

系统建模与仿真

► 赵雪岩 李卫华 孙鹏 编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

系统建模与仿真

赵雪岩 李卫华 孙 鹏 陈校平 编 著
唐 剑 张少华 徐继明 刘东洋



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

全书共分 10 章,主要介绍系统建模与仿真的基本概念、系统数学建模的基本理论和方法、连续系统建模与仿真、离散事件系统建模与仿真、随机系统的数学建模与仿真、高层建模与仿真方法、分布式交互仿真技术、复杂系统建模与仿真、建模与仿真的 VV&A 以及仿真工具与平台介绍等。本书集知识与技能于一体,内容具有系统性、科学性、实用性和前瞻性,突出军事应用特色,论述深入浅出,结构组织合理。

本书可作为高等院校理工科、军事学科各专业的硕士研究生通用教材,也可作为系统工程、计算机应用等专业的高年级本科生教材或教学参考书,还可供有关工程技术人员自学与参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统建模与仿真/赵雪岩,李卫华,孙鹏编著. —北京:
国防工业出版社,2015.5

ISBN 978-7-118-09975-1

I. ①系… II. ①赵… ②李… ③孙… III. ①系统
建模 ②系统仿真 IV. ①N945.12 ②TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 077985 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 100048)

三河市天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19¼ 字数 456 千字

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 65.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

前 言

系统建模与仿真是一门通用的支撑性高新技术,具有学科面广、综合性强、实践性强、应用领域宽、重复可控、安全经济等独特优点,已成为现代工程实验和科学研究的主要技术手段,并广泛应用于国防军事和国民经济的各个领域。

为能满足当前和今后一定时期内的教学实际与专业需求,我们编写了这部教材。在本书的编写过程中力求做到基础理论与技术应用贴近军事领域,收录案例经典实用,使之更适用于军校研究生教学实际。本书跟踪前沿知识,吸收先进理论方法,注重拓宽研讨空间,以此让学生开阔视野,更新思路,引发研究兴趣,培养和提高创新能力。

全书共分 10 章,主要介绍系统建模与仿真的基本概念、系统数学建模的基本理论和常用方法、连续系统建模与仿真方法、离散事件系统建模与仿真方法、随机系统的数学建模与仿真技术、高层建模与仿真方法、分布式交互仿真技术、复杂系统建模与仿真、建模与仿真的 VV&A 等。本书注重选材的科学性、先进性和实用性,突出军事应用特色。

本书由赵雪岩组织编写。编写组成员有赵雪岩、李卫华、孙鹏、陈校平、唐剑、张少华、徐继明、刘东洋;编写过程中得到了作者所在单位及张科英、李曼、刘彬、徐鑫等在文档、实验方面的实际帮助。

本书在总结教学和科研实践的基础上,参阅了大量相关著作和文献,吸收了前辈与同行们许多辛勤劳动的成果,直接或间接地引用了他们的观点,才得以给读者完美正确的表述,在此表示由衷地感谢,不周之处深表歉意。

本书在编写过程中得到了各位同仁的不吝指教和大力支持,同时得到了院部学科的部分经费资助,在此一并表示感谢。

由于作者水平和经验有限,书中错误在所难免,敬请同行专家和读者批评指正。

作 者

2014 年 10 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 系统建模与仿真基本概念	1
1.1.1 系统的概念及分类	1
1.1.2 模型的概念及分类	2
1.1.3 仿真及仿真计算机	2
1.2 系统仿真分类	4
1.3 系统仿真技术的应用及发展	6
1.3.1 建模与仿真技术的发展历史	6
1.3.2 现代建模仿真技术体系	8
1.3.3 系统仿真技术的军事应用	9
1.4 系统仿真的实现	10
1.4.1 仿真算法和仿真软件(平台)	10
1.4.2 仿真的实现	11
问题思考与研究	12
参考文献	12
第2章 系统建模基础	13
2.1 概述	13
2.1.1 数学模型的分类	13
2.1.2 建模的基本方法及原则	14
2.1.3 建模步骤	15
2.2 相似理论	16
2.2.1 相似的概念及类型	16
2.2.2 相似定理	18
2.3 系统建模的一般方法	19
2.3.1 建模的逻辑思维方法	19
2.3.2 机理分析法建模	21
2.3.3 直接相似法建模	22
2.3.4 概率统计法建模	23
2.3.5 系统辨识法建模	24

2.3.6	图解建模法	27
2.4	层次分析法	29
2.4.1	层次分析法的基本原理	29
2.4.2	层次分析法的具体步骤	31
2.4.3	应用实例	35
2.5	军事作战系统的基本模型建立	39
2.5.1	兰彻斯特第一线性定律	39
2.5.2	兰彻斯特第二线性定律	41
2.5.3	兰彻斯特平方定律	42
2.5.4	曲曼混合定律	43
2.5.5	扩展兰彻斯特方程	44
2.5.6	组合战斗兰彻斯特线性定律	45
2.5.7	考虑指挥效率的兰彻斯特方程	46
	问题思考与研究	47
	参考文献	48

第3章 连续系统建模与仿真 49

3.1	连续系统的数学模型	49
3.1.1	常用确定性数学模型	49
3.1.2	数学模型间的转换	50
3.1.3	离散时间系统数学模型	56
3.2	微分方程建模方法	57
3.2.1	微分方程建模方法及步骤	57
3.2.2	常微分方程建模举例	57
3.3	连续系统仿真的数值积分法	60
3.3.1	数值积分法原理	61
3.3.2	欧拉方法	61
3.3.3	梯形法	62
3.3.4	龙格-库塔法	63
3.3.5	亚当姆斯法	66
3.3.6	算法稳定性问题	68
3.4	连续系统的离散化仿真	71
3.4.1	替换法	71
3.4.2	根匹配法	75
3.4.3	离散相似法	76
3.5	分布参数连续系统的建模与仿真	83
3.5.1	分布参数系统建模方法	83

3.5.2 分布参数系统仿真算法	85
问题思考与研究	89
参考文献	90
第4章 离散事件系统建模与仿真	91
4.1 离散事件系统模型	91
4.1.1 离散事件系统的基本要素	91
4.1.2 离散事件系统建模	92
4.1.3 离散事件系统仿真模型结构	93
4.2 离散事件系统仿真基本策略	94
4.2.1 事件调度法	94
4.2.2 活动扫描法	96
4.2.3 进程交互法	98
4.3 仿真时钟推进机制	100
4.4 排队系统	104
4.4.1 排队系统的基本概念	104
4.4.2 排队系统的建模	104
4.4.3 排队系统的模型分类及符号表示	106
4.4.4 排队系统的仿真	106
4.4.5 应用举例	108
4.5 库存系统	112
4.5.1 库存系统的基本概念	112
4.5.2 确定型库存系统	113
4.5.3 随机型库存系统	114
4.5.4 库存系统的仿真	115
4.6 Petri 网建模	116
4.6.1 Petri 网的基本概念	117
4.6.2 Petri 网的类型及其特点	120
4.6.3 Petri 网的性能分析	120
4.6.4 petri 网的扩展	121
4.6.5 Petri 网应用举例	122
问题思考与研究	127
参考文献	128
第5章 随机系统建模与仿真	130
5.1 随机模型的确定	130
5.1.1 常用的理论分布类型	130

5.1.2	已知分布类型估计分布参数	131
5.1.3	假定分布类型	134
5.1.4	经验分布	136
5.2	随机数的产生	137
5.2.1	伪随机数	137
5.2.2	伪随机数产生方法	138
5.2.3	伪随机数序列的检验和确认	140
5.3	随机变量的实现	142
5.3.1	反变换法	142
5.3.2	组合法	144
5.3.3	舍选法	145
5.3.4	卷积法	146
5.4	蒙特卡洛仿真法	147
5.4.1	蒙特卡洛仿真法的基本原理	147
5.4.2	蒙特卡洛仿真法的主要步骤	148
5.4.3	蒙特卡洛仿真法应用举例	149
5.5	隐马尔可夫模型研究	152
5.5.1	隐马尔可夫模型定义	153
5.5.2	隐马尔可夫模型的三个基本问题	153
5.5.3	隐马尔可夫模型的典型应用	155
	问题思考与研究	160
	参考文献	160

第6章 新型建模与仿真方法 162

6.1	面向对象的建模与仿真	162
6.1.1	面向对象的基本概念和特征	162
6.1.2	面向对象建模技术	165
6.1.3	面向对象仿真	168
6.2	统一建模语言	170
6.2.1	UML 语法和语义	170
6.2.2	UML 视图	171
6.2.3	UML 的扩展机制	172
6.2.4	UML 建模应用	172
6.3	基于 Agent 的建模与仿真方法	175
6.3.1	Agent 的定义	175
6.3.2	Agent 体系结构	175
6.3.3	多 Agent 系统	176

6.3.4	基于 Agent 的建模过程	176
6.3.5	基于 Agent 的仿真过程	178
6.3.6	Agent 建模案例	178
6.4	多分辨率建模技术	180
6.4.1	多分辨率建模的基本概念	180
6.4.2	多分辨率建模方法	181
6.5	虚拟现实与分布式虚拟现实技术	182
6.5.1	技术特征	183
6.5.2	技术发展和应用	183
6.6	多媒体仿真技术	184
6.6.1	多媒体仿真的概念	184
6.6.2	多媒体仿真对象建模方法	185
6.7	一体化仿真技术	186
6.7.1	一体化仿真概念	186
6.7.2	典型一体化仿真环境	186
	问题思考与研究	187
	参考文献	188

第 7 章 分布式交互仿真 189

7.1	分布式交互仿真概述	189
7.1.1	概念及特点	189
7.1.2	发展历程	189
7.1.3	应用领域	191
7.2	DIS 体系结构	192
7.2.1	DIS 系统结构	192
7.2.2	DIS 系统的关键技术	194
7.3	仿真通用技术框架	195
7.3.1	任务空间概念模型	195
7.3.2	高层体系结构	197
7.3.3	数据标准	197
7.4	HLA 规则	198
7.4.1	联邦规则	198
7.4.2	联邦成员规则	199
7.5	HLA 对象模型模板	201
7.5.1	概述	201
7.5.2	对象模型鉴别表	202
7.5.3	对象类结构表	204

7.5.4	交互类结构表	206
7.5.5	属性表	209
7.5.6	参数表	213
7.5.7	属性表/参数表的子表	216
7.5.8	路径空间表	217
7.5.9	FOM/SOM 词典	219
7.6	HLA 接口规范	220
7.6.1	概述	220
7.6.2	联邦管理	223
7.6.3	声明管理	224
7.6.4	对象管理	225
7.6.5	所有权管理	226
7.6.6	时间管理	227
7.6.7	数据分发管理	229
7.7	联邦开发过程	230
7.8	HLA 程序设计基础	232
7.8.1	联邦执行生命周期	232
7.8.2	程序框架	233
7.9	HLA 仿真应用实例	235
7.9.1	体系对抗型仿真系统	235
7.9.2	航空兵攻防对抗分布仿真系统	236
	问题思考与研究	239
	参考文献	239

第8章 复杂系统建模与仿真 241

8.1	概述	241
8.1.1	复杂系统的定义与特征	241
8.1.2	复杂系统研究方法	242
8.1.3	复杂适应系统	243
8.1.4	复杂工程系统	245
8.1.5	复杂系统理论与方法的应用领域	245
8.2	复杂系统建模方法	248
8.2.1	复杂系统的建模方法综述	248
8.2.2	智能体与多智能体系统	250
8.2.3	MAS 建模	254
8.2.4	复杂适应系统的模型	258
8.3	复杂系统仿真方法	262

8.3.1 基于 Swarm 平台的仿真实现	262
8.3.2 复杂适应系统仿真设计	267
问题思考与研究	273
参考文献	273
第9章 仿真语言与仿真工具简介	274
9.1 仿真语言	274
9.1.1 概述	274
9.1.2 仿真语言的分类	274
9.1.3 仿真语言的特点	275
9.2 MATLAB/Simulink 仿真平台简介	276
9.2.1 Simulink 概述	276
9.2.2 Simulink 主要特点	276
9.2.3 Simulink 的使用	277
9.3 Swarm – Multi – Agent 的仿真平台	277
9.3.1 Swarm – Multi – Agent 概述	277
9.3.2 应用 Swarm 进行仿真的基本过程	277
9.3.3 应用 Swarm 仿真的实例	278
9.4 HLA 仿真开发平台	278
9.4.1 概述	278
9.4.2 LabWorks 介绍	279
9.4.3 pRTI 介绍	280
9.5 FLAMES 仿真开发平台	280
9.5.1 FLAMES 简介	280
9.5.2 FLAMES 的基本组成	281
9.5.3 FLAMES 安装后的文件体系说明	282
问题思考与研究	283
参考文献	284
第10章 建模与仿真的校核、验证与确认	285
10.1 概述	285
10.1.1 VV&A 的基本概念	285
10.1.2 VV&A 的基本原则	286
10.1.3 VV&A 的基本工作过程	287
10.2 VV&A 的主要技术方法	289
10.2.1 VV&A 的技术方法分类	289
10.2.2 模型校核方法	290

10.2.3	模型验证方法	290
10.3	仿真系统输出统计分析	292
10.3.1	系统性能测度估计	292
10.3.2	仿真运行类型	292
10.3.3	仿真输出统计分析方法	293
	问题思考与研究	294
	参考文献	295

第1章 绪 论

系统建模与仿真技术既是一门通用的支撑性技术,也是一门不断发展的高新技术。它具有学科面广、综合性强、实践性强、应用领域宽、无破坏性、重复可控、安全经济、不受环境条件限制等优点,已成为现代实验工程和科学研究的主要技术手段,广泛应用于国防军事和国民经济的各个领域。

1.1 系统建模与仿真基本概念

1.1.1 系统的概念及分类

1. 系统的概念

系统是由客观世界中相互联系、相互作用的若干实体结合组成的,具有特定功能和独立行为规律的有机整体。G. 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”。

系统可以是自然的或人工的、现已存在的或未来计划构建的。尽管世界上的系统千差万别,十分众多,但都可以用系统的“三要素”描述,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,描述每一个实体的特征;活动定义了系统内部实体的行为和相互之间的作用,从而确定了系统内部发生变化的过程。

系统无处不在,每一个人都生活在系统之中,而且是生活在多种多样、相互交叉、相互融合的系统之中,大至无垠的宇宙世界,小至原子分子。系统的含义包括了简单的事物、描述结构、显示过程、确定属性、区分功能,进而到描述纵横关系、层次关系等。

2. 系统的分类

为了便于分析和研究,可从不同角度对系统进行分类。

(1) 按照自然属性可分为人工系统(如各类工程技术系统、社会系统等)和自然系统(如天文系统、海洋系统、生态系统等)。

(2) 按照物质属性可分为实体系统(如网络系统、控制系统、武器系统)和概念系统(如思想体系、管理体制等)。

(3) 按照运动属性可分为静态系统和动态系统。

(4) 按照规模和结构状况可分为简单小系统和复杂大系统(如军事指挥作战系统、世界系统)。

(5) 按照控制论角度可分为开环系统和闭环系统。

(6) 按照系统与环境间关系可分为开放系统和封闭系统。

(7) 按照状态变化对时间关系可分为连续系统和离散事件系统。

1.1.2 模型的概念及分类

1. 模型的概念

构造一个系统的模型,在模型上进行实验已成为系统分析、研究十分有效的手段。为达到系统研究的目的,系统模型用来收集系统有关信息和描述系统有关实体。模型是对相应的真实对象和真实关系中有用的和令人感兴趣的特性的抽象,是对系统某些本质方面的描述,它以各种可用的形式提供被研究系统的描述信息。在模型研究中,被研究的实际系统称为原型,而原型的等效替身则称为模型。这种模型能够反映原型的表征和特性,且具有如下主要性质:

- (1) 普遍性:也称等效性,即一种模型与多个系统具有相似性。
- (2) 相对精确性:模型的近似度和精确性都不可超出应有限度和许可条件。
- (3) 可信性:具有良好的置信度。
- (4) 异构性:同一个系统的模型具有不同的形式和结构。
- (5) 通过性:模型可视为“黑箱”,通过研究其输入与输出外特性获取内部结构信息。

2. 模型的分类

模型的分类方法有很多种,在此将模型分为物理模型、概念模型、数学模型和仿真模型。

(1) 物理模型:一类是采用几何外观相似原理而建立的实体模型,如沙盘模型,以及用于水洞、风洞流场实验的各种缩比实物模型等,它们能够反映系统外在静态特征,但不能作为仿真实体接入仿真系统;另一类是物理效应设备,如转台、负载模拟器、人感系统等,它们能够反映某种物理模型的特性,可以接入仿真系统,参加动态运行。

(2) 概念模型:针对一种已有的或设想的系统,将其组成原理、目标要求、实现过程等,用文字、图表、技术规范、工作流程等文档来描述,反映系统中各种事物、实体、过程的相互关系,以及运行过程和最终结果,对系统进行非形式化概念框架描述。它可以作为进行相应仿真系统总体设计的概念描述,反映其系统功能是否具有完整性、相容性、连贯性和正确性;可以作为仿真系统建模开发的向导和开发人员与用户沟通理解的工具。

(3) 数学模型:采用数学符号与数学关系式对系统或实体内在的运动规律及与外部的作用关系进行抽象和对某些本质特征进行的形式化描述。

(4) 仿真模型:将数学模型通过某种数字仿真算法转换成能在计算机上运行的数字模型,即将数学模型离散化,建立相应的递推公式,便于进行迭代运算,是一类面向仿真应用的专用软件程序。因此,仿真模型与计算机操作系统、采用的编程语言和算法(有计算精度、稳定性、实时性要求)有密切关系。

1.1.3 仿真及仿真计算机

1. 仿真

1961年,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。1978 年, Korn 在《连续系统仿真》一书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 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。1984 年, Oren 在给出了仿真的基本概念框架“建模—实验—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 A. Alan 和 B. Pritsker 撰写的“仿真定义汇编”一文可以清楚地看到这种演变过程。无论哪种定义, 仿真基于模型这一基本观点是共同的, 仿真是通过模型的实验以达到研究系统的目的。

2. 系统仿真

通常为了强调所提及的仿真是针对一个系统, 采用术语“系统仿真”。系统仿真技术是以相似原理、控制理论、计算技术、信息技术及其应用领域的专业技术为基础, 以计算机和各种物理效应设备为工具, 利用系统模型对实际的或设想的系统进行动态实验研究的一门综合性技术。系统是研究的对象, 模型是系统的抽象, 仿真是对模型进行实验, 以达到研究系统的目的。现代仿真技术均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。系统仿真包含三个基本的活动, 即建立系统模型、构造仿真模型和进行仿真实验。联系这三个活动的是系统仿真的三要素, 即系统、模型(或包含某些实物)、计算机(或包含物理效应设备)。系统仿真三要素及相互关系如图 1-1 所示。在整个建模与仿真的过程中贯穿了对模型及仿真结果的校核(Verification)、验证(Validation)与确认(Accreditation)(VV&A)。

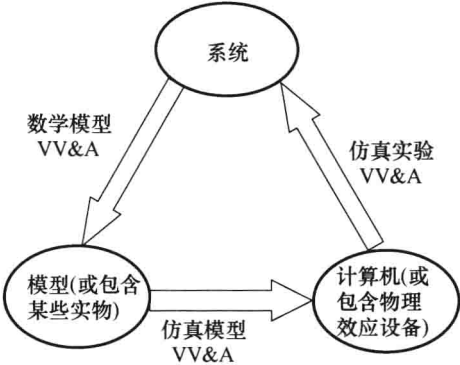


图 1-1 系统仿真三要素及相互关系

3. 仿真计算机

用于仿真模型解算的计算机称为仿真计算机。它是仿真系统的核心部分, 是仿真活动的载体。随着计算机技术的发展, 仿真计算机不断更新换代并推动仿真技术的发展。仿真计算机经历了模拟计算机、混合计算机、数字计算机的发展历程。相应地, 仿真的发展也经历了模拟仿真、混合仿真、数字仿真三个阶段。

美国 1978 年研制出全数字仿真机 AD10, 1986 年又开发出 SYSTEM100 专用全数字仿真机。中国自行研制的银河系列 YH-F1 及 YH-F2 全数字仿真计算机系统分别在 1985 年和 1993 年通过国家鉴定并广泛应用于国内航空、航天等部门。20 世纪 90 年代数字计算机和个人计算机及网络技术迅速发展, 采用通用数字计算机和微机联网系统在各个仿真领域得到广泛应用。近十几年来, 基于 RISC 技术及并行计算机技术的发展, 配有面向问题仿真软件的通用高性能微机、工作站及并行机已成为仿真机的主流。目前, 随着高性能计算与组网(High Performance Computing and Networking, HPCN)技术的发展与应用, 基于网络机群的分布计算机系统正在迅速发展。

1.2 系统仿真分类

1. 按被仿真系统特征分类

1) 连续系统仿真

若一个系统的状态变化(如飞机或导弹的位置、姿态、速度等)在时间上是连续的,而且与在空间的位置变化无关,则称为集中参数型连续系统。它采用线性或非线性微分方程、传递函数、状态方程等数学模型描述。

若一个系统,如热传导系统、电力传输系统,其状态变量的变化不仅依赖于时间连续变化,而且与空间位置有关,则称为分布参数型连续系统。它采用偏微分方程数学模型描述。

若计算机控制系统的输入、输出及其内部状态变量均是某些时间点上的离散函数,则称为线性离散系统或采样系统或离散时间系统。它是以实际连续系统为基础,在时间点上离散化得到的,可采用差分方程数学模型来描述。

根据以上数学模型建立相应仿真模型并在计算机上运行和实验,称为连续系统仿真。

2) 离散事件系统仿真

若一个系统,如通信系统、交通管理系统、武器装备管理与控制系统等,系统状态变化发生在离散的随机时间点上,且很难用函数表达出来,则称为离散事件系统。该类系统可以用概率分布、排队论等数学模型来描述。在计算机上建立相应的仿真模型并运行和实验,称为离散事件系统仿真。

2. 按仿真时钟与自然时间的比例关系分类

1) 实时仿真

实时仿真是指仿真时钟推进时间与自然时间完全一致,二者的比例因子等于1。

2) 欠实时仿真

欠实时仿真是指仿真时钟推进时间比自然时间慢,二者的比例因子小于1。

3) 超实时仿真

超实时仿真是指仿真时钟推进时间比自然时间快,二者的比例因子大于1。

3. 按仿真系统的结构和实现手段不同分类

1) 数学仿真

数学仿真是指实际系统全部由数学模型替代,并把数学模型变成仿真模型在计算机上运行和实验的过程。

2) 物理仿真

物理仿真又称物理效应仿真,是指研制某些硬件结构(实体模型),使之可重现系统的各种状态,而不必采用昂贵的原型。

3) 硬件在回路仿真

硬件在回路仿真又称半实物仿真,通常是指把数学模型、实体模型和系统的部分实际设备(实物)联系在一起运行的仿真系统。由于回路中接入实物(如传感器、控制计算机、伺服执行机构、指挥通信设备、转台、负载模拟器等),硬件在回路仿真系统必须实时

运行。

4) 软件在回路仿真

软件在回路仿真系统中的软件是真实系统中专用设备的软件,如武器系统中的战术决策、信息处理、控制软件。这类仿真又称为嵌入式仿真。

5) 人在回路仿真

人在回路仿真通常是为人操作技能训练或指挥决策能力训练而建立的仿真系统,或者是用于有人操纵系统(如飞机、船舶、车辆等)的设计、实验与评估。人是仿真系统中不可缺少的环节,要着重解决人的感觉环境的仿真生成技术,其中包括视觉、听觉、动感、力反馈等仿真环境。由于人及各种物理效应设备都在回路中,因此仿真系统必须实时运行,计算迭代速率和系统延迟应该满足仿真对象的响应特性、人的生理特性和响应能力的要求。

4. 按仿真系统体系结构分类

1) 单平台仿真

早期的仿真系统多是以一台计算机、一个仿真对象(如一架飞机、一枚导弹、一艘舰船)及相关的仿真设备构成一个单平台仿真系统,利用该仿真系统可以进行真实设备或系统的设计、分析、实验与评估,或是进行人员操作技能的培训。

2) 分布交互仿真

分布交互仿真(Distributed Interactive Simulation, DIS)是指采用协调一致的结构、标准、协议和数据库,通过局域网或广域网将分散在各地的仿真设备互连,形成可参与的综合性仿真环境。

多平台分布交互式仿真中按虚实结合程度通常又可分为虚拟仿真、构造仿真和实况仿真三种类型。

虚拟仿真是指由作战人员操作仿真的武器系统进行的作战仿真,即人在回路中的仿真。

构造仿真是指仿真中的所有实体均由计算机模型产生,即由仿真的人操作仿真的武器系统进行的仿真。

实况仿真是由真实的战斗人员使用真实的武器和保障系统,在尽可能真实的作战环境中进行的作战演习。

目前国内外的分布仿真系统多采用基于高层体系结构/运行时间框架(HLA/RTI)的体系结构。

5. 按系统数学模型描述方法分类

1) 定量仿真

定量仿真是指仿真系统中的模型均为基于一定机理、算法建立起来的确定性模型,其输入与输出参数也是用一定的数值表示的。例如:动力学系统、过程控制系统、电路系统等连续系统的数学模型主要是基于微分方程描述,仿真模型可以采用不同的离散算法。对于在时间点上离散的各种采样系统,可以直接采用差分方程来描述,其输入与输出参数、初始条件也是定量的。

2) 定性仿真

定性仿真在本质上是一种非数值化表示的建模与仿真方法,即仿真系统中的模型及输入与输出信息、行为表示与分析均采用一种模糊的、不确定性的、非量化的表示。相对