



电子信息学科基础课程系列教材

——面向现代工程师培养

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材

MATLAB/System View 通信原理实验与系统仿真

曹雪虹 杨洁 童莹 主 编

芮雄丽 潘子宇 副主编



清华大学出版社



教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材

MATLAB/System View

通信原理实验与系统仿真

曹雪虹 杨洁 童莹 主编

芮雄丽 潘子宇 副主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书以通信系统原理与实例仿真相结合的形式,详细地介绍了 MATLAB 7.1 以及 System View 5.0 下通信系统建模与仿真设计的方法。通过大量 MATLAB、System View 仿真实例,加深读者对“通信原理”课程内容的理解。本书共两篇,第 1 篇为 MATLAB 通信系统仿真,由第 1~6 章组成,介绍了 MATLAB/Simulink 的操作方法、模拟调制与解调的 MATLAB/Simulink 仿真、数字基带信号与发送滤波器的 MATLAB/Simulink 仿真、数字调制与解调的 MATLAB/Simulink 仿真、差错控制系统的 MATLAB/Simulink 仿真以及 MATLAB/Simulink 通信系统仿真综合实例。第 1 篇的综合实例选取了跳频通信系统、直接序列扩频通信系统、MIMO 系统、正交频分复用系统以及无线协作通信系统,通过实例分析介绍了 MATLAB/Simulink 通信系统仿真设计流程及方法。第 2 篇为 System View 通信系统仿真,由第 7~11 章组成,介绍了 System View 仿真基础、System View 中的滤波器与线性系统、基础通信系统的 System View 仿真、新型数字频带调制技术的 System View 仿真,以及 System View 设计综合实例。第 2 篇的综合实例选取了地面无线数字视频广播、扩频通信系统以及 CDMA 通信系统,阐述了 System View 通信系统仿真设计流程及方法。

本书适合电子信息类专业本科生、研究生以及从事通信系统仿真设计的工程技术人员使用。

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/System View 通信原理实验与系统仿真/曹雪虹,杨洁,童莹主编.--北京:清华大学出版社,2015

电子信息学科基础课程系列教材

ISBN 978-7-302-37986-7

I. ①M… II. ①曹… ②杨… ③童… III. ①MATLAB 软件—高等学校—教材 ②通信系统—系统仿真—计算机辅助设计—应用软件—高等学校—教材 IV. ①TP317 ②TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 212021 号

责任编辑:文 怡

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18

字 数:400 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:36.00 元

《电子信息学科基础课程系列教材》

编 审 委 员 会

主任委员

王志功(东南大学)

委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)

邓建国(西安交通大学)

王小海(浙江大学)

王诗宓(清华大学)

王 萍(天津大学)

王福昌(华中科技大学)

刘宗行(重庆大学)

刘润华(中国石油大学)

刘新元(北京大学)

张 石(东北大学)

张晓林(北京航空航天大学)

沈连丰(东南大学)

陈后金(北京交通大学)

郑宝玉(南京邮电大学)

郭宝龙(西安电子科技大学)

柯亨玉(武汉大学)

高上凯(清华大学)

高小榕(清华大学)

徐淑华(青岛大学)

袁建生(清华大学)

崔 翔(华北电力大学)

傅丰林(西安电子科技大学)

董在望(清华大学)

曾孝平(重庆大学)

蒋宗礼(北京工业大学)

《电子信息学科基础课程系列教材》

丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程研究组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和研究,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

(1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。

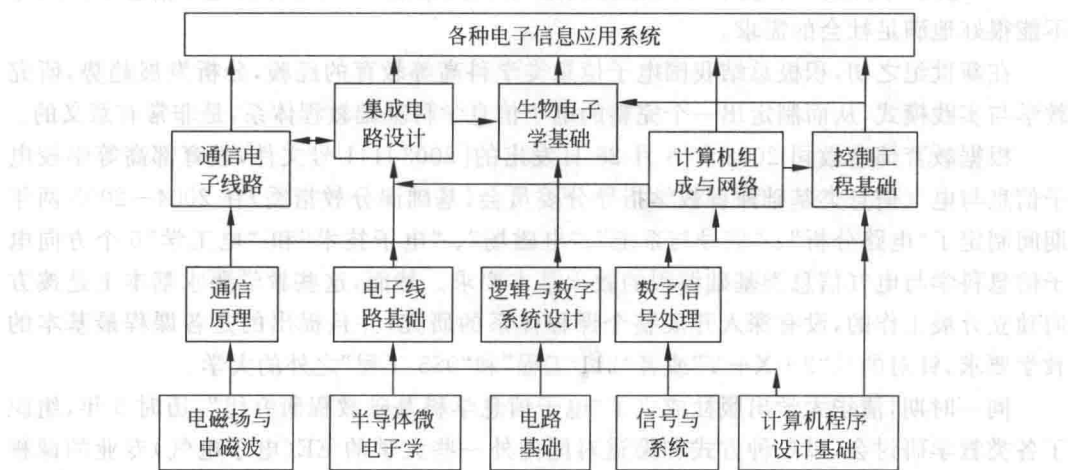
(2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。

(3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。

(4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的 14 门课程,覆盖了电气信息类如下全部 7 个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 电子科学与技术
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识点形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容

和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力?如何增加工程方法训练,将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力?如何激发学生深入探索的勇气?这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此,谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处,欢迎广大的使用者提出批评和意见,以促进教材的进一步完善。



2008年1月

前言

随着高等教育的普及和社会对人才需求的变化,工科学生除了要掌握本专业的基本理论之外,还需要具有较强工程意识、实践能力和创新能力,能够将基本理论应用到解决实际问题中去。目前,电子信息技术进入了快速发展时期,电子信息类专业学生需要学习和掌握更多的计算机新技术、电子技术、通信技术,还需要具备通信电子系统的设计和开发能力。实际上,通信电子系统从设计到实现是一个非常复杂的过程,对系统中任意环节的改动都会影响到整个系统的性能。因此,在改进原有系统或设计新系统之前,通常需要对整个系统进行建模和仿真,通过仿真结果衡量方案的可行性。随着计算机仿真技术的发展,各类仿真工具被广泛运用于电子信息类课程教学中。

MATLAB、System View 是目前工程界普遍使用的两种工具软件,都具有强大的仿真分析能力。MATLAB 是由美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件,是一种数值计算环境和编程语言,MATLAB 主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。MATLAB 可以进行矩阵运算、绘制函数和数据、实现算法、创建用户界面、连接其他编程语言的程序等,主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通信、图像处理、信号检测、金融建模设计与分析等领域。System View 是用于电路与通信系统设计、仿真的动态系统分析专用的通信仿真软件,它能满足从信号处理、滤波器设计,直到复杂的通信系统数学模型的建立等不同层次的设计、仿真需要。System View 借助大家熟悉的 Windows 窗口环境,以模块化和交互式的界面,为用户提供了一个嵌入式的分析引擎。

“通信原理”课程是电子信息类专业的重要专业基础课,其内容几乎囊括了所有通信系统的基本框架,学好这门课程对学生构建通信知识基础、提高研究能力,有着深远的意义。在 MATLAB 和 System View 平台上仿真各个通信系统,有助于学生深入理解本课程的内容,有利于学生开拓思路、提高分析通信系统和设计通信系统的能力。

本书在简单介绍 MATLAB 仿真和 System View 仿真知识的基础上,对通信原理课程中所涉及的调制解调技术、信源编码技术、差错控制技术以及通信系统仿真实现进行了详细介绍,概述各项技术的基本理论,讲解实现过程,利用 MATLAB 和 System View 仿真,对系统特性进行分析和研究,讨论各种系统中信号的输入输出特性,并对仿真结果做必要的分析,对比理论知识与仿真结果,且在重要概念上适当延伸。通过本书的学习,旨在帮助读者掌握通信的基本概念、基本理论和基本方法,理解通信系统的组成和设计过程。针对无线通信的发展前沿,本书还对 4G/B3G 中的关键技术——MIMO(多输入/多输出)和协作通信技术进行理论介绍和仿真研究。因此,本书也可以作为电子信息领域工程技术人员或者电子信息类专业研究生的参考用书。

本书的主要内容

本书共分两篇,分别介绍基于 MATLAB 的通信系统仿真和基于 System View 的通信系统仿真。在内容安排上依照循序渐进、由浅入深的原则,以便于教学内容组织和学习。下面是各篇的主要内容。

第 1 篇是 MATLAB 通信系统仿真,由第 1~6 章组成。第 1 章主要介绍了 MATLAB/Simulink 的操作方法,包括 MATLAB 运行环境、MATLAB 程序设计基础、Simulink 仿真环境及基本操作。第 2 章介绍了模拟调制的 MATLAB/Simulink 仿真,内容包括线性调制和非线性调制的基本原理、仿真与建模、时频特性分析等。第 3 章为数字基带信号与发送滤波器的 MATLAB/Simulink 仿真,介绍了数字基带信号波形、码型和波形成型滤波器,并进行了相应仿真分析。第 4 章为数字调制方式的 MATLAB/Simulink 仿真,介绍了二进制数字调制、多进制数字调制以及正交幅度调制的原理及其仿真。第 5 章介绍了差错控制系统的 MATLAB/Simulink 仿真,包括线性分组码、循环码、卷积码和循环冗余码的仿真。第 6 章为 MATLAB/Simulink 通信系统仿真综合实例,通过跳频通信系统、直接序列扩频通信系统、MIMO 系统、正交频分复用系统以及无线协作通信系统,剖析了 MATLAB/Simulink 通信系统仿真设计流程及实现方法。

第 2 篇是 System View 通信系统仿真,由第 7~11 章组成。第 7 章为 System View 仿真基础,介绍了 System View 设计窗口、分析窗口以及使用方法。第 8 章介绍了 System View 中滤波器与线性系统以及使用方法。第 9 章为基础通信系统的 System View 仿真,包括模拟通信系统、数字基带通信系统和数字频带通信系统的分析及仿真。第 10 章为新型数字频带调制技术的 System View 仿真,介绍了正交幅度调制、四进制相移键控的原理及仿真。第 11 章为 System View 设计综合实例,通过地面无线数字视频广播、扩频通信系统以及 CDMA 通信系统,阐述了 System View 通信系统仿真设计流程及实现方法。

本书由曹雪虹、杨洁、童莹、芮雄丽、潘子宇共同编写,全书由曹雪虹教授统编定稿,杨洁、芮雄丽负责编写第 1 篇 MATLAB/Simulink 实验仿真分析部分,童莹、潘子宇负责编写第 2 篇 System View 实验仿真分析部分。

随着通信技术和计算机仿真技术的飞速发展,通信系统的仿真技术也必将发展变化。在编写过程中,我们精益求精,及时吸纳最新的通信技术研究成果并予以仿真分析,但囿于编者理论水平和实践经验所限,错误与不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2014 年 10 月

第1篇 MATLAB 通信系统仿真

第1章 MATLAB/Simulink 操作基础	3
1.1 MATLAB 运行环境介绍	4
1.1.1 MATLAB 的运行方式	4
1.1.2 MATLAB 中的窗口	4
1.2 MATLAB 程序设计基础	5
1.2.1 M 文件概述	5
1.2.2 MATLAB 程序控制结构	6
1.2.3 MATLAB 函数文件	11
1.3 Simulink 仿真环境及基本操作	12
1.3.1 Simulink 特点及工作原理	12
1.3.2 Simulink 基本操作	14
1.3.3 子系统及其封装	16
第2章 模拟调制解调方式的 MATLAB/Simulink 仿真	19
2.1 模拟线性调制与解调仿真	20
2.1.1 常规调幅信号的产生与解调	20
2.1.2 抑制载波双边带调幅信号的产生与解调	24
2.2 模拟非线性调制与解调仿真	27
2.2.1 调频信号的产生与解调	27
2.2.2 调相信号的产生与解调	31
第3章 数字基带信号与发送滤波器的 MATLAB/Simulink 仿真	35
3.1 数字基带信号波形仿真	36
3.2 数字基带信号码型仿真	41
3.2.1 数字双相码	42
3.2.2 三阶高密度双极性码	46
3.3 发送滤波器仿真	48
3.3.1 升余弦脉冲滤波器	48

目录

3.3.2	平方根升余弦滤波器	51
3.3.3	高斯滤波器	53
第4章	数字调制方式的 MATLAB/Simulink 仿真	55
4.1	简单数字调制仿真	56
4.1.1	二进制数字振幅调制与解调	56
4.1.2	多进制数字振幅调制与解调	60
4.1.3	二进制数字频率调制	62
4.1.4	多进制数字频率调制	67
4.1.5	二进制数字相位调制	68
4.1.6	多进制数字相位调制	72
4.2	正交幅度调制仿真	75
第5章	差错控制系统的 MATLAB/Simulink 仿真	80
5.1	基于线性分组码的差错控制系统仿真	81
5.2	基于循环码的差错控制系统仿真	85
5.3	基于卷积码的差错控制系统仿真	88
5.4	基于循环冗余码的差错控制系统仿真	92
第6章	现代通信系统的 MATLAB/Simulink 设计与仿真	94
6.1	跳频通信系统	95
6.1.1	跳频技术简介	95
6.1.2	跳频通信系统仿真	95
6.2	直接序列扩频通信系统	100
6.2.1	扩频通信简介	100
6.2.2	直接序列扩频通信原理	101
6.2.3	直接序列扩频通信系统仿真	101
6.3	OFDM 通信系统	106
6.3.1	OFDM 技术简介	106
6.3.2	OFDM 通信系统仿真	107
6.4	MIMO 通信系统	111
6.4.1	MIMO 技术简介	111

6.4.2	空时编码技术	113
6.4.3	MIMO-OFDM 系统设计	114
6.4.4	MIMO-OFDM 通信系统仿真	115
6.5	协作通信系统	120
6.5.1	协作通信技术简介	120
6.5.2	协作通信系统仿真	121

第 2 篇 System View 通信系统仿真

第 7 章	System View 入门	145
7.1	System View 设计窗口	146
7.1.1	菜单栏	147
7.1.2	工具栏	150
7.1.3	图标库	151
7.1.4	系统时钟	159
7.2	System View 分析窗口	161
7.2.1	菜单栏	161
7.2.2	工具栏	162
7.2.3	接收计算器	163
7.3	System View 的基本使用	164
7.4	System View 的高级使用	166
7.4.1	动态探针	166
7.4.2	参数设置	167
7.4.3	子系统设计	171

第 8 章	滤波器与线性系统	172
8.1	参数设置	173
8.1.1	图符参数说明	173
8.1.2	人工参数设置	174
8.1.3	外部文件参数设置	175
8.2	滤波器设计	176
8.2.1	有限冲激响应 FIR 滤波器设计	176
8.2.2	模拟滤波器设计	178

目录

8.2.3 通信滤波器设计	179
8.2.4 自定义滤波器设计	179
8.3 拉普拉斯系统	180
第9章 基础通信系统的 System View 仿真	183
9.1 模拟通信系统仿真	184
9.1.1 常规调幅	184
9.1.2 双边带调幅	188
9.1.3 单边带调幅	190
9.1.4 模拟调频	193
9.2 数字基带通信系统仿真	195
9.2.1 数字基带信号功率谱	195
9.2.2 数字基带信号传输	200
9.3 数字频带通信系统仿真	207
9.3.1 抽样定理	207
9.3.2 模拟信号的数字传输	209
9.3.3 数字信号的频带传输	212
第10章 新型数字频带调制技术的 System View 仿真	228
10.1 正交振幅调制仿真	229
10.1.1 16QAM 调制与解调	229
10.1.2 16QAM 的高低阶复合调制	232
10.2 四进制相移键控仿真	233
10.3 偏移四进制相移键控仿真	237
10.4 最小频移键控仿真	240
第11章 System View 设计应用实例	244
11.1 地面无线数字视频广播仿真	245
11.1.1 数字无线电视广播系统	245
11.1.2 数字无线电视广播的调制与解调	249
11.2 扩频通信系统仿真	251
11.2.1 带有参考信号的直接序列扩频系统	251

目录

11.2.2 MSK 直接序列扩频系统	258
11.3 CDMA 通信系统仿真	264
11.3.1 Q-CDMA 下行链路基带系统	264
11.3.2 Q-CDMA 下行链路业务信道	269
参考文献	272



第 1 篇

MATLAB通信系统仿真

目前,通信技术与计算机技术的相互融合越来越紧密,通信系统和信号处理技术也变得越来越复杂、要求越来越高。与此同时,各种通信新理念、新技术和新芯片的出现与应用对通信系统的系统结构、信号编码、调制解调、信号检测、系统性能等都产生了重大的影响。因此,通信系统面临着不断的改进和变革。在对原有系统的改进或设计新系统之前,通常需要对整个系统进行建模和仿真,通过仿真结果衡量方案的可行性。利用 MATLAB 以及 MATLAB 中的可视化仿真工具 Simulink 进行系统建模和仿真,可以为通信系统的设计和评估提供一个便捷高效的平台。

MATLAB/Simulink 操作基础