



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

DSP

技术实验指导书 (配光盘)



□ 彭启琮 管庆 徐胜 编著



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

DSP

技术实验指导书 (配光盘)

DSP Jishu Shiyān Zhidaoshu



□ 彭启琮 管庆 徐胜 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书为数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)技术的教学设计了丰富而系统的实验内容,包括算术运算、DSP 算法、DSP 处理器芯片、CCS 的高级调试工具 DSP/BIOS 的应用、DSP 的接口、控制类和硬件扩展设计等,共七大类实验,基本涵盖了 DSP 开发及应用所涉及的基础知识。

本书所设计的实验,与数字信号处理的实际应用紧密结合,注重实验的实用性和综合性。书中的 DSP 实验具有很强的可操作性。每个实验从原理介绍开始,阐述相关 DSP 基础知识,然后给出完整的实验步骤以及实现的详细代码。通过这些实验步骤,可以逐渐了解和掌握本实验的知识点,最后通过完成实验后的思考题,检验、巩固以及拓展这些知识点。实验的主要任务是完成那些思考题,而不是简单重复指导书上的实验步骤。

书中设计的一些大型综合性实验,不仅涉及 DSP 的相关软硬件知识,还有数字电路、模拟电路、接口电路等其他方面的知识,能够对读者进行综合能力的训练。读者可以通过电路设计、调试,进一步掌握 DSP 硬件开发技能。同时,还要求读者编制相应的应用软件,以强化理论知识实际工程应用。

本书可用于本科及研究生的 DSP 技术教学(开设包含实验技能培训在内的 DSP 技术课程)。对于专业从事 DSP 开发及相关领域的工程师,阅读本书也有一定的帮助。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 技术实验指导书/彭启琮,管庆,徐胜编著. —北京:
高等教育出版社,2010.5

ISBN 978-7-04-029080-6

I. ①D… II. ①彭… ②管… ③徐… III. ①数字信
号-信号处理-高等学校-教学参考资料 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 067064 号

策划编辑	杜 炜	责任编辑	曲文利	封面设计	张 楠
责任绘图	宗小梅	版式设计	余 杨	责任校对	王 雨
责任印制	毛斯璐				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 14
字 数 260 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 5 月第 1 版
印 次 2010 年 5 月第 1 次印刷
定 价 25.90 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29080-00

前 言

社会的发展和技术的进步,已经将数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)技术从一门很专业的学科,推进成极为活跃并广为人知的前沿技术。目前,在工业、军事、医学、通信等各领域,如各种快速算法实现、音频与视频压缩编解码、信号识别与鉴别、数据加解密、信号调制解调、信道辨识与均衡、智能天线系统以及频谱分析等,都大量使用到 DSP 技术。因此业界对 DSP 工程师的需求与日俱增,广大学生和工程技术人员学习 DSP 技术的热情空前高涨。这对各高等院校的人才培养提出了新的挑战,迫切需要相应的最新教材和配套实验指导书。

本书通过具体的 DSP 实验案例来帮助读者掌握 DSP 技术的基本理论和工程实践。共设计了七大类的实验,涵盖了 DSP 硬件(片上外设和周边系统)、DSP 软件及数字信号处理算法等多个方面。例如,多通道缓冲串口 McBSP 操作、定时器、外部中断、基本算术运算、浮点运算、FIR 及 IIR 滤波器、快速傅里叶变换 FFT、双音多频 DTMF、最小均方误差 LMS 自适应滤波器等。具体的实验类别如下。

■ 第一大类:算术运算类实验

1. 定点 DSP 的整数加、减、乘、除运算
2. 定点 DSP 的小数加、减、乘、除运算
3. 定点 DSP 实现浮点运算
4. 软仿真 Simulator 实验

■ 第二大类:数字信号处理理论类实验

1. 无限冲激响应滤波器(IIR)数字振荡器实验
2. 有限冲激响应滤波器(FIR)数字滤波实验
3. 卷积、DCT、FFT 实验
4. DSP 解决方案案例:双音多频(DTMF)实验

■ 第三大类:数字信号处理器芯片原理类实验

1. McBSP 串口操作实验
2. 主机外设接口 HPI 操作实验
3. DSP 的自启动技术

■ 第四大类:CCS 的高级调试工具 DSP/BIOS 的应用

1. DSP/BIOS 环境下的开发程序流程

2. DSP/BIOS 的配置文件的建立实验
3. DSP/BIOS 的应用程序接口 (API) 实验
4. DSP/BIOS 的中断实验
5. DSP/BIOS 的任务调度实验
6. DSP/BIOS 的优先级实验
7. DSP/BIOS 的线程管理实验
8. DSP/BIOS 的代码分析工具实验

■ 第五大类:接口类实验

1. 电话接口实验
2. 10 M/100 M 网卡接口实验
3. USB 接口实验

■ 第六大类:控制类实验

1. 直流电机控制实验
2. 步进电机控制实验
3. 交通灯控制实验
4. 键盘操作实验
5. LCD 液晶屏操作实验
6. 数码管操作实验
7. RS232 异步通信串口实验

■ 第七大类:硬件扩展设计实验

1. 使用二次开发接口,指导用户自行扩展硬件系统
2. 使用 DSP 子卡插座,设计制作自己的最小 DSP 系统
3. 使用集成仿真器,调试用户自己的目标 DSP 系统

一、如何使用本书

本书介绍的滤波器等数字信号处理基本原理,不局限于具体的 DSP 芯片型号。与 DSP 片上硬件相关的实验,以美国德州仪器(TI)公司的 C54xx 系列 DSP 芯片为例来讲述。C54xx 系列芯片是 TI 公司主推的 16 位定点、低功耗 DSP 芯片,适合个人与便携式上网以及无线通信应用,如手机、PDA、GPS 等,是目前用户最多的系列。处理速度在 80~400MIPS 之间,片上有 McBSP 同步串行接口、HPI 并行接口、定时器、DMA 等丰富的外设。相对其他系列的 DSP 而言,C54xx 系列芯片更能体现 DSP 芯片对数字信号处理算法进行的专门的硬件优化,如单周期乘累加单元(MAC)、专门针对 FFT 应用设计的位倒序寻址、硬件维特比译码单元等。所以掌握了该系列 DSP 芯片的相关知识,读者可以很容易地扩展和推广到 TI 公司的 C6000、C2000、DaVinci 和 OMAP 等其他系列芯片,甚至其他公

司的 DSP 芯片。

根据 DSP 周边系统的硬件设计相关的实验,以银杏科技公司提供的 DSP 实验箱 DES320E 作为实验平台来讲述。关于该实验箱的介绍及安装,请参见附录的说明。完成本书的实验,读者需要掌握 TI 公司的 DSP 软件开发平台 Code Composer Studio(CCS)的使用,本书配套光盘的实验代码在 CCS2.0 下测试通过。

本书在每个实验里,首先给出了算法或硬件等原理性介绍;然后是详细的实验步骤,读者可以通过完成实验步骤来逐步观察到实验结果,从直观的感性认识中,领悟到数字信号处理算法理论及器件的原理和应用;最后是帮助读者拓宽思维的思考题。所需的实验平台在每个实验里进行了说明,在硬件平台 DES320E 支持下,能够完成本书所有实验;在没有硬件实验平台的情况下,可以使用 CCS 提供的 DSP 软件仿真来完成本书的部分实验,例如 C54xx 系列的器件仿真——C54xx Device Simulator。

二、本书的教学理念和思路

作者在本科及研究生的 DSP 技术教学中,总结提炼出指导学生进行实验的三个递进的层次。

1. 验证性实验

- 目的:让学生阅读成熟的实验指导书,阅读实验源代码,学习、理解经过总结的知识,通过实验验证教科书上的理论,从而获得对 DSP 技术的理性认识。

- 对象:适合中职、高职高专及本科低年级学生。

- 课程:

(1) DSP 理论课程实验

- 数字信号处理基本算术运算及浮点运算。
- 数字信号处理基本滤波器理论,如 FIR、IIR 等。
- 数字信号处理基本算法及算法评估,如 FFT 及使用 DSP/BIOS 算法评估。
- 数字信号处理解决方案综合运用,如双音多频 DTMF、MP3 等。

(2) DSP 硬件工程实验

- 片上外设,如 HPI、McBSP 等。
- 自启动技术。
- 接口实验,如 10 M/100 M 自适应网卡、USB、电话、计算机串口和并口、模拟音频接口等。

2. 初级扩展实验

- 目的:在完成验证性实验的基础上,让学生进一步利用 DES320E 二次开发接口自行设计 DSP 扩展系统,理解 DSP 工程开发的步骤。

- 对象:适合本科高年级学生,如毕业设计、课程设计等。

- 内容:

(1) 案例学习

以 DES320E 图像处理子卡为例阐述如何在 DSP 系统的数据、地址、控制等扩展总线上设计软、硬件系统。

(2) 利用 DES320E 提供的二次开发接口面包板自行设计系统

3. 高级扩展实验

- 目的:提供 DES320E 的 DSP 子卡接口定义,在完成初级扩展实验的基础上,让学生自行设计 DSP 子卡硬件,全面了解 DSP 系统的软、硬件设计。

- 对象:适合本科高年级学生和研究生。

- 内容:

(1) DSP 相关数据手册的学习

(2) DES320E 的 DSP 子卡接口定义

(3) 设计 DSP 子卡

三、建议学时安排

DSP 技术实验课程对于本科学生,一般安排在大三下半学年或大四上半学年。为了更好地掌握 DSP 技术的应用,学生应该已经完成“信号系统”、“数字电路”、“微机原理”和“数字信号处理”等相关课程的学习。本课程的具体学时安排建议如下:

开发环境使用(3 学时):主要熟悉 DSP 开发环境 CCS, DSP/BIOS 工具以及软件调试过程,包括实验一~三、实验十四的内容。

IIR 数字滤波器(3 学时):主要学习 IIR 滤波器的 DSP 编程实现,包括实验六、实验十二的内容。

FIR 数字滤波器(3 学时):主要学习 FIR 滤波器的 DSP 编程实现,包括实验七的内容。

快速傅里叶变换(3 学时):主要掌握和巩固 FFT 的 DSP 编程,包括实验八的内容。

DTMF 码的产生和解调(3 学时):主要掌握 Goertzel 算法计算 DFT,包括实验九、实验二十、实验二十七的内容。

DSP 片上外设原理(3 学时):主要学习 DSP 片上外设的初始化及工作过程,包括实验四、实验五的内容。

DSP 硬件系统原理(4 学时):主要学习 DSP 对外部系统的控制及扩展,包括实验十、实验十一、实验十六的内容。

其余内容为选修,可根据学生的知识掌握、学习能力和兴趣等情况具体安排。

四、应掌握的知识点

对于学习 DSP 技术实验课程的学生而言,重点在于掌握好这些实验的理论背景以及它们在 DSP 芯片上的实现方法。如 FIR 滤波器的实现,自适应滤波处理,DTMF 的编、解码实验等。这些实验既包含了对以前“信号与系统”和“数字信号处理”中所学的信号分析和处理理论知识的理解和应用,又有对“微机原理”和“DSP 技术”中具体算法实现操作的理解,很好地将理论与实际结合起来。具体知识点包括:

DSP 硬件结构 介绍 TI 公司的 C2000、C5000、C6000 基本硬件结构。

DSP 软件体系 重点介绍 C54xx 系列芯片的软件体系,包括寻址方式、指令等。

DSP 开发环境 介绍 DSP 的代码生成工具、开发工具和环境(包括 CCS)以及实时操作系统。

DSP 基本算法 介绍 DSP 中数据的表示方法,有限字长对计算结果的影响,定点 DSP 完成定点整数和小数以及浮点数加、减、乘、除运算,FIR 滤波运算,FFT 的实现。

总之,本书的目的是,通过每个精心设计的实验,首先让读者学习算法或硬件等原理,然后让读者通过详细的实验步骤,亲自动手来逐步观察到实验结果,完成从理性认识出发,通过感性认识再回到理性认识的一个循环,深刻领悟到 DSP 基本理论及工程应用,并进一步通过思考题来拓宽思维。

使用本书作为实验指导教程,能够协助高校更加方便地建设 DSP 实验室,开设包含实验技能培训在内的 DSP 技术课程,用于本科及研究生的 DSP 技术教学。对于从事 DSP 开发及相关领域的业界工程师,阅读本书也有一定的帮助。

全书由彭启琮主编,徐胜编写实验一~实验十三,管庆编写实验十四至实验二十七。本书的编写,得到了电子科技大学通信学院 DSP 实验室老师们的大力支持和银杏科技 DSP 工程师们的大力协助;研究生鲁玮、田心、周薇薇、王凤刚、涂颖、邓旻熙、何山、李英、郑树满、王琪、武曜、谭芳等参与了部分实验代码的编写和测试,在此一并表示感谢。

作者

2009 年 12 月

于电子科技大学

目 录

实验一 DES 综合外设实验	1
1.1 实验目的	1
1.2 实验原理	1
1.3 系统初始化程序	7
1.4 思考题	8
实验二 基本算术运算	9
2.1 实验目的	9
2.2 实验原理	9
2.3 实验内容	13
2.4 思考题	15
实验三 C54xx 的浮点数的算术运算	16
3.1 实验目的	16
3.2 实验原理	16
3.3 实验内容	26
3.4 思考题	31
实验四 BSP 串口操作	32
4.1 实验目的	32
4.2 实验要求	33
4.3 实验原理	34
4.4 实验内容	40
4.5 思考题	41
实验五 HPI 接口操作	42
5.1 实验目的	42
5.2 实验要求	42
5.3 实验原理	42

5.4 实验内容	47
实验六 定时器与数字振荡器	49
6.1 实验目的	49
6.2 实验要求	49
6.3 实验原理	49
6.4 实验内容	55
6.5 思考题	56
实验七 FIR 数字滤波器	58
7.1 实验目的	58
7.2 实验要求	58
7.3 实验原理	59
7.4 实验内容	65
7.5 思考题	66
实验八 快速傅里叶变换(FFT)的实现	67
8.1 实验目的	67
8.2 实验原理	67
8.3 实验内容	86
8.4 思考题	89
实验九 双音多频DTMF技术	90
9.1 实验目的	90
9.2 实验要求	90
9.3 实验原理	90
9.4 实验内容	96
9.5 思考题	99
实验十 外部中断、按键、LED 控制实验	101
10.1 实验目的	101
10.2 实验内容	101
10.3 思考题	103
实验十一 LCD 显示实验	104
11.1 实验目的	104

11.2	实验内容	104
11.3	思考题	106
实验十二 语音信号采样及 IIR 滤波实验		107
12.1	实验目的	107
12.2	实验内容	107
12.3	思考题	109
实验十三 卷积算法实验、离散余弦变换 (DCT) 算法实验		110
13.1	实验目的	110
13.2	实验内容	110
13.3	思考题	115
实验十四 CCS 中 DSP/BIOS 工具的使用		116
14.1	实验目的	116
14.2	实验原理	116
14.3	实验内容	119
实验十五 TMS320VC5402 的 BOOTLOADER 技术		125
15.1	实验目的	125
15.2	实验要求	125
15.3	实验原理	125
15.4	实验内容	132
15.5	思考题	135
实验十六 硬件扩展设计实验		136
16.1	实验目的	136
16.2	实验要求	136
16.3	DES320E 各功能模块	136
16.4	实验内容	143
实验十七 最小均方误差 (LMS) 自适应滤波算法的应用		145
17.1	实验目的	145
17.2	实验要求	145
17.3	实验原理	145

17.4 实验内容	149
17.5 思考题	152
实验十八 USB 通信实验	153
18.1 实验目的	153
18.2 实验内容	153
实验十九 以太网通信实验	155
19.1 实验目的	155
19.2 实验内容	155
实验二十 电话通信实验	157
20.1 实验目的	157
20.2 实验内容	157
实验二十一 语音编解码实验	159
21.1 实验目的	159
21.2 实验内容	159
21.3 思考题	161
实验二十二 DSP/BIOS 中线程的使用	162
22.1 实验目的	162
22.2 实验原理	162
22.3 实验内容	166
22.4 思考题	168
实验二十三 任务线程的同步	169
23.1 实验目的	169
23.2 实验原理	169
23.3 实验内容	170
23.4 思考题	172
实验二十四 使用信号量旗语发送信息	174
24.1 实验目的	174
24.2 实验原理	174

24.3	实验内容	177
24.4	思考题	179
实验二十五 利用旗语解决冲突		180
25.1	实验目的	180
25.2	实验原理	180
25.3	实验内容	182
25.4	思考题	184
实验二十六 使用邮箱发送信息		185
26.1	实验目的	185
26.2	实验原理	185
26.3	实验内容	188
26.4	思考题	190
实验二十七 DTMF 在 DSP/BIOS 下的实现		192
27.1	实验目的	192
27.2	实验原理	192
27.3	实验内容	194
27.4	思考题	195
附录		196
附录一 DES320E 简介		196
F1.1	功能特点	196
F1.2	XDS510 仿真调试器	197
F1.3	对外的扩展接口	197
F1.4	DES320E 功能模块图	197
附录二 DES320E 驱动程序的安装		199
F2.1	安装驱动程序	199
F2.2	安装 CCS 下的硬仿真器驱动程序	200
附录三 DES320E 实验系统资源一览		203
F3.1	实验系统按键说明	203
F3.2	存储器映射一览表	205
参考文献		207

实验一

DES综合外设实验

1.1 实验目的

DES320E 实验系统提供了键盘、液晶显示器(简称液晶)、数码管、直流电机、步进电机、交通灯等外设。本实验学习这些外设的控制原理。同时,学习在这些外设的控制程序中所使用的汇编和 C 语言混合编程以及 C54xx 系列芯片(简称 C54xx)的中断、I/O 空间操作等基本 DSP 编程技巧。

本实验为大型综合性实验,要求学生掌握和巩固 DSP 编程的基本方法。通过实验,学生能独立编写复杂的外设控制程序。例如,使用交通灯和定时器实现十字路口红绿灯的控制,直流电机的调速控制,使用数码管显示和键盘实现计算器等。

实验平台:

✓ DES320E

1.2 实验原理

1. C54xx 的 I/O 空间读写

C54xx 提供 64 K 字的 I/O 空间访问能力。在汇编指令中分别提供了读和写命令:portr 和 portw。也可以在 C 语言中实现该 I/O 操作,方法如下:

首先定义 I/O 空间变量,如

```
ioport unsigned portXXXX;    /* 其中,XXXX 代表具体 I/O 口地址 */
```

然后,就可以像访问普通变量一样访问 I/O 口,如

```
portXXXX = 0x55;             /* 将 0x55 写到 XXXX 指定的 I/O 口 */
```

2. 交通灯的控制

DES320E 提供了 12 个 LED,其控制地址为 I/O 空间的 0x0c000。该地址的 D0 ~ D11 位分别对应这 12 个 LED。将 1 写入可以点亮 LED,0 则关闭。请参考下面代码:

/* 说明 I/O 空间 0x0c000 变量,以使用 C 实现 I/O 空间操作 */

```
ioport unsigned portc000;    /* for LEDs show */
```

/* 下面是 LED 控制代码 */

```
portc000 = 0;                /* 关闭所有 12 个 LED */
                                /* 该 C 语句等效于汇编指令 portw #0,
                                0c000h */
mydelay();                   /* 使用空循环延时 */
portc000 = 0xffff;           /* 点亮所有 12 个 LED */
mydelay();
```

/* 下面依次逐个点亮 LED(DS1 ~ DS12) */

```
led = 1;
for(i = 0; i < 12; i++)
{
    portc000 = led;           /* 点亮 1 个 LED */
    mydelay();               /* 延时 */
    portc000 = 0;            /* 关闭 LED */
    led = led << 1;
}
```

3. 直流电机控制

DES320E 实验系统配有一个小型直流电机,可以由 DSP 编程完成直流电机的调速控制。其控制方法为:当向 0x0e000(VC5402 的 I/O 空间)的 D0 位写入 1 时,电机正向转动;当写入 0 时,电机反向转动。用户可以通过 D0 位为 1 或 0 的持续时间(即 D0 输出方波的占空比)控制电机的转速。注意,使用直流电机时,应该先接通电机的电源,方法如下:向 I/O 空间的 0x8000 地址的 D0 位写入 1。若要关闭电源,请写入 0。当写入 1 或 0 时,可以听到继电器动作的声音。请参考下面代码:

/* 说明 I/O 空间 0x8000 和 0x0e000 变量,以使用 C 语言实现 I/O 空间操作 */

```
ioport unsigned port8000;    /* for CTRL word */
ioport unsigned porte000;    /* for DC MOTOR run */
```

```

/* 下面是直流电机的控制代码 */
CtrlWord |= 0x1;          /* 设置 D0 = 1 */
port8000 = CtrlWord;      /* 接通 DC MOTOR 的电源 */

/* 下面代码使直流电机正向全速转动 */
porte000 = 1;            /* 正向电压 */

/* 下面代码使直流电机反向全速转动 */
porte000 = 0;            /* 反向电压 */

/* 下面代码使直流电机左右摆动 */
for(i = 0; i < 20; i++)   /* 左右摆动 20 次 */
{
    porte000 = 0;        /* 反向电压 */
    mydelay();           /* 延时 */
    porte000 = 1;        /* 正向电压 */
    mydelay();           /* 延时 */
}

/* 下面代码使直流电机慢转(通过 D0 输出方波的占空比控制) */
for(k = 0; k < 4; k++)    /* 控制转动持续时间 */
    for(i = 0; i < 1000; i++)
    {
        porte000 = 1;    /* 正向电压 */
        for(j = 0; j < 10000; j++); /* 延时(长) */
        porte000 = 0;    /* 反向电压 */
        for(j = 0; j < 1300; j++); /* 延时(短) */
    }

/* 下面代码关闭电机电源 */
CtrlWord &= 0xfffe;      /* 设置 D0 = 0; */
port8000 = CtrlWord;

```

4. 步进电机的控制

DES320E 实验系统还配有一个步进电机。I/O 空间的 0x0f000 的 D0、D1、D2、D3 分别对应步进电机的四相驱动端。依次向这 4 位写入 1,便可以控制步进电机的转动。请参考下面的代码:

```

/* 下面代码控制步进电机反向转动 5 步 */
motor = 1;
for(j = 0; j < 6; j++)
{
    portf000 = motor;          /* send drive pluse to motor */
    motor = motor << 1;
    for(k = 0; k < 4; k++)     /* delay */
        mydelay();
    if( motor == 0x10)         /* 只有低 4 位有效 */
        motor = 1;
}

```

```

/* 下面代码控制步进电机正向转动 5 步(转动速度较快) */
motor = 0x8;
for(j = 0; j < 6; j++)
{
    portf000 = motor;          /* send drive pluse to motor */
    motor = motor >> 1;
    for(k = 0; k < 2; k++)     /* 延时,决定转动速度 */
        mydelay();
    if( motor == 0x0)
        motor = 0x8;          /* 只有低 4 位有效 */
}

```

5. 异步串口控制

VC5402 本身并未提供异步串口,所以 DES320E 使用 TL16C550 串口控制芯片增加异步串口,以便与 PC 机 RS232 串口(DB9)直接通信。实验系统的 UART 功能使用 DSP 中断 INT0,收与发都是同一中断,所以进入中断服务程序后应该先判断是什么中断,然后再做相应操作。实验系统中异步串口接口寄存器地址分配情况(I/O 空间)如下。

- 0b000h:发送与接收缓冲寄存器(线路控制寄存器 D7 = 0)
- 波特率因子寄存器低字节(线路控制寄存器 D7 = 1)
- 0b001h:中断允许寄存器(线路控制寄存器 D7 = 0)
- 波特率因子寄存器高字节(线路控制寄存器 D7 = 1)
- 0b002h:中断识别寄存器
- 0b003h:线路控制寄存器