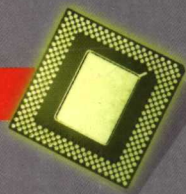


嵌入式系统开发技术丛书

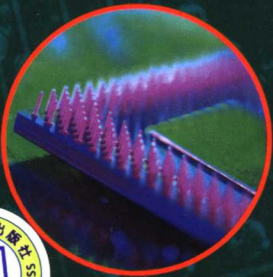
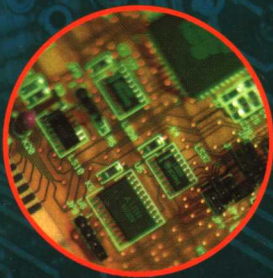


DSP

应用开发

从实践到提高

杨银堂 马 峰 刘 毅 编著



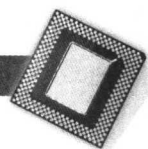
- 从工程应用的角度出发,介绍了DSP应用系统的开发流程和软硬件设计方法
- 全书围绕DSP功能模块和系统开发实例进行展开,融入了作者多年的开发经验,便于读者学习和借鉴,针对性强、可读性好
- 本书既可作为数字信号处理开发人员参考用书,也可作为大中专院校电子技术、自动化及其他相关专业的学习参考资料



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

嵌入式系统开发技术丛书



DSP

应用开发

从实践到提高

杨银堂 马 峰 刘 毅 编著



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

内 容 简 介

本书介绍了 DSP 基本概念和原理,通过实例讲解了 DSP 键盘的开发、DSP 与 A/D 转换器接口及程序设计、DSP 的中断设计、DSP 与串行 EEPROM 的接口及程序设计、DSP 实现 SPI 通信、DSP 实现 SCI 通信、DSP 图形显示与字库开发、DSP 数字 PID 控制系统开发、DSP 数据采集与控制系统开发等内容。书中实例主要结合 TMS320F240 芯片,包括了系统开发流程和软硬件设计方法,个别实例参考了作者 SAR 实时成像处理技术研究中的设计内容。

本书可作为数字信号处理开发人员的工作参考书,同时也可作为大中专院校电子技术、自动化、计算机科学及其他相关专业的学习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

DSP应用开发从实践到提高/杨银堂,马峰,刘毅编著.北京:中国电力出版社,2007.6

(嵌入式系统开发技术丛书)

ISBN 978-7-5083-5365-4

I. D… II. ①杨…②马…③刘… III. 数字信号-信号处理 IV. TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第058710号

责任编辑:王杏芸

责任校对:崔燕菊

责任印制:李文志

书 名: DSP 应用开发从实践到提高

编 著: 杨银堂 马峰 刘毅

出版发行: 中国电力出版社

地址: 北京市三里河路6号 邮政编码: 100044

电话: (010) 68362602 传真: (010) 68316497

印 刷: 航远印刷有限公司

开本尺寸: 185×260 印 张: 12.5 字 数: 299 千字

书 号: ISBN 978-7-5083-5365-4

版 次: 2007 年 7 月北京第 1 版

印 次: 2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 0001—4000

定 价: 22.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



丛书序

这是一个令人激动的时代，嵌入式系统的应用深入到了整个社会。环顾四周，总会发现嵌入式系统正在深刻地改变着我们的生活。十年前，一个数字寻呼机就能彰显用户的身份，而如今，手机已经成为我们生活的必备品，不仅能打电话和发短信，还能拍照片、玩游戏、看电影；十年前，我们得冲洗胶卷后才能看到拍摄的相片，发现拍摄的失误时往往已经为时已晚，十年后的今天，数码相机已经深入到每个家庭，它不仅可以让咱们马上看见拍摄的照片，而且不使用胶卷，数字信息也更易于传递。这一切的变化，都得益于嵌入式系统发展所起的举足轻重的作用。

► 关于嵌入式系统

嵌入式系统是一种专用的计算机系统，它根据应用要求，把相应的计算机直接嵌入到应用系统中。嵌入式系统涉及到了当前信息技术最新成果的方方面面，融合了计算机软/硬件技术、通信技术、半导体微电子技术等，设计与制造相当不易。嵌入式系统的重要性与日俱增，而这方面的人才却十分紧缺。

► 丛书的内容

本丛书包括 ARM 系统开发、ASIC 芯片设计、嵌入式系统无线互联、FPGA 应用开发、SoC 系统开发和 DSP 应用开发 6 个专题，共分 6 本书。每本书以一个或几个案例为基础展开，并提供了大量的源代码，便于读者学习和使用。

► 丛书特点

在编写本丛书的过程中，力求以简明扼要的语言，重点突出地描述清楚基本概念和开发流程。在本丛书的内容中，融入了作者以往的研发经验和科研工作实例。通过案例分析与设计，逐步完成某个完整嵌入式系统的设计。案例剖析不仅能够提高读者的阅读兴趣，克服对复杂问题的恐惧心理，而且能够使设计思想与设计过程更容易理解，帮助读者尽快上手训练。

► 作者优势

我们组织了在嵌入式领域具有长期开发经验的研究人员与工程师编写了本套丛书，他们都有丰富的电子产品研发编程经验，在专业期刊上发表过很多学术论文，在实际开发过程中积累了丰富的项目实践经验，相信他们提供的应用方法和技巧能有效地帮助读者提高实际操作能力。

► 读者对象

本丛书可作为有关科学研究与产品开发人员的工作学习参考书，也可作为高等院校相关专业本科生与研究生的教学参考书。

► 其他声明

尽管作者做了很大努力，但限于水平和时间，错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正，我们的联系方式是 liu_chi@cepp.com.cn。同时希望各行业从事嵌入式系统及相关技术工作的专家、学者、工程技术人员借此机会积极参与图书的选题开发和编写工作，将您在工作实践中获得的丰富经验总结出来，共同推进我国嵌入式系统技术的发展！

丛书编委会

2007年5月

前 言

微电子技术和计算机技术的飞速发展带来了信息技术的革命，海量的数据处理和信息传输任务依赖于高效的信息处理方法，这使得数字信号处理技术的发展成为一门关键的技术学科。而数字信号处理器（DSP）是实现数字信号处理算法的有效途径，掌握 DSP 的使用方法，学习 DSP 的典型设计显得很有必要。

近十几年来，DSP 芯片的性能得到了迅速提高，DSP 芯片广泛应用于各个技术领域，随着信息处理要求的不断提高，DSP 的应用范围继续保持扩大的趋势。从经典数字信号处理到现代数字信号处理，从通信、电子系统到自动控制、模式识别系统，从雷达、军事、航空航天到医疗、电力、家用电器等各个领域，DSP 装置都已经成为重要的和核心的器件。

目前，关于数字信号处理的书籍大都着重阐述有关 DSP 的基础理论，具体的实现方法篇幅略少。本书撰写时，希望从实例出发，使读者在了解 DSP 基本原理的基础上，通过不同实例，从易到难，逐步地掌握 DSP 系统开发的步骤，从而能够开发出较为完整和复杂的系统。此外，本书在系统硬件设计阐述的基础上，还介绍了 DSP 软件编程的一些方法和技巧。

全书共分 11 章，内容分为基础篇和应用篇两部分。

其中基础篇包括第 1 章和第 2 章，介绍数字信号处理及 DSP 的基本概念和原理。第 1 章介绍了 DSP 系统的构成、设计方法以及 DSP 系统的开发流程和开发工具。第 2 章介绍了 DSP 芯片的基本构成和 TI 公司的 DSP 芯片特点。

应用篇包括第 3~11 章，以 DSP 的开发实例为基础，介绍了 DSP 系统不同接口的开发过程和方法，并给出了综合实例。

第 3 章介绍了 DSP 键盘的开发实例，分别介绍了键盘的基本概念、保护措施、工作方式，键盘电路设计和软件的实现，以及复杂键盘的设计方法。

第 4 章介绍了 DSP 的 A/D 转换设计实例，分别介绍了 A/D 转换的基本概念、工作原理，以及 A/D 转换器件的选择、转换接口电路设计和程序设计。

第 5 章介绍了 DSP 中断设计实例，分别介绍了中断的基础知识，中断响应的一般过程，以及中断优先级及中断嵌套。

第 6 章介绍了 DSP 串行 EEPROM 设计实例，分别介绍了 EEPROM 的基础知识，数据存储方案设计，EEPROM 软件设计，以及 EEPROM 的使用经验。

第 7 章介绍了 DSP 的 SPI 通信设计实例，分别介绍了 SPI 的工作原理，DSP 之间的 SPI 通信设计，以及扩展 EEPROM、D/A 和 LED 接口设计。

第 8 章介绍了 DSP 的 SCI 通信设计实例，分别介绍了 SCI 的工作原理，SCI 通信的硬件设计和软件设计。

第9章介绍了DSP图形显示与字库开发实例，分别介绍了图形显示系统方案设计，图形显示系统软件设计，以及应用于头盔、汽车的显示系统。

第10章介绍了DSP数字PID控制系统开发实例，分别介绍了PID控制原理，DSP对电动机PID控制的硬件设计和软件设计，以及其他几种数字PID控制。

第11章介绍了数据采集与控制系统的开发实例，分别介绍了总体方案设计，系统硬件设计与调试，以及系统软件设计与调试。

本书结合DSP开发项目，参考了DSP的相关书籍和工程实例。希望对读者从事DSP项目开发工作有所帮助，限于作者水平，书中不足敬请谅解和批评指正。

本书由杨银堂、马峰、刘毅编写，此外，付俊兴、董刚等在资料收集、整理和技术支持方面做了大量工作。感谢张学志、池雅庆博士进行的审校工作。同时，撰写过程中得到中国电力出版社的大力支持和家人的充分理解，书中许多内容取材得到了同事们的大力协助，在这一并表示感谢。

作 者

2007年3月

目 录

丛书序

前 言

第 1 章 概论	1
1.1 数字信号处理概述	1
1.1.1 数字信号处理的发展	2
1.1.2 数字信号处理的实现	3
1.1.3 数字信号处理的主要内容	4
1.2 DSP 系统的构成和设计方法	4
1.2.1 DSP 系统的构成	4
1.2.2 DSP 系统的设计方法	5
1.3 DSP 系统的开发流程和开发工具	6
1.3.1 DSP 系统的开发流程	6
1.3.2 DSP 系统的开发工具	7
1.4 本章小结	8
第 2 章 DSP 芯片	9
2.1 DSP 芯片概述	9
2.1.1 DSP 芯片的发展历程	9
2.1.2 DSP 芯片的特点和性能指标	11
2.1.3 DSP 芯片的类别和使用选择	13
2.1.4 DSP 芯片的应用和开发前景	15
2.2 TI 公司的 DSP 芯片	16
2.2.1 TI 公司的 DSP 芯片的发展	16
2.2.2 TMS320C2000 系列简介	18
2.2.3 TMS320C5000 系列简介	19
2.2.4 TMS320C6000 系列简介	20
2.2.5 TMS320 族其他 DSP 芯片简介	21
2.3 本章小结	22
第 3 章 DSP 键盘设计实例	23
3.1 键盘系统设计基础	23
3.1.1 基本概念	23
3.1.2 按键介绍	24
3.1.3 设计注意事项	24
3.1.4 键盘工作方式	25
3.2 键盘电路及软件设计	26
3.2.1 独立式键盘	26
3.2.2 矩阵式键盘	28
3.2.3 定时—计数扫描方式的键盘处理方法	34
3.3 复杂键盘设计介绍	36

3.3.1	双功能及多功能键盘设计	36
3.3.2	功能开关及拨码盘接口设计	37
3.4	本章小结	37
第4章	DSP 的 A/D 转换设计实例	38
4.1	A/D 转换设计基础	38
4.1.1	A/D 转换的基本概念	38
4.1.2	A/D 转换的工作原理	40
4.2	A/D 转换设计实例	44
4.2.1	A/D 转换器件的选择	44
4.2.2	A/D 转换接口设计应考虑的问题	47
4.2.3	A/D 转换接口电路设计	48
4.2.4	A/D 转换程序设计	50
4.3	本章小结	56
第5章	DSP 中断设计实例	57
5.1	中断的基础知识	57
5.1.1	中断的基本概念	57
5.1.2	中断的分类	58
5.1.3	中断的应用特点	60
5.2	中断响应的一般过程	60
5.2.1	CPU 响应中断的条件	60
5.2.2	中断响应的一般过程	62
5.2.3	TMS320F240 的中断程序	66
5.3	中断优先级及中断嵌套	71
5.3.1	中断优先级	71
5.3.2	中断嵌套	71
5.4	本章小结	72
第6章	DSP 串行 EEPROM 设计实例	73
6.1	EEPROM 基础知识	73
6.1.1	EEPROM 工作原理	73
6.1.2	EEPROM 主要类型	74
6.1.3	EEPROM 工作模式	75
6.2	数据存储方案设计	75
6.2.1	EEPROM 器件选型	75
6.2.2	存储器的配置	76
6.2.3	接口电路设计	78
6.3	EEPROM 软件设计	79
6.3.1	AT25256 指令集代码实现	80
6.3.2	数据写入方式设计	81
6.3.3	数据读出方式设计	82
6.4	EEPROM 使用的几点经验	83
6.4.1	延长 EEPROM 使用寿命的几种方法	83
6.4.2	EEPROM 数据存储地址确认的方法	84
6.5	本章小结	85

第 7 章 DSP 的 SPI 通信设计实例	86
7.1 SPI 工作原理	87
7.1.1 串行外设接口的结构	87
7.1.2 SPI 操作	87
7.1.3 串行外设接口中断	89
7.1.4 数据结构	90
7.1.5 SPI 波特率和时钟模式	90
7.1.6 SPI 的复位和初始化	91
7.2 DSP 之间通过 SPI 通信设计	92
7.2.1 硬件接口设计	92
7.2.2 软件设计	93
7.3 扩展 EEPROM	94
7.3.1 硬件接口设计	94
7.3.2 软件设计	94
7.4 与 D/A 接口设计	97
7.4.1 硬件接口设计	97
7.4.2 软件设计	97
7.5 与 LED 驱动器接口设计	97
7.5.1 硬件接口设计	98
7.5.2 软件设计	100
7.6 本章小结	101
第 8 章 DSP 的 SCI 通信设计实例	102
8.1 SCI 工作原理	102
8.1.1 串行通信接口的结构	103
8.1.2 串行通信接口工作过程	104
8.1.3 可编程的数据格式	105
8.1.4 串行通信中断	106
8.1.5 SCI 波特率的计算	106
8.2 SCI 通信硬件设计	106
8.2.1 接口方法选择	106
8.2.2 接口电路设计	108
8.3 SCI 通信软件设计	110
8.3.1 通信协议	110
8.3.2 PC 上位机软件的设计	110
8.3.3 DSP 下位机串行通信软件设计	111
8.4 本章小结	118
第 9 章 DSP 图形显示与字库开发实例	119
9.1 图形显示系统方案设计	119
9.1.1 显示器件选型	119
9.1.2 驱动电路设计基础	123
9.1.3 控制电路设计基础	125
9.1.4 典型接口电路设计	127
9.2 图形显示系统软件设计	128

9.2.1	VGS12864E 的软件特性	128
9.2.2	驱动程序代码实现	130
9.2.3	应用程序代码实现	132
9.3	应用于头盔、汽车的显示系统介绍	141
9.4	本章小结	142
第 10 章	DSP 数字 PID 控制系统的开发	143
10.1	PID 控制基本原理	143
10.1.1	模拟 PID 控制原理	144
10.1.2	数字 PID 控制原理	145
10.2	DSP 对电动机 PID 控制的硬件设计	147
10.2.1	基于 TMS320F240 的 PID 控制器的原理	148
10.2.2	数字 PID 控制器的 DSP 电路设计	148
10.3	数字 PID 控制软件设计	149
10.3.1	一般数字 PID 控制的例程	149
10.3.2	TMS320F240 和 AD7237 构成 PID 控制器程序设计	152
10.4	其他几种数字 PID 控制	157
10.4.1	对积分作用的改进	157
10.4.2	对微分作用的改进	158
10.5	本章小结	159
第 11 章	数据采集与控制系统的开发	160
11.1	总体方案设计	160
11.1.1	系统功能的描述	161
11.1.2	系统资源的分配	161
11.2	硬件设计与调试	162
11.2.1	DSP 核心模块设计	162
11.2.2	数据采集模块设计	164
11.2.3	数据存储模块设计	165
11.2.4	信息显示模块设计	165
11.2.5	发声报警模块设计	166
11.2.6	驱动控制模块设计	166
11.2.7	数据通信模块设计	167
11.2.8	硬件设计与调试的注意事项	167
11.3	软件设计与调试	169
11.3.1	系统初始化	170
11.3.2	数据采集	175
11.3.3	数据存储	177
11.3.4	信息显示	180
11.3.5	发声报警	181
11.3.6	驱动控制	182
11.3.7	数据通信	183
11.3.8	系统计时和主程序	185
11.3.9	软件设计与调试的注意事项	186
11.4	本章小结	188
参考文献		189

概 论

计算机技术的发展将我们带入了一个数字化的时代，而数字信号处理技术是这个时代的核心技术之一，数字信号处理技术的飞速发展极大地提高了人们对现实世界的认知能力和把握能力。

现在，我们的生活对数字信号处理技术的依赖性越来越大，数字信号的产品也不断涌现，像我们每天用的手机、电脑、数字电视等；数字信号处理技术不仅在民用商品中有很多应用，在军用商品中的应用也是层出不穷，像 GPS、数字化指挥作战系统等。由此可见，数字信号处理技术已经影响了我们整个生活的方方面面。

本章首先围绕数字信号处理这一核心概念展开论述，然后介绍了 DSP 系统的一些特点和开发方法。

1.1 数字信号处理概述

在介绍数字信号处理这一概念之前，我们首先要明确信号、系统和信号处理的概念，并弄清它们之间的关系。

信号是信息的载体，而信息是指人类对外界事物的感知。人类在不断地进步，对信息的表达、获取、传递的能力也在不断进步。从远古时代的手势、烽火、击鼓、旗语到今天的电报、电话、广播、传真、电视、多媒体网络，人们对信息的表达越来越准确，获取手段越来越多样，获取方式越来越先进，传递信息也越来越有效、可靠和迅速。

人们对信息的处理是通过对信号的处理来实现的。通常把对信号进行处理的整个设备称为系统。如果对信号的处理是通过模拟部件来进行的，则该设备称为模拟系统；如果对信号的处理是通过数字部件进行的，则该设备称为数字系统。

所谓信号处理是指将信号从一种形式转化成另一种形式，比如将信号从时域转化到频域，从模拟信号转化成数字信号等。信号处理的内容很广泛，这将在以后的篇幅中详细介绍。

由信号、系统和信号处理的概念可以清晰地看到它们之间的关系，即信号分析是基础，系统分析是桥梁，信号处理是手段，系统综合是目的。信号处理作为手段自始至终贯穿信号分析、系统分析、系统综合。假如把世界本身视为一个大系统，那么对这个世界的认识

能力在某种意义上无非是信号获取与分析能力、系统分析与综合能力、信号处理能力的综合。

信息时代正使这个世界发生日新月异的变化,无论是信息获取与分析手段、系统的分析与综合能力,还是信息传递的质量都取得了极大进步。可以说,这一切的变化首先是由信号表达方式的突破引发的。由 1、0 来表达一切信号的表达方式直接导致了 A/D、D/A 的快速发展;另外,信号处理理论与技术的萌芽、诞生和飞速发展是产生这一变化的重要原因。这一新兴学科的理论 and 算法的不断发展,使得许多信号处理运算的运算量极大地降低了,从而也使这些运算的实现成为可能。FFT 算法的提出使 DFT 的实现与应用成为可能便是最好的例子。信号处理理论和技术的发展还促进了数字信号处理器的诞生和发展,另一重要原因是微电子技术的飞速发展。首先,微电子技术的高速发展是数字信号处理器的重要物质基础,同时,数字信号处理器的发展又极大地促进了新的数字信号处理和算法的诞生。因此,从某种视角可以说,数字化技术的发展是数字信号处理理论与算法的发展和数字信号处理器的发展相互促进的结果。

1.1.1 数字信号处理的发展

数字信号处理也称为信号的数字处理。从信号的数字处理技术的研究史来看,可以归纳为几个阶段:

(1) 信号解析手段的研究阶段。

(2) 各种模拟信号的数字化阶段。前两个阶段在时间上处在 17~18 世纪离散数学诞生到 20 世纪 60 年代之间。

(3) 信号数字处理技术本身的发展阶段。这一阶段是以 1965 年 Colley-Tukey 提出快速傅里叶变换算法为标志的,这时数字信号处理技术主要用于图像处理、快速数据传输、生物医学系统等。

(4) 现代数字信号处理阶段。这一阶段的特点是随着数字信号处理的飞速发展,新理论、新算法的不断涌现,而且数字信号处理的应用领域也正在飞速发展。

从信号的数字信号处理技术的发展历程可以看出,数字信号处理技术在理论上所涉及的范围是相当广泛的。在数字领域中,微积分、概率统计、随机过程、高等代数、数值分析、近世代数、复变函数、线性代数、泛函分析等都是它的分析工具,网络理论、图论、信号与系统均是它的理论基础。在学科发展上,数字信号处理又是现代控制理论(包括最优控制、人工智能、模式识别、神经网络、模糊控制)、现代通信理论、故障理论和现代测量等的理论基础。在算法的实现上(无论是硬件还是软件),数字信号处理技术和计算机学科及微电子技术密不可分。因此可以说,数字信号处理是把经典理论(如数字、系统)作为自己的理论基础,把现代计算机技术、微电子技术作为技术支撑的一门新兴学科。同时它又是许多新兴学科的理论基础,并与它们相互交叉、相辅相成、相互促进。

现在,信号处理进入了一个新的发展时期。信号处理在优化、自适应、高分辨率、多维多通道等一些重要领域内的理论和方法日趋系统化。对系统的分析已不再局限于理想模型,而是考虑到各种实际因素,研究其鲁棒性;对性能的描述也不仅仅停留在定性的水平,而是要做出系统的统计性能评价。

总之,随着基础理论的不完善、交叉学科的不断发展和微电子技术与计算机技术的

不断进步,可以预见,今后将是数字信号处理理论与算法的大发展时期。

1.1.2 数字信号处理的实现

数字信号处理的实现,大体上有如下几种方法。

1. 在通用的微型计算机上用软件实现

软件可以是自己编写的,也可以使用现成的软件包。这种方法的缺点是速度太慢,不能用于实时系统,只能用于教学与仿真研究。如近年发展迅速的 MATLAB,就几乎可以实现所有数字信号处理的仿真。而且 MATLAB 下的部分仿真程序还可以转化成 C 语言,再通过 DSP 的 C 语言编译器直接在 DSP 硬件上运行。这对非实时系统或准实时系统来说是有吸引力的。

2. 用单片机来实现

单片机也在不断地发展,如 INTEL 96000 的运算速度就非常可观,而且单片机的接口性能比较好,容易实现人机接口。但由于单片机采用的是冯·诺依曼总线结构,所以单片机系统复杂,尤其是乘法运算速度慢,在运算量大的实时控制系统中很难有所作为。

3. 用专门用于信号处理的可编程数字信号处理芯片来实现

与单片机相比,数字信号处理(DSP)有着更适合于数字信号处理的优点。如采用改进的哈佛总线结构,内部有硬件乘法器、累加器,使用流水线结构,具有良好的并行特性,并由专门设计的适用于数字信号处理的指令系统等。DSP 芯片的这些特点使其在不允许延迟的实时应用领域(如蜂窝电话、计算机驱动器等)中应用得非常理想。因此可以说,DSP 芯片的问世及飞速发展作为信号处理技术应用于工程实际提供了可能。

4. 用特殊用途的数字信号处理芯片实现

现在国际上已推出了不少专门用于 FFT、FIR 滤波等的专用芯片,如 TDC 1028 可以实现 FIR 滤波器和相关运算。美国 INMOS 公司推出的 IMSA100 芯片可以完成 FIR、FFT、相关、卷积等运算,也可以在 2ms 内完成 1024 点复数 FFT 运算。美国 TKW 公司 1990 年推出的超快单片 FFT 处理芯片 TMC2350,可在 514 μ s 内完成基 2 时间抽取法的 1024 点复数 FFT 运算。其他的,如 MOTOROLA 公司的 DSP56200、ZORON 公司的 ZR34881,也属于专用型 DSP 芯片。在采用的 DSP 芯片中,其软件算法已在芯片内部用硬件实现。使用者给出输入数据,经过简单的组合即可在输出端得到结果,这一般用于对速度要求很高的场合。这种方案的缺点是灵活性差,而且开发工具尚不完善。

5. 用 FPGA 等可编程阵列产品开发 ASIC 芯片实现数字信号处理算法

由于 FPGA 产品的发展,人们可以利用 ALTERA、XILINX 等公司提供的产品。使用这些公司提供的软件或 VHDL 等开发语言,通过软件编程用硬件实现特定的数字信号处理算法,如 FFT、FIR 等。这一方法由于具有通用性的特点并可以实现算法的并行运算,所以无论作为独立的数字信号处理器,还是作为 DSP 芯片的协处理器,都是目前比较活跃的研究领域。

6. 在通用的计算机系统中加上加速卡来实现

加速卡可以是通用的加速处理机,也可以是由 DSP 开发的用户加速卡。如果加速卡是用 DSP 开发的用户加速卡,那么在日益复杂的控制系统中,在 DSP 芯片价格不断下降的条件下,这一方法应该是很常用的。当然,一般在系统中,通用计算机仅充当没有实时要求

的管理者角色，不再参与实时的数字信号处理。

1.1.3 数字信号处理的主要内容

数字信号处理理论经过 30 多年的发展已经形成了比较完善的理论体系。主要内容有以下方面：

- (1) 信号的采集。主要包括 A/D 技术、抽样定理、多抽样率、量化噪声分析等。
- (2) 离散信号的分析。主要包括时域及频域分析、多种变换技术、信号特征的描述等。
- (3) 离散系统分析。主要包括系统的描述、系统的单位抽样响应、转移函数及频率特性等。
- (4) 信号处理中的快速算法。主要包括快速傅里叶变换、快速卷积与相关等。
- (5) 信号的估值。主要包括各种估值理论、相关函数与功率谱估计等。
- (6) 滤波技术。主要包括各种数字滤波器的设计与实现。
- (7) 信号的建模。主要包括 AR、MA、ARMA、PRONY 等各种模型。
- (8) 信号处理中的特殊算法。主要包括抽取、插值、奇异值分解、反卷积、信号重建等。

以前，通常假设信号及其背景是高斯的、平稳的，而对信号的分析只是基于它的二阶矩阵和傅氏谱，其对象系统也限于时不变（准时变）的线性因果最小相位系统。随着数字信号处理应用领域的不断扩大，人们开始研究非平稳、非高斯的信号与背景噪声，研究时变、非因果、非最小相位、非线性的系统。这些都是现代信号处理的热点问题，也是数字信号处理主要理论的用武之地。

1.2 DSP 系统的构成和设计方法

数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）是针对数字信号处理（Digital Signal Processing）的需求而设计的一种可编程的单片机，是现代电子技术、计算机技术和信号处理技术相结合的产物。随着信息技术的飞速发展，数字信号处理器（DSP）在电子信息、通信、软件、无线电、自动控制、仪器仪表、信息家电等高科技领域获得了越来越广泛的应用。

由于 DSP 的广泛应用，DSP 系统也成为一个概念被提出。DSP 系统的构成形式多种多样，在此不能一一列举，本节只介绍一个典型的 DSP 系统的构成和设计方法。

1.2.1 DSP 系统的构成

图 1-1 是一个典型的 DSP 系统，图中的输入信号可以有各种各样的形式，例如由天线送入的中频信号，由摄像机送入的视频信号等。



图 1-1 一个典型的 DSP 系统

输入信号首先进行带限滤波和抽样, 然后进行 A/D 转换把模拟信号转换成数字信号。根据 Nyquist 抽样定理, 为保持信息不丢失, 抽样频率至少是输入带限信号最高频率的 2 倍。

DSP 芯片的输入是 A/D 变换后得到的以抽样形式表示的数字信号, DSP 芯片对输入的数字信号进行某种形式的处理, 例如进行一系列的乘法/累加操作 (MAC)。数字处理是 DSP 的关键, 这与其他系统有很大的不同, 例如, 在交换系统中, 处理器的作用是进行路由选择, 它并不对输入数据进行修改, 因此虽然两者都是实时系统, 但两者的实时约束条件却有很大的不同。最后, 经过处理后的数字样值再经过数/模变换把数字信号转换成模拟信号, 对其进行内插和平滑滤波就可以得到连续的模拟波形。

必须指出的是, 图 1-1 给出的 DSP 系统模型是一个典型模型, 并不是所有的 DSP 系统都必须具有模型中的所有部件。例如, 语言识别系统在输出端并不是模拟信号, 而是识别结果 (如数字、文字等)。有的系统输入信号本身就是一个数字信号, 显然不必再进行模/数变换了。

1.2.2 DSP 系统的设计方法

一个数字信号处理系统是电子技术、信号处理技术和计算机技术相结合的产物, 系统设计通常分为信号处理部分和非信号处理部分。信号处理部分包括系统的输入与输出、数据的处理、各种算法的实现、数据的显示和传输等; 非信号处理部分则包括电源、结构、成本、体积、可靠性和可维护性等。一个 DSP 系统的设计方法大致分为以下 7 个部分。

1. 系统要求的描述

在这一步, 根据用户对系统的要求, 提出一组系统级的技术要求和相关说明。这些要求包括人机接口、信号类型和特征、处理的项目和方式、处理系统的所有性能指标要求 (包含系统非信号处理部分的性能) 以及系统的测试和验证方式等。由此形成相应的文档, 也称作研制任务书, 作为今后设计的依据。

2. 信号的分析

在这一步定义输入/输出信号的类型, 例如, 分析随机或确定信号, 分析模拟或数字信号是一维还是多维信号等, 确定模拟输入信号的模型。分析信号的频率范围和系统带宽, 估计信号的最大和最小电平以及信号噪声比, 确定是否需要进行预处理等。确定输出信号的使用方式、数据的吞吐率和实时性要求。

3. 信号处理算法的设计

信号处理算法的设计是 DSP 系统的核心, 它根据对信号分析的结果, 对不同类型的信号和所要求的处理方式确定相应的算法。这部分要求设计者对信号处理的各种算法有较深的理解。首先是保证算法的正确性, 其次是保证算法的有效性, 当硬件给定后, 算法的有效性决定了系统的处理能力和吞吐能力。信号处理算法设计的主要目标是对一个特定的任务, 获得运算量最小和使用资源最少的处理算法, 有时这两者是矛盾的, 这就需要找出最好的折中方案。

4. 资源的分析

系统的资源分为三大类: 数据吞吐率、存储器容量和输入/输出带宽。这三大资源主要取决于系统所使用的核心处理器或有关硬件 (如 DSP 器件的运算速率、串行口或并行口数据传送能力以及存储器空间的大小)。一个信号处理系统通常分为系统控制、信号处理、数

据存储、数据通信四大功能模块。资源分析的目的在于把前述的三大资源在功能模块之间进行合理地分配,以取得最佳的性能。

5. 硬件结构的分析和设计

这一步将根据第3步和第4步的结果进行硬件结构的分析和设计,这包括 DSP 芯片的选择、存储器的配置和输入输出通道的设计、控制和显示电路的设计、电源电路以及其他相关硬件电路的设计。以 DSP 器件为核心的信号处理系统大致可分为两种:一种是主从式系统,这时 DSP 的功能为主机的一种信号算法的加速处理器,数据由主机传送给 DSP 器件, DSP 完成数据处理后再将数据返回到主机,所有工作都在主机的控制下进行;另一种是 DSP 自成体系的系统,这时所有的控制、信号处理工作都由 DSP 本身完成,这样的 DSP 系统一般都要有自举引导功能。

6. 软件的设计和调试

基于第3步所设计的算法和第5步的硬件设计,这一步的任务是完成系统的所有软件的设计和调试。软件设计包括系统软件设计和信号处理软件设计。系统软件包括人机接口界面、系统的控制软件、输入/输出管理、显示以及与主机的操作系统(包括嵌入式操作系统)的接口等。信号处理软件主要是用程序设计语言来实现第3步所确定的信号处理算法,以完成各种特定的处理功能。信号处理软件既可用高级语言(C语言)编写,也可用汇编语言编写,但对于一些关键的核心代码最好采用汇编语言编写,这样可获得最佳的性能。对 DSP 自成体系的系统,则要根据具体的硬件来定,对于一些小且功能单一的系统,大都采用汇编语言编写。

7. 系统的集成与测试

当所有硬件和软件设计完成后,最后要做的是把系统的各个部分集成为一个整体,进行实际的运行测试。由于信号处理系统是一个相当复杂的系统,涉及到电子电路、硬件技术、软件设计的各个方面,所以设计出来的 DSP 系统是否能满足最初提出的要求,就必须通过实际的测试。如果不能满足要求,就必须再对硬件和软件进行相应的修改。

1.3 DSP 系统的开发流程和开发工具

一个 DSP 系统的开发要选择合适的开发工具和开发环境。目前,大多数 DSP 器件都提供了完善的开发环境和开发工具。只有在合适的开发工具和开发环境的支持下,才能正确、快速地开发出符合要求的 DSP 系统。

1.3.1 DSP 系统的开发流程

当系统的硬件结构和处理算法基本确定,并选择 DSP 作为核心处理器时, DSP 的应用软件主要完成以下工作。首先选择编程语言, DSP 提供两种编程语言:汇编语言和 C/C++ 语言。对于完成一般性能的代码,这两种语言都可使用,但对于一些运算量很大的关键代码,最好采用手工编写的汇编语言来完成。当源程序编写好以后,就要选择开发工具和开发环境, DSP 器件生产商目前都提供集成开发环境(Code Composer Studio, CCS),它是在 Windows 操作系统下运行的。它集成了以前的非集成开发环境的所有功能,并扩展了许多