

高等院校信息与计算科学专业系列教材

数字信号 与图像处理

郑方 章毓晋 编著



清华大学出版社

高等院校信息与计算科学专业系列教材

数字信号与图像处理

郑方 章毓晋 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书按本科信息与计算科学专业的基本要求,介绍数字信号与图像处理的基本原理和方法。内容包括:信号的基本概念和运算,傅里叶变换、拉普拉斯变换和Z变换,系统及其分析方法,数字滤波器基本原理及设计方法,图像的基本概念和视觉基础,图像的采集方法,图像像素间的几何联系,图像处理中常用的几种变换,基本的图像增强技术,图像恢复的基本原理,典型的图像编码方法等。

本书是清华大学的两位教师在教学第一线讲授多年本门课程经验的结晶。内容丰富,言简意赅,很适合作为信息与计算科学专业及相关专业的教学用书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号与图像处理/郑方,章毓晋编著. —北京:清华大学出版社,2006.1

(高等院校信息与计算科学专业系列教材)

ISBN 7-302-12069-2

I. 数… II. ①郑… ②章… III. ①数字信号—信号处理—高等学校—教材 ②图像处理—高等学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第128589号

出版者:清华大学出版社

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

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:范素珍

印刷者:北京四季青印刷厂

装订者:三河市李旗庄少明装订厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:140×203 印张:18.625 字数:479千字

版 次:2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-12069-2/TP·7812

印 数:1~3000

定 价:27.00元

高等院校信息与计算科学专业系列教材

编辑委员会名单

主编 张平文

编委 (按姓氏笔画排序)

白峰杉 (清华大学数学科学系)

张平文 (北京大学数学科学学院)

张林波 (中国科学院数学与系统科学研究院)

张兆田 (国家自然科学基金委信息学部)

姜明 (北京大学数学科学学院)

查红彬 (北京大学信息科学技术学院)

责任编辑 范素珍

序 言

数学科学不仅是自然科学的基础,也是一切重要技术发展的基础。电子计算机的发明及计算技术的发展都以数学为其理论基础。计算机技术的发展使得数学的应用更加直接和广泛,同时也正在改变人们对数学的传统认识。数学素质已成为今天培养高层次创新人才的重要基础。

计算数学是一门随着计算机发展而形成的学科,研究如何应用计算机有效求解各类计算问题的方法和理论,其中涉及的计算问题主要来源于科学研究和工程设计,因此人们又称这门学科为科学计算。今天,计算和实验、理论分析一起成为当今科学活动的主要方式。在物理、化学、力学、材料科学、环境科学、信息科学和生物科学等大领域,计算方法和技术已经成为被广泛接受的科学研究手段,这一系列计算性的分支学科统称为计算科学。现在,计算在科学研究和工程设计中几乎无处不在,对科技的发展起到举足轻重的作用。由于计算数学的发展已有 50 多年的历史,在教学科研方面有着深厚的积累,传统的教材建设也相对比较规范。伴随着计算机技术突飞猛进的发展,特别是超大规模计算机平台的建立和使用,以及科学研究中不断增长的对计算方法和技术的需求,传统的计算数学教材已不能满足教学的需要。

信息化已成为当今世界发展的重要趋势,也是衡量一个国家现代化水平的重要标志。信息科学可以理解为信息获取、传输、处理与控制的科学。我国信息科学发展的时间相对较短,但发展迅猛。发展信息科学需要数学基础,当然也离不开计算机科学。由于信息科学多学科交叉的特点,在不同院校和专业,信息科学都得

到了一定的发展。但也正是这些原因,使得信息科学的学科定位,尤其是教材建设百家争鸣,缺乏统一的规范,为教学带来了很大的实际困难。

教育部 1998 年颁布的普通高等院校专业目录中,“信息与计算科学”专业被列为数学类下的一个新专业。这一新专业的设置很好地适应了新世纪以信息和计算技术为核心的数学人才的培养。然而,作为一个新专业,对其专业内涵、专业规范、教学内容与课程体系等有一个认识与探索的过程。教育部数学与统计学教学指导委员会经过多年艰苦细致的工作,对一些问题有了比较明确的指导意见,发表了《关于信息与计算科学专业办学现状与专业建设相关问题的调查报告》及《信息与计算科学专业教学规范》(讨论稿)(见《大学数学》第 19 卷 1 期(2003))。按照新的教学规范,信息与计算科学专业是以信息技术和计算技术的数学基础为研究对象的理科类专业。其目标是培养学生具有良好的数学基础和数学思维能力,掌握信息与计算科学基础理论、方法与技能,能解决信息技术和科学与工程计算中实际问题的高级专门人才。

近年来在教育部领导下,高等院校每年大量扩大招生,从而使我国的高等教育从精英化向大众化转变。现在全国大约有 400 所高校开办了“信息与计算科学”专业,每年招收 3 万名左右本科生。其中大部分学校缺乏从事该领域教学科研经验的教师,对专业的定位及课程设置也不明确。即使是全国一流高校,也是偏向于单一学科,适合交叉学科专业的教材极其匮乏,新专业没有一个完整的切实可行的教学大纲。

信息与计算科学专业属数学类,前两年的课程基本上是明确的,教材也很多。而本套系列教材重点建设后两年的专业课。由于重点高校大部分有自己的课程体系和教材建设,本系列教材主要针对普通高等学校开办的该专业。依据教育部“强基础,宽口径,重实际,有侧重,创特色”的办学指导思想,清华大学出版社组

织的《高等院校信息与计算科学专业系列教材》编委会成员对专业定位、课程设置、教材内涵等进行了深入探讨,并邀请有多年教学和科研经验的教师编写系列教材。特别是北京大学姜明教授对涉及信息科学的教材建设花费了大量心血,在此对他们表示感谢。

为适应不同类型院校和不同层次要求的课程需求,教材建设也需要多样化和层次化。我们相信,该系列教材的出版对缓解本专业教材紧缺局面,逐步形成专业定位与课程设置,推动信息与计算科学发展,培养适应时代发展的交叉学科人才,提高中国数学教育水平起到一定的作用。

张平文

2005年7月6日

前 言

《数字信号与图像处理》主要介绍信号与图像的基本概念,以及信号与图像处理的基本方法。第1~4章内容包括:信号的基本概念和基本运算、连续和离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换及其快速算法、Z变换,以及对离散时间系统及其分析方法、数字滤波器的基本原理及其设计等。第5~6章内容包括:图像的基本概念和视觉基础,图像的采集方法,图像像素间的几何联系,图像处理中常用的几种变换,基本的图像增强技术、图像恢复的基本原理、典型的图像编码方法等。

本书在教学方法上,采用理论推导和应用分析相结合的手段,着重让学生掌握信号与图像处理的基本原理和分析方法,并通过让学生对实际信号和图像的处理,训练学生解决实际问题的能力。本书从内容安排上,除可供各高等院校“信息与计算科学专业”教学使用外,还可供其他相近专业的教学和研究参考。本书要求的先修课程有高等数学、复变函数等。本书每章后有要点小结,帮助读者总结复习。每章后附有一定数量的习题,书后附习题答案。另外,书后附一定量的参考文献,供需要进一步深入研究的读者参考。

本书第1~4章由郑方博士负责编写,第5~6章由章毓晋博士负责编写(两位作者均在教学第一线教授本门课程多年)。由于作者水平有限,编写时间紧迫,书中错误和不当之处在所难免。诚恳希望读者不吝指正。

编 者

2005年8月1日

于清华园

编者联系方法/地址:

郑 方

通信地址:北京清华大学自动化系信息技术研究院(100084)

办公电话:(010) 62796393

电子邮件:fzheng@tsinghua. edu. cn

个人主页:<http://cst. cs. tsinghua. edu. cn/~fzheng/>

章毓晋

通信地址:北京清华大学电子工程系(100084)

办公电话:(010) 62781430

电子邮件:zhangyj@ee. tsinghua. edu. cn

个人主页:<http://www. ee. tsinghua. edu. cn/~zhangyujin/>

目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 信号及其描述和分类	1
1.1.1 信号的概念	1
1.1.2 信号的描述方法	1
1.1.3 信号的分类	2
1.2 信号处理	7
1.3 典型信号	8
1.3.1 指数信号	8
1.3.2 正弦、余弦信号	8
1.3.3 复指数信号	8
1.3.4 Sa 函数(抽样函数)	9
1.3.5 高斯信号(钟形脉冲信号)	10
1.3.6 单位斜变信号 $R(t)$	11
1.3.7 单位阶跃信号 $u(t)$	11
1.3.8 单位矩形脉冲信号 $G_r(t)$	12
1.3.9 符号函数 $\text{sgn}(t)$	13
1.4 单位冲激信号(δ 函数)及其性质	14
1.4.1 δ 函数的定义	14
1.4.2 δ 函数的性质	15
1.4.3 奇异函数	21
1.5 信号的基本运算	21
1.5.1 四则运算	21
1.5.2 反褶运算	22

1.5.3	时域平移(时移)运算	22
1.5.4	时域压扩运算	23
1.5.5	微分和积分运算	24
1.5.6	卷积运算	25
1.5.7	相关运算	33
1.6	信号的分解	38
1.6.1	直流分量与交流分量	39
1.6.2	偶分量与奇分量	39
1.6.3	实部分量与虚部分量	41
1.6.4	脉冲分量	41
1.6.5	正交函数分量	42
1.7	用完备正交函数集表示信号	48
	本章小结	51
	习题	51
第2章	连续时间傅里叶变换	57
2.1	引言	57
2.2	周期信号的频谱分析——傅里叶级数	58
2.2.1	三角形形式的 FS	58
2.2.2	复指数形式的 FS	60
2.2.3	奇偶信号的 FS	62
2.2.4	周期信号的傅里叶频谱	63
2.2.5	周期信号的功率	69
2.3	非周期信号的频谱分析——傅里叶变换	71
2.3.1	周期信号的频谱与非周期信号的 频谱密度	71
2.3.2	FT 的定义	73
2.3.3	FT 存在的充分条件	75

2.3.4	FS 与 FT 比较	75
2.3.5	FT 及 IFT 在赫兹域的定义	76
2.4	典型非周期信号的 FT 频谱	76
2.4.1	单边指数信号	76
2.4.2	偶双边指数信号	77
2.4.3	矩形脉冲信号	78
2.4.4	符号函数	81
2.5	冲激信号和阶跃信号的 FT	82
2.5.1	冲激信号	82
2.5.2	阶跃信号	83
2.6	FT 的性质	84
2.6.1	线性性	85
2.6.2	奇偶虚实性	85
2.6.3	反褶和共轭性	87
2.6.4	对偶性	88
2.6.5	尺度变换特性	91
2.6.6	时域平移(时移)特性	93
2.6.7	频域平移(频移)特性	95
2.6.8	微分特性	99
2.6.9	积分特性	100
2.6.10	卷积定理	100
2.6.11	时域相关性定理	103
2.6.12	帕斯瓦尔定理	104
2.7	周期信号的 FT	105
2.7.1	正余弦信号的 FT	106
2.7.2	一般周期信号的 FT	107
2.8	抽样信号的 FT 及抽样定理	111
2.8.1	抽样信号的 FT	112

2.8.2	时域抽样定理	114
2.8.3*	矩形脉冲抽样	116
2.8.4*	频域抽样定理	118
2.9*	因果实信号的傅里叶变换及希尔伯特变换	119
2.10*	连续时间系统及其频域分析	120
2.10.1	连续时间系统	120
2.10.2	LTI 连续时间系统的频率响应	124
2.10.3	无失真传输与群时延	127
2.10.4	模拟滤波器及理想低通滤波器	130
2.11	二维连续傅里叶变换	133
2.11.1	2D-CFT 的定义	134
2.11.2	2D-CFT 的性质	138
	本章小结	142
	习题	143
第 3 章	Z 变换	152
3.1	引言	152
3.1.1	拉普拉斯变换的定义及收敛域	153
3.1.2	周期信号与抽样信号的 LT	158
3.2	Z 变换的定义	160
3.3	ZT 收敛域	162
3.3.1	有限长序列的 ROC	163
3.3.2	右边序列的 ROC	164
3.3.3	左边序列的 ROC	165
3.3.4	双边序列的 ROC	166
3.3.5	ZT 的 ROC 及其零极点	167
3.4	常用序列及其 ZT	169
3.4.1	单位冲激序列 $\delta(n)$	169

3.4.2	单位阶跃序列 $u(n)$	170
3.4.3	矩形脉冲序列 $G_N(n)$	170
3.4.4	单位斜变序列 $nu(n)$	171
3.4.5	单边指数序列 $a^n u(n)$	172
3.4.6	单边正、余弦序列	172
3.4.7	利用已知序列的 ZT 求解一般序列 的 ZT	173
3.5	ZT 的性质	175
3.5.1	线性性	175
3.5.2	时域平移性	176
3.5.3	时域扩展性	178
3.5.4	时域共轭性	180
3.5.5	z 域尺度变换(或序列指数加权)性	180
3.5.6	z 域微分(或序列线性加权)性	181
3.5.7	初值定理	182
3.5.8	终值定理	183
3.5.9	时域卷积定理	184
3.5.10	z 域卷积定理	185
3.5.11	帕斯瓦尔定理	188
3.5.12	ZT 性质总结	188
3.6	逆 Z 变换的求解	192
3.6.1	部分分式展开法	192
3.6.2	幂级数展开法	194
3.6.3	留数法	195
3.7	离散时间系统	199
3.7.1	离散时间系统及其分类	199
3.7.2	LTI 离散时间系统的表示方法	200
3.7.3	离散时间系统响应的 ZT 法求解	201

3.7.4	离散时间系统的传递函数	202
3.7.5	传递函数零极点分布对特性的影响	206
3.7.6	序列的傅里叶变换——离散时间 傅里叶变换	210
3.7.7	离散系统的频率响应	223
3.7.8*	无失真传输系统、全通系统与 最小相位系统	233
3.8	数字滤波器	239
3.8.1	数字滤波器的基本原理	239
3.8.2	数字滤波器的分类	241
3.8.3*	数字滤波器的设计	245
	本章小结	262
	习题	263
第4章	离散傅里叶变换及其他变换方法	274
4.1	引言	274
4.2	离散傅里叶变换(DFT)的推导	275
4.2.1	时域抽样	275
4.2.2	时域截断	276
4.2.3	时域周期延拓	277
4.2.4	时域处理后信号的连续时间傅里叶变换	278
4.3	离散傅里叶变换及其逆变换的定义	282
4.4	离散谱的性质	285
4.4.1	W_N 的性质	285
4.4.2	离散谱的性质	286
4.4.3	DFT 的总结	288
4.5	DFT 的性质	292
4.5.1	线性性	292

4.5.2	奇偶虚实性	292
4.5.3	反褶和共轭性	295
4.5.4	对偶性	295
4.5.5	时移性	296
4.5.6	频移性	296
4.5.7	时域离散圆卷积定理	297
4.5.8	频域离散圆卷积定理	298
4.5.9	时域离散圆相关定理	298
4.5.10	IDFT 的另一种形式	298
4.5.11	帕斯瓦尔定理	299
4.6*	有限长序列的 DFT, ZT 及 DTFT 的关系	300
4.7	快速傅里叶变换	305
4.7.1	直接 DFT 计算的复杂度	306
4.7.2	FFT 的推导	306
4.7.3	FFT 算法特点及流程	311
4.7.4	FFT 复杂度分析	312
4.7.5*	FFT 算法的进一步改进	314
4.7.6	DFT 应用中的实际问题	316
4.8	二维离散傅里叶变换	323
4.8.1	二维离散傅里叶变换的定义	324
4.8.2	二维离散傅里叶变换的计算	325
4.8.3	二维离散傅里叶变换的性质	328
4.9	离散余弦变换	331
4.9.1	一维离散余弦变换	331
4.9.2	二维离散余弦变换	337
	本章小结	343
	习题	343

第 5 章 图像处理基础	350
5.1 图像和图像技术	350
5.1.1 图像基本概念	350
5.1.2 图像技术及分类	353
5.1.3 图像表示和显示	358
5.2 视觉基础	362
5.2.1 视觉过程	363
5.2.2 亮度视觉	364
5.2.3 颜色视觉	365
5.3 图像采集	372
5.3.1 采集装置	372
5.3.2 成像变换	376
5.3.3 采样和量化	378
5.4 图像几何基础	382
5.4.1 像素间联系	383
5.4.2 坐标变换	385
5.4.3 几何校正	388
5.5 图像变换	392
5.5.1 可分离变换	392
5.5.2 沃尔什变换	394
5.5.3 哈达玛变换	398
5.5.4 离散余弦变换	403
5.5.5 霍特林变换	406
本章小结	410
习题	411
第 6 章 图像处理技术	418
6.1 图像增强技术	418