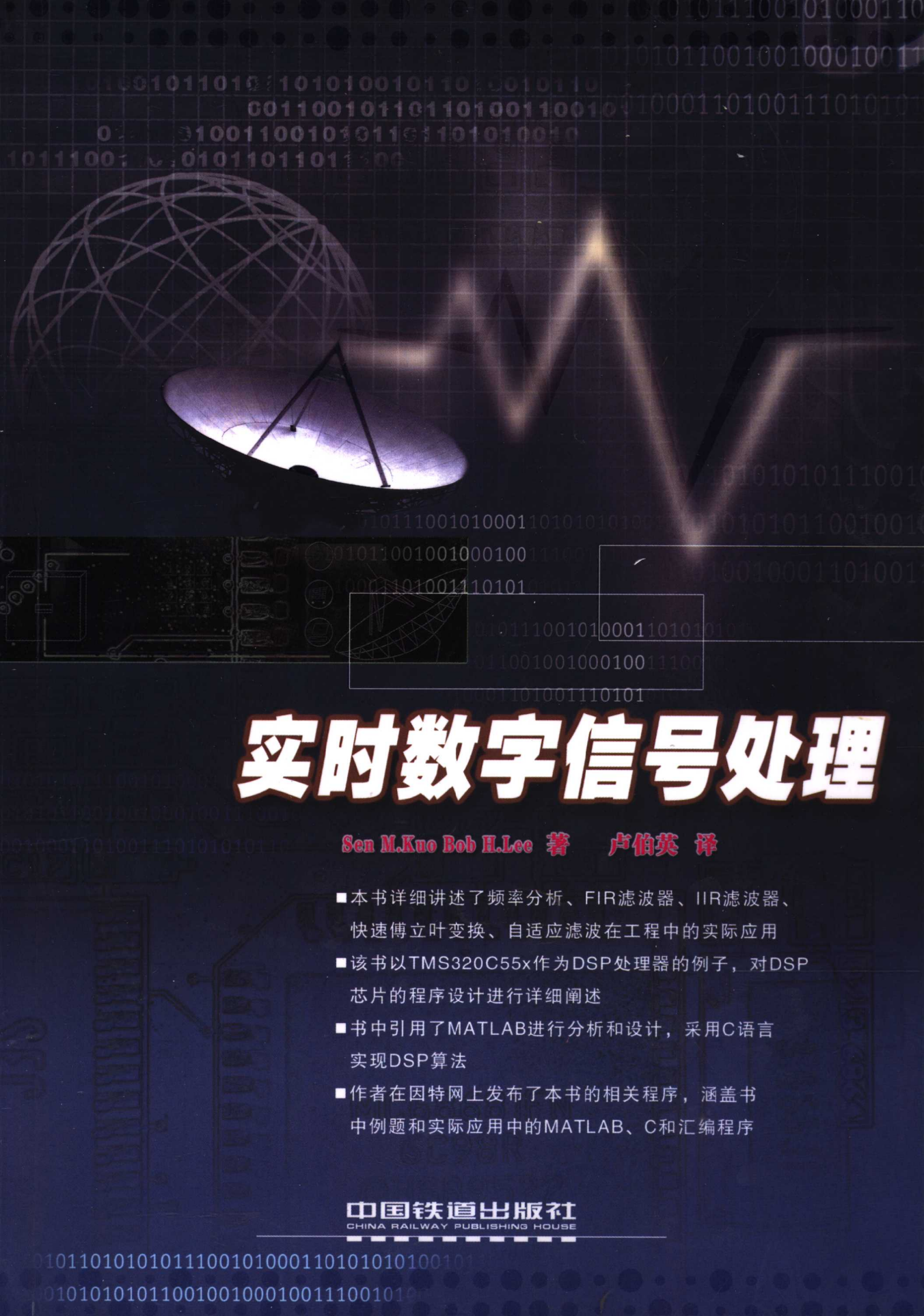




实时数字信号处理

Sen M.Kuo Bob H.Lee 著 卢伯英 译

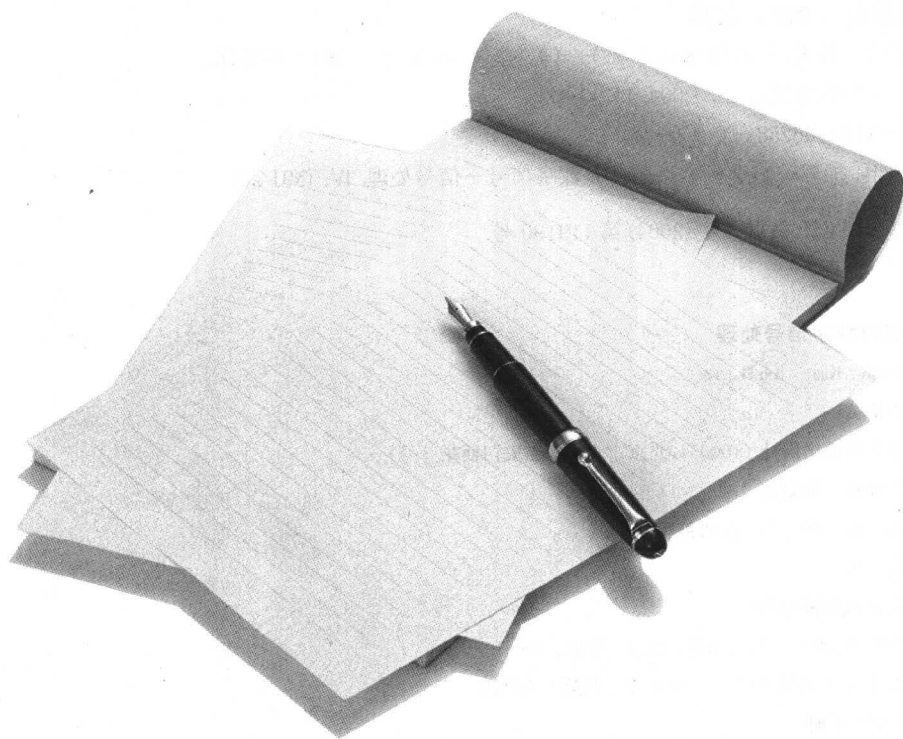
- 本书详细讲述了频率分析、FIR滤波器、IIR滤波器、快速傅立叶变换、自适应滤波在工程中的实际应用
- 该书以TMS320C55x作为DSP处理器的例子，对DSP芯片的程序设计进行详细阐述
- 书中引用了MATLAB进行分析和设计，采用C语言实现DSP算法
- 作者在因特网上发布了本书的相关程序，涵盖书中例题和实际应用中的MATLAB、C和汇编程序

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

实时数字信号处理

Sen M.Kuo Bob H.Lee 著

卢伯英 译



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-4701 号

版 权 声 明

本书中文简体字版经英国 John Wiley & Sons, Ltd. 授权由中国铁道出版社出版 (2003)。任何单位或个人未经出版者书面允许不得以任何手段复制或抄袭本书内容。

Sen M.Kuo, Bob H.Lee: Real-Time Digital Signal Processing -- Implementations, Applications and Experiments with the TMS320C55x (ISBN 0-470-84137-0) . All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form, except under the terms of the Copyright Designs and Patents Act 1988 or under the terms of a licence issued by the Copyright Licensing Agency, without the permission in writing of the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use by the purchaser of the publication. All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

图书在版编目 (CIP) 数据

实时数字信号处理/(美)郭(Kuo. S. M.), (美)李(Lee. B. H.) 著;卢伯英译.

—北京:中国铁道出版社, 2004. 11

ISBN 7-113-06258-X

I. 实… II. ①郭…②李…③卢… III. 数字信号—信号处理 IV. TN914. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 119190 号

书 名: 实时数字信号处理

作 者: Sen M. Kuo Bob H. Lee

译 者: 卢伯英

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 严晓舟 郭毅鹏

责任编辑: 苏 茜 严 力 张雅静

封面设计: 薛 为

印 刷: 北京市彩桥印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 25.5 字数: 596 千

版 本: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~5000 册

书 号: ISBN 7-113-06258-X/TP·1352

定 价: 39.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

译者的话

本书是为大学高年级学生和研究生编写的一本教科书。本书第一作者 Sen M.Kuo 是美国北伊利诺大学电气工程系教授。他主讲过电子线路、信号和系统、微处理器、随机信号处理、计算机结构、自适应信号处理等十余门课程，涉及到信息科学领域的诸多方面，因此，他具有丰富的基础理论和专业技术基础；同时，他还曾在德克萨斯仪器公司从事过研究与开发工作。作者在数字通信、信号处理、自适应滤波、有源噪声和振动控制、自适应回声和噪声抵消和数字音频应用等 DSP 开发应用段领域，主持过多项研究与开发课题，取得了显著的成果。截止到 2002 年，作者已获得七项美国国家专利。本书第二作者 Bob H. Lee 先后在德克萨斯仪器公司、摩托罗拉公司和美国机器人公司从事有关 DSP 方面的应用研究，具有鲜明的工程背景和丰富的实践经验。本书正是两个作者在上述教学、研究与应用开发工作的基础上完成的。目前国内外在信号处理领域出版的著作不少，但是绝大多数书籍侧重于 DSP 的理论基础知识。本书的特点则是为读者提供了一种实践性很强的学习方法，从而不仅可以使读者理解实时 DSP 理论知识，而且还可以使读者学习到有关 DSP 系统设计和实现方面的知识，以及在实际中的应用知识。侧重于实时 DSP 的实现与应用，是本书的一大特点。

为了有效地开发 DSP 系统，本书以 TMS320C55x 作为 DSP 处理器的例子，对 DSP 芯片结构程序设计进行了详细介绍，并且以该处理器为基础，引用了 MATLAB 进行分析和设计，采用 C 语言实现 DSP 算法，并且把该处理器的集成开发环境（CCS）结合到了实验和工程应用中。同时，作者还强调了 C 程序与汇编程序的混合编程，以便在快速软件开发和维护中采用先进的 DSP 结构。

本书的另一个优点，是在因特网上公布了本书中用到的相关程序软件包。它包含了书中例题和应用中涉及的 MATLAB、C 和汇编程序。特别是提供了每一章中实验研究用的大量实用程序和实用数据文件，这对于读者深入理解 DSP 算法的实现，具有重要参考价值。

总之，本书不仅是一本实用性很强的大学高年级学生和研究生用的教科书，而且对于从事实际 DSP 开发与应用的工程技术人员和嵌入式系统程序设计人员，也是一本有益的参考书籍。

在本书的翻译过程中，得到了李少洪、殷瑞、李鉴树、张肇武、张英娟、张军、万国龙、卢晓松、葛韬等老师以及赵荣椿、殷瑞、苏东林、柏晨阳、张军、张英娟等教授的支持和帮助，在此向他们表示感谢。铁道出版社严力编辑进行了精心加工，提出了不少宝贵意见，在此向他们表示衷心感谢。

由于译者水平有限，加以本书涉及知识比较广泛，所以译文难免有错误与不当之处，敬请读者批评指正。

译者

2004 年 1 月于北京航空航天大学

前言

采用通用 DSP 处理机的实时数字信号处理 (DSP), 在当今的工程领域, 是一项颇具发展前景的工作。在实际应用中, 它为设计、实验和实现各种信号处理算法, 提供了有效的方法。随着 DSP 渗透到不同的领域中, 近几年来对数字信号处理机的需求也迅速增长, 许多工业公司, 目前正在从事着实时 DSP 的研究与开发工作。对于现代的学生和正在从事实际工作的工程师来说, 现在变得日益重要的是, 他们不仅需要掌握 DSP 理论, 而且同样重要的是, 还要掌握实时 DSP 系统设计和实现方法方面的技巧。

本书将为读者提供一种实践性的学习方法, 从而不仅可以使读者理解实时 DSP 理论、系统的设计和有关实现方面的考虑, 以及在实际中的应用、耐用, 还可以使读者了解许多利用 MATLAB、C/C++ 和 TMS320C55x 进行的 DSP 实验。本书是一本关于 DSP 的实用书籍, 它在 DSP 应用中采用了数字信号处理机。本书是为大学高年级学生和研究生编写的教科书, 内容侧重于实时 DSP 实现和应用。这本书也可以作为从事实际工作的工程师和嵌入系统程序设计人员在工作过程中学习 DSP 概念、进行实时应用的方法, 可以避免许多理论方面的推论, 很多有用的 DSP 教科书具有完整的数学证明, 它们被列写到了本书每一章的后面。为了能有效地开发 DSP 系统, 读者不仅要懂得 DSP 算法, 而且还要熟悉 DSP 芯片的结构和程序设计。读者若能从 <http://www.ti.com> 网站上获得一些关于 TMS320C55x 的参考手册和应用说明, 将会是很有帮助的。

在本书中, 我们将采用 TMS320C55x 作为 DSP 处理机的例子, TMS320C55x 是德克萨斯仪器公司生产的一种最新的 16 比特定点 DSP 处理机。为了能有效地说明实时 DSP 概念和应用, 我们引入了 MATLAB 进行分析和滤波设计, 采用 C 语言来实现 DSP 算法, 并且把 TMS320C55x 的集成开发环境 (CCS), 结合到了实验室实验、工程项目和应用之中。为了能在快速软件开发和维护中利用先进的 DSP 结构, 书中强调了采用 C 程序和汇编程序的混合程序。

第 1 章回顾了实时 DSP 功能块的基础知识, DSP 硬件选择, 定点和浮点 DSP 器件, 实时约束, 算法研究, DSP 芯片选择和软件开发等知识。在第 2 章中, 介绍了 TMS320C55x 的结构和汇编程序设计。第 3 章介绍了时域内的一些基本的 DSP 概念、数字滤波器实现和算法在 DSP 硬件方面的实际考虑。熟悉 DSP 基础知识的读者, 学习时可以跳过本章内的某些节次。但是贯串于全书的大多数符号, 都将在本章内予以定义。第 4 章介绍了傅里叶级数, 傅里叶变换, Z 变换和离散傅里叶变换。在理解信号和系统两者的特性时, 频率分析是非常有用的。第 5 章集中介绍了 FIR 滤波器设计、实现、应用, 并包含了第 6 章 IIR 滤波器的内容, 而适用滤波器在第 8 章中也进行了介绍。第 7 章介绍了 FFT 算法的研究、实现和应用。在第 9 章中, 介绍了一些精心选择的 DSP 在通信中的应用课题, 这些课题在系统的实现中起着重要作用。如同任何一本著作那样, 人们总是力图达到在现时条件下的现代化水平, 但是, 在这个激起人们实际兴趣的充满活力的领域, 由于其迅速地发展变化, 使本书不可避免地会存在一些疏漏。我们希望, 本书至少在已经实现的领域能起到指导作用, 在将要探索的领域能起到鼓舞和启发作用。

软件的利用

列在本书中的 MATLAB、C 和汇编程序，它们构成了许多 DSP 例题和应用范例。这些程序和许多其他为完成 DSP 实现和实验室实验而提供的程序，全都以软件包的形式，发表在下列网站上：<http://www.ceet.niu.edu/faculty/kuo/books/rtdsp.html>。本书中介绍的用于某些实际场合的实用数据文件，也同时包含在了上述软件包中。在附录 D 中列出了这些软件包文件。具备这些软件对于读者阅读本书虽不起关键作用，但是它们有助于读者深入地理解 DSP 算法的实现，并且在进行各章后面节次中的实验时，这些软件是必不可少的。在这些实验中，某些实验对样本程序进行了少许修改。通过对样本程序的检验、研究和修改，还可以把软件用来作为其他实际应用环境的样板。进行完每一次尝试之后，都应该保证代码的正确性。对于读者给我们指出的任何关于程序方面的错误（Kuo@ceet.niu.edu），我们都将表示感谢，这样我们将可以在网站上对软件包中提供的程序进行修改和更新。

感谢

我们衷心地感谢德克萨斯仪器公司的 Maria Ho 和 Christina Peterson，以及 Naomi Fernandes 在数学方面进行的工作，由于他们在这方面给予的宝贵支持，使本书能够在短期内完成。第一作者对他的许多学生表示感谢，这些学生选修了他的 DSP 课程，参加了高级设计课题研究，并且完成了硕士论文阶段的工作，他还对德克萨斯仪器公司的 Gene Frentz、Qun S.Lin 博士和 Panos Papamichalis 博士，电话实验室的 John Kronenburger，舒尔兄弟公司的 Santo LaMantia 表示感谢，他们支持了在伊利诺伊大学进行的 DSP 活动。第一作者还对 Jennifer Y.Kuo 对本书进行的校对工作表示感谢。本书第二作者希望感谢德克萨斯仪器公司的 Robert DeNardo、David Baughman 和 Chuck Brokish，他们在编写本书的过程中给予了帮助、鼓励和经济资助。我们还要感谢威利（Wiley）出版公司的编辑 Peter Mitchell 对本书出版工作的支持，并且感谢威利出版公司的工作人员为出版本书进行的后期准备工作。最后我们要感谢我们的父母和家庭成员，他们在编写本书的整个过程中，表现出了他们的无限关爱、鼓励和理解。

Sen M.Kuo 和 Bob H.Lee

目 录

第 1 章 实时数字信号处理介绍.....	1
1-1 实时 DSP 系统的基本组成	2
1-2 输入和输出通道.....	3
1-2-1 输入信号调整	3
1-2-2 A/D 转换	3
1-2-3 采样	4
1-2-4 量化和编码	5
1-2-5 D/A 转换	7
1-2-6 输入/输出设备	7
1-3 DSP 硬件.....	8
1-3-1 DSP 硬件选择	8
1-3-2 定点和浮点器件	10
1-3-3 实时约束	10
1-4 DSP 系统设计	11
1-4-1 算法研究	11
1-4-2 DSP 芯片的选择	12
1-4-3 软件开发	12
1-4-4 高级软件开发工具	14
1-5 利用集成开发环境 CCS 进行试验	15
1-5-1 试验 1A——利用 CCS 和 TMS320C55x 仿真器	16
1-5-2 试验 1B——在 CCS 上调试程序.....	19
1-5-3 试验 1C——文件输入和输出.....	21
1-5-4 试验 1D——代码的有效性分析.....	22
1-5-5 试验 1E——通用扩充语言	23
参考文献	24
习题	24
A 部分	24
B 部分	25
第 2 章 TMS320C55x 数字信号处理器介绍.....	27
2-1 引言	28
2-2 TMS320C55x 的结构.....	28
2-2-1 TMS320C55x 简介	29
2-2-2 TMS320C55x 总线.....	30



2-2-3 TMS320C55x 映射变换	31
2-3 软件开发工具	32
2-3-1 C 编译器	32
2-3-2 汇编器	34
2-3-3 连接器	35
2-3-4 集成开发环境 CCS (Code Composer Studio)	37
2-3-5 汇编语句语法	37
2-4 TMS320C55x 寻址方式	38
2-4-1 直接寻址方式	39
2-4-2 间接寻址方式	40
2-4-3 绝对寻址方式	42
2-4-4 存储变换寄存器寻址方式	43
2-4-5 寄存器位寻址方式	44
2-4-6 循环寻址方式	44
2-5 流水线和并行线	45
2-5-1 TMS320C55x 流水线	45
2-5-2 并行执行	46
2-6 TMS320C55x 指令集	48
2-6-1 算术指令	48
2-6-2 逻辑和位操作指令	49
2-6-3 传送指令	49
2-6-4 程序流控制指令	50
2-7 混合的 C 和汇编语言程序设计	52
2-8 实验——汇编程序设计基础	54
2-8-1 实验 2A——使 C 与汇编代码连接	54
2-8-2 实验 2B——寻址方式实验	55
参考文献	57
习题	57
第 3 章 DSP 基础和实现研究	59
3-1 数字信号和系统	60
3-1-1 基本数字信号	60
3-1-2 数字系统的方框图表示	61
3-1-3 数字系统的冲激响应	63
3-2 数字滤波器简介	64
3-2-1 FIR 滤波器和功率估计器	65
3-2-2 线性系统响应	67
3-2-3 IIR 滤波器	68
3-3 随机变量介绍	69
3-3-1 概率和随机变量回顾	69

3-3-2 随机变量运算	70
3-4 定点表示和计算	73
3-5 量化误差	74
3-5-1 输入整量噪声	75
3-5-2 系数量化噪声	77
3-5-3 舍入噪声	78
3-6 溢出和解决方法	78
3-6-1 饱和运算	79
3-6-2 溢出处理	79
3-6-3 信号的标定	80
3-7 实时应用的实现过程	81
3-8 定点实现实验	83
3-8-1 实验 3A——正弦信号的量化	83
3-8-2 实验 3B——语音信号的量化	84
3-8-3 实验 3C——溢出和饱和运算	85
3-8-4 实验 3D——系数的量化	87
3-8-5 实验 3E——合成正弦函数	89
参考文献	93
习题	93
A 部分	93
B 部分	94
C 部分	95
第 4 章 频率分析	97
4-1 傅里叶级数和变换	98
4-1-1 傅里叶级数	98
4-1-2 傅里叶变换	99
4-2 Z 变换	102
4-2-1 定义和基本性质	102
4-2-2 Z 反变换	103
4-3 系统概念	107
4-3-1 传递函数	107
4-3-2 数字滤波器	108
4-3-3 极点和零点	109
4-3-4 频率响应	112
4-4 离散傅里叶变换	114
4-4-1 离散时间傅里叶级数和变换	114
4-4-2 混淆和重叠	116
4-4-3 离散傅里叶变换	118
4-4-4 快速傅里叶变换	119



4-5 应用	120
4-5-1 简单的陷波滤波器设计	120
4-5-2 室内声学分析	121
4-6 利用 TMS320C55x 进行实验	123
4-6-1 实验 4A——旋转因子生成	124
4-6-2 实验 4B——复数据运算	126
4-6-3 实验 4C——DFT 的实现	128
4-6-4 实验 4D——利用汇编程序进行实验	129
参考文献	131
习题	132
A 部分	132
B 部分	134
C 部分	134
第 5 章 FIR 滤波器的设计和实现	137
5-1 数字滤波器介绍	138
5-1-1 滤波器特性	138
5-1-2 滤波器类型	139
5-1-3 滤波器技术要求	141
5-2 FIR 滤波	143
5-2-1 线性卷积	144
5-2-2 一些简单的 FIR 滤波器	146
5-2-3 线性相位 FIR 滤波器	148
5-2-4 FIR 滤波器的实现	151
5-3 FIR 滤波器设计	153
5-3-1 滤波器设计步骤	153
5-3-2 傅里叶级数法	154
5-3-3 吉布斯 (Gibbs) 现象	157
5-3-4 窗函数	159
5-3-5 频率采样法	164
5-4 利用 MATLAB 设计 FIR 滤波器	167
5-5 实现研究	169
5-5-1 软件实现	169
5-5-2 FIR 滤波器中的量化效应	170
5-6 利用 TMS320C55x 进行的实验	172
5-6-1 实验 5A——块 FIR 滤波器的实现	174
5-6-2 实验 5B——对称 FIR 滤波器的实现	177
5-6-3 实验 5C——利用双-多重累加 (Dual-MAC) 的 FIR 滤波器实现	178
参考文献	180
习题	180



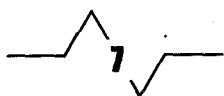
A 部分	180
B 部分	182
C 部分	182
第 6 章 IIR 滤波器的设计和实现	185
6-1 拉普拉斯变换	186
6-1-1 拉普拉斯变换介绍	186
6-1-2 拉普拉斯变换与 z 变换之间的关系	189
6-1-3 映射性质	190
6-2 模拟滤波器	191
6-2-1 模拟滤波器介绍	191
6-2-2 模拟滤波器的特性	192
6-2-3 频率变换	196
6-3 IIR 滤波器设计	197
6-3-1 IIR 滤波器回顾	197
6-3-2 冲激响应不变法	198
6-3-3 双线性变换	201
6-3-4 利用双线性变换进行滤波器设计	202
6-4 IIR 滤波器的实现	203
6-4-1 直接型	204
6-4-2 串联形式	206
6-4-3 并联形式	207
6-4-4 利用 MATLAB 的实现	209
6-5 利用 MATLAB 设计 IIR 滤波器	210
6-6 实现研究	212
6-6-1 稳定性	212
6-6-2 有限精度效应和求解	213
6-6-3 软件实现	216
6-6-4 实际实用	217
6-7 利用 TMS320C55x 进行软件开发和实验	220
6-7-1 IIR 滤波器设计	221
6-7-2 实验 6A——浮点 C 语言实现	222
6-7-3 实验 6B——利用本征函数的定点 C 实现	225
6-7-4 实验 6C——定点 C 语言程序设计研究	227
6-7-5 实验 6D——汇编语言实现	229
参考文献	230
习题	231
A 部分	231
B 部分	234
C 部分	235





第 7 章 快速傅里叶变换及其应用	237
7-1 离散傅里叶变换.....	238
7-1-1 定义	238
7-1-2 DFT 的重要性质	241
7-1-3 圆周卷积	244
7-2 快速傅里叶变换.....	246
7-2-1 时分算法	247
7-2-2 频分算法	250
7-2-3 快速傅里叶反变换	252
7-2-4 MATLAB 实现	252
7-3 应用	253
7-3-1 谱估计和分析	253
7-3-2 谱漏泄和分辨率	255
7-3-3 功率谱密度	258
7-3-4 快速卷积	259
7-3-5 谱图	261
7-4 实现研究	262
7-4-1 计算问题	262
7-4-2 有限精度影响	263
7-5 利用 TMS320C55x 进行实验	264
7-5-1 实验 7A——基 2 复 FFT	264
7-5-2 实验 7B——利用汇编语言的基 2 复 FFT	268
7-5-3 实验 7C——FFT 和 IFFT	270
7-5-4 实验 7D——快速卷积.....	271
参考文献	273
习题	273
A 部分	273
B 部分	274
C 部分	275
第 8 章 自适应滤波	277
8-1 随机过程介绍	278
8-1-1 相关函数	278
8-1-2 频域表示	281
8-2 自适应滤波器	283
8-2-1 自适应滤波介绍	284
8-2-2 性能函数	285
8-2-3 最陡下降法	287
8-2-4 LMS 算法	289
8-3 性能分析	290

8-3-1 稳定性约束	290
8-3-2 收敛速度	290
8-3-3 超量均方误差	291
8-4 改进的 LMS 算法	292
8-4-1 规范化 LMS 算法	292
8-4-2 泄漏 LMS 算法	293
8-5 应用	293
8-5-1 自适应系统识别	294
8-5-2 自适应线性预测	295
8-5-3 自适应噪声抵消	296
8-5-4 自适应陷波滤波器	297
8-5-5 自适应信道均衡	299
8-6 实现研究	300
8-6-1 计算问题	300
8-6-2 有限精度效应	301
8-7 利用 TMS320C55X 进行实验	303
8-7-1 实验 8A——自适应系统识别	304
8-7-2 实验 8B——利用泄漏 LMS 算法构成自适应预测器	308
参考文献	312
习题	313
A 部分	313
B 部分	314
C 部分	315
第 9 章 DSP 在通信中的实际应用	317
9-1 正弦波产生器及其应用	318
9-1-1 查表法	318
9-1-2 线性调频脉冲信号	320
9-1-3 DTMF 音调产生器	321
9-2 噪声产生器及其应用	321
9-2-1 线性周余数序列产生器	322
9-2-2 伪随机二进制序列产生器	323
9-2-3 通信系统中的舒适噪声	325
9-2-4 脱机系统建模	325
9-3 DTMF 音调检测	326
9-3-1 技术要求	326
9-3-2 戈策尔 (Goertzel) 算法	327
9-3-3 实现研究	329
9-4 自适应回声抵消	331
9-4-1 线路回声	331





9-4-2 自适应回声抵消器	332
9-4-3 实际考虑	335
9-4-4 同时通话的影响和求解	335
9-4-5 残余回声抑制器	337
9-5 声音回声抵消	338
9-5-1 引言	338
9-5-2 声音回声抵消器	339
9-5-3 实现研究	340
9-6 语音增强技术	340
9-6-1 降噪技术	341
9-6-2 谱相减技术	342
9-6-3 实现研究	343
9-7 利用 TMS320C55X 的项目	345
9-7-1 项目建议	345
9-7-2 项目举例——无线应用	346
参考文献	350
附录 A 一些有用的公式	353
A-1 三角恒等式	354
A-2 几何级数	355
A-3 复变量	355
A-4 冲激函数	357
A-5 向量概念	357
A-6 功率单位	357
参考文献	358
附录 B MATLAB 在 DSP 中的应用简介	359
B-1 基本运算	360
B-1-1 变量和向量的初始化	360
B-1-2 图形学	361
B-1-3 基本运算符	363
B-1-4 文件	364
B-2 数字信号的产生和处理	365
B-3 DSP 应用	367
B-4 用户编制函数	368
B-5 有用的 MATLAB 函数小结	370
参考文献	370
附录 C C 语言程序设计在 DSP 中的应用简介	373
C-1 一种简单的 C 程序	374

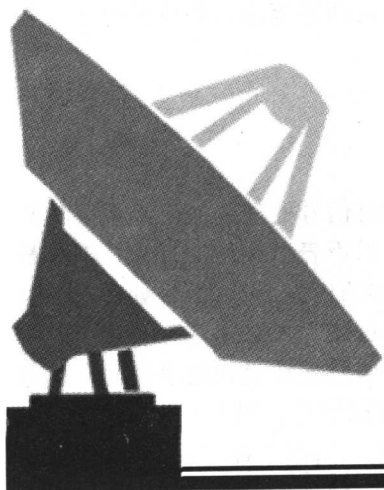
C-1-1 变量和赋值运算符.....	375
C-1-2 数字数据类型和转换.....	376
C-1-3 数值	377
C-2 算术和接位运算符.....	378
C-2-1 算术运算符.....	378
C-2-2 接位运算符.....	379
C-3 一种 FIR 滤波器程序.....	379
C-3-1 命令行变元.....	379
C-3-2 指针	379
C-3-3 C 函数.....	380
C-3-4 文件和 I/O 操作	381
C-4 控制结构和循环.....	383
C-4-1 控制结构	383
C-4-2 逻辑运算符.....	384
C-4-3 循环	384
C-5 TMS320C55X 采用的数据类型.....	385
参考文献	386
附录 D 书中用到的相关软件.....	387

第 1 章

实时数字信号处理介绍

信号可以分成三类，它们是连续时间（模拟）信号、离散时间信号和数字信号。我们每天遇到的信号，大部分都是模拟信号。这些信号被定义在连续时间之上，并且幅值的范围是无限的，而且可以利用包括有源和无源电路元件的电气设备进行处理。离散时间信号，只被定义在一种特定的时间瞬间集合上。因此，它们可以表示为数值序列，而这些数值具有连续的数值范围。另一方面，数字信号不论在时间上还是在幅值上，均具有离散的数值。在本书中，我们将设计和实现数字系统，用数字硬件处理数字信号。但是，为了数学上的方便，在分析这类信号和系统时，通常都采用离散时间信号和系统。因此，在利用术语“离散时间”和“数字”时，我们认为它们是可交换的。

数字信号处理（DSP）涉及信号的数字表示和数字硬件在分析、变更和从这些信号中提取信息等方面的应用。近年来数字技术的迅速发展，使得复杂的 DSP 算法得以实现，而这种算法使得完成实时任务成为可能。大量的为开发 DSP 算法和应用的研究工作已经进行。DSP 现在不仅已经应用到了那些以前应用模拟方法的领域，而且还应用到了那些不易甚至不可能应用模拟技术的领域。





采用数字技术进行信号处理,较之传统的模拟设备(诸如放大器、调制器和滤波器)有许多优点。DSP 系统与模拟电路系统比较,其优点可以归纳如下:

1. 灵活性 利用同样的硬件,通过采用实现特定算法的软件,可以容易地改变和更新 DSP 系统的功能。人们可以设计一个可编程的 DSP 系统,通过执行不同的模块去完成各种不同的任务。例如,一台数码相机,可以容易地进行更新(重新编程),从而把相机从利用 JPE (joint photographic experts group) 模式的图像处理,转变为利用更高质量的 JPEG 2000 模式的图像处理,而无需实际地改变硬件设备。但是,在模拟系统中,要达到上述目的,整个的电路设计都需要进行改变。
2. 复现性 DSP 系统的性能可以精确地从一个单元到另一个单元进行重复。这是因为 DSP 系统的信号处理工作是直接地借助于二进制序列进行的。模拟电路中的各个电路将不可能以同样的方式工作,即使它们是根据相同的性能指标建造的,也不可能做到这一点,这是因为在模拟元件中存在着公差。此外,通过采用 DSP 技术,一个数字信号可以进行多次传递或者再现,而不会降低其牌号品质。
3. 可靠性 DSP 硬件的存储器和逻辑线路不会随着使用时间的增加而降低性能。因此, DSP 系统的现场性能,不会像它们对应的模拟元件那样,随着环境条件的变化或电子元件的老化而发生漂移。但是, DSP 系统的精度是由数据量(字长)确定的。因此,系统的性能理论期望可能是不同的。
4. 复杂性 利用 DSP 可以实现复杂的应用,诸如利用轻型小功率便携式设备,可以实现语音和图像识别。这在利用常规的模拟技术时是不可以实现的。此外,某些重要的信号处理算法是有赖于 DSP 的,如纠错码、数据传输和存储、数据压缩和完全线性相位滤波器等,它们根本不可能用模拟系统来实现。

在过去若干年中,随着半导体技术迅速发展, DSP 系统的总体费用变得低于模拟系统。利用高级语言和软件开发工具,如 C/C++ 和 MATLAB (矩阵实验室),可以对 DSP 算法进行开发、分析和仿真。利用低价位的通用计算机,如个人计算机(PC)可以改变算法的性能。因此, DSP 系统可以相当容易地进行开发、分析、仿真和检验。

然而,这里也存在一些局限性。例如, DSP 系统的带宽受到采样率和硬件外围设备的限制。 DSP 系统的初期设计费用可能会很高,特别是当包含有大的带宽信号时。对于实时应用, DSP 算法是利用固定的比特数实现的,这将导致有限的动态范围,并且产生量化和算术误差。

1-1 实时 DSP 系统的基本组成

存在着两类 DSP 应用,即非实时应用和实时应用。非实时信号处理包括已经被采集和数字化了的操作信号。这种信号可以表示现行的行为,也可以不表示现行的行为,但是最终它必须是一个非实时函数。为了能在一定的时帧内完成预定的任务,实时信号处理对 DSP 硬件和软件设计提出了苛刻的要求。这一章我们将回顾实时 DSP 系统的基本功能单元。

DSP 系统基本功能单元如图 1-1 所示,图中实际的模拟信号被转换成数字信号,然后通过 DSP 硬件以数字信号的形式进行处理,最后再转换成模拟信号。图 1-1 中的每一个功能单元,将在以后的节次中进行介绍。对于某些实时应用,输入数据可能已经是数字形式,并且(或者)输出数据可能不太需要转换成模拟信号。例如,处理过的数字信号可能被存

