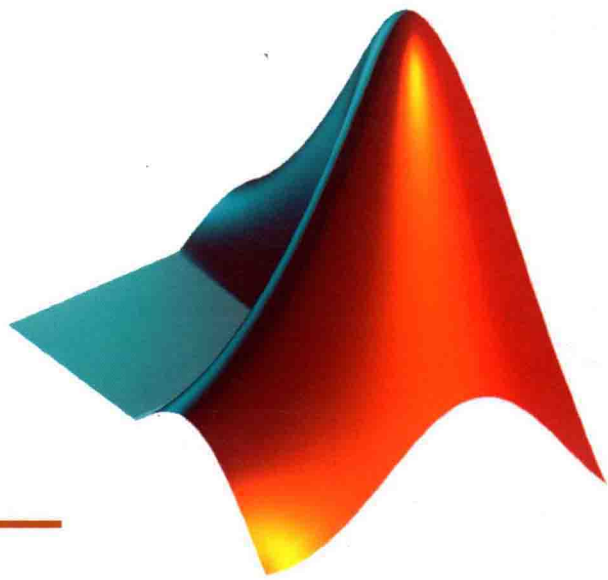




普通高校“十三五”规划教材



基于 MATLAB/Simulink 的 通信系统建模与仿真 (第2版)

主 编 张 瑾 周 原
副主编 姚巧鸽 赵 静



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十三五”规划教材

基于 MATLAB/Simulink 的 通信系统建模与仿真

(第 2 版)

主 编 张 瑾 周 原
副主编 姚巧鸽 赵 静



程序源代码下载

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以 MATLAB R2016a 为平台,通过大量的 MATLAB、Simulink 仿真实例,加深读者对通信系统原理的理解。本书共 9 章,前 8 章主要包括仿真思想的引入、MATLAB 语言及 Simulink 仿真基础、MATLAB 计算和可视化、信号系统分析基础、模拟信号的数字传输、数字信号基带传输、载波调制、数字信号处理应用等内容。第 9 章综合篇,提供了通信系统原理仿真、语音信号处理、计算机视觉这三个方向的 4 个设计项目,供读者在学习前面章节的基础上,对仿真技术加以综合运用。

本书中所举的大量实例有助于读者对通信原理及仿真实践的理解,设计项目也提供了必要的程序框架和参考资料,可作为高等院校通信工程、电子信息技术等专业学生的通信仿真课程教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于 MATLAB/Simulink 的通信系统建模与仿真 / 张瑾,
周原主编. -- 2 版. -- 北京:北京航空航天大学出版社,
2017.9

ISBN 978-7-5124-2489-0

I. ①基… II. ①张… ②周… III. ①自动控制系统
—系统仿真—Matlab 软件—高等学校—教材 IV.

①TP273-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 193824 号

版权所有,侵权必究。

基于 MATLAB/Simulink 的通信系统建模与仿真(第 2 版)

主 编 张 瑾 周 原

副主编 姚巧鸽 赵 静

责任编辑 王慕冰

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

三河市华骏印务包装有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14.25 字数:365 千字

2017 年 10 月第 2 版 2017 年 10 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-2489-0 定价:29.00 元

前 言

MATLAB是由美国的 MathWorks 公司推出的一种科学计算和工程仿真软件,将高性能的科学计算、结果可视化和编程集中在一个易于操作的环境中。目前,在世界范围内被科研工作者、工程技术人员和院校师生广泛应用。本书通过大量的 MATLAB、Simulink 仿真实例,加深读者对通信系统建模与仿真的理解。

全书共 9 章。第 1 章介绍仿真的基本思想以及通信系统仿真的方法等;第 2 章介绍 MATLAB/Simulink 的基本操作、通信系统工具箱等内容;第 3 章介绍运用 MATLAB 进行数值计算的方法,以及二维/三维图形绘制的常用命令等;第 4 章介绍傅里叶变换和随机过程等信号系统分析的基础;第 5 章介绍“抽样—量化—编码”三个步骤;第 6 章介绍基带信号的码型、码间串扰、基带传输的差错率分析;第 7 章介绍 AM、DSB、FM、ASK、FSK、PSK、DPSK、OFDM 调制解调过程的仿真;第 8 章介绍 DSP 工具箱的使用以及运用 DSP 工具箱进行滤波器设计的方法;第 9 章提供通信系统原理仿真、语音信号处理、计算机视觉这三个方向的 4 个设计项目,供读者在学习前面章节的基础上,对仿真技术加以综合运用和实践。前 8 章各内容均通过 MATLAB 函数或 Simulink 模块进行仿真,第 9 章各设计项目也提供了必要的程序框架和参考资料。

本书层次分明,浅显易懂,大量的实例有助于读者对通信系统原理及仿真实践的理解。第 2 版在保持第 1 版风格的基础上,对内容和结构进行了优化;对所有 Simulink 模型进行了升级;增加了综合实践项目;删去了每章课后练习,计划重新编写配套上机实践教程;适合高等院校通信工程、电子信息技术等专业学生作为通信仿真课程教材和参考书。

参与本书编写工作的教师有:西南交通大学的张瑾,黄淮学院的周原、姚巧鸽,成都大学的赵静。本书在编写过程中得到了北京航空航天大学出版社的帮助和支持,作者在此表示诚挚的感谢!作者还要感谢家人潘磊、潘若葭、张海明、吴启荣的全力支持,没有家人们的鼓励和担当,书稿不可能按期完成;同时感谢西南交通大学的李永辉、陈林秀、易庆萍、杨乃琪、孟军和黄淮学院的郑来文、陈中显、王单等同事在书稿内容选取、文字校对方面所提供的帮助。

本书拟配备实验教材电子版,仅供订购教材的教师使用,索取邮箱 goodtextbook@126.com,联系电话 010-82317036。本书为读者免费提供程序源代码,以二维码的形式印在扉页及前言后,请扫描二维码下载。读者也可通过网址 <http://www.buaapress.com.cn/upload/download/20170920mtsi.zip> 或者 <http://pan.baidu.com/s/1pLVzmKb> 下载该源代码。

本书在 MATLAB 中文论坛设有专门的在线交流版块,相关链接如下:

“读者—作者”交流版块:<https://www.ilovematlab.cn/forum-261-1.html>

源程序下载地址:<https://www.ilovematlab.cn/thread-524145-1-1.html>

勘误地址:<https://www.ilovematlab.cn/thread-524127-1-1.html>

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。作者联系方式: zhangjin_em@hotmail.com。

编者

2017年5月



程序源代码下载

本书所有程序的源代码均可通过 QQ 浏览器扫描二维码免费下载。读者也可以通过以下网址下载全部资料: <http://www.buaapress.com.cn/upload/download/20170920mtsi.zip> 或者 <http://pan.baidu.com/s/1pLVzmKb>。若有与配套资料下载或本书相关的其他问题,请咨询北京航空航天大学出版社理工图书分社,电话(010)82317036,邮箱:goodtextbook@126.com。

若您对此书内容有任何疑问,可以登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

目 录

第 1 章 仿真思想的引入	1
1.1 仿真的定义和分类	1
1.1.1 仿真的定义	1
1.1.2 仿真的分类	1
1.1.3 仿真技术的发展与应用	2
1.2 通信系统仿真	4
1.2.1 通信系统	4
1.2.2 通信系统模型	4
1.2.3 通信系统仿真的概念和意义	5
1.2.4 通信系统仿真的一般流程	6
1.3 通信系统仿真方法和仿真工具	6
1.3.1 通信系统仿真方法	6
1.3.2 通信系统仿真工具	7
第 2 章 MATLAB 语言及 Simulink 仿真基础	8
2.1 MATLAB 概述	8
2.1.1 MATLAB 家族	8
2.1.2 MATLAB 发展及特点	11
2.1.3 MATLAB R2016b 界面环境	12
2.2 MATLAB 基本语法和基本操作	15
2.2.1 变量赋值	15
2.2.2 矩阵运算	16
2.2.3 程序控制语句	18
2.2.4 基本绘图方法	21
2.3 Simulink 简介	24
2.3.1 Simulink 家族及主要功能	24
2.3.2 Simulink 基本模块库	27
2.3.3 Simulink 建模仿真的操作过程	29
2.4 MATLAB/Simulink 在通信仿真中的应用	31
第 3 章 MATLAB 计算和可视化	34
3.1 符号计算基础	34
3.2 矩阵及线性代数方程组的求解	35
3.2.1 符号矩阵的创建	36
3.2.2 符号矩阵的运算	36
3.2.3 代数方程组的求解	37

3.3	函数的极限及微积分运算	38
3.3.1	函数求极限	38
3.3.2	微分与 Jacobian 矩阵	39
3.3.3	积分运算	40
3.3.4	微分方程(组)的求解	41
3.4	用 MATLAB 绘制二维图形	42
3.4.1	MATLAB 图形绘制的基本步骤	42
3.4.2	MATLAB 基本绘图命令	43
3.4.3	二维图形的创建及曲线颜色、线型、数据点型设置	44
3.4.4	二维图形的标注	46
3.4.5	几种特殊二维图形的绘制	48
3.5	三维图形的绘制	54
3.5.1	三维图形的基本绘制方法	54
3.5.2	典型三维图形的绘制	56
第4章	信号系统分析基础	60
4.1	概 述	60
4.2	傅里叶变换的主要性质及傅里叶变换对	63
4.2.1	周期信号的傅里叶级数	63
4.2.2	傅里叶变换及其性质	66
4.3	功率和能量	74
4.4	随机变量的产生	75
4.5	高斯过程	79
4.6	随机过程和白噪声的功率谱	82
4.6.1	随机过程的能量和功率谱密度	82
4.6.2	白噪声功率谱密度和二进制随机数序列	85
4.7	随机过程的线性滤波	88
第5章	模拟信号的数字传输	94
5.1	概 述	94
5.2	抽样定理	96
5.2.1	低通抽样定理	96
5.2.2	带通抽样定理	100
5.3	量 化	101
5.3.1	标量量化	101
5.3.2	均匀量化	105
5.3.3	非均匀量化	106
5.4	PCM 编码	113
5.5	DPCM	115
第6章	数字信号基带传输	117
6.1	数字基带信号的码型	117

若您对此书内容有任何疑问，可以登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

6.2	码型的功率谱分布	124
6.2.1	理论分析	124
6.2.2	MATLAB 程序实现	125
6.3	码间串扰	128
6.3.1	基带传输系统模型及码间串扰的定义	128
6.3.2	无码间串扰的传输条件	129
6.3.3	降低码间串扰的脉冲波形	130
6.3.4	眼 图	132
6.4	基带传输的差错率分析	137
6.4.1	分析模型	138
6.4.2	MATLAB 提供的分析工具	138
6.4.3	分析举例	139
第 7 章	载波调制	143
7.1	模拟调制	143
7.1.1	标准 AM 调制	143
7.1.2	DSB 调制	146
7.1.3	频率调制 FM	148
7.2	幅移键控 ASK	150
7.2.1	调制原理介绍	150
7.2.2	调制举例	150
7.3	频移键控 FSK	152
7.3.1	原理介绍	152
7.3.2	调制举例	152
7.3.3	解调与检测	154
7.4	相移键控 PSK 和 DPSK	163
7.4.1	PSK 调制原理介绍	163
7.4.2	PSK 调制举例	164
7.4.3	PSK 解调与检测	167
7.4.4	DPSK 调制与解调	175
7.5	多载波调制与 OFDM	180
7.5.1	OFDM 的基本原理	180
7.5.2	OFDM 的实现	181
第 8 章	数字信号处理应用	186
8.1	DSP 系统工具箱简介	186
8.1.1	信号源模块组	187
8.1.2	滤波器模块组	187
8.1.3	数学函数模块组	188
8.1.4	量化器模块组	189
8.1.5	信号运算模块组	189

8.1.6	信号管理模块组	190
8.1.7	信号变换模块组	191
8.1.8	统计模块组	191
8.1.9	信宿模块组	192
8.2	模型的建立	193
8.3	信号的滤波	195
8.3.1	使用 fdesign 设计滤波器	195
8.3.2	使用 Filter Builder 设计滤波器	198
8.3.3	设计一个低通滤波器	198
8.3.4	设计一个自适应滤波器	201
第9章 综合篇		207
9.1	模拟信号的数字化过程设计项目	207
9.2	电话按键拨号器的仿真设计项目	210
9.3	语音识别系统设计项目	213
9.4	自动人脸识别系统设计项目	215
参考文献		217

若您对此书内容有任何疑问，可以登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

1.1 仿真的定义和分类

1.1.1 仿真的定义

仿真以数学理论、相似原理、信息技术、计算技术、系统技术及其应用领域有关的专业技术为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具,利用系统模型对实际的或设想的系统进行试验研究的一门综合性技术。1966年,雷诺(T. H. Naylor)对仿真做了如下定义:“仿真是在数字计算机上进行试验的数字化技术,它包括数字与逻辑模型的某些模式,这些模型描述某一事件或经济系统(或者它们的某些部分)在若干周期内的特征。”从定义中可以看出,要进行仿真试验,系统和系统模型是两个主要因素。同时由于对复杂系统的模型处理和模型求解离不开高性能的信息处理装置,而现代化的计算机又责无旁贷地充当了这一角色,因此仿真应该包括三个基本要素:系统、系统模型、计算机及其相关软件。联系这三项要素的基本活动则是模型建立、仿真模型建立和仿真试验。

1.1.2 仿真的分类

依据不同的分类标准,可将系统仿真进行不同的分类。例如:

(1) 根据被研究系统的特征可分为两大类,即连续系统仿真和离散事件系统仿真。连续系统仿真是指对那些系统状态量随时间连续变化的系统的仿真研究,包括数据采集与处理系统的仿真。这类系统的数学模型包括连续模型、离散时间模型以及连续-离散混合模型。离散事件系统仿真则是指对那些系统状态只在一些时间点上由于某种随机事件的驱动而发生变化的系统进行仿真试验。这类系统的状态量是由于事件的驱动而发生变化的,在两个事件之间状态量保持不变,因而是离散变化的,称之为离散事件系统。这类系统的数学模型通常用流程图或网络图来描述。

(2) 按仿真实验中所取的时间标尺 τ (模型时间)与自然时间(原型)时间标尺 T 之间的比例关系,可将仿真分为实时仿真和非实时仿真两大类。若 $\tau/T=1$,则称为实时仿真;否则称为非实时仿真。非实时仿真又分为超实时($\tau/T>1$)和亚实时($\tau/T<1$)两种。

(3) 按照参与仿真的模型的种类不同,将系统仿真分为物理仿真、数学仿真及物理-数学仿真(又称半物理仿真或半实物仿真)。物理仿真,又称物理效应仿真,是指按照实际系统的物理性质构造系统的物理模型,并在物理模型上进行试验研究。物理仿真直观形象,逼真度高,但不如数学仿真方便;尽管不必采用昂贵的原型系统,但在某些情况下构造一套物理模型也需花费较大的投资,且周期也较长,此外在物理模型上进行试验不易修改系统的结构和参数。

数学仿真是指首先建立系统的数学模型,并将数学模型转化成仿真计算模型,通过仿真模型的运行达到对系统运行的目的。现代数学仿真由仿真系统的软件/硬件环境、动画与图形显示、输入/输出等设备组成。数学仿真在系统分析与设计阶段是十分重要的,通过它可以检验理论设计的正确性与合理性。数学仿真具有经济性、灵活性和仿真模型通用性等特点,今后随着并行处理技术、集成化软件技术、图形技术、人工智能技术、先进的交互式建模和仿真软硬件技术的发展,数学仿真必将获得飞速发展。

物理-数学仿真,又称为半实物仿真,准确的称谓是硬件(实物)在回路中(Hardware in the Loop)的仿真。这种仿真将系统的一部分以数学模型描述,并把它转化为仿真计算模型;另一部分以实物(或物理模型)方式引入仿真回路。半实物仿真有以下几个特点:

(1) 原系统中的若干子系统或部件很难建立准确的数学模型,再加上各种难以实现的非线性因素和随机因素的影响,使得进行纯数学仿真十分困难或难以取得理想效果。在半实物仿真中,可将不易建模的部分以实物代替参与仿真试验,从而避免建模的困难。

(2) 利用半实物仿真可以进一步检验系统数学模型的正确性和数学仿真结果的准确性。

(3) 利用半实物仿真可以检验构成真实系统的某些实物部件乃至整个系统的性能指标及可靠性,准确地调整系统参数和控制规律。在航空航天、武器系统等研究领域,半实物仿真是不可缺少的重要手段。

1.1.3 仿真技术的发展与应用

目前,仿真系统已在向标准化、层次化、网络化、协同化和网格化等方面发展,由此带来的仿真系统重用和可配置管理方面的好处,将会有效地降低仿真应用开发的成本,更加有利于仿真向更广阔的应用领域的扩展。

1. 仿真系统标准化

自 20 世纪 90 年代开始的分布交互仿真标准制定工作,主要完成了 IEEE 1278 系列标准,包括对体系结构、仿真应用交互协议数据单元(PDU)和编码、网络要求、仿真工程管理、校核验证与验收、精度描述等几个方面的定义,该系列标准大大方便了异构的仿真系统互联构造大规模分布交互仿真系统工作。与分布交互仿真标准(IEEE 1278)同时发展的聚合级仿真协议(ALsP),定义了聚合级仿真应用之间互联进行大规模作战仿真的所应遵循的体系结构、事件调度、交互协议等方面的要求。在分布交互仿真标准和聚合级仿真协议的基础上,结合其他分布式仿真的经验,美国国防部 1995 年公布了向高层体系结构(HLA)转变的计划。HLA 标准化工作包括 HLA 的基本规则的定义、对象模型模板的格式和信息接口的规定,IEEE 于 2000 年 9 月通过了关于 HLA 的 IEEE 1516 系列标准,使其成为工业标准。仿真标准化工作将起到推动全球仿真技术共同发展的作用。

2. 仿真系统层次化

仿真系统的体系结构层次化是随着仿真应用复杂化而出现并发展的。这同一般的软件系统发展的规律是一致的。仿真系统体系结构的层次化有利于仿真设计和开发工作,同时大大提高了仿真系统开放性、扩展性和可管理性。一般地,仿真系统体系结构包括以下四个基本的层次:

① 资源层。它提供仿真应用所需的各种标准化数据,如地理数据、环境数据、气象数据等方面的参数,还应当包括仿真应用管理所需的各类信息。

若您对此书内容有任何疑问,可以登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

② 支撑环境层。包括建模支撑环境和运行支撑环境。作为仿真应用的“操作系统”，它可以提供仿真应用过程中所需的各种接口和标准处理流程的调用，运行支撑环境的典型代表是HLA中的RTI。

③ 仿真模型层。包括完成仿真应用所需的各种仿真模型设计及其实现。仿真模型的互操作应在这个层次中加以定义，在HLA中，仿真模型层中的工作应包括按照OMT的要求联邦对象模型(FOM)和仿真对象模型(SOM)。

④ 分析评估层。对仿真的过程和结果加以分析评估已经成为仿真系统内含的重要功能，因此在仿真系统体系结构中应当包括分析评估层，提供对仿真过程的监控和仿真结果的评估等高层次任务的支持。

3. 仿真系统网络化

计算机通信网络成为信息化社会重要的基础，同样成为未来仿真系统重要的底层基础。美国国防部20世纪就已经建立的仿真互联网已经成为连接美国国内和海外军事基地重要仿真资源的基础设施，利用互联网提供的广阔的互联性，可以大大降低仿真应用之间进行互操作的成本，加快仿真开发和应用的速度。网络对仿真系统的影响不仅仅体现在体系结构的变化上，还反映在开发方式的变化上，比如网络使异地的开发团队共同开发仿真系统成为可能。

4. 仿真系统协同化

人-机协同一直是仿真系统关注的重要问题之一，分布交互仿真系统的发展更是扩大了这个问题研究的领域。协同化已经成为新一代仿真系统重要的特征，协同化问题既包括异地参与仿真的人员和设备在虚拟的、网络化的仿真环境中，通过互相配合完成必要的任务，又包括仿真系统整个生命周期的开发工作中所需的各类人员的协同工作。

5. 仿真系统网格化

所谓“网格化”，是指在当前日益发达的网络传输基础设施的基础上建立信息处理基础设施，将分散在网络上的各种设备和各种信息以合理的方式“粘合”起来，形成高度集成的有机整体，向普通用户提供强大的计算能力、存储能力、设备访问能力及前所未有的信息融合和共享能力。基于网络的仿真可以充分利用网格提供的计算能力、存储能力、资源调度能力，大大提高仿真系统的可用性。

未来，仿真技术的应用领域将更加宽广，并向更深入的层次发展，与人们日常生活将更加紧密地结合，具体表现在以下几个方面。

(1) 仿真支撑平台和工具将快速发展

它表现出以下特点：

① 仿真支撑平台和工具已经从基于通用程序语言开发的阶段进入到了基于专门的仿真开发支撑工具和支撑平台开发的阶段；

② 仿真计算机的速度越来越快；

③ 为网络化仿真提供支撑的通用性商用软件日趋成熟；

④ 各种辅助设计、开发和测试工具越来越多地支持仿真的功能；

⑤ 对通用的仿真工具软件研究的投资越来越大，仿真支撑平台和工具的飞速发展将大大地推动仿真应用开发速度的提高，有利于降低仿真应用开发的成本。

(2) 仿真应用的新领域层出不穷

仿真应用的传统领域包括航空工业、航天工业及核工业等；近些年来，仿真应用出现了许

多新的领域,如医学研究、交通运输业、市场研究、农业作物栽培、战略管理研究等。各行各业人们应用仿真技术的自觉性日益提高,不但技术人员重视仿真的作用,而且管理者也日渐认同仿真技术在系统研究中的重要作用,将仿真研究结果作为其进行决策的重要参考。

(3) 复杂系统科学更加依赖仿真技术的进步

现代科学的许多研究对象已经越来越多地涉及一些非常复杂的系统,这些系统由于各种原因,根本无法用传统的方法对它进行实验。例如,遥远的星系中旋转着的巨大的气体云,无法用实际的实验来检验其形成原因;又如,假设排放到大气中的二氧化碳的总量是当前的 2 倍,这将给今后 50 年的全球平均温度带来什么样的影响?没有人能对它进行一次真实的实验。再如,假如有人提出要通过提高利率,如在很短的时间内上升 500 个基点,以检验关于货币和股票价格波动的某个新理论,可以肯定,任何一个国家的金融机构都不会同意。这种系统的运作对人们的日常生活太重要了,任何人都不敢贸然做这类实验。因此,仿真成为研究这些现象、假设或猜想的唯一手段。构造复杂系统模型将是数学模型和仿真技术研究人员共同努力的方向,这对提高未来科学研究和重大决策的客观性和正确性将有重要的帮助。

(4) 仿真将向人们的日常生活渗透

仿真技术和网络技术、虚拟环境技术不断融合和相互促进,将是仿真技术最终走出实验室,走进人们的生活,成为人们工作、生活、娱乐中不可缺少的一部分。仿真系统和软件的需求将迅速增长。Web 技术、VRML、XML、网格计算等先进技术将在仿真设计开发中得到广泛的应用,人们可以利用具有友好的人机界面仿真应用来进行工作、学习或游戏。仿真技术将使人们工作和学习的方式发生重大变革,使新知识和新技术学习的难度大大降低,将有力地促进科学技术水平的提高。

1.2 通信系统仿真

1.2.1 通信系统

通信系统是指用来完成信息传输过程所需要的一切电子设备和传输媒质的总和。现代通信系统主要借助电磁波在自由空间的传播或在传输媒质中的传输机理来实现,前者称为无线通信系统,后者称为有线通信系统。当电磁波的波长达到光波范围时,这样的通信系统称为光通信系统,其他电磁波范围的通信系统则称为电通信系统,简称为电信系统。由于光的传输媒质通常采用特制的玻璃纤维,因此有线光通信系统又称光纤通信系统。一般电磁波的传输媒质是导线,按其具体结构可分为电缆通信系统和明线通信系统;无线电信系统按其电磁波的波长则有微波通信系统与短波通信系统之分;按照通信业务的不同,通信系统又可分为电话通信系统、数据通信系统、传真通信系统和图像通信系统等。由于人们对通信的容量要求越来越高,对通信的业务要求越来越多样化,所以通信系统正迅速向着宽带化方向发展。

1.2.2 通信系统模型

一个点对点的通信系统的模型可由图 1-1 表示。信息源(简称信源)的作用把各种消息转换成原始电信号,根据信源所产生信号的性质不同,可分为模拟信源(如麦克风和摄像机等)

和离散信源(如电话机和计算机等);发送设备的作用是将信源和传输媒质匹配起来,即将信源产生的消息信号变换为有利于传送的信号形式送往传输媒质,这种变换包括常见的调制、多路复用、差错控制编码等;信道是将来自发送设备的信号传送到接收端的物理媒质,可以分为有线信道和无线信道两大类;噪声源则集中表示分布于通信系统中各处的噪声;接收设备的作用是从受到减损的接收信号中正确恢复出原始电信号;受信者(信宿)的作用是把原始电信号还原成相应的消息,如扬声器等。

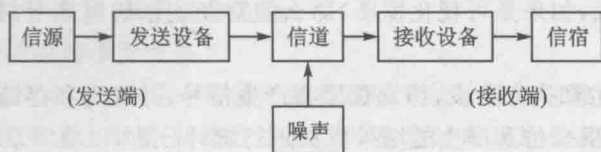


图 1-1 点对点通信系统的一般模型

对于一个实际的点对点的通信系统来说,可以通过图 1-2 所示的示意图来了解其中的一些实际设备和传输媒质,图(a)为典型的有线通信系统——有线电话,图(b)为典型的无线通信系统——无线广播。

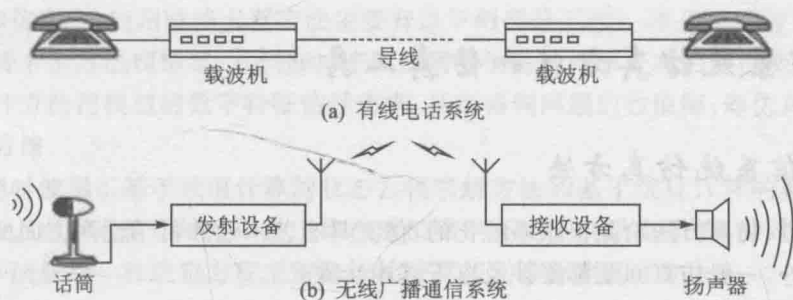


图 1-2 典型的有线通信系统和无线通信系统示意图

1.2.3 通信系统仿真的概念和意义

通信系统的仿真是指根据实际通信系统的结构和运行原理建立相应的数学描述,并对其参数和性能进行计算机模拟。通信系统的数学描述一般也称为通信系统的仿真模型,用计算机软件或语言重新表达的模型称为通信系统的计算机仿真模型。计算机仿真是衡量系统性能的工具,它通过构建模型运行结果来分析实物系统的性能,从而为新系统的建立或原系统的改造提供可靠的参考。随着数字通信技术的发展,特别是与计算机的相互融合,通信系统和信号处理技术变得越来越复杂。强大的计算机辅助分析与设计工具和系统仿真方法,作为将新的技术理论成果转换为实际产品的高效而低成本途径越来越受到业界的青睐。利用系统建模和软件仿真技术,几乎可以对所有的设计细节进行分层次的建模和评估;通过仿真技术和方法,可以有效地将数学分析模型和经验模型结合起来,并将已有的系统测试结果和经验应用到新系统的分析和设计中;利用系统仿真方法,可以迅速构建一个通信系统模型,为通信和信号处理系统的设计和分析提供一个便捷、高效和精确的评估平台。总之,通过仿真,可以降低新系统失败的可能性,消除系统中潜在的瓶颈,优化系统的整体性能。因此,仿真是通信系统研究和工程建设中不可缺少的环节。

1.2.4 通信系统仿真的一般流程

通信系统的仿真一般可遵循以下流程:

① 建立通信系统的数学模型或仿真模型。

② 建立通信系统的计算机仿真模型。编写计算机程序(层次化的建模和编程),包括计算程序,或者可视化编程的方框图、信号流图等,这些程序和框图通常是层次化的,由主程序和相应的子程序(函数)构成,如果是可视化框图,那么通常在主系统框图下,链接着许多子系统框图和功能模块。

③ 执行仿真。在仿真执行阶段,仿真程序将产生信号,并处理和存储这些信号。在仿真结束阶段,仿真程序负责根据仿真产生的结果数据进行统计分析,以便对系统性能作出评估。最后,仿真程序还要调用后处理程序进行进一步的数据分析、处理,并通过数据或图表的形式将结果显示出来。

④ 对仿真模型和仿真结果的检验。通常的验证方法是证伪,而不是证实。例如,对于一个仿真问题,可以首先建立多个独立的、以不同方式编程的计算机仿真模型,然后通过检验这些模型的仿真运行结果在误差许可的范围内是否一致来判断建模和编程中是否存在错误。

1.3 通信系统仿真方法和仿真工具

1.3.1 通信系统仿真方法

从本质上讲,仿真方法论是很难系统化的,仿真具有艺术性和科学性两方面的技巧。但除最简单的情况外,一般仿真问题都要涉及以下基本步骤:

- ① 将给定问题映射为仿真模型;
- ② 把整个问题分解为一组子问题;
- ③ 选择一套合适的建模、仿真和估计方法,并将其用于解决这些子问题;
- ④ 综合各子问题的解决结果以提供对整个问题的解决方案。

对整个通信系统的仿真是一个复杂的问题,往往需要把问题进行分层,不同层次的仿真,其方法和目的不同。一般可以把仿真分成四个层次,即系统级仿真、子系统级仿真、元件级仿真和电路级仿真。越高层次的仿真,抽象越多,涉及的模型细节越少;越低层次的仿真,离实际硬件越近,涉及的硬件细节和参数越多。对于电路级仿真,人们更多地使用硬件原型来进行验证和测试,在通信系统的波形级仿真中,很少涉及这一层次。具体的仿真方法一般可分成以下几类。

1. 基于动态系统模型的状态方程求解方法

动态系统建模,就是根据研究对象的物理模型找出相应的状态方程的过程。对动态系统的仿真,就是利用计算机来对所得出的状态方程进行数值求解的过程。如果已知当前系统的状态,由状态方程将给出未来所有时刻上的系统状态值和输出信号值。在计算机数值求解中,我们只能以一个微小的时间间隔 Δ 来近似表示当前时刻与下一时刻之间的无穷小时间差 dt ,所以数值求解(实质上就是微分方程的数值求解)总是近似的。我们将这个微小的时间间隔 Δ 称为求解的步长。微分方程的求解算法可以划分为两大类:变步长算法和固定步长算法。对

于离散时间系统,状态方程以一组差分方程的形式给出。当给定当前离散时刻 k 处的状态向量值 $s(k)$ 以及当前输入的时间离散信号取值 $x(k)$ 时,由差分方程组就确定了当前系统输出信号取值 $y(k)$ 以及下一个时刻 ($k+1$ 时刻) 的新的系统状态取值 $s(k+1)$ 。如果已知系统的初始状态 $s(0)$ 和输入的离散时间信号 $x(k), k=0,1,2,\dots$, 通过递推, 就可以得出未来各个离散时刻的系统状态值和系统输出信号。如果系统模型中存在数模转换模块(例如取样器、模拟低通滤波器等), 那么系统中既存在时间连续信号, 又有时间离散信号。对于这样的混合系统, 其状态方程组中既有微分方程, 又有差分方程。

2. 基于概率模型的蒙特卡罗方法

蒙特卡罗(Monte Carlo)方法是一种基于随机试验和统计计算的数值方法, 也称计算机随机模拟方法或统计模拟方法。蒙特卡罗方法的数学基础是概率论中的大数定理和中心极限定理。

举一个直观的例子。假设要计算一个不规则图形的面积, 对于平面上一个边长为 1 的正方形及其内部一个形状不规则的图形, 如何求出这个图形的面积呢? 向该正方形均匀地随机投掷 M 个点, 如果其中有 N 个点落于“图形”内, 则该“图形”的面积近似为 N/M 。投掷的点越多, 结果就越精确。

在建模和仿真中, 应用蒙特卡罗方法主要有以下两部分工作:

- ① 用蒙特卡罗方法模拟某一过程时, 产生所需要的各种概率分布的随机变量。
- ② 用统计方法把模型的数字特征估计出来, 从而得到问题的数值解, 即仿真结果。

3. 混合方法

仿真中同时使用了基于数值计算的状态方程求解方法和基于统计计算的蒙特卡罗方法, 称为混合方法。由于通信系统是一种工作在随机噪声环境下的动态系统, 因此一般的对通信系统的仿真方法就是一种确定方程求解与统计计算相互结合的混合方法。

1.3.2 通信系统仿真工具

仿真工具是实现建模和数值求解过程的软件和硬件平台。现代仿真平台和编程语言环境一般都具有如下基本特征:

- 可视化的建模方式;
- 软件硬件协同仿真的能力;
- 交互性和图形环境;
- 跨平台和可移植性。

一个软件仿真环境通常由以下部分组成: 模块库、模块编辑和配置器、仿真管理器、后处理部分、文件、数据库管理和帮助文档。

在通信系统仿真中, 通信网络层次常用的仿真工具包括 OPNET 和 NS 等。通信链路层次的仿真问题是以概率论、信息论和信号处理为数学基础的, 以状态方程的数值计算和概率统计为主要手段, 以信息的传输性能为主要仿真指标, 常用的链路层次的仿真工具包括 MATLAB/Simulink、Systemview、Scilab 以及 C、C++, 其中 MATLAB/Simulink 作为方便而通用的数值计算和系统仿真平台在通信链路层次仿真建模中得到了非常广泛的应用。本书也以 MATLAB/Simulink 作为通信系统的建模和仿真平台。电路层次的仿真工具包括 Spice、VHDL 等。

第 2 章

MATLAB 语言及 Simulink 仿真基础

MATLAB 是由美国的 Mathworks 公司推出的一种科学计算和工程仿真软件,其名称源自 Matrix Laboratory(矩阵实验室),专门以矩阵的形式处理数据。MATLAB 将高性能的科学计算、结果可视化和编程集中在一个易于操作的环境中,并提供了大量的内置函数,具有强大的矩阵计算和绘图功能,适用于科学计算、控制系统、信息处理等领域的分析、仿真和设计工作。目前,在世界范围内被科研工作者、工程技术人员和院校师生广泛应用。

本章将介绍 MATLAB 家族产品构成、MATLAB 的发展及特点、R2016b 版本的界面环境、MATLAB 的基本操作和语法、通信仿真工具箱等内容。

2.1 MATLAB 概述

2.1.1 MATLAB 家族

Mathworks 公司总部位于美国马萨诸塞州的 Natick 市,是世界领先的基于技术计算和模型设计的软件开发商和供应商。自 1984 年成立至今,全球现有超过 50 万的企业用户和上千万的个人用户,广泛地分布在航空航天、金融财务、机械化工、电信、教育等各个行业。2007 年 5 月,Mathworks 公司在中国北京成立独资公司,直接为中国用户提供销售、培训和支持服务。

Mathworks 公司的 MATLAB & Simulink 产品家族是一高度整合的科学计算环境,提供了强大的设计工具。MATLAB & Simulink 产品的大致组成如图 2-1 所示。在产品家族中, MATLAB 是整个体系的基座,它是一个语言编程型开发平台,提供了体系中其他工具所需要的集成环境。MATLAB 集成了 2D 和 3D 图形功能,以完成数值可视化的工作,利用交互式的高级编程语言—— MATLAB 语言编写脚本或者函数文件实现自己的算法。

MATLAB Compiler 是一种编译工具,自动将 MATLAB 中的 M 文件转换成 C 和 C++ 代码,用于独立应用开发。

Simulink 是一个交互式动态系统建模、仿真和分析工具。它的建模范围广泛,可以针对任何能够用数学描述的系统进行建模,例如通信系统、卫星控制制导系统、航空航天动力学系统、船舶及汽车等,其中包括连续、离散,条件执行,事件驱动,单速率、多速率和混杂系统,等等。Simulink 利用鼠标拖放的方法建立系统模型的图形界面,而且 Simulink 提供了丰富的功能模块,几乎可以做到不书写一行代码就完成整个动态系统的建模工作,将工程人员对计算机编程的熟练程度的要求降到了最低。

在 MATLAB/Simulink 基本环境之上,Mathworks 公司为用户提供了丰富的扩展资源 Toolbox 和 Blockset。函数库和模块库是开放的、可扩展的,用户可以对其进行修改,甚至可以开发自己的算法扩充工具箱的功能。MATLAB 已经从单纯的数学函数库演变为多学科多