

MATLAB工程应用丛书

6

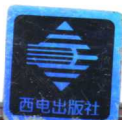
基于 MATLAB 6.X

Simulink

建模与仿真



姚俊 马松辉 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

MATLAB 工程应用丛书

Simulink 建模与仿真

姚俊 马松辉 编著

西安电子科技大学出版社

2002

内 容 简 介

科学技术的发展使得各种系统的构建与仿真变得越来越复杂。如何快速有效地构建系统并进行仿真,已经成为各领域工程师急需解决的核心问题。Simulink 是 MathWorks 公司推出的高性能的动态系统建模与仿真平台,而且已经在各领域得到广泛的应用。

本书以 Simulink 4.1 为平台,由浅入深地介绍了 Simulink 辅助设计基础、动态仿真技术、高级仿真技术及基于 Simulink 的系统分析与设计等内容。读者通过使用本书,可快速掌握利用 Simulink 进行系统建模与仿真的精髓,以进行系统设计与仿真分析。

本书可作为各领域工程技术人员的参考书,也可作为高等学校理工类各专业本科生和研究生的系统建模、仿真及设计课程的教材与参考书,还可作为其他科技工作者、教师学习 Simulink 的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

Simulink 建模与仿真 / 姚俊, 马松辉编著.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.8

(MATLAB 工程应用丛书)

ISBN 7-5606-1134-6

I. S… II. ①姚… ②马… III. 计算机辅助计算-软件工具, Simulink 4.1 IV. TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 034670 号

策划编辑 毛红兵

责任编辑 龙晖

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话: (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安兰翔印刷厂

版 次 2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18.125

字 数 429 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 24.00 元

ISBN 7-5606-1134-6/TP·0576

XDUP 1405001-1

如有印装问题可调换

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

前 言

科学技术的迅猛发展使得各个领域中的系统设计与分析变得日益复杂起来。如何建立动态系统模型、对动态系统进行仿真与分析对于各领域系统的设计与开发具有极其重要的作用。

传统的仿真技术主要包括实物仿真与半实物仿真。实物仿真与半实物仿真的优点在于系统仿真结果直接、形象、客观可信；但是仿真模型受到一定的限制，易破坏而且难以重新利用。尤其是在军事、国防、航空航天以及核试验等领域之中，采用实物仿真与半实物仿真不仅费用巨大，而且存在着不可忽视的安全问题。计算机技术与数字信号处理技术的快速发展给系统仿真技术带来了翻天覆地的变革，采用计算机进行系统仿真可以很好地解决传统仿真技术中存在的问题。只要系统设计者能够全面了解系统所处的复杂环境、系统中复杂的对象并且正确建立系统的数学模型，便可以使用计算机对动态系统进行充分的研究与分析。计算机仿真系统一旦建立就可重复利用，特别是对系统的修改非常方便、安全，而且代价极小。用户经过不断的仿真修正，逐渐深化对系统的认识，以采用相应的控制和决策，使系统处于科学的控制和管理之下。

MathWorks 公司推出的基于 MATLAB 平台的 Simulink 是动态系统仿真领域中最著名的仿真集成环境之一，它在各个领域得到广泛的应用。Simulink 能够帮助用户迅速构建自己的动态系统模型，并在此基础上进行仿真分析；通过仿真结果修正系统设计，从而快速完成系统的设计。Simulink 集成环境的运行受到 MATLAB 的支持，因此 Simulink 能够直接使用 MATLAB 强大的科学计算功能。毫无疑问，Simulink 具有出色的能力，因此它在系统仿真领域中有着重要的地位。

本书力图以浅显的语言来介绍 Simulink 建模与仿真的技术，并通过简单而又具有代表性的系统实例来进行说明。本书第一部分主要介绍系统仿真的基础知识，对于刚刚涉足系统仿真领域的读者来说，这一部分是必需的。第二部分是本书的重点，主要介绍使用 Simulink 如何建立动态系统模型，然后对系统模型进行合适的设置，最后进行仿真分析并根据仿真结果不断修正系统设计。第三部分是 Simulink 的精华所在，主要介绍了 Simulink 的工作原理以及高级仿真技术，对于专业系统设计者和想深入了解 Simulink 仿真机理的读者而言，这一部分不可不看。第四部分以控制系统与数字信号处理系统为例介绍了 Simulink 在系统设计中的使用。

由于作者水平有限，时间仓促，书中难免存在缺点甚至错误，恳请读者批评指正。

作 者
2002 年 4 月

目 录

第一部分 入门——Simulink 辅助设计基础

第 1 章 绪论3	第 3 章 动态系统模型及其 Simulink 表示31
1.1 动态系统的计算机仿真.....3	3.1 简单系统模型及表示.....31
1.1.1 系统与模型.....3	3.1.1 简单系统的基本概念.....31
1.1.2 计算机仿真.....4	3.1.2 简单系统的描述方式.....32
1.1.3 仿真的作用.....6	3.1.3 简单系统的 Simulink 描述.....32
1.1.4 仿真算法和仿真软件.....7	3.2 离散系统模型及表示.....33
1.1.5 计算机仿真的一般过程.....8	3.2.1 离散系统的基本概念.....33
1.2 动态系统的 Simulink 仿真.....9	3.2.2 离散系统的数学描述.....33
1.2.1 Simulink 简介.....9	3.2.3 离散系统的 Simulink 描述.....34
1.2.2 Simulink 的应用领域.....10	3.2.4 线性离散系统.....35
1.2.3 Simulink 在 MATLAB 家族中的位置.....11	3.2.5 线性离散系统的数学描述.....36
1.3 本书的组织结构.....12	3.2.6 线性离散系统的 Simulink 描述.....37
第 2 章 Simulink 使用基础13	3.3 连续系统模型及表示.....39
2.1 MATLAB 的计算单元：向量与矩阵.....13	3.3.1 连续系统的基本概念.....39
2.2 MATLAB 计算单元的基本操作.....15	3.3.2 连续系统的数学描述.....40
2.3 多项式表达与基本运算.....17	3.3.3 连续系统的 Simulink 描述.....40
2.4 MATLAB 的基本绘图功能.....18	3.3.4 线性连续系统.....41
2.5 M 文件与 MATLAB 函数.....22	3.3.5 线性连续系统的数学描述.....41
2.5.1 M 文件编辑器.....22	3.3.6 线性连续系统的 Simulink 描述.....43
2.5.2 MATLAB 语言的语法.....23	3.4 混合系统模型及表示.....44
2.5.3 MATLAB 脚本文件与 M 函数.....26	3.4.1 混合系统的数学描述.....45
2.6 MATLAB 的单元与结构体.....28	3.4.2 混合系统的 Simulink 描述与简单分析.....45
习 题.....30	习 题.....46

第二部分 进阶——Simulink 动态系统仿真

第 4 章 创建 Simulink 模型51	4.3.1 模块选择.....63
4.1 启用 Simulink 并建立系统模型.....51	4.3.2 模块操作.....64
4.2 Simulink 模块库简介与使用.....53	4.3.3 运行仿真.....66
4.2.1 Simulink 公共模块库.....53	4.4 设计 Simulink 框图的界面.....67
4.2.2 Simulink 专业模块库.....61	4.4.1 模块及框图属性编辑.....67
4.3 构建 Simulink 框图.....62	4.4.2 信号标签与标签传递.....70

4.4.3 Simulink 子系统介绍.....	72	5.3.3 系统模块参数设置.....	98
4.4.4 建立复杂系统模型.....	74	5.3.4 系统仿真参数设置及仿真分析.....	98
4.5 Simulink 与 MATLAB 的接口设计.....	75	5.3.5 定步长仿真与变步长仿真.....	100
4.5.1 由 MATLAB 工作空间变量设置 系统模块参数.....	75	5.4 连续系统的仿真分析.....	101
4.5.2 将信号输出到 MATLAB 工作空间中.....	76	5.4.1 蹦极跳系统的数学模型.....	101
4.5.3 使用工作空间变量作为系统 输入信号.....	77	5.4.2 建立蹦极跳系统的 Simulink 仿真模型.....	101
4.5.4 向量与矩阵.....	79	5.4.3 系统模块参数设置.....	102
4.5.5 MATLAB Function 与 Function 模块.....	80	5.4.4 系统仿真参数设置与仿真分析.....	103
4.6 使用 Simulink 进行简单的仿真.....	80	5.4.5 仿真精度控制.....	104
习 题.....	82	5.5 线性系统仿真分析.....	105
第 5 章 动态系统的 Simulink 仿真	85	5.5.1 线性离散系统仿真分析.....	106
5.1 简单系统的仿真分析.....	85	5.5.2 线性连续系统仿真分析.....	109
5.1.1 建立系统模型.....	85	5.6 混合系统设计分析.....	110
5.1.2 系统模块参数设置.....	86	5.6.1 混合系统仿真技术的一般知识.....	110
5.1.3 系统仿真参数设置及仿真分析.....	87	5.6.2 混合系统设计之一：通信系统.....	111
5.1.4 仿真步长设置.....	88	5.6.3 混合系统设计之二： 行驶控制系统.....	114
5.2 Scope 高级使用技术.....	90	5.6.4 工作空间输入输出 Workspace I/O 设置.....	117
5.2.1 Scope 模块的使用.....	90	5.7 Simulink 的调试技术.....	120
5.2.2 Display 模块的使用.....	94	5.7.1 Simulink 图形调试器启动.....	120
5.2.3 悬浮 Scope 模块.....	94	5.7.2 调试器的操作设置与功能.....	120
5.3 离散系统的仿真分析.....	97	5.7.3 系统调试举例.....	122
5.3.1 人口变化系统的数学模型.....	97	习 题.....	126
5.3.2 建立人口变化系统的模型.....	97		

第三部分 精通 —— Simulink 高级仿真技术

第 6 章 Simulink 系统仿真原理	129	6.2.5 使用过零检测的其它注意事项.....	137
6.1 Simulink 求解器概念.....	129	6.3 系统代数环的概念与解决方案.....	137
6.1.1 离散求解器.....	129	6.3.1 直接馈通模块.....	137
6.1.2 连续求解器.....	130	6.3.2 代数环的产生.....	137
6.2 系统过零的概念与解决方案.....	132	6.3.3 代数环的举例与解决方案之一： 直接求解系统方程.....	138
6.2.1 过零的产生.....	132	6.3.4 代数环的举例与解决方案之二： 代数约束.....	139
6.2.2 事件通知.....	132	6.3.5 代数环的举例与解决方案之三： 切断环.....	140
6.2.3 支持过零的模块.....	133		
6.2.4 过零的举例——过零的产生与 关闭过零.....	134		

6.4 高级积分器.....	142	8.3.5 simset 与 simget 命令的使用.....	191
6.5 仿真参数设置: 高级选项与诊断选项	145	8.3.6 simplot 命令的使用	193
6.5.1 高级选项	145	8.4 使用 MATLAB 脚本分析动态系统	194
6.5.2 诊断选项	146	8.4.1 蹦极跳的安全性分析.....	194
习 题.....	147	8.4.2 行驶控制系统中控制器的调节	196
第 7 章 Simulink 子系统技术.....	148	8.5 其它内容.....	198
7.1 Simulink 简单子系统概念:		8.5.1 系统状态的确定.....	198
回顾与复习	148	8.5.2 系统平衡点的确定.....	200
7.1.1 通用子系统的生成	149	8.5.3 非线性系统的线性化处理	201
7.1.2 子系统的基本操作	150	8.6 回调函数.....	202
7.2 Simulink 高级子系统技术.....	150	习 题.....	205
7.2.1 条件执行子系统的建立方法	151	第 9 章 S-函数.....	207
7.2.2 使能子系统	152	9.1 S-函数概述.....	207
7.2.3 触发子系统	154	9.1.1 S-函数的基本概念.....	207
7.2.4 触发使能子系统	157	9.1.2 如何使用 S-函数.....	208
7.2.5 原子子系统	157	9.1.3 与 S-函数相关的一些术语.....	210
7.2.6 其它子系统介绍	159	9.2 S-函数的工作原理.....	211
7.3 Simulink 的子系统封装技术.....	161	9.2.1 状态方程.....	211
7.3.1 如何封装子系统	161	9.2.2 Simulink 仿真的两个阶段.....	212
7.3.2 封装编辑器之图标编辑对话框	163	9.2.3 S-函数仿真流程.....	213
7.3.3 封装编辑器之参数初始化对话框	166	9.3 编写 M 文件 S-函数	214
7.3.4 封装编辑器之文档编辑对话框	168	9.3.1 M 文件 S-函数的工作流程	214
7.4 Simulink 模块库技术.....	170	9.3.2 M 文件 S-函数模板	215
7.4.1 模块库的概念及其应用	170	9.3.3 含用户参数的简单系统	217
7.4.2 建立与使用模块库	171	9.3.4 离散系统的 S-函数描述	218
7.4.3 库模块与引用块的关联	172	9.3.5 连续系统的 S-函数描述	220
7.4.4 可配置子系统	174	9.3.6 混合系统的 S-函数描述	221
习 题.....	175	9.4 编写 C MEX S-函数	223
第 8 章 Simulink 命令行仿真技术.....	176	9.4.1 MEX 文件.....	223
8.1 使用命令行方式建立系统模型	177	9.4.2 Simstruct 数据结构	224
8.2 回顾与复习: Simulink 与 MATLAB		9.4.3 工作向量 (Work Vector)	224
的接口.....	183	9.4.4 C MEX S-函数流程	226
8.3 使用命令行方式进行动态系统仿真	185	9.4.5 C MEX S-函数模板	228
8.3.1 使用 sim 命令进行动态系统仿真.....	185	9.4.6 S-函数包装程序.....	234
8.3.2 举例之一: 简单仿真	186	9.4.7 S-function Builder.....	235
8.3.3 举例之二: 仿真时间设置	187	习 题.....	237
8.3.4 举例之三: 外部输入变量设置	189		

第四部分 实例分析——利用 Simulink 进行系统设计与分析

第 10 章 控制系统设计分析	241	第 11 章 DSP Blockset	263
10.1 控制系统的线性分析	241	11.1 DSP 处理单元: 帧	263
10.1.1 滑艇动态方程及其线性化	241	11.1.1 基于帧的信号处理	263
10.1.2 线性时不变系统浏览器 LTI Viewer 介绍	247	11.1.2 设置 Simulink 进行 DSP 仿真	268
10.1.3 LTI 线性时不变系统对象介绍	251	11.2 DSP Blockset 模块库介绍	269
10.2 线性控制系统设计分析	253	11.2.1 信号的操作和管理	269
10.2.1 控制系统工具箱简介	254	11.2.2 信号变换	271
10.2.2 系统分析与设计简介	254	11.2.3 滤波器设计与频率分析	273
10.2.3 单输入单输出系统设计工具	255	11.2.4 功率谱估计	275
10.3 非线性控制系统设计简介	260	11.2.5 统计	277
习 题	261	11.2.6 矩阵操作与线性方程求解	278
		习 题	279
附录 内容索引	281		
参考文献	282		

第一部分

入门

Simulink 辅助设计基础



MATLAB 程序用丛书

第一部分主要介绍动态系统仿真技术的基础知识。如果读者对动态系统仿真技术与 MATLAB 的相关知识都比较熟悉，则可以直接学习第二部分的内容。不过建议读者最好能够浏览一下第一部分的内容，或许你会有新的发现。本部分包括如下内容：

- 绪论：主要介绍系统仿真的基本概念。
- Simulink 使用基础：主要介绍 Simulink 使用的 MATLAB 基础。
- 动态系统模型及其 Simulink 表示：主要介绍动态系统的数学描述及其在 Simulink 中的表示方法。

绪 论

第 1 章

内容概要

- 动态系统仿真的基本概念与基本知识
- 使用 Simulink 进行动态系统的仿真
- 本书的组织结构

1.1 动态系统的计算机仿真

1.1.1 系统与模型

为了能全面、正确地理解系统仿真，需要对系统仿真所研究的对象进行概要的了解。这里对与系统仿真相关的知识——系统与系统模型进行简单的介绍。

1. 系统

系统是指具有某些特定功能，相互联系、相互作用的元素的集合。这里的系统是指广义上的系统，泛指自然界的一切现象与过程。它具有两个基本特征：整体性和相关性。整体性是指系统作为一个整体存在而表现出某项特定的功能，它是不可分割的。相关性是指系统的各个部分、元素之间是相互联系的，存在物质、能量与信息的交换。在自然界与人类社会中存在着多种系统，既包含工程系统如控制系统、通信系统等，也包含非工程系统如股市系统、交通系统、生物系统等。对于任何系统的研究都必须从如下三个方面考虑：

- (1) 实体：组成系统的元素、对象。
- (2) 属性：实体的特征。
- (3) 活动：系统由一个状态到另一个状态的变化过程。

组成系统的实体之间相互作用而引起的实体属性的变化，通常用状态变量来描述。研究系统主要研究系统的动态变化。除了研究系统的实体属性活动外，还需要研究影响系统活动的外部条件，这些外部条件称之为环境。自然界的实物之间是普遍联系的，系统是在外界环境的不断变化中产生活动的，因此研究系统所处的环境是十分必要的。但是应该注意到，系统与环境的边界是不确定的，对于同一个系统可能因为研究目的的不同而不同。系统仿真是研究系统的一种重要手段，而系统模型则是仿真所要研究的直接对象。

2. 系统模型

系统模型是对实际系统的一种抽象，是对系统本质(或是系统的某种特性)的一种描述。模型可视为对真实世界中物体或过程的信息进行形式化的结果。模型具有与系统相似的特性，可以以各种形式给出我们所感兴趣的信息。好的模型能够更深刻地反映实际系统的主

要特征和运动规律，它是对实际系统更高层次上的抽象，本身就是对实体认识的结果。从这个意义上来说，模型优于实体。

模型可以分为实体模型和数学模型。实体模型又称为物理效应模型，是根据系统之间的相似性而建立起来的物理模型。实体模型最常见的是比例模型，如风洞吹风实验常用的翼型模型或建筑模型。数学模型包括原始系统数学模型和仿真系统数学模型。原始系统数学模型是对系统的原始数学描述。仿真系统数学模型是一种适合在计算机上演算的模型，主要是指根据计算机的运算特点、仿真方式、计算方法、精度要求将原始系统数学模型转换为计算机程序。

数学模型可以分为许多类型。按照状态变化可分为动态模型和静态模型。用以描述系统状态变化过程的数学模型称为动态模型。而静态模型仅仅反映系统在平衡状态下系统特征值间的关系，这种关系常用代数方程来描述。按照输入和输出的关系可分为确定性模型和随机性模型。若一个系统的输出完全可以用它的输入来表示，则称之为确定性系统。若系统的输出是随机的，即对于给定的输入存在多种可能的输出，则该系统是随机系统。作为主要研究对象的动态系统又可分为连续系统和离散系统。连续系统的动态模型常用微分方程、状态方程或传递函数来描述。研究这些系统的性质实际上就是求解微分方程。离散系统是指系统的操作和状态变化仅在离散时刻产生的系统，如交通系统、电话系统、通信网络系统等等，常常用各种概率模型来描述。连续系统模型还可分为集中参数的和分布参数的，线性的和非线性的，时变的和时不变的，时域的和频域的，连续时间的和离散时间的等等。表 1.1 列出了各种类型的数学模型及其数学描述。

表 1.1 数学模型分类

模型类型	静态系统模型	动态系统模型			
		连续系统模型			离散系统模型
		集中参数	分布参数	离散时间	
数学描述	代数方程	微分方程 状态方程 传递函数	偏微分方程	差分方程 离散状态方程	概率分布 排队论

1.1.2 计算机仿真

1. 仿真的概念

仿真以相似性原理、控制论、信息技术及相关领域的有关知识为基础，以计算机和各种专用物理设备为工具，借助系统模型对真实系统进行试验研究的一门综合性技术。它利用物理或数学方法来建立模型，类比模拟现实过程或者建立假想系统，以寻求过程的规律，研究系统的动态特性，从而达到认识和改造实际系统的目的。

系统仿真涉及相似论、控制论、计算机科学、系统工程理论、数值计算、概率论、数理统计、时间序列分析等多种学科。

相似性原理是仿真主要的理论依据。所谓相似，是指各类事务或对象间存在的某些共性。相似性是客观世界的一种普遍现象，它反映了客观世界不同事物之间存在着某些共同的规律。采用相似性技术建立实际系统的相似模型就是仿真的本质过程。相似性原理的基本内容包括相似性定义、相似定理和相似方法。因为系统本身具有内部结构和外部行为，所以系统相似性分为两个层次：结构层次和行为层次。具有相同的内部结构必然具有行为

等价的特性，但是行为上的等价并不能说明两个系统具有同构关系。一般而言，对现实世界的模拟都归结为或体现在外部行为的等价。

2. 仿真分类

按照实现方式的不同可以将系统仿真分为如下几类：

(1) 实物仿真：又称物理仿真。它是指研制某些实体模型，使之能够重现原系统的各种状态。早期的仿真大多属于这一类。它的优点是直观形象，至今仍然广泛应用。但是为系统构造一套物理模型，将是一件非常复杂的事情，投资巨大，周期长，且很难改变参数，灵活性差。至于社会系统、经济系统、生物系统则根本就无法用实物作实验。实物仿真系统有各种风洞、水洞以及著名的生态圈 I 等。例如为了研究飞机翼型，要建立翼型的比例模型，更重要的是要在地面建立对空气中气流环境的模拟，投资巨大，周期长，且灵活性差，但是为了研制、验证一种新的翼型，这又往往是必不可少的。

(2) 数学仿真：数学仿真就是用数学语言去表述一个系统，并编制程序在计算机上对实际系统进行研究的过程。这种数学表述就是数学模型。数学仿真把研究对象的结构特征或者输入输出关系抽象为一种数学描述(微分方程、状态方程，可分为解析模型、统计模型)来研究，具有很大的灵活性，它可以方便地改变系统结构、参数；而且速度快，可以在很短的时间内完成实际系统很长时间的动态演变过程；精确度高，可以根据需要改变仿真的精度；重复性好，可以很容易地再现仿真过程。然而数学仿真也有其局限性。对某些复杂系统可能很难用数学模型来表达，或者难以建立其精确模型，或者数学模型过于复杂而目前无法求解，或者计算量太大而无法利用现有的计算资源进行仿真。

(3) 半实物仿真：又称数学物理仿真或者混合仿真。为了提高仿真的可信度或者针对一些难以建模的实体，在系统研究中往往把数学模型、物理模型和实体结合起来组成一个复杂的仿真系统，这种在仿真环节中存在实体的仿真称为半实物仿真或者半物理仿真。这样的仿真系统有飞机半实物仿真、射频制导弹半实物仿真等，并且许多模拟器也属于半实物仿真。

实际上在工程实践中，以上各种仿真往往用于工程中的不同阶段。在工程设计分析阶段采用数学仿真，易于更改设计，具有灵活性和经济性。在部件子系统研制阶段，采用半实物仿真以提高仿真可信度和测试部件或子系统的功能。在最后定型阶段为了验证全系统的功能特性，则需要进行全物理仿真。

按照仿真系统与实际系统时间尺度上的关系，又可将其分为如下几类：

(1) 实时仿真：仿真时钟与系统实际时钟完全一致。许多仿真应用需要满足实时性，这时往往需要实时操作系统或者专用实时仿真硬件的支持。

(2) 欠实时仿真：仿真时钟比实际时钟慢。当对仿真的实时性没有严格的要求时，仿真时钟比实际时钟慢，不影响仿真的目的，采取欠实时仿真则可节约很多资金。

(3) 超实时仿真：仿真时钟比实际时钟快。当实际系统周期太长时，若采用实际时钟就变得毫无意义，这时就要进行超实时仿真。对于大的、复杂的系统进行超实时仿真对计算机的计算速度要求是非常高的，如天气预报系统就需要超级计算机的支持。

3. 计算机仿真

计算机仿真是在研究系统过程中根据相似原理，利用计算机来逼真模拟研究对象。研究对象可以是实际的系统，也可以是设想中的系统。在没有计算机以前，仿真都是利用实

物或者它的物理模型来进行研究的,即物理仿真。物理仿真的优点是直接、形象、可信,缺点是模型受限、易破坏、难以重用。而计算机仿真是将研究对象进行数学描述、建模编程,且在计算机中运行实现。它不怕破坏、易修改、可重用。计算机仿真可以用于研制产品或设计系统的全过程中,包括方案论证、技术指标确定、设计分析、生产制造、试验测试、维护训练、故障处理等各个阶段。

计算机作为一种最重要的仿真工具,已经推出了模拟机、模拟数字机、数字通用机、仿真专用机等各种机型并应用在不同的仿真领域。除了计算机这种主要的仿真工具外还有两类专用仿真器:一类是专用物理仿真器,如在飞行仿真中得到广泛应用的转台,各种风洞、水洞等;另一类是用于培训目的的各种训练仿真器,如培训原子能电站、大型自动化工厂操作人员和训练飞行员、宇航员的培训仿真器、仿真工作台和仿真机舱等。训练仿真器实际上是一种包括计算机、物理模型、实物在内的复杂仿真系统。

1.1.3 仿真的作用

仿真技术具有很高的科学研究价值和巨大的经济效益。由于仿真技术的特殊功效,特别是安全性和经济性,使得仿真技术得到广泛的应用。首先由于仿真技术在应用上的安全性,使得航空、航天、核电站等成为仿真技术最早的和最主要的应用领域。特别是在军事领域,新型的武器系统、大型的航空航天飞行器在其设计、定型过程中,都要依靠仿真试验进行修改和完善;导弹、火箭的设计研制,空战、电子战、攻防对抗等演练也都离不开仿真技术。其次从仿真的经济性考虑,由于仿真往往是在计算机上模拟现实系统过程,并可多次重复运行,使得其经济性十分突出。据美国对“爱国者”等三个型号导弹的定型试验统计,采用仿真试验可减少实弹发射试验次数约 43%,节省费用达数亿美元。我国某种型号导弹在设计和定型过程中,通过仿真试验就缩短研制时间近两年,少进行 20 多次实弹射击,节省费用数千万元。如果不进行仿真试验,导弹改型一次,就要重新进行多次实弹发射,型号定型往往需要进行数十次甚至上百次发射试验。采用模拟器培训工作人员,经济效益和社会效益也十分明显。另外,从环境保护的角度考虑,仿真技术也极具价值。例如,现代核试验多是在计算机上仿真进行,固然是由于计算机技术的发展使其得以在计算机上模拟,但政治因素和环境因素才是进行核试验仿真的主要原因。

仿真技术在许多复杂工程系统的分析和设计研究中越来越成为不可缺少的工具。系统的复杂性主要体现在复杂的环境、复杂的对象和复杂的任务上。然而只要能够正确地建立系统的模型,就能够对该系统进行充分的分析研究。另外,仿真系统一旦建立就可重复利用,特别是对计算机仿真系统的修改非常方便。经过不断的仿真修正,逐渐深化对系统的认识,以采用相应的控制和决策,使系统处于科学的控制和管理之下。

归纳起来,仿真技术的主要用途有如下几点:

- (1) 优化系统设计。在实际系统建立以前,通过改变仿真模型结构和调整系统参数来优化系统设计。如控制系统、数字信号处理系统的设计经常要靠仿真来优化系统性能。
- (2) 系统故障再现,发现故障原因。实际系统故障的再现必然会带来某种危害性,这样做是不安全的和不经济的,利用仿真来再现系统故障则是安全的和经济的。
- (3) 验证系统设计的正确性。
- (4) 对系统或其子系统进行性能评价和分析。多为物理仿真,如飞机的疲劳试验。

- (5) 训练系统操作员。常见于各种模拟器，如飞行模拟器、坦克模拟器等。
- (6) 为管理决策和技术决策提供支持。

1.1.4 仿真算法和仿真软件

1. 仿真算法

在建立系统的数学模型后，需要将其转变成能够在计算机上运行的仿真模型。由于计算机只能进行离散的数值计算，因而必须推导出连续系统的递推数学公式，如解微分方程的龙格库塔算法。这实际上属于数值计算的内容，其发展已经相当完善了。其实这就是计算机仿真算法的设计，即把数学模型转化为能在计算机上运行的仿真模型。

通常这些仿真算法并不需要仿真人员去编制，因为这些仿真算法往往已经内嵌于各种面向仿真用途的专用软件中了。但是对这些算法的了解无疑有助于用户更好地完成仿真任务。一般来说，系统仿真算法有如下几类：

- (1) 集中参数系统仿真算法。
- (2) 分布参数系统仿真算法。
- (3) 离散时间系统仿真算法。

2. 仿真软件

仿真软件是一类面向仿真用途的专用软件，它可能是面向通用的仿真，也可能是面向某个领域的仿真。它的功能可以概括为以下几点：

- (1) 为仿真提供算法支持。
- (2) 模型描述，用来建立计算机仿真模型。
- (3) 仿真实验的执行和控制。
- (4) 仿真数据的显示、记录和分析。

(5) 对模型、实验数据、文档资料和其它仿真信息的存储、检索和管理(即用于仿真数据信息管理的数据库系统)。

根据软件功能，仿真软件可分为以下三个层次：

(1) 仿真程序库：由一组完成特定功能的程序组成的集合，专门面向某一问题或某一领域。它可能是用通用的语言(C++、FORTRAN 等)开发的程序软件包，也可能是依附于某种集成仿真环境的函数库或模块库。很多这样的软件包都是免费的(可以在网上下载)，包括 C++SIM, Mathtools(for MATLAB、C、C++、FORTRAN), SolutionBase(for Delphi)等。

(2) 仿真语言：仿真语言多属于面向专门问题的高级语言，它是针对仿真问题，在高级语言的基础上研制的。它不要求用户掌握复杂繁琐的高级语言，只需用户按照要求书写方程代码，而无需考虑数学模型到仿真模型的转换，这种代码往往更接近于系统本身的数学模型。最终，由机器自动完成由仿真语言到通用高级语言或汇编语言的转换。这样的语言有 ACSL, Simscript, Easy5, Adsim 等。

(3) 集成仿真环境：它是一组用于仿真的软件工具的集合，包括设计、分析、编制系统模型，编写仿真程序，创建仿真模型，运行、控制、观察仿真实验，记录仿真数据，分析仿真结果，校验仿真模型等。它涉及到许多功能软件，如建模软件、仿真执行软件、结果分析软件等。各功能软件存在着信息联系。为了提高效率，必须将它们集成起来，加上方便的操作界面、环境，就形成了集成仿真环境。MathWorks 公司的 Simulink 就是这样的软

件系统。此外还有 Matrix(已经被 MathWorks 并购)、Mideva、Scilab 等集成开发环境。

用户可以链接<http://www.idsia.ch/~andrea/simtools.html>以查阅各种仿真软件的简介,对系统仿真软件进行进一步的了解。

1.1.5 计算机仿真的一般过程

计算机仿真的一般过程可以表述如下:

(1) 描述仿真问题,明确仿真目的。

(2) 项目计划、方案设计与系统定义。根据仿真目的确定相应的仿真结构(实时仿真还是非实时仿真,纯数学仿真还是半物理仿真等),规定相应仿真系统的边界条件与约束条件。

(3) 数学建模:根据系统的先验知识、实验数据及其机理研究,按照物理原理或者采取系统辨识的方法,确定模型的类型、结构及参数。注意要确保模型的有效性和经济性。

(4) 仿真建模:根据数学模型的形式、计算机类型、采用的高级语言或其它仿真工具,将数学模型转换成能在计算机上运行的程序或其他模型,也即获得系统的仿真模型。

(5) 试验:设定实验环境/条件和记录数据,进行实验,并记录数据。

(6) 仿真结果分析:根据实验要求和仿真目的对实验结果进行分析处理(整理及文档化)。根据分析结果修正数学模型、仿真模型或仿真程序或者修正/改变原型系统,以进行新的实验。模型是否能够正确地表示实际系统,并不是一次完成的,而是需要比较模型和实际系统的差异,不断地修正和验证而完成的。

图 1.1 所示为计算机仿真过程流程图。

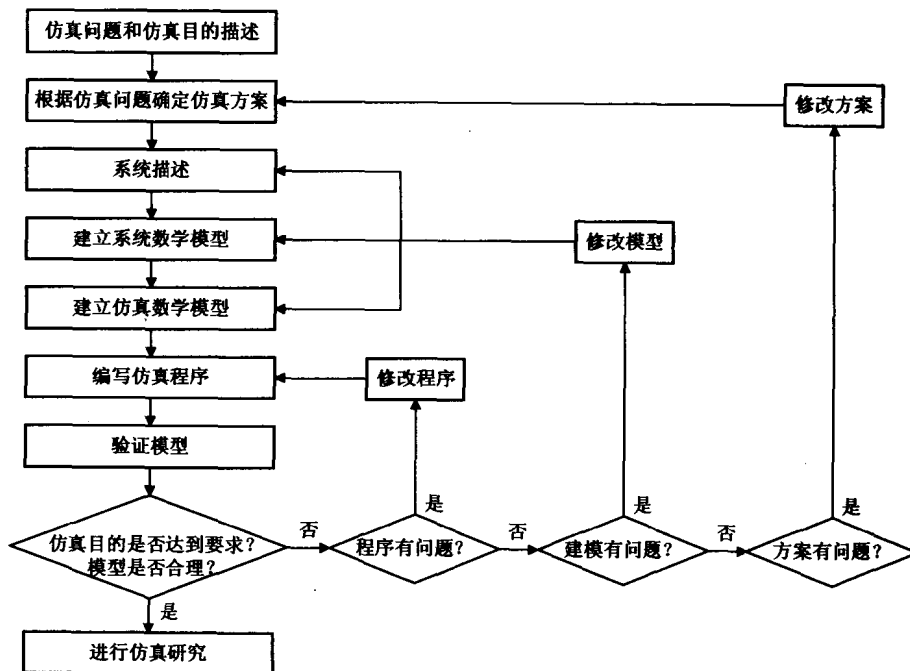


图 1.1 计算机仿真流程图

1.2 动态系统的 Simulink 仿真

1.2.1 Simulink 简介

Simulink 是一个用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包。使用 Simulink 来建模、分析和仿真各种动态系统(包括连续系统、离散系统和混合系统),将是一件非常轻松的事情。它提供了一种图形化的交互环境,只需用鼠标拖动的方法便能迅速地建立起系统框图模型,甚至不需要编写一行代码。它和 MATLAB 的无缝结合使得用户可以利用 MATLAB 丰富的资源,建立仿真模型,监控仿真过程,分析仿真结果。另外,Simulink 在系统仿真领域中已经得到广泛的承认和应用,许多专用的仿真系统都支持 Simulink 模型,这非常有利于代码的重用和移植。使用 Simulink 可以方便地进行控制系统、DSP 系统、通信系统以及其它系统的仿真分析和原型设计。

利用 Simulink 进行系统的建模仿真,其最大的优点是易学、易用,并能依托 MATLAB 提供的丰富的仿真资源。这里对 Simulink 的强大功能进行简单的介绍。

1. 交互式、图形化的建模环境

Simulink 提供了丰富的模块库以帮助用户快速地建立动态系统模型。建模时只需使用鼠标拖放不同模块库中的系统模块并将它们连接起来。另外,还可以把若干功能块组合成子系统,建立起分层的多级模型,Simulink 4.1 版提供的模型浏览器(model browser)可以使用户方便地浏览整个模型的结构和细节。Simulink 这种图形化、交互式的建模过程非常直观,且容易掌握。

2. 交互式的仿真环境

Simulink 框图提供了交互性很强的仿真环境,既可以通过下拉菜单执行仿真,也可以通过命令行进行仿真。菜单方式对于交互工作非常方便,而命令行方式对于运行一大类仿真如蒙特卡罗仿真非常有用。有了 Simulink,用户在仿真的同时,可采用交互或批处理的方式,方便地更换参数来进行“*What-if*”式的分析仿真。仿真过程中各种状态参数可以在仿真的同时通过示波器或者利用 ActiveX 技术的图形窗口显示。

3. 专用模块库(Blocksets)

作为 Simulink 建模系统的补充,MathWorks 公司还开发了专用功能块程序包,如 DSP Blockset 和 Communication Blockset 等。通过使用这些程序包,用户可以迅速地对系统进行建模、仿真与分析。更重要的是用户还可以对系统模型进行代码生成,并将生成的代码下载到不同的目标机上。可以说,MathWorks 为用户从算法设计、建模仿真,一直到系统实现提供了完整的解决方案。而且,为了方便用户系统的实施,MathWorks 公司还开发了实施软件包,如 TI 和 Motorola 开发工具包,以方便用户进行目标系统的开发。表 1.2 列出了 Simulink 的一些软件工具包。