

DSP 应用系统设计实践

郑红 王鹏 编著
董云凤 吴冠



北京航空航天大学出版社

DSP 应用系统设计实践

郑 红 王 鹏 编著
董云凤 吴 冠

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书通过应用实例的方式深入浅出地介绍 TI 公司 TMS320C54x 系列 DSP 的硬件设计及软件开发方法。从 DSP 系统应用的角度出发,不仅详细阐述了基本 DSP 系统设计中的关键问题,而且对简单及复杂 DSP 应用系统设计中的疑难问题进行了深入探讨,包括基于 DSP 的最小应用系统、数字检测仪器仪表系统、PDA 系统、多 DSP 系统等常用 DSP 应用系统的软硬件设计要点及疑难问题分析。

本书内容丰富、新颖,实用性强,适合从事 DSP 应用系统设计的技术人员及相关领域高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 应用系统设计实践/郑红等编著. —北京:北京
航空航天大学出版社,2006. 4

ISBN 7-81077-757-2

I. D… II. 郑… III. ①数字信号—信号处理②数
字信号—微处理器 IV. ①TN911.72②TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 026077 号

©2006,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。
侵权必究。

DSP 应用系统设计实践

郑 红 王 鹏
董云凤 吴 冠 编著
责任编辑 梁厚蕴

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:22.5 字数:504 千字
2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-757-2 定价:29.50 元

前 言

在数字技术高速发展的今天,数字处理技术的应用已遍布科学研究、工业生产、日常生活的各个领域,使得数字信号处理的理论与应用更广泛、更深入地影响到我们的生活,也成为科学研究、工业生产、消费电子等领域的重要技术手段。因此,作为数字时代的大学生、研究生、相关领域工程技术人员,对于数字信号处理技术的掌握就成为其基本技术训练的重要环节。

本书是顺应数字信号处理理论和技术应用现状及其发展趋势,为自行开发的开放式数字信号处理实验平台开设的信息获取及信号处理实验课程编写的教材。教材根据 TI 公司生产的通用 DSP 芯片的功能及应用领域,将实验分为三个系列。

- (1) 基于 TMS320C54x 的通信、语音、便携仪器仪表领域的数字信号处理技术实验系列。
- (2) 基于 TMS320LF24x 的工业控制、仪器仪表领域的数字信号处理技术实验系列。
- (3) 基于 TMS320C67x 的图像、语音处理、模式识别领域的数字信号处理技术实验系列。

实验包括基础实验、简单系统实验和复杂系统实验三个部分。通过这些实验帮助初学者由浅入深、循序渐进地领会 DSP 技术从基本概念到系统实现的各个环节的主要技术问题,掌握从理论到实践应用的关键技术。

本书是针对 TMS320C54x 系列 DSP 的实验指导书,全书分为七章。第 1 章主要是实验系统介绍,包括实验系统的设计理念、实验基本模块介绍、实验模块组合方式及系统组成等。希望读者通过本章的阅读了解实验系统概貌,以便根据自己的情况选择合适的实验组合,最好地完成技术训练。第 2 章是 TMS320C54x 的 DSP 芯片编译环境 CCS 使用介绍,帮助读者了解 DSP 编程的基本工具,为以后的实验打基础。第 3 章介绍 TMS320C54x 软硬件设计的基本原理,包括结构原理、存储器和程序设计。第 4 章为基础系列实验,共 10 个实验,主要涉及 TMS320C54x 系列芯片的基本设计难点,包括硬件和软件两大部分。通过这个系列的实验,读者会对 TMS320C54x 系列芯片的基本功能及设计应用要点有一个全面的了解,为以后的系统设计打基础。第 5 章是简单系统实验。本章从信息获取、信号处理、系统构成和人机交互四个方面入手,利用基本实验模块建立简单的实验系统,使读者掌握利用 DSP 建立系统过程中的主要技术问题。第 6 章是复杂系统实验,针对具有相对复杂功能,或多 CPU 的系统要求,建立功能完善的实用系统,让读者掌握 DSP 在复杂系统中可能出现的主要技术方法,为独立设计复杂控制系统打下技术基础。第 7 章为问题解答及参考程序。本书中的每个实验之后给出了一些基本概念、技术难点、编程等训练项目,本章给出简单答案及例程。附录列出了 TMS320C5402 芯片的主要技术资料 and 实验中所使用的其他外围芯片的主要技术资料来源,

以便读者对照器件的说明文档,更好地理解器件的性能。

在本书的实验设计和程序编写过程中,研究生团队起到非常重要的作用。王鹏、付湘、方智文、李骅、汪洋和韩宇等,都参与了实验设计研发工作。从实验设计、电路研制到软件开发,他们都倾注了全部的热情和努力,在这里我对他们表示深深的谢意。

读者如果对我们的模块化 DSP 实验系统有兴趣,请与作者联系。联系方式如下:

电 话: 010-82317884(0)

Email: julyanna@vip.sina.com

通信地址: 北京航空航天大学、电工电子中心

邮 编: 100083

作者

2005 年 10 月于北京航空航天大学

目 录

第 1 章 实验系统

1.1 概 述	1
1.2 核心模块	3
1.3 外围模块	4
1.4 基础实验	6
1.5 信息获取与简单系统实验	7
1.6 复杂系统实验	9

第 2 章 集成开发环境 CCS 简介

2.1 概 述	10
2.2 CCS 安装和设置	10
2.2.1 CCS 软件安装	10
2.2.2 仿真器驱动程序安装及配置	13
2.3 CCS 仿真工作模式	20
2.3.1 CCS 仿真图形界面介绍	20
2.3.2 CCS 仿真模式操作步骤	21
2.3.3 建立工程文件	22
2.3.4 工程中添加/删除文件	22
2.3.5 编辑源程序	23
2.3.6 工具栏和快捷键	23
2.3.7 查找替换文字	23
2.3.8 构建工程	23
2.4 CCS 仿真模式调试操作	24
2.4.1 调试的一般步骤	24
2.4.2 程序执行控制	25
2.4.3 内存、寄存器和变量操作	28
2.4.4 输入/输出文件操作	31
2.4.5 图形窗口分析显示数据	34

2.4.6 评估代码性能	38
2.4.7 内存映射	40
2.5 CCS 开发 DSP 应用程序	41
2.6 CCS 在线工作模式	43

第 3 章 C54x 软硬件设计原理

3.1 概 述	44
3.2 C5402 硬件结构	44
3.2.1 中央处理单元(CPU)	45
3.2.2 存储空间	49
3.2.3 中断系统	52
3.2.4 片上外设	58
3.3 C54x 软件设计	59
3.3.1 汇编程序设计	59
3.3.2 C 语言程序设计	66
3.3.3 芯片支持库(CSL)	71
3.3.4 混合编程	74

第 4 章 基础实验

4.1 概 述	82
4.2 实验 1 软件认识实验	82
4.3 实验 2 硬件认识实验	92
4.4 实验 3 时钟与定时器实验	97
4.5 实验 4 存储器扩展实验	103
4.6 实验 5 DMA 实验	111
4.7 实验 6 键盘模块实验	119
4.8 实验 7 McBSP 实验	123
4.9 实验 8 LCD 显示实验	134
4.10 实验 9 FFT 算法实验	145
4.11 实验 10 FIR 算法实验	159

第 5 章 信息获取与简单系统实验

5.1 概 述	168
5.2 简单系统构成	169

5.3	实验 11	温度检测实验	174
5.4	实验 12	振动信号检测实验	186
5.5	实验 13	应力检测实验	193
5.6	实验 14	磁电检测实验	201
5.7	实验 15	自动温度检测系统	210
5.8	实验 16	自动振动信号检测系统	213
5.9	实验 17	自动应力检测系统	216
5.10	实验 18	霍尔磁电检测系统	219
第 6 章 复杂系统实验			
6.1	概 述		222
6.2	实验 19	超声目标跟踪系统实验	222
6.3	实验 20	智能组合检测系统实验	235
第 7 章 习题答案及参考程序			
7.1	习题解答		239
7.1.1	“基础实验”习题解答		239
7.1.2	“信息获取与简单系统实验”习题解答		243
7.1.3	“复杂系统实验”习题解答		245
7.2	参考程序		245
附录 A TMS320C5402 片上外设寄存器			
A.1	DMA 寄存器		276
A.2	EBUS 寄存器		285
A.3	HPI 寄存器		287
A.4	McBSP 寄存器		288
A.5	PLL 寄存器(CLKMD)		301
A.6	定时器寄存器		302
附录 B TMS320C5402 引脚功能			
附录 C TMS320C5402 存储器映射寄存器			

附录 D TMS320C54x 汇编指令

D.1 算术指令	317
D.2 控制指令	325
D.3 输入/输出指令	335
D.4 装入/存储指令	336
D.5 逻辑指令	338
D.6 长字指令	342
D.7 转移指令	344
D.8 并行指令	347

参考文献

第 1 章 实验系统

1.1 概 述

数字信号处理技术包括硬件和软件实现两大部分。数字信号处理器(DSP)是数字信号处理技术实现的重要工具。由于它的高速处理性能使得许多以前难以实现的复杂数字信号处理算法得以应用,许多必须由模拟电路完成的信号调理和处理电路可以用软件实现,因而 DSP 为信息处理技术的发展提供了广阔的应用空间。

DSP 虽然也是集成了 CPU 及相应外设的单片芯片,但它与普通的单片机相比还是有许多不同之处,主要是超强处理速度和高处理精度,便于满足那些图像和语音处理中的大数据量要求及模式识别、神经网络等复杂算法的实时实现。而普通单片机由于处理速度及精度的限制难以完成这些工作。正是由于 DSP 追求的是计算速度和运算精度,所以它的特点包括了许多单周期复杂运算指令。而对于一些管理程序,例如键盘程序、显示程序等普通单片机擅长的处理,DSP 并没有特别的优势。为了节省硬件资源及制造成本,在运算空间和时间允许的情况下,也可使用单片 DSP 同时完成信号处理和系统管理功能。TI(美国德州仪器公司)生产的 OMAP 芯片,集成了一个 TMS320C55 的核和一个 ARM9 的单片机核,这样的组合既有 DSP 长于复杂计算的功能,又有单片机易于管理的特点,更适合于便携式仪器设备的使用。

DSP 技术属于应用技术,实践是学习此类应用技术的必经途径,而实验方法和实验过程的设计和实施则是检验实践学习效果的重要手段。

人们通常是通过理论假设及实践验证,或者归纳各种实验结果两种途径发现客观规律,然后再通过设计实验,验证这些规律。这也是人们进行科学研究的基本方法。因此,高校学生通过实验课程进行科学方法的训练是培养学生能力的重要环节。

以往高校实验课程设计基本上表现为理论验证模式,或者称为验证型实验。这类实验强调的是定理和定律所描述现象的物理再现,实验大多是按照理论课讲过的实验过程,按部就班地完成实验,以至于实验的每一步结果都是可以预期的,其实验框架如图 1-1 所示。学生按照实验步骤的要求准确地重复实验结果。毋庸置疑,通过这类实验,学生可以加深对所学理论的进一步认识。但是这个过程中,学生无法参与实验设计,只能通过规定的实验步骤,一步步观察设定的实验现象。至于实验方法选择,实验设计计算,实验环境设置等,学生都不可能参与。因此,虽然这种实验对于加深理论课程的理解是有帮助的,但是,对于学生的实验主动性

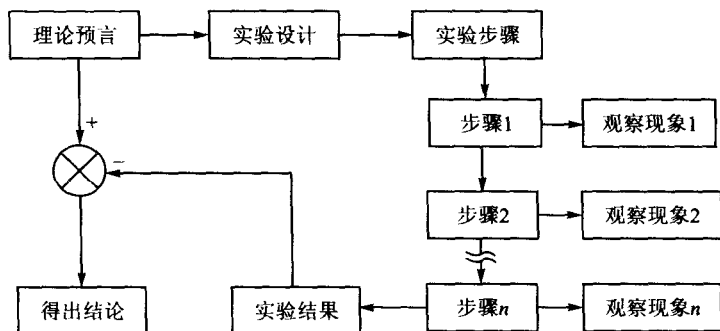


图 1-1 验证型实验框架

调动及创造性发挥就表现出明显的局限性。

对于大学生和研究生来说,通过实验掌握工程设计的基本方法和理论研究的普遍特点是十分必要的,尤其是系统设计技能更是必不可少。因此,利用理论知识,设计实际应用系统,使其具有可重复性、可变通性、可持续发展的特点,是当前大学生和研究生实验教学体系面临的迫在眉睫的任务。对于工科学生来说这个环节应该是“看家本领”。这类实验强调的是理论知识的应用,包括设计原理、设计方法、设计过程、设计评估。与验证型实验不同,设计型实验遵循发现问题、解决问题的一般框架。实验强调的是学生的参与感,充分调动学生的学习潜能。为了兼顾理论技术统一性和实践创造个体化的特点,根据 DSP 技术和应用的特点,我们开发了一套完整的模块化 DSP 实验系统平台,图 1-2 所示为应用系统设计实验框架。系统针对 DSP 技术的特点,设计了模块化、积木式、宽平台、可扩展、易更新、多构架实验平台。首先,给定学生设计任务,然后,让学生对任务进行分析,将一个任务规约为若干个易于解决的子任务。每一个子任务对应不同的实验模块,再分别按照设计功能要求将任务划分为基础实验,然后,学生根据学过的理论知识,选择所需实验,完成硬件和软件的设计。完成所有子任务后,整个设计任务实验便全部完成。

DSP 应用系统实验按照一般 DSP 应用系统的功能特点,将复杂的系统解构为简单系统,再将简单系统解构为基本模块,对基本应用模块采用设置故障点的方法,激励学生利用所学理论分析问题、解决问题,从而达到理论与实践结合的目的。同时,学生又可以在基本模块的基础上,搭建自己感兴趣的应用系统,充分发挥学生的创造性,并了解不同基本电路连接中需要特别考虑的问题,最终,达到学以致用目的。

DSP 技术通常包括硬件与软件两大部分。硬件设计从围绕核心板的最小应用系统搭建到外围扩展电路调试,直至应用系统设计等 DSP 系统的硬件关键技术都包含在实验内容中,并给出常用硬件库。软件的设计思想及代码和时间效率的问题是 DSP 技术的特殊应用问题,所以,除硬件设计外,DSP 应用系统实验也包括了软件设计内容,分为驱动程序设计及应用程序设计实验,并给出软件程序库。本书中给出的所有程序都经过了实验验证,所有的软件都通

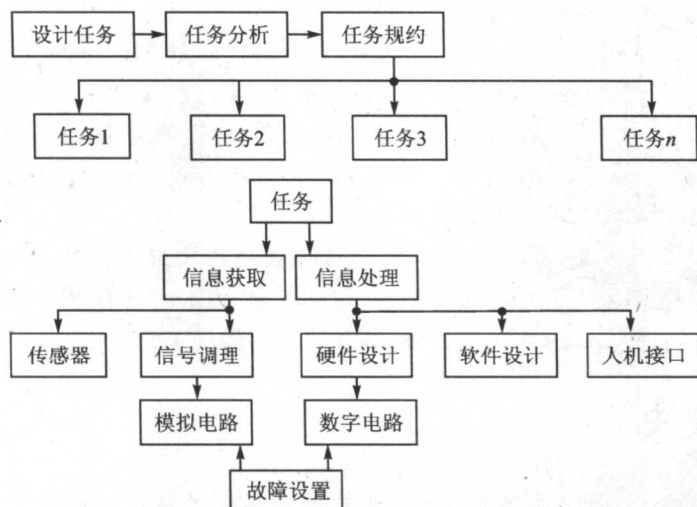


图 1-2 应用系统设计实验框架

过硬件系统的运行,并给出时间及代码效率(每个软件的运行时间及占用代码空间)。

TMS320C54x 系列实验构架如图 1-3 所示。根据所选芯片的用途和功能分成若干基本模块实验。这些基本模块实验包括软件和硬件两部分,以及片上外设和片外外设的驱动和接口模块。简单系统实验由 TMS320C5402 构成单 DSP 简单应用系统,这些系统可以由学生自由选择搭建,完成一套完整功能。复杂系统实验分为两类:一类是强调节省系统资源的情况下,兼顾信号处理算法和系统管理算法的系统实验;另一类是多 CPU 联合组成复杂系统,通过 DSP 自身的外部接口构成并行处理系统。

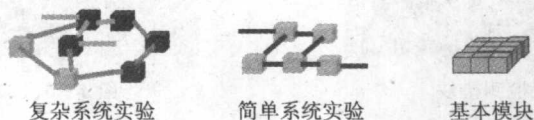


图 1-3 TMS320C54x 系列实验构架

1.2 核心模块

核心模块是系列实验的关键模块,它由选定的 DSP 芯片及其基本配置组成。同时,根据这款芯片的特点设计了核心板的故障点,这些故障点也是 DSP 硬件设计的主要知识点。只要掌握了这些主要知识点,DSP 的硬件设计问题就可以基本解决了。

图 1-4 为 TMS320C54x (简称 C54x) 核心模块的外观图。板上包括一片

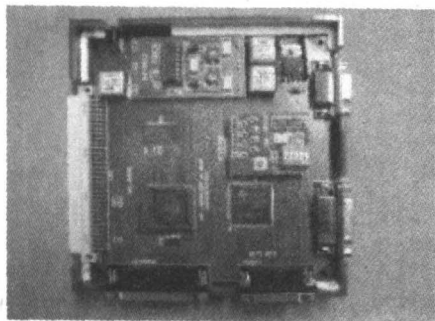


图 1-4 C5402 核心模块

TMS320VC5402(简称 C5402), 10 MHz 晶振, 可选状态的时钟模式 CLKMD0~3, 64 KB RAM, 64 KB ROM, 以及片上外设 McBSP0、McBSP1、HPI 和仿真器 JTAG 接口。故障点设置为 EMU0、EMU1 和 NMI 端口的连接方式。它实际上是 C5402 的最小应用系统。

这个系统硬件中最重要的几个部分为: 电源、晶振、复位和时钟 PLL。只有这几部分的工作状态正确, 芯片才可以保证正常工作。

1.3 外围模块

外围模块包括 C54x 可以连接的外设。根据核心模块的特点及构成常用应用系统的要求, 设计了 6 个信息获取模块, 包括温度检测、加速度检测、应力检测、磁电检测(非接触电压和电流检测两块)和 A/D 转换等, 如图 1-5~图 1-10 所示。

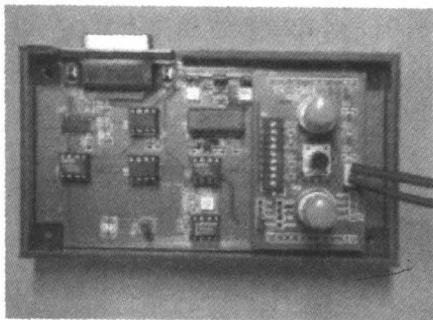


图 1-5 温度检测模块

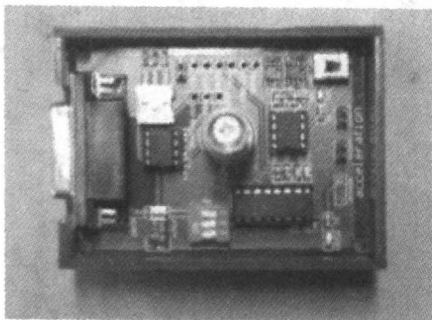


图 1-6 加速度检测模块

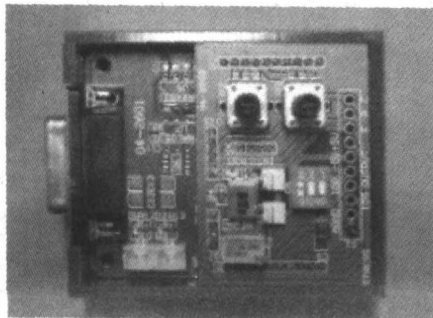


图 1-7 应力检测模块

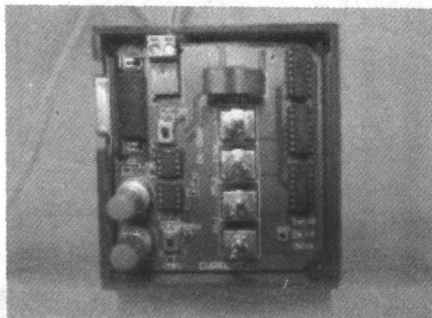


图 1-8 磁电检测模块(电流板)

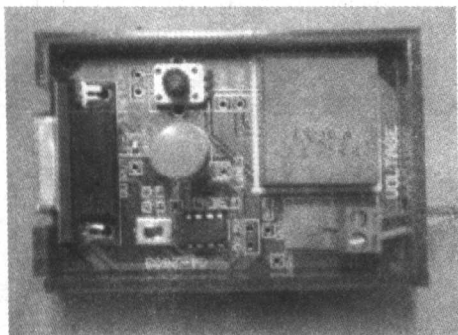


图 1-9 磁电检测模块(电压板)

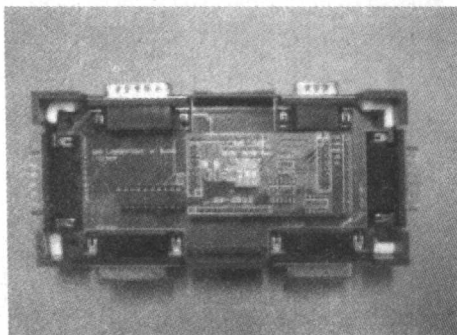


图 1-10 A/D 转换模块

设计了 2 个控制对象模块,包括超声发射和步进电机驱动,如图 1-11 和图 1-12 所示。
设计了 2 个人机界面模块,包括键盘输入和液晶显示,如图 1-13 和图 1-14 所示。

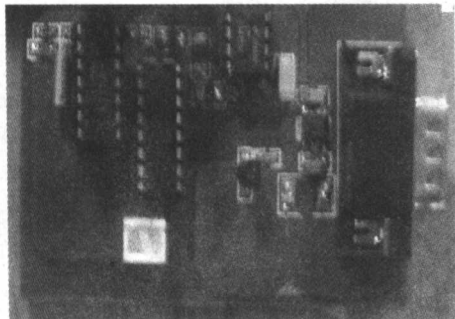


图 1-11 超声发射模块

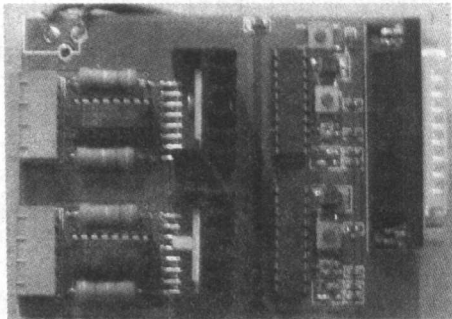


图 1-12 步进电机驱动模块

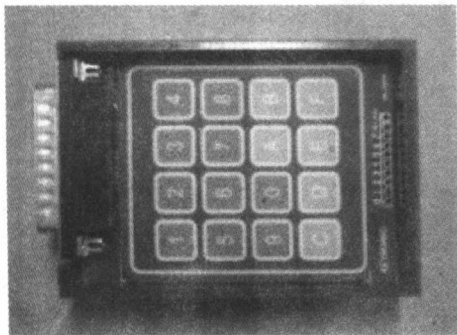


图 1-13 键盘输入模块

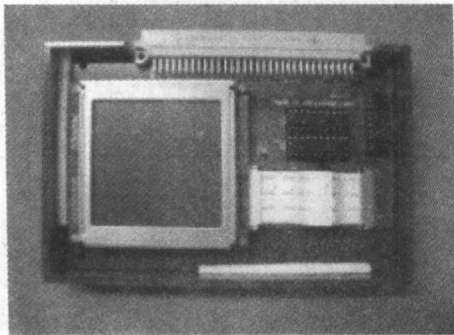


图 1-14 液晶显示模块

这些模块可以作为核心模块的外设构成不同的 DSP 应用系统。它们也设置了相应的故障点,以便于初学者掌握从信息获取、信息处理到信息利用整个过程中,实际系统必须注意的知识点。这些内容与 DSP 应用都有着直接的关联性,也是学以致用必经途径。

1.4 基础实验

基础实验主要是以核心模块为单元的实验环节。对于初学者来说,这些实验不仅是掌握所学书本知识的训练过程,也是以后建立系统观念的重要环节。基础实验主要强调所选择模块的设计难点、调试要点。对于 DSP 的学习主要是核心模块,硬件是故障点恢复方法、最小系统的设计,包括仿真器的使用、调试步骤及方法的掌握。软件是驱动程序的编写和应用程序的编写,包括 CCS 的使用、程序代码的时间及空间效率测试。

基础实验主要分类为硬件和软件两大类。硬件分为核心模块的最小应用系统设计,最小应用系统又分为电源、晶振、复位、片外 RAM、ROM 扩展等部分的元器件选择及电路调试方法训练、以及芯片的特殊问题的解决和故障的排除等基本 DSP 电路设计中需注意的问题。基础实验的硬件系统基础实验流程如图 1-15 所示。首先画出最小系统设计原理图,然后,根据最小系统工作的先后顺序分步测试系统的主要部分工作状态,例如,电源调试需要了解电源芯片选择的基本要求以及可能出现的故障点在哪里,如何根据所设定故障点检测模型判断电路故障。然后,依次调试晶振和复位电路。这几部分工作正常后,通过仿真器和核心板的 JTAG 端口测试系统的存储空间,这里主要注意存储器测试方法。实验结果检查时,可由指导教师人为设定故障,让学生根据上面调试测试系统学到的知识,排查故障,以使掌握最小应用系统设计调试的基本问题,从而灵活应用课堂知识。最后,系统全面测试。

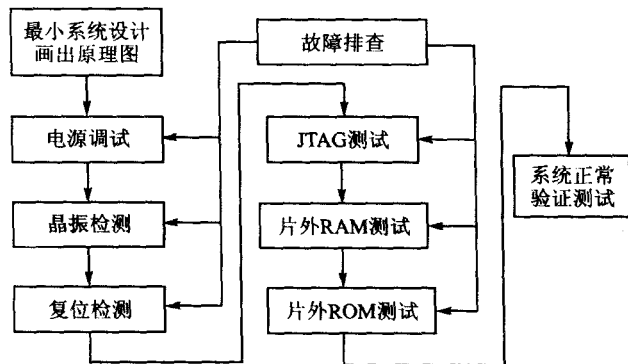


图 1-15 硬件系统基础实验流程

软件系统基础实验分为 DSP 的软件调试工具 CCS 的使用方法、DSP 的汇编程序设计调试方法和 DSP 的 C 语言程序设计调试方法,其中包括 DSP 的 C 语言函数库的调用规范。在

基础实验中,软件部分主要涉及核心模块主要功能的驱动程序编写及调试,最小系统硬件功能测试程序的编写及调试。另外,包括一些简单常用的信号处理程序的编写及调试,例如,FFT、FIR 的设计及调试等。软件系统基础实验流程如图 1-16 所示。

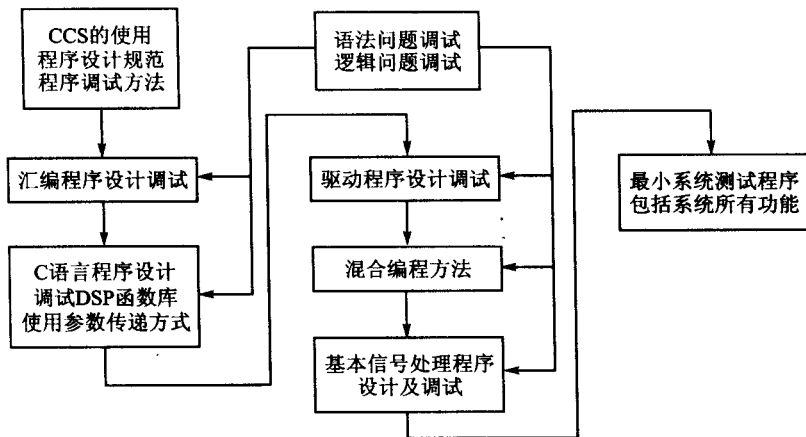


图 1-16 软件系统基础实验流程

读者完成基础实验后,可以掌握 DSP 硬件及软件设计的基本步骤和方法。

1.5 信息获取与简单系统实验

信息获取实验主要是将温度、应力及加速度等非电物理量,通过相应的外围信息获取模块转换为适合 C54x 处理的电信号,以及经过霍尔传感器隔离的强电信号转换为便于 C54x 处理的弱电信号的实验。这些实验涉及对于不同性质的物理量转换为电信号的基本调理电路的设计方法,也为简单系统实验提供前端检测模块。

简单系统实验主要是针对以 C54x 核心模块为主要器件的简单应用系统。例如,用 C54x 核心模块构建一个便携式检测仪器,可以利用任意外围检测模块获取需要的信息,再通过 A/D 模块将模拟信号转换为数字信号。这一部分需要编写相应的 A/D 驱动程序,然后,对所采集的信号进行数字信号处理,例如,滤波、FFT 等,得到需要的结果,然后将结果传送到外部 PC,或者自带人机界面,例如,键盘输入、液晶显示等,直接将检测结果显示出来。如图 1-17 所示,一个由核心模块、外围模块和人机接口模块构成的简单系统,它是基于 C54x DSP 的便携式应用系统基本框架。

图 1-18~图 1-21 分别为简单系统实验构成图,它们分别针对温度、应力、振动信号及霍尔电压电流隔离检测等简单系统实验。

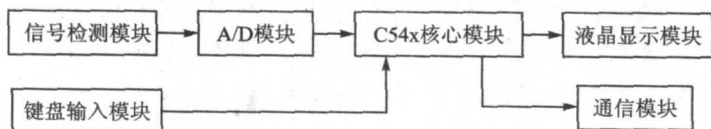


图 1-17 基于 C54x 核心模块的简单系统实验框图

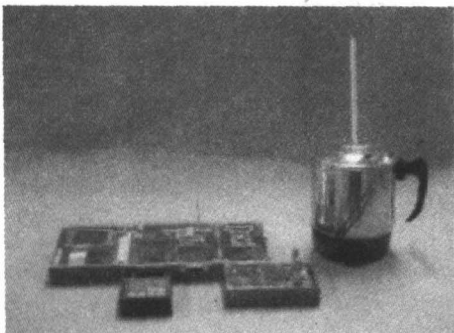


图 1-18 自动温度检测系统

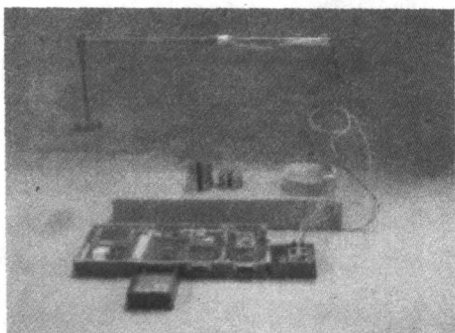


图 1-19 自动应力检测系统

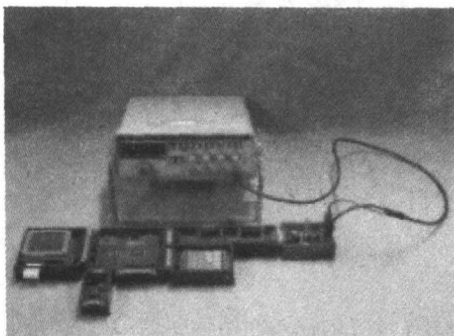


图 1-20 自动振动信号检测系统

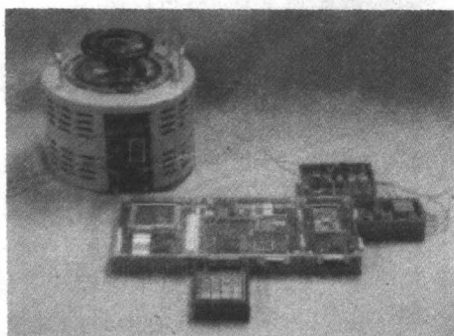


图 1-21 霍尔电压电流隔离检测系统

由于 C54x 芯片特点是低功耗,所以,它非常适合于便携式仪器。现在比较流行的设计思想是双 CPU 的便携式仪器,DSP 仅仅作作为信号处理器来用,另一 CPU 采用单片机处理管理程序。但是,对于产品设计来说,成本的核算关系到产品的整个性能价格比,在 DSP 资源可以充分利用的情况下,单个 DSP 就可以实现的系统,可以大大降低系统硬件成本,这样的设计思想也是工程师们值得注意的。所以,尽管 C54x 系列以通信信号处理为主,但是,对它的外设功能的充分利用也是我们关注的重点,包括它的通用 I/O 的扩展方式。