

MATLAB7.x 应用系列丛书

MATLAB7.x

系统建模与仿真

张 亮 郭仕剑 王宝顺 贺兴华 等 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

MATLAB7.x 应用系列丛书

MATLAB7.x 系统建模与仿真

张 亮 郭仕剑 王宝顺 贺兴华 等编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 7.x 系统建模与仿真 / 张亮等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.11
(MATLAB 7.x 应用系列丛书)

ISBN 7-115-15226-8

I. M... II. 张... III. 计算机辅助计算—软件包, MTALAB 7.X IV. TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 103006 号

内 容 提 要

系统建模与仿真是研究、分析、设计各种复杂系统的有利工具。本书重点介绍了 MATLAB 中功能非常强大的动态系统仿真工具 Simulink。本书首先介绍了建模与仿真的基础理论, 然后对 Simulink 的使用作了极为详细的介绍, 内容包括: 仿真技术概述, Simulink6.0 快速入门, 模型的建立, 运用 Simulink6.0 仿真, 仿真结果的分析, Simulink 中的系统模型, 子系统的概念, S 函数模块, 以及 Simulink 在信号处理、通信系统和控制系统中的应用实例。

本书实例丰富, 讲述清晰, 图文并茂, 适合自动控制、机械电子、电力电气、自动化、计算机、通信工程、信号处理等专业的本科生、研究生、教师和科技工作者阅读。

MATLAB7.x 应用系列丛书

MATLAB7.x 系统建模与仿真

◆ 编 著 张 亮 郭仕剑 王宝顺 贺兴华 等

责任编辑 陈万寿

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京通州大中印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15

字数: 370 千字

2006 年 11 月第 1 版

印数: 1—4 500 册

2006 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-15226-8/TN · 2847

定价: 30.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

丛书前言

MATLAB 是当今最优秀的科技应用软件之一，它简单易用，具有强大的科学计算能力、可视化功能、开放式可扩展环境，所附带的工具箱支持 30 多个领域，因此，在许多科学领域中 MATLAB 成为计算机辅助设计和分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台。同时 MATLAB 具有其他高级语言难以比拟的一些优点：编写简单，效率高，易懂易学，因此，MATLAB 语言也被通俗地称为演算纸式的科学算法语言。MATLAB 在信号处理、通信、自动控制及科学计算等领域中被广泛应用，被认为是最能够提高工作效率，改善设计手段的工具软件，掌握了 MATLAB，就掌握了一把开启科学研究专业领域大门的钥匙。

然而，目前市场上的 MATLAB 技术相关书籍，由于受到各种因素的制约，普遍存在着内容不够全面、没有和相关技术发展结合的问题，不能够满足新技术发展的需要。绝大部分现有 MATLAB 图书要么侧重对软件本身使用的介绍，要么侧重相应专业知识的介绍，没有使二者紧密结合。同时，对于实际应用的例子缺乏介绍，参考价值大打折扣。

本系列丛书旨在用 MATLAB 的最新版本软件工具实现数字信号处理、图像处理、小波分析和系统仿真等相关应用领域的新技术、新算法，使读者可以通过解读书中所举的应用实例快速掌握 MATLAB 的新功能、新特性，同时能够快速解决读者感兴趣领域的新问题。本系列首批推出 3 种图书，涉及 MATLAB 应用的 3 个主要方面，简介如下。

《MATLAB7.x 数字信号处理》系统介绍数字信号处理的基本理论，IIR 和 FIR 滤波器的设计，随机信号处理，参数建模数字系统分析，信号变换，以及平稳信号、非平稳信号的分析，同时就相关理论配以 MATLAB 实例，最后给出几个综合的应用实例。

《MATLAB7.x 系统建模与仿真》以最基本的 MATLAB 仿真技术基础为起点，详细介绍系统仿真所必需的仿真输入、输出分析，并以 Simulink 为主要工具介绍动态仿真的基本理论和方法，接着介绍 MATLAB 在通信、电子等专业领域的系统仿真以及实例应用，在各个章节的内容安排上遵循由浅入深、相对独立、示例引导的原则，以方便读者自学或选学。本书各章节还注重介绍高级实用的仿真技术，如优化技术、通信同步技术、自适应滤波器设计、小波分析等，以方便高级用户学习。

《MATLAB7.x 图像处理》系统讲述图像处理的主要内容，包括亮度变换、线性和非线性空间滤波、频率域滤波、图像复原与配准、彩色图像处理、小波、图像数据压缩、形态学图像处理、图像分割、区域和边界表示与描述以及对对象识别等，本书侧重于结合工程实践给出大量的应用实例，使读者能够对 MATLAB 强大的图像处理功能有深刻的了解，同时也能学会正确应用它快速解决实际问题的能力。

本系列丛书重点介绍了 MATLAB 工具箱的最新内容和相关专业的最新理论，能够紧跟技术发展。另外，本丛书注重理论与实际的结合，对所有基础理论和重要算法的讨论都通过 MATLAB 工具箱中相关函数进行了实现，具有较高的工程应用价值。

前 言

系统建模与仿真是一个交叉性基础学科,其应用范围甚广,包括通信、航空航天、雷达、声纳、地震、勘探以及生物医学等领域。长期以来,仿真领域的研究重点一直都放在仿真模型建立这一环节上,即在系统模型建立以后,要设计一种算法,以使系统模型等为计算机所接受,然后再将其编制成计算机程序,并在计算机上运行,因此就产生了各种仿真算法和仿真软件。

由于对模型建立和仿真试验研究较少,因此建模通常需要很长一段时间,同时仿真结果的分析也必须依赖有关专家,而对决策者缺乏直接的指导,这样就大大阻碍了仿真技术的推广应用。

MATLAB 公司发布的新版本 MATLAB7.0 针对编程环境、代码效率、数据可视化、数学计算、文件 I/O 等方面进行了升级,同时包含了功能强大的各种仿真模块,涵盖了信号处理、通信系统、控制系统、医学工程等。随 MATLAB 一起发布的 Simulink6.0 可以辅助技术人员更方便地建立各种系统模型,并通过仿真不断优化设计。

MATLAB 提供的动态系统仿真工具 Simulink 是众多仿真软件中功能强大且容易使用的一种。在 Simulink 中,对系统进行建模将变得非常简单,而且仿真过程是交互的。因此,可以很随意地改变仿真参数,并且立即可以得到修改后的仿真结果。另外,使用 MATLAB 中的各种分析工具,还可以对仿真结果进行分析和可视化。

本书内容由浅入深,以工程应用为背景,对如何使用最新的 MATLAB7.0 中的 Simulink6.0 进行建模与仿真做了极为详细的介绍,内容包括:建模与仿真入门,模型创建,运行仿真,仿真结果分析,仿真模块库及模块,模型和模块参数说明,系统函数编写与使用等。本书的内容涉及 MATLAB 仿真应用数学基础、MATLAB 中的控制系统仿真与设计、MATLAB 中的数字信号处理仿真与滤波器设计以及 MATLAB 中的通信系统仿真及应用。这些内容基本涵盖了系统仿真的各个方面,也反映了近年来系统仿真发展的主要趋势。

本书理论丰富、语言简练、实例经典,既可作为高年级大学生、研究生的教材,也可作为从事仿真技术研究和开发的技术人员的参考用书。本书结构合理,内容上由浅入深,表述上深入浅出,专业知识与实际应用紧密结合,读者通过使用本书,可以学到大量系统设计和仿真的技巧和基本方法,快速掌握利用 MATLAB 进行系统建模和仿真的精髓,能对 Simulink6.0 的使用及其在工程中的应用有一个清晰而系统的认识,可以快速与科学地解决学习、科研和工程实际中的问题。

本书由张亮、王宝顺等执笔,贺兴华、郭仕剑、王继阳负责统稿。作者将书中所举的例程制成了光盘,读者可直接在 MATLAB7.x 环境下运行这些例程,更好地掌握相关内容。同时,光盘中还包括 Simulink 常用命令列表,方便读者查阅。

由于时间仓促,作者水平有限,书中错误之处在所难免,敬请各位专家和广大读者批评指正!

作 者

目 录

第 1 章 MATLAB 仿真技术与应用简介	1
1.1 系统仿真技术概述	1
1.2 MATLAB 仿真技术的发展与应用	4
1.3 MATLAB 仿真技术的特点	4
1.4 仿真应用实例简介	5
第 2 章 Simulink6.0 快速入门	8
2.1 Simulink 简介	8
2.1.1 什么是 Simulink	8
2.1.2 Simulink6.0 的新特点	9
2.1.3 Simulink6.0 的安装	9
2.1.4 Simulink6.0 实时工作环境的作用及其主要特点	10
2.1.5 Simulink6.0 工作环境	11
2.1.6 Simulink6.0 库浏览器界面	12
2.1.7 Simulink6.0 模型窗的组成	14
2.2 Simulink6.0 快速入门	15
2.2.1 建立模型的一般步骤	15
2.2.2 运行一个示例模型	16
2.2.3 示例的说明	17
2.3 Simulink 是如何工作的	18
2.3.1 过零点	18
2.3.2 代数回路	19
2.3.3 非代数直接馈通回路	20
2.3.4 不变的常量	21
第 3 章 模型的建立	23
3.1 模型的概念和文件操作	23
3.1.1 什么是 Simulink 模型	23
3.1.2 模型文件的操作	24
3.2 模块的操作	25
3.2.1 模块的基本操作	25
3.2.2 向量化模块和标量扩展	29
3.2.3 模块参数的设置	30
3.3 信号线的操作	31
3.4 对模型的注释	33

3.5 常用的模型库	34
3.5.1 Source 库信源	35
3.5.2 Sink 库信源	36
3.6 仿真的配置	37
3.6.1 解数器的参数设置	37
3.6.2 仿真数据输入输出设置	39
3.6.3 仿真中异常的诊断	41
第4章 运用 Simulink6.0 仿真	46
4.1 确定模型的特征	46
4.2 使用菜单命令运行仿真	46
4.2.1 设置仿真参数和选择求解器	47
4.2.2 应用仿真参数	47
4.2.3 开始仿真	48
4.2.4 仿真诊断 (Simulation Diagnostics) 对话框	48
4.3 仿真参数设置	49
4.3.1 求解器的选择	49
4.3.2 仿真性能和精度	50
4.4 通过命令行运行仿真	55
4.4.1 使用 sim 命令	55
4.4.2 simset 命令	56
4.4.3 simget 命令	58
第5章 Simulink6.0 仿真结果分析	59
5.1 观察输出轨迹	59
5.1.1 使用 Scope 模块	59
5.1.2 使用返回变量	61
5.1.3 使用 To Workspace 模块	61
5.2 线性化	63
5.3 平衡点的确定 trim	67
5.4 线性化分析函数 linfun	68
5.4.1 离散时间系统的线性化	69
5.4.2 线性化的高级形式	69
5.5 动态系统平衡点分析	70
第6章 Simulink 中的系统模型	78
6.1 连续系统模型	78
6.1.1 线性系统	78
6.1.2 非线性系统	81
6.1.3 连续系统应用实例	81

6.2 离散时间系统模型	87
6.2.1 一些基本模块	87
6.2.2 多速率离散时间系统	88
6.2.3 离散系统应用实例	90
6.3 离散—连续混合系统	93
第7章 子系统	97
7.1 子系统的创建	97
7.1.1 创建自己的子系统	97
7.1.2 用子系统来自定义库	99
7.2 子系统的封装	100
7.2.1 子系统封装示例	101
7.2.2 Icon 选项卡 (图标页)	102
7.2.3 Parameters 选项卡	103
7.2.4 Initialization 选项卡	106
7.2.5 Documentation 选项卡	107
7.2.6 联系封装子系统的参数与子系统模块参数	109
7.3 条件执行子系统	109
7.3.1 触发子系统及其实例	109
7.3.2 使能子系统及其实例	112
7.3.3 触发使能子系统及其实例	114
7.3.4 交替执行子系统及其实例	117
第8章 S 函数模块	120
8.1 S 函数概述	120
8.1.1 什么是 S 函数	120
8.1.2 S 函数的作用与原理	121
8.1.3 S 函数的有关概念	123
8.1.4 S 函数的例子	125
8.2 编写 M 文件形式的 S 函数	126
8.2.1 定义 S 函数模块的属性	127
8.2.2 M 文件形式的 S 函数的例子	127
8.3 编写 C Mex 文件形式的 S 函数	147
8.3.1 C Mex 文件形式的 S 函数基本内容	147
8.3.2 C Mex 文件形式的 S 函数例子	159
8.3.3 使用 Function-Call 子系统	159
8.3.4 S 函数类型	160
第9章 Simulink6.0 在信号处理仿真中的应用	162
9.1 信号处理仿真基础	162

9.2 Simulink6.0 中数字信号处理仿真模块.....	165
9.2.1 Estimation 子模块集.....	165
9.2.2 Math Function 子模块集.....	167
9.2.3 Filtering 子模块集.....	170
9.2.4 Transform 子模块集.....	172
9.2.5 Statistic 子模块集.....	172
9.3 信号处理仿真实例 1——信号滤波.....	172
9.4 信号处理仿真实例 2——卡尔曼滤波.....	181
第 10 章 Simulink6.0 在通信系统仿真中的应用.....	185
10.1 通信系统仿真基础.....	185
10.1.1 通信系统仿真简介.....	185
10.1.2 通信系统仿真流程.....	186
10.2 Simulink6.0 中通信系统仿真模块.....	188
10.2.1 Comm Sources 子模块集.....	189
10.2.2 Source Coding 子模块集.....	189
10.2.3 Channels 子模块集.....	190
10.2.4 Comm Sinks 子模块集.....	190
10.2.5 Modulation 子模块集.....	191
10.2.6 Synchronization 子模块集.....	194
10.2.7 Interleaving 子模块集.....	195
10.2.8 Utility Blocks 子模块集.....	196
10.3 通信系统仿真实例 1——数字幅度调制的抗噪声性能.....	196
10.4 通信系统仿真实例 2——QPSK 与 DQPSK 性能比较.....	201
第 11 章 Simulink6.0 在控制系统仿真中的应用.....	206
11.1 控制系统模型.....	206
11.1.1 数学模型.....	206
11.1.2 数学模型转换(删除)性能指标.....	208
11.2 控制系统仿真实例 1——连续时间控制系统仿真.....	214
11.3 控制系统仿真实例 2——离散时间控制系统仿真.....	218
参考文献.....	229

第 1 章 MATLAB 仿真技术与应用简介

MATLAB 经过十几年的发展完善,已经成为国际控制界公认的标准计算软件,并在大学里广泛使用,深受大学生的喜爱。在欧美的一些大学里, MATLAB 已经成为理工科大学、硕士生、博士生必须掌握的基本工具之一。MATLAB 在仿真领域已经成为主流工具,而且 MATLAB 能够与各种程序语言进行混合编程,大大加快了实际开发周期,这也是它广泛应用于仿真领域的又一原因。

本章主要内容:

- 系统仿真技术概述
- MATLAB 仿真技术的发展与应用
- MATLAB 仿真技术的特点
- 仿真应用实例简介

1.1 系统仿真技术概述

自从有人类以来,人们为了满足自身的基本需要,一直在同外部环境发生着联系。随着时间的流逝,人类所依赖的这种联系方式变得日趋复杂并多样化。人类在科学和工程技术上所做的研究就是努力理解真实世界并能掌握与真实世界发生联系的形式。随着科学和工程技术的发展,人们认识自然和改造自然的能力和手段也不断增强。回顾科学和工程技术的发展历史,在计算机出现之前,科学研究中的绝大部分工作是利用数学手段或其他方法对事物或真实世界进行描述,这也就是建模活动。计算机的出现对科学和工程技术的发展产生了深远的影响,使人们能对复杂事物和复杂系统建立模型并利用计算机进行求解,这些手段和方法逐步形成了计算机仿真技术。建模与仿真成为当今现代科学技术研究的主要内容,建模与仿真技术也渗透到各学科和工程技术领域。

建模与仿真这一领域的发展可分为两个阶段。其一是计算机出现之前,主要是在物理科学基础上的建模;其二是 20 世纪 40 年代计算机诞生以后,出现了计算机仿真技术,它的发展也促进了建模技术的发展,建模与仿真日益紧密,互不可分。

计算机问世不久,人们就清楚地看到这种新机器给很多问题的求解带来了异常的生机,但最初计算机在人类的科学工程活动中的作用是有限的,它仅仅作为一部强有力的、高速的、不会说话的机器。随着计算机的日益完善,许多复杂的模型可以通过计算机来进行计算求解,它在科学技术中的作用也与日俱增,并把模型求解的手段发展成为现代的计算机仿真技术,这样才真正诞生了“仿真”这个新词。计算机仿真技术有着巨大的优越性,利用它可以求解许多复杂而无法用数学手段解析求解的问题,利用它可以预演或再现系统的运动规律或运动过程,利用它可以对无法直接进行实验的系统进行仿真试验研究,从而可以节省大量的资源和费用。由于计算机仿真技术的优越性,它的应用领域已经非常广泛,而且越来越受到普遍的重视。

“仿真”一词即模仿真实，多数人认为仿真就是程序的运行，该程序表示了一个抽象的模型，用来研究现实系统的一些特征。在这个意义上，仿真活动可认为就是支持模型建立与模型分析的所有计算，它对科学工程方法中的模型建立阶段和模型分析阶段具有同等重要的价值。

建模与仿真是指构造现实世界实际系统的模型和在计算机上进行仿真的有关复杂活动，它主要包括实际系统、模型和计算机等 3 个基本部分，同时考虑 3 个基本部分之间的关系，即建模和仿真的关系，如图 1-1 所示。

建模关系主要研究实际系统与模型之间的关系，它通过对实际系统的观测和检测，在忽略次要因素及不可检测变量的基础上，用数学的方法进行描述从而获得实际系统的简化近似模型。仿真关系主要研究计算机的程序实现与模型之间的关系，其程序能为计算机所接受并在计算机上运行。

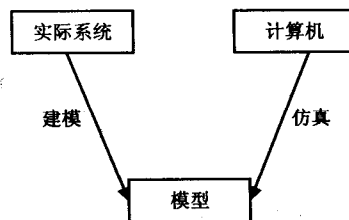


图 1-1 建模与仿真的关系

仿真关系主要关注的是计算机执行模型所规定的指令的真实性。一个模型的程序能否真实地体现模型所具有的内涵，称之为程序的正确性。它主要关心由计算机产生数据的准确性，要确认计算机是真实地产生实际模型的行为还是产生错误的输出，确认计算机是执行了模型本身的特征还是只是一个假象。要验证模型的有效性，需要把模型的行为同实际系统的行为进行比较。这样，首先要检验模型程序的正确性，才不会把程序的问题和模型的问题混淆起来。这也要求我们必须懂得仿真过程，包括仿真机理和仿真策略。除了关注程序的正确性外，仿真关系也包括模型的仿真机理和仿真策略研究。

1984 年，Oren 提出仿真是一种基于模型的活动，并认为仿真包括了 3 个基本要素：对仿真问题的描述、行为产生器和模型行为及其处理。

1. 对仿真问题的描述

任何一个仿真问题都由模型与实验两部分组成，这一点与传统的仿真定义是完全一致的。而任何一个数学模型，不论采用什么样的建模方法，又都由两部分组成：一个参数模型及一组参数值。当我们给定了一个参数模型，同时又赋予它具体的参数值后，就形成了一个特定的模型。另外，实验也可分为两部分：实验框架及仿真运行控制。

一个实验框架可以定义为一组条件，在该条件下，系统可被观测或被进行实验。具体来讲，试验框架可由 5 个部分组成：可观测变量，输入值的调度，初始设置，终止条件，对数据的采集及压缩的具体说明。

所谓对数据的压缩，是指将某个描述变量的轨迹行为转变为更浓缩的形式。一般可分为统计数据压缩及解析数据压缩两种，前者是讲轨迹行为转变为几个点行为，如最小值、最大值、取值范围、标准差等，后者则是讲轨迹行为转变为曲线或某种解析形式。

2. 行为产生器

行为产生器是一套对模型进行实验的软件，比如连续系统仿真中的仿真计算程序。由它可以产生一组随时间变化的系统状态变量的数据（称为模型行为）。

3. 模型行为及其处理

模型行为有 3 种类型：点行为、轨迹行为及结构行为。

在各种类型的仿真中可以获得轨迹行为，它通常被表示为一组系统中各种描述变量随时间推移而变化的数据。

结构行为只可以从可变结构系统模型中获得，即这种系统模型的静态结构（指定一描述变量及其属性）及动态结构（指状态变量之间的动态关系）是可变的。

点行为则是指模型行为的一种特定属性，如最小值、最大值、振荡次数、上升时间、稳定时间等。一般来讲，常规的仿真软件并不产生点行为，它是在对数据进行压缩后才能产生出来。

行为处理包括对行为进行分析及显示。

根据以上分析可以清楚地看出，整个仿真过程包含了建模、实验和分析 3 个主要步骤，它们分别对应上述 3 个要素。这种规范化的认识形成了仿真的基本概念框架——“建模—实验—分析”三段式。

一般来讲，过去的仿真一直着重于“试验”，也即着重于如何获得系统中有关变量的时间响应。近 20 年来，对模型的研究及如何来建立模型已成为仿真活动所关心的问题。同时，建模与模型实验这两者本来是不可分割的，应该一起进行研究。因此，现代仿真是这样一个过程，它为了分析与研究存在的或尚未建成的系统，先建立该系统的模型，再将其安放到计算机上进行实验。仿真的重点包括“模型”和“实验”两个方面，仿真是一种基于模型的活动，仿真的基本概念框架为“建模—实验—分析”。

现代仿真技术的发展是与控制工程、系统工程和计算机技术的发展密切相关的。控制工程是仿真技术较早应用的领域之一，控制工程技术的发展为现代仿真技术的形成和发展奠定了良好的基础。系统工程的发展进一步完善了系统建模与仿真的理论体系，同时使系统仿真广泛应用于非工程系统的研究和预测。

计算机仿真技术不论是在理论上还是在实践上都已经取得了丰硕的成果，积累了大量的系统仿真模型和行之有效的仿真算法。但仿真技术目前仍然存在一些缺陷，例如建模方法尚不完善，研究同一个系统的同一个问题一样建立出不同的模型，而且有效社会经济系统中的问题尚无法建立准确的模型来进行求解。同时，检测者必须通过建模者和仿真试验人员才能介入到对系统的仿真分析中。随着建模与仿真的理论和方法的研究不断深入，以及作为其支撑技术之一的计算机技术的不断发展和进步，计算机仿真技术在应用过程中出现的问题将逐步得到解决。进入 21 世纪，计算机技术的各个方面都取得了异乎寻常的进展。微处理器性能的增长时段利用微型计算机和 workstation 进行复杂系统的仿真分析成为可能，当然像中长期天气预报这样模型复杂、数据繁多、实时性要求高的问题的计算仍然离不开巨型机。在软件设计中广泛采用了面向对象的思想和方法，再加上计算机图形技术的进步，仿真过程中的人机交互越来越方便、直观。总之，计算机仿真技术正朝着一体化建模与仿真环境的方向稳步发展。下面列出在仿真领域的 6 个研究方向，作为本节的结束。

- 建模方法学 (Modeling Methodology)
- 面向对象仿真 (Object-Oriented Simulation)
- 分布交互仿真 (Distributed Interactive Simulation)
- 人工智能 (Artificial Intelligence) 与计算机仿真
- 虚拟现实 (Virtual Reality) 仿真
- Internet 网上仿真

1.2 MATLAB 仿真技术的发展与应用

MATLAB 诞生在 20 世纪 70 年代, 它的编写者是 Cleve Moler 博士和他的同事。当时, Cleve Moler 博士和他的同事开发了 EISPACK 和 LINPACK 的 Fortran 子程序库, 这两个程序库主要是求解线性方程的程序库。但是, Cleve Moler 发现学生使用这两个程序库时有困难, 主要是接口程序不好写, 很费时间。于是 Cleve Moler 自己动手, 在业余时间编写了 EISPACK 和 LINPACK 的接口程序。Cleve Moler 给这个接口程序取名为 MATLAB, 意为矩阵 (MATRIX) 和实验 (LABORATORY) 的组合。

1984 年, Cleve Moler 和 John Little 成立了 Math Works 公司, 正式把 MATLAB 推向市场并继续进行 MATLAB 的开发。1993 年, Math Works 公司推出了 MATLAB4.0; 1995 年, Math Works 公司推出 MATLAB4.2C (For Windows3.x); 1997 年推出 MATLAB5.0; 2000 年 10 月, Math Works 公司推出 MATLAB6.0; 2002 年 8 月推出 MATLAB6.5; 2004 年 6 月最新的版本 MATLAB7.0 开始发布。每一次新版本的推出都使 MATLAB 有了长足的进步, 界面越来越友好, 内容越来越丰富, 功能越来越强大。

在 MATLAB 以商品形式出现后, 仅短短几年就以良好的开放性和运行的可靠性淘汰了当时众多的软件包。进入 20 世纪 90 年代后, MATLAB 已经成为国际控制界公认的标准计算软件, 并在大学里广泛使用, 深受大学生的喜爱。在欧美的一些大学里, 诸如应用代数、数理统计、自动控制、数字信号处理、模拟与数字通信、时间序列分析、动态系统仿真等课程的教科书都把 MATLAB 作为内容, 在那里 MATLAB 成为攻读学位的大学生、硕士生、博士生必须掌握的基本工具之一。

MATLAB 长于数值计算, 能处理大量的数据, 而且效率比较高。Math Works 公司在此基础上开拓了符号计算、文字处理、可视化建模和实时控制能力, 增强了 MATLAB 的市场竞争力, 使 MATLAB 成为了市场主流的数值计算软件。经过多年的工程实践, 人们已经发现 MATLAB 作为计算工具和科技资源可以扩大科学研究的服务, 提高工程生产的效率, 缩短开发周期, 加快探索步伐, 激发创作活力。

Simulink 作为 MATLAB 工具包中的重要一员, 是一种图形化的仿真工具包, 能够进行动态系统建模、仿真和综合分析, 可以处理线性和非线性系统, 离散、连续和混合系统, 以及单任务和多任务系统, 并在同一系统中支持不同的变化速率。

Simulink 应用领域非常广, 可使用的领域包括航空航天、电子、力学、数学、通信、影视、核控制等。世界各地的工程师都在利用它来对实际问题建模, 解决问题。

1.3 MATLAB 仿真技术的特点

应用 MATLAB, 尤其是应用其工具包 Simulink 进行仿真已经成为当今仿真领域的主流方法, 它的应用如此之广泛, 是因为它具有与众不同的特点, 下面介绍主要特点。

1. 交互式仿真工具

Simulink 具有非常友好的界面, 提倡将模型通过框图的形式表示出来, 允许随意修改模

块的参数,允许用户将已有的模型添加组合到一起,或者将自己创建的模块添加到模型当中,并且可以直接无缝地使用 MATLAB 的所有分析工具,对最后得到的结果进行分析,并能够将结果可视化显示。Simulink 的一个意图就是让用户在使用 Simulink 的同时能够感受到建模与仿真的乐趣。通过这个平台,可以激发用户不断地提出问题,对问题进行建模。

对建模,Simulink 提供了非常方便的图形建模方式,通过单击和拖放鼠标搭建框图来完成仿真模型的建立,实现所见即所得。通过 Simulink 提供的窗口,搭建框图就如同用铅笔在白纸上画图一样方便、快捷。与以前将微分方程写成某种语言或程序相比,这无疑是一个创举。

在建立模型之后和允许仿真之前,必须对模型进行参数设置。仿真所需要的模型参数可以通过 Simulink 菜单来进行设置,方便快捷。

2. 良好的移植性和扩展性

MATLAB 是用 C 语言写的,由于 C 语言的良好移植性,因而 MATLAB 也可以方便地移植到能运行 C 语言的平台上。适合 MATLAB 的工作平台有:Windows 系列、UNIX、Linux、VMS6.1、PowerMac。除了内部函数外, MATLAB 所有的核心文件和工具箱的文件都是公开的,都是可读可写的源文件,用户可以通过对源文件进行修改或自己编程构成新的工具箱。

3. 易学易用

MATLAB 是一种面向科学计算与工程计算的高级语言,允许用数学形式的语言编写程序,被称为第四代计算机语言,比 C/C++、Fortran、Basic 等语言更加接近人们书写计算公式的思维方式,用 MATLAB 编写程序犹如在演算纸上排列公式和求解问题。因此, MATLAB 语言也可通俗地称为演算纸式科学算法语言。由于它编写简单,所以编程效率高,易学易用。

4. 方便的可视化

MATLAB 的绘图是十分方便的,它有一系列绘图函数,例如象限坐标、对数坐标、半对数坐标、极坐标等,均只需要调用不同的绘图函数,在图上标出图题、x/y 轴标注,格绘制也只需要调用相应的命令,简单易行。另外,在调用绘图函数时调整自变量可绘出不同颜色的点、线、复线或多重线,这种为科学研究着想的设计,通过其他编程语言实现都是比较麻烦的。

1.4 仿真应用实例简介

仿真在现实世界和科学研究中有广泛的应用,按其应用的实际系统类型可分为:离散时间系统、连续时间系统和离散事件系统等。本节列举一个简单的离散时间系统实例——污染模型仿真,以给读者一个仿真的初步认识,在以下的章节中将逐步深入到如何应用 MATLAB 进行系统仿真。

Forester 在 1972 年提出了一个世界模型,这个模型企图解释关于污染和自然资源耗尽对全球人口数量和质的影响。图 1-2 的污染模型是世界模型的一部分,图中每个圆圈和方框均表示某个函数,圆圈表示瞬时函数,即根据时间 t 的各输入值确定模型在时间 t 的输出值

的函数。例如，函数 $POLCMT$ 描述了人均产生的污染与人均资本投资增值率的关系，它体现了资本投资的量越大，产生污染也就越大。若时间 t ， CIR 有 x 值和 $POLCM$ 有 y 值，则有 $y = POLCMT(x)$ ，也可简化为 $POLCM(t) = POLCMT(CIR(t))$ 。方框表示记忆或非瞬时函数，根据模型被描述为连续时间模型还是离散时间模型，这些方框可以表示积分器或离散时间模拟装置。下面从离散时间模型角度出发来推导污染模型的形式描述。

$$\text{设 } POL(t+h) = POL(t) + [POLG(t) - POLA(t)]h$$

这就是说，在时间 $t+h$ 的 POL （污染）（ h 是离散时间步长，例如 1 年）等于时间 t 的 POL 加上 $POLG(t)h$ （在时间 t 产生的污染）减去 $POLA(t)h$ （在时间 t 被吸收的污染）。换句话说， $[POLG(t) - POLA(t)]h$ 是 $(t, t+h)$ 期间产生的净污染量，加上这个期间开始时的污染量 $POL(t)$ ，便得到该期间末污染量 $POL(t+h)$ 。 $POLG(t) - POLA(t)$ 是产生污染的净比率（近似于连续时间模型中污染 POL 的导数率）。

由图 1-2 可对求解污染 $POL(t+h)$ 的方程进一步展开，并可表示成时间 t 的状态变量值的函数。整个过程的展开方程式包括：

$$POL(t+h) = POL(t) + [POLG(t) - POLA(t)]H$$

$$POLG(t) = P(t) \times POLCM(t)$$

$$POLCM(t) = POLCMT(CIR(t))$$

$$CIR(t) = \frac{CI(t)}{P(t)}$$

$$POLA(t) = POL(t) \times POLR(t)$$

$$POLR(t) = POLCRT(POL(t))$$

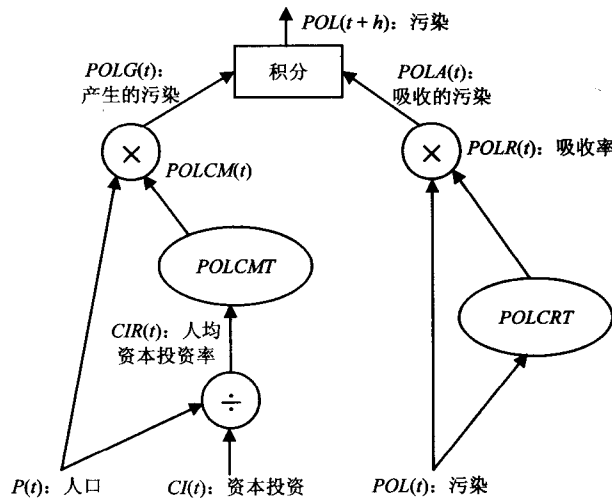


图 1-2 污染模型图

这样，时间 $t+h$ 的 POL （污染）可表示为状态变量 POL （污染）、 CI （资本投资率）和 P （人口）在时间 t 值的函数，即：

$$POL(t+h) = POL(t) + [P(t) \times POLCMT\left(\frac{CI(t)}{P(t)}\right) - POL(t) \times POLCRT(POL(t))]h$$

状态变量 POL 的转移函数可给定为：

$$\delta_{POL}(pol, ci, p) = pol + [p \times POLCMT(\frac{ci}{p}) - pol \times POLCRT(pol)]h$$

如果在时间 t , POL 、 CI 和 P 有 pol 、 ci 和 p 值, 那么在时间 $t+h$, POL 有 $\delta_{POL}(pol, ci, p)$ 值。

综上所述, 对于已经标示了瞬时函数及记忆函数的模型网络描述, 每个模型网络图可容易地转换成某些仿真语言的语句, 或某些图形化仿真工具的对应模块, 如 Simulink。另一方面, 由模型网络描述也可容易地明确状态转移函数和输出函数。

以上向读者简单介绍了一个仿真应用实例, 以期给大家一个大概印象, 在下面的章节中, 我们将逐步学习如何运用 MATLAB 的 Simulink 进行仿真。

第2章 Simulink6.0 快速入门

Simulink 是一种图形化的仿真工具包，能够进行动态系统建模、仿真和综合分析，可以处理线性和非线性系统，离散、连续和混合系统，以及单任务和多任务系统，并在同一系统中支持不同的变化速率。本章主要带领读者快速熟悉 Simulink，初步掌握 Simulink 的使用方法。

本章主要内容：

- Simulink 简介
- Simulink6.0 快速入门
- Simulink 是如何工作的

2.1 Simulink 简介

Simulink 是 MATLAB 众多工具包中的一员，它现在已经成为仿真领域的主流工具，下面将带领读者逐步认识 Simulink。

2.1.1 什么是 Simulink

Simulink 是一个用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包，它支持线性和非线性系统，连续和离散时间模型，或者是两者的混合。系统还可以是多采样率的，比如系统的不同部分拥有不同的采样率。对于建模，Simulink 提供了一个图形化的用户界面（GUI），可以用鼠标点击和拖拉模块的图标建模。通过图形界面，可以像用铅笔在纸上画图一样画模型图，这是以前需要用编程语言明确地用公式表达微分方程的仿真软件包所远远不能相比的。Simulink 包括一个复杂的由接收器、信号源、线性和非线性组件以及连接件组成的模块库，当然也可以定制或者创建用户自己的模块。所有模型都是分级的，因此可以通过自上而下或者自下而上的方法建立模型。可以在最高层面上查看一个系统，然后通过双击系统中的各个模块进入到系统的低一级层面，以查看到模型的更多细节。这一方法提供了一个了解模型是如何组成以及它的各个部分是如何相互联系的方法。定义完一个模型以后，就可通过 Simulink 的菜单或者在 MATLAB 的命令窗口输入命令对它进行仿真。菜单对于交互式工作非常方便，而命令行方式对于处理成批的仿真比较有用（例如，你在进行 Mont carol 仿真时想使参数遍历某一范围的值）。使用 Scopes 或者其他显示模块，可以在运行仿真时观察到仿真的结果。另外，还可以在仿真时改变参数，并且立即就可看到有什么变化。仿真的结果可以放在 MATLAB 的工作空间（workspace）中以待进一步的处理或者可视化。

模型分析可使用的工具包括可直接通过命令行方式调用的线性化和整理（trimming）工具，MATLAB 的其他各种工具，以及所有应用程序工具箱。因为 MATLAB 和 Simulink 是集成在一起的，所以用户可以在任何环境的任意点对用户的模型进行仿真、分析或修改。