

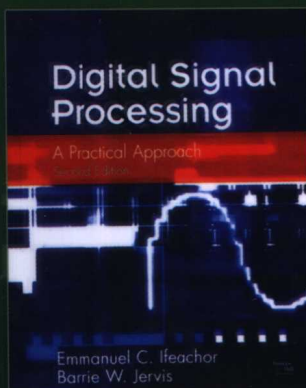
国外电子与通信教材系列

数字信号处理 实践方法

(第二版)

Digital Signal Processing

A Practical Approach, Second Edition



[英] Emmanuel C. Ifeachor 著
Barrie W. Jervis

罗鹏飞 杨世海 等译
朱国富 谭全元



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书根据实际工程应用和具体实例,详细介绍了数字信号处理(DSP)领域内的基本概念和相关技术。全书共分为14章,首先讲解了DSP的基本概念及其应用,并从实际的例子出发,阐述了信号的抽样、量化及其在实时DSP上的内涵。然后,作者介绍了离散变换(DFT和FFT)、离散时间信号与系统的分析工具(z 变换)以及DSP的基本运算(相关和卷积),并分析了数字滤波器设计的实际问题。本书还讲解了多抽样率数字信号处理、自适应数字滤波器、谱估计及其分析等现代数字信号处理理论,最后讨论了通用和专用数字信号处理器、定点DSP系统有限字长效应分析以及DSP应用和设计实例。另外,书中还提供了范例和实验的MATLAB实现方法。

本书可作为通信与电子信息类专业高年级本科生和研究生的教材或教学参考书,而且对于相关学科的研究人员和工程技术人员也具有很好的参考价值。

© Pearson Education Limited 1993, 2002.

This edition of *Digital Signal Processing: A Practical Approach, Second Edition*, ISBN: 0201596199 by Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis is published by arrangement with Pearson Education Limited.

All rights reserved.

Simplified Chinese edition published by Publishing House of Electronics Industry, Copyright © 2004.

Licensed for sale in mainland territory of the People's Republic of China only, excluding Hong Kong.

本书中文简体字翻译版由 Pearson Education Limited 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)发行与销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2002-5590

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理实践方法:第二版/(英)艾费科(Ifeachor, E. C.)等著;罗鹏飞等译.

-北京:电子工业出版社,2004.11

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Digital Signal Processing: A Practical Approach, Second Edition

ISBN 7-5053-9913-6

I. 数... II. ①艾... ②罗... III. 数字信号-信号处理-高等学校-教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)104750号

责任编辑:冯小贝

印 刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:44.25 字数:1246千字

印 次:2004年11月第1次印刷

定 价:65.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入 21 世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入 WTO 后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在 2000 年至 2001 年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了 40 余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

- | | | |
|-----|-----------------------------|--|
| 主任 | 吴佑寿 | 中国工程院院士、清华大学教授 |
| 副主任 | 林金桐 | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师 |
| | 杨千里 | 总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长
中国通信学会常务理事 |
| 委员 | 林孝康 | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 徐安士 | 北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 樊昌信 | 西安电子科技大学教授、博士生导师
中国通信学会理事、IEEE 会士 |
| | 程时昕 | 东南大学教授、博士生导师、移动通信国家重点实验室主任 |
| | 郁道银 | 天津大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 阮秋琦 | 北京交通大学教授、博士生导师
计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 |
| | 张晓林 | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员 |
| | 郑宝玉 | 南京邮电学院副院长、教授、博士生导师
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 朱世华 | 西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 彭启琮 | 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员 |
| | 毛军发 | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 赵尔沅 | 北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任 |
| | 钟允若 | 原邮电科学研究院副院长、总工程师 |
| | 刘彩 | 中国通信学会副理事长、秘书长 |
| | 杜振民 | 电子工业出版社原副社长 |
| | 王志功 | 东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主任委员 |
| | 张中兆 | 哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院长 |
| 范平志 | 西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长 | |

译 者 序

本书的作者 Emmanuel C. Ifeachor 教授是国际上信号处理方面的著名专家，他的主要研究领域包括信号处理与建模技术及其在多媒体、音频和生物医学中的应用。Ifeachor 教授撰写过多部有关信号处理方面的著作，并且曾经在许多由 IEE、IEEE 组织的国际技术委员会中任职。

本书以多年来为英国普利茅斯大学和 Sheffield Hallam 大学讲授数字信号处理方面的实践性本科课程以及给工业应用部门的应用工程师讲授的课程为基础，由作者精心编写而成。书中介绍了数字信号处理的基本理论及其应用，并通过实际的例子来阐述一些关键的技术专题。有关数字信号处理方面的教材有很多种，但这些教材普遍偏重理论的介绍，而较少涉及现实生活中的应用实例。这会使学生认为数字信号处理理论的数学公式太多，因此感到抽象、难学；另一方面，学生在学完这门课程之后，仍然不是很清楚 DSP 究竟能做什么，以及如何设计一个实际的系统。本书试图在理论和实践之间架起一座桥梁，并在介绍这些基础理论时尽可能减少数学推导。书中在应用方面的实例涉及无线电通信、数字音频、生物医学等许多与我们日常生活密切相关的技术领域，相信通过这些实例可以提高读者的学习兴趣，使读者掌握 DSP 的相关技术，并引导读者如何使用 DSP 来设计实际的工程系统。

本书的主要特点是：

- 用实际的例子和现实生活中的应用来阐述 DSP 技术
- 将数学知识减少到理解本书内容所需掌握的程度
- 提供了许多 DSP 算法的 C 语言和 MATLAB 实现
- 讲解了实时 DSP 系统的模拟 I/O 接口
- 介绍了新型 DSP 处理器的结构和硬件
- 包括了系统识别、反卷积、小波变换和参数谱分析等新课程
- 提供了设计 DSP 系统的指导和实例
- 相关的应用领域包括音频、生物医学、无线电通信等

参加本书翻译工作的有罗鹏飞（第1章~第4章，第7章）、杨世海（第9章~第11章，第13章）、朱国富（第12章，第14章）和谭全元（第5章~第6章，第8章）。此外，赵艳丽、熊跃军、罗佳莹、张文明、刘忠、杨建华、王世希、来庆福、陈英、江晶、曾勇府、彭岁阳、张剑、肖旭、何志华、王象、谢小霞、丹梅、徐振海也对本书的翻译、校对和资料整理工作提供了很多帮助。最后，由罗鹏飞对全书的译文进行了校对和整理。由于译者的水平有限，文中难免有不妥之处，敬请读者不吝赐教。

前 言

本书的写作目的

在过去的几年中,数字信号处理(DSP)在许多关键性的技术领域继续产生着重要的影响,并且这种影响正在日益增加。这些技术领域包括无线电通信、数字电视和媒体、生物医学、数字音频和仪器等。在许多新的和正在涌现的数字产品以及信息社会的许多应用(如数字蜂窝电话、数字相机和TV、数字音频系统等)中,DSP是其核心。自本书第一版出版以来,对于电子、计算机和通信工程师来说,精通DSP的愿望已经大大增强。现在,DSP是大多数电子/计算机/通信工程专业的课程的核心内容。

通过提供基于MATLAB的习题、相关的指导手册以及Web资源,本书的第二版经过了重新的整理和修改,并且包含了一些附加的主题,这些主题的重要性正在日益增长。增加这些内容的目的是为了适应软件开发和信息技术的更为广泛的适用性、信号处理教学的发展以及读者的要求。在大学的教学和科研活动中,对基于Web的资源和MATLAB这样的信号处理软件工具的使用正在逐渐普及。因此,我们满足了读者对基于MATLAB的资源的需求。MATLAB使信号处理变得简单化,几个命令就可以立即显示结果。在开发信号处理算法和解题的过程中,我们也能从中获得乐趣,而不必专注于编写详细的程序。我们相信,本书的MATLAB例子和习题将增加学生的实践经验,而教师可以获得更多可用的教学资源。

正如本书的第一版,第二版的目标是在理论与实践之间架起一座桥梁。因此,我们继续保持本书的主要特征,即覆盖现代DSP的主要课题,并且提供实际的例子与应用。与第一版一样,我们将实际的例子和系统与理论相结合,以保持学生的学习兴趣,增强学习的动力。第二版的许多章节都经过了大量的修改,增加了最新的信息,并尽量使内容更加简洁。我们对每章末尾的习题加以扩展,以便检验、巩固和加深学生对内容的理解。在修订本书的时候,加入了自第一版出版后我们在DSP方面取得的经验,并吸取了世界各地读者的反馈意见。

新引入的主题包括:在模/数转换中的过抽样和带通抽样技术,这些技术利用了DSP提供的优势;用于信号的时频表示和分辨的小波变换;从未知系统的输出识别输入信号的盲解卷积;可用于短信号高分辨率的参数谱估计;新的DSP处理器的结构以及在定点DSP系统中降低舍入噪声的实际方法;用于辅助复习的基于计算机的多项选择题。在本书中提供了基于MATLAB的例子和习题。

本书以多年来为英国普利茅斯大学和Sheffield Hallam大学讲授的数字信号处理方面的实践性本科课程以及给工业应用部门的应用工程师讲授的课程为基础,由作者精心编写而成。我们觉得现在的许多教材对于本科生来说内容过于基本,或者对于相关领域的应用工程师来说又过于理论化。大多数的读者都有过这种经历,学习任何一个学科的基础知识与实际应用的差距是很大的。因此,我们决定撰写这本教材,相信本科生可以理解并赏识这本书,而且可以承担实际的数字信号处理课题;我们也相信,硕士生、博士生以及工程师也会发现本书是相当有价值的。

我们在应用DSP方面二十多年的研究工作对撰写本书的内容很有帮助。我们从这些研究工作中总结出了一些可供讨论的实际问题,为理论概念和工程实现架起桥梁,并且还提供了一些应用实例、案例研究和相关的习题。

DSP 在工业界和大学方面的巨大影响力与发展仍将持续。众多实用的数字信号处理器证明了 DSP 在商业上的重要性。DSP 的主要吸引力在于它具有达到要求的精度和出色的可再生能力, 以及与模拟信号处理相比固有的灵活性。在工业界的许多工程师仍然缺乏 DSP 方面的必要知识和专门技术, 因而不能完全利用目前市场上功能强大的数字信号处理器的巨大潜能。为了使工程师能够利用这些数字信号处理器来设计实际的 DSP 系统, 本书提供了必要的基础知识和实际指导。

在大学里, DSP 通常被认为是电子工程专业的课程中数学主题较多的一门。根据我们的教学经验, 本书精简了有关的数学概念, 保留了有用的、基本的和能够引起学习兴趣的内容, 同时也强调了其中的一些难点。经验表明, 学生如果能够意识到理论与实践的结合会学得更好, 而掌握更多的理论内容对于知识的完备性也是必需的, 我们对精通实际的知识技能的学生充满信心。作者正是基于以上考虑编写本书的。

本书并未包含 DSP 的全部内容, 而是覆盖了电气、电子和通信工程等专业的课程的多个方面, 同时也涵盖了许多与工业界具有某些特定关系的 DSP 技术。在过去的几年里, 我们开始将这些技术 (包括自适应滤波和多速率处理) 融入到本科生的教学中。

本书强调 DSP 的实际应用方面。第二版的一个很重要的特征是包括了 MATLAB 的例子, 以及信号处理、分析、设计与考察时间-效率方法等方面的习题。鼓励读者运行 MATLAB 程序来加深对 DSP 的理解。我们也提供了经过修改的第一版中的 C 语言 DSP 软件工具, 实践证明这些工具是很流行的。

MATLAB 在工业界和大学中作为基本工具而得到了广泛使用, 它要求的编程技能比 C 语言少。MATLAB 带有良好的图形和显示工具, 从而为 DSP 的开发提供了一个好的环境。我们相信 MATLAB 是学生熟悉和胜任今后工作的有用工具。本书所有的 MATLAB m 文件都可以通过 Web 获得电子文档, 其中有一些 MATLAB m 文件用于实现第一版中的 C 语言程序所执行的类似任务。此外, 在指导手册 *A Practical Guide for MATLAB and C Language Implementations of DSP Algorithms* 的 CD 上也包含了 m 文件 (以及第一版的 C 语言程序), 详细情况请参见后面的内容。

本书的主要特征

- 从实践的观点出发, 提供了 DSP 技术的基础、实现和应用的解释。
- 清晰性和易于阅读, 将数学知识减少到对于理解本书内容所需掌握的程度。
- DSP 的技术和概念通过一些实践化和处理过的实例加以说明, 从而加深对 DSP 技术的理解。
- 为读者能够设计和开发实际的 DSP 系统提供指导, 我们给出了完成一个设计例子和实现的详细细节, 其中包括 DSP 处理器的汇编语言。
- 给出一些能够体现实践经验的 MATLAB 例子和习题。
- 提供许多 DSP 算法和函数的 C 语言实现, 这些程序包括:
 - 数字 FIR 和 IIR 滤波器设计
 - 用户设计的定点 IIR 滤波器有限字长效应分析
 - 将串行实现结构转化为并行实现结构
 - 相关计算
 - 离散和快速傅里叶变换
 - z 反变换
 - 频率响应估计
 - 多抽样率处理系统的设计

- 在 Web 上提供了基于 PC 的 MATLAB m 文件的电子文档（在指导手册的 CD 上也包含了第一版的 C 语言程序，详细情况请参见下面的内容）。
- 在每章的最后包含了许多习题，并且提供了用于复习的多项选择题。
- 使用了一些实际中的例子来说明一些重要的概念，从而加深对知识的理解。

本书的读者对象

本书的读者对象包括工程、科学、计算机科学等专业的学生，以及希望获得 DSP 方面的相关知识的应用工程师和技术人员。特别是电子、电气和通信工程等专业的毕业生，将会发现本书无论是作为教材还是辅助课题设计都是相当有价值的，学生在 DSP 方面的课题设计所占的课题比例有了很大的增长。而且，本书对以上专业攻读硕士或博士学位的研究生也是相当有帮助的。

大学本科生将会发现本书的基本主题是非常具有吸引力的；并且我们相信，无论是在他们的课程学习期间，还是对于今后进入到工业界从事研究工作，本书都是非常有价值的信息源。

许多商业和政府组织机构承担其内部 DSP 短期课程的培训，这些短期课程都是根据某本教材开设的。我们相信，本书可以作为一本很好的教材，同时也可以作为本科生、研究生和应用工程师自学的参考书。

本书的组织结构

第 1 章包括了 DSP 的概述及其应用，使读者认识到 DSP 的含义及其重要性。第 2 章根据一些现实中的例子从实际的观点阐述了许多基本的主题，这些基本内容形成了 DSP 的基础，如信号的抽样、量化以及它们在实时 DSP 中的内在意义。同时还包括了如 AD/DA 转换中的过抽样技术、带通信号的抽样以及均匀和非均匀量化等重要的主题。在本章还介绍了离散时间信号与系统的概念，这些概念在第 4 章进行了深入的讨论。

离散变换，特别是离散傅里叶变换（DFT）和快速傅里叶变换（FFT），为 DSP 以及时域和频域分析提供了重要的数学工具，第 3 章对它们进行了介绍，并且讨论了相关的应用。从傅里叶变换以及指数傅里叶级数到离散傅里叶变换的推导给出了逻辑上的证明，因为 DFT 并不要求覆盖离散傅里叶级数的概念，因此也就没必要增加本书的内容，相关的讨论也限制在变换的描述和实现上。特别是在第 3 章里并没有涵盖加窗的知识，我们认为在第 11 章的谱分析中讨论加窗会更加合适。作为离散余弦变换的重要应用，在图像处理的 JPEG 标准中进行了描述。由于对非平稳信号的适用性以及及时域和频域分辨信号的能力，小波变换在许多领域的应用正在日益增加，因此在第 3 章中也包含了有关内容的介绍。这一章还描述了离散变换应用于信号去噪的多分辨分析和奇异检测。

在第 4 章中讨论了离散信号与系统的基础概念，描述了 z 变换方法，它是表示和分析离散信号与系统的非常重要的工具。本章重点分析了 z 变换的许多应用，例如在离散时间信号与系统中的频率响应的设计以及分析和计算应用的例子。在本书的其余部分，将通过一些实际的例子来说明 z 变换的概念及其应用。

相关和卷积是基本的并且是与 DSP 紧密相关的主题，我们在第 5 章中对其进行了深入的讲解。作者认为本章对于 DSP 是必不可少的，建议读者仔细学习本章的内容，逐步掌握相关的概念与方法。这些内容可能覆盖了几年的本科课程。在第二版中给出了一些附加的内容，如系统识别、解卷积和盲解卷积。盲解卷积特别有用，因为它利用了信息最大化，使得确定未知冲激响应系统输出端测得的未知输入信号成为可能。

第6章~第8章详细讨论了数字滤波器的设计实践,这是DSP很重要的内容之一,也是大多数DSP系统的核心。滤波器的设计是一个很大的主题,第6章提供了滤波器设计的一般框架,给出了数字滤波器设计的逐步指导。

从技术规范到实现的FIR滤波器设计技术在第7章进行了讨论。本章提供了几个可以执行的例子,以便加深对重要概念的理解。在这个新版本中,附加的一些内容包括频率FIR滤波器的自动设计,并给出了一个完整的设计实例,用来说明滤波器设计的各个阶段是如何综合在一起的。

第8章详细讨论了根据简单的逐步设计指导进行IIR(无限冲激响应)滤波器设计。本章已经经过了重新的组织和扩展,特别是为了清晰起见,重新安排了有关系数的计算,并根据读者的一些反馈信息加入了新的内容,以覆盖IIR滤波器设计的一些重要课题。此外,本章还给出了一些可以执行的例子,帮助读者理解从技术规范到实现的IIR滤波器设计过程。设计的例子用MATLAB和C语言给出。

我们已经对IIR滤波器设计进行了精简,将有限字长效应的内容移至第13章。我们采纳了读者的反馈意见,本书在第1章~第8章包含了大多数DSP课程的内容,更为先进的DSP知识将在以后的一些章节中出现。第13章将介绍DSP算法中的有限字长效应的处理。

多抽样率处理技术允许使用不止一个抽样率来处理数据,这样使得一位ADC和DAC(数/模转换)以及过抽样数字滤波等新技术可以使用,这些新技术应用于许多现代数字系统中,例如大家都熟悉的CD播放器。第9章通过一个处理过的例子和实际的多抽样率系统,介绍了多抽样率处理的基本知识。这一章的内容已经扩展到包含多相(polyphase)的概念。我们将许多设计的例子和应用综合在一起,从而说明多抽样率系统的原理与设计问题。

第10章介绍了自适应信号处理的常用算法:LMS(最小均方)算法和RLS(递归最小二乘)算法,这是自适应滤波的关键内容。本章只介绍一些必要的理论,主要是讲解实际的应用。

第11章介绍了在频域描述与研究信号的谱估计和分析这一重要内容。通过介绍参数谱估计软件包,我们对这种方法进行了详细的阐述。如果信号能够由正确阶数的模型精确地描述,那么参数谱估计可应用到短信号长度,与非参数谱估计方法相比能够提供高分辨率的谱估计。通过在脑电信号中诱发反应信号的回归谱估计的应用实例,我们进一步分析了这种方法。对谱分析特别感兴趣的读者应该学习第11章和第3章,因为第11章强调解释,而在第3章给出了处理过的例子。掌握了这些内容的读者能够较好地胜任频域信号分析方面的工作。

在最近的十多年内,DSP硬件方面取得了巨大的发展,出现了许多实用的低成本数字信号处理器。为了在DSP中成功地应用这些处理器,掌握DSP硬件和软件的概念是十分必要的。第12章讨论了DSP的通用和专用处理器的一些关键问题,DSP算法对这些处理器硬件和软件结构的影响,以及DSP功能的有效运行对结构的要求。本章的内容突出了当今DSP的新技术,特别是我们讨论了新的DSP结构,如长指令字、超标量以及新的定点和浮点DSP处理器(包括德州仪器公司的定点处理器TMS320C54和TMS320C62、摩托罗拉公司的定点处理器DSP56300、模拟器件公司的TigerSHARC IS0001)。

第13章详细讨论了在现代定点DSP系统中有限字长效应的分析,在适合采用定点精确算法的内容中提供了减少有限字长效应的解决方法。

第14章是全新的(尽管保留了第一版的一些内容)一章,可作为教师和学生进行教学和学习的资源。这一章包括了用于DSP算法实现的低成本DSP板的描述,以及现实生活中的应用实例,并通过情景学习的形式加以描述。其他的特点包括给出了基于计算机的多项选择题,这些问题覆盖了前面各章的一些关键概念,对于本书内容的复习是很有价值的。本章还描述了完整的实验室练习题,并且提供了情景学习和课题研究的思路。

如何使用本书

本科生教学的实用方法是通过第1章、第2章的内容来掌握一些基本概念(如抽样定理、离散信号与系统),了解DSP的应用及其优势。离散变换从第3章的DFT和FFT、第4章的 z 变换开始讲解,通过第11章和第5章来介绍DFT和FFT的应用。在第5章讨论了相关处理以后,应该详细分析数字滤波器。

根据我们的经验,给学生布置一定量的实践性作业,将使他们学到更多的知识。因此,我们鼓励学生完成这方面的一些课题,如滤波器的设计、 z 反变换、DFT和FFT。实验室也应该设计一些实验内容来进行演示,从而加深学生对所学内容的理解。我们认为,课堂教学与课外实践是同样重要的。

这些方法对本科毕业生和研究生的学习都是同样适用的,但是相应的进度应该更快一些,并且应该包括更多的有关多抽样率和自适应滤波器方面的专题学习。

本书的相关网站及配套的CD和指导手册

有关本书的附加信息在如下站点中可以找到:

www.booksites.net/ifeachor

作者希望读者在上面的网页中通过“Contact us”按钮来反馈信息。所有MATLAB m文件的电子副本都可以从

www.booksites.net/ifeachor

上下载,这些电子副本包括许多MATLAB m文件,这些文件可以用来执行类似于第一版中用C语言实现的任务。MATLAB m文件、C语言程序和汇编语言代码可以在与指导手册配套的CD(与指导手册一起提供)上找到。取自第一版的C语言程序(进行了少量的修改)以可执行程序 and 源代码两种形式提供,如果要运行源代码而不是可执行代码则需要C编译器。这些程序是使用Borland Turbo C 2.0版的标准ANSI C编写的。由Pearson出版的指导手册*A Practical Guide for MATLAB and C Language Implementations of DSP Algorithms*中也包含了许多在本书中使用的MATLAB m文件和C语言程序的演示例子。

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 数字信号处理及其益处	1
1.2 应用领域	2
1.3 关键的 DSP 运算	3
1.4 数字信号处理器	9
1.5 DSP 的实际应用概况	9
1.6 DSP 的音频应用	10
1.7 DSP 在无线电通信中的应用	16
1.8 DSP 在生物医学中的应用	21
1.9 小结	25
习题	25
参考文献	25
参考书目	26
第 2 章 实时 DSP 系统的模拟 I/O 接口	27
2.1 典型的实时 DSP 系统	27
2.2 模数转换过程	28
2.3 抽样 - 低通和带通信号	28
2.4 均匀、非均匀量化和编码	46
2.5 A/D 转换中的过抽样	50
2.6 数模转换过程: 信号恢复	59
2.7 DAC	60
2.8 抗镜像滤波	61
2.9 D/A 转换中的过抽样	61
2.10 具有模拟输入 / 模拟输出信号的实时信号处理的限制	64
2.11 应用例子	64
2.12 小结	64
习题	65
参考文献	74
参考书目	74
第 3 章 离散变换	75
3.1 引言	75
3.2 DFT 及其逆	80

3.3	DFT 的性质	85
3.4	DFT 计算的复杂性	86
3.5	时域抽取的快速傅里叶变换算法	87
3.6	快速傅里叶反变换	94
3.7	FFT 的实现	95
3.8	其他离散变换	96
3.9	DCT 的应用: 图像压缩	107
3.10	处理过的例子	109
	习题	112
	参考文献	115
	附录	116
第 4 章	z 变换及其在信号处理中的应用	125
4.1	离散时间信号与系统	125
4.2	z 变换	126
4.3	z 反变换	129
4.4	z 变换的性质	140
4.5	z 变换在信号处理中的应用	142
4.6	小结	157
	习题	157
	参考文献	163
	参考书目	163
	附录	164
第 5 章	相关和卷积	178
5.1	引言	178
5.2	相关描述	178
5.3	卷积描述	200
5.4	相关和卷积的实现	220
5.5	应用实例	220
5.6	小结	226
	习题	226
	参考文献	231
	附录	232
第 6 章	数字滤波器的设计框架	233
6.1	数字滤波器概述	233
6.2	数字滤波器的类型: FIR 和 IIR 滤波器	234
6.3	在 FIR 和 IIR 滤波器之间的选择	235
6.4	滤波器的设计步骤	237

6.5 说明性的例子	245
6.6 小结	249
习题	249
参考文献	251
参考书目	251
第7章 有限冲激响应 (FIR) 滤波器设计	252
7.1 引言	252
7.2 FIR 滤波器设计	256
7.3 FIR 滤波器规范	257
7.4 FIR 滤波器系数的计算方法	258
7.5 窗口方法	258
7.6 最佳方法	269
7.7 频率抽样方法	278
7.8 窗口方法、最佳方法和频率抽样方法的比较	291
7.9 特殊 FIR 设计主题	294
7.10 FIR 滤波器的实现结构	297
7.11 FIR 数字滤波器的有限字长效应	300
7.12 FIR 实现技术	307
7.13 设计实例	308
7.14 小结	310
7.15 FIR 滤波器的应用实例	311
习题	311
参考文献	322
参考书目	323
附录	324
第8章 无限冲激响应 (IIR) 数字滤波器的设计	338
8.1 引言: IIR 滤波器基本特征概要	338
8.2 数字 IIR 滤波器的设计步骤	339
8.3 性能规范	339
8.4 IIR 滤波器的系数计算方法	340
8.5 系数计算的极-零点放置法	341
8.6 系数计算的冲激不变法	343
8.7 系数计算的匹配 z 变换 (MZT) 法	347
8.8 系数计算的双线性 z 变换 (BZT) 法	350
8.9 利用 BZT 和经典的模拟滤波器来设计 IIR 滤波器	357
8.10 通过映射 s 平面极点和零点来计算 IIR 滤波器的系数	371
8.11 IIR 滤波器设计程序的应用	377

8.12 IIR 滤波器的系数计算方法的选择	377
8.13 IIR 数字滤波器的实现结构	384
8.14 IIR 滤波器的有限字长效应	390
8.15 IIR 滤波器的实现	392
8.16 IIR 数字滤波器详细的设计举例	393
8.17 小结	396
8.18 在数字音频和装置里的应用例子	397
8.19 在电信中的应用举例	398
习题	406
参考文献	414
参考书目	415
附录	417
第 9 章 多抽样率数字信号处理	434
9.1 引言	434
9.2 多抽样率信号处理的概念	435
9.3 设计实际的抽样率变换器	442
9.4 抽样率变换器——抽取滤波器的软件实现	449
9.5 内插滤波器的软件实现	453
9.6 利用多相滤波器结构实现抽样率变换	458
9.7 应用举例	462
9.8 小结	473
习题	473
参考文献	479
参考书目	479
附录	481
第 10 章 自适应数字滤波器	486
10.1 何时使用自适应滤波器及应用的范围	486
10.2 自适应滤波的概念	487
10.3 基本维纳滤波器理论	489
10.4 基本 LMS 自适应算法	491
10.5 递归最小二乘算法 (RLS)	497
10.6 应用举例 1 ——人脑电图中视觉伪像的自适应滤波	499
10.7 应用举例 2 ——自适应电话回声对消	501
10.8 其他应用	502
习题	505
参考文献	506
参考书目	506
附录	508

第 11 章 频谱估计与分析	513
11.1 引言	513
11.2 频谱估计原理	514
11.3 传统方法	516
11.4 现代参数估计法	529
11.5 自回归频谱估计	530
11.6 估计方法的比较	535
11.7 应用举例	535
11.8 小结	539
11.9 处理过的实例	539
习题	539
参考文献	541
附录	543
第 12 章 通用和专用数字信号处理器	544
12.1 引言	544
12.2 信号处理的计算机体系结构	544
12.3 通用数字信号处理器	558
12.4 选择数字信号处理器	566
12.5 DSP 算法在通用数字信号处理器上的实现	568
12.6 专用 DSP 硬件	588
12.7 小结	591
习题	592
参考文献	595
参考书目	595
其他有用的 Web 地址	596
附录	597
第 13 章 定点 DSP 系统的有限字长效应分析	603
13.1 引言	603
13.2 DSP 算术	603
13.3 ADC 量化噪声和信号质量	609
13.4 IIR 数字滤波器中的有限字长效应	611
13.5 FFT 算法中的有限字长效应	642
13.6 小结	645
习题	645
参考文献	649
参考书目	649
附录	652

第 14 章 应用和设计研究.....	654
14.1 实时信号处理评估板	654
14.2 DSP 应用	656
14.3 设计学习	676
14.4 基于计算机的 DSP 多项选择题	681
14.5 小结	687
习题	687
参考文献	688
参考书目	689
附录	690