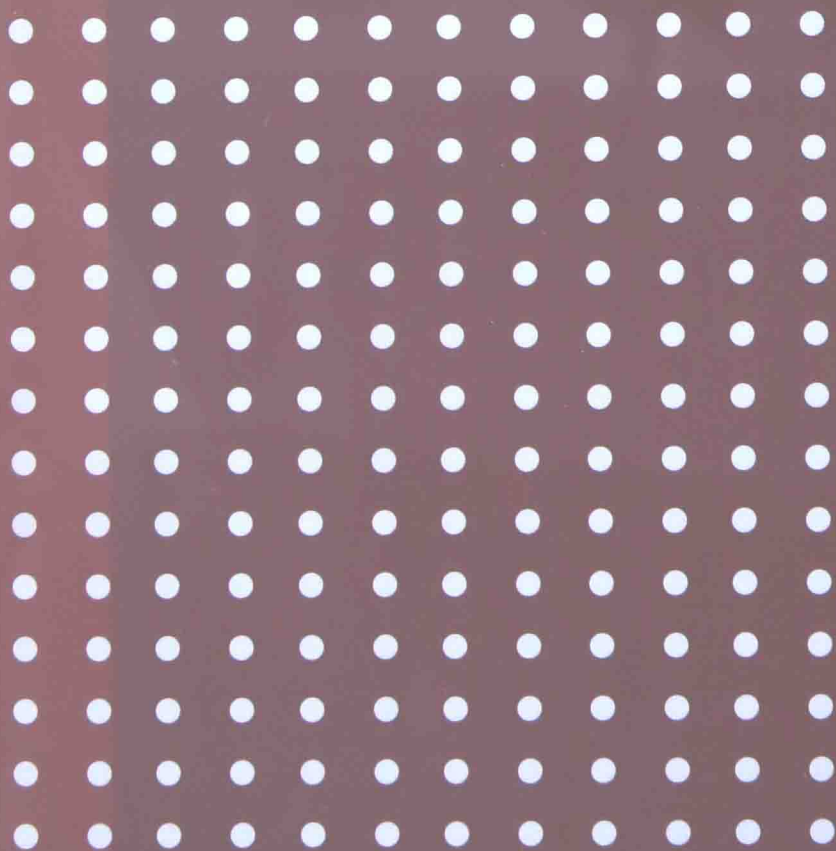


21世纪高等学校电子信息工程规划教材

数字信号处理实验教程 (第2版)

李莉 主编



清华大学出版社

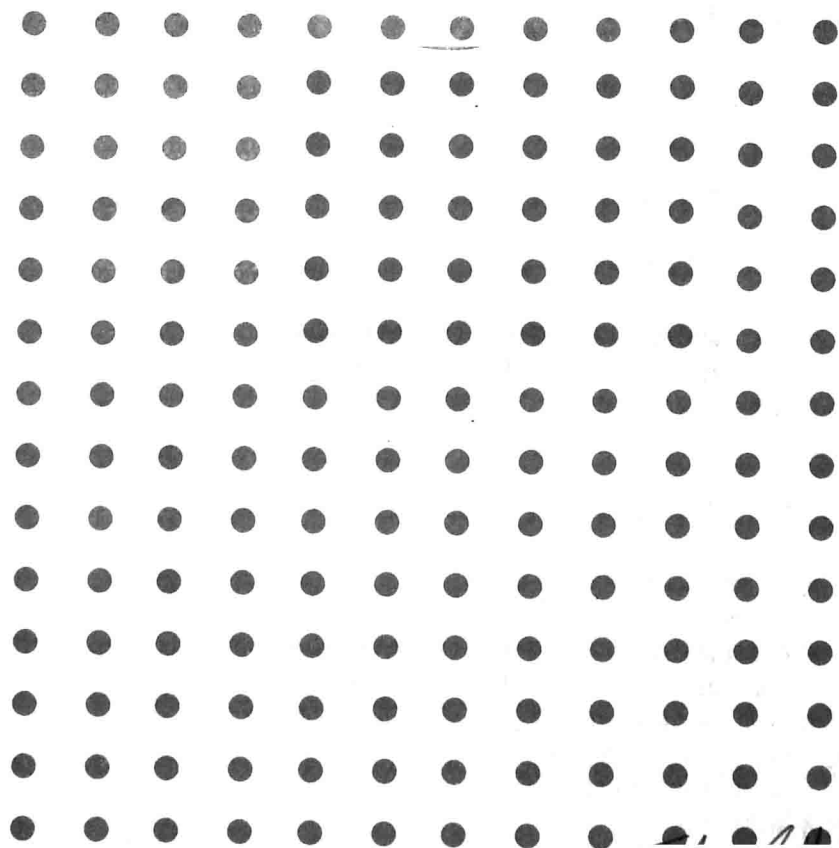


21世纪高等学校电子信息工程规划教材

数字信号处理实验教程 (第2版)

李莉 主编

俞玉莲 张倩 郑振东 倪继锋 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书针对工程应用型本科专业的实验教学特点,注重数字信号处理的基本理论、基本算法的 MATLAB 实现,倡导有条件的双语教学、践行个性化的分层教学新理念。通过典型的实例 MATLAB 程序帮助读者理解和掌握基础理论的基本应用,激发学生的自主学习兴趣。

本书第一部分(实验 1~实验 6)为基础实验,侧重基本 MATLAB 语言介绍、基本信号概念和系统原理,是用英文撰写的。由于课程教材一般为中文,实践环节的这种安排既能保证学生对基本概念和基础理论算法的理解掌握,又培养了学生的英文应用能力。第二部分(实验 7~实验 13)为专题实验,是用中文撰写的。专题实验内容循序渐进,通过各专题的相关子课题,引导有兴趣的学生进行综合性、设计性实验研究。根据实验教学要求可对两部分实验内容进行选择,作为必做实验或课外拓展综合设计选做实验。

本书也可作为通信、电子信息、计算机应用技术等相关专业本科生实验教学用书或者作为从事数字信号处理工作的工程技术人员的参考书。

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

数字信号处理实验教程/李莉主编.--2 版.--北京:清华大学出版社,2015

21 世纪高等学校电子信息工程规划教材

ISBN 978-7-302-39400-6

I. ①数… II. ①李… III. ①数字信号处理-高等学校-教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 031530 号

责任编辑:黄 芝 薛 阳

封面设计:傅瑞学

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 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15.5 字 数:373 千字

版 次:2011 年 10 月第 1 版 2015 年 8 月第 2 版 印 次:2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.50 元

产品编号:061466-01

出版说明

随着我国高等教育规模的扩大和产业结构调整的进一步完善,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新其教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平电子信息类专业课程教材。目前,工程型和应用型学科专业电子信息类专业课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的电子信息类专业教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业电子信息教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等,都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型电子信息类专业课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 系列教材主要是电子信息学科基础课程教材,面向工程技术应用的培养。本系列教材在内容上坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调工程实践和应用环节。电子信息学科历经了一个多世纪的发展,已经形成了一个完整、科学的理论体系,这些理论是这一领域技术发展的强大源泉,基于理论的技术创新、开发与应用显得更为重要。

(2) 系列教材体现了电子信息学科使用新的分析方法和手段解决工程实际问题。利用计算机强大功能和仿真设计软件,使电子信息领域中大量复杂的理论计算、变换分析等变得快速简单。教材充分体现了利用计算机解决理论分析与解算实际工程电路的途径与

方法。

(3) 系列教材体现了新技术、新器件的开发应用实践。电子信息产业中仪器、设备、产品都已使用高集成化的模块,且不仅仅由硬件来实现,而是大量使用软件和硬件相结合的方法,使产品性价比很高。如何使学生掌握这些先进的技术、创造性地开发应用新技术是本系列教材的一个重要特点。

(4) 以学生知识、能力、素质协调发展为宗旨,系列教材编写内容充分注意了学生创新能力和实践能力的培养,加强了实验实践环节,各门课程均配有独立的实验课程和课程设计。

(5) 21 世纪是信息时代,学生获取知识可以是多种媒体形式和多种渠道的,而不再局限于课堂上,因而传授知识不再以教师为中心,以教材为唯一依托,而应该多为学生提供各类学习资料(如网络教材,CAI 课件,学习指导书等)。应创造一种新的学习环境(如讨论,自学,设计制作竞赛等),让学生成为学习主体。该系列教材以计算机、网络和实验室为载体,配有多种辅助学习资料,可提高学生兴趣。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校电子信息工程规划教材编委会

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

数字信号处理基础知识已成为通信、电子信息、计算机应用技术等相关专业本科学生必须学习和掌握的专业基础知识。

从教学目的和内容上可把数字信号处理相关课程分为两类：一类是以学习数字信号处理基本概念、算法及其应用和数字滤波器系统原理为主要目的；另一类是在某数字信号处理器硬件开发平台上,针对选定数字信号处理芯片型号,学习利用该芯片的指令集进行数字信号处理算法硬件开发编程。由于这两类课程的教学侧重点有较大的差异,故相关实践教学环节的软件内容、硬件环境也有较大不同。

本书是针对上述第一类课程的实践教学环节而编写的。主要有以下特点：第一,针对工程应用型本科专业的教学特点,注重数字信号分析和数字处理系统的基本原理验证和算法综合实现；第二,实验均在通用计算机平台上,用 MATLAB 语言编程实现；第三,为在课程实践环节尝试双语教学提供了参考教材；第四,便于践行个性化、分层教学的新理念。

本书是在作者 2011 年编写的《数字信号处理实验教程》原书基础上增加、修订而成的,主要对原书基础实验部分增加了新的 MATLAB 实例程序,同时设计了针对该实验内容的问题作业,便于学生通过模仿、修改实例程序,完成基本作业,达到理解、加深、巩固课堂所学基本算法,掌握 MATLAB 基本编程方法的实验教学目标。

本书在基础理论方面并没有进行完整的叙述,有需要的读者可参阅相关书籍。特别是专题实验部分的例子仅抛砖引玉,期望在巩固理解基本概念和编程应用的同时,激发读者自主学习的兴趣。

本书第一部分(实验 1 ~ 实验 6)为基础实验,侧重基本 MATLAB 语言介绍、基本概念和系统原理,是用英文撰写的;可安排 8 ~ 10 个学时。因课程教材一般为中文,实践环节提供的英文材料既保证学生对基本概念和基础理论算法的理解掌握,又培养了学生的英文应用能力;第二部分(实验 7 ~ 实验 13)为中文撰写的专题实验;通过各专题相关子课题内容的循序渐进,引导有兴趣的学生进行综合性、设计性实验研究。在这部分可以让学生以研究课题的形式选做某个专题。

全书由李莉统稿。实验 1 ~ 实验 3 由倪继锋编写;实验 4 和实验 5、实验 7 和实验 8 由郑振东编写;实验 6、实验 9 和实验 10、实验 12 由李莉编写;实验 11 由张倩编写;实验 13 由俞玉莲编写。

本书集作者在上海师范大学多年课程建设的探索和教学改革的实际经验,是上海市精品课程建设配套教材。由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者不吝

指正。

书中例子的程序集,读者可在上海师范大学课程中心的“数字信号处理及 DSP 技术基础”课程网站(<http://cc.shnu.edu.cn>)上免费下载。

编 者

2015 年 5 月于上海

目 录

第一部分 基础实验

Laboratory 1	Generate and Plot Basic Digital Signals with MATLAB	3
1.1	Overview and goal	3
1.2	Pre-knowledge	3
1.2.1	Basic knowledge about MATLAB	3
1.2.2	Unit impulse sequence	6
1.2.3	Unit step sequence	6
1.2.4	Exponential sequences	7
1.2.5	Sinusoidal sequences	7
1.3	Using the MATLAB command	8
1.4	Experiments	10
1.4.1	Unit impulse sequence and unit step sequence	10
1.4.2	Exponential sequences	11
1.4.3	Sinusoidal sequence	12
1.4.4	Questions	12
Laboratory 2	Time Domain Representations of LTI Discrete-time System	14
2.1	Overview and goal	14
2.2	Pre-knowledge	14
2.2.1	Unit impulse and unit step responses to a LTI digital system	14
2.2.2	The response $y[n]$ of LTI discrete-time system to an arbitrary input $x[n]$	14
2.2.3	The finite impulse response and the infinite impulse response systems	15

2.3	Using the MATLAB command	16
2.4	Experiments	16
2.4.1	Calculating the impulse response to a linear time-invariant discrete time system	16
2.4.2	Convolution	17
2.4.3	The interpretation of the concept of filtering	18
2.4.4	Questions	19

Laboratory 3 Transform Domain Representations of Digital Signals 20

3.1	Overview and goal	20
3.2	Pre-knowledge	20
3.2.1	Definition of discrete time Fourier transform	20
3.2.2	Definition of discrete Fourier transform	21
3.3	Using the MATLAB command	21
3.4	Experiments	22
3.4.1	Calculating the discrete time Fourier transform	22
3.4.2	Calculating the discrete Fourier transform	23
3.4.3	Questions	24

Laboratory 4 Transform Domain Representations of LTI Discrete

Time System 25

4.1	Overview and goal	25
4.2	Pre-knowledge	25
4.2.1	Z transform	25
4.2.2	The input and output relationship of a digital system in different domains	25
4.2.3	Transfer function and system function	26
4.2.4	Zeros and poles of a digital system	27
4.3	Using the MATLAB command	27
4.4	Experiments	28
4.4.1	Frequency response of a digital system	28
4.4.2	Questions	29

Laboratory 5 Implementation of Digital Filters	31
5.1 Overview and goal	31
5.2 Pre-knowledge	31
5.2.1 Basis of digital filters	31
5.2.2 IIR filter design	32
5.2.3 FIR filter design	34
5.3 Using the MATLAB command	35
5.3.1 MATLAB commands for estimating order to a filter	35
5.3.2 MATLAB commands for design an IIR filter	36
5.3.3 MATLAB commands for produce a length- L window	36
5.3.4 MATLAB commands for design a FIR filter	37
5.4 Experiments	37
5.4.1 Design butterworth IIR filters	37
5.4.2 Design FIR filter based on Blackman window	39
5.4.3 Questions	39
Laboratory 6 Filtering Digital Signals	41
6.1 Overview and goal	41
6.2 Pre-knowledge	41
6.2.1 MATLAB implement of discrete time linear time-invariance systems	41
6.2.2 Properties of discrete-time linear time-invariance systems	43
6.2.3 Data preparation for laboratory	44
6.3 Experiments	47
6.3.1 Pre-experiment study	47
6.3.2 The design of cascade systems	49
6.3.3 Study the first-difference system	50
6.3.4 Study five-point moving averager	50
6.3.5 Study cascade system 1	52
6.3.6 Study cascade system 2	52
6.3.7 Comparisons of the two cascade systems	54
6.3.8 Filtering the audio signal with $h1$	55

6.3.9 Filtering the audio signal with h_2	56
6.3.10 Listen to and discuss effect of filtering the audio signal	57

第二部分 专题实验

实验7 取样与恢复	61
7.1 频谱混叠研究	61
7.1.1 基本原理	61
7.1.2 实验内容	61
7.1.3 实验报告要求	66
7.2 非有限时长信号取样	66
7.2.1 基本原理	66
7.2.2 实验内容	67
7.2.3 实验报告要求	70
7.3 理想采样、平顶采样、自然采样对原信号频谱的影响	70
7.3.1 基本原理	70
7.3.2 实验内容	71
7.3.3 实验报告要求	74
实验8 离散时间系统与卷积	75
8.1 线性卷积运算	75
8.1.1 基本原理	75
8.1.2 实验内容	77
8.1.3 实验报告要求	79
8.2 滤波的思想实现卷积	79
8.2.1 基本原理	79
8.2.2 实验内容	80
8.2.3 实验报告要求	82
8.3 圆周卷积	82
8.3.1 基本原理	82
8.3.2 实验内容	85
8.3.3 实验报告要求	87
8.4 分段卷积	87

8.4.1	基本原理	87
8.4.2	实验内容	89
8.4.3	实验报告要求	90
8.5	卷积的应用	90
8.5.1	基本原理	90
8.5.2	实验内容	90
8.5.3	实验报告要求	91
实验 9	系统函数与 Z 变换	92
9.1	数字系统的系统函数研究	92
9.1.1	基本原理	92
9.1.2	实验内容	93
9.1.3	实验报告要求	95
9.2	数字周期波形发生器	95
9.2.1	基本原理	95
9.2.2	实验内容	96
9.2.3	实验报告要求	98
9.3	求解数字系统时域输入输出差分方程	100
9.3.1	基本原理	100
9.3.2	实验内容	101
9.3.3	实验报告要求	103
实验 10	DFT/FFT	105
10.1	矩形窗和汉明窗	105
10.1.1	窗函数基础知识	105
10.1.2	实验内容	116
10.1.3	实验报告要求	116
10.2	DTMF 信号分析	116
10.2.1	DTMF 信号基本概念	116
10.2.2	实验内容	118
10.2.3	实验报告要求	122
10.3	DFT/FFT 在频谱分析中的应用	122
10.3.1	基础知识	122

10.3.2	实验内容	126
10.3.3	实验报告要求	127
实验 11	数字滤波器的实现	128
11.1	滤波器设计的基础知识	128
11.2	IIR 滤波器系统函数、I/O 差分方程和实现结构	130
11.2.1	基础理论	130
11.2.2	直接型和级联型滤波器系统函数间的互相转换	132
11.2.3	无限单位取样脉冲响应滤波器设计	138
11.2.4	实验内容	140
11.2.5	实验报告要求	142
11.3	FIR 滤波器的设计	143
11.3.1	FIR 滤波器基本特性	143
11.3.2	FIR 滤波器设计方法介绍	145
11.3.3	窗函数法设计步骤	146
11.3.4	利用 fir1 和 fir2 函数进行有限单位取样脉冲响应 滤波器设计	149
11.3.5	实验内容	150
11.3.6	实验报告要求	155
实验 12	应用研究——数字音响	156
12.1	波形表数字振荡器	156
12.1.1	波形表数字振荡器基本原理	156
12.1.2	实验内容	166
12.1.3	实验报告要求	167
12.2	波形表法调幅和调频	168
12.2.1	波形表法实现调幅、调频的原理	169
12.2.2	基于波形表振荡器设计 AM 信号发生器	170
12.2.3	基于波形表振荡器设计 FM 信号发生器	173
12.2.4	实验内容	176
12.2.5	实验报告要求	177
12.3	序列延迟在数字音响合成中的应用	177
12.3.1	序列延迟产生简单音响效果的基本原理	178

12.3.2	实验内容	184
12.3.3	实验报告要求	187
12.4	数字反射器及其回响时间常数	187
12.4.1	反射及回响时间常数	187
12.4.2	简单的数字反射器	188
12.4.3	低通反射器	193
12.4.4	实验内容	197
12.4.5	实验报告要求	197
12.5	(反射)延迟单元	199
12.5.1	简单反射多重延迟原理	199
12.5.2	低通反射多重延迟原理	200
12.5.3	实验内容	201
12.5.4	实验报告要求	202
12.6	高阶多重延迟的音响效果	203
12.6.1	高阶多重延迟的结构原理	203
12.6.2	高阶多重延迟的实现例子	203
12.6.3	实验内容	206
12.6.4	实验报告要求	207
12.7	压缩器和扩展器	208
12.7.1	压缩器和扩展器的基本原理	208
12.7.2	压缩器和扩展器的稳态输入输出关系	208
12.7.3	动态范围处理器的实现结构	209
12.7.4	实验内容	213
12.7.5	实验报告要求	213
实验 13	应用研究——数字图像处理	215
13.1	平滑滤波器	215
13.1.1	基本原理	215
13.1.2	实验内容	218
13.1.3	实验报告要求	219
13.2	锐化滤波器	221
13.2.1	基本原理	221
13.2.2	实验内容	223

13.2.3	实验报告要求	225
13.3	中值滤波器	226
13.3.1	基本原理	226
13.3.2	实验内容	228
13.3.3	实验报告要求	230
参考文献		232

第一部分 基础实验

