

- 中国高等职业技术教育研究会推荐
- 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

DSP处理器原理与应用

主编 鲍安平

主审 周昌雄



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

— 中国高等院校电子信息类专业课程规划教材 —

— 适用于电子信息类专业 “嵌入式系统” 课程教材 —

DSP 处理器原理与应用

主 编 曹 毅 王 强

主 审 陈 明 周 明



□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

DSP 处理器原理与应用

主 编 鲍安平

主 审 周昌雄

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书共分9章,21个任务,分别介绍了TMS320C55X系列DSP、DSP处理器软硬件开发工具、DSP软件开发、TMS320C55X DSP的外设、利用DSP实现外部控制与通信、数字信号处理方法及其DSP实现、利用DSP实现语音信号采集与分析、DSP系统硬件设计等内容。

本书以简单的语言和详实的步骤讲述DSP使用的重点操作,将一些零散的知识点放在任务的相关原理之中,这样既保证了章节在逻辑上的连贯性,又方便了教师的教学和学生的自学。

本书可作为高职高专院校电子与通信类专业的教材,也可作为工程技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 处理器原理与应用/鲍安平主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2009.9

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2323 - 8

I. D… II. 鲍… III. ① 数字信号—信号处理—高等学校:技术学校—教材 ② 数字信号—微处理器—高等学校:技术学校—教材 IV. TN911.72 TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 128029 号

策 划 张 媛

责任编辑 张 媛

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 16.875

字 数 395千字

印 数 1~4000册

定 价 24.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2323 - 8/TN · 0534

XDUP 2615001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位群任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位需求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2009 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2007 年 6 月



高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主 任：温希东（深圳职业技术学院副校长 教授）

副主任：马晓明（深圳职业技术学院通信工程系主任 教授）

余 华（武汉船舶职业技术学院电子电气工程系主任 副教授）

电子组 组 长：余 华(兼)（成员按姓氏笔画排列）

于宝明（南京信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副研究员）

马建如（常州信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副教授）

刘 科（苏州职业大学信息工程系 副教授）

刘守义（深圳职业技术学院 教授）

许秀林（南通职业大学电子系副主任 副教授）

高恭嫻（南京信息职业技术学院电子信息工程系 副教授）

余红娟（金华职业技术学院电子系主任 副教授）

宋 烨（长沙航空职业技术学院 副教授）

李思政（淮安信息职业技术学院电子工程系主任 讲师）

苏家健（上海第二工业大学电子电气工程学院 教授）

张宗平（深圳信息职业技术学院电子通信技术系 高级工程师）

陈传军（金陵科技学院电子系主任 副教授）

姚建永（武汉职业技术学院电信学院院长 副教授）

徐丽萍（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

涂用军（广东科学技术职业学院机电学院副院长 副教授）

郭再泉（无锡职业技术学院自动控制与电子工程系主任 副教授）

曹光跃（安徽电子信息职业技术学院电子工程系主任 副教授）

梁长垠（深圳职业技术学院电子工程系 副教授）

通信组 组 长：马晓明(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王巧明（广东邮电职业技术学院通信工程系主任 副教授）

江 力（安徽电子信息职业技术学院信息工程系主任 副教授）

余 华（南京信息职业技术学院通信工程系 副教授）

吴 永（广东科学技术职业学院电子系 高级工程师）

张立中（常州信息职业技术学院 高级工程师）

李立高（长沙通信职业技术学院 副教授）

林植平（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

杨 俊（武汉职业技术学院通信工程系主任 副教授）

俞兴明（苏州职业大学电子信息工程系 副教授）

项目策划 马乐惠

策 划 张 媛 薛 媛 张晓燕

前 言

目前,信息化已经成为社会发展的大趋势。由于信息化是以数字化为背景的,因此电子技术已全面地由模拟技术向数字技术过渡,传统的模拟信号处理技术正被全新的数字信号处理技术所替代。由于目前绝大多数的数字化产品都需要快速实时地完成数字信号处理任务,因此能够完成实时数字信号处理任务的数字信号处理器也日益显示出其重要性。

本教材以培养职业能力为目标,兼顾知识的完整性和学生的可持续发展。变书本知识的传授为动手能力的培养,打破传统的知识传授方式,以“任务”为主线,创设工作情景,培养学生的实践动手能力。

本书共分为9章。第1章为DSP概述;第2章介绍了TMS320C55X系列DSP,为学习后面的章节打下基础;第3~8章按照学习的规律循序渐进地介绍了DSP处理器软件开发工具、DSP软件开发、TMS320C55X DSP的外设、利用DSP实现外部控制与通信、数字信号处理方法及其DSP实现、利用DSP实现语音信号采集与分析,第9章详细地介绍了DSP系统硬件设计的方法和注意事项。

本书中还设置了21个任务。其中以简单的语言和详实的步骤讲述DSP使用的重点操作,与相关的章节有机的结合起来,将一些零散的知识点放在任务的相关原理之中,这样既保证了章节在逻辑上的连贯性,又方便了教师的教学和学生的自学。

本书可以作为高职高专电子与通信类专业高年级学生的教材,也可以作为工程技术人员的培训教材和参考书。

本书由南京信息职业技术学院鲍安平担任主编,该院的魏琰和徐开军以及河南理工大学钱伟也参与了部分章节的编写。南京信息职业技术学院袁小燕和南京工程学院张弘担任本书的绘图和制表工作。在本书的编写过程中,得到了北京合众达电子科技有限公司南京分公司经理焦小军的大力帮助。北京瑞泰创新科技有限责任公司工程师尚奎、东南大学自动化学院院长费树岷教授、苏州职业大学的周昌雄老师为本书提出了许多好的建议,编者在此表示衷心感谢。

由于DSP应用技术的发展日新月异,加上编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2009年5月

目 录

第 1 章 DSP 概述	1	2.2.6 地址生成单元(A 单元).....	22
1.1 引言	1	2.2.7 数据计算单元(D 单元).....	24
1.2 什么是 DSP.....	1	2.3 TMS320C55X DSP 的存储器和	
1.2.1 数字信号处理	1	I/O 空间	26
1.2.2 数字信号处理器	1	2.3.1 存储器映射	26
1.2.3 数字信号处理的特点与优势	2	2.3.2 程序空间	27
1.2.4 数字信号处理算法的特点	4	2.3.3 数据空间	27
1.2.5 实时处理的概念	4	2.3.4 I/O 空间	28
1.2.6 数字信号处理算法实现的途径	4	2.4 启动加载程序	29
1.3 DSP 处理器的特点	5	2.5 本章小结	29
1.3.1 DSP 处理器的结构特点	5	习题与思考题	29
1.3.2 DSP 与 MCU、GPP 的区别		第 3 章 DSP 处理器软、硬件开发	
及其优势	9	工具	30
1.3.3 DSP 处理器性能指标	10	3.1 DSP 处理器软、硬件开发工具简介	30
1.4 DSP 处理器的应用	11	3.2 常用的 DSP 硬件开发工具	32
1.5 具有代表性的 DSP 芯片生产商	12	3.2.1 硬件仿真器	32
习题与思考题	14	3.2.2 EVM 和 DSK	34
第 2 章 TMS320C55X 系列 DSP	15	3.3 eXpressDSP	38
2.1 TMS320C55X 概述	15	3.4 CCS 集成开发环境	39
2.1.1 C55X 在 C5000 系列 DSP 中		3.4.1 CCS 集成开发环境的特征与设置	39
的地位	15	3.4.2 CCS 软件的安装与设置	42
2.1.2 TMS320C55X DSP 的应用	15	3.4.3 CCS 集成开发环境的使用	46
2.1.3 TMS320C55X DSP 的主要性能		任务 1 CCS 操作入门 1	54
和优点	16	任务 2 CCS 操作入门 2	62
2.1.4 对低功耗能力的加强	16	3.5 本章小结	69
2.1.5 嵌入式仿真特性	17	习题与思考题	69
2.2 TMS320C55XCPU 的结构	18	第 4 章 DSP 软件开发	70
2.2.1 CPU 结构概述	18	4.1 程序定位方式的比较	70
2.2.2 片内的数据和地址总线	19	4.2 公共目标文件格式	71
2.2.3 存储器缓冲单元(M 单元)	20	4.2.1 段(sections)	71
2.2.4 指令缓冲单元(I 单元)	20	4.2.2 汇编器对段的处理	71
2.2.5 程序控制单元(P 单元)	21	4.2.3 链接器对段的处理	73

4.2.4 重新定位	74	5.4.2 EMIF 信号	132
4.2.5 程序装入	75	5.4.3 对存储器的考虑	133
4.2.6 .cmd 文件	75	5.4.4 EMIF 寄存器	134
4.3 DSP 汇编程序简介	77	5.4.5 SDRAM 的使用	134
4.3.1 寻址模式及指令系统	77	任务 9 通过 EMIF 接口控制指示灯	136
4.3.2 C55X 汇编语言指令系统的特点	77	任务 10 通过 EMIF 接口读取拨码开关	
4.4 DSP C 语言程序基础	79	状态	138
4.4.1 DSP 软件的设计方式	79	5.5 本章小结	140
4.4.2 C 语言软件开发过程	80	习题与思考题	140
4.4.3 C 语言运行环境	81	第 6 章 利用 DSP 实现外部控制	
4.5 TI DSP 软件开发平台	86	与通信	141
4.5.1 传统软件开发方法	86	6.1 通用输入/输出端口(GPIO)	141
4.5.2 TI 倡导的 DSP 软件架构	87	6.2 多通道缓冲串口(McBSP)	141
任务 3 编写一个以 C 语言为基础		6.2.1 同步串行通信基础知识	142
的 DSP 程序	93	6.2.2 TMS320C55X DSP 的 McBSP	142
任务 4 编写一个以汇编(ASM)语言为		任务 11 通用输入/输出管脚应用	166
基础的 DSP 程序	98	任务 12 发光二极管阵列	168
任务 5 编写一个汇编语言和 C 语言混合		任务 13 直流电机的控制	171
的 DSP 程序	103	6.3 通用异步接收/发送器	175
任务 6 DSP 数据存取	106	6.3.1 URAT 简介	175
4.6 本章小结	109	6.3.2 TMS320C5509 上 UART 的实现	175
习题与思考题	109	6.3.3 TL16C550 寄存器	177
第 5 章 TMS320C55X DSP 的外设	110	任务 14 异步串口通信	180
5.1 引言	110	6.4 本章小结	182
5.2 通用计时器	111	习题与思考题	182
5.2.1 通用计时器简介	111	第 7 章 数字信号处理方法及其	
5.2.2 TMS320C55X 中断系统	111	DSP 实现	183
5.2.3 计时器中断	115	7.1 数字滤波器的基本概念	183
5.2.4 计时器寄存器	115	7.1.1 数字滤波器结构的表示方法	183
5.2.5 计时器的操作	119	7.1.2 一般数字滤波器的设计方法概述	185
任务 7 DSP 的定时器	120	7.2 有限冲击响应滤波器(FIR)的原理结构	
5.3 TMS320C5509 DSP 片上 ADC	124	及设计	186
5.3.1 ADC 简介	124	7.2.1 FIR 滤波器的基本原理	186
5.3.2 总转换时间	124	7.2.2 FIR 滤波器的设计方法	187
5.3.3 初始化和监视转换周期	125	任务 15 有限冲击响应滤波器(FIR)	
5.3.4 ADC 寄存器	125	算法实现	188
任务 8 单路、多路模数转换(A/D)	128	7.3 无限冲击响应滤波器(IIR)的原理结构	
5.4 外部存储器接口(EMIF)	131	及设计	191
5.4.1 EMIF 简介	131	7.3.1 IIR 滤波器的基本概念	191

7.3.2 IIR 滤波器的设计方法简介	191	8.3.4 I ² C 模块寄存器	212
任务 16 无限冲击响应滤波器(IIR)		任务 19 语音采集和放送	217
算法实现	193	任务 20 实现语音信号编码解码(G.711) ..	225
任务 17 用 FIR 滤波器实现信号滤波	196	任务 21 语音信号的 FIR 滤波	228
7.4 快速傅里叶变换(FFT).....	200	8.4 本章小结	232
任务 18 FFT 算法实现	200	习题与思考题	232
7.5 本章小结	203	第 9 章 DSP 系统硬件设计	233
习题与思考题	203	9.1 DSP 系统的设计过程	233
第 8 章 利用 DSP 实现语音信号采集		9.2 DSP 系统中信号的流程	234
与分析	204	9.3 DSP 系统硬件设计	235
8.1 引言	204	9.3.1 典型 DSP 系统的硬件组成	235
8.2 语音 codec 芯片 TLV320AIC23 的设计		9.3.2 电源	236
和控制原理	204	9.3.3 时钟	242
8.2.1 工作原理	204	9.3.4 存储器	244
8.2.2 TLV320AIC23 内部寄存器	206	9.3.5 电平转换	246
8.3 I ² C 模块	209	9.3.6 硬件设计的其他因素的考虑	246
8.3.1 I ² C 总线特点与工作原理	209	习题与思考题	247
8.3.2 TMS320VC5509 DSP 的 I ² C		附录 C5000 汇编语言指令概要	248
模块功能	210	参考文献	260
8.3.3 复位和关闭 I ² C 模块	211		

第1章 DSP 概述

1.1 引言

现代社会, 数字电视、数码相机、数字电话、数字视频、数字音频等产品已经得到了广泛的应用。与传统的模拟产品比较, 这些数字产品能够提供更完美的效果。这在很大程度上是由于这些产品使用了数字信号处理技术的缘故。目前, 数字信号处理任务大多数都是由 DSP 来完成的, DSP 技术已成为人们日益关注的并得到迅速发展的前沿技术。

1.2 什么是 DSP

DSP 是数字信号处理(Digital Signal Processing)的缩写, 也是数字信号处理器(Digital Signal Processor)的缩写。我们所说的 DSP 技术, 通常指的是利用通用的或专用的 DSP 处理器来完成数字信号处理的方法和技术。

1.2.1 数字信号处理

数字信号处理是一种通过使用数学方法来提取信息, 处理现实信号的信号处理技术。这些被处理的信号由数字序列表示。

1807 年傅里叶分析诞生, 并在随后产生了两种傅里叶分析方法, 即连续的和离散的傅里叶分析, 但是由于其计算量太大, 很难在实际使用中发挥作用。直到 1965 年, IBM 公司的 Cooley 和 Tukey 提出 DFT(离散傅里叶变换)的高效快速算法(Fourier Transform, FFT), 才使数字信号处理方法的使用有了突破性的进展。

自 FFT 产生以来, 数字信号处理(DSP)已有 40 多年的历史, 在这期间, 伴随着计算机和信息技术的飞速发展, 数字信号处理技术日臻完善, 进而形成一门独立的学科系统。

如今, 在数字信号处理的各个应用领域, 如语音与图像处理、信息的压缩与编码、信号的调制与调解、信道的辨识与均衡、各种智能控制与移动通信等都延伸出各自的理论与技术, 可以说凡是利用计算机来处理各类信号的场合都引用了数字信号处理的基本理论、概念和技术。

经典的数字信号处理方法有时域的信号滤波(如 IIR、FIR)和频域的频谱分析(如 FFT)。

1.2.2 数字信号处理器

数字信号处理器(Digital Signal Processors, DSP)是指具有专门为完成通用数字信号处理

任务而优化设计的系统体系结构、软件和硬件资源的单片、可编程的处理器。

经典的数字信号处理，如 IIR、FIR 和 FFT 的核心是乘加运算。数字信号处理器是专门为完成数字信号处理任务而优化设计的，其设计的宗旨是为了更快地完成数字信号处理任务，因此其特点是更适合于乘加运算。另外，数字信号处理器是可编程的，非常利于程序修改以及产品升级。

1.2.3 数字信号处理的特点与优势

1. 数字信号处理的优点

1) 设计灵活性

图 1-1 为一个典型的 FIR 滤波器，同样的滤波效果可以由传统的模拟滤波器完成，但是如果需要改变设计时，模拟系统必须重新进行系统设计，至少需要改变系统中的某些器件或参数，然后再重新装配和调试，这个过程是非常费时和费力的。而如果使用以 DSP 处理器为核心的数字系统，则是在一个硬件平台通过用各种软件来执行各种各样的数字信号处理任务。改变设计时，只需要改变相应的软件或软件中的参数，而不需要改变硬件平台本身，具有极大的灵活性，是传统的模拟系统无法比拟的。例如，数字滤波器可以通过重新编程来完成低通、高通、带通和带阻等不同的滤波任务，不需要改变硬件；而模拟滤波器则必须改变其设计并重新调试，才能达到目的。近年来得到迅速发展和应用的软件无线电技术，是在一个以高性能 DSP 处理器为核心的硬件平台上，用不同的软件来实现对不同工作模式的电台间通信；对于模拟电台而言，只有工作模式完全相同的电台之间才能进行通信。

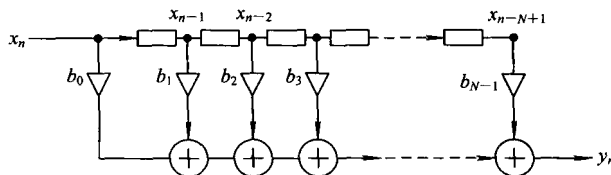


图 1-1 有限冲击响应滤波器(FIR)结构图

以 DSP 处理器为核心的数字系统的灵活性是模拟系统很难达到的，有的甚至是模拟系统不可能实现的。

2) 精度高

一般来说，数字系统精度要比模拟系统高。模拟系统由于受元器件精度的制约，精度始终很难提高，虽然现在有了高精度的电阻等元器件，但其直接影响了系统的成本，而且其精度也不能让人满意。而数字系统的精度是由系统所采用的 A/D 转换器的位数、处理器字长以及所采用的算法等因素决定的。相对而言，可以获得更高的精度。

3) 可靠性和可重复性好

数字系统的可靠性和可重复性也是模拟系统所不能达到的。模拟系统受环境温度、湿度、噪声、电磁场等的干扰和影响大。当环境的温度、湿度、振动以及在外界电磁场干扰等条件改变时，模拟系统的性能就会发生改变，而且可能是大的改变。另外，随时间的改变，模拟系统的特性也会发生改变。数字系统的输入、输出是由软件来确定的，因此，不

存在随时间而改变的问题。相对模拟系统而言, 数字系统的稳定性要好得多, 即受时间和环境的影响要小得多。

两个同样设计的模拟系统, 采用同样的元器件, 在相同的输入信号和环境下, 由于元器件参数的离散性, 所得到的输出往往会有细小的差别。另外, 同一个模拟系统在不同的时间和环境下, 相同的输入也往往得不到相同的输出结果。而数字系统一旦其设计完毕以后, 精度也就确定了, 并且其精度不会随着时间和环境的变化而变化。

4) 便于大规模集成

随着科学与技术的发展, 近年出现了大量的模拟集成电路和模拟/数字混合集成电路, 但从可选择的种类、集成度、功能与性能、性价比等诸方面而言, 还是不能与超大规模数字集成电路相比。DSP 处理器就是基于超大规模数字集成电路技术和计算机技术而发展起来的、适合于作数字信号处理的高速高位微处理器。它们体积小、功能强、功耗小、一致性好、使用方便、性价比高。

5) 数字系统的其他优势

数字系统除具有上述优势以外, 还在抗干扰性能、数据压缩、实现自适应算法等方面有不俗的表现。

数字系统的抗干扰功能强大。在数字系统中, 信号是用 0 和 1 来表征的, 虽然 0 和 1 所表征的数字信号也会受到噪声的干扰, 但只要能够正确地识别 0 和 1, 并将其再生, 则可以完全消除噪声的影响。另外, 迅速发展的各种数字纠错编解码技术, 能够在极为复杂的噪声环境中, 甚至信号完全被噪声所淹没的情况下, 正确地识别和恢复原有的信号。这点在模拟系统中是无法做到的。

模拟信号进行压缩时付出的代价是随着带宽的变窄, 信号的质量会受到比较大的影响。然而数字信号的压缩可以在对原信号质量影响很小的前提下, 取得很高的压缩比。这对数据的传输和存储, 无疑是很有利的。例如, 采用数字电视技术以后, 可以利用原有的有线电视网络传输更多的、质量更好的电视节目, 并且可以提供诸如互动电视等更好的服务。

从信号与系统的角度讲, 自适应就是使系统的特性随输入信号的改变而改变, 从而在某种准则下, 得到最优的输出。例如, IP 电话中的回声会严重影响服务质量, 必须加以消除。但回声的幅度和延时量随时都在改变, 只有使用自适应系统才能将其消除。就模拟系统而言, 只有改变系统的设计和元器件的参数, 才能改变系统的特性, 因而很难实现实时自适应。以 DSP 处理器为核心的数字系统, 已经成为实现各种自适应算法的首选。对于特定的自适应算法, 它能根据确定的准则, 实时地改变系统的参数, 从而实现实时自适应; 对于不同的自适应算法, 只需要更换适当的软件即可。

2. 模拟信号处理的不可替代性

尽管数字系统具有如此之多的优越性, 但仍然不能完全取代模拟系统。

实际上, 自然界的信号绝大多数是模拟信号。如声音、图像、温度、压力、速度、加速度等信号都是随时间连续变化的模拟信号。我们要利用数字系统对其进行处理, 必须首先用模拟系统和模拟数字混合系统加以处理。例如用模拟滤波器将其改变成带限信号, 用模拟放大器改变其幅度, 然后采样/保持, 通过 A/D 变换器变换成为数字信号后, 才能用数字信号处理系统加以处理; 处理之后, 还要通过 D/A 变换器变换成为模拟信号, 并通过适

当的模拟信号处理,才能加以使用。所以,要想构成一个完整的数字信号处理系统,大多数情形下离不开模拟系统。

1.2.4 数字信号处理算法的特点

上面我们讲到了 DSP 处理器是专门为数字信号处理算法而优化设计的,那么 DSP 算法到底有什么特点呢?

图 1-1 中有限冲击响应滤波器(FIR)可以用下式来表示:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i x(n-i) \quad (1-1)$$

式 1-1 是一个一系列乘积的累加,也就是说该式使用了乘法和加法,并且做了 N 重的循环。

由此可以看出 DSP 算法是属于数学计算,这区别于那些以数据操作为主的常规任务。数据操作的典型运用如字处理、数据库管理、表格、操作系统等,其主要操作有诸如将数据 B 移动到数据 A,检测 A 是否等于 B 等。而数学计算的典型运用,如数字信号处理、科学和工程仿真等,其主要操作是乘法、加法等运算。

1.2.5 实时处理的概念

上面我们讲了模拟系统从本质上来说是实时的,那么,什么是实时处理呢?可以这样说:实时的概念是根据具体的应用来确定的。

对于一个处理过程,如果满足下式,我们可以认为处理是实时的。

$$\text{等待时间} \geq 0 \quad (1-2)$$

如图 1-2 所示,要使等待时间 ≥ 0 ,就必须使处理时间小于采样时间,也就是说要在规定的采样时间内完成与之相应的数据处理。

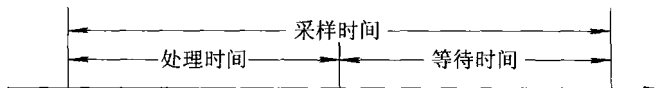


图 1-2 处理时间、采样时间、等待时间关系图

对于图 1-1 中有限冲击响应滤波器(FIR)来说,要使其处理是实时的,就必须在采样时间内完成式(1-1)的计算,这样的计算量通常来说都是相当大的。

数字信号处理器是专门为完成数字信号处理任务而优化设计的,因此其实时处理数据的能力也是独一无二的。

1.2.6 数字信号处理算法实现的途径

数字信号处理的实现方法有多种,大体可以分为基于 PC 和非基于 PC 的两种。

基于 PC 的实现方法可以说是通过软件来实现的。例如,我们在个人电脑上常用的 MP3 播放器就是通过软件来实现 MP3 格式的音频文件解压缩的,而这过程是通过在个人电脑上

运行的软件来实现的。

非基于 PC 的实现方法可以说是通过硬件来实现的。例如, FPGA(现场可编程门阵列)、ASIC(专用集成电路)以及专用的和通用的 DSP, 都可以用来实现 DSP 算法。

用 FPGA(现场可编程阵列)实现 DSP 的各种功能实质上是采用了一种硬连接逻辑电路, 但由于 FPGA 具有现场可编程能力, 允许根据需要迅速重新组合基础逻辑来满足使用要求, 因而更加灵活, 而且比通用 DSP 芯片具有更高的速度。一些大的公司如 Xilinx、Altera 也正把 FPGA 产品扩展到 DSP 的应用中去。值得一提的是 Xilinx 在 2004 年 9 月成立了 DSP 部, 2005 年又加大对 DSP 研发的投入。

ASIC 系统是为某种应用目的专门设计的系统。通常用于数字信号处理的 ASIC 系统只涉及一种或一种以上自然类型数据的处理, 例如音频、视频、语音的压缩和解压、调制/解调等。其内部由基本 DSP 运算单元构建, 包括 FIR、IIR、FFT、DCT、卷积码的编解码器及 RS 编解码器等。其可应用于计算复杂密集、数据量、运算量都很大的场合, 但成本较高。

通用可编程 DSP 芯片是目前使用最多的数字信号处理器件。其特点本书将予以详细讨论。

1.3 DSP 处理器的特点

1.3.1 DSP 处理器的结构特点

DSP 处理器是专门用来进行高速数字信号处理的微处理器, 其设计的着眼点是要求速度快、处理的数据量大、效率高。它的主要结构特点如下。

1. 采用哈佛(Harvard)结构和改进的哈佛结构

以奔腾为代表的通用处理器采用冯·诺依曼(Von Neumen)结构, 这主要考虑到成本, 其结构如图 1-3 所示。在冯·诺依曼结构中, 程序代码和数据共用一个公共的存储空间, 指令、数据、地址的传送采用同一条总线, 靠指令计数来区分三者。由于取指和存取数据是在同一存取空间通过同一总线传输, 因而指令的执行只能是顺序的, 不可能重叠进行, 所以无法提高运算速度。

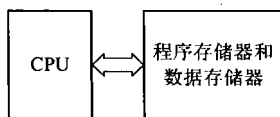


图 1-3 冯·诺依曼结构

DSP 处理器几乎毫无例外的采用哈佛结构, 如图 1-4 所示。哈佛结构把程序代码和数据的存储空间分开, 并有各自的地址和数据总线, 每个存储器独立编址, 用独立的一组程序总线和数据总线进行访问。这样, DSP 处理器就可以并行地进行指令和数据的处理, 提高了信号处理的速度。

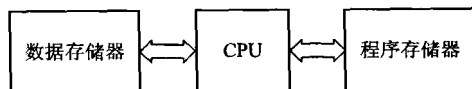


图 1-4 哈佛结构

为了进一步提高信号处理的效率，在哈佛结构的基础上加以改进，使得程序代码存储空间与数据存储空间之间也可以进行数据交换，则称为改进的哈佛结构(Modified Harvard Architecture)。这种结构可以并行进行数据操作，例如在做数字滤波时把系数放在程序空间，待处理的样本数据放在数据空间，处理时可以同时提取滤波器系数和样本进行乘法和累加操作，从而大大提高运算速度。改进的哈佛结构还可以从程序存储区来初始化数据存储区，或把数据存储区的内容转移到程序存储区，这样可以复用存储器，降低成本，提高存储器使用效率。

2. 多总线结构

DSP 除了将数据、地址总线分开以外，还具有多条附加总线，如图 1-5 所示。

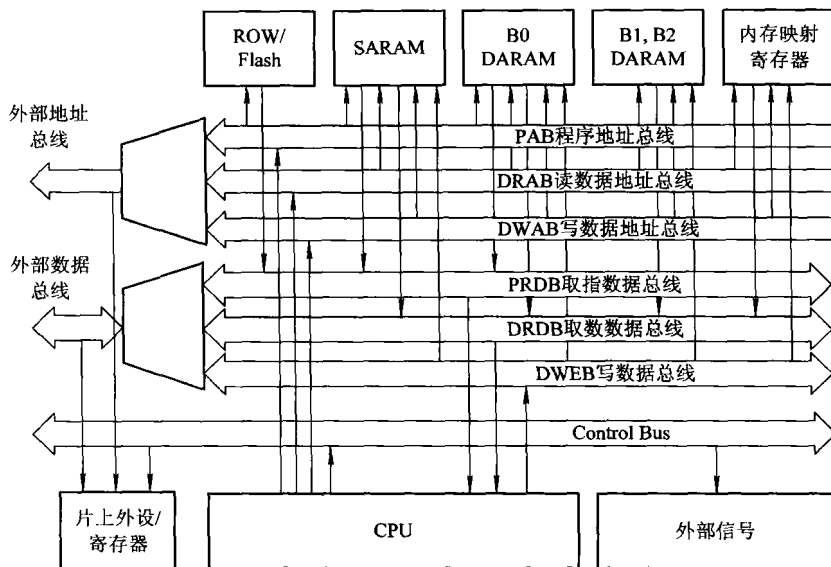


图 1-5 多总线结构图

例如 TMS320C54X 的结构中有一组程序总线，两组读数据总线 and 一组写数据总线，这样可以同时读取两组数据和存储一组数据，即同一时钟周期内可以执行一条 3 个操作的指令。这种附加总线可扩充地址增加数据流量，提高寻址能力。

3. 采用流水线操作

计算机在执行一条指令时，要通过取指、译码、取数、执行等各阶段，需要若干个指令周期才能完成。流水线技术是将各指令的各个步骤重叠起来进行，虽然每条指令的执行仍然要经过这些步骤，需要同样的指令周期数，但是将一个指令段综合起来看，其中每一条指令似乎都是在一个周期内完成，可以把指令周期减到最小，增加数据吞吐量。图 1-6 为流水线技术示意图。

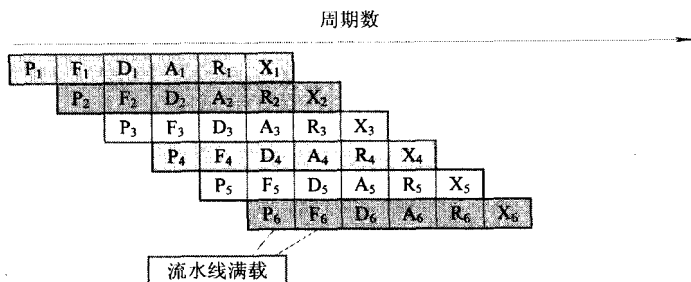


图 1-6 流水线技术

如图 1-6 所示,可进一步把一条指令分解为预取指、取指、解码、取操作数地址、取操作数和执行等 6 个阶段,图中的字母分别表示:

P——预取指; F——取指令; D——码; A——取操作数地址; R——取操作数; X——执行。

从图 1-6 中我们可以看出,当第一条指令执行到取指令的同时,第二条指令在预取指;当第一条指令执行到解码时,第二条指令在取指令,第三条指令在预取指;以此类推,直到第六条指令预取指时,第一条指令已经在执行了。对于图中的流水线状况,当第六条指令开始时,我们就称这个流水线满载了。当流水线满载以后,从图中纵向看,似乎一条指令在一个周期内就完成了。这有些类似我们通常见到的工厂的生产流水线,一条生产线分为很多的工序,零件进入生产线依次进入各道工序,当各道工序都开始工作时,成品就从生产线上生产出来了。

图 1-7 直观地给出了采用流水线技术之后,执行同样的指令,所需要的指令周期数较采用前得到了很大的节约。

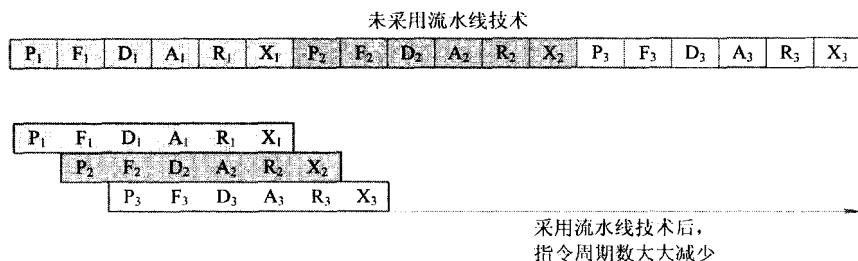


图 1-7 采用流水线技术前后的比较

但是,这种流水线操作也不是十全十美的,其主要原因是,一项处理很难被分解成若干个处理规模一致、在时间上有最佳配合的流水段,因而需要用寄存器协调流水线工作。

流水线操作适用于循环操作时间足够长或多个数据点反复执行同一指令的情况。这是由于,流水线启动和停止的阶段是流水线逐步被填满和出空的过程。对于一次性非重复计算,流水线不可能达到稳态,反而用主要时间做填满和出空操作,因而不合适的。我们从 DSP 算法的特点,可以看出其非常适合于流水线操作,因为其计算大多是相同的乘法或加法运算,而且循环的次数较多,流水线容易达到满载的运行状态。