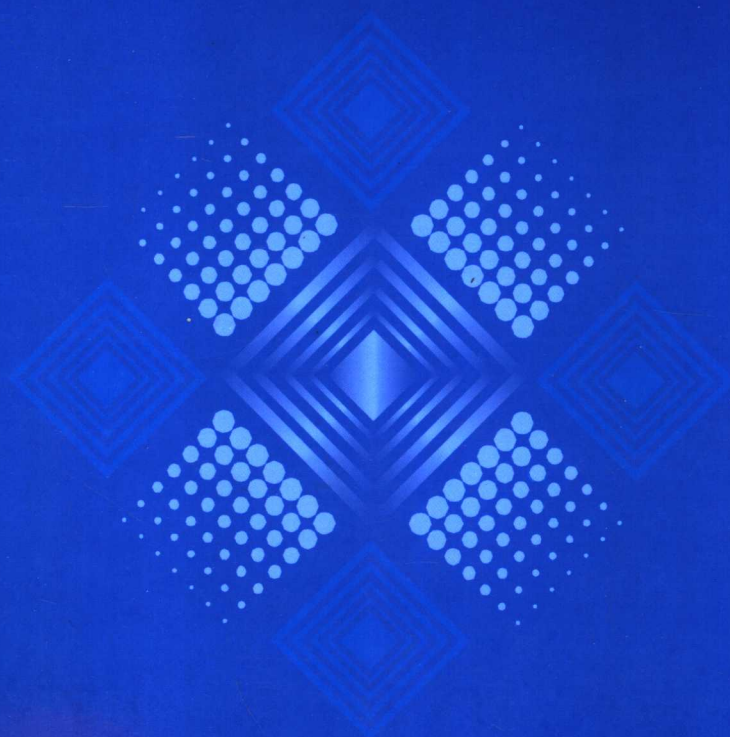


系统建模与仿真及其军事应用系列丛书

系统仿真

郭齐胜 董志明 单家元 等编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

系统建模与仿真及其军事应用系列丛书

系统仿真

郭齐胜 董志明 单家元 等编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

作为科学研究的一种新的重要手段,系统仿真技术得到了越来越广泛的应用。本书比较全面地介绍系统仿真技术,主要包括数学仿真中的面向过程仿真(连续系统仿真、采样控制系统仿真、离散事件系统仿真)、面向对象仿真和定性仿真、数学物理仿真(半实物仿真、分布交互仿真)、模型与仿真的 VV&A 及可信度评估以及系统仿真试验。

本书可作为高等学校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

系统仿真/郭齐胜等编著. —北京:国防工业出版社,
2006.8
(系统建模与仿真及其军事应用系列丛书)
ISBN 7-118-04630-2

I. 系... II. 郭... III. 系统仿真 IV. TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 075946 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17 字数 385 千字

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

总 序

仿真技术具有安全性、经济性和可重复性等特点,已成为继理论研究、科学实验之后第三种科学研究的有力手段。仿真科学是在现代科学技术发展的基础上形成的交叉科学。目前国内出版的仿真技术方面的著作较多,但系统的仿真科学与技术丛书还很少。郭齐胜教授主编的“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”在这方面作了有益的尝试。

该丛书分为基础、应用基础和应用三个层次,由《概念建模》、《系统建模》、《半实物仿真》、《系统仿真》、《战场环境仿真》、《C³I 系统建模与仿真》、《计算机生成兵力导论》、《分布交互仿真及其军事应用》、《装备效能评估概论》、《装备作战仿真概论》10 部组成,系统、全面地介绍了系统建模与仿真的理论、方法和应用,既有作者多年来的教学和科研成果,又反映了仿真科学与技术的前沿动态,体系完整,内容丰富,综合性强,注重实际应用。该丛书出版前已在装甲兵工程学院等高校的本科生和研究生中应用过多轮,适合作为仿真科学与技术方面的教材,也可作为广大科技和工程技术人员参考书。

相信该丛书的出版会对仿真科学与技术学科的发展起到积极的推动作用。

中国工程院院士



2005年3月27日

序 言

仿真科学与技术具有广阔的应用前景,正在向一级学科方向发展。仿真科技人才的需求也在日益增大。目前很多高校招收仿真方向的硕士和博士研究生,军队院校中还设立了仿真工程本科专业。仿真学科的发展和仿真专业人才的培养都在呼唤成体系的仿真技术丛书的出版。目前,仿真方面的图书较多,但成体系的丛书极少。因此,我们编写了“系统建模与仿真及其军事应用系列丛书”,旨在满足有关专业本科生和研究生的教学需要,同时也可供仿真科学与技术工作者和有关工程技术人员参考。

本丛书是作者在装甲兵工程学院及北京理工大学多年教学和科研的基础上,系统总结而写成的,绝大部分初稿已在装甲兵工程学院和北京理工大学相关专业本科生和研究生中试用过。作者注重丛书的系统性,在保持每本书相对独立的前提下,尽可能地减少不同书中内容的重复。

本丛书部分得到了总装备部“1153”人才工程和军队“2110 工程”重点建设学科专业领域经费的资助。中国工程院院士、中国系统仿真学会副理事长、《系统仿真学报》编委会副主任、总装备部仿真技术专业组特邀专家、哈尔滨工业大学王子才教授在百忙之中为本丛书作序。丛书的编写和出版得到了中国系统仿真学会副秘书长、中国自动化学会系统仿真专业委员会副主任委员、《计算机仿真》杂志社社长兼主编吴连伟教授、装甲兵工程学院训练部副部长王树礼教授、学科学位处处长谢刚副教授、培养处处长钟孟春副教授、装备指挥与管理系主任王凯教授、政委范九廷大校和国防工业出版社的关心、支持和帮助。作者借鉴或直接引用了有关专家的论文和著作。在此一并表示衷心的感谢!

由于水平和时间所限,不妥之处在所难免,欢迎批评指正。

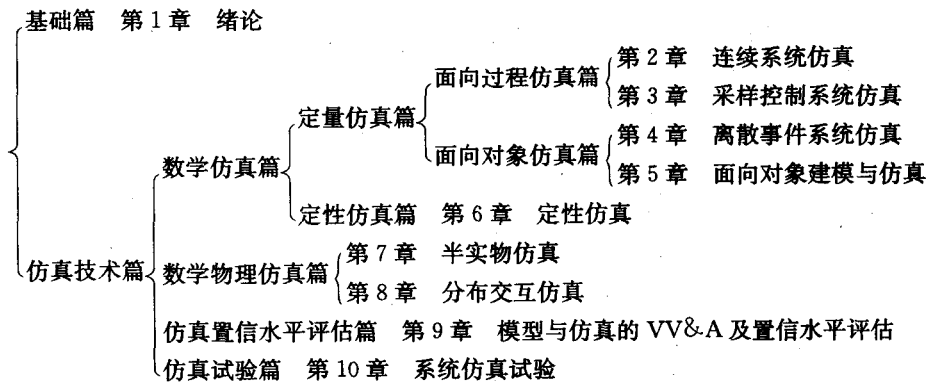
郭齐胜

2005 年 10 月

前言

随着计算机技术的发展,系统仿真技术得到了非常广泛的应用,已成为科学研究的一种重要的手段。本书是在《计算机仿真原理》(郭齐胜、李光辉、张伟编著,经济科学出版社,2000年9月)一书的基础上编写的,增加了面向对象仿真、定性仿真、半实物仿真、分布交互仿真和系统仿真试验等内容。

本书旨在比较全面、系统地介绍数学仿真(面向过程仿真:连续系统仿真、采样控制系统仿真和离散事件系统仿真;面向对象仿真;定性仿真)和数学物理仿真(半实物仿真和分布交互仿真),结构如下:



本书由郭齐胜设计框架结构,郭齐胜、董志明、单家元、李巧丽、刘永红共同编写。编写过程中得到了潘高田教授、张伟副教授、李光辉副教授的大力帮助,在此表示衷心感谢。因水平所限,不妥之处在所难免,欢迎提出宝贵意见和建议。

編者

2006 年 4 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 系统、模型与仿真	1
1.2.1 系统	1
1.2.2 模型	4
1.2.3 仿真	5
1.3 系统仿真学科	12
1.3.1 系统仿真学科的产生	12
1.3.2 系统仿真学科的定义	12
1.3.3 系统仿真学科的理论体系	13
1.3.4 系统仿真的学科体系	14
1.4 系统仿真技术研究与应用中值得关注的若干焦点 ^[1]	15
1.4.1 网络化仿真技术	15
1.4.2 综合自然环境仿真技术 ^[6-14]	16
1.4.3 智能仿真系统 ^[6,15-18]	16
1.4.4 复杂系统/开放复杂巨系统的仿真技术 ^[6,19-22]	17
1.4.5 虚拟样机工程技术	17
1.4.6 基于普适计算技术的普适仿真技术	17
第2章 连续系统仿真	18
2.1 引言	18
2.2 连续系统常用的数学模型及其转换	19
2.2.1 面向方程的模型	19
2.2.2 面向结构图的模型	20
2.2.3 模型转换	22
2.3 数值积分法	32
2.3.1 常用的几种数值积分法	32
2.3.2 误差、收敛性与稳定性分析	40
2.3.3 数值积分法的选择与计算步长的确定	43
2.4 离散相似法	50
2.4.1 离散相似法的基本原理	50
2.4.2 保持器的类型	50

2.4.3	离散相似法的步骤	52
2.4.4	离散相似法的精度与稳定性	53
2.4.5	用数字补偿器提高离散相似法的精度和稳定性	54
2.5	转移矩阵法(时域离散相似法)	54
2.5.1	系统的离散状态空间模型	54
2.5.2	典型环节的离散状态空间模型	57
2.5.3	矩阵指数的计算	58
2.6	增广矩阵法	61
2.6.1	增广矩阵法的基本思想	61
2.6.2	典型输入作用下的增广矩阵	62
2.7	置换法	64
2.7.1	图斯汀置换法的推导	64
2.7.2	性质	66
2.8	根匹配法	66
2.9	时域矩阵法	69
2.10	仿真算法的几个问题	72
2.10.1	病态方程的仿真算法	72
2.10.2	实时仿真算法	72
2.10.3	仿真算法的选择与比较	74
2.11	基于数值积分法(面向方程)的连续系统仿真	75
2.11.1	系统的数学模型	75
2.11.2	系统的仿真模型	75
2.11.3	仿真程序的开发	76
2.12	基于离散相似法(面向结构图)的连续系统仿真	76
2.12.1	系统的数学模型	76
2.12.2	系统的仿真模型	77
2.12.3	编程技巧问题	77
第3章	采样控制系统仿真	80
3.1	引言	80
3.1.1	采样控制系统的组成	80
3.1.2	采样控制系统的特点	80
3.1.3	采样控制系统的仿真方法	81
3.2	采样控制系统仿真的一般方法	81
3.2.1	$T=T_s$ 仿真法	81
3.2.2	$T=T_s/M$ 仿真法	83
3.2.3	数字控制器采样周期的调整与脉冲传递函数的修正	85
3.2.4	纯延迟环节的仿真	86
3.3	采样控制系统仿真示例	87

第4章 离散事件系统仿真	90
4.1 引言	90
4.1.1 离散事件系统仿真的基本概念(术语)	90
4.1.2 离散事件系统仿真的一般步骤	93
4.2 离散事件系统的仿真策略	94
4.2.1 事件调度法	95
4.2.2 活动扫描法	96
4.2.3 三段扫描法	98
4.2.4 进程交互法	99
4.2.5 小结	101
4.3 离散事件系统仿真举例	102
4.3.1 单服务台排队系统	102
4.3.2 机器修理车间仿真	104
第5章 面向对象仿真	108
5.1 面向对象技术概述	108
5.1.1 面向对象概念	108
5.1.2 面向对象分析	110
5.1.3 面向对象设计	110
5.2 面向对象建模	111
5.2.1 面向对象建模技术	111
5.2.2 面向对象建模的一般过程	114
5.3 面向对象仿真	116
5.3.1 面向对象仿真技术	116
5.3.2 面向对象仿真的优点	119
5.3.3 面向对象仿真的基本内容	120
5.3.4 面向对象仿真软件	122
5.4 面向对象建模与仿真实例——虚拟战场环境建模与仿真	123
5.4.1 环境对象数据模型	123
5.4.2 面向对象的虚拟战场环境建模	124
5.4.3 面向对象的虚拟战场环境仿真实现	126
第6章 定性仿真	130
6.1 定性仿真综述	130
6.1.1 产生和发展	130
6.1.2 理论派别	131
6.1.3 应用与发展方向	131
6.2 Kuipers 定性仿真方法	132
6.2.1 引言	132
6.2.2 Kuipers 定性仿真原理	133
6.2.3 基本概念	133

6.2.4	约束的定义	134
6.2.5	定性状态转换规则	135
6.2.6	定性描绘图	135
6.2.7	QSIM 算法	136
6.3	Kuipers 定性仿真示例	137
6.3.1	系统描述	137
6.3.2	系统结构的定性描述	137
6.3.3	系统状态的定性知识	138
6.3.4	系统的初始状态	139
6.3.5	系统行为的预测	139
6.4	定性定量仿真简介	140
6.4.1	问题的提出	140
6.4.2	定性定量仿真的好处	140
6.4.3	定性定量仿真的研究方向	140
6.4.4	定性定量仿真的方法	141
第 7 章	半实物仿真	142
7.1	半实物仿真概述	142
7.1.1	半实物仿真技术	142
7.1.2	半实物仿真系统	143
7.2	视景仿真技术	146
7.2.1	三维建模技术	147
7.2.2	真实感三维图形生成技术	148
7.2.3	动画生成技术	149
7.2.4	实时视景生成和显示技术	149
7.3	运动特性仿真技术	151
7.3.1	运动控制系统技术	151
7.3.2	运动仿真系统技术	151
7.4	力与力矩特性仿真技术	153
7.4.1	随动负载特性仿真技术	153
7.4.2	力反馈/触觉技术	154
7.4.3	压力仿真技术	154
7.5	目标与环境特性仿真技术	155
7.5.1	可见光图像目标仿真技术	155
7.5.2	激光目标特性仿真技术	158
7.5.3	红外成像目标半实物仿真技术	162
7.5.4	雷达目标半实物仿真技术	166
第 8 章	分布交互仿真	168
8.1	概述	168
8.1.1	分布交互仿真的产生	168

8.1.2	分布交互仿真的发展	168
8.1.3	分布交互仿真的分类	171
8.2	体系结构	172
8.2.1	DIS 体系结构	172
8.2.2	HLA 体系结构	174
8.8.3	两种体系结构的互连	176
8.3	信息交换标准	177
8.3.1	引言	177
8.3.2	DIS 协议	177
8.3.3	HLA 标准	180
8.4	DR (Dead reckoning)算法	184
8.4.1	DR 算法描述	184
8.4.2	推算定位模型(DRM)表示法	184
8.4.3	推算定位公式	185
8.4.4	DR 算法的执行过程	186
8.5	时钟同步	187
8.5.1	时钟同步的概念	187
8.5.2	同步方法分类	187
8.5.3	硬件同步	187
8.5.4	软件同步方法	188
8.6	计算机生成兵力	190
8.6.1	引言	190
8.6.2	CGF 系统组成与工作过程	191
8.6.3	CGF 行为仿真	192
8.7	仿真管理技术	193
8.7.1	引言	193
8.7.2	分布交互仿真管理的主要内容	194
第9章	模型与仿真的 VV&A 及可信度评估	196
9.1	概述	196
9.1.1	问题的提出	196
9.1.2	仿真可信度研究的发展状况	196
9.1.3	仿真可信度研究中的关键问题	197
9.2	模型与仿真的 VV&A	198
9.2.1	VV&A 的概念	198
9.2.2	有关人员及其职责	198
9.2.3	VV&A 的基本原则	199
9.2.4	VV&A 的工作过程	199
9.2.5	模型文档	201

9.3	模型校核方法	202
9.4	模型验证方法	203
9.4.1	可用于模型验证的软件验证方法	203
9.4.2	模型验证的常用方法介绍	205
9.5	仿真可信度	213
9.5.1	仿真逼真度的概念	213
9.5.2	仿真可信度的概念	214
9.5.3	仿真可信度与 VV&A 的关系	215
9.6	分布交互仿真可信度	216
9.6.1	引言	216
9.6.2	分布交互仿真系统可信度分析的技术途径	217
第 10 章	系统仿真试验	219
10.1	引言	219
10.2	仿真试验基础	220
10.2.1	基本术语	220
10.2.2	仿真试验步骤	221
10.2.3	仿真试验设计的条件	222
10.2.4	仿真试验设计的作用	222
10.3	仿真试验设计方法	222
10.3.1	全面试验法	222
10.3.2	坐标轮换法 (多次单因素试验法)	223
10.3.3	正交试验设计法	223
10.3.4	均匀试验设计法	224
10.4	仿真试验数据分析	225
10.4.1	输入数据分析 ^[50]	225
10.4.2	输出数据分析	226
10.5	提高仿真精度的方差缩减技术	236
10.5.1	公用随机数法	236
10.5.2	对偶变量法	237
10.5.3	重要采样法	238
10.5.4	相关采样法	238
10.5.5	控制变量法	238
10.6	试验设计最优化	239
附录 1	拉普拉斯变换和 Z 变换	241
附录 2	习题与思考题	247
附录 3	仿真实验	256
参考文献		259

第1章 绪论

1.1 引言

“仿真”一词译自英文 Simulation, 另一个曾经用过的译名是“模拟”。从字面上解释, “仿真”和“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 20 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进行试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成为一门独立的学科。

1.2 系统、模型与仿真

1.2.1 系统

1.2.1.1 系统的定义

“系统”是一个内涵十分丰富的概念, 很难给它下一个准确的定义。戈登(G. Gordon)在其所著的《系统仿真》一书中写到:“系统这个术语已经在各个领域用得如此广泛, 以致很难给它下一个定义。”关于系统的定义, 国内外学术界从不同的角度提出了种种不同的看法, 也就是说有很多不同的定义。系统一词最早见于古希腊原子论创始人德漠克利特(公元前 460—公元前 370 年)的著作《世界大系统》一书。该书明确地论述了关于系统的含义:“任何事物都是在联系中显现出来的, 都是在系统中存在的, 系统联系规定每一事物, 而每一联系又能反映系统联系的总貌。”戈登在总结前人思想的基础上, 将系统定义为“按照某些规律结合起来, 互相作用、互相依存的所有实体的集合或总和”。

对我们来说, 重要的是理解其含义。这里给出一种普遍接受的定义:系统是由互相联系、互相作用的对象(要素、部件)构成的具有特定功能的有机整体。

值得说明的是, 应广义理解系统, 其概念是很广的, 大至无限的宇宙世界, 小到分子、原子, 都可称之为系统。可以说, 仿真中所研究的一切对象都可称为系统。

例 1.1 坦克推进系统

该系统由动力装置—发动机(动力特性、燃油消耗)、传动装置(离合器、传动箱、变速箱、侧减速器、主动轮)、行动装置(诱导轮、履带、悬挂装置)及操纵装置组成, 将燃料燃烧产生的热能转变为机械能, 经过传输、控制, 使坦克获得机动性能, 实现坦克运动, 并保障坦克平稳行驶和通过难行地面与障碍物等。

在定义一个系统时, 首先要确定系统的边界。尽管世界上的事物是相互联系的, 但我们研究某一对象时, 总是要将该对象与其环境区别开来。边界的划分在很大程度上取

决于系统研究的目的。边界确定了系统的范围,边界以外的环境对系统的作用称为系统的输入;系统对边界以外的环境的作用称为系统的输出。

环境:边界之外,对系统有影响的外界因素。

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”,即实体、属性、活动。实体确定了系统的构成,也就确定了系统的边界;属性也称为描述变量,描述每一实体的特征;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。

实体:组成系统的具体对象。

如例中的动力装置、传动装置、行动装置、操纵装置。

属性:实体所具有的某些特征。

如例中操纵装置的行程、操纵力;动力装置的转速、输出扭矩、燃油消耗;传动装置的各种旋转件转速、传递扭矩;行动装置的速度、转速、行程。

活动:特定长度时间内引起系统变化的过程。

如例中动力装置转速和扭矩的增减、操纵装置行程的改变、传动装置传动比的改变、行动装置行程的改变。

系统的运动、发展、变化,在不同的时刻系统中实体属性可能不同,这种变化通常用状态的概念加以描述。

状态: t 时刻系统中实体、属性、活动的信息总和称为系统在该时刻的状态,用状态变量描述。

1.2.1.2 系统的分类

1. 按照系统的特性分类

系统可分为工程系统和非工程系统。

工程系统是指人们为了满足某种需要或实现某个预定的功能,采用某种手段构造而成的系统,如机械系统、电气系统、化工系统、武器系统等。工程系统有时也称作物理系统。

非工程系统是指由自然和社会在发展过程中形成的、被人们在长期的生产劳动和社会实践中逐步认识的系统,如社会系统、经济系统、管理系统、交通系统、生物系统等。非工程系统有时也称作非物理系统。

2. 按照系统中起主要作用的状态随时间的变化分类

系统可分为连续系统和离散事件系统。

连续系统是指状态随时间连续变化的系统。

离散事件系统是指状态的变化在离散的时间点上发生,且往往又是随机的。

3. 按照对系统内部特性的了解程度分类

系统可分为白色系统、黑色系统和灰色系统。

白色系统是指内部特性全部已知的系统。

黑色系统是指内部特性全部未知的系统。

灰色系统是指内部特性部分已知,部分未知的系统。

4. 按照系统的物理结构和数学性质分类

系统可分为:线性系统和非线性系统,定常系统和时变系统,集中参数系统和分布参

数系统,单输入单输出系统和多输入多输出系统等。

5. 按照系统内子系统的关联关系分类

根据系统的本质属性,按照系统内子系统的关联关系系统可分为简单系统和复杂系统。

简单系统是指组成系统的子系统数量较少,因而它们之间的关系也比较简单,或尽管子系统数量多或巨大,但它们之间的关联关系比较简单,则称为简单系统。按照子系统的数量级,简单系统还可分为小系统(子系统数量为几个、十几个)、大系统(子系统数量为几十个、上百个)以及简单巨系统(子系统数量成千上万、上百亿、万亿)。对于某些非生命系统,例如,一台测量仪器可视为一个小系统,这类系统用传统的数学、物理学、化学可以很好地描述;一个仅考虑产品生产的普通工厂可视为一个大系统,这类系统可以用控制论、信息论和运筹学的部分内容加以研究。总之,研究这些简单系统可以将各子系统之间的相互作用直接综合为整体系统的功能。简单巨系统的子系统数量巨大,但子系统差别较少,因而反映出此类系统的子系统种类少,关联关系也比较简单。例如,激光系统就是简单巨系统,中国围棋也可视为简单巨系统。这类系统无法用研究简单小系统和大系统的方法解决,连巨型计算机也不够使用。对于这类系统,由于子系统往往具有共同特点,因此可把亿万个分子组成的巨系统的功能略去细节,而用19世纪后半叶发展起来的统计力学进行概括处理。处理这种系统的理论近20年来发展很快,如耗散结构理论和协同学。

另一类系统称为复杂系统。它们最主要的特征是系统具有众多的状态变量,反馈结构复杂,输入与输出呈现非线性特征,或将上述特点简单称为高阶次、多回路及非线性。如果复杂系统中的子系统数量极大,种类又很多,它们之间的关联关系很复杂,就称为复杂巨系统,尽管这类系统有客观的确定规律,但子系统的差别造成了规律的多样化。目前研究复杂巨系统还处于探索阶段,方法还很不成熟。如人体系统、地理系统、星系系统都是复杂巨系统。这些系统在结构、功能、行为、演化等方面,十分复杂,至今仍有大量问题还不了解。

6. 按照子系统的数量分类

系统可分为小系统、大系统、巨系统。巨系统又可分为简单巨系统与复杂巨系统。自然界、人本身及人类社会都广泛存在着复杂巨系统。

对于复杂巨系统,如果它与外界有能量、信息及物质的交换,则称为开放的复杂巨系统。

不包括人的意识及其活动在内的系统称为自然系统。包括人的因素的系统称为社会系统;社会系统显然是复杂系统。钱学森教授认为,社会系统(如经济、政治、军事、科学技术、人口系统等)可称为开放的复杂巨系统。这类系统的复杂性不仅是子系统种类多,各有其定性模型,而且子系统间及与外界存在着各种方式的信息交流和积累;子系统的结构也在随着系统的进展不断变化。社会系统的基本单元——人本身就是一个复杂巨系统,人是有意识、有主观能动性的。人的行为是决定社会系统行为的非常重要的基础。这就使得社会系统中不同行为的人或子系统间的关系异常复杂。因此社会系统的规律往往复杂、多变,难以把握。

1.2.2 模型

1.2.2.1 模型的定义

为了研究、分析、设计和实现一个系统,需要进行试验。试验的方法基本上可以分为两大类:一类是直接在真实系统上进行;另一类是先构造模型,通过对模型的试验来代替或部分代替对真实系统的试验。传统上大多采用第一类方法,随着科学技术的发展,尽管第一类方法在某些情况下仍然是必不可少的,但第二类方法日益成为人们更为常用的方法,主要原因如下:

(1) 系统还处于设计阶段,真实系统尚未建立,人们需要更准确地了解未来系统的性能,只能通过对模型的试验来了解。

(2) 在真实系统上进行试验可能会引起系统破坏或发生故障,例如,对一个处于运行状态的化工系统或电力系统进行没有把握的试验将会冒巨大的风险。

(3) 需要进行多次试验时,难以保证每次试验的条件相同,因而无法准确判断试验结果的优劣。

(4) 试验时间太长或试验费用昂贵。

因此,在模型上进行试验日益为人们所青睐,建模技术也就随之发展起来。模型可以理解为:为了某个特定目的将系统的某一部分信息简缩、提炼构造而成的系统替代物,是系统某种性能的一种抽象形式。

1.2.2.2 模型的分类

模型可分为物理模型和数学模型两大类。

1. 物理模型

物理模型与实际系统有相似的物理性质。这些模型可以是按一定比例缩小(或放大)了的实物外形,如沙盘模型、风洞试验中的飞行器外形和船体外形等。或是生产过程中试制的样机模型,如导弹上的陀螺等。

2. 数学模型

数学模型是用抽象的数学方程描述系统内部物理变量之间的关系而建立起来的模型。通过对系统的数学模型研究可以揭示系统的内在运动和系统的动态性能。

数学模型又可以分为静态模型和动态模型两类。

(1) 静态模型。静态模型的一般形式是代数方程、逻辑关系式。如理想电位器的转角和输出电压之间的关系式或继电器的逻辑关系式等。

(2) 动态模型。动态模型又可分为连续系统动态模型和离散系统动态模型。

① 连续系统动态模型。连续系统动态模型有确定型动态模型和随机型动态模型。确定型动态模型又分为集中参数动态模型和分布参数动态模型两种。集中参数动态模型描述系统运动用的是常微分方程、状态方程和传递函数。分布参数动态模型描述热传递过程的偏微分方程。

② 离散系统动态模型。离散系统动态模型可分为时间离散系统动态模型和离散事件动态模型。

a. 时间离散系统动态模型。时间离散系统又称为采样控制系统,一般用差分方程、离

散状态方程和脉冲传递函数来描述。这种系统的特性其实是连续的,仅仅在采样的时刻点上来研究系统的输出。各种数字式控制器的模型均属于这一类。

b. 离散事件动态模型。离散事件系统的输出不完全由输入作用的形式描述,往往存在着多种可能的输出。它是一个随机系统,如库存系统、管理车辆流通的交通系统、排队服务系统等。输入和输出在系统中是随机发生的,一般要用概率模型来描述这种系统。

1.2.3 仿真

1.2.3.1 仿真的定义

1961年,摩根扎特(G. W. Morgenthater)首次对“仿真”进行了技术性定义,即“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实现”。另一个典型的对“仿真”进行技术性定义的是科恩(Korn)。他在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试验”。1982年,斯普瑞特(Spriet)进一步将仿真的内涵加以扩充,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”。奥伦(Oren)于1984年在给出了“仿真”的基本概念框架“建模—试验—分析”的基础上,提出了“仿真是一种基于模型的活动”的定义,被认为是现代仿真技术的一个重要概念。实际上,随着科学技术的进步,特别是信息技术的迅速发展,“仿真”的技术含义不断地得以发展和完善,从艾伦(A. Alan)和普里茨克(B. Pritzker)撰写的“仿真定义汇编”一文可以清楚地观察到这种演变过程。无论哪种定义,仿真基于模型这一基本观点是相同的。

综上所述,“系统、模型、仿真”三者之间有着密切的关系。系统是研究的对象,模型是系统的抽象,是仿真的桥梁,试验是仿真的手段。所以,仿真可以定义为:通过对模型的试验以达到研究系统的目的,或用模型对系统进行试验研究的过程。从广义上讲,仿真就是利用相似学的基本原理,通过研究某种事物来研究与之相似的另一种事物的过程。

仿真技术是伴随着计算机技术的发展而发展的。在计算机出现之前,基于物理模型的试验一般称为“模拟”,它一般附属于其他相关学科。自从计算机特别是数字计算机出现以后,其高速计算能力和巨大的存储能力使得复杂的数值计算成为可能,数字仿真技术得到蓬勃的发展,从而使仿真形成一门专门学科——系统仿真学科。

1.2.3.2 仿真的分类

可以从不同的角度对仿真加以分类。比较典型的分类方法是:根据仿真系统的结构和实现手段分类;根据仿真所采用的计算机类型分类;根据仿真时钟与实时时钟的比例关系分类;根据系统模型的特性分类。

1. 根据仿真系统的结构和实现手段分类

根据仿真系统的结构和实现手段不同可分为以下几大类,即物理仿真、数学仿真、半实物仿真、人在回路中仿真、软件在回路中仿真。

(1) 物理仿真。按照真实系统的物理性质构造系统的物理模型,并在物理模型上进行试验的过程称为物理仿真。物理仿真的优点是直观、形象。在计算机出现以前,基本上是物理仿真。物理仿真的缺点是模型改变困难,试验限制多,投资较大。

(2) 数学仿真。对实际系统进行抽象,并将其特性用数学关系加以描述而得到系统的数学模型,对数学模型进行试验的过程称为数学仿真。计算机技术的发展为数学仿真