

先进仿真技术与 仿真环境

熊光楞 彭毅 等编著

国防工业出版社

先进仿真技术与仿真环境

熊光楞 彭毅 等编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

先进仿真技术与仿真环境/熊光楞等编著. —北京:
国防工业出版社, 1997. 5

I. 先… I. 熊… III. ①模拟理论-应用-自动化
技术 ②仿真系统-基本知识 ③环境模拟-基本知识 IV.
①TP15 ②TP391. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 21192 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河腾飞印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7 $\frac{1}{8}$ 198 千字

1997 年 5 月第 1 版 1997 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:12.40 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

JS/33/07

国防科技图书出版基金 第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾铎		
秘书长	刘瑄德		
委员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

前 言

“仿真”一词译自英文 Simulation,另一个曾经用过的译名是“模拟”。从字面上来解释,“仿真”或“模拟”都是表示“模仿真实世界”的意思。虽然人们很早就采用了利用模型来分析与研究真实世界的方法,也即“仿真”或“模拟”的方法,但严格地讲,只有在本世纪 40 年代末,计算机(模拟计算机及数字计算机)的问世,才为建立模型及对模型的实验提供了强有力的支持,仿真技术也才获得了迅速的发展并逐步形成为一门独立的学科。

由于仿真技术在应用上的特殊功效(安全性与经济性),以及计算机技术的突飞猛进,50 年来仿真技术获得了十分广泛的应用。首先是由于仿真技术在应用上的安全性,因此,航空、航天、武器系统、核电站及潜艇等,一直是仿真技术应用的主要领域。其次,仿真技术在应用上的经济性,也是被广泛采用的十分重要的因素。世界各国几乎所有大型的发展项目,如阿波罗登月计划、战略防御系统、计算机集成制造、并行工程等,因为投资极大,又有相当的风险,而仿真技术的应用可以用较小的投资换取风险上的大幅度降低,都十分重视仿真技术的应用。

正因为仿真技术对国防建设(航空、航天、武器研制、作战指挥)、工农业生产及科学研究均有极大的应用价值,所以,仿真技术被美国国家关键技术委员会于 1991 年确定为影响美国国家安全及繁荣的 22 项关键技术之一。在我国仿真技术的研究和应用也占有极重要的地位。

仿真技术的广泛应用大大促进了仿真技术本身的发展。仿真技术的发展大致经历了模拟计算机仿真(40 年代末—60 年代)、数学/模拟混合计算机仿真(50 年代末—70 年代)及全数字计算机仿

真(60年代到现在)三个主要阶段。而全数字计算机仿真又可分为两个阶段。60年代末到80年代初,属于第一阶段。在这一阶段中,从方法论角度来看是以研究模型实验为主,从仿真工具的研究来看,则是以各种仿真语言为主。由于缺乏对建模的支持,而仿真工具又有一定的缺陷(比如人-人及人-机接口不够直观、理想,没有统一的数据管理等),因此仿真效率不高。80年代到90年代则属于第二阶段。这一阶段(或称现代仿真技术阶段)的主要特征是:按照仿真的基本概念框架(建模—实验—分析)已形成了一整套先进的建模与仿真的方法学,并通过建立一体化仿真环境来支持与实现它。也即,从方法论角度来看,已经将研究扩展到建模及分析阶段,从仿真工具的研究来看,则是以建立能支持建模—实验—分析仿真全过程的一体化仿真环境为主,并充分采用了先进的计算机技术(如图形技术、数据库技术等)。

《先进仿真技术与仿真环境》一书是论述现代仿真技术的专著,它从仿真技术应用需要出发,首先论述了先进的建模与仿真方法学的原理,然后介绍先进仿真技术的几个主要方面(如仿真的数据驱动、面向对象的仿真、图形建模与动画情景仿真、人工智能与仿真的结合等)及一体化仿真环境,最后以两个实际的仿真系统为例进一步阐明先进仿真技术的内容及一体化仿真环境的体系结构。

本书的主要特点是:

1. 第一次全面阐述了先进仿真技术的内涵及一体化仿真环境的体系结构,学术思想新颖。

2. 本书引入了作者及他所领导的研究小组从事系统仿真18年的科研成果,其中有五项已通过鉴定,并被认为达到当时国际先进水平,有三项获得国家级科技进步奖及国家教育委员会科学技术进步奖。

3. 理论与实际相结合。本书所列举的应用实例均对仿真技术的应用有指导意义。

4. 本书不是一本教科书,因此将不再介绍系统仿真的一般性

原理,但本书在适当的地方都有标注,可引导读者去阅读作者撰写的其它有关书籍。

本书从体系结构的确定、选材、主要章节(第一、二、三、五章)的写作到全书的审定,都是由熊光楞教授完成的。彭毅同志除负责写第四、八两章外,还协助熊光楞教授完成了全书的审定,做了大量具体工作。另外三章则分别由刘义(第六章),龚宇(第七章),苟剑波(第九章)写。

参加本书中所引用的两个一体化仿真环境的研究与开发的除熊光楞、彭毅、刘义、龚宇、苟剑波外,还有肖田元教授、沈被娜副教授、张燕云副教授及王锦高级工程师等人,作者对他们创造性的工作表示感谢。

本书从申报、列选、写作、审定直到编辑、出版,自始至终都得到了国防科技图书出版基金评审委员会和陈子玉责任编辑的支持、帮助与指导,作者对此深表感谢。

希望本书的出版有助于仿真技术在我国进一步发展与应用。

作者

目 录

第一章 仿真技术的现在与未来	1
1.1 系统仿真及其分类	1
1.1.1 系统仿真的定义	1
1.1.2 系统仿真的分类	2
1.2 仿真模型与仿真实验	4
1.3 连续系统仿真与离散事件系统仿真	6
1.3.1 连续系统	7
1.3.2 连续系统仿真的基本方法	7
1.3.3 离散事件系统	10
1.3.4 离散事件系统仿真的基本方法	10
1.4 系统仿真的发展及其应用领域	15
1.4.1 系统仿真是一项应用技术	15
1.4.2 系统仿真的发展	15
1.4.3 系统仿真的应用类型	18
1.4.4 系统仿真的应用领域	19
1.5 仿真应用的要求与先进仿真技术	21
1.5.1 80年代系统仿真技术的状况	21
1.5.2 应用要求	22
1.5.3 先进仿真技术	22
参考文献	25
第二章 一体化仿真环境	26
2.1 仿真语言及其存在的问题	26
2.1.1 连续系统仿真语言	27
2.1.2 离散事件系统仿真语言	30
2.1.3 仿真语言存在的问题	33
2.2 仿真的基本概念框架	34

2.2.1	仿真的基本概念框架	35
2.2.2	仿真——基于模型的活动	37
2.2.3	基于模型的仿真软件系统	39
2.2.4	一体化仿真环境的基本结构	41
2.3	一体化仿真环境	43
2.3.1	一体化仿真环境的定义及特点	44
2.3.2	一体化仿真环境 TESS 简介	44
2.4	仿真操作系统	46
2.4.1	仿真操作系统的概念	46
2.4.2	仿真关联资源的存储管理	48
2.4.3	仿真关联资源的使用——实验	50
2.5	结论	52
	参考文献	53
第三章 先进的建模方法学		54
3.1	数学模型的作用及形式	54
3.1.1	人与信息之间的科学工程	54
3.1.2	数学模型的定义与作用	54
3.1.3	数学模型的形式	56
3.1.4	系统描述的三种水平	60
3.2	特定的模型形式	62
3.2.1	定义	62
3.2.2	连续系统的集中参数模型形式	63
3.2.3	离散事件系统的模型形式	65
3.2.4	在系统研究中的基本假定	66
3.3	建模过程的信息源及建模途径	67
3.3.1	建模过程的信息源	67
3.3.2	建模途径	69
3.3.3	模型可信性	70
3.3.4	建模过程的总体描述	72
3.4	模块化建模	74
3.4.1	模块化建模方法的提出与发展	74
3.4.2	模块化建模的数学描述	75
3.4.3	模块划分的原则	75
3.4.4	几个模块化建模的实例	77
	参考文献	83

第四章 仿真的数据驱动及仿真数据库	84
4.1 实验与模型的分离	84
4.2 实验框架及其结构	85
4.3 数据驱动	88
4.3.1 仿真模型	89
4.3.2 仿真逻辑	89
4.3.3 库	90
4.3.4 通用库	90
4.3.5 实例程序	90
4.3.6 图形库	91
4.3.7 模型构造器	91
4.3.8 文件管理器	91
4.3.9 实验框架	92
4.3.10 报告产生器	92
4.4 仿真数据库	93
4.5 模型的直接连接与快速执行	97
参考文献	100
第五章 面向对象的建模与仿真	101
5.1 面向对象方法概述	101
5.1.1 面向对象方法的基本思想	101
5.1.2 面向对象的方法在建模与仿真中的应用	104
5.2 面向对象的方法的主要术语及技术	105
5.2.1 面向对象方法的主要术语	105
5.2.2 面向对象方法的主要技术	106
5.2.3 面向对象程序设计过程	108
5.3 面向对象的离散事件系统建模与仿真	109
5.3.1 面向对象的离散事件系统仿真	109
5.3.2 基于事件调度的面向对象的仿真	110
5.3.3 柔性制造系统仿真实例	114
5.3.4 结论	119
5.4 面向对象的连续系统的建模与仿真	119
5.4.1 基本模型块的描述	120
5.4.2 拼合模型的描述	124
参考文献	127

第六章 图形技术在系统仿真中的应用	129
6.1 图形技术在系统仿真中的应用	129
6.2 利用流程图建模	131
6.3 图形建模	134
6.4 动画仿真的作用和局限性	138
6.4.1 动画仿真的作用	139
6.4.2 动画仿真的局限性	141
6.5 动画仿真的实现	142
6.5.1 动画仿真的分类	142
6.5.2 动画仿真的层次性	143
6.5.3 实时动画的关键技术	146
6.6 动画仿真的发展前景	149
参考文献	150
第七章 仿真与人工智能的结合以及在车间调度系统 中的应用	151
7.1 仿真系统与专家系统的关系	151
7.2 关于仿真系统与专家系统结合方式的分类	153
7.2.1 分类的基本单元	153
7.2.2 结果输出途径的改变(一)	156
7.2.3 与使用者信息交互关系的改变	156
7.2.4 结果输出途径的改变(二)	156
7.2.5 仿真系统、专家系统结合在一起作为大系统的一个部分	157
7.2.6 智能前端	157
7.3 仿真与专家系统结合的具体实例	157
7.3.1 专家系统作为仿真系统的一部分	158
7.3.2 仿真的智能输出分析	158
7.3.3 专家系统作为建造仿真系统模型的智能辅助工具	160
7.3.4 仿真系统、专家系统结合在一起作为大系统的一个部分	161
7.3.5 智能前端	162
7.4 车间调度及其方法	163
7.4.1 柔性制造系统的结构	164
7.4.2 传统的调度方法	168
7.4.3 人工智能调度方法	170
7.5 专家系统在调度系统中的应用	172

7.5.1	专家系统用于产生式规则调度系统中的规则选择	173
7.5.2	专家系统用于调度系统输出分析	178
7.5.3	专家系统用于实时调度系统中再调度发生频率的确定	178
7.5.4	专家系统用于实时调度系统故障处理	179
7.5.5	专家系统直接用于调度过程	179
	参考文献	179
第八章 一体化连续系统仿真软件 IPSOS		181
8.1	IPSOS VAX 版和 IPSOS PC 版的结构	182
8.1.1	模型库及其管理	183
8.1.2	算法库及其管理	184
8.1.3	实验框架库和实验管理	184
8.1.4	实验运行系统(RTS—Run Time System)	184
8.1.5	实验数据库及管理	185
8.1.6	IPSOS PC 版简介	185
8.2	IPSOS PC 版的模型库与建模过程	187
8.2.1	IPSOS PC 版的模型库	187
8.2.2	IPSOS PC 版一般的建模过程	188
8.3	IPSOS PC 版的仿真特点	189
8.3.1	IPSOS PC 版实验框架的实现和管理	190
8.3.2	IPSOS PC 版的交互式动态加载实验执行器 IDLEE	191
8.3.3	IPSOS PC 版中的仿真算法及其管理	193
8.4	IPSOS PC 版的数据库	194
8.4.1	关于 IPSOS PC 版采用何种数据管理形式的论证	195
8.4.2	SIMDBMS 的设计	197
8.5	应用举例	199
8.5.1	小功率随动系统数学模型	199
8.5.2	小功率随动系统仿真实验过程	203
8.5.3	仿真结果及结论	206
	参考文献	207
第九章 一体化制造系统仿真软件 IMSS		208
9.1	一体化制造系统仿真软件 IMSS 的结构	212
9.2	IMSS 的模型库及建模过程	214
9.3	IMSS 仿真的特点	219
9.4	IMSS 的数据库	223

9.5 应用举例	225
参考文献	235

第一章 仿真技术的现在与未来

本章将对仿真技术的现在与未来进行简要综述,它包括系统仿真及其分类、仿真模型与仿真实验、连续系统仿真与离散事件系统仿真、系统仿真的发展及其应用领域、仿真应用的要求与先进仿真技术等五个方面。

1.1 系统仿真及其分类

1.1.1 系统仿真的定义

“仿真”一词译自英文 Simulation,另一个曾用的译名是“模拟”。1961年 G. W. Morgenthler 首次对仿真一词作了技术性的解释,认为“仿真”意指在实际系统尚不存在的情况下,对于系统或活动本质的复现。近 30 年来,仿真技术的发展使人的认识与概念得以深化。这种演变过程在 A. Alan 和 B. Pritsker 写的《仿真定义的汇编》一文中得到了集中反映。目前,比较流行于工程技术界的技术定义是:系统仿真是通过对系统模型的实验,研究一个存在的或设计中的系统^[1,2]。简言之,系统仿真就是对系统动态模型的实验。即在仿真中,系统的动态模型在某些实验条件下被行为产生器驱动,产生模型行为。比如,人们为研究轧钢机的传动系统在轧件进入轧辊时的动态特性,建立起该系统的动态模型,它被表示为方框图形式,如图 1-1 所示。其中 U 为加在驱动轧辊的直流电机上的端电压, M_f 为负载力矩, n 为转速,其它则为系统参数,然后给出实验条件。比如,在初始情况 $U=U_0, n=n_0$ 的条件下,突加负载 M_f ,最后将上述模型、实验条件及有关算法全部编写成计算机程序,并使它

在计算机上运行,运行中不断记录转速 n 随时间变化的数据,它就表示该模型的行为。

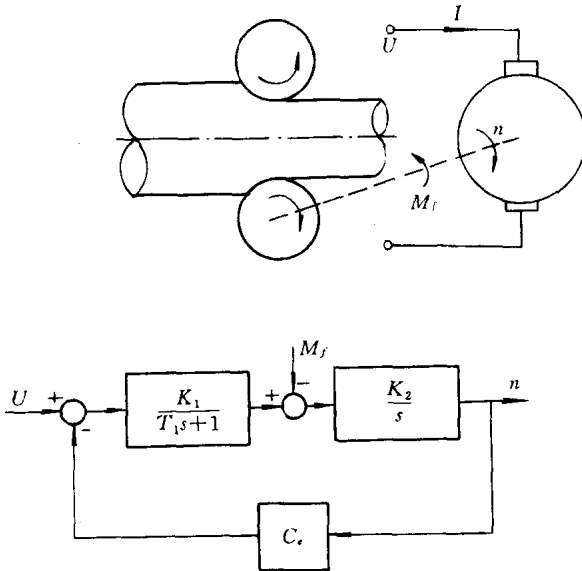


图 1-1 轧钢机传动系统及其动态模型

1.1.2 系统仿真的分类

系统仿真的分类方法主要有以下几种:

1. 根据计算机分类

(1) 模拟计算机仿真,即将系统模型编排在模拟计算机上并使之运行。

(2) 数字计算机仿真,即将系统模型用一组程序来描述,并使它在数字计算机上运行。

(3) 模拟数字混合仿真,即将系统模型分为两部分,其中一部分放在模拟机上,而另一部分放在数字机上,两台计算机之间利用 D/A 及 A/D 转换,交换信息。

50—60 年代,模拟机仿真十分流行,现在已基本上被数字机仿真所取代。混合仿真在 60—70 年代广泛用于航空、航天、核电等大型系统的研究,但现在也已逐渐被数字仿真所取代。