

高等院校计算机实验与实践系列示范教材

TI-DSP 实验与实践教程

汤书森 林冬梅 张红娟 编著
马义德 审阅

清华大学出版社

高等院校计算机实验与实践系列示范教材

TI-DSP 实验与实践教程

汤书森 林冬梅 张红娟 编著
马义德 审阅

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要基于 TI 公司的 TMS320C54x 系列芯片,介绍了 DSP 芯片的结构和外围接口电路及开发工具 CCS 的使用方法,并简要介绍了目前较为高档的 C6000 的 DSP 芯片的应用与开发。教材涉及硬件结构及定时器、存储器接口设计、HPI、McBSP、DSP 中断等内容。实验主要基于 DES320PP-U(C54xDSP)实验系统。

本书通俗易懂,有基本理论,又突出了实用性。本书可以作为电子信息、通信工程、自动化等专业高年级本科生和职业技术学校学生的实验教材或参考书,也可供从事 DSP 芯片开发应用的工程技术人员参考。

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

TI-DSP 实验与实践教程/汤书森,林冬梅,张红娟编著. —北京:清华大学出版社,2010.12
(高等院校计算机实验与实践系列示范教材)

ISBN 978-7-302-23691-7

I. ①T… II. ①汤… ②林… ③张… III. ①数字信号—信号处理—高等学校—教材
②数字信号—微处理器—高等学校—教材 IV. ①TN911.72 ②TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 165141 号

责任编辑:郑寅堃 王冰飞

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12 字 数:285 千字

版 次:2010 年 12 月第 1 版 印 次:2010 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:19.50 元

出版说明

当前,重视实验与实践教育是各国高等教育界的发展潮流,我国与国外教学工作的差距也主要表现在实践教学环节上。面对新的形式和新的挑战,完善实验与实践教育体系成为一种必然。为了培养具有高质量、高素质、高实践能力和高创新能力的人才,全国很多高等院校在实验与实践教学方面进行了大力改革,在实验与实践教学内容、教学方法、教学体系、实验室建设等方面积累了丰富的宝贵经验,起到了教学示范作用。

实验与实践性教学与理论教学是相辅相成的,具有同等重要的地位。它是在开放教育的基础上,为配合理论教学、培养学生分析问题和解决问题的能力以及加强训练学生专业实践能力而设置的教学环节;对于完成教学计划、落实教学大纲,确保教学质量,培养学生分析问题、解决问题的能力 and 实际操作技能更具有特别重要的意义。同时,实践教学也是培养应用型人才的重要途径,实践教学质量的好坏,实际上也决定了应用型人才培养质量的高低。因此,加强实践教学环节,提高实践教学质量,对培养高质量的应用型人才至关重要。

近年来,教育部把实验与实践教学作为对高等院校教学工作评估的关键性指标。2005年1月,在教育部下发的《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》中明确指出:“高等学校要强化实践育人的意识,区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。要切实加强实验、实习、社会实践、毕业设计(论文)等实践教学环节,保障各环节的时间和效果,不得降低要求。”、“要不断改革实践教学内容,改进实践教学方法,通过政策引导,吸引高水平教师从事实践环节教学工作。要加强产学研合作教育,充分利用国内外资源,不断拓展校际之间、校企之间、高校与科研院所之间的合作,加强各种形式的实践教学基地和实验室建设。”

为了配合开展实践教学及适应教学改革的需要,我们在全中国各高等院校精心挖掘和遴选了一批在计算机实验与实践教学方面具有潜心研究并取得了富有特色、值得推广的教学成果的作者,把他们多年积累的教学经验编写成教材,为开展实践教学的学校起一个抛砖引玉的示范作用。

为了保证出版质量,本套教材中的每本书都经过编委会委员的精心筛选和

严格评审,坚持宁缺毋滥的原则,力争把每本书都做成精品。同时,为了能够让更多、更好的实践教学成果应用于社会和各高等院校,我们热切期望在这方面有经验和成果的教师能够加入到本套丛书的编写队伍中,为实践教学的发展和取得成效做出贡献;也衷心地期望广大读者对本套教材提出宝贵意见,以便我们更好地为读者服务。

清华大学出版社

联系人:索梅 suom@tup.tsinghua.edu.cn

当今是网络化、智能化和数字化的时代。目前,数字信号处理器(Digital Signal Processor)已被广泛应用于通信、雷达、信息家电、互联网、工业控制、软件无线电、仪器仪表等各个领域,业界对 DSP 工程师的需求与日俱增。这对各高等院校的人才培养提出了新的挑战。发展 DSP 技术,人才是关键。为了紧跟 DSP 的发展,越来越多的高校开设了有关 DSP 技术的课程和实验。目前大部分有关这方面的书籍是关于 DSP 技术和理论的介绍,理论知识较多,实现方法和实际应用较少。一本好的教材可使读者迅速而准确地掌握基本原理,它既强调实践性,同时又突出发展方向。

本教材主要以当前应用较为广泛的 TI 公司的 TMS320C5402 芯片为基础。在布局上,本教材首先整体讲述硬件结构、外围接口部件和应用系统设计流程,然后详细介绍各部分功能,从而可使读者系统地掌握 DSP 的结构原理。接着本教材提供了具体实验内容与方法,能够使学生加深理解基本理论并达到理论升华之目的。为了适应 DSP 技术的发展,满足教学和产业市场的需求,让更多的学生和工程技术人员能尽快找到掌握 DSP 应用技术的突破口,本教材在提高学生的动手能力的过程中,使学生迅速理解并掌握原理,从而使学生具备独立从事 DSP 开发的能力。我们结合教学和实践经验组织编写了该教材。

DSP 技术不仅涉及软硬件方面的知识,还涉及软件的优化。本教材涉及 DSK 和 HDS、定时器、存储器接口设计、HPI、McBSP、DSP 中断及集成开发环境等基本内容。要求学生事先要掌握一定的微机原理、汇编语言程序设计和 C/C++ 语言程序设计的知识。实验精选内容涉及数字信号处理理论、数字信号处理芯片原理、信号与系统、接口控制类等。本教材在内容安排上,先介绍原理,然后讲述实现方法,便于学生模拟练习。本教材也仅仅是起到抛砖引玉的作用。只有读万卷书,行万里路才能获得真知。希望本教材能够起到引领读者“进门”的作用。

在整体安排上,本教材首先简要介绍了原理,还介绍了 DSP 的特点、应用及发展趋势;然后在突出外围接口的基础上,结合具体的实验加强对学生的动手能力的培养,我们主要强调了方法;最后安排了几个例子,以加深学生对开发过程的理解。总之,本教材使学生通过实践快速从入门到精通,再到应用开发,从而达到更高层次及触类旁通的目的,为自行研发打下良好基础。

本教材总体分三个层次：第一层使学生通过前几个章节内容的学习，掌握 DSP 的基本知识和主要应用领域，从而了解 DSP 系统技术基本概念、特点、结构和原理，掌握 DSP 系统软硬件设计的基本方法；第二层结合具体 DSP 系统开发实验，使学生能够熟练掌握 DSP 系统的开发设计方法以及操作技能；第三层是开发产品的高层次水平，我们精选了 DSP 应用的最新研究成果以拓宽学生对 DSP 应用范围的理解，使学生可以借鉴前人的设计理念。本教材在实验方面，突出面向大众化，在没有实验平台的条件下可以通过 Simulator 软件，结合集成开发环境 CCS 仿真练习，使学生最终掌握汇编语言和 C 语言的编程方法及优化方法，同时掌握硬件的接口原理和应用。教材的第 1 章～第 6 章由汤书森编写，第 7 章由电路与系统研究所的研究生张红娟、苏梅琴、苏茂君等编写，由林冬梅完成制图和对整本教材的润色工作，最终本教材由马义德教授审阅。

本教材由于基于银杏科技的 DES320PP-U(C54xDSP)实验系统，硬件外围接口部分实验内容精选了银杏科技的官庆等老师编写的《数字信号处理仿真/教学实验系统(DES3200PP-U)》中的典型实验案例。其目的是为了使学生熟悉该实验系统的硬件结构及外围接口的应用。在本教材的创新与应用部分，我们筛选了当前的热点问题，供读者练习和提高。第 7 章的 DSP 6000 系列的应用也集结了电路与系统研究所的几位研究生(如徐冬亮、朱敬峰等同学)的研究结晶。本书的出版得到了清华大学出版社的大力支持和帮助，在此一并感谢！

由于 DSP 技术是一门发展迅速的新技术，我们需要与时俱进。由于作者水平有限，编写时间仓促，书中不免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评和指正。

编 者

2010 年 7 月

第1部分 基本理论

第1章 综述	3
1.1 引言	3
1.1.1 2000 系列简介	4
1.1.2 5000 系列简介	5
1.1.3 6000 系列简介	6
1.2 对几种微处理器(Microprocessor)进行比较	6
1.3 DSP 的特点	7
1.4 DSP 应用系统的设计流程	9
1.5 DSP 设计技术演进的三个阶段	10
1.6 DSP 芯片的发展趋势	10
第2章 硬件结构及软硬件开发与设计	12
2.1 TMS320C54x 的基本结构和主要特性	12
2.1.1 基本结构	12
2.1.2 'C54x 主要特性简介	14
2.1.3 主要部分特点简介	15
2.2 'C54x 内部总线结构	16
2.3 中央处理器	17
2.4 存储空间结构简介	21
2.5 片内外设电路	23
2.6 系统控制	23
2.7 'C54x 外部总线	24
2.8 软硬件开发与设计	24
2.8.1 软件开发与设计	25
2.8.2 COFF 通用的对象文件格式	27
2.8.3 系统软件设计	28
2.8.4 软件开发基础	29

2.8.5 硬件开发与设计	32
第3章 片内外设、接口结构及功能	34
3.1 'C54x 的定时器和时钟发生器	34
3.1.1 TMS320C54x 的定时器	34
3.1.2 TMS320C54x 时钟发生器	35
3.2 TMS320C54x 中断系统	37
3.2.1 中断请求	38
3.2.2 中断控制	38
3.2.3 外部中断触发	39
3.3 McBSP 基础	39
3.3.1 McBSP 基本特性	39
3.3.2 McBSP 的内部结构	40
3.3.3 McBSP 的寄存器	40
3.3.4 寄存器的访问	41
3.3.5 数据收发过程	41
3.4 HPI 主机接口	42
3.4.1 HPI 概述	42
3.4.2 HPI 程序装载过程	42
3.4.3 HPI 接口中断的使用	43
3.5 存储器	44
第4章 DSP 集成开发环境 CCS	46
4.1 引言	46
4.2 CCS 简介	46
4.3 CCS 的组成	47
4.4 CCS 的主要功能	48
4.4.1 CCS 常用文件介绍	49
4.4.2 CCS 常用指令简介	49
4.5 DSK、XDS 及 JTAG 简介	50
4.5.1 DSK	50
4.5.2 XDS 扩展开发系统	51
4.5.3 JTAG	51
4.6 Simulator 简介	51

第2部分 基本实验

第5章 基于 TI-5000 DSP	55
5.1 实验准备	55

5.1.1	软硬件配置	55
5.1.2	平台搭建	55
5.1.3	说明	55
5.1.4	DES320PP-U 的结构特点简介	56
5.1.5	DES3200 驱动程序的安装	56
5.1.6	CCS 文件组织与环境变量的说明	61
5.1.7	CCS 的功能简介	62
5.2	数字信号处理实验的说明	62
5.3	预备实验	63
5.3.1	实验目的	63
5.3.2	实验内容	63
5.4	实验 1: 综合外设实验	64
5.4.1	实验目的和内容	64
5.4.2	实验原理	64
5.4.3	实验步骤	69
5.5	实验 2: 利用定时器实现数字振荡器	71
5.5.1	实验目的	71
5.5.2	实验内容与实验要求	72
5.5.3	实验原理	72
5.5.4	实验内容	76
5.5.5	实验程序流程图(参考)	78
5.6	实验 3: BSP 串口通信	79
5.6.1	实验目的	79
5.6.2	实验内容与实验要求	79
5.6.3	实验原理	80
5.6.4	串口的初始化	83
5.6.5	串口的中断服务程序	84
5.6.6	实验内容与步骤	84
5.7	实验 4: FIR 数字滤波器	85
5.7.1	实验目的	85
5.7.2	实验方法	85
5.7.3	实验原理	86
5.7.4	实验内容	89
5.8	实验 5: HPI 接口操作	91
5.8.1	实验目的	91
5.8.2	实验要求	91
5.8.3	实验原理	91
5.8.4	实验内容	97
5.9	实验 6: 快速傅里叶变换(FFT)的实现	99

5.9.1	实验目的	99
5.9.2	实验原理	99
5.9.3	实验内容	110
5.10	实验7: CCS中的DSP/BIOS工具的使用	113
5.10.1	实验目的	113
5.10.2	实验原理	113
5.10.3	实验内容	116
5.11	实验8: 熟悉TMS320VC5402的Bootloader技术	123
5.11.1	实验目的	123
5.11.2	实验要求	123
5.11.3	实验原理	123
5.11.4	实验内容与步骤	128

第3部分 创新开发与应用示例

第6章	自行设计与开发示例	135
6.1	实验9: 数字信号处理器系统硬件设计示例	135
6.1.1	最小配置系统	135
6.1.2	DSP的自加载	135
6.1.3	DSP的模式设置	136
6.1.4	最小的DSP系统设计	136
6.2	实验10: 最小均方误差(LMS)自适应滤波算法的应用示例	138
6.2.1	实验目的	138
6.2.2	实验要求	138
6.2.3	实验原理	138
6.3	实验11: 32位伪随机序列的实现示例	141
6.3.1	实验目的	141
6.3.2	实验原理简述	141
6.4	实验12: DSP在嵌入式网络瘦服务器的应用示例	142
6.4.1	实验目的	142
6.4.2	实验原理简述	142
6.5	实验13: 利用DSP的串/并口实现与单片机通信示例	144
6.5.1	实验目的	144
6.5.2	实验原理简述	144
第7章	基于TI-6000 DSP的开发与应用	150
7.1	C6000处理器	150
7.2	“达芬奇”处理器	150
7.3	OMAPT TM 应用处理器	153

7.4	实例 1: 基于 T264 的编码器在 DM642PCI 平台上的实现	154
7.4.1	引言	155
7.4.2	硬件平台	155
7.4.3	分析优化及实现	155
7.4.4	结果分析	159
7.5	实例 2: 基于 TMS320C6713 的混沌信号源设计与实现	160
7.5.1	前言	160
7.5.2	总体设计	161
7.5.3	结束语	163
7.6	实例 3: 基于 DSK6713 的不规则图像编码(MATLAB 设计,6713 优化) ...	163
7.6.1	算法描述	164
7.6.2	PCNN 不规则编码的 DSP 实现	170
7.6.3	TMS320C6713 软件开发流程	174
7.6.4	系统初始化	175
7.6.5	EDMA 数据搬移与处理	175
7.6.6	软件代码优化	176
7.6.7	实现的性能与结果	178
参考文献		180

基本理论

本部分简要介绍了 DSP 的概念、原理、硬件结构、外围接口电路、CCS 集成开发环境等基本理论,本部分是第 2 部分的理论基础。本部分的重点是硬件结构与 CCS 集成环境。在学习 CCS 时应结合具体实例来熟悉 CCS 的菜单功能。

本章提要：本章将简要介绍 DSP 的概念和组成原理、应用领域，并比较了 DSP 与 MCU 的硬件结构。本章还介绍了 DSP 应用系统设计流程。

1.1 引言

当今的时代是网络化、智能化和数字化的时代。目前，数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)已被广泛应用到通信、雷达、信息家电、互联网、工业控制、软件无线电、仪器仪表等各个领域。业界对 DSP 工程师的需求与日俱增，这对各高等院校的人才培养提出了新的挑战。

数字信号处理是研究如何用数字或符号序列来表示信号以及对这些序列进行处理的一门学科。数字处理的目的是为了削弱信号中的多余内容，过滤噪声和干扰，便于人们估计信号的特征参数，或便于变换成容易分析和辨识的形式。数字信号处理是利用计算机或其他信号处理设备，以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理，以获得满足不同需要的信号形式。

数字信号处理以众多学科为理论基础，它涉及的范围较为广泛。如在数学领域，微积分、概率统计、随机过程、数值分析等都是数字信号处理的基本工具。数字信号处理与网络理论、信号与系统、控制论、通信理论、故障诊断等也密切相关。数字信号处理还与人工智能、模式识别及神经网络等新兴学科相关。可以说，数字信号处理是把许多经典理论体系作为自己的理论基础，同时又使自己成为一系列新兴学科的理论基础。

数字信号处理的意义主要有以下几个方面。

(1) 精度高。在模拟网络中，元器件精度要达到 10^{-3} 以上已经很不容易了，而数字系统 17 位字长可以达到 10^{-6} 的精度，而且对于数字系统而言这是很平常的。

(2) 可靠性高。模拟系统中各种参数都有一定的温度系数，都随环境条件的变化而变化，并且容易出现感应、杂散效应，甚至振荡等。

(3) 灵活性强。一个数字系统的性能主要是由乘法器的各系数决定的,而这些系数是存放在系统存储器中的,只要对这些存储器输入不同的数据,就可随时改变系统的参数,从而得到不同的系统。

(4) 便于大规模集成化。数字部件由逻辑和记忆元件构成,具有高度的规范性,易于实现大规模集成化。

DSP 芯片与通用微处理器相比较,是一种特殊的嵌入式微处理器,有其自身的结构特点。DSP 芯片,即数字信号处理器,是一种适合进行实时数字信号处理运算的微处理器,其主要应用是快速地实现各种数字信号处理算法。实时处理是指,要在规定的时间内完成对外部输入信号的处理运算。典型的 DSP 系统如图 1.1 所示。



图 1.1 典型的 DSP 系统

DSP 处理器是专门用于信号处理方面的处理器,它在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计,具有很高的编译效率和指令执行速度。在数字滤波、FFT 和频谱分析仪器上,其获得了广泛的应用。

总的说来,DSP 芯片按数据格式,可以分为定点 DSP 芯片和浮点 DSP 芯片两大类。衡量其性能的指标主要包括运算速度、运算精度、软硬件资源、功耗等。

当前 DSP 芯片的主流是 TI 公司的 TMS320C2000、TMS320C5000 和 TMS320C6000 三大系列。

1.1.1 2000 系列简介

C2000 系列(定点、控制器)的芯片具有大量外设资源,如: A/D、定时器、各种串口(同步和异步)、WATCHDOG、CAN 总线、PWM 发生器、数字 I/O 脚等。它是针对控制应用最佳化的 DSP,在 TI 所有的 DSP 中,只有 C2000 有 FLASH,也只有该系列有异步串口可以和 PC 的 UART 相连。主要应用在控制领域,如: 硬盘控制、通风空调、电机控制、家用电器、变频电源控制等方面。

1. TMSC2000 家族

TMSC2000 家族将闪存、10 位 A/D、CAN(控制器局域网)等各种片内外设集成在一起,主要包括 TMSC240x 及 TMSC28x 两类产品。

主要产品分为两个系列:

- C20x 系列常用于电话、数码相机、嵌入式家电设备等。
- C240x 系统主要用于数字电机控制、电机控制、工业自动化电力转换系统等。

2. TMSC240x 系列

TMSC240x 系列是 16 位定点 DSP,LF240x 的速度为 30MIPS(Million Instructions per Second,百万条指令每秒),LF240XA 的速度为 40MIPS。

TMSC240x 系列是专为数字电机控制和其他控制系统而设计的。是当前集成度最高、性能最强的运动控制芯片。不但有高性能的 C2xx CPU 内核,配置有高速数字信号处理的结构,而且还有由单片电机控制的外设。将数字信号处理的高速运算功能,与面向电机的强大控制功能结合在一起,成为传统的多微处理器单元和多片系统的理想替代品。可用于控制功率开关转换器,可提供多电机的控制等。TMSC240x 采用诸如自适应控制、卡尔曼滤波和控制等先进的控制算法,支持多项式的高速实时算法,因而可减少力矩纹波、降低功耗、减少振动,从而延长被控设备的寿命,为各种电机提供了高速、高效和全变速的先进控制技术。

片内外设及存储器包括:

- (1) 双 10 位(双 8 路或单 16 路)A/D 转换器,转换时间为 500ns。
- (2) 41 个可独立编程的多路复用 I/O 引脚。
- (3) 带锁相环 PLL 的时钟模块。
- (4) 看门狗定时器模块。
- (5) 串行通信接口 SCI 与串行外设接口 SPI。
- (6) 两个事件管理器 EVA 和 EVB,可为所有电机类型提供控制技术,为工业自动化方面的应用奠定了基础。
- (7) 8 个 16 位 PWM 通道——三相反相器控制。
- (8) 5 个外部中断(两个驱动保护,复位,两个可屏蔽中断)。
- (9) CAN 2.0B 模块。
- (10) 指令集:包括信号处理指令和通用控制指令,利用反转变址寻址能力可进行基 2 的 FFT 运算。
- (11) 用于仿真的 JTAG 接口。
- (12) 片内存储器:32KB 闪存、2.5KB RAM。

3. TMSC28x 系列

TMSC28x 系列为 32 位定点,速度为可达 400MIPS。

片内:闪存、12 位 A/D、CAN(控制器局域网)总线模块、SPI、SCI 等片内外设。

1.1.2 5000 系列简介

'C54x 是为实现低功耗、高性能产品而设计的定点 DSP 芯片,它的主要特点为:运算速度快、优化的 CPU 结构、低功耗方式和智能外设。它主要应用在无线通信等应用系统中。

TMSC5000 家族,该系列拥有高性能、多种片内外设选择、小封装、省电。适用范围:无线电通信和 Internet。电源可降至 0.9V 且速度可达 600MIPS。最适用的范围:数字音乐唱机、3G 电话和数码相机。

TMSC54x 家族, TMSC54x 系列, 16 位定点, 功耗 0.32mW/MIPS, 32~532MIPS。

TMSC55x 家族, 8~48 位浮点, 功耗 0.05mW/MIPS, 288~600MIPS。程序字宽度为 32 位。