



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材



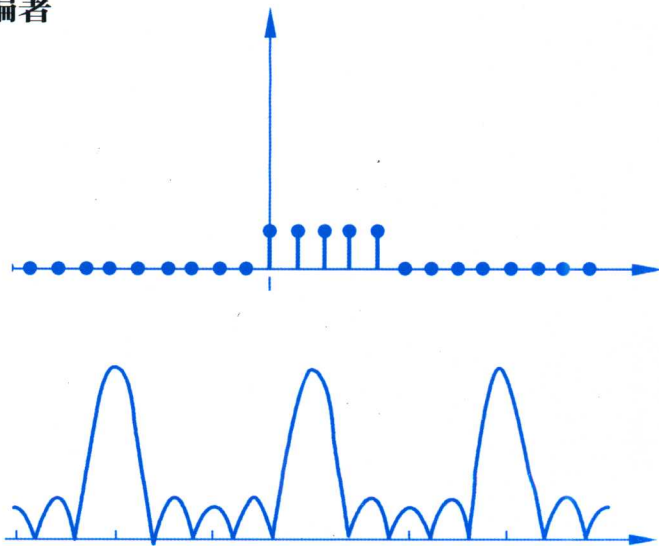
**D**igital Signal Processing  
Principles and Practice, Third Edition

# 数字信号处理 原理及实现

第3版

王艳芬 王刚 张晓光 刘卫东 编著

Wang Yanfen Wang Gang Zhang Xiaoguang Liu Weidong



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员  
高等学校电 教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材(编号:2016-1-015)

Digital Signal Processing: Principles and Practice, Third Edition

# 数字信号处理 原理及实现

第3版

王艳芬 王刚 张晓光 刘卫东 编著

Wang Yanfen Wang Gang Zhang Xiaoguang Liu Weidong

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书系统阐述了数字信号处理的基本原理、算法分析和实现,共包括9章内容,即绪论、离散时间信号与系统的时域分析、离散时间信号与系统的频域分析、离散傅里叶变换(DFT)、快速傅里叶变换(FFT)、IIR数字滤波器的设计、FIR数字滤波器的设计、数字滤波器结构与有限字长效应、多采样率数字信号处理以及数字信号处理实验等。

本书概念清楚、理论分析透彻,特别是自始至终运用MATLAB来阐述基本概念和基本原理,将经典理论与现代技术相结合,使知识点的叙述更加清楚易懂。本书还结合实际给出了MATLAB上机实验内容,并配有上机习题以及探究性实验课题,为学生进行课程实验练习、上机考试以及探究性学习提供参考和帮助。

本书为高等院校信息工程、电子信息工程、通信工程、电子科学与技术、电气工程及其自动化、自动化、计算机科学等专业本科生教材,也可供从事信息处理、通信、电子技术等方面的工程技术人员及有关科研、教学人员参考使用。

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

数字信号处理原理及实现/王艳芬等编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-46427-3

I. ①数… II. ①王… 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(2017)第023604号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:刘海龙

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

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

印 装 者: 北京泽宇印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 23.25 字 数: 562千字

版 次: 2008年3月第1版 2017年8月第3版 印 次: 2017年8月第1次印刷

印 数: 1~2000

定 价: 45.00元

产品编号: 068315-01

# 高等学校电子信息类专业系列教材

## 一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学	(教指委高级顾问)	郁道银	天津大学	(教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学	(特约高级顾问)	胡广书	清华大学	(特约高级顾问)
华成英	清华大学	(国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学	(国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学	(国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学	(国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学	(国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学	(国家级教学名师)

## 二 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学			
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学	
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学	
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学	
	刘向东	浙江大学			
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学	
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学	
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学	
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学	
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学	
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学	
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学	
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学	
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学	
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学	
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学	
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学	
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学	
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学	
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学	
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学	
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学	
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学	
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所	
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团	
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院	
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学	
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学	
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学	
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学	
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学	
	王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学	
	苑立波	哈尔滨工程大学			
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社			

# 序

## FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元, 行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显, 更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长, 电子信息产业的发展呈现了新的特点, 电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展, 传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术, 它们一起构成了庞大而复杂的系统, 派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求, 迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂, 系统的集成度越来越高。因此, 要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动, 半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源, 系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统, 为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》, 将电子信息类专业进行了整合, 为各高校建立系统化的人才培养体系, 培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点, 这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计, 较少涉及系统级的集成与设计。近年来, 国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革, 这些改革顺应时代潮流, 从系统集成的角度, 更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量, 贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神, 教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作, 并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展, 提高教学水平, 满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程, 适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

# 第3版前言

## PREFACE

《数字信号处理原理及实现》(第2版)于2013年10月由清华大学出版社出版,被评为“‘十二五’江苏省高等学校重点教材”,在使用中得到了广大读者的好评,至今已使用三年多。本书是第3版,进一步强化了基本概念的物理意义及应用。第3版修改、调整和扩充的内容如下:

(1) 对绪论中的信号分类以及数字信号处理系统的基本组成的内容叙述进行了完善和扩充,并补充了两幅图。

(2) 第1章1.1节根据绪论的变化重新整理了信号的分类;1.2.3节增加了卷积和、相关函数,并增加了相关运算实例的习题;对1.3.5节系统的因果性和稳定性内容重新进行了梳理和扩充,以期更易理解;对1.4.2节差分方程的求解进行了完善,并补充了利用差分方程判断是否为线性时不变系统的例题。

(3) 第2章增加了2.1节引言标题,使得全书结构比较统一;补充了离散时间信号的傅里叶反变换即式(2-2)的推导过程;在2.2.3节中对频移特性的意义进行了补充;在2.2.5节中补充了性质3和性质11的证明和意义。

(4) 第3章DFS、DFT某些性质(DFS性质2和性质3、DFT性质3)增加了证明;在3.5.2节中补充了频率响应内插公式(3-58)的详细推导过程;第3.7节增加了“3.7.4对DFT计算结果的解读”、完善了相应的例题,以期更加理论联系实际。

(5) 在第4章中,对线性调频Z变换的表达式(4-38)进行了补充,在4.8.4节MATLAB实现中,增加了CZT的应用实例及实现分析。

(6) 在第5章中,将一些本章必须掌握的模拟滤波器内容从5.3节中抽出并入5.2.4节,并将5.2.4题目修改为“数字滤波器的设计方法与常用模拟滤波器”,其余作为选读内容仍放在5.3节中,对5.3节进行了删减。

(7) 在第6章中,6.3.4节增加了窗函数法设计数字微分器一个例题;6.4.5节增加一个基于MATLAB实现的带通滤波器例题;6.7节增加了一个IIR和FIR数字带通滤波器的MATLAB实例,对文字做了梳理。

(8) 在第9章中,增加了9.7节“探究性实验课题”,以为同学们进行探究性学习提供参考和帮助。

(9) 每章都增加了部分习题。

(10) 改正了第2版在使用中发现的问题。

本书仍然立足大学本科生“数字信号处理”课程的教材。全书共有9章,即绪论、离散时间信号与系统的时域分析、离散时间信号与系统的频域分析、离散傅里叶变换(DFT)、快速傅里叶变换(FFT)、IIR数字滤波器的设计、FIR数字滤波器的设计、数字滤波器结构、多

采样率数字信号处理以及数字信号处理实验等。

为便于读者学习,对于第3版新增加的内容,我们将尽快修订出版与第3版教材配套的学习指导书。

本书由王艳芬教授担任主编。绪论及第1、2、3、4、8章由王艳芬教授编写,第5、9章及附录由王刚副教授编写,第6章由张晓光副教授编写,第7章由刘卫东副教授编写。

限于编者水平,第3版肯定还会有许多不足之处,诚挚希望广大读者批评指正,以便今后不断改进。

编 者

2017年1月



# 第2版前言

PREFACE

《数字信号处理原理及实现》教材自2008年3月由清华大学出版社出版以来,至今已有5年。本书在使用中得到了读者的好评,并于2009年7月荣获江苏省精品教材奖。

本书是《数字信号处理原理及实现》的第2版。和第1版相比,本书有以下改进:

(1) 第1章和第2章分别对奈奎斯特采样定理和频率响应的物理意义等内容的阐述进行了补充和完善。

(2) 第3章3.6节增加了“用DFT计算线性卷积和线性相关”及相应的例题等内容;3.7.1节强调了频域抽样和截断的概念;改写了3.7.2节中的截断效应和栅栏效应的基本概念,叙述更加完善。

(3) 第4章增加了4.7节“ $N$ 为复合数的混合基FFT算法”;对4.3.2节内容进行了补充。

(4) 第5章将原书5.1节引言拆分成了两节“5.1引言”和“5.2数字滤波器的基本概念”,并在5.2节新增“数字滤波器原理”内容,重新改写了“数字滤波器的技术指标”内容。对“双线性变换法中的频率失真和预畸变”内容重新进行了梳理,以期更易理解。在“数字滤波器的频率变换”部分增加了不同类型滤波器之间相互转换的判断方法内容和例题。增加了IIR数字滤波器直接设计法中的“零、极点累试法”内容以及5.8节“IIR数字滤波器的相位均衡”。

(5) 第6章对幅度函数特点、窗函数设计法、频率采样法等内容重新进行了梳理和扩充,增加了多幅插图,将6.3节和6.4节中相同参数理论求解和MATLAB实现部分例题进行了合并,以使内容编排更加合理。对6.5.1节“等波纹逼近准则”进行了优化,新增6.6节“简单整系数法设计FIR数字滤波器”。

(6) 第7章增加了后续课及实际应用中涉及较多的7.5节“数字滤波器的格型结构”以及7.6节“有限字长效应”,并将本章名改为“数字滤波器结构与有限字长效应”。

(7) 各章均增加了“本章小结”,并且每章都增加了部分习题。

(8) 新增第8章“多采样率数字信号处理”,以适应学科的发展。本章分析了序列的整数倍抽取与插值和有理倍数改变抽样率的基本概念、理论和方法以及它们的高效结构等。

(9) 将原来的第8章“MATLAB上机实验”改为第9章“数字信号处理实验”,重新编写了9.1节MATLAB语言简介部分,以使内容叙述更具有条理性。调整了原章节体系结构,将基础实验部分按节重新排列为9.2~9.5节,删除了交互式工具应用实验部分。重点突出和充实了基于MATLAB编程的基础实验内容,为了突出数字信号处理在实际中的应用,增加了9.6节实验五“立体声延时音效处理”,使教材理论与实际结合更加紧密。

(10) 取消原书中的附录“本书用到的MATLAB特殊函数”部分,同时把相关内容按原

书出现的顺序调整到各章节当中,增强了内容的可读性。

(11) 除做了上述扩充和修改,使教材内容更加完整外,每一章都对部分语句进行了优化,使问题的叙述更加完善,层次更加清晰,更利于教和学,这里不再一一列出。

(12) 解决了第 1 版在使用中发现的问题,改正了个别错误。

本书仍然立足大学本科生“数字信号处理”课程的教材。全书共有 9 章,即绪论、离散时间信号与系统的时域分析、离散时间信号与系统的频域分析、离散傅里叶变换(DFT)、快速傅里叶变换(FFT)、IIR 数字滤波器的设计、FIR 数字滤波器的设计、数字滤波器结构与有限字长效应、多采样率数字信号处理以及数字信号处理实验等。为便于读者学习,本书第 1 版已配套出版《数字信号处理原理及实现学习指导》一书,对于第 2 版新增加的内容,将尽快出版与第 2 版教材配套的学习指导书。

本书中所注明的 MATLAB 特殊函数均来源于 Vinary K. Ingle 和 John G. Proakis 开发的 PWS\_DSP 工具箱,文中不再一一注明。

本书由王艳芬教授担任主编。绪论及第 1、2、3、4、8 章由王艳芬教授编写,第 5、9 章及附录由王刚副教授编写,第 6 章由张晓光副教授编写,第 7 章由刘卫东副教授编写。

限于编者水平,虽对第 1 版进行了修订,但肯定还会有许多不足之处,诚挚希望广大读者批评指正,以便今后不断改进。

编 者

2013 年 1 月

# 第1版前言

## PREFACE

随着信息技术的飞速发展,数字信号处理理论和技术日益成熟,已成为一门重要的学科,并在各个领域得到广泛应用。“数字信号处理”基础知识已成为信息工程、电子科学与技术、电气自动化以及其他电类专业必须掌握的专业基础知识和必修内容。

本书共包括8章三部分内容,第一部分包括第1、2、3、4章,是数字信号处理的基础理论部分。鉴于离散时间信号与离散时间系统是数字信号处理中的两个最重要的概念,本书用两章内容分别从时域和频域两个方面对离散时间信号与系统进行了较详细的讨论。第1章介绍了离散时间信号与系统的时域分析方法、常系数线性差分方程和模拟信号数字处理方法。第2章对离散时间信号与系统进行了频域分析,介绍了序列的傅里叶变换(DTFT)和序列的Z变换等频域分析数学工具,讨论了系统函数、频率响应和零、极点分布等概念,并引出两类重要的数字滤波器系统。离散傅里叶变换(DFT)是数字信号处理中的核心内容,本书在第3章用较大篇幅讨论了DFT的定义、性质和物理意义,在此基础上引出了重要的频域采样理论,并且进一步讨论了DFT在实际中的典型应用。快速傅里叶变换(FFT)是DFT的一种快速算法,它在数字信号处理发展史上起到了里程碑的作用,本书第4章重点讨论了FFT的典型算法原理包括按时间、频率抽取的基2FFT和IFFT的高效算法,结合DFT的对称性讨论了实序列的FFT算法,最后介绍了线性调频Z变换(CZT)。数字滤波器是数字信号处理研究的重要内容,本书第二部分包括第5、6、7章,主要学习数字滤波器的基本理论和设计方法,包括无限脉冲响应(IIR)数字滤波器、有限脉冲响应(FIR)数字滤波器及其滤波器的网络结构等,第5章重点介绍了利用模拟滤波器设计IIR数字滤波器的原理、思路和方法包括脉冲响应不变法和双线性变换法,第6章主要讨论了FIR滤波器具有线性相位的条件和特性以及常用的设计方法包括窗函数设计法、频率采样设计法和等波纹逼近法等,第7章介绍了这两类滤波器的基本网络结构和特点。第三部分包括第8章及附录,是本书的上机实验内容,包括必须掌握的基础实验和扩展掌握的交互式工具应用实验。

本书以数字信号处理基础知识、基本理论为主线,同时将学习和应用数字信号处理的极好工具MATLAB引入本书。为了突出基础知识并使基本概念通俗易懂,本书通过例题求解的方式引入MATLAB这一工具,在每一个重要概念讨论之后,都给出了MATLAB实现内容,以帮助读者较好地掌握MATLAB工具,并结合实际应用更好地掌握“数字信号处理”的知识点。本书列举了大量的例题和习题,并专门编写了上机实验一章,突出了理论和实践相结合的环节,并配有上机习题,它可以作为课程实验练习和上机考试的复习习题。

本书主要作为工科信息通信类本科高年级学生之用,着重基本概念、基本原理的阐述及各概念之间的相互联系,并且针对课程抽象难学的特点,以MATLAB为主线来阐述重要概

念和基本原理,并提供了 MATLAB 演示程序及与实际结合密切的综合性例题。

本书由王艳芬担任主编。绪论及第 1、2、3、4 章由王艳芬编写,第 5 章由王刚编写,第 6 章由张晓光编写,第 7 章由刘卫东编写,第 8 章由王艳芬和王刚共同编写。

限于编者水平,加上时间紧张,书中肯定存在不少问题和错误,诚挚希望广大读者批评指正。

编 者

2007 年 9 月

# 教学建议

## SUGGESTION

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
绪论	<p>(1) 了解信号和系统的分类和特点,理解数字信号处理的基本概念和处理的实质;了解数字信号处理系统的基本组成和特点;掌握数字信号处理基本学科分支,理解数字信号处理(DSP)的两层含义;了解数字信号处理的四种实现方法以及应用领域</p> <p>(2) 掌握本课程所要讲授的主要内容和知识模块:基础模块(第1、2章),数字频谱分析模块(第3、4章);数字滤波器模块(第5、6、7章),实验模块(第9章)</p>	1~2	1
第1章 离散时间信号与系统的时域分析	<p>(1) 掌握常用基本序列的含义和表示方法</p> <p>(2) 掌握线性时不变系统的特性以及因果性和稳定性的判断,掌握线性卷积的计算</p> <p>(3) 了解线性常系数差分方程的解法</p> <p>(4) 掌握模拟信号的数字处理方法</p>	4~5	4
第2章 离散时间信号与系统的频域分析	<p>(1) 理解序列的傅里叶变换(DTFT)定义和基本性质</p> <p>(2) 了解序列的Z变换的定义、收敛域和基本性质</p> <p>(3) 掌握系统函数的定义和计算、与差分方程的关系、收敛域和系统的因果稳定性判别</p> <p>(4) 掌握频率响应的物理意义、计算以及几何确定法</p>	5~6	5
第3章 离散傅里叶变换(DFT)	<p>(1) 理解傅里叶变换的四种形式的意义</p> <p>(2) 了解离散傅里叶级数(DFS)的定义、基本性质</p> <p>(3) 掌握离散傅里叶变换(DFT)的定义、基本性质以及与Z变换和DTFT的关系,理解隐含周期性的意义,掌握圆周卷积的计算</p> <p>(4) 掌握频域采样理论的意义、分析过程和结论</p> <p>(5) 掌握DFT在计算线性卷积、线性相关和谱分析等方面的应用,了解重叠相加法和重叠保留法</p>	8~10	8
第4章 快速傅里叶变换(FFT)	<p>(1) 了解直接计算DFT的问题及改进途径</p> <p>(2) 掌握基2-FFT算法包括按时间抽取法(DIT-FFT)和按频率抽取法(DIF-FFT)的基本思路和算法特点</p> <p>(3) 了解IDFT的高效算法,理解实序列的FFT算法</p> <p>(4) 了解N为复合数的混合基FFT算法</p> <p>(5) 了解线性调频Z变换(chirp Z变换)的基本原理、特点和实现过程</p>	4~6	4

续表

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第5章 IIR 数字滤波器的设计	(1) 了解数字滤波器的基本概念、分类和技术指标 (2) 了解模拟滤波器的设计方法 (3) 掌握利用模拟滤波器设计数字滤波器的基本方法, 包括脉冲响应不变法和双线性变换法设计 (4) 了解 IIR 数字高通、带通和带阻滤波器的设计方法 (5) 了解 IIR 数字滤波器的相位均衡概念	6~8	6
第6章 FIR 数字滤波器的设计	(1) 了解两类线性相位的概念, 掌握 FIR 数字滤波器线性相位条件的推导与证明 (2) 掌握相位条件 FIR 滤波器的幅度特点和零点特点 (3) 掌握窗函数法和频率采样法设计 FIR 数字低通滤波器的基本原理、步骤和实现 (4) 了解等波纹逼近法、简单整系数法设计 FIR 数字滤波器的方法 (5) 掌握 IIR 及 FIR 数字滤波器的比较	6~8	6
第7章 数字滤波器结构与有限字长效应	(1) 了解数字滤波器的基本结构单元、信号流程图 (2) 掌握 IIR 滤波器的基本网络结构, 包括直接型、级联型和并联型 (3) 掌握 FIR 滤波器的基本网络结构, 包括直接型、级联型、频率采样结构和线性相位结构 (4) 了解数字滤波器的格型结构 (5) 了解有限字长效应的概念和基本处理方法	4~6	4
第8章 多采样率数字信号处理	(1) 了解多采样率转换的意义 (2) 掌握序列的整数倍抽取与插值和有理倍数改变抽样率的基本概念、理论和方法 (3) 了解多采样率转换滤波器的高效结构等	2~3	2
第9章 数字信号处理实验	(1) 掌握实验(1)、实验(2)和实验(3)的实验原理、方法、步骤和编程实现 (2) 了解实验(4)和实验(5)的实验原理、方法、步骤和编程实现	8~10	8
	教学总学时建议	48~64	48

说明: (1) 本教材为信息工程、电子信息工程、通信工程、电子科学与技术、电气工程及其自动化、自动化、计算机科学等专业课程教材, 总学时数为 48~64 学时(含 8~10 学时实验), 不同专业根据不同的教学要求酌情对内容进行适当取舍。

(2) 本教材理论授课学时数中包含习题课、课堂讨论等必要的课内教学环节。

# 目录

## CONTENTS

---

序 .....	3
第 3 版前言 .....	5
第 2 版前言 .....	7
第 1 版前言 .....	9
教学建议 .....	11
绪论 .....	1
0.1 信号、系统与信号处理 .....	1
0.2 数字信号处理系统的基本组成 .....	2
0.3 数字信号处理的特点 .....	4
0.4 数字信号处理基本学科分支 .....	4
0.5 数字信号处理系统的实现方法 .....	5
0.6 数字信号处理的应用领域 .....	5
第 1 章 离散时间信号与系统的时域分析 .....	7
1.1 引言 .....	7
1.2 离散时间信号 .....	7
1.2.1 序列的定义 .....	7
1.2.2 常用基本序列 .....	8
1.2.3 序列的基本运算 .....	11
1.2.4 任意序列的单位脉冲序列表示 .....	12
1.2.5 MATLAB 实现 .....	13
1.3 离散时间系统 .....	15
1.3.1 线性系统 .....	15
1.3.2 时不变系统 .....	16
1.3.3 线性时不变离散系统 .....	17
1.3.4 线性卷积的计算 .....	18
1.3.5 系统的因果性和稳定性 .....	20

1.4	离散时间系统的时域描述——差分方程	22
1.4.1	常系数线性差分方程的一般表达式	22
1.4.2	差分方程的求解	22
1.4.3	MATLAB 实现	24
1.5	模拟信号数字处理方法	25
1.5.1	采样的基本概念	26
1.5.2	理想采样及其频谱	27
1.5.3	时域采样定理	28
1.5.4	采样的恢复	30
1.5.5	采样内插公式	30
1.5.6	MATLAB 实现	31
	本章小结	33
	习题	34
<b>第2章</b>	<b>离散时间信号与系统的频域分析</b>	<b>38</b>
2.1	引言	38
2.2	序列的傅里叶变换	38
2.2.1	序列的傅里叶变换的定义	38
2.2.2	常用序列的傅里叶变换	39
2.2.3	序列的傅里叶变换的性质	40
2.2.4	MATLAB 实现	45
2.3	序列的 Z 变换	46
2.3.1	Z 变换的定义及其收敛域	47
2.3.2	序列特性对 Z 变换收敛域的影响	47
2.3.3	Z 反变换	51
2.3.4	MATLAB 实现	54
2.3.5	Z 变换的性质	55
2.4	系统函数与频率响应	60
2.4.1	系统函数的定义	60
2.4.2	系统函数和差分方程	61
2.4.3	系统函数的收敛域与系统的因果稳定性	62
2.4.4	频率响应	64
2.4.5	IIR 和 FIR 系统	70
2.4.6	MATLAB 实现	71
	本章小结	74
	习题	75
<b>第3章</b>	<b>离散傅里叶变换</b>	<b>79</b>
3.1	引言	79



3.2	傅里叶变换的几种形式	79
3.2.1	连续时间、连续频率——连续傅里叶变换(FT)	79
3.2.2	连续时间、离散频率——傅里叶级数(FS)	80
3.2.3	离散时间、连续频率——序列的傅里叶变换(DTFT)	80
3.2.4	离散时间、离散频率——离散傅里叶变换(DFT)	81
3.3	离散傅里叶级数(DFS)	81
3.3.1	DFS 的定义	81
3.3.2	DFS 的性质	83
3.4	离散傅里叶变换	84
3.4.1	DFT 的定义	84
3.4.2	DFT 和 Z 变换、DTFT 的关系	87
3.4.3	DFT 的性质	88
3.4.4	MATLAB 实现	93
3.5	频域采样理论——抽样 Z 变换	96
3.5.1	频域采样	96
3.5.2	频域恢复——频域内插公式	98
3.6	用 DFT 计算线性卷积和线性相关	100
3.6.1	线性卷积的 DFT 算法	100
3.6.2	线性相关的 DFT 算法	105
3.7	用 DFT 进行频谱分析	107
3.7.1	利用 DFT 对连续非周期信号进行谱分析	107
3.7.2	用 DFT 进行谱分析的误差问题	110
3.7.3	用 DFT 进行谱分析的参数考虑	112
3.7.4	对 DFT 计算结果的解读	113
3.7.5	MATLAB 实现	115
	本章小结	119
	习题	121
<b>第 4 章</b>	<b>快速傅里叶变换</b>	<b>125</b>
4.1	引言	125
4.2	直接计算 DFT 的问题及改进的途径	125
4.2.1	直接计算 DFT 的运算量问题	125
4.2.2	改善途径	126
4.3	按时间抽取(DIT)的基 2-FFT 算法	126
4.3.1	算法原理	126
4.3.2	DIT-FFT 算法与直接计算 DFT 运算量的比较	130
4.3.3	算法特点	131
4.4	按频率抽取(DIF)的基 2-FFT 算法	133
4.4.1	算法原理	133