



计算机

仿真技术与应用

吴旭光 王新民 编著



西北工业大学出版社

TP391.9

450328

W96

计算机仿真技术与应用

吴旭光 王新民 编著

西北工业大学出版社

1998年2月 西安

(陕)新登字 009 号

JS133/19

【内容简介】 系统仿真是利用计算机对各种复杂系统进行分析、设计的有力工具,其应用和影响已遍及众多的工程领域和非工程领域。本书对系统仿真实论、技术以及仿真方法学、软件和应用做了详细的论述。主要内容有:面向微分方程仿真、面向结构图仿真、快速仿真、优化技术和仿真语言;还讲述了一体化仿真技术、面向对象仿真技术、仿真专家系统、建模方法学等最新研究的领域。

本书可用作高等理工院校本科生和研究生的教材,也可供从事系统控制、系统仿真的科研人员和工程技术人员参阅。

计算机仿真技术与应用

吴旭光 王新民 编著

责任编辑 王 璐

责任校对 樊 力

*

©1998 西北工业大学出版社出版发行

(邮编:710072 西安市友谊西路127号 电话:8493844)

全国各地新华书店经销

空军电讯工程学院印刷厂印装

ISBN 7-5612-1004-3/TP·141

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:11.625 字数:282 千字

1998年2月第1版

1998年2月第1次印刷

印数:1—3 000 册

定价:12.00 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

系统仿真技术是建立在系统科学、系统辨识、控制理论、计算机技术和计算方法等学科上的一种综合性很强的实验科学技术。它是分析、综合各类系统的一种研究方法和有力的手段。

本书的前身是作者在1991年编写的《控制系统计算机仿真》讲义。该讲义曾作为西北工业大学工业自动化和自动控制专业的教材,还曾用作作为航空工业总公司所属的部分研究所和工厂的工程师讲授的教材,并在1993年再次修改。为了使计算机仿真技术能更好地为系统分析、研究、设计服务,作者对原讲义内容进行了全面的修改,并补充了许多新的内容,编写成《计算机仿真技术与应用》一书。

全书共分八章。第一章绪论,概括地从横向和纵向两方面介绍系统仿真的基本概念、内容、应用和发展。第二章系统数学模型及其相互转换,介绍了系统仿真所采用的各类数学模型以及相互间的转换。第三章数值积分法在系统仿真中的应用,介绍了仿真技术主要涉及的微分方程数值解法,并讲解面向微分方程的数值仿真法。第四章面向结构图的数字仿真方法,介绍了连续系统的离散化数字仿真方法。第五章快速数字仿真方法,介绍了几种在满足工程精度条件下提高线性连续系统仿真速度的方法,并介绍了计算机控制系统的仿真技术。第六章控制系统参数优化设计与仿真,介绍了参数寻优的概念,函数寻优方法以及单变量、多变量寻优程序设计。第七章讨论了仿真技术的一些新发展,涉及仿真语言、一体化仿真技术和人工智能在仿真技术中的应用。第八章仿真技术与应用方法,主要介绍了仿真建模的方法学,仿真实验组织与设计。

计算机仿真是一门涉及面较广的学科,就仿真所使用的设备来看,可分为数字计算机仿真、模拟计算机仿真和混合计算机仿真。本书仅介绍数字计算机仿真技术。就仿真对象而言,又有连续系统(控制系统)仿真、离散事件系统仿真和复合系统仿真。在本书中主要讲述连续系统的计算机仿真实论和技术。因此仅在第一章里向读者简单介绍了离散事件系统仿真方法。

在程序设计方面采用C语言编写,因为它是各类计算机常用的语言之一,比较简单、方便并易于编程。

本书第一、三、四、六、七、八章由吴旭光编写;第二、四、五章和习题由王新民编写。吴旭光对全书统稿并做了适当的修改。

在本书的编写过程中,西北工业大学工业自动化教研室和自动控制理论教研室的许多老师都曾给予了极大的帮助,尤其是作者的研究生庞莉、杨益军、郭文孝、厉小军、房玉和邵长钰等,对本书的编写和计算程序的编制做了不少的工作,郭文孝还编写了7-6和7-7两节的初稿,石峰博士编写了8-2节的初稿,在此表示感谢。

在本书出版过程中西安交通大学孙国基教授对文稿进行了非常认真、仔细地审阅,提出了许多具体的、非常中肯的修改意见,在此也表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,经验不足,错误和缺点在所难免,敬请读者给予批评指正。

编 者

1996年8月

目 录

第一章 绪论	1
1-1 系统仿真的基本概念	1
1-2 连续系统仿真技术	2
1-3 离散事件系统仿真技术	4
1-4 仿真技术的应用	10
1-5 仿真技术的现状与发展	11
本章小结	13
习题	13
第二章 系统数学模型及其相互转换	14
2-1 连续系统的数学模型	14
2-2 实现问题	18
2-3 从系统结构图向状态方程的转换	22
2-4 连续系统的离散化方程	28
本章小结	32
习题	32
第三章 数值积分法在系统仿真中的应用	34
3-1 在系统仿真中常用的数值积分法	34
3-2 刚性系统的特点及算法	43
3-3 实时仿真算法	45
3-4 分布参数系统的数字仿真	47
3-5 面向微分方程的仿真程序设计	52
本章小结	54
习题	54
第四章 面向结构图的数字仿真方法	56
4-1 典型环节仿真模型的确定	56
4-2 面向结构图离散相似法仿真	58
4-3 非线性系统的数字仿真	63
4-4 连续系统的结构图仿真及程序	67
本章小结	77

习题	77
第五章 快速数字仿真方法	79
5-1 增广矩阵法	79
5-2 替换法	81
5-3 零极点匹配法	88
5-4 计算机控制系统仿真	90
本章小结	95
习题	96
第六章 控制系统参数优化设计与仿真	98
6-1 参数优化与函数优化	98
6-2 单变量寻优技术	101
6-3 多变量寻优技术	107
6-4 随机寻优法	121
6-5 寻优过程对限制条件的处理	125
6-6 函数寻优	127
本章小结	129
习题	130
第七章 仿真语言和一体化仿真技术	131
7-1 仿真语言及其发展	131
7-2 仿真语言的基本结构和组织	133
7-3 一种典型的连续系统仿真语言	137
7-4 一体化仿真技术	141
7-5 人工智能与仿真技术	143
7-6 面向对象仿真技术	147
7-7 灵境仿真技术	156
本章小结	160
第八章 仿真技术及其应用	161
8-1 数学模型和建模方法学	162
8-2 模型的确认与验证	168
8-3 仿真应用技术	171
附录	174
参考文献	180

第一章 绪 论

这一章将介绍什么是系统仿真;它包括的内容和发展状况,即从横向和纵向来阐述系统仿真的内涵。所有这些内容将为学习这一技术和以后更进一步的研究建立一个基础。

1-1 系统仿真的基本概念

一、系统与模型

系统就是一些具有特定功能的、相互间以一定规律联系着的物体所组成的一个总体。

首先,必须明确系统的整体性。也就是说,它是一个整体,它的各部分是不可分割的。正如人体一样,它由头、身躯、四肢等各部分组成,如果把这些部分各自拆开,那也就不成为人了。至于人们熟悉的自动控制系统,其基本组成部分(控制对象、测量元件、控制器等)同样不可缺一。整体性是系统的第一特性。

其次,要明确系统的相关性。也就是说,系统内部各部分之间相互以一定规律联系着,它们的特定关系形成了具有特定性能的系统。有时系统各要素之间的关系不是简单的线性关系,而是呈现出复杂的非线性关系。对于复杂的非线性关系必须研究其复杂性与整体性。例如,人的双眼视敏度是单眼视敏度的6~10倍。此外,双眼有立体感,而单眼却无此特点。因此相关性是系统的第二特性。

系统除整体性和相关性外,还具有有序性和动态性。比如,生命是一种高度有序的结构,它所具有的复杂功能组织,与现代化大工业生产的“装配线”非常相似。这是一种结构上的有序性,对任何系统都是适用的。又如,一个非平衡系统如果经过分支点A、B到达C,那么对C态的解释就必暗含着对A态和B态的了解。这便是系统的动态性。

建立系统概念的目的在于深入认识并掌握系统的运动规律,不仅能定性地了解系统,还要定量地分析、综合系统,以便能更准确地解决工程、现代社会和自然界中种种复杂问题。定量地分析、综合系统的最有效的方法是模型法。

数学模型按建立方法的不同可分为机理模型、统计模型和混合模型。机理模型采用演绎方法,运用已知定律,用推理方法建立数学模型;统计模型采用归纳法,它根据大量实测或观察的数据,运用统计的规律估计系统的模型;混合模型是理论上的逻辑推理和实验观测数据的统计分析相结合的模型。按所描述的系统运动性质和运用的数学工具特征可将数学模型分类为:线性、非线性、时变、定常、连续、离散、集中参数、分布参数、确定、随机等系统模型。

建立系统数学模型的目的是对系统进行定性分析、定量分析、优化处理,预测系统行为,并为系统提供设计、管理、控制的资料。

二、仿真

系统仿真的基本定义是:设计一个实际系统的模型,对它进行实验,以便理解及评价系统的各种运行策略,其基础是建立在系统的数学模型上,并以计算机为工具对系统进行实验研究的一种方法。仿真,就是模仿真实事物,也就是用一个模型来模仿真实系统。既然是模仿,两者不可能完全等同,但是最基本的内容应该相同,即模型至少必须反映系统的主要特征。

随着现代工业的发展,科学研究的深入与计算机软、硬件的发展,仿真技术已成为分析、综合各类系统,特别是大系统的一种有效研究方法和有力的研究工具。

1-2 连续系统仿真技术

一、基本原理分类

上一节讲过,仿真就是模仿一个真实系统,它所遵循的基本原则就是相似原理。根据其研究方法,又可分为几何相似、环境相似、性能相似。所谓几何相似就是把真实系统按比例放大或缩小,其状态向量与原系统完全相同。土木建筑,水利工程,船舶、飞机制造,多采用几何相似原理,进行各种仿真实验。所谓环境相似,就是人工在实验室里产生与所研究对象在自然界中所处环境类似的条件,比如飞机设计中的风洞,鱼雷设计中的水洞、水池等等。所谓性能相似,则是用数学方程来表征系统的性能,或者利用一数据处理系统,来模仿该数学方程所表征的系统。性能相似原理也是仿真技术遵循的基本原理。

根据仿真所遵循的基本原理的含义,大致可将仿真分为两大类:

- 物理仿真:主要是运用几何相似、环境相似条件,构成物理模型。
- 数字仿真:运用性能相似,构成数学模型,在计算机上进行实验研究。

由于现代工业和科学技术的发展,单一的物理仿真和数字仿真往往不能满足其研究目的的要求,而物理仿真和数字仿真的结合称为半物理仿真,有时也称为半实物仿真,则可满足其要求。

二、半实物仿真

半实物仿真是一种通俗而习惯的叫法。按前述的定义应该是:在全部仿真系统中,一部分是实际物理系统;另一部分是安装在计算机里的数学模型,其英文名称为“hardware in the loop simulation”。半实物仿真在科学研究和工程应用中扮演着非常重要的角色,从某种意义上讲其仿真技术的难度和实际应用性均超过全数字仿真。这主要是因为:

(1) 对于一个大型的仿真系统,有时系统中的某一部分很难建立其数学模型,或者建立这部分的数学模型的代价昂贵,精度也难以保证。例如,在红外制导系统仿真时,其红外制导头以及各种物理场的模型建立是相当困难的。为了能准确地仿真全系统,这部分将以实物的方式直接参与仿真系统,从而避免建模的困难和过高的建模费用。

(2) 利用半实物仿真系统,可以检验系统中的某些部件的性能。例如,为了检验航行器的性能,可以将实际的控制部件以实物的形式进入仿真系统。

(3) 利用半实物仿真,可以进一步校正系统的数学模型。一个复杂的系统在完成初步设计

以及分部件样机逐个研制出来后,为了验证和鉴定系统性能或检验定型产品,利用系统的半实物仿真可以从总体上更准确地检测系统因外界因素的变化对系统的影响,更深入地暴露系统的内在矛盾。从而,在实验室内能较全面地检验和评定系统设计的合理性和各部件工作的协调性,进而修改和完善设计。

(4) 在1-3节介绍的仿真器中,半实物仿真是必需的,因为在这类仿真器中为了逼近物理系统的实际效应,许多部件必须以实物方式介入仿真系统中。例如,飞行驾驶员训练器,为了使飞行器有真实感,座舱往往是以实物的方式介入系统的。

由以上原因可以看出,半实物仿真是一种更有实际意义的仿真实验,其难度也往往大于全数字仿真。图1-1是某航行器指令制导半实物仿真系统的原理框图。

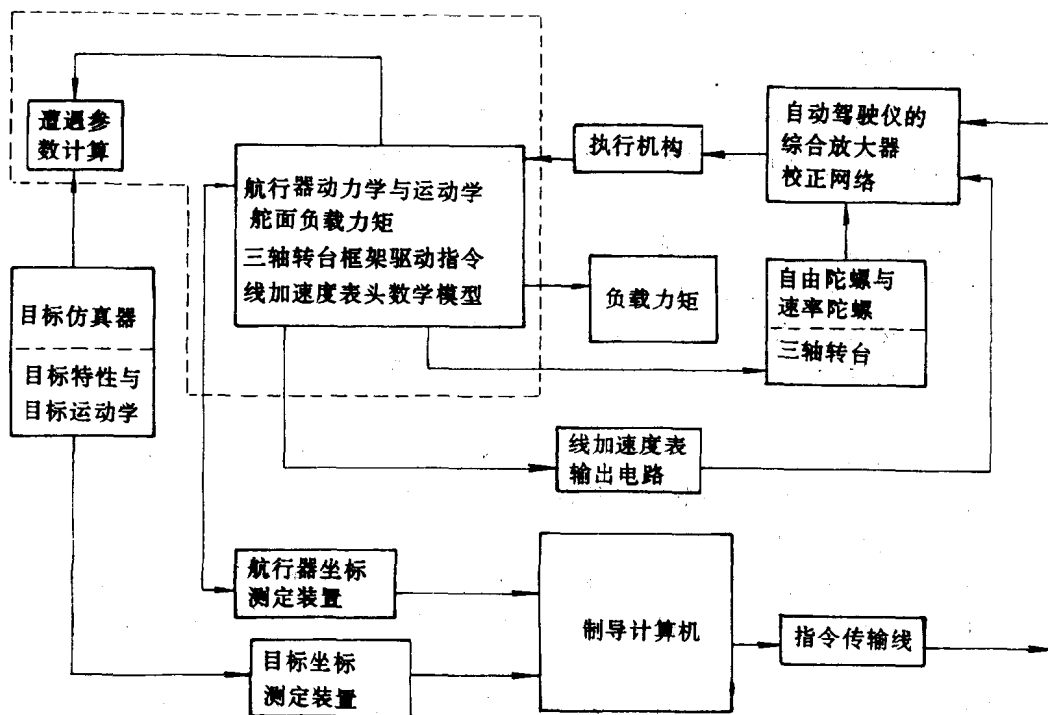


图 1-1 指令制导半实物仿真系统原理框图

本书主要讲述数字仿真。

三、数字仿真方法

数字仿真的前提是系统的数学模型,数字仿真的工具是数字计算机,而其主要内容是数值计算方法、仿真程序和仿真语言以及上机操作。通常将计算机称为仿真的硬件工具,而将仿真计算方法和仿真程序称为仿真软件。数字仿真的过程一般有如下五步:

(1) 描述问题,建立数学模型。对待研究的真实系统进行调查,建立能够描述问题的数学模型。如有可能,还应给出评估系统有关性能的准则。

(2) 准备仿真模型。

(3) 画出实现仿真模型的流程图,并用通用语言或仿真语言编成计算机程序。

(4) 验证或认可模型。这一步的目的是验证仿真和数学模型是否符合要求。若仿真结果与数学模型所得到的结果基本一致或误差在容许范围内,则可确认仿真模型可用。

(5) 运行仿真模型,在不同初始条件和参数下实验系统的响应或预测系统对各种决策变量的响应。

从以上仿真过程可以看到,这里涉及三个具体的部分:一是实际系统,二是数学模型,三是计算机。并且有两次模型化,第一次是将实际系统变成数学模型,第二次是将数学模型变成仿真模型。通常将一次模型化的技术称为系统辨识技术;而将二次模型化、仿真模型编程、校核统称为仿真技术。二者所采用的研究方法虽有较大的差别,但又有十分密切的联系。验证和确认模型的过程实际上也就是不断修改模型使之更符合实际的过程,因而从某种意义上讲,仿真也是建模过程的继续。

四、数字仿真程序

数字仿真程序是一种适用于一类仿真问题的通用程序。一般采用通用语言编写。根据仿真过程的要求,一个完整的仿真程序应具有以下三个基本阶段。

1. 初始化段

这是仿真的准备阶段,主要完成下列工作:

- (1) 数组定维,各状态变量置初值。
- (2) 可调参数、决策变量以及控制策略等的建立。
- (3) 仿真总时间、计算步距、打印间隔、输出方式等的建立。

2. 模型运行段

这是仿真的主要阶段。规定调用某种算法,计算各状态变量和系统输出变量。当到达打印间隔时,输出一次计算结果,并以数字或图形的方式表示出来。

3. 仿真结果处理和输出段

当仿真达到规定的总仿真时间时,对动力学来说,常常希望把整个仿真结果以曲线形式再显示或打印出来,或将整个计算数据存起来。针对不同的计算机和计算机外设的配置,该段的差别也较大。

仿真程序一般只是一种用通用语言编写的专用于‘仿真’这类问题的程序,所以不受机型的限制,便于移植,而且可以减少工程技术人员大量的编写程序时间。属于这类仿真程序的编写、算法将是本书介绍的主要内容。

1-3 离散事件系统仿真技术

计算机仿真涉及的面很广,就仿真对象而言有连续系统、离散事件动态系统和复合系统。离散事件系统是指状态变化只在离散时刻产生的系统,“事件”就是指使系统状态发生变化的一种行动。离散事件动态系统也是系统仿真运用的一个重要领域,而且近年来愈来愈受到人们的关注和重视。本节将以最简单的方式向读者介绍这一领域的基本知识。

离散事件系统和连续系统不同,它包含的事件的发生过程在时间和空间上都是离散的。例如,交通管理、生产自动线、计算机系统和社会经济系统都是离散事件系统。在这类系统中,各事件以某种顺序或在某种条件下发生,并且大都属于随机性的。

在连续系统的数字仿真中,时间通常被分割为均匀的间隔,并以一个基本的时间间隔计时。而离散系统的数字仿真则经常是面向事件的,时间并不需要按相同的增量增加。

在连续系统仿真中,系统动力学模型是由表征系统变量之间关系的方程来描写的。仿真的结果为系统变量随时间变化的时间历程。在离散系统仿真中,系统变量是反映系统各部分之间相互作用的一些事件,系统模型则是反映这些事件状态的数的集合,仿真结果是产生处理这些事件的时间历程。

一、离散事件系统的数学模型

离散事件系统有多种类型,但它们的主要组成部分基本相同。首先,它有一部分是活动的,叫“实体”。例如,生产自动线上待加工的零件,计算机系统待处理的信息,以及商店或医院中排队等待的顾客,等等。系统的工作过程实质上就是这种“实体”流动和接受加工、处理的过程。其次,系统中还有一部分是固定的,叫“设备”。这些设备用于对实体进行加工、处理或服务,它们相当于连续系统中的各类对信息进行交换处理的元器件。这些“设备”可能是机床、电话交换系统、营业员、医生等,所以此处“设备”的含义是广泛的。

离散事件系统既然主要是由实体和设备这样两部分组成,那么,系统状态的变化主要也是由实体或设备的状态变化所产生。描述这类系统的数学模型分为以下三部分。

1. 到达模型

设实体 1 到达系统的时刻为 t_1 , 实体 2 到达系统的时刻为 t_2 , 则实际相互到达的时间为 $T_a = t_2 - t_1$, 相互到达的速度为 $\lambda = \frac{1}{T_a}$ 。在离散事件系统中, T_a 用概率函数来定义, 并用相互到达时间大于时间 t 的概率来表示到达模型, 称为到达分布函数, 用 $A_0(t)$ 表示。如果已知到达时间的累积分布函数 $F(t)$, 则 $A_0(t)$ 与 $F(t)$ 之间有如下关系:

$$A_0(t) = 1 - F(t) \quad (1-1)$$

如果实体到达完全随机, 只受给定的平均到达速度的限制, 即下一实体到达与上一实体到达时间无关, 而在时间 $(t, t + \Delta t)$ 区间内到达的概率与 Δt 成正比, 与 t 无关, 则在这些条件下, 系统在 t 时刻到达 n 个实体的概率满足泊松分布模式, 即

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1-2)$$

其中, λ 为单位时间内到达的实体数。

泊松分布是一种很重要的概率分布, 在实际排队系统中有不少到达模式属于这种分布。例如: 电话交换系统中的呼叫次数、计算机信息处理系统中信息的到达、商店和医院等服务机构的人们的到达次数等等。

2. 服务模型

它是用来描述设备为实体服务的时间模型。假定系统中同时为实体服务的设备有 n 个, 且设备为单个实体服务所需要的时间为 T_s , T_s 一般也用概率函数来描述。定义服务分布函数 $S_0(t)$, 它是服务时间 T_s 大于时间 t 的概率。若设 $F_0(t)$ 为服务时间累积分布函数, 则有

$$S_0(t) = 1 - F_0(t) \quad (1-3)$$

$S_0(t)$ 及 $F_0(t)$ 就称为服务模型。

若服务过程满足: ① 在不重叠的时间区间内; ② 各个服务时间是相互独立的, 服务时间

的平均值是一常值;③在 $(t, t + \Delta t)$ 区间内完成为一个实体服务的概率正比于时间间隔 Δt ,则服务时间的概率分布和实体到达时间间隔的概率分布相同,即为负指数分布,概率密度函数为

$$g(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (1-4)$$

3. 排队模型

它是用来描述在服务过程中当出现排队现象时,系统对排队的处理规则。当设备的服务速度低于实体互相到达速度时,在设备前就会出现排队现象。对一个服务系统来讲,出现一定的排队现象是正常的,但是,不希望排队过长。一旦出现排队现象,实体将按照一定的规则接受服务。一般有如下规则:

- 先到先服务:即按到达顺序接受服务,这是最通常的情形。
- 后到先服务:如采用电梯的顾客是后人先出的;计算机系统中存放信息的压栈处理等。
- 随机服务:当设备空闲时,从等待的实体中随机地选一名进行服务,如电话交换接通呼唤的服务等。
- 优先服务:如医院中急诊病人优先得到治疗;机场跑道优先对需要降落的飞机提供服务等。

由上述可知,离散事件系统的模型一般来讲不能用一组方程来描述,而是要用一些逻辑条件或流程图来描述,这与连续系统模型有很大不同。正因为这一点,决定了离散事件系统的仿真有它本身的特殊性。

二、离散事件系统的仿真方法

在一个较为复杂的离散事件系统中,一般都存在诸多的实体,这些实体之间相互联系,相互影响,然而其活动的发生都统一在同一时间基上。建立起各类实体之间的逻辑关系,这是离散事件系统仿真方法学的重要内容之一,有时称之为仿真算法或仿真策略。如同连续系统仿真一样,即使同一系统,不同算法下的仿真模型的形式是不相同的,仿真策略决定仿真模型的结构。在此仅向读者简单介绍目前比较成熟的三种仿真方法。

1. 事件调度法

离散事件系统中最基本的概念是事件,事件的发生引起系统状态的变化。用事件的观点来分析真实系统,通过定义事件及每个事件发生对系统状态的变化按时间顺序确定,并执行每个事件发生时有关的逻辑关系,这就是事件调度法的基本思想。

按这种策略建立模型时,所有事件均放在事件表中。模型中设有一个时间控制成分,该成分从事件表中选择具有最早发生时间的事件,并将仿真钟修改到该事件发生的时间,再调用与该事件相应的事件处理模块。该事件处理完后返回时间控制成分。这样,事件的选择与处理不断地进行,直到仿真终止的条件或程序事件产生为止。

2. 活动扫描法

如果事件的发生不仅与时间有关,而且与其他条件也有关,即只有满足某些条件时事件才会发生,在这种情况下,采用事件调度法策略建模则显示出这种算法的弱点。原因在于,这类系统活动持续时间的不确定性,因而无法预定活动的开始和终止时间。

活动扫描法的基本思想是:系统由成分组成,而成分包含着活动,这些活动的发生必须满足某些条件;每一个主动成分有一个相应的活动子例程;在仿真过程中,活动的发生时间也作

为条件之一,而且是较之其他条件具有更高的优先权。

3. 进程交互法

进程由若干个事件及若干活动组成,一个进程描述了它所包括的事件及活动间的相互逻辑关系及时序关系。事件、活动、进程三者之间的关系可用图 1-2 来描述。

进程交互法采用进程描述系统,它将模型中的主动成分历经系统时所发生的事件及活动按时间顺序进行组合,从而形成进程表。一个成分一旦进入进程,它将完成全部活动。

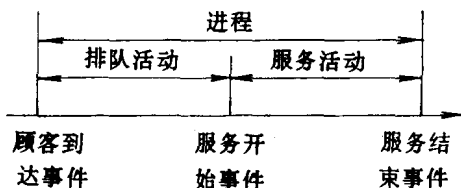


图 1-2 事件、活动、进程之间的关系

以上讨论的三种仿真方法在离散事件系统仿真中均得到广泛的应用。有些仿真语言采用某一种方法,有的则允许用户在同一个仿真语言中用多种方法,以适应不同用户的需要。显然,选择何

种方法依赖于被研究的系统的特点。一般说来,如果系统中的各个成分相关性较少,宜采用事件调度法;相反宜采用活动扫描法;如果系统成分的活动比较规则,则宜采用进程交互法。

图 1-3~图 1-5 是以出纳员队列模型为例列出这三种方法的流程图,由图可清楚地看到它们之间的关系。

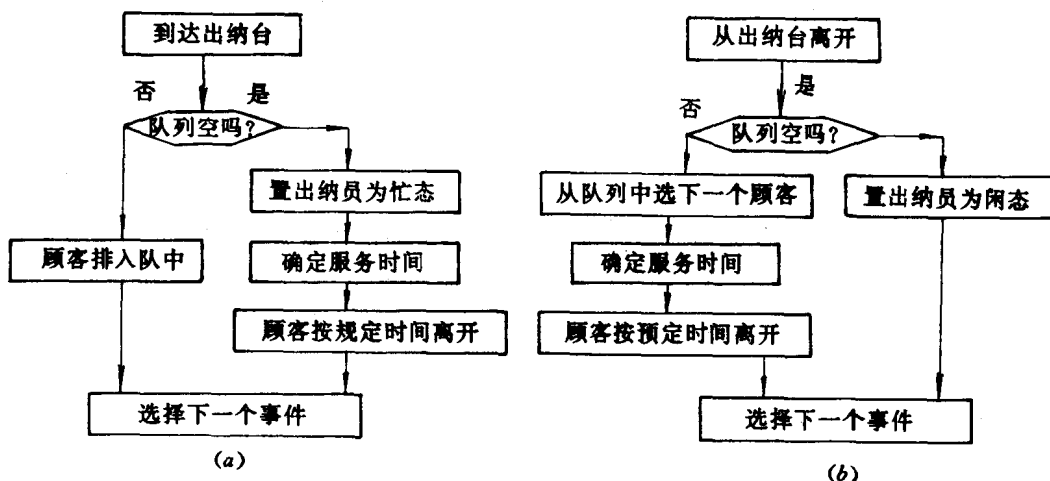


图 1-3 出纳员队列模型
(a) 到达事件流程图 (b) 离开事件流程图

三、离散事件系统仿真语言

为了对离散事件系统进行仿真,已研制出许多仿真语言,其中面向进程的语言 GPSS 及面向事件的语言 SIMSCRIPT 最为流行。为了使读者明白如何用仿真语言来编程,下面介绍一下 GPSS 语言及其使用。对某种仿真语言特别感兴趣的读者可进一步参阅有关文献。

面向进程的语言是基于进程建模的仿真语言;被仿真的系统用框图来描述;框图由相互连接的方框构成;这些方框表示进程的各种动作;连接方框的连线则表示动作的执行顺序。若离开一个方框的连线多于一条,则需要在方框上说明选择的条件,以实现程序中动作的选择。

GPSS 语言共提供了 40 多种功能块,相应有 40 多个标准语句。因此对用户来说,只需掌握这 40 余种语句就能很方便地对系统建立仿真模型。

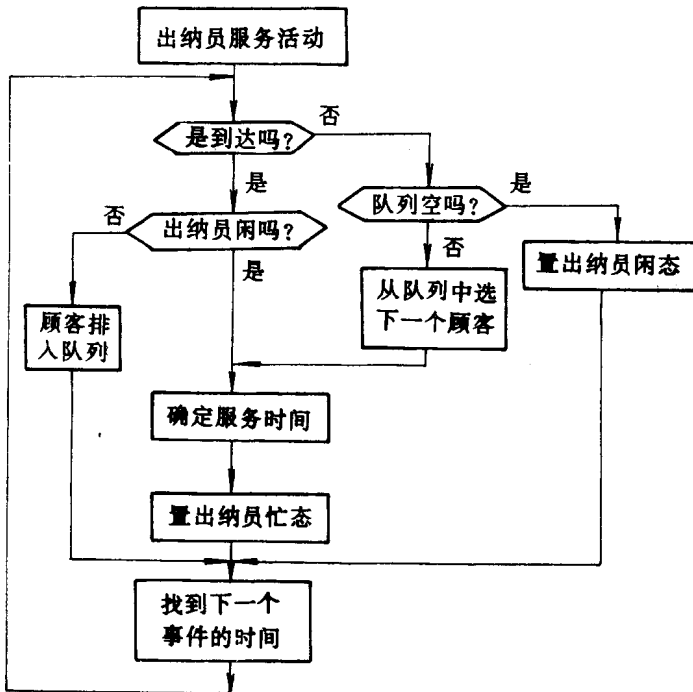


图 1-4 出纳员服务活动流程图

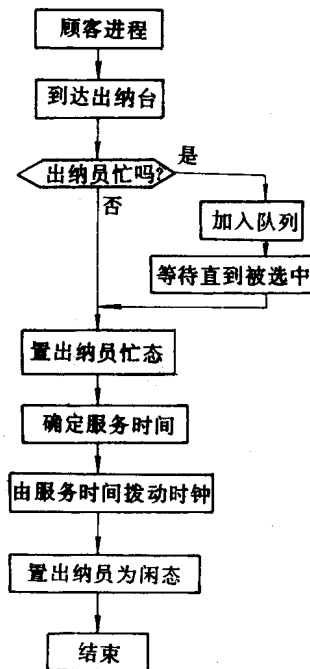


图 1-5 出纳员服务进程流程图

下面通过一个简单的例子来说明如何建立 GPSS 语言的仿真模型。考虑一单台服务系统,顾客到达时间间隔服从均值为 20 s 的指数分布,服务时间为[9, 25]之间均匀分布的随机变量,仿真钟运行 480 s 结束。该系统的 GPSS 方框图如图 1-6 所示,图中每个块均为 GPSS 仿真程序的典型功能块。

实现图 1-6 所示方块图的 GPSS 源程序如下:

```

1 SIMULATE
2 XP FUNCTION RN1, 024
3 0.0, 0.0/0.1, 0.104/0.2, 0.222/0.3, 0.355/0.4, 0.509
4 0.5, 0.69/0.6, 0.915/0.7, 1.2/0.75, 1.38/0.8, 1.6/0.84, 1.83
5 0.88, 2.12/0.9, 2.3/0.92, 2.52/0.94, 2.81/0.95, 2.99/0.96, 3.2
6 0.97, 3.5/0.98, 4.0/0.99, 4.6/0.995, 5.3/0.998, 6.2/0.999, 7.0
7 0.997, 8.0
8 *
9 TISYS TABLE MP1, 0, 5, 20
10 * MODEL SEGMENT
11 GENERATE 20, FN$XP
12 MARK P1
13 QUEUE WAITQ

```

```

14 SEIZE SRVR
15 DEPART WAITQ
16 ADVANCE 17, 8
17 RELEASE SRVR
18 TABULATE TISYS
19 TERMINATE
20 * TIMING SEGMENT
21 GENERATE 480
22 TERMINATE 1
23 * CONTROL CARDS
24 START 1
25 END

```

上面程序中的每一行最前面的数字是语句标号。

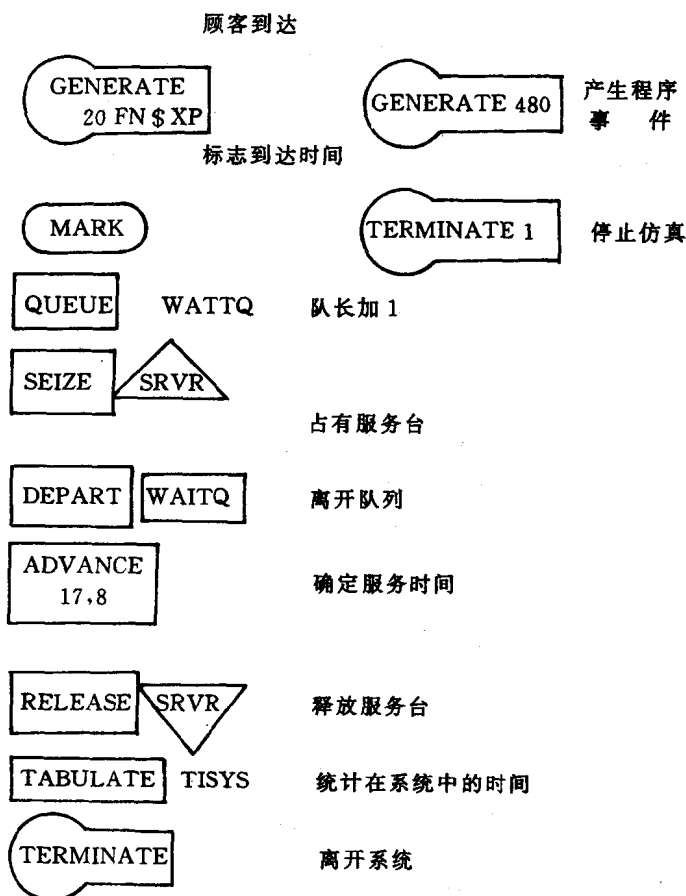


图 1-6 单台排队系统的 GPSS 方框图

1号语句标志 GPSS 仿真程序开始;第2号语句定义了一个随机变量函数 XP,该函数的取值是由第3号到第7号语句中的24对数据构成,由1号随机数发生器取值对该函数取样,得到的随机变量是均值为1s的指数随机变量。

从第10号语句开始到第19号语句为模型段,每一句按顺序与图1-6中的方块一一对应。

例如,第 11 句的功能就是产生均值为 20 s 的指数随机变量;第 16 句表示为顾客服务的时间均值为 17 s,区间半长为 8 的均匀分布随机变量;第 19 句则是表示仿真程序到此结束。从第 21 句到第 22 句是仿真时间控制,从中可以看到,仿真钟推进 480 个单位时产生一个程序来终止仿真,说明该模型的仿真钟时间单位为 1 s。

GPSS 程序处理器对上述语句进行逐行翻译,在翻译第 24 句后即开始进行仿真。

虽然本例只引用了 GPSS 功能模块的一个子集,但却说明了它的建模基本框架。

1-4 仿真技术的应用

系统仿真技术是分析、综合各类系统的一种有力的工具和手段。它目前已被广泛地应用于几乎所有的科学技术领域。

本节仅从科学的角度出发,对接触最多、发展最快、比较重要的几个方面做一概括的介绍。

一、系统仿真技术在系统分析、综合方面的应用

各技术领域控制系统的分析、设计以及系统调试、改造都应用系统仿真技术。在工程系统方面,例如,在设计开始阶段,利用仿真技术论证方案,进行经济技术比较,优选合理方案;在设计阶段,系统仿真技术可帮助设计人员优选系统合理结构,优化系统参数,以期获得系统最优品质和性能;在调试阶段,利用仿真技术分析系统响应与参数关系,指导调试工作,可以迅速完成调试任务;对已经运行的系统,利用仿真技术可以在不影响生产的条件下分析系统的工作状态,预防事故发生,寻求改进薄弱环节,以提高系统的性能和运行效率。

对设计任务重、工作量大的系统,可建立系统设计仿真器或系统辅助设计程序包,使设计人员节省大量的设计时间,提高工作效率。

在非工程系统方面对企业管理、经济分析、市场预测、商品销售等也都应用仿真技术。例如,用仿真技术可以建立商品生产和公司经营与市场预测模型,如图 1-7 所示。从图可见,根据市场信息,公司做出决策,工厂生产的产品投放市场,再对市场信息进行分析,如此组成经济预测、生产模型。其他如交通、能源、生态、环境等方面的大系统分析都应用仿真技术。例如,人口方面的分析也应用仿真预估今后人口发展的合理结构,制定人口政策。又如,研究区域动力学模型,分析整个区域中人口增长、工业化速度、环境污染、资源消耗、粮食生产、社会福利、教育等因素的相互平行关系应当按什么样的比例发展较为合适的问题。

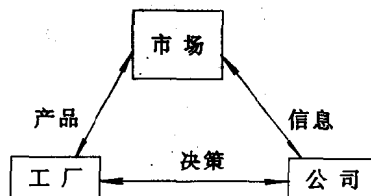


图 1-7 经济模型粗框图

二、系统仿真技术在仿真器方面的应用

系统仿真器 (system simulator) 是模仿真实系统的实验研究装置,它包括计算机硬件、软件以及模仿对象的某些类似实物所组成的一个仿真系统。仿真器分为培训仿真器和设计仿真器。培训仿真器一般由运动系统、显示系统、仪表、操作系统以及计算机硬件、软件组成类似实物的模拟装置。例如,培训飞机驾驶员航线起落飞行仿真器就包括:座舱与其运动系统、视景系统、音响系统、计算机系统以及指挥台等,此外还有电源、液压源,以保证试验条件。

推广应用培训仿真器,无论在培训技术和经济效益方面都会带来明显效果。例如,飞机驾驶员培训仿真器可以实现异常技术训练,训练在事故状态飞行、排除故障的技能、允许飞行员错误操作,这样可以提高飞行技术。使用飞行仿真器可以减少危险,确保安全,节省大量航空汽油,减少环境污染。例如,波音 747 仿真器按每天 20 小时架次训练,一年可节省 30 万吨汽油,可见经济效益十分明显。培训仿真器在航空、航天、航海、核能工业、电力系统、坦克、汽车等方面都有应用,并取得较显著的技术经济效益。

设计仿真器,一般包括计算机硬件、软件和由研究系统的应用软件以及大量设计公式和参数等所构成的设计程序包。例如,轧钢机多级计算机控制系统的设计,从方案选择到参数规定,甚至绘图等工作都可以在设计仿真器上由计算机完成,提高效率。此外,在电机、变压器或其他具有大量计算工作量而且规格众多的系列化产品设计方面,均可利用计算机辅助设计仿真器(或称设计程序包),以提高工作效率。

综上所述,系统仿真技术在仿真器方面的应用将会带来明显的技术和经济效益。

三、系统仿真技术在技术咨询和预测方面的应用

根据系统的数学模型,利用仿真技术输入相应数据,经过运算后即可输出结果,这种技术目前用在很多方面。例如,专家系统、技术咨询和预测、预报方面。

专家系统是一种计算机软件系统,事先将有关专家的知识、经验总结出来,形成规律后填入表格或框架,然后存入计算机,建立知识库,设计管理软件,根据输入的原始数据,按照规定的专家知识推理、判断,给用户进行咨询。由于这种软件是模拟专家思考、分析、判断的,实际上起到专家的作用,所以被称为专家系统。我国目前研究比较多的是中医诊断系统,它是将医疗经验丰富、诊脉医术准确的医生的一套知识和经验加以规律化后编出程序,存入计算机中,在临床诊断时起到专家的作用。除医疗之外,如农业育种专家系统,它自动计算选择杂交的亲本,预测杂交后代的性状,给出生产杂交第二代、第三代的配种方案,起到咨询的作用。

预测技术在很多领域应用,例如,利用地震监测模型根据监测数据预报地震情报;森林火警模型根据当地气温、风向、湿度等条件预报火警;人口模型预测今后人口结构。

应用系统仿真技术对反应周期长,而且难以观察、试验或消耗巨额资金的自然环境、生态系统、人口结构、生理、育种、导弹、军事、国防等系统,可以在短期容易实现的模型上进行分析、试验后预报结果。这是仿真技术所具有的独特功能,所以在这方面的应用逐渐扩大,极有发展前途。此外,对于有些在实际物理世界不可能存在或难以实现的,但有必要研究的系统,仿真技术也扮演着极其重要的角色。

1-5 仿真技术的现状与发展

系统仿真技术,从 50 年代以来随着计算机发展的过程,逐渐形成了一门新兴科学技术。例如,仿真计算机经过模拟计算机、数字计算机、混合计算机、全数字并行处理计算机的演变过程,相继出现了模拟仿真、数字仿真、混合仿真、全数字并行处理仿真技术。仿真软件也由数值计算方法、仿真语言逐步扩大丰富。时至今日,仿真技术已经应用在各技术领域、各学科内容和各工程部门。若要比较全面地介绍仿真技术的现状和发展,那不是用比较简单的叙述就可说清楚的问题,本节只针对仿真技术中发展较快并引人注目的一些主要问题进行简单介绍。