



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

通信系统中MATLAB基础与仿真应用

主编 赵 谦



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

通信系统中 MATLAB 基础 与仿真应用

主 编 赵 谦

副主编 赵 肃 张保军

西安电子科技大学出版社

2010

内 容 简 介

本书共 9 章,分为两大部分。第一部分“基础知识篇”(包括前 6 章),以全新的编排方式,由浅入深、循序渐进地介绍了 MATLAB 7.0 的主要函数命令(入门指令、数值计算、图形可视化、程序设计等功能),并结合大量设计实例、操作经验和技巧,系统地讲述了 MATLAB 7.0 的基础知识。第二部分“仿真应用篇”(包括后 3 章),系统地介绍了通信系统的设计、分析和仿真方法,还提供了大量极具参考价值的仿真实例,可使读者在掌握建模、仿真方法的同时,加深对通信系统原理等相关知识的理解。

本书的全部仿真程序都是用 MATLAB 编写的,这不仅方便读者理解仿真的实现过程,还允许读者使用或修改这些代码来进行仿真开发。

本书适合作为高等院校通信、电子、信息等专业高年级本科生或低年级研究生相关课程的教材和参考书,还可供通信领域的科研技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信系统中 MATLAB 基础与仿真应用/赵谦主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2010.3

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2400-6

I. 通… II. 赵… III. 通信系统—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材
IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 016325 号

策 划 毛红兵

责任编辑 邵汉平 毛红兵

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)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 22.5

字 数 531 千字

印 数 1~3000 册

定 价 33.00 元

ISBN 978-7-5606-2400-6/TN·0555

XDUP 2692001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

西安电子科技大学出版社
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任: 杨 震 (南京邮电大学校长、教授)

副主任: 张德民 (重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授)

秦会斌 (杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授)

通信工程组

组 长: 张德民 (兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

王 晖 (深圳大学信息工程学院副院长、教授)

巨永锋 (长安大学信息工程学院副院长、教授)

成际镇 (南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授)

刘顺兰 (杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授)

李白萍 (西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授)

张邦宁 (解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院院长、教授)

张常年 (北方工业大学信息工程学院院长、教授)

范九伦 (西安邮电学院信息与控制系系主任、教授)

姜 兴 (桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授)

姚远程 (西南科技大学信息工程学院副院长、教授)

康 健 (吉林大学通信工程学院副院长、教授)

葛利嘉 (中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授)

电子信息工程组

组 长: 秦会斌 (兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

王 荣 (解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授)

朱宁一 (解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师)

李国民 (西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授)

李邓化 (北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授)

吴 谨 (武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授)

杨马英 (浙江工业大学信息工程学院副院长、教授)

杨瑞霞 (河北工业大学信息工程学院院长、教授)

张雪英 (太原理工大学信息工程学院副院长、教授)

张 彤 (吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授)

陈鹤鸣 (南京邮电大学光电学院院长、教授)

周 杰 (南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授)

欧阳征标 (深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授)

雷 加 (桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授)

项目策划: 毛红兵

策 划: 曹 昞 寇向宏

前 言

信息技术的快速发展,使得通信系统在性能不断提高的同时也变得越来越复杂。正因为如此,采用传统技术对通信系统进行分析 and 设计的日子一去不复返,而由于计算机仿真方法的廉价性、高效性和灵活性,使其成为了通信系统中的主要设计和分析手段之一。另一方面,计算机仿真更是进行通信与网络等科研工作时所必备的工具。然而,目前许多学生都缺乏这个环节的系统训练,得出来的仿真结果往往可信度较差。因此,我们很高兴地将这本书推荐给大家学习使用。

本书共 9 章,分为两大部分。第一部分“基础知识篇”(包括前 6 章),以全新的编排方式,由浅入深、循序渐进地介绍了 MATLAB 7.0 的主要函数命令(入门指令、数值计算、图形可视化、程序设计等功能),并结合大量设计实例、操作经验和技巧,系统地讲述了 MATLAB 7.0 的基础知识。第二部分“仿真应用篇”(包括后 3 章),系统地介绍了通信系统的设计、分析和仿真方法,还提供了大量极具参考价值的仿真实例,可使读者在掌握建模、仿真方法的同时,加深对通信系统原理等相关知识的理解。

本书可作为通信、电子、信息专业本科高年级学生和低年级研究生的建模和仿真课程的教材或参考书,也可作为从事该领域研究开发及工程技术人员的参考资料。

本书内容取自作者多年来为本科生讲授的课程设计、指导的本科学员的毕业设计以及科研的成果和心得,大部分程序由作者精心编制。本书由赵谦任主编并负责统稿工作,其中第 4~9 章由赵谦编写,第 1、2 章由赵肃编写,第 3 章由张保军编写。

本书的出版得到了西安科技大学李国民教授、李白萍教授、韩晓冰副教授、吴延海教授的关心和支持。研究生张晓飞、蒋创新、陈国明、张建红、叶秀斌、白新照、薛利军、兴旺、梁文娟做了大量工作。在此一并表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处望广大读者和同行批评指正。

编 者

2009 年 7 月

目 录

基础知识篇

第 1 章 概述	3	3.3.1 输出格式	49
1.1 仿真的意义	3	3.3.2 特殊变量和常数	51
1.1.1 数理基础与专业知识的学习	3	小结	53
1.1.2 科学研究、产品研发与仿真实验	3	习题	53
1.2 电子通信系统的建模与仿真	4	第 4 章 计算结果可视化	55
1.2.1 通信与电子系统仿真的概念	4	4.1 MATLAB 的图形窗口	55
1.2.2 计算机仿真的步骤	5	4.1.1 创建与控制图形输出窗口	55
1.3 本书提纲	7	4.1.2 图形窗口的操作	56
第 2 章 MATLAB 简介	8	4.2 二维平面图形与坐标系	56
2.1 MATLAB 概述	8	4.2.1 几个基本的绘图命令	56
2.1.1 MATLAB 的特点	8	4.2.2 线型和颜色	62
2.1.2 MATLAB 快速入门	9	4.2.3 二维数值函数曲线的专用 命令 fplot	64
2.1.3 MATLAB 程序设计	13	4.2.4 二维符号函数曲线的专用 命令 ezplot	66
2.2 MATLAB 的帮助文件	18	4.2.5 图形窗口的分割	66
2.2.1 常用帮助命令	18	4.2.6 坐标系的调整	68
2.2.2 其他帮助命令	22	4.3 三维绘图	69
2.3 MATLAB 7.0 的新增功能	23	4.3.1 基本的三维绘图命令	69
第 3 章 MATLAB 的矩阵和数组运算	27	4.3.2 线和面的填色	70
3.1 矩阵函数和矩阵运算	27	4.3.3 三维曲面绘图命令	71
3.1.1 矩阵的创建	27	4.3.4 基本三维绘图命令的几个改进 命令	74
3.1.2 矩阵的保存和提取	34	4.3.5 等高线图形的绘制、标注和 填充	76
3.1.3 矩阵元素的标识	34	4.3.6 三维视图可视效果的控制	79
3.1.4 基本矩阵函数和矩阵分解函数	37	4.3.7 三维图形的照明和材质处理	84
3.1.5 矩阵的加、减、乘、除和乘方 运算	40	4.3.8 柱面和球面的三维表达	86
3.1.6 矩阵函数	42	4.4 特殊图形	88
3.2 数组函数和数组运算	44	4.4.1 面积图命令 area	88
3.2.1 数组和矩阵的区别	44	4.4.2 直方图命令 bar	89
3.2.2 数组的加、减、乘、除和乘方 运算	45	4.4.3 饼图命令 pie	91
3.2.3 数组函数	47	4.4.4 柱形图命令 hist	92
3.3 数据的输出	49	4.4.5 火柴杆图命令 stem	93

4.4.6	阶梯图命令 stairs	95
4.4.7	误差棒图命令 errorbar	95
4.5	坐标轴的控制和图形标注	96
4.5.1	坐标轴控制函数 axis	96
4.5.2	图形坐标	97
小结		102
习题		102
第5章 MATLAB 程序设计基本		
知识		103
5.1	MATLAB 的变量与表达式	103
5.1.1	MATLAB 的变量与类型	103
5.1.2	MATLAB 基本表达式	104
5.2	字符串数组、单元数组和结构数组	105
5.2.1	MATLAB 的数据结构	105
5.2.2	MATLAB 字符串数组	106
5.2.3	MATLAB 单元数组	109
5.2.4	MATLAB 结构数组	111
5.3	MATLAB 的运算符和操作符	113
5.3.1	运算符	113
5.3.2	操作符	113
5.4	关系运算与逻辑运算	114
5.4.1	关系运算	114
5.4.2	逻辑运算	115
5.4.3	关系与逻辑函数	117
5.5	MATLAB 程序结构	122
5.5.1	顺序结构	122
5.5.2	循环结构	122
5.5.3	分支结构	124
5.6	程序流控制语句	127
小结		129
习题		129

第6章 MATLAB 在工程教学中的

应用

6.1	解线性方程组	131
6.1.1	矩阵的分解	131
6.1.2	线性方程组的求解	138
6.1.3	恰定方程组	138
6.1.4	超定方程组	140
6.1.5	欠定方程组	141
6.1.6	方程组的非负最小二乘解	141
6.1.7	方程解的精度	142
6.1.8	用函数零点求方程的解	144

6.1.9	符号方程及方程组的求解	149
6.1.10	矩阵的特征值和特征向量	151
6.1.11	矩阵的对角化和其他矩阵 函数	154
6.2	多项式运算	157
6.2.1	多项式的表示和创建	157
6.2.2	多项式的基本运算	159
6.2.3	因式分解和展开	163
6.2.4	多项式的简化	165
6.2.5	多项式的提取和替换	167
6.3	曲线拟合	169
6.3.1	多项式拟合	169
6.3.2	非线性最小二乘估计	171
6.4	插值和样条	172
6.4.1	一维插值	173
6.4.2	二维函数插值	174
6.4.3	样条函数插值	175
6.5	数值积分和微分	178
6.5.1	一维数值积分	178
6.5.2	多重数值积分	180
6.5.3	数值微分	180
6.6	数据分析函数和傅立叶变换	182
6.6.1	数据分析函数的基础运算和 有限差分	183
6.6.2	傅立叶变换和傅立叶逆变换	186
小结		190
习题		190

仿真应用篇

第7章 仿真的作用

7.1	复杂性示例	196
7.1.1	易于解析处理的系统	196
7.1.2	需繁琐解析处理的系统	197
7.1.3	难以解析处理的系统	199
7.2	仿真的多学科特点	199
7.3	模型	201
7.4	确定性与随机性仿真	203
7.4.1	一个确定性仿真的实例	204
7.4.2	一个随机性仿真的实例	205
7.5	仿真的作用	206
7.5.1	链路预算与系统级标校过程	207
7.5.2	关键元件的实现与测试	208

7.5.3 完成硬件原型与验证仿真模型	208	9.3.2 仿真程序	265
7.5.4 生命终结预测	208	9.3.3 实例仿真	272
7.6 仿真软件包	209	9.3.4 马尔可夫模型的开发	274
7.7 告诫	211	9.4 线性预测谱估计仿真实例	279
第8章 仿真方法论	212	9.4.1 线性预测谱估计的基本原理	279
8.1 概述	212	9.4.2 AR模型谱估计原理	280
8.2 方法论的各方面	213	9.4.3 AR模型的 Yule - Walker	
8.2.1 将问题映射到仿真模型	214	方程	282
8.2.2 单个模块的建模	218	9.4.4 Levinson - Durbin 算法	283
8.2.3 随机过程建模与仿真	222	9.4.5 AR模型的参数提取方法	286
8.3 性能估计	223	9.4.6 AR模型谱估计阶次的确定	288
小结	225	9.4.7 AR模型谱估计的稳定性	291
第9章 仿真实例	226	9.4.8 设计思路及算法流程	291
9.1 冲激响应设计实例	226	9.4.9 AR模型谱估计的仿真结果及	
9.1.1 升余弦脉冲实例	226	分析	296
9.1.2 平方根升余弦脉冲实例	228	9.5 智能天线系统中天线阵的波达方向	
9.1.3 FIR 滤波器仿真模型的实现	229	估计算法的仿真实例	301
9.2 蜂窝无线通信系统的仿真实例	236	9.5.1 DOA 估计的阵列信号数学	
9.2.1 概述	236	模型	302
9.2.2 蜂窝无线系统级描述	237	9.5.2 DOA 估计的传统方法	304
9.2.3 蜂窝通信系统的建模	239	9.5.3 MUSIC 算法	316
9.2.4 仿真方法论	250	9.5.4 求根 MUSIC 算法	332
9.2.5 仿真结果的处理	259	9.5.5 改进 MUSIC 算法	338
9.3 码分多址(CDMA)系统仿真实例	261	参考文献	349
9.3.1 系统	262		



第1章 概 述

1.1 仿真的意义

1.1.1 数理基础与专业知识的学习

在通常的学习过程中,数理知识和专业知识的学习与实践是靠课堂讲授和数量不多的作业以及十分有限的实验来完成二者的结合的。所学的抽象理论、复杂的计算,由于实践的机会不多,且间隔周期又长,因而难以较快地掌握。当结合仿真实验学习时,在掌握了原理与方法的基础上,对于复杂计算的题目,其计算将由计算机来完成,可以迅速得出结果,还可以很快作出相应的图表曲线,其物理本质与规律性将一览无遗;同时,可以方便、频繁地应用先进的软件工具与方法对基本原理、计算方法、先进技术、复杂的系统进行反复的实验研究。过去很长时间才能算出的结果,现在只需使用几条指令,不但有了结果,而且连曲线图都画出来了,这不仅提高了学习相关知识的效率,反过来又加深了对数理知识和专业知识理解。参与者的创造性、想象力也可以在仿真平台上尽情地发挥与展现。每个仿真模型建立的过程,从构思、建设到调试通过,直至最后得出结果,就是一次对专业知识、数理基础和计算机知识的复习、巩固、完善与提高的过程。因此,采用仿真实验的方法既加深了对数理基础、专业知识理解,又提高了学习效率。

1.1.2 科学研究、产品研发与仿真实验

随着信息科学的迅速发展,用于研发、测试的仪器的更新速度也同步加快;伴随着技术含量的提高,这些仪器的价格也越来越昂贵。然而,并不是所有从事研究与开发工作的工程技术人员都能够拥有与科学技术发展进程相应的仪器设备。由于计算机仿真可用于大部分电子工程、现代通信技术和通信系统的实验研究工作,因此采用计算机仿真的方法可以在一定程度上克服没有仪器设备所带来的问题,在计算机及相应软件的配合下,通过专门学习就可以完成相应的实验。

传统的研究与开发工作是从购买元件、做印制电路板、搭建电路、配置相应的仪器开始的。这样的方法在大多数场合已显得很落后。新一代通信产品甚至家用电器,都已经进入了采用 DSP、PLD 和 FPGA 芯片的时代。以前要一大堆器件才能够实现的功能,现在通过对上述芯片的开发,最后用芯片制成功能强大、批量生产、廉价定制的集成电路就可实现。设备的功能变强了,体积缩小了,可靠性提高了,价格降低了。现代通信设备及通信系统的设计步骤是:需求分析,方案设计,建模,仿真实验,制作芯片,设备制造和系统集

成。对建模、仿真技术的掌握,可使研发者在研究、开发领域大有作为。谁开发了芯片,谁就拥有了自主的知识产权。

建模、仿真能力对年轻一代的 IT 技术人才而言已经不是特长,而是基本的技能和交流工具。ITU(国际电信联盟)第三代通信系统的标准讨论规定:技术文本与仿真结果必须同时提交,并且鼓励对其他公司提交的方案进行仿真验证。我们学习掌握 MATLAB 软件工具,在某种意义上说是在科学计算、工程设计和工具应用上与国际接轨。

1.2 电子通信系统的建模与仿真

1.2.1 通信与电子系统仿真的概念

系统仿真(Simulation)技术也称为系统模拟技术,本书中特指自 1970 年以来发展起来的利用现代计算机和仿真软件进行仿真的计算机仿真技术。计算机仿真具有精度高、通用性强、重复性好、建模迅速以及成本低廉等优点,尤其是近年来发展了以 MATLAB/Simulink 为代表的多种科学计算和系统仿真语言,使得其比利用传统的 C/C++ 语言进行仿真方便快捷得多。系统仿真技术在国内学术界和科技界的迅速普及,也大大提高了科学研究的效率。本书是以 MATLAB/Simulink 为仿真语言进行系统仿真实验的。(本书假定读者已经具有 MATLAB/Simulink 和数值计算的基础知识,并对信号与系统、数字信号处理、通信原理有所了解。)

所谓电子通信系统的计算机仿真,就是利用计算机对实际电子通信系统的物理模型或数学模型进行实验,通过这样的模型实验来对一个实际系统的性能和工作状态进行分析和研究。当在实际电子通信系统中进行实验研究比较困难或者根本无法实现时,仿真技术就成为了必然的选择。例如,要测试某种调制方式在时变多径无线电信道中的性能表现,通常只能通过建立时变多径无线电信道的数学模型,利用计算机来实现仿真的无线电信道,通过数值计算以及蒙特卡罗方法进行仿真研究。又如,在对新一代通信体制进行性能分析和系统设计时,实际系统根本不存在,因此必须采用仿真手段。

电子通信系统是以电信号作为主要的信息载体,以信息传输和处理为目的的一类工程系统,是由一系列称为实体的系统元素相互关联而组成的具有一定功能的集合体。对电子通信系统的研究一般是通过建立系统模型来进行的。系统模型是对系统某一方面特定性能的一种抽象形式。例如,在对小信号放大器的研究中,针对直流分析时可建立其直流等效电路模型,而针对交流分析时又要使用其交流等效电路模型。通过对模型的分析 and 研究,就能够认识原型系统某一方面的物理本质。对模型的分析 and 研究通常采用解析计算和数值计算两种方法,解析计算也就是所谓的理论分析方法,而数值计算则是计算机仿真分析方法之一。解析计算和数值计算可以相互印证。对于较为复杂的系统,特别是当这样的系统处于受某种随机因素影响的环境中时,解析计算通常是不可能的,即便可能也只是近似的,在这种情况下,数值计算就显示出了其特有的优势。因此,建模是系统仿真的基础。系统的相似性原理指出,对于自然界中的任何一种系统,均存在另一个系统,两者在某种意义上可以进行相似的数学或物理的描述,例如,力学中的单摆系统与电学中的 LC 振荡电路具有相似的数学方程描述。所以,在某种意义上,系统可以用物理模型或数学模型来近似。

本书中,电子通信系统的物理模型特指利用电源、电阻、电容、电感和晶体管等电子器件所搭建的电子线路。通过物理模型可以进一步抽象出其数学模型。计算机仿真的本质是对系统数学模型进行数值计算。

系统的数学模型是通过抽象的数学方程来描述系统内部物理变量之间的关系从而建立的模型。对系统数学模型进行研究(解析的或数值的)就可以揭示系统内在的随时间变化的性能。按照系统数学模型的性质,可将系统划分为无记忆系统和有记忆系统两大类。无记忆系统又称为静态系统,其数学描述的一般形式是代数方程、逻辑表达式等。有记忆系统又称为动态系统,其数学描述的一般形式是微分方程、差分方程和排队论等,特别是在现代系统分析理论中,常常将微分方程或差分方程采用其等效形式——传递函数和状态方程来描述。状态方程的数值求解是 Simulink 系统仿真工作的基础。采用微分方程形式描述的系统称为连续系统。采用差分方程形式描述的系统称为时间离散系统。如果系统是采用微分方程和差分方程共同来描述的,则称为(连续和离散)混合系统。

本质上,只要能够构造出系统的数学模型,就可以用 MATLAB/Simulink 对任意系统进行仿真分析。但在实际应用中,就方便性而言, MATLAB/Simulink 特别适合于针对电子通信系统模块的系统级仿真,而对于电子通信系统的电路级仿真则显得不太方便,即 MATLAB/Simulink 的 R14 版本还不能够将物理模型(电路)自动转换为数学模型来进行分析。对电子电路进行仿真的首选软件仍然是 Pspice。

1.2.2 计算机仿真的步骤

计算机仿真的一般步骤如下所述。

1. 仿真问题的提出

进行系统设计之前,应该有一个完整、准确的需求说明。建立系统仿真的第一步,就是要清楚、准确地提出仿真实验所要解决的问题。

2. 仿真系统分析

对所提出的仿真系统给出详细定义,明确系统中的模块、系统构成、模块之间的相互关系、系统的输入/输出、边界条件以及系统的约束条件,并确定仿真所要达到的目标。

3. 建立系统的数学模型

根据仿真系统分析的结果,确定系统中的参数、变量及其相互之间的关系,并以数学形式将这些关系描述出来,从而构成仿真系统的数学模型。数学建模是系统仿真中最关键的一步,所建立的数学模型必须尽可能准确地反映所关心的真实系统的特性,而又不能过于复杂,以免降低模型的效率,增加不必要的计算过程。即建模需要根据求解问题的要求,在模型的近似程度与复杂程度之间折中。电子与通信系统的数学模型通常以方框图形式或数学方程形式来表达。

4. 数据收集

根据建立的数学模型所需要的数据元素,收集与模型系统有关的数据。例如,对一个放大器建模之后,就需要选择其中的晶体管等各元器件的型号(物理参数)。

5. 根据数学模型建立系统的计算机仿真模型

系统的计算机仿真模型是指数学模型的计算机实现。确定计算机仿真模型就是根据数

学模型和收集的数据,确定其中各子模块的结构、输入/输出接口、输入/输出的数据表达形式及数据的存储方式等。然后编制相应的程序流程,最后选择某种程序设计语言编程实现。

MATLAB/Simulink 属于一种通用的科学计算和系统仿真语言。在 MATLAB/Simulink 下,从数学模型到计算机仿真模型的转换非常容易, MATLAB/Simulink 提供了以下三种方法来实现这种转换。

(1) M 文件编程实现的方法:根据数学模型所建立的方程和数据参数,通过编程实现方程的表示和数值求解。其特点是灵活性好,数学关系显式地表达在程序语句之中,但是仿真的直观性方面稍显欠缺,通常在仿真计算完毕之后才能看到结果。M 文件编程实现的方法是基于数据流的仿真方法。

(2) Simulink 方法:可以根据数学模型建立对应的系统方框图,通过所见即所得的方式连接模块,然后选择求解方式和精度,运行仿真。其特点是直观性好,可以在仿真过程中实时地修改系统模块的参数,并能够实时地显示当前的仿真结果。Simulink 仿真实现的方法是基于时间流的仿真方法。

(3) Simulink 结合 M 文件编程的方法:这是前两种方法的综合应用,同时具备图形界面的直观性和字符界面的强大功能。事实上,所有 Simulink 的模块以及系统构建、仿真参数、仿真求解算法等均可通过编程语句实现。与通过图形界面交互完成的仿真过程相比较,通过编程语句实现将“手动”的仿真过程真正变成了“自动化”仿真过程。实际中,对于较为复杂的系统,如整个通信接收机的仿真,往往采取 Simulink 结合 M 文件编程的方法。

6. 仿真模型验证

仿真模型验证的目的是确定计算机仿真模型是否准确表达了数学模型。由于计算机仿真模型是由程序实现的数学模型,因此编制程序的错误、求解问题方法选择不当等都会导致仿真结果偏离真实值。在利用 C 语言等编制仿真程序时,程序调试、数值算法调试等都是一件不容易的事情。MATLAB/Simulink 提供了非常稳定的数值计算函数,并且由于 MATLAB 语言更接近数学语言表达,使得在程序调试、查错排错上的花费大大减少,因而用户可以将大量精力集中于数学建模和仿真结果分析上,而不是将时间消耗在程序调试之中。

仿真模型验证通常采用的方法是将数学模型的解析结果(或理论结果)与仿真所得到的数值结果相比较来完成的;或通过已知的系统输入/输出结果,对比在相同条件下的系统仿真结果来验证仿真模型的正确性。

7. 仿真模型的确认

仿真模型的确认就是确定仿真模型是否按照设计所要求的精度来代表实际的系统,即仿真模型是否合理。可通过将模型与现实系统相比较来确认仿真模型。例如,对于无线电信道可以有不同的数学建模,而这些数学模型对于特定条件下的实际无线电信道的近似程度往往是不同的。模型验证和确认对于系统仿真结果的有效性是至关重要的。工程实践中,在图上作业时,经仿真实验得出相关结果后,还要进行现场踏勘。此时可以验证建模与仿真的结论与实际测量结果的差异,对仿真模型进行分析和评估。但是,目前系统仿真界对模型验证和确认的理论研究还比较少,重视程度也不够。

8. 仿真实验设计

仿真实验设计就是确定仿真实验方案,包括系统激励信号设计、系统仿真时间设计、仿真运行次数设计以及仿真系统的其他参数设计等。

9. 计算机仿真模型的运行

根据仿真实验设计的方案,让计算机执行计算,并在执行计算的过程中了解仿真模型对于各种不同输入信号以及不同参数和仿真机制下的输出,得出实验数据,从而预测系统在实际环境中的运行情况。

10. 计算机仿真结果分析

对仿真模型的运行阶段所产生的数据进行分析,其目的是从运行阶段所产生的数据中找出系统运行规律,对仿真系统的性能做出评价,为系统方案的最终决策提供辅助支持。对仿真结果的分析通常采用统计学的分析方法,通过对仿真数据的可靠性、一致性、置信度等做出判定,最终将仿真结果以动画、曲线、图表和文字等形式形成仿真报告或论文。在 MATLAB/Simulink 中提供了非常方便的数据分析函数和显示工具,如作图、示波器、频谱分析仪、动画、统计工具箱中的各种统计分析函数及数据插值等。

1.3 本书提纲

本书共 9 章,分为两大部分。

第一部分“基础知识篇”,包括前 6 章,主要论述 MATLAB 基础知识。书中列举了大量的实例和习题,有利于读者在最短时间内全面掌握 MATLAB 的基础知识,并开发和设计自己的 MATLAB 应用程序。

第二部分“仿真应用篇”,包括后 3 章,主要论述了高级建模与仿真的方法,介绍在开发高级仿真时遇到的一些问题。第 9 章以五个实例仿真结束全书,其中重点讨论了无线蜂窝通信系统的仿真、线性预测谱估计的仿真以及移动通信波达方向(DOA)估计算法的仿真实例,供欲作进一步研究的读者参考。

本书内容主要是在 MATLAB 7.0 版本的基础上进行论述和开发的。

第2章 MATLAB 简介

2.1 MATLAB 概述

2.1.1 MATLAB 的特点

MATLAB 是 MathWorks 公司开发的一种跨平台的、用于矩阵数值计算的简单高效的数学语言。与其它计算机高级语言如 C、C++、FORTRAN、BASIC、Pascal 等相比, MATLAB 语言编程要简洁得多, 编程语句更加接近数学描述, 可读性好, 其强大的图形功能和可视化数据处理能力也是其它高级语言望尘莫及的。对于具有任何一门高级语言基础的读者来说, 学习 MATLAB 十分容易。但是, 要用好 MATLAB 却不是在短时间内就可以达到的。这并不是因为 MATLAB 语言复杂难懂, 而是实际问题的求解往往需要使用者具备更多的数学知识和专业知识。MATLAB 使得人们摆脱了常规计算机编程的繁琐, 让人们能够将大部分精力投入到研究问题的数学建模上。可以说, 应用 MATLAB 这一数学计算和系统仿真的强大工具, 可以使科学研究的效率得以成百倍的提高。

目前, MATLAB 已经广泛用于理工科大学从高等数学到几乎各门专业课程之中, 成为这些课程进行虚拟实验的有效工具。在科研部门, MATLAB 更是极为广泛地得到应用, 成为全球科学家和工程师进行学术交流时首选的共同语言。在国内外许多著名学术期刊上登载的论文, 大部分的数值结果和图形都是借助 MATLAB 来完成的。

与其它高级语言相比较, MATLAB 具有以下独特的优势:

(1) MATLAB 是一种跨平台的数学语言。采用 MATLAB 编写的程序可以在目前所有的操作系统上运行(只要这些系统上安装了 MATLAB 平台)。MATLAB 程序不依赖于计算机类型和操作系统类型。

(2) MATLAB 是一种超高级语言。MATLAB 平台本身是用 C 语言写成的, 其中汇集了当前最新的数学算法库, 是许多专业数学家和工程学者多年的劳动结晶。使用 MATLAB 意味着站在巨人的肩膀上观察和处理问题, 所以在编程效率及程序的可读性、可靠性和可移植性上远远超过了常规的高级语言。这使得 MATLAB 成为了进行科学研究和数值计算的首选语言。

(3) MATLAB 语法简单, 编程风格接近数学语言描述, 是数学算法开发和验证的最佳工具。MATLAB 以复数矩阵运算为基础, 其基本编程单位是矩阵, 使得编程简单而功能极为强大。对于常规语言中必须使用许多语句才能实现的功能, 如矩阵分解、矩阵求逆、

积分、快速傅立叶变换,甚至串口操作、声音的输入/输出等,在 MATLAB 中均用一两句指令即可实现。而且, MATLAB 中的数值算法是经过千锤百炼的,比用户自己编程实现的算法的可信度和可靠性都大为提高。

(4) MATLAB 计算精度很高。MATLAB 中数据是以双精度存储的,一个实数采用 8 字节存储,而一个复数则采用 16 字节存储。通常矩阵运算精度高达 10^{15} 以上,完全能够满足一般工程和科学计算的需要。与其它语言相比, MATLAB 对计算机内存、硬盘空间的要求也是比较高的。

(5) MATLAB 具有强大的绘图功能。利用 MATLAB 的绘图功能,可以轻易地获得高质量的曲线图;具有多种形式来表达二维、三维图形,并具有强大的动画功能,可以非常直观地表现抽象的数值结果。这也是 MATLAB 广为流行的重要原因之一。

(6) MATLAB 具有串口操作、声音输入/输出等硬件操控能力。随着版本的提高,这种能力还会不断加强,使得人们利用计算机和实际硬件相连接的半实物仿真的梦想得以轻易实现。

(7) MATLAB 程序可以直接映射为 DSP 芯片可接受的代码,大大提高了现代电子通信设备的研发效率。

(8) MATLAB 的程序执行效率比其它语言低。MATLAB 程序通常是解释执行的,在执行效率和速度上低于其它高级语言。当然,如果对执行效率有特别要求,则可以采用 C 语言编制算法,然后通过 MATLAB 接口在 MATLAB 中执行。事实上, MATLAB 自带的许多内部函数均是用 C 语言编写并编译的,因此利用 MATLAB 内部函数的程序部分运行速度并不比其它语言中相应函数低。

本书给出的程序和例子均在 MATLAB Release 14(7.0)(完全安装)版本下验证通过。

2.1.2 MATLAB 快速入门

1. MATLAB 的启动和退出

本书以 Windows XP 下的 MATLAB 7.0 为例,在其它 Windows 版本下的操作是类似的。假定已经正确安装了 MATLAB 的 Windows 版本,从 Windows 的“开始|程序”菜单中找到 MATLAB 图标,单击该图标即可进入 MATLAB 环境。进入 MATLAB 后,操作环境通常显示的是 MATLAB 的命令窗口,在该窗口中可以输入各种 MATLAB 命令和语句,通过命令方式与 MATLAB 进行交互。虽然 MATLAB 也像通常的 Windows 程序一样提供了菜单和快捷工具栏,通过它们可以很方便地对 MATLAB 进行操作,但是建议读者尽可能使用命令方式去操作 MATLAB。虽然刚开始可能觉得不太方便,但是与菜单和快捷工具方式相比,命令方式的功能最为强大,也最能体现 MATLAB 的精髓,而且命令方式本身也是跨平台的。

在 MATLAB 命令窗口中,输入命令的提示符为“>>”。

在 MATLAB 命令窗口中,键入命令“quit”或“exit”并按回车键,即可退出 MATLAB 环境。

2. 在 MATLAB 中如何获取帮助

MATLAB 几乎涉及了所有工程领域的数学问题。因为 MATLAB 帮助文档是唯一完