,它们之间的特定关系形成了具有特定性能的系统。

与系统有关的术语主要有:

系统环境:影响系统而又不受该系统直接控制的全部外界因素的集合。

系统边界:为了限制所研究问题涉及的范围,一般用边界将系统与系统环境进行区分。在定义一个系统时,首先要确定系统的边界。边界确定了系统的范围,边界以外对系统的作用成为系统的输入,系统对边界以外的环境的作用称为系统的输出。

内生活动:系统内部发生的活动。

外生活动:在系统环境中发生的对系统有影响的活动。

封闭系统:没有外生生活的系统。

开放系统:含有外生生活的系统。

复杂系统:规模庞大、功能结构复杂、交联信息多的系统。

尽管世界上的系统千差万别,但人们总结出描述系统的三要素:实体、属性、活动。实体是指存在于系统中的每一个确定的物体,它确定了系统的构成,也就是确定了系统的边界;属性也称为描述变量,它用来描述每个实体的特征;活动定义了系统内部实体之间的相互作用,从而确定了系统内部发生变化的过程,它反映了系统的变化规律。在系统中,实体具有很多层次和特征,能反映实体的一切特征和运动规律的东西只能是实体本身,因此,当我们用许多方法来研究系统时,最终都应该用系统的实体加以检验。

建立系统概念的目的在于深入认识、掌握系统规律,在定性地了解系统之后,能够定量地分析、综合系统,比较准确快速地解决工程、现代社会和自然中的种种复杂问题,以便获得更大的收益。定量地分析、综合系统的有效方法就是模型法。

1.1.2 模型

为了研究实现一个系统,需要进行试验。传统上通常采用在真实系统上进行试验。随着科学技术的发展,通过构造模型,对模型进行试验来代替或部分代替对真实系统的试验,已成为人们更常用的方法,这主要是由于真实试验可能需要很长的时间、试验费用昂贵、试验可能对现有系统造成破坏、多次试验无法保证相同的条件等等。系统模型是对实际系统的一种抽象,是系统本质的表述,是人们对客观世界反复认识、分析,经过多级转换、整合等相似过程而形成的最终结果,具有与系统相似的数学描述或物理属性,以各种可用的形式,给出研究系统的信息。

模型可分为两类:物理模型、数学模型。采用一定比例尺按照真实系统的样子制作,这类模型称为物理模型。用数学表达式形式来描述系统的内在规律,这类模型称为数学模型。其中,数学模型包括原始系统数学模型和仿真系统数学模型。原始系统数学模型又包括概念模型和正规模型,概念模型是指用说明文字、框图、流程和资料等形式对原始系统的描述;正规模型是用符号和数字方程式来表示系统的模型,其中系统的属性用变量表示,系统的活动用与变量有关的数学函数关系式表示。原始系统数学建模过程被称为一次建模。仿真系统数学模型是指适合在计算机上进行运算和试验的模型,其建模过程是根据计算机运算特点、仿真方式、计算方法、精度要求等,将原始系统数学模型转换为计算机的程序。仿真系统数学建模过程被

称为二次建模。

相对于物理模型而言,数学模型的产生和应用更为方便和经济,因此,系统仿真中更多的是使用数学模型。

建立模型的方法一般分三类:

(1) 对内部结构和特征清楚的系统,可以利用已知的一些基本定律,经过分析和演绎导出系统模型;

(2) 对内部结构和特征不是很清楚的系统,如果允许直接进行试验性观测,则可假设模型并通过试验验证和修正;

(3) 对内部结构不清楚,又不允许直接试验观测的系统,则采用数据收集和统计归纳的方法来假设模型。

在模型建立中一般要遵循一些基本的原则:

(1) 清晰性。一个大的系统是由许多子系统组成的,因此对应的系统模型也是由许多子模型组成的,在子模型和子模型之间,除了为研究目的所必需的信息联系外,相互耦合要尽可能少,结构要尽可能清晰。

(2) 切题性。模型只应该包括与研究有关的方面,而不是一切方面。对于同一个系统,模型不是唯一的,研究目的不同,模型也不同。例如,在工业管理系统中,研究工艺流程对于生产率的影响时,则无须考虑工人的工资。

(3) 精密性。同一系统研究中的模型的精密程度可以分为许多级。对于不同的工程,精密密度则要求不一样。在建立模型时,要根据实际的需求选择合适的精密级。

(4) 集合性。对于一个系统实体的分割,可能时要尽量合并为大的实体,即集合性要高。

1.1.3 仿真

仿真是通过对模型的实验以达到研究系统的目的。由于仿真技术是在计算机支持下进行的,因此,系统仿真也称为计算机仿真。

系统仿真的理论依据主要是相似论。所谓相似,是指各类事物间的某些共性的客观存在。相似性是客观世界的一种普遍现象,它反映了客观世界的特性和共同规律。采用相似技术来建立实际系统的相似模型,这是相似理论在系统仿真中基础作用的根本体现。相似论的基本内容包括相似定义、相似定理、相似类型和相似方法。不同领域中的相似有各自的特点,人们对各领域的认识水平也不一样,总体上可以归纳为以下几种基本类型:

(1) 几何相似。结构尺寸按比例缩小得到的模型,成为缩比模型,如风洞试验所用的模型。

(2) 离散相似。采用差分法、离散相似法等把连续时间系统离散化为等价的离散时间系统。

(3) 等效。保证数学描述相同或频率特性相同,用于构造各类仿真器的相似原则。

(4) 感觉相似。感觉相似涉及耳、眼、鼻、舌、身等感官和经验,人在回路中的仿真把感觉相似转化为感觉信息源相似,例如虚拟现实和培训仿真器都是利用了这种相似原则。

(5) 思维相似。包括逻辑思维相似和形象思维相似。其中,逻辑思维相似是用数理逻辑表示知识,建立知识的逻辑符号系统,对符号公式进行判断和推理;形象思维相似是人大脑右半部的功能,如人工神经网络是以脑神经为原型所构造的简化模型,用来实现对刺激的适应性反应。

系统仿真有三个基本的活动,即系统建模、仿真建模和仿真实验。其中,系统建模属于系统辨识范畴;仿真建模是针对不同的系统模型研究出求解算法,使其在计算机上得以实现;仿

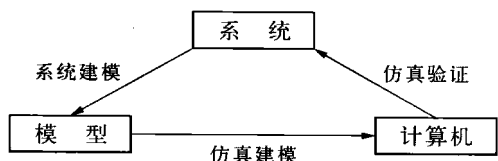


图 1-1 仿真系统组成要素及基本活动

真实验是对仿真建模进行的检验。仿真技术侧重于仿真建模,联系系统仿真这三个活动的是系统仿真的三要素,即系统、模型、计算机(软件和硬件),它们之间的关系如图 1-1 所示。

仿真系统在复杂工程系统的分析和设计的研究中已成为不可缺少的工具。系统的复杂性主要体现在三个方面:复杂的环境、复杂的对象

和复杂的任务。然而不管系统有多么复杂,只要能正确地建立起系统的模型,就可以利用仿真技术对系统进行充分的研究。仿真模型一旦建立,可以重复使用,而且改变灵活,便于更新。经过仿真逐步地修正,从而深化对其内在规律和外部联系及相互作用的了解,以便采取相应的控制和决策,使系统处于科学化的控制和管理之下。

1.2 系统仿真的发展历史与应用

仿真的内涵随着计算的发展也在不断地加以扩充。1961 年,G W Morgenthater 首次对“仿真”进行了技术性定义,即仿真是指在实际系统不存在的情况下对于系统或活动本质的实现。Korn 在 1978 年的著作《连续系统仿真》中将仿真定义为,用能代表所研究的系统的模型做实验。1982 年,Spriet 将仿真定义为,所有支持模型建立与模型分析的活动即为仿真活动。Oren 在 1984 年给出了仿真的基本概念框架“建模—实验—分析”的基础上,定义仿真为一种基于模型的活动,被认为是现代仿真技术的一个重要概念。随着信息技术的迅速发展,仿真技术的含义得以发展和完善,从 A Alan 和 B Pritsker 撰写的仿真定义汇编中,我们可以清楚地观察到这种演变。但不管哪种定义,仿真基于模型这一观点是相同的。

仿真的应用已经有很长的历史了,它的发展大致经历了四个阶段:

(1) 20 世纪 50 年代以前主要是物理仿真,即在物理模型上进行实验。静态的物理模型最常见的是比例模型,如用于风洞实验的飞机比例模型及试验水槽中的船体比例模型。动态物理模型如飞行器姿态运动仿真用的三自由度飞行姿态模拟台,以及电力系统动态模拟实验等。

(2) 随着计算机的发展,出现了数字仿真技术。20 世纪 40 年代末第一台模拟计算机被用于三自由度飞机系统的仿真;20 世纪 50 年代主要用于模拟计算机仿真,数字仿真刚刚开始发展。20 世纪六七十年代,数字仿真和混合仿真得到了迅速发展,出现了大量数字仿真语言,如 DSL、CSSL、DARE-P 等,大大普及了数字仿真的应用。

(3) 20 世纪 80 年代由于微机技术的迅速发展,采用微机阵列、基于并行处理原理的全数字仿真系统有取代混合计算机仿真的趋势。采用数字计算机对系统进行仿真实验,计算机输出以数字或图表形式表示,系统的每一个变量都可以用这种方法进行研究,使得系统仿真的应用对象从最初的航空、航天、原子能等控制系统,扩展到机械、电力、冶金、化工等工程系统中,越来越受到人们的重视。

(4) 20 世纪 90 年代以来,分布式交互仿真、虚拟现实仿真、面向对象仿真、并行仿真等现代仿真技术及应用取得了引人注目的进展,已经成为高科技产品从论证、设计、生产试验、训练到更新等全生命周期各个阶段不可缺少的技术手段。“网上练兵”、“虚拟主持人”等诸多与仿

真应用有关的新名词和术语不断出现,也说明了仿真技术正走向大众,走向人们的生活。

我国的仿真技术研究与应用发展迅速,自 20 世纪 50 年代开始,在运动体自动控制领域首先采用仿真技术,面向方程建模和采用模拟计算机的数学仿真获得较普遍的应用,同时采用由自行研制的三轴模拟转台等参与的半实物仿真试验已经开始应用于飞机、导弹的工程型号研制中。60 年代末,在开展连续系统仿真的同时,已经开始对离散事件系统(如交通管理、企业管理)的仿真进行研究。70 年代,我国训练仿真器获得迅速发展,我国自行设计的飞行仿真器、舰艇仿真器、火电机组培训仿真系统、化工过程培训仿真系统、机车培训仿真器、坦克仿真器、汽车仿真器等相继研制成功,形成了一定的市场,在操作人员培训中起了很大的作用。80 年代,我国建设了一批水平高、规模大的半实物仿真系统,如鱼雷半实物仿真系统、射频制导导弹半实物仿真系统、红外制导导弹半实物仿真系统、歼击机半实物仿真系统等,这些半实物仿真系统在武器型号研制中发挥了重大作用。90 年代,我国开始对分布式交互仿真、虚拟现实等先进技术及其应用进行研究,开展了大规模复杂系统仿真,由单个武器平台的性能仿真发展为多武器平台在作战环境下的对抗仿真。

由于仿真技术在应用上的安全性和经济性,在人类活动的各个领域都得到了十分广泛的应用。近二十年,随着系统工程与科学的发展,仿真技术已经从传统的工程领域扩展到非工程领域,在社会经济系统、环境生态系统、能源系统、生物医学系统、教育训练系统的应用中获得了日益强大的生命力。

对于机械设计与制造领域而言,仿真技术在机械系统的设计、制造、人员培训、产品升级等各个阶段都可以发挥重要作用。在产品的整个生命周期中使用仿真技术,以提高劳动效率,缩短开发周期,提高产品质量,减少使用人员的培训学习时间,具有突出的功效。

在设计过程中,利用仿真技术进行虚拟产品开发引起了人们的广泛关注,设计人员可以利用仿真技术建立三维全数字化的虚拟产品模型,进行模型实验、模型简化并进行优化设计,从而发现不同方案的优缺点。对于系统设计中涉及的新设备、部件或控制装置,可以利用仿真技术进行分系统实验,即一部分采用实际部件,另一部分采用模型。这样既可以避免由于新子系统投入可能造成的对原系统的破坏和影响,又可以大大缩短开工周期,提高系统投入的一次成功率。

在制造过程中,采用计算机仿真技术进行虚拟制造,使得在产品阶段就可以对整机进行可制造性分析,包括加工过程的工艺分析、铸造过程的热力学分析、运动部件的运动学分析,以及整机的动力学分析等,甚至包括加工时间、加工费用、加工精度分析等。设计人员可以使用虚拟的制造环境检验其设计、加工、装配、操作,而不依赖于传统的原型样机的反复修改。典型的例子如波音 777,其整机设计、部件测试、整机装配以及各种环境下的试飞都是在计算机上完成,使得开发周期从过去的 8 年缩短为 5 年;Perot System Team 利用 Dench Robotics 开发的 QUEST 及 IGRIP 设计与实施一条生产线,在所有设备订货之前,对生产线的动力学、运动学、加工能力等各方面进行了分析和比较,使生产线的实施周期从传统的 24 个月缩短到 9.5 个月;Chrysler 公司与 IBM 合作开发的虚拟制造环境用于其新型车的研制,在样车生产之前,发现其定位系统的控制与其他许多设计缺陷,缩短了研制周期。

使用虚拟制造手段,考虑各种资源约束(机器故障,刀、夹具数量有限,空间有限,人力有限等)下的动态调度过程,可以使得实际生产周期期间不间断优化生产线、仓库、储运系统甚至是工厂的布局。

在系统运行维护过程中,需要有熟练人员进行管理,这就需要对相关人员进行培训教育。