

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

Matlab/Simulink 通信系统建模 与仿真实例分析

邵玉斌 编著



清华大学出版社

内容简介

高等学校教材
电子信息

Matlab/Simulink通信系统建模 与仿真实例分析

邵玉斌 编著

清华大学出版社

北京

清华大学出版社
地址：北京清华大学学研大厦A座 邮编：100084
电话：(010)62770175 网址：http://www.tup.com.cn

定价：38.00元

内 容 简 介

本书系统地介绍了通信建模仿真方法和模型验证技术,并结合作者近年在教学科研中所设计的大量基础和较深入的建模仿真实例,重点讨论了建模仿真原理和相关的数值计算方法、模拟通信系统、模数转换、调制与编码、信道模拟、载波与符号同步、信道均衡、跳频系统和直接扩频系统、通信模型正确性评估、仿真数据验证和数据处理技术等内容,并在仿真实例中展示了科学研究论文和报告所需的数据处理和表现技巧。

本书可作为高等院校通信工程、电子信息类专业本科生和研究生系统仿真课程教材或参考书,也可作为相关专业综合性实践教学的指导材料,还可供通信工程专业技术人员、教师等作为解决通信系统设计、评估和建模仿真领域实际问题的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

Matlab/Simulink 通信系统建模与仿真实例分析/邵玉斌编著. —北京:清华大学出版社, 2008.6

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-17132-4

I. M… II. 邵… III. ①计算机辅助计算—软件包, Matlab、Simulink—应用—通信系统—系统建模—高等学校—教材 ②计算机辅助计算—软件包, Matlab、Simulink—应用—通信系统—系统仿真—高等学校—教材 IV. TP391.75 TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 034217 号

责任编辑:魏江江 赵晓宁

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25 字 数:609 千字

版 次:2008年6月第1版 印 次:2008年6月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:023456-01

编审委员会成员

高等学校教材·电子信息

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学
西南交通大学

重庆工学院
重庆通信学院

王志功 教授
王新龙 教授
王成华 教授
邓元庆 教授
刘景夏 副教授
方 勇 教授
朱 杰 教授
何 晨 教授
严国萍 教授
朱定华 教授
刘复华 教授
李中年 教授
蒋刚毅 教授
王成山 教授
郭维廉 教授
王煦法 教授
郭从良 教授
徐佩霞 教授
赵鹤鸣 教授
刘志军 教授
郑永果 教授
朱守正 教授
张秉权 教授
张丽英 教授
林 君 教授
何怡刚 教授
曾喆昭 教授
冯久超 教授
冯全源 教授
金炜东 教授
余成波 教授
曾凡鑫 教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合新世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

- (1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。
- (6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail:dingl@tup.tsinghua.edu.cn

Matlab 语言由于其语法的简洁性、代码接近于自然数学描述方式以及具有丰富的专业函数库等诸多优点,吸引了众多科学研究工作者,越来越成为科学研究、数值计算、建模仿真以及学术交流的事实标准。Simulink 作为 Matlab 语言上的一个可视化建模仿真平台,起源于对自动控制系统的仿真需求,它采用方框图建模的形式,更加贴近于工程习惯。目前,Matlab/Simulink 的应用已经远远超越了数值计算和控制系统仿真等传统领域,在几乎所有理工学科中形成了为数众多的专业工具库和函数库,日益成为科学研究和工程设计中日常计算和仿真试验的工具。

随着 Matlab/Simulink 通信、信号处理专业函数库和专业工具箱的成熟,它们逐渐成为广大通信技术领域的专家学者和工程师所熟悉,在通信理论研究、算法设计、系统设计、建模仿真和性能分析验证等方面的应用也更加广泛。Simulink 可视化仿真工具能够以非常直观的方框图方式形象地对通信系统进行建模,并以“实时”和动画的方式来将模型仿真结果(如波形、频谱、数据曲线等)显示出来,更便于对通信系统的物理概念和运行过程的直观理解,所以近年来在通信工程专业中得到了广大师生的重视和广泛应用,在理论教学、课程实践环节以及理论和技术前沿的研究中发挥了重要作用。

本书以通信原理为主线,从系统建模原理和仿真的数值计算方法入手,详细介绍了 Matlab/Simulink 在通信系统建模和仿真中的应用原理、内容方法和特点,并结合作者在科研和教学中的应用研究,列举了大量的仿真实例。通过这些实例,以期达到两个目的:其一是通过系统建模过程使读者理解 Matlab/Simulink 基本建模仿真方法的实质性,以掌握通信系统仿真的思维方法;其二是通过仿真过程和仿真结果分析对基本通信系统原理的理解,并逐渐培养读者系统建模和设计的自主能力和创造力。

本书的特点如下。

(1) 本书重点讨论通信工程相关专业的系统仿真原理和应用,以通信系统构成为主线介绍系统仿真方法,以微分方程的数值求解和概率论为数学基础,注重介绍通信仿真技术中基础性的、本质性的内容,并强调仿真的数学原理和方法,而不作为一本 Matlab 语言或仿真编程的介绍手册。

理论的学习必须要有实践的支持,理论的检验和验证也必须通过实践。数理基础在通信工程专业中的地位应当得到重视。系统仿真技术是专业理论和系统实验相结合的有效途径之一,学习通信系统仿真不是学习某个系统仿真软件的功能,而是在扎实的

数理基础和通信理论上以系统仿真软件作为工具平台的实践活动。基于这种认识,本书没有系统介绍 Matlab/Simulink 软件的使用方法和编程函数,而是把 Matlab/Simulink 视为一种方便的仿真软件工具在通信系统建模和仿真中加以应用。因此,掌握本书所介绍的系统仿真思想方法也就意味着可以使用任何计算机语言来进行通信系统的建模仿真实践。

(2) 本书详细讲述了 Matlab/Simulink 的建模仿真原理,把 S 函数作为掌握 Simulink 仿真的根本,并将 Simulink 可视化建模和 Matlab 语言编程统一起来,还通过众多的实例,加强了对仿真手段、思想方法以及系统原理等抽象内容的理解和应用。读者可以通过运行这些实例或改变实例中系统模块的参数来进行实验,甚至可以在这些实例的基础上构建更加复杂的系统模型。

(3) 本书在内容编排上注意由浅入深,逐本求源,由普遍方法论到实际建模实验,由通信单元模块的建模到综合系统仿真,循序渐进,便于阅读和学习。本书以 Matlab/Simulink 作为实验平台,对通信系统建模的数学原理讲述得比较详细,重视数理基础在通信工程中的应用,注重原理的论述,授人以渔,特别注重讲解通信系统建模和仿真实论中根本性的和基础性的内容。

(4) 鉴于通信系统仿真涉及的内容广泛,对数学基础的要求和通信基本理论的理解要求较高,又特别强调矩阵数值计算方法的编程实现能力,因此在每章末尾总结了主要内容并对相关的参考资料进行了综述,以便读者进一步深入学习相关内容时参考。

本书共分 8 章。

第 1 章概述了通信系统仿真的原理和方法,对仿真建模的意义、模型的类型以及仿真的数学方法进行了论述。

第 2 章是本书的基础,主要介绍了 Matlab/Simulink 编程和建模仿真的原理,并通过大量的实例演示了应用 Matlab/Simulink 建模仿真的方法、关键问题和处理技巧。希望通过这些实例和实验使读者对 Matlab/Simulink 的建模和仿真有一个实质性的理解。

第 3 章以通信系统的基本构造为主线,对通信系统基本模块的原理和建模方法进行了讨论,并介绍了 Matlab/Simulink 通信工具箱和信号处理工具箱中的常用模块及其原理和使用方法。以这些基本模块为元素,给出了通信系统中从信源、调制、信道到接收解调、同步等基本单元的仿真实例。

第 4 章简要阐述了通信系统整体构架和层次化建模的思想要点,比较了模拟通信系统和数字通信系统的仿真框架和两者的异同点,并讨论了描述通信系统质量和性能的主要指标。

第 5 章对模拟通信系统的建模和仿真问题进行了详细的讨论,包括对调幅广播波形和频谱、传输、接收机自动增益控制原理和性能、检波和解调、单边带通信机、调频立体声系统以及彩色电视信号和系统的仿真实例。对模拟通信系统运行原理的理解能力可以视为无线电和电子工程师最基本的专业素质的衡量。

第 6 章讨论了模拟信号数字化问题的原理和仿真实例,内容包括采样定理的原理性仿真、A/D 转换、非均匀量化的原理和性能仿真、PCM 编解码过程、自适应 PCM 以及增量调制的原理仿真和性能结果等。

第 7 章以数字通信系统的关键技术和一些较深入的问题为研究对象,讨论了以误码率

为性能指标的蒙特卡罗仿真建模方法,基带数据传输的码型设计与仿真,基带带限传输系统、眼图以及信道均衡问题,数字调制的波形和频谱仿真问题等,并以仿真实例介绍了扩频抗干扰系统的原理和性能分析,包括直接序列扩频系统和跳频系统的仿真实例。

第8章讨论了通信系统模型评估和仿真结果的正确性验证等问题,较详细地介绍了蒙特卡罗仿真方法的实现要点、随机数的产生、各种随机分布以及它们之间的关系,并讨论了以数理统计方法为主的模型和仿真数据评估方法、插值和拟合等实验数据处理方法等,对蒙特卡罗仿真方法的试验精度等方面进行了性能分析。

全书所有实例的模型文件和程序代码都已在 Matlab(R13)版本下调试通过。另外,本书还提供了一个电子教案。读者需要具有微积分、概率与统计、信号与系统、数字信号处理和通信原理的背景知识。

本书计划学时为40学时,课堂重点是讲述通信系统仿真的概念、方法和实例应用,而在教学实践环节可以通过本书的众多实例以及各章思考题来加深对仿真方法的掌握。建议读者在理解仿真原理的基础上,对本书列举的实例给出自己的仿真模型和设计参数,然后与本书的模型和程序结果进行对比,这样比单纯运行、研究实例模型将更能够激发读者的创造力,也更具趣味性和挑战性。本书给出的思考题一般是对实例问题的深化或拓展以及对正文的补充,许多思考题在仿真条件、系统建模上给读者预留了很大的创造空间,解答可以灵活多样。

感谢澳大利亚新南威尔士大学电子与电气工程学院的 Yuan Jinhong 教授,在我做访问学者期间,他提供了良好的学术研究环境。我在与他以及他的同事的学术交流中得到了许多启迪,促成了本书的完成。

本书在成书过程中得到了许多专家、教授的关心和帮助,特别是在与徐明远教授、姚绍文教授、龙华教授、刘增力副教授等前辈和专家的交流中深受教益。在本书的写作和相关课程教学和辅导工作中还得到了宋耀莲、杨秋萍、朵琳老师的帮助和支持,龙洋、吴熹等研究生也帮助完成了本书部分章节的校阅工作,清华大学出版社的魏江江编辑对本书的策划、编辑和校对付出了辛勤劳动,在此对他们表示衷心的感谢。

最后要感谢我的家人,没有他们的关心和支持,本书是不能完成的。

本书可作为高等院校通信工程、电子信息类专业的本科生和研究生系统仿真课程的教材或进行相关课题研究的参考书,也可作为相关专业课程设计和毕业设计等综合性实践教学的指导材料。

现代通信系统仿真技术不仅仅是对通信理论的验证手段,也日益成为通信新理论研究、新协议、新算法开发和系统总体设计的重要实验研究途径,因此,本书所介绍的系统仿真思想方法对于从事通信系统设计的专业技术人员也具有很高参考价值。

限于笔者水平,书中不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。作者的电子邮件地址是 shaoyubin999@sina.com。

邵玉斌

2008年2月

目 录

高等学校教材·电子信息

第 1 章 通信系统仿真的原理和方法论	1
1.1 通信系统仿真的现实意义	1
1.2 计算机仿真的过程	2
1.2.1 系统仿真的数学基础	2
1.2.2 计算机仿真的一般过程	3
1.3 通信系统模型分类	8
1.3.1 按照系统层次分类	8
1.3.2 按照信号类型分类	9
1.3.3 按照系统特征分类	10
1.4 通信系统仿真的方法	10
1.4.1 基于动态系统模型的状态方程求解方法	10
1.4.2 基于概率模型的蒙特卡罗方法	14
1.4.3 混合方法	16
1.5 通信系统仿真的优点和局限性	19
1.6 系统建模仿真方法与仿真工具	21
1.6.1 系统建模仿真方法与仿真工具的关系	21
1.6.2 仿真环境的构成和要求	22
1.6.3 常用仿真工具的选择	24
1.7 小结与文献综述	25
1.8 思考题	26
第 2 章 Matlab/Simulink 系统建模和仿真基础	27
2.1 Matlab 编程仿真的方法	27
2.1.1 概述	27
2.1.2 静态系统的 Matlab 编程仿真	28
2.1.3 连续动态系统的 Matlab 编程仿真	32
2.1.4 离散动态系统的 Matlab 编程仿真	47

2.1.5	基于数据流和基于时间流的仿真方法	50
2.2	Simulink 仿真基础	51
2.2.1	系统模型的方程和图形化描述	51
2.2.2	Simulink 仿真平台	61
2.2.3	构建一个简单的 Simulink 仿真系统	70
2.2.4	Simulink 子系统构建、封装和自定义模块库	75
2.3	Simulink 的工作原理——S 函数	79
2.3.1	S 函数的工作原理	79
2.3.2	用 Matlab 语言编写 S 函数	80
2.4	用 S 函数编写 Simulink 基本模块	92
2.4.1	信源模块	92
2.4.2	信宿和信号显示模块	94
2.4.3	信号传输模块	97
2.5	Simulink 仿真的数据结构和编程调用方法	106
2.5.1	Simulink 中数据流的向量和矩阵形式	106
2.5.2	Simulink 中数据结构的转换	106
2.5.3	Simulink 与 Matlab 的交互	118
2.5.4	编程调用仿真模型	121
2.6	Simulink 在电子与通信系统仿真中的几个关键问题	123
2.6.1	系统仿真速率的设计和选择	123
2.6.2	并/串转换和混合速率系统仿真	125
2.6.3	不同层次的仿真模型	128
2.6.4	用 Simulink 求解方程	132
2.6.5	同一数学模型的多种计算机仿真实现方法	134
2.7	声卡在 Simulink 仿真模型中的应用	134
2.7.1	Matlab 与声卡的接口函数	135
2.7.2	Simulink 与声卡的接口模块	137
2.7.3	在 Simulink 中组建虚拟仪器	139
2.8	小结与文献综述	143
2.9	思考题	143
第 3 章	基本通信模块的建模与分析	146
3.1	滤波器模型	146
3.1.1	滤波器的类型、参数指标与设计	146
3.1.2	滤波器的实现	156
3.2	信源模型	159
3.2.1	确定信源	159
3.2.2	伪随机码源	160
3.2.3	统计信源——噪声源	161

3.3 信号参数的测量和分析	162
3.3.1 信号的能量和功率	162
3.3.2 信号直流分量和交流分量	162
3.3.3 离散时间信号的统计参数	163
3.3.4 信号的频域参数	166
3.4 信道模型	187
3.4.1 加性高斯白噪声信道	187
3.4.2 带限加性噪声信道	188
3.4.3 离散时间信道指标的定量计算	188
3.4.4 错误概率信道	190
3.5 调制与解调	192
3.5.1 调制的通带和基带模型	193
3.5.2 模拟调制与解调模型	193
3.5.3 数字调制与解调模型	199
3.6 锁相环和载波提取	201
3.6.1 锁相环的构成和建模仿真	201
3.6.2 用于载波提取的锁相环仿真	207
3.6.3 锁相频率合成器的仿真	211
3.7 小结与文献综述	213
3.8 思考题	213
第4章 构建通信系统仿真模型	215
4.1 通信系统的基本模型	215
4.1.1 模拟通信系统基本模型	216
4.1.2 数字通信系统基本模型	217
4.2 通信系统主要性能指标	218
4.3 通信系统建模的要点	221
4.4 小结和文献综述	224
4.5 思考题	224
第5章 模拟通信系统的建模仿真	225
5.1 调幅广播系统的仿真	225
5.2 调幅的包络检波和相干解调性能仿真比较	228
5.3 频分复用和超外差接收机的仿真模型	230
5.4 自动增益控制(AGC)原理与仿真	231
5.5 调频立体声广播系统的建模仿真	233
5.5.1 调频立体声广播的信号结构和仿真模型	233

5.5.2	调频立体声接收机模型	235
5.6	单边带调幅系统的建模仿真	237
5.6.1	希尔伯特变换	237
5.6.2	单边带调幅与解调原理	238
5.6.3	一个简化的单边带电台仿真	243
5.7	彩色电视系统的建模仿真	246
5.7.1	电视扫描原理的仿真	246
5.7.2	彩色电视信号的构成和频谱仿真	248
5.7.3	简化的彩色电视接收机仿真	253
5.8	小结与文献综述	255
5.9	思考题	255
第 6 章	模拟信号数字化	257
6.1	采样定理的原理仿真	257
6.2	A/D 和 D/A 转换器的仿真	260
6.3	PCM 编码和解码	262
6.3.1	信号的压缩和扩张	262
6.3.2	PCM 编码和解码	263
6.4	DPCM 编码与解码	268
6.5	增量调制	271
6.6	小结与文献综述	276
6.7	思考题	276
第 7 章	数字通信系统的建模仿真	277
7.1	二进制传输的错误率仿真	277
7.2	基带传输码型设计	280
7.2.1	二电平码	280
7.2.2	三电平码	283
7.3	带限基带传输系统的仿真	286
7.3.1	眼图和无码间串扰波形	286
7.3.2	基带传输系统的仿真	289
7.3.3	定时提取系统的仿真	291
7.3.4	信道的时域均衡	292
7.4	数字调制的仿真	298
7.4.1	信号的向量表示	298
7.4.2	数字调制信号的向量表示和仿真	300
7.5	扩频系统的仿真	311
7.5.1	伪随机码的产生	311
7.5.2	直接序列扩频系统	318

7.5.3	跳频扩频系统	323
7.6	小结与文献综述	326
7.7	思考题	326
第 8 章	通信系统建模仿真的评估	328
8.1	概述	328
8.2	概率模型和蒙特卡罗方法	330
8.3	随机数的产生和常用随机分布	331
8.3.1	均匀分布随机数的产生	331
8.3.2	产生其他常用随机分布的方法	332
8.3.3	产生任意指定区间上的均匀分布	333
8.3.4	三角分布	333
8.3.5	指数分布	334
8.3.6	标准正态分布	335
8.3.7	指定均值和方差的正态分布	335
8.3.8	对数正态分布	336
8.3.9	柯西分布	336
8.3.10	χ^2 分布	336
8.3.11	瑞利分布	338
8.3.12	广义瑞利分布(χ 分布)	339
8.3.13	赖斯分布和广义赖斯分布	339
8.3.14	Γ 分布	340
8.3.15	Beta 分布	340
8.3.16	Erlang 分布	340
8.3.17	两点分布	341
8.3.18	二项分布	341
8.3.19	负二项分布	342
8.3.20	几何分布	342
8.3.21	超几何分布	342
8.3.22	泊松分布	343
8.3.23	t 分布	344
8.3.24	F 分布	345
8.4	随机分布的辨识和参数估计	346
8.4.1	概率密度函数对比——直方图估计法	346
8.4.2	概率分布的假设检验和参数估计	350
8.5	蒙特卡罗仿真的精度分析	363
8.5.1	蒙特卡罗仿真次数和精度的关系	363

8.5.2 蒙特卡罗仿真次数的序贯算法 368

8.6 仿真结果的数据处理 369

8.6.1 插值 370

8.6.2 拟合 372

8.7 小结与文献综述 378

8.8 思考题 378

参考文献 380

8.1 蒙特卡罗仿真的基本概念 381

8.1.1 蒙特卡罗仿真的定义 381

8.1.2 蒙特卡罗仿真的特点 382

8.1.3 蒙特卡罗仿真的应用 383

8.1.4 蒙特卡罗仿真的分类 384

8.1.5 蒙特卡罗仿真的基本步骤 385

8.1.6 蒙特卡罗仿真的收敛性 386

8.1.7 蒙特卡罗仿真的误差分析 387

8.1.8 蒙特卡罗仿真的加速技术 388

8.1.9 蒙特卡罗仿真的应用实例 389

8.1.10 蒙特卡罗仿真的其他应用 390

8.1.11 蒙特卡罗仿真的其他应用 391

8.1.12 蒙特卡罗仿真的其他应用 392

8.1.13 蒙特卡罗仿真的其他应用 393

8.1.14 蒙特卡罗仿真的其他应用 394

8.1.15 蒙特卡罗仿真的其他应用 395

8.1.16 蒙特卡罗仿真的其他应用 396

8.1.17 蒙特卡罗仿真的其他应用 397

8.1.18 蒙特卡罗仿真的其他应用 398

8.1.19 蒙特卡罗仿真的其他应用 399

8.1.20 蒙特卡罗仿真的其他应用 400

8.1.21 蒙特卡罗仿真的其他应用 401

8.1.22 蒙特卡罗仿真的其他应用 402

8.1.23 蒙特卡罗仿真的其他应用 403

8.1.24 蒙特卡罗仿真的其他应用 404

8.2 蒙特卡罗仿真的收敛性 405

8.2.1 蒙特卡罗仿真的收敛性 405

8.2.2 蒙特卡罗仿真的收敛性 406

8.2.3 蒙特卡罗仿真的收敛性 407

8.2.4 蒙特卡罗仿真的收敛性 408

8.2.5 蒙特卡罗仿真的收敛性 409

8.2.6 蒙特卡罗仿真的收敛性 410

8.2.7 蒙特卡罗仿真的收敛性 411

8.2.8 蒙特卡罗仿真的收敛性 412

8.2.9 蒙特卡罗仿真的收敛性 413

8.2.10 蒙特卡罗仿真的收敛性 414

8.2.11 蒙特卡罗仿真的收敛性 415

8.2.12 蒙特卡罗仿真的收敛性 416

8.2.13 蒙特卡罗仿真的收敛性 417

8.2.14 蒙特卡罗仿真的收敛性 418

8.2.15 蒙特卡罗仿真的收敛性 419

8.2.16 蒙特卡罗仿真的收敛性 420

8.2.17 蒙特卡罗仿真的收敛性 421

8.2.18 蒙特卡罗仿真的收敛性 422

8.2.19 蒙特卡罗仿真的收敛性 423

8.2.20 蒙特卡罗仿真的收敛性 424

8.2.21 蒙特卡罗仿真的收敛性 425

8.2.22 蒙特卡罗仿真的收敛性 426

8.2.23 蒙特卡罗仿真的收敛性 427

8.2.24 蒙特卡罗仿真的收敛性 428

8.2.25 蒙特卡罗仿真的收敛性 429

8.2.26 蒙特卡罗仿真的收敛性 430

8.2.27 蒙特卡罗仿真的收敛性 431

8.2.28 蒙特卡罗仿真的收敛性 432

8.2.29 蒙特卡罗仿真的收敛性 433

8.2.30 蒙特卡罗仿真的收敛性 434

8.2.31 蒙特卡罗仿真的收敛性 435

8.2.32 蒙特卡罗仿真的收敛性 436

8.2.33 蒙特卡罗仿真的收敛性 437

8.2.34 蒙特卡罗仿真的收敛性 438

8.2.35 蒙特卡罗仿真的收敛性 439

8.2.36 蒙特卡罗仿真的收敛性 440

8.2.37 蒙特卡罗仿真的收敛性 441

8.2.38 蒙特卡罗仿真的收敛性 442

8.2.39 蒙特卡罗仿真的收敛性 443

8.2.40 蒙特卡罗仿真的收敛性 444

8.2.41 蒙特卡罗仿真的收敛性 445

8.2.42 蒙特卡罗仿真的收敛性 446

8.2.43 蒙特卡罗仿真的收敛性 447

8.2.44 蒙特卡罗仿真的收敛性 448

8.2.45 蒙特卡罗仿真的收敛性 449

8.2.46 蒙特卡罗仿真的收敛性 450

8.2.47 蒙特卡罗仿真的收敛性 451

8.2.48 蒙特卡罗仿真的收敛性 452

8.2.49 蒙特卡罗仿真的收敛性 453

8.2.50 蒙特卡罗仿真的收敛性 454

8.2.51 蒙特卡罗仿真的收敛性 455

8.2.52 蒙特卡罗仿真的收敛性 456

8.2.53 蒙特卡罗仿真的收敛性 457

8.2.54 蒙特卡罗仿真的收敛性 458

8.2.55 蒙特卡罗仿真的收敛性 459

8.2.56 蒙特卡罗仿真的收敛性 460

8.2.57 蒙特卡罗仿真的收敛性 461

8.2.58 蒙特卡罗仿真的收敛性 462

8.2.59 蒙特卡罗仿真的收敛性 463

8.2.60 蒙特卡罗仿真的收敛性 464

8.2.61 蒙特卡罗仿真的收敛性 465

8.2.62 蒙特卡罗仿真的收敛性 466

8.2.63 蒙特卡罗仿真的收敛性 467

8.2.64 蒙特卡罗仿真的收敛性 468

8.2.65 蒙特卡罗仿真的收敛性 469

8.2.66 蒙特卡罗仿真的收敛性 470

8.2.67 蒙特卡罗仿真的收敛性 471

8.2.68 蒙特卡罗仿真的收敛性 472

8.2.69 蒙特卡罗仿真的收敛性 473

8.2.70 蒙特卡罗仿真的收敛性 474

8.2.71 蒙特卡罗仿真的收敛性 475

8.2.72 蒙特卡罗仿真的收敛性 476

8.2.73 蒙特卡罗仿真的收敛性 477

8.2.74 蒙特卡罗仿真的收敛性 478

8.2.75 蒙特卡罗仿真的收敛性 479

8.2.76 蒙特卡罗仿真的收敛性 480

8.2.77 蒙特卡罗仿真的收敛性 481

8.2.78 蒙特卡罗仿真的收敛性 482

8.2.79 蒙特卡罗仿真的收敛性 483

8.2.80 蒙特卡罗仿真的收敛性 484

8.2.81 蒙特卡罗仿真的收敛性 485

8.2.82 蒙特卡罗仿真的收敛性 486

8.2.83 蒙特卡罗仿真的收敛性 487

8.2.84 蒙特卡罗仿真的收敛性 488

8.2.85 蒙特卡罗仿真的收敛性 489

8.2.86 蒙特卡罗仿真的收敛性 490

8.2.87 蒙特卡罗仿真的收敛性 491

8.2.88 蒙特卡罗仿真的收敛性 492

8.2.89 蒙特卡罗仿真的收敛性 493

8.2.90 蒙特卡罗仿真的收敛性 494

8.2.91 蒙特卡罗仿真的收敛性 495

8.2.92 蒙特卡罗仿真的收敛性 496

8.2.93 蒙特卡罗仿真的收敛性 497

8.2.94 蒙特卡罗仿真的收敛性 498

8.2.95 蒙特卡罗仿真的收敛性 499

8.2.96 蒙特卡罗仿真的收敛性 500

8.2.97 蒙特卡罗仿真的收敛性 501

8.2.98 蒙特卡罗仿真的收敛性 502

8.2.99 蒙特卡罗仿真的收敛性 503

8.2.100 蒙特卡罗仿真的收敛性 504

通信系统仿真的原理和方法论

1.1 通信系统仿真的现实意义

随着数字通信技术的发展,特别是与计算机技术的相互融合,通信系统和信号处理技术变得越来越复杂。同时,各种新技术、新器件不断涌现,如廉价高速的数字信号处理芯片(DSP)、超大规模可编程逻辑器件、集成光学器件以及微波单片集成电路和光纤技术的广泛应用,对通信系统的体系结构、信号编码解码、调制解调、信号检测和处理方式都产生了重大的影响。而硬件系统的高度集成化和信号处理的软件化迫使工程设计人员投入更多的时间和精力进行系统性能分析和评估,并对系统设计问题进行研究。强大的计算机辅助分析与设计工具和系统仿真方法,作为将新技术理论成果转换为实际产品的高效且低成本途径越来越受到业界青睐。

近年来,在通信系统建模、分析和仿真评估领域已经发展了大量的计算机辅助技术,这些技术大致可划分为三大类。

(1) 基于理论分析的解析方法,如利用计算机对复杂的系统性能评估公式进行数值计算等。基于理论分析的解析方法往往用于系统设计和性能分析的初期,通过计算了解系统参数和系统性能之间的大致关系。解析分析往往建立在系统模型大量简化的基础上,对于结构复杂的系统和方案,通过解析方法评估性能往往极为困难,甚至是不可能的,即便存在简化模型下的解析结果,这种结果往往也和实际结果之间存在较大的差别。

(2) 结合通信系统硬件原型和测试设备的计算机辅助仿真方法,通常应用于原型系统实现的中后期和原型系统调试中。例如在通信系统硬件原型和测试设备的支持下,利用计算机模拟信源以及信道环境进行系统的闭环测试等,以验证原型系统是否满足设计要求。基于系统硬件原型和测试设备的方法成本高,时间长,受到技术和设备条件的限制,而且必须在硬件系统原型实现后进行,所以不可能用于系统方案的设计阶段。

(3) 基于纯软件的系统仿真方法,即首先对通信系统进行数学建模,然后通过计算机来模拟系统行为、波形以及信号通过系统的过程,并对系统性能指标进行仿真测试和统计分析的一系列方法。系统仿真方法一方面是验证理论分析和解析结果正确性的重要手段,另一方面,由于通信系统(设备)和通信环境(信道)的复杂性导致传统的解析分析方法不可能使用时,仿真方法将成为惟一有效的对通信系统方案进行性能评估的手段。仿真方法针对通信协议分析、算法和系统设计的核心问题作出评价,如对传输性能(传输信噪比、传输错误