

计算机仿真技术

长沙铁道学院 黄文谊 主编

高等学校试用教材

中国铁道出版社

1.9
1/1

TP291.4
HWY/1

高等学校试用教材
计 算 机 仿 真 技 术

长沙铁道学院 黄文谊 主编
西南交通大学 魏余芳 主审

0026687

中 国 铁 道 出 版 社
1990年·北京

内 容 简 介

计算机仿真是一门综合性很强的学科,理论与实践结合紧密,是系统分析、研究、设计的重要手段。

本书共分八章,包括:绪论、数值积分法的系统仿真、离散相似法的连续系统仿真、采样控制系统和一些特定问题的仿真方法、模拟计算机仿真和混合仿真、离散事件系统仿真、离散事件系统建模与仿真、计算机仿真语言等。书末附有实用程序包。每章末有小结,并附有练习题以供练习和上机用。

本书可作为自动化等电类专业本科生的教材,亦可作为研究生的参考书,还可供有关专科生和工程技术人员参考使用。

JS560/23

高等学校试用教材

计 算 机 仿 真 技 术

长沙铁道学院 黄文谊 主编

中国铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

责任编辑 武亚雯 封面设计 王毓平

中国铁道出版社发行 各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092mm1/16 印张:21 字数:522千

1990年10月 第1版 第1次印刷

印数:1—2000册

ISBN 7-113-00601-1/TP·80 定价:4.15元

前 言

我国的计算机仿真技术发展很快,应用广泛。当今我国高等院校开设仿真技术课程的专业已相当多。为适应这种发展的需要,我们编写了计算机仿真技术这本教材。

本书是针对自动化等电类专业的,以工程系统仿真为重点,对于其他专业和各层次的工程技术人员,可跳过某些章节学习。因为仿真技术是一门综合性很强的学科,理论与实践紧密结合,所以本教材以阐明基本内容,培养开发能力为主,既注重仿真算法和建立仿真模型的讨论,又注重程序实现技术和实用程序的介绍。对于重点章节,力图讲深讲透,以培养开发能力。对非重点章节,力图介绍广泛,以适应各方面的需要。

本书第一、二、三章由长沙铁道学院黄文谊编写,第四章由黄文谊和北方交通大学燕永田编写,第五章由兰州铁道学院关良成编写,第六章由上海铁道学院阙家骅编写,第七章由上海铁道学院荣震华编写,第八章由燕永田编写,全书由黄文谊主编,西南交通大学魏余芳主审。

本书在编写和审稿过程中,得到各铁路院校有关专业任课老师的支持,参加审稿会的有国防科技大学、西南交通大学、华东交通大学、大连铁道学院、兰州铁道学院、上海铁道学院和长沙铁道学院,参加审稿的同志为本书提了许多宝贵的意见,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在缺点和错误。恳请广大读者和专家们批评指正。

编 者

一九九〇年七月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 引 言	1
第二节 系统、系统模型、系统仿真	1
第三节 系统仿真的基本内容	5
第四节 系统仿真的应用与发展	9
小 结	10
练习题	10
第二章 数值积分法的系统仿真	11
第一节 数值积分法	11
第二节 误差分析、收敛性和稳定性	23
第三节 误差估计与变步长算法	28
第四节 面向方程的连续系统仿真	34
第五节 系统模型转换方法	44
第六节 面向结构图的系统仿真	53
第七节 通用传递函数的仿真	63
第八节 延迟环节和非线性环节的仿真	68
第九节 微分环节的仿真	73
第十节 应用实例	77
小 结	86
练习题	87
第三章 离散相似法的连续系统仿真	90
第一节 连续系统的离散化模型	90
第二节 典型环节的离散化模型	97
第三节 离散化模型的精度和稳定性	109
第四节 采用离散化模型的系统仿真	114
第五节 动态计算的自动结束算法	118
第六节 计算控制系统性能指标和自寻打印间隔的算法	127
第七节 采用离散化模型仿真程序实例——能自行结束动态计算的仿真程序包	130
小 结	132

练习题.....	133
第四章 采样控制系统和一些特定问题的仿真方法	135
第一节 采样控制系统的仿真方法.....	135
第二节 常规控制的数字控制器仿真.....	143
第三节 二次型最优控制器仿真.....	148
第四节 用动态规划实现最优控制的二阶系统仿真.....	153
第五节 实时仿真.....	159
第六节 训练仿真器.....	162
第七节 分布参数系统的仿真.....	165
小 结.....	170
练习题.....	170
第五章 模拟计算机仿真和混合仿真	172
第一节 电子模拟计算机.....	172
第二节 基本运算部件.....	173
第三节 模拟计算机解题方法.....	187
第四节 非线性系统的仿真.....	199
第五节 数字机与模拟机混合仿真.....	207
小 结.....	222
练习题.....	222
第六章 离散事件系统仿真	223
第一节 离散事件系统仿真概述.....	223
第二节 常用概率分布与排队论结果.....	226
第三节 随机数产生技术.....	231
第四节 离散事件系统仿真程序设计.....	236
小 结.....	245
练习题.....	246
第七章 离散事件系统建模与验真	247
第一节 系统建模方法.....	247
第二节 方差缩减技术与方差分析.....	251
第三节 离散事件系统中的连续子系统.....	256
第四节 模型验真与程序检验.....	257
小 结.....	261
练习题.....	262
第八章 计算机仿真语言	263
第一节 系统仿真语言概述.....	263
第二节 连续系统仿真语言 CSSL	265

第三节	CSSL 仿真语言的应用例	268
第四节	离散事件系统的仿真语言 GPSS	270
第五节	GPSS 仿真语言应用例	279
第六节	连续-离散混合系统仿真语言 SLAM	286
小 结	289
练习题	290
附录 1	面向结构图的系统仿真程序包清单	291
附录 2	能自行结束动态计算的仿真程序包及其清单	306
参考文献	327

第一章 绪 论

第一节 引 言

在分析、设计和预测系统的过程中,一方面要运用理论知识对系统进行分析,另一方面还要对系统进行实验研究。由于近代系统结构复杂,用解析方法分析困难,多用实验研究方法。对于已经存在的系统,可在实际系统上进行实验研究。但是有许多系统,由于各种原因,比如:安全问题、经济问题、实验周期问题以及可能性问题等,在实际系统上进行实验研究,往往危险性大,或者不经济,或者周期太长,或者不可能。因此,产生一种在系统模型上进行实验研究的方法,这就是众所周知的仿真技术。早期的仿真,是先构成物理模型,再在物理模型上进行实验研究,称为物理仿真。现代仿真技术和计算机的发展与应用密切相关。计算机仿真是先将系统模型变换为仿真模型,然后计算机运行这个仿真模型就仿真了待研究系统的行为和它的特性。

由于计算机仿真能为系统的实验研究提供“活的数学模型”,凡是需要用模型进行实验的,都可以用计算机仿真来研究系统的各种特性,选择最佳参数。对于尚未存在的系统,用计算机仿真可设计出合理的系统方案。计算机仿真还能实现与实物连接在一起的实时仿真和超实时仿真。对于离散事件系统,这些系统一般规模庞大,结构复杂,很难用解析方法进行分析,而用计算机来仿真这类系统,则大大促进了对这类系统的研究。

50年代计算机仿真的主要工具是模拟计算机。60年代至70年代初,模拟计算机仿真逐渐被模拟/数字混合计算机所代替。这种混合计算机仿真兼有模拟计算机的快速计算和数字计算机的逻辑控制功能和存储信息等优点;但是它是一种专用设备,而且规模庞大,结构复杂,价格贵。随着数字计算机硬件与软件的发展,从70年代开始,迅速发展了数字计算机仿真。数字计算机仿真精度高,重复性好,通用性强,价格便宜。当今已发展了许多数字计算机仿真程序包和仿真语言,使用起来非常方便。数字计算机硬件、软件和某些实物所组成的仿真器,对于教育和培训专业人员效果明显,经济效益高。不过单个数字计算机是串行计算的,它的仿真速度比模拟计算机低。当前数字计算机仿真朝着全数字并行处理机方向发展。

仿真技术在工程系统中的应用效果明显,首先用于航空、宇航和核工业部门,目前已广泛用于各个科学技术领域,例如钢铁、电力、化工、石油、机械、能源、交通等。在非工程系统中,工业管理、经济、社会、生态、海洋、气象等方面均有广泛的应用。

在计算机出现以前,人们只采用物理仿真,那时仿真技术附属在其他有关学科中。随着计算机仿真的发展,提出了大量共同性的理论问题、方法问题和技术问题,于是仿真就逐渐形成为一门独立的学科。现在在国际上有专门的计算机仿真协会,美国、英国、日本等国也都有类似的仿真协会,中国自动化学会也设有仿真专业委员会。

第二节 系统、系统模型、系统仿真

仿真是一门综合性很强的学科,它涉及到系统分析、控制理论、计算方法和计算机技术。因

为仿真技术是研究系统的重要手段,它与系统和系统模型密切相关,在具体讨论仿真时,先要回顾一下系统和系统模型。

一、系 统

随着现代科学技术的发展,系统的含义很广泛。一套电动机的闭环调速装置,它由电动机、测速元件、比较元件、放大和控制器等组成,它是一个电动机闭环调速系统。一个工厂,它由管理机构、生产车间、仓库和销售部门所组成,是一个工厂系统。

作为一个系统,它具有特定的功能和特性。

1. 系统具有整体性 系统是一个整体,它的各个部分是不可缺少的。如电动机闭环调速系统,若没有测量元件,就不能构成闭环调速系统。

2. 系统具有相关性 系统内部各部分之间以一定的关系联系着。如在电动机闭环调速系统中,测量元件的输出,作为比较元件的一个输入,比较元件的输出又作为放大器的输入等等。

系统的分类方法很多。按其状态变化的性质可把系统分为连续系统、离散系统(采样系统)和离散事件系统。对于连续系统,它的状态变化是连续的。对于离散系统,它的状态变化也是连续的,只是其中某些部分是在离散的时间点上对输入和输出采样。对于离散事件系统,这些系统的状态,在发生某个事件时才发生变化,而事件是在离散的时间点上发生的,很多情况下是随机的。

研究系统首先需要描述这个系统。如何描述系统不但与系统本身有关,还与研究者的目的和观点有关,只有对系统作了深入了解后,才能描述系统。研究系统主要包括三个方面的内容。

(1) 系统分析 对于已存在的系统,首先认识这个系统,再建立系统的模型,分析系统的动特性和静特性,求出所感兴趣的系统性能指标。

(2) 系统综合与设计 系统尚未存在,根据对系统性能的要求,设计和综合出一个系统,使其动特性、静特性和某些性能符合研究者的要求。

(3) 系统预测 对于已存在的系统,在分析的基础上随着内外因素的变化,预测系统将来的行为和特征。

二、系统模型

系统的内在联系怎样?它与外界的关系怎样?要用系统模型来描述。一个真实的系统,它的内在联系以及和外界的关系,一般是很复杂的,用系统模型完全准确地描述系统是很困难的,只能是近似地描述。建立在物理属性相似基础上的物理模型,描述真实系统的逼真感较强。但随着系统复杂性增加,建立物理模型所需费用也增加,同时要修改参数或改变结构都很困难。因此,将系统的内在联系和它与外界的关系抽象为数学模型,这是当今使用最广泛的描述方法。不同类型的系统,数学模型使用的数学工具有显著的不同,同一种系统也可以用多种数学模型来描述。下面简要介绍计算机仿真常用的系统模型。

(一) 连续系统

连续系统常用四种数学模型。

1. 微分方程模型 系统输入 $u(t)$ 和系统输出 $y(t)$ 之间的关系表示为下列微分方程。

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y = b_0 \frac{d^m u}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} u}{dt^{m-1}} + \dots + b_m u$$

2. 传递函数模型 系统输入拉普拉斯变换 $u(s)$ 与输出拉普拉斯变换 $y(s)$ 之间的关系表示为下列传递函数。

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}$$

3. 状态空间模型 系统的状态用一组状态量表示,各状态量之间以及状态量与输入输出之间的关系用一组状态方程和输出方程表示为

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned}$$

式中 x ——状态向量;
 u ——输入向量;
 y ——输出向量。

4. 结构图模型 当系统中有非线性等特殊环节时,用上述三种模型无法描述该系统,这时要用结构图模型来描述。如图 1-1 所示。

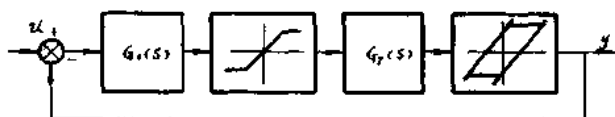


图 1-1 非线性系统

(二) 离散系统

离散系统也常用四种数学模型。

1. 差分方程模型 在离散的时间点上系统输入 $u(k)$ 和输出 $y(k)$ 之间的关系表示为下列差分方程。

$$\begin{aligned} y(n+k) + a_1 y(n+k-1) + \dots + a_n y(k) \\ = b_0 u(n+k) + b_1 u(n+k-1) + \dots + b_n u(k) \end{aligned}$$

2. 脉冲传递函数模型 系统输入输出的 Z 变换之间的关系表示为

$$H(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{b_0 z + b_1 z^1 + \dots + b_n z^n}{z + a_1 z^1 + \dots + a_n z^n}$$

3. 离散状态方程模型 系统的状态用一组离散状态量表示,各离散状态量之间以及与离散输入输出量之间的关系用一组离散状态方程和离散输出方程表示。

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \Phi x(k) + \Phi_u u(k) \\ y(k+1) &= Gx(k+1) \end{aligned}$$

式中 $x(k)$ ——离散状态向量;
 $u(k)$ ——离散输入向量;
 $y(k)$ ——离散输出向量。

4. 结构图模型 当系统中有非线性环节、有离散部分又有连续部分时,用以上三种模型均难以描述,此时可用结构图模型描述。如图 1-2 所示。

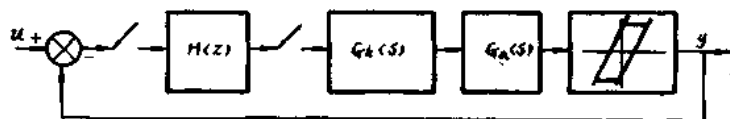


图 1-2 离散系统

(三) 离散事件系统

分析离散事件系统与分析上述两类系统有显著的不同。用于描述上述两类系统的数学模型均不能用于离散

事件系统。离散事件系统的模型可用事件发生的流程图来表示。以医院门诊系统为例,如图 1-3 所示。

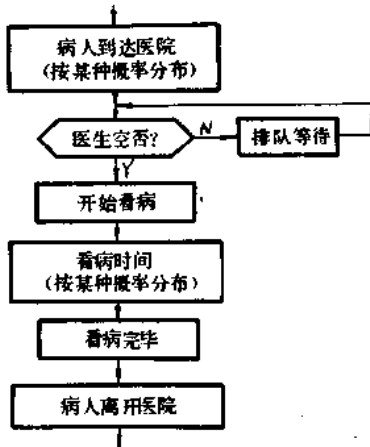


图 1-3 门诊系统流程图

上述三类系统的数学模型是进行计算机仿真的基础,故建立系统的数学模型对计算机仿真是至关重要的。建立系统的数学模型大致有三种方法。

1. 理论推导方法 根据系统作用原理,导出系统的数学模型。采用这种方法,对系统的内部过程必须有深刻的了解。

2. 实验方法 根据系统的输入输出数据,经分析和处理建立系统的数学模型,采用这种方法,对于其内部过程不太了解的系统是很有效的,但必须能获得输入输出数据。

3. 理论推导与实验相结合的方法 这个方法综合了以上两个方法的优点。

系统模型建立后,还须验真和修改它,而仿真则是很重要的手段。

三、系统仿真

在系统研究中,建立系统模型是重要的一步。建立了系统模型之后,紧接着就要对系统模型进行分析研究,解出系统的动静态过程及其特性。而这一点往往是系统研究中最主要的目的。简单的系统可用数学分析方法分析它的数学模型,或者就直接在系统上进行实验研究。复杂的系统用这些方法很难进行,从而采用仿真技术。

早期是采用物理仿真来研究系统,比如:用于土木建筑、水利工程、船舶、飞机的比例仿真,用于电力系统的动态模拟实验。这种物理仿真实感强,但花费大,实验周期长,修改模型不方便。

随着计算机的引入又发展了数值计算方法,计算机求解复杂系统的数学模型功能强,故现代主要是采用计算机仿真。但计算机一般不能直接运行数学模型,而需要采用某些数值计算方法或经模拟机的排题转换为仿真模型,然后在计算机上运行。因此,仿真模型是在计算机上能够计算的模型。这样,系统、模型、计算机就构成计算机仿真的三个基本要素,把它们联系起来实现仿真要经过三个基本过程:建立系统模型、建立仿真模型、仿真运行(实验)。其关系如图 1-4 所示。

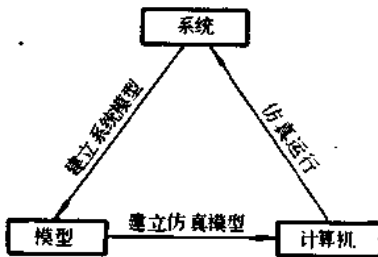


图 1-4 计算机仿真关系图

建立系统模型不是一次就可以成功的,而需反复几次的实验和修改才能逼近真实系统。有了计算机仿真,就可用仿真的办法对系统模型、仿真模型进行验真和修改,其过程如图 1-5 所示。可见计算机仿真又是建立系统模型的重要手段。因计算机仿真是对系统的数学模型进行实验研究,又称为数学仿真。

在某些系统研究中,还把数学模型(计算机仿真)和物理模型(物理仿真)以及一部分实物联合在一起实验,这称为数学-物理仿真。

综合以上所述,物理仿真、计算机仿真以及数学-物理仿真都是在系统模型上进行实验研究,故都称为系统仿真。当今计算机仿真应用极为广泛,故本书重点讲授计算机仿真技术(简称仿真)。

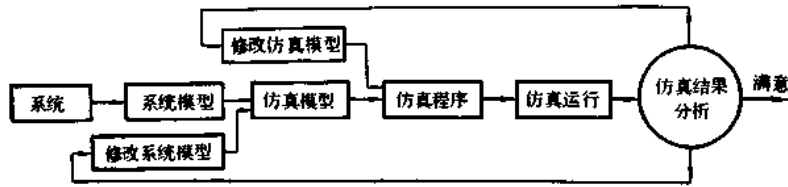


图 1-5 模型验证与修改

第三节 系统仿真的基本内容

系统仿真的内容很广泛,分类尚不统一。它的基本内容可概括为五个方面:模拟计算机仿真、数字计算机仿真、模拟计算机和数字计算机混合仿真、数字计算机仿真软件和训练仿真器。

一、模拟计算机仿真

模拟计算机仿真是以数学模型相似为基础的仿真方法。它应用电子器件模拟数学上的基本运算环节,做成各种运算器,如积分器、加法器、乘法器、函数发生器等等。这些运算器的输入输出是电压,它相似于数学上基本运算环节的状态量和输出输入变量。对系统进行仿真时,其仿真步骤如下:

1. 建立系统的数学模型。
2. 根据系统的数学模型,用逐阶递降的方法(视数学模型的形式而定)将它变换为仿真模型,再选择合适的时间和幅度比例尺,画出仿真模型框图。
3. 将各运算器按仿真模型框图答题。
4. 通电运行,得出响应。

在通电运行时,模拟计算机各运算器是并行运算的,并且是按电过程的速度运算,故运算速度很高。可用于实时仿真,甚至超实时仿真。不足之处是运算精度较低,对于求解线性常微分方程,其整机解题精度只能达到 5%。求解非线性常微分方程,精度还要下降。

二、数字计算机仿真

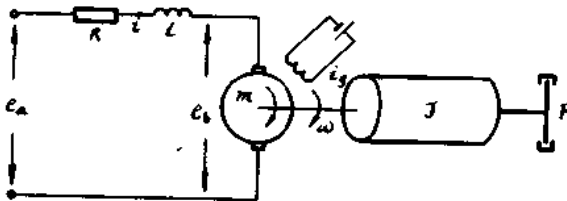


图 1-6 电枢控制直流电动机电路图

数字计算机只能在离散的点上算出计算值,很适于计算差分方程,因此仿真离散系统很方便。对于连续系统,通过建立适当的仿真模型,也可以仿真。

例 1 电枢控制式直流电动机电路图如图 1-6。现以电动机轴的角速度 ω 为输

出,以电枢控制电压 e_c 为输入,用数字计算机仿真这个系统。

(一)建立数学模型

因为是电枢控制式,激磁回路电流 i_f 不变,激磁磁通恒定。根据直流电动机作用原理,可列出四个原始方程。

电动机的转矩 m 正比于电枢电流 i ,即

$$m = Ki$$

式中 K ——电动机力矩常数。

当电动机转动时,电枢中的感应电势 e_s (反电势)正比于角速度 ω ,即

$$e_s = P\omega$$

式中 P ——反电势常数。

电枢回路的电流 i 由电枢控制电压 e_c 来控制,也与反电势 e_s 有关,其微分方程为

$$L \frac{di}{dt} + Ri + e_s = e_c$$

L 和 R 分别是电枢电感和电阻。

在驱动回路中,电枢电流产生的转矩 m 用来克服系统的惯性和摩擦,其角速度 ω 的微分方程为

$$J \frac{d\omega}{dt} + F\omega = m$$

式中 J ——转动惯量;

F ——摩擦系数。

在这四个方程中,取电枢电流 i 和角速度 ω 为两个状态量,消去中间变量 m 和 e_s ,经整理可得系统状态方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= -\frac{F}{J}\omega + \frac{K}{J}i \\ \frac{di}{dt} &= -\frac{R}{L}i - \frac{P}{L}\omega + \frac{1}{L}e_c \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

因系统的输出 y 就是角速度 ω ,故输出方程为

$$y = \omega \quad (1-2)$$

(1-1)和(1-2)式就是该系统的数学模型。

(二)建立仿真模型

显然方程(1-1)和(1-2)不能直接在数字计算机上计算。为建立仿真模型可采用某种数值积分法。现采用欧拉积分法,对应于方程(1-1)的欧拉积分公式为

$$\left. \begin{aligned} \omega(n+1) &= \omega(n) + h[-\frac{F}{J}\omega(n) + \frac{K}{J}i(n)] \\ &= \omega(n) + hf_1(n) \\ i(n+1) &= i(n) + h[-\frac{R}{L}i(n) - \frac{P}{L}\omega(n) + \frac{1}{L}e_c(n)] \\ &= i(n) + hf_2(n) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

离散输出方程为

$$y(n+1) = \omega(n+1) \quad (1-4)$$

欧拉积分公式是差分方程,其中 h 是计算步长, $f_1(n)$ 是角速度 ω 在第 n 点的导数值,即角速度

ω 曲线在第 n 点的斜率; $f_2(n)$ 是电流 i 在第 n 点的导数值, 即电流 i 曲线在第 n 点的斜率。方程 (1-3) 是方程 (1-1) 的离散化。故欧拉公式是用折线方程代替曲线进行近似计算。它根据第 n 点状态量的值和该点斜率的值算出第 $n+1$ 点的值, 根据第 $n+1$ 点的值又算出第 $n+2$ 点的值; 如此迭代下去, 就可算出各点状态量的值和输出值。这就是微分方程的一种数值解法。因此方程 (1-3) 和 (1-4) 可作为该例题的仿真模型。

仿真模型不是唯一的, 采用不同的数值计算方法, 仿真模型就不一样。

(三) 设计程序上机调试

根据方程 (1-3) 和 (1-4) 首先设计仿真程序框图, 根据程序框图即可写出程序, 上机调试, 获得仿真结果。仿真程序框图如图 1-7 所示。

当今连续系统已广泛地采用数字计算机仿真。因数字计算机只能计算离散点的值, 连续系统模型必须离散化。离散化的方法主要有两大类, 一类是数值积分法, 如欧拉法、龙格-库塔法、阿达姆斯法等; 另一类是离散相似法, 如离散状态法、屠斯丁法等。另外还有一些其他的方法。使用不同的方法, 建立的仿真模型形式不一样, 精度也有差别, 要求选择的步长也不同。由于数字计算机能存储信息, 逻辑判断能力强, 对非线性、延迟等环节仿真很方便。因数字计算机可以用许多位表示一个数, 故仿真的精度很高。

数字计算机除用于连续系统和离散系统仿真外, 还用于离散事件系统仿真。

例 2 某电话系统, 有 N 部电话机, 有 M 根连接线, 如图 1-8 所示。现用数字计算机仿真。

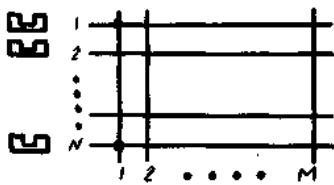


图 1-8 电话系统

电话呼叫在离散时刻发生。只有在起点电话和终点电话都有空, 同时又有空的连接线时, 一对电话才能接通。电话呼叫是随机的, 但服从一定的概率分布。通话时间的长短也是随机的, 也服从某种概率分布。当呼叫电话到来, 就发生一次事件; 若电话接通又发生一次事件, 于是电话呼叫成功; 若未接通, 则呼叫失败。对电话系统仿真一段时间 T , 求得呼叫次数、成功次数、失败次数、通话时间等, 就可了解该电话系统忙闲的情况、需求的情况, 从而进一步研究和改善这个系统。离散事件系统一般用事件发生的流程图来描述, 数字计算机仿真也按流程图来仿真。考虑到程序框图的特点, 可一次画出仿真模型图, 如图 1-9 所示。

三、模拟计算机与数字计算机混合仿真

由于模拟计算机仿真速度快, 是连续量; 数字计算机仿真功能强, 精度高。这样为发挥这两种计算机仿真的优点, 产生了这两种计算机的混合仿真。模拟计算机产生的连续量与数字计算

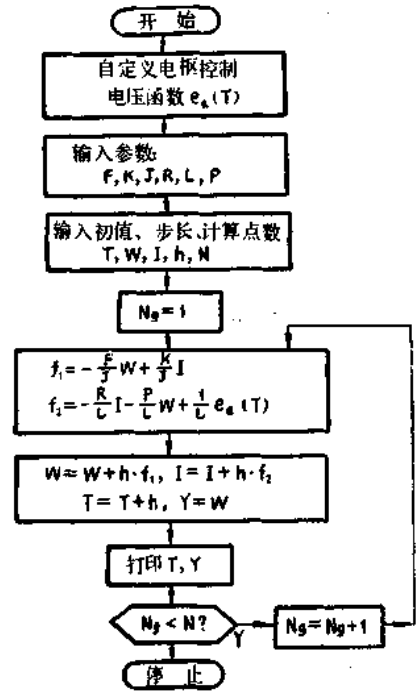


图 1-7 例 1 的仿真程序框图

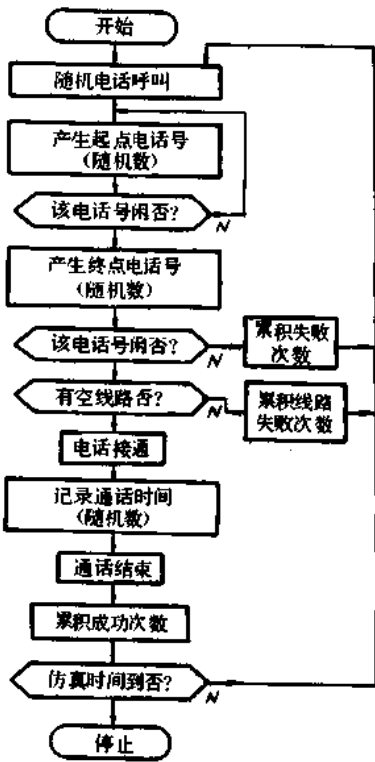


图 1-9 电话系统仿真模型

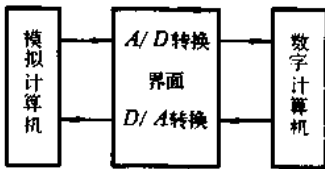


图 1-10 混合计算机系统

机产生的离散数字量之间要有界面相连接,以进行模-数转换和数-模转换。如图 1-10 所示。

混合计算机的模拟机主要担负快速运算工作。混合计算机的数字计算机起着中央处理机的作用,对整个计算机系统进行管理和控制。

有些系统,即包含连续部分又包含离散部分,如计算机控制的过程控制系统。对这种系统采用混合计算机仿真则很方便,其仿真结构图如图 1-11。混合仿真比较复杂,如界面连接就涉及计算机硬件问题。因模拟机仿真过程很快,数字机与模拟机的中间界面必须高速转换和精确传递信息,数字机部分也必须配合上,即要求实时性很强。这时数字机部分采用的算法和语言均要采用快速仿真方法。

四、数字计算机仿真软件

对系统研究的工程人员来说,他们主要关心的是研究系统本身。他们把仿真只是作为研究系统的一种工具或手段,故要求数字计算机仿真软件满足他们使用的要求和便于使用。

数字计算机仿真软件可分为数字仿真程序包和数字仿真语言。

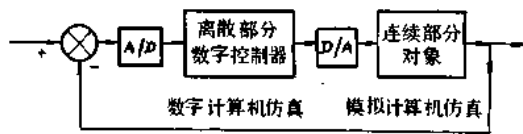


图 1-11 计算机控制系统仿真结构图

数字仿真程序包是数字计算机仿真软件的初级形式,一般采用高级语言编写,

如 BASIC、FORTRAN 语言。它能将输入的系统模型转换成仿真模型,能提供多种数值计算方法,能将仿真结果显示、打印或绘成图形,能计算或统计仿真系统的性能指标等。它具备系统仿真的主要功能,能用于实际系统仿真。它是依据所用语言和系统的仿真模型而编制的数字计算机仿真程序,有些常用的通用程序编成子程序,以便重复调用,对专门问题则编成应用子程序,存于程序库中,组成数字仿真程序包,以供研究系统工作者使用。数字仿真程序包是数字计算机仿真软件的基础,它要求计算机的资源不多,占用内存不大,便于移植和推广使用,便于修改和扩充。因此开发数字仿真程序包仍是一项有价值的工作,特别是开发引进新的算法,采用新的结构的数字仿真程序包,将会促进数字计算机仿真软件的进一步发展。

为了使数字计算机仿真软件具有更大的通用性,使用更加灵活,发展了数字计算机仿真软件的高级形式——数字仿真语言。数字仿真语言除包含了数字仿真程序包的功能外,还包含有翻译程序,功能更全面。它定义了一套仿真语言,要求用户按仿真语言的语法来书写仿真题目,输入到计算机后,翻译程序就将仿真题目程序翻译成某种算法语言,进行编译连接,然后运行。因此只要求用户懂得仿真语言和书写仿真题目,应用的灵活性大。

当今数字仿真语言已很繁多,有用于连续系统的数字仿真语言、有用于连续-离散混合系

统的数字仿真语言、有用于动力学模型的数字仿真语言、还有用于离散事件系统的数字仿真语言等等。

五、训练仿真器

所谓训练仿真器,就是一整套供专业人员进行训练的模拟设备,它不是实际系统的设备,而是模拟实际系统的设备。它由计算机、自动化装置和各种工程的、物理的设备和仪器构成。对于舰船训练仿真器,当驾驶员在训练仿真器上操作时,它能模仿操作实际舰船的各种运动和环境,模仿风、浪、声音和出现各种故障等等。这样,一个初学驾驶的学员,开始可先在训练仿真器上实习操作,等操作熟练之后,再出海到实际的舰船上操作。因此训练仿真器是一个综合性的仿真系统,它用到计算机仿真,也用到物理仿真,是一个人-机系统。

采用训练仿真器进行训练,效果显著。如已使用的有飞行训练仿真器、汽车训练仿真器、核电站仿真器、战术仿真器、舰船训练仿真器和经济管理仿真器等。

第四节 系统仿真的应用与发展

系统仿真对于系统研究、训练人员等方面都有十分重要的用途。可从几方面阐述应用系统仿真的重要意义。

(一)经济 分析系统时往往要对系统进行实验,直接对系统特别是对大型系统进行实验成本十分昂贵。采用仿真技术进行实验,成本可以大大降低,仿真设备可以重复使用,改变结构和参数非常容易,可以缩短实验周期。

(二)安全 对尚不可靠的系统,或危险性较大的系统,往往不允许直接进行实验,如核电站控制,载人宇宙飞行器,采用仿真进行实验,则可保证安全,还可节省实验费用。

(三)优化设计 对于尚未存在的系统,要进行系统设计,可以先设计出系统模型,用仿真反复进行试验,找出最优的系统结构和参数。这样可以使系统设计优化,提高设计水平。

(四)预测 对于社会、经济、管理等非工程系统,无法直接进行实验,用系统仿真对这些系统进行仿真实验,可以预测这些系统将来的发展过程和内外因素的影响,从而制定控制策略。

(五)训练和教育 对于军事指挥官,可以用战术训练仿真器进行战术仿真实验,以训练指挥官指挥战争的才能。应用交通管理仿真器进行实验,可以培养和训练交通人员的专业才能,应用核电站仿真器进行仿真实验,可以培养和训练核电站技术人员的操作管理业务。所以训练仿真器对于培养训练人才将会起越来越大的作用。

系统仿真已广泛用于许多领域。在空间工业,阿波罗登月计划曾成功地应用了系统仿真手段,为系统的可靠实现提供了重要保证。仿真系统包括混合计算机、运动仿真器、月球仿真器、驾驶舱、视景系统等许多设施。在航空工业,协和、波音、道格拉斯等超音速客机和亚音速客机都有专用的飞行仿真器。它包括计算机系统、六自由度运动系统、视景系统。在核能工业,核电站大都建有用于操作训练的仿真器,许多仿真系统的操作部分与真实的操作系统完全一致,而对象部分,包括反应堆、涡轮发电机及其它装置则是用计算机来仿真。在一般工业部门,如冶金部门,在研究设计、制造新型热连轧机和冷连轧机时,也先后建立了热连轧机和冷连轧机的专用仿真系统,这类仿真系统主要是利用一套仿真软件在中型计算机上进行连轧生产工艺及控制系统的研究。在非工程领域,系统仿真在近十年来有了较大的发展。例如建立我国人口模型,

预测未来一百年我国人口发展的趋势,从而提出计划生育的控制策略,这对于我国的人口控制工作具有重要意义。

系统仿真随着计算机技术的发展已形成一门新兴的学科。仿真用计算机经过模拟计算机、数字计算机、混合计算机至今已发展到全数字并行处理机;仿真软件也由数值计算方法、仿真程序、仿真语言逐步扩大和丰富。在国外,仿真计算机已发展到大型、高速、全数字并行处理机,以适应大型、实时、准确快速仿真的要求。我国也做成了专用于仿真的全数字并行处理机。在国外仿真软件非常活跃,品种繁多。在我国,当前应根据我国的国情,确定我国语言规范和通用仿真语言,以便推广应用,提高工作效率。

小 结

系统仿真就是在系统模型上进行实验研究。在系统的物理模型上进行实验研究,就称为物理仿真。将系统的数学模型转换为在计算机上能够计算的仿真模型,在计算机上进行实验研究,就称为计算机仿真,又称为数学仿真。将物理模型、数学模型以及一部分实物联合在一起进行实验研究,称为数学-物理仿真。随着计算机仿真的发展,系统仿真已发展为一门独立的学科,系统仿真是一门综合性很强的学科。

系统仿真的主要内容是:模拟计算机仿真、数字计算机仿真、模拟-数字计算机混合仿真、数字计算机仿真软件、仿真器。

系统仿真对于系统分析、设计、综合、训练人员和教育等方面都有很重要的用途,它已广泛应用于各个科学技术领域。

练 习 题

- 1-1 何谓物理仿真?何谓计算机仿真?
- 1-2 何谓仿真模型?
- 1-3 试叙述模拟计算机仿真的基本步骤。
- 1-4 试简要说明用数字计算机仿真电枢控制式直流电动机的动态过程的基本步骤。
- 1-5 数字计算机仿真软件包含哪些内容?