



新世纪高职高专实用规划教材 **机电系列**

全国信息化应用能力考试(NCAE)指定参考用书

DSP 原理 与实例应用

王 玮 万 隆 主 编
吕 兵 薛 蕊 杨晓磊 副主编

赠送
电子课件

清华大学出版社



新世纪高职高专实用规划教材 机电系列

DSP 原理与实例应用

王 玮 万 隆 主 编

吕 兵 薛 蕊 杨晓磊 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在介绍 DSP 基本概念的基础上,以 TI 公司的 TMS320C28x 系列 DSP 为模型,介绍了其硬件结构、中断系统、存储器组织及片内外设的基本原理及应用;同时介绍了 DSP 的开发环境及程序设计基础。本书注重实践,从典型案例出发,深入浅出地介绍了 DSP 的基本原理及应用,同时根据实际案例引出相关知识点并进行了知识总结,使读者对 DSP 应用技术更容易理解。

本书适合 DSP 初学者阅读;可作为电子、通信、计算机、自动控制和电力电子技术等专业的高年级本、专科生的 DSP 课程教材;也可作为 DSP 开发培训机构的培训教材;还可作为 DSP 技术研究和开发人员的参考用书。

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

DSP 原理与实例应用/王伟,万隆主编;吕兵,薛蕊,杨晓磊副主编.--北京:清华大学出版社,2011.6
(新世纪高职高专实用规划教材 机电系列)
ISBN 978-7-302-25505-5

I. D… II. ①王… ②万… ③吕… ④薛… ⑤杨… III. ①数字信号处理—高等职业教育—教材
IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 078426 号

责任编辑:黄 飞

封面设计:山鹰工作室

版式设计:杨玉兰

责任校对:王 晖

责任印制:何 芊

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:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.5 字 数:469 千字

版 次:2011 年 6 月第 1 版 印 次:2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:35.00 元

产品编号:040175-01

《新世纪高职高专实用规划教材》序

编写目的

目前,随着教育的不断深入,高等职业教育发展迅速,进入到一个新的历史阶段。学校规模之大,数量之众,专业设置之广,办学条件之好和招生人数之多,都大大超过了历史上任何一个时期。然而,作为高职院校核心建设项目之一的教材建设,却远远滞后于高等职业教育发展的步伐,以至于许多高职院校的学生缺乏适用的教材,这势必影响高职院校的教育质量,也不利于高职教育的进一步发展。

目前,高职教材建设面临着新的契机和挑战:

(1) 高等职业教育发展迅猛,相应教材在编写、出版等环节需要在保证质量的前提下加快步伐,跟上节奏。

(2) 新型人才的需求,对教材提出了更高的要求,即教材要充分体现科学性、先进性和实用性。

(3) 高职高专教育自身的特点是强调学生的实践能力和动手能力,教材的取材和内容设置必须满足不断发展的教学需求,突出理论和实践的紧密结合。

有鉴于此,清华大学出版社在相关主管部门的大力支持下,组织部分高等职业技术学院的优秀教师以及相关行业的工程师,推出了一系列切合当前教育改革需要的高质量的面向就业的职业技术实用型教材。

系列教材

本系列教材主要涵盖以下领域:

- 计算机基础及其应用
- 计算机网络
- 计算机图形图像处理与多媒体
- 网络与通信
- 电子商务
- 计算机编程
- 电子电工
- 机械
- 数控技术及模具设计
- 土木建筑
- 经济与管理
- 金融与保险



另外,系列教材还包括大学英语、大学语文、高等数学、大学物理、大学生心理健康等基础教材。所有教材都有相关的配套用书,如实训教材、辅导教材、习题集等。

教材特点

为了完善高等职业技术教育的教材体系,全面提高学生的动手能力、实践能力和职业技术素质,特意聘请有实践经验的高级工程师参与系列教材的编写,采用了一线工程技术人员与在校教师联合编写的模式,使课堂教学与实际操作紧密结合。本系列丛书的特点如下:

(1) 打破以往教科书的编写套路,在兼顾基础知识的同时,强调实用性和可操作性。

(2) 突出概念和应用,相关课程配有上机指导及习题,帮助读者对所学内容进行总结和提高。

(3) 设计了“注意”、“提示”、“技巧”等带有醒目标记的特色段落,使读者更容易得到有益的提示与应用技巧。

(4) 增加了全新的、实用的内容和知识点,并采取由浅入深、循序渐进、层次清楚、步骤详尽的写作方式,突出实践技能和动手能力。

读者定位

本系列教材针对职业教育,主要面向高职高专院校,同时也适用于同等学力的职业教育和继续教育。本丛书以三年制高职为主,同时也适用于两年制高职。

本系列教材的编写和出版是高职教育办学体制和运作机制改革的产物,在后期的推广使用过程中将紧紧跟随职业技术教育发展的步伐,不断吸取新型办学模式、课程改革的思路和方法,为促进职业培训和继续教育的社会需求奉献我们的力量。

我们希望,通过本系列教材的编写和推广应用,不仅有利于提高职业技术教育的整体水平,而且有助于加快改进职业技术教育的办学模式、课程体系和教学培训方法,形成具有特色的职业技术教育的新体系。

教材编委会

前 言

数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)是对信号和图像实现实时处理的一类高性能微处理器,由于它既具有独特的高速数字信号处理功能,又具有实时性强、低功耗、高集成度等嵌入式微处理器的特点,因此已在通信、家电、航空航天、工业测量、控制、生物医学工程及军事等许多需要实时实现的领域得到了广泛应用。目前,TI(得州仪器)公司的 DSP 芯片已占到全球市场的 60%左右,其主流产品包括 TMS320C2000、TMS320C5000 和 TMS320C6000 三大系列。

TMS320C28x 系列 DSP 是一种适合于数字控制的 DSP 芯片,TI 公司提供了完整的数字控制 DSP 芯片解决方案,并提供了很多实用代码,极大地方便了用户开发。该系列器件中,集成了闪存、高速 ADC 及事件管理等,是一类强大的针对控制进行优化的 DSP。本书主要介绍的 TMS320C28x 系列 DSP 芯片即为 TMS320C2000 系列中的一员。

本书内容

全书共分 11 章,第 1 章主要介绍 DSP 的基本概念及 DSP 芯片的分类、特点及选型,并介绍了 TMS320 系列 DSP 的特点及数字运算基础;第 2 章介绍 TMS320C28x 系列 DSP 的结构及原理;第 3 章介绍集成开发环境 CCS 的组成及常用工具的使用方法;第 4 章介绍 DSP 程序开发时需具备的基础知识,包括 COFF 格式、链接命令文件及基于 C 的 DSP 工程构成等,并介绍 TI 公司针对 TMS320C28x 开发提供的程序框架;第 5 章介绍 TMS320C28x 的中断系统原理及应用;第 6 章介绍 TMS320C28x 的存储系统原理及应用,包括片内存储器、片外存储器及 BootROM;第 7~11 章介绍 TMS320C28x 常用片上外设,包括定时器、串行通信接口(SCI)、模数转换器(ADC)、事件管理器(EV)及通用输入输出(GPIO),其中第 10 章的事件管理器部分主要介绍通用目的定时器模块;附录为考试指导,介绍全国信息化应用能力考试——DSP 应用科目的基本问题,并提供了理论考试与实操考试的题库。

本书特点

本书是 DSP 学习的入门级读物,由于 DSP 结构和原理较复杂,故作者强调案例化教学,每个知识点都是通过对案例的分析逐步引出,同时保留了传统教材中对理论部分讲解详细的优点。读者对每一部分的学习均可按照先看案例、再学原理、最后重新理解案例的顺序进行,以达到深入浅出的学习效果。

读者对象

本书为工业和信息化部全国信息化应用能力考试——DSP 应用科目的考试用书,可作为电子、通信、计算机、自动控制和电力电子技术等专业本、专科生的 DSP 课程教材,或作为从事 DSP 技术研究和开发人员的参考用书。

本书由王玮、万隆主编，参与编写的人员有吕兵、薛蕊、杨晓磊、巴奉丽、张凤艺、刘永星等。

由于作者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。有关问题可发邮件至 wwsdut@163.com。

编 者

附：

全国信息化应用能力考试是由工业和信息化部人才交流中心主办，以信息技术在各行各业、各岗位的广泛应用为基础，面向社会，检验应试人员信息技术应用知识与能力的全国性水平考试体系。作为全国信息化应用能力考试工业技术类指定参考用书，《DSP 原理与实例应用》从完整的考试体系出发编写，同时配备相关考试大纲、课件及练习系统。通过对本书内容的系统学习，读者可申请参加全国信息化应用能力考试相应科目的考试，考试合格者可获得由工业和信息化部人才交流中心颁发的《全国信息化工程师岗位技能证书》，该证书永久有效，可作为社会从业人员胜任相关工作岗位的能力证明。证书持有人可通过官方网站查询真伪。

全国信息化应用能力考试官方网站：www.ncie.gov.cn

项目咨询电话：010-88252032

传真：010-88254205

目 录

第 1 章 DSP 基础..... 1

1.1 DSP 相关的几个概念	1
1.1.1 认识 DSP	1
1.1.2 实时 DSP 系统	1
1.2 DSP 芯片概述	2
1.2.1 DSP 芯片的发展	2
1.2.2 DSP 芯片的分类	3
1.2.3 DSP 芯片的特点	4
1.2.4 DSP 芯片的选择	6
1.2.5 TI 的 DSP 芯片	7
1.2.6 DSP 芯片的应用	9
1.3 数字运算基础	9
1.3.1 DSP 中数的表示	10
1.3.2 DSP 数的定标	10
1.3.3 浮点运算的定点 DSP 实现	13
习题	17

第 2 章 DSP 的结构及原理..... 18

2.1 TMS320C28x 处理器的主要特点	18
2.1.1 C28x 的主要特点	18
2.1.2 引脚分布及引脚功能	21
2.2 CPU 和总线	21
2.2.1 中央处理单元 CPU	22
2.2.2 地址和数据总线	24
2.3 C28x 的时钟和系统控制	25
2.3.1 案例介绍及知识要点	25
2.3.2 知识总结——时钟和系统 控制概述	26
2.3.3 知识总结——时钟模块的 寄存器	27
2.3.4 知识总结—— 锁相环 PLL 模块	30

2.4 看门狗模块	32
2.4.1 案例介绍及知识要点	32
2.4.2 看门狗模块功能结构	33
2.4.3 看门狗模块的寄存器	34
习题	35

第 3 章 DSP 的开发环境..... 37

3.1 开发流程和开发工具	37
3.1.1 软件开发流程	38
3.1.2 软件开发工具	38
3.2 集成开发环境 CCS	39
3.2.1 CCS 集成开发环境概述	39
3.2.2 CCS 环境配置	41
3.3 CCS 基本操作	44
3.3.1 案例介绍及知识要点	44
3.3.2 知识总结—— CCS 调试界面及工程管理	54
3.3.3 知识总结——工程的构建	56
3.3.4 知识总结——工程的调试	57
3.3.5 知识总结——探针和 图形显示	60
习题	63

第 4 章 DSP 程序设计基础..... 64

4.1 认识公共目标文件	64
4.1.1 案例介绍及知识要点	65
4.1.2 知识总结——汇编器对段的 处理	68
4.1.3 知识总结——链接器对段的 处理	70
4.2 链接命令文件	71
4.2.1 案例介绍及知识要点	71

4.2.2 知识总结—— MEMORY 伪指令.....	74	5.2.2 案例介绍及知识要点.....	104
4.2.3 知识总结——SECTION 伪指令.....	74	5.2.3 知识总结——中断向量表.....	106
4.3 基于 C 语言的 DSP 程序基础.....	76	5.2.4 知识总结——PIE 中断 向量表.....	107
4.3.1 案例介绍及知识要点.....	76	5.2.5 知识总结——中断的 有关寄存器.....	109
4.3.2 知识总结——C 程序的 基本结构.....	79	习题.....	114
4.3.3 知识总结——C 程序中 CMD 文件.....	79	第 6 章 DSP 的存储系统.....	115
4.3.4 知识总结——C 编程的 其他问题.....	81	6.1 C28x 存储系统概述.....	115
4.4 TMS320C28x 的 C 编程.....	84	6.2 片内存储器.....	117
4.4.1 案例介绍及知识要点.....	84	6.2.1 案例介绍及知识要点.....	117
4.4.2 知识总结——定义寄存器 文件结构.....	87	6.2.2 知识总结——片内存储器 组成及特点.....	121
4.4.3 知识总结——寄存器文件 结构的分配.....	88	6.3 片外存储器及外部接口 XINTF.....	124
4.4.4 知识总结——增加位区定义... ..	89	6.3.1 案例介绍及知识要点.....	124
4.4.5 知识总结——共用体的使用... ..	89	6.3.2 知识总结——XINTF 接口结构.....	128
4.4.6 C28x 调试使用的 CMD 文件.. ..	90	6.3.3 知识总结——XINTF 的 配置.....	130
习题.....	92	6.3.4 知识总结——访问存储区时的 建立、激活及保持配置.....	133
第 5 章 DSP 的中断.....	93	6.3.5 知识总结——和 XINTF 有关的寄存器.....	136
5.1 认识 C28x 中断.....	93	6.3.6 知识总结——IS61LV6416 简介.....	142
5.1.1 CPU 中断概述.....	93	6.4 DSP 的 BootROM.....	143
5.1.2 案例介绍及知识要点.....	94	6.4.1 BootROM 简介.....	143
5.1.3 知识总结——中断向量和 优先级.....	96	6.4.2 BootLoader 的操作过程.....	146
5.1.4 知识总结——可屏蔽中断.....	97	6.4.3 片内 FLASH 的引导过程.....	148
5.1.5 知识总结——中断相关的 寄存器.....	98	6.4.4 C28x 的自启动实现.....	149
5.1.6 知识总结——可屏蔽中断的 标准操作.....	99	习题.....	152
5.1.7 知识总结——非屏蔽中断.....	100	第 7 章 定时器.....	154
5.2 PIE 外设中断扩展模块.....	101	7.1 案例介绍及知识要点.....	154
5.2.1 PIE 控制器概述.....	101	7.2 知识总结——定时器的 结构及特点.....	157

7.3 知识总结——定时器的 有关寄存器	158	第 10 章 事件管理器	208
习题	161	10.1 案例介绍及知识要点	208
第 8 章 串行通信接口 SCI	162	10.2 知识总结——事件管理器概述	210
8.1 案例介绍及知识要点	162	10.3 知识总结——通用目的 定时器 GP 的结构及特点	213
8.2 知识总结——SCI 模块的 结构及特点	166	10.4 知识总结——GP 定时器的 计数操作	216
8.3 知识总结——SCI 的 数据通信格式	169	10.5 知识总结——GP 定时器的 比较操作	219
8.4 知识总结——SCI 接口的中断	171	10.6 知识总结——事件管理器的中断	222
8.5 知识总结——SCI 的波特率计算	171	10.7 知识总结——通用定时器的 有关寄存器	223
8.6 知识总结——增强型 SCI 的特点	172	习题	228
8.7 知识总结——SCI 的相关寄存器	174	第 11 章 通用输入/输出	229
习题	183	11.1 案例介绍及知识点	229
第 9 章 A/D 转换	184	11.2 知识总结——GPIO 多路复用器 概述	231
9.1 案例介绍及知识要点	184	11.3 知识总结——GPIO 的 有关寄存器	235
9.2 知识总结——ADC 模块的 结构及特点	188	习题	240
9.3 知识总结——自动转换排序器的 工作原理	190	附录 A 考试指导	241
9.4 知识总结——输入触发源	197	附录 B 引脚信号说明和实例文件	279
9.5 知识总结——ADC 模块的时钟 预定标器	198	参考文献	300
9.6 知识总结——ADC 模块的有关 寄存器	199		
习题	207		

第 1 章 DSP 基础

通常所说的 DSP 有两个含义：其一是数字信号处理(Digital Signal Processing)的简称，它指的是数字信号处理技术；其二是数字信号处理器(Digital Signal Processor)的简称，又称 DSP 芯片或 DSPs。前者是指理论和计算方法上的技术，后者是指实现这些技术的通用或专用可编程微处理器芯片。

1.1 DSP 相关的几个概念

知识点

- 了解 DSP 的含义
- 了解数字信号处理的实现方法
- 了解实时 DSP 系统的构成

1.1.1 认识 DSP

数字信号处理技术是一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科，其主要内容是以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、编码等处理，以得到符合人们需要的信号形式。自 20 世纪 60 年代以来，计算机和信息技术的快速发展，进一步推动了数字信号处理技术的理论和应用领域的发展。在过去的二十多年时间里，数字信号处理已经在通信等领域得到极为广泛的应用。

数字信号处理器，即特别适合于实现各种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。它不仅具有可编程性，且其实时运行速度远远超过通用的微处理器。数字信号处理器已成为数字信号处理技术和实际应用之间的桥梁，并进一步促进了数字信号处理技术的发展，也极大拓展了数字信号处理技术的应用领域。

国内常用 DSP 代表数字信号处理器，本书所讲的 DSP 即数字信号处理器。

1.1.2 实时 DSP 系统

所谓实时是指系统必须在有限的时间内对外部输入信号完成指定的处理，即信号处理的速度必须大于等于输入信号的更新速度，且从信号输入到处理后输出的延迟必须足够小，如滤波器的采样频率为 1kHz，则运算必须在 1ms 内完成。

数字信号处理的实质是对信号进行变换，即用数字的方法对信号进行变换来获取有用的信息。如离散傅里叶变换(DFT)就是最常用的 DSP 算法，随着数字信号处理算法的复杂性越来越高，以及在很多应用中对实时性要求的日益增高(如网络视频电话)，使数字信号



处理算法的实时实现成了关键问题。

数字信号处理的实现方法一般有以下几种。

- (1) 在通用的计算机(PC 机)上编程(如 C、Java 等)实现。
- (2) 在通用计算机系统中加上专用的加速处理模块。
- (3) 用通用单片机(如 MCS-51、MSP430 等)实现,该方法可用于简单的数字信号处理,如数字控制等。

(4) 用专用的 DSP 芯片实现。有些场合对信号处理速度的要求极高,这种芯片将相应的信号处理算法在芯片内部用硬件实现,无需进行编程。如专用于快速傅里叶变换(FFT)、数字滤波、数字视频编码等算法的 DSP 芯片。

(5) 用通用的可编程 DSP 芯片实现。这种芯片具有适合数字信号处理的硬件资源,且可编程,可用于复杂的数字信号处理算法。

上述数字信号处理方法中,方法(1)的缺点是速度较慢,一般用于 DSP 算法的模拟;方法(2)和方法(3)受专用性限制,不利于算法升级,且方法(2)也不便于系统的独立运行;方法(3)适用于实现简单的 DSP 算法,不适用于以乘加运算为主的运算密集型 DSP 算法;只有方法(5)才使数字信号处理的应用打开新局面。

实时信号处理系统要处理的信号多为自然信号,因此首先用传感器将自然信号变换为电信号,该信号一般为连续模拟信号,之后必须通过 A/D 转换将模拟信号变换为数字形式,DSP 芯片对输入的数字信号进行处理后,有时还需要通过 D/A 转换将处理后的数字信号重新转换为模拟信号。图 1-1 为一个完整的实时 DSP 系统的示意,其中的 DSP 子系统是整个系统的核心。

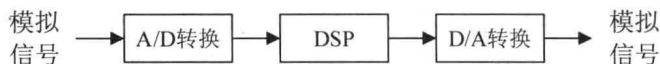


图 1-1 实时 DSP 系统

1.2 DSP 芯片概述

知识点

- 掌握 DSP 的分类方法
- 理解 DSP 的结构特点
- 掌握 DSP 的选型方法
- 了解 TI DSP 的分类及应用领域

1.2.1 DSP 芯片的发展

从 1979 年美国 Intel 公司发布 2920 DSP 芯片以来,到目前为止,世界上能够生产 DSP 芯片的公司已有十几个,其中影响力较大的公司有美国的得州仪器公司(Texas Instruments,

TI)、美国亚德诺半导体件公司(Analog Devices Inc, ADI)和美国飞思卡尔半导体公司(Freescale)。

如今, TI 公司的一系列 DSP 产品已经成为当今世界上最有影响的 DSP 芯片, TI 公司也成为世界上最大的 DSP 芯片供应商, 其 DSP 市场份额占全世界份额近 50%。

自 1980 年以来, DSP 芯片得到了突飞猛进的发展:

- 从运算速度来看, MAC(一次乘法和一次加法)时间已经从最初的 400ns 降低到 10ns 以下, 处理能力提高了几十倍。
- DSP 芯片内部关键的乘法器部件从最初的占模片区的 40%左右下降到 5%以下, 片内 RAM 数量增加一个数量级以上。
- 从制造工艺来看, 最初采用 $4\mu\text{m}$ 的 NMOS 工艺, 而现在则普遍采用亚微米 CMOS 工艺。
- DSP 芯片的引脚数量从最初最多 64 个增加到现在的 200 个以上, 引脚数量的增加, 意味着结构灵活性的增加, 如外部存储器的扩展和处理器间的通信等。
- DSP 芯片的发展使 DSP 系统的成本、体积、重量和功耗都有很大程度的下降。

目前 DSP 芯片价格越来越低, 而性价比却越来越高, 各种开发工具日臻完善, 目前世界 DSP 产品市场每年正以 30%的增幅大幅度增长, 其增长速度比半导体工业快 50 倍。DSP 已成为最有发展和应用前景的电子器件之一。

1.2.2 DSP 芯片的分类

为适应数字信号处理各种各样的实际应用, DSP 厂商生产出多种类型和档次的 DSP 芯片。在众多的 DSP 芯片中, 可以按照下列两种方法进行分类。

1. 按数据格式分类

根据芯片工作的数据格式, 按其精度或动态范围, 将通用 DSP 分为定点 DSP 和浮点 DSP 两类。将数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C1x/C2x、TMS320C2xx/C5x 和 TMS320C54x/C62xx 系列, ADI 公司的 ADSP-21xx 系列等; 将以浮点格式工作的 DSP 芯片称为浮点 DSP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C3x/C4x/C8x, ADI 公司的 ADSP-21xxx 系列等。

不同浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式不完全一样, 有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式, 如 TMS320C3x; 而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式, 如 Motorola(摩托罗拉)公司的 MC96002、MB86232。

2. 按芯片的用途分类

按照 DSP 的用途, 可分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。通用型 DSP 芯片指可以用指令编程的 DSP 芯片, 适合于普通的 DSP 应用, 具有可编程性和强大的处理能力, 可完成复杂的数字信号处理的算法。TI 公司的一系列 DSP 芯片就属于通用型 DSP 芯片。专用型 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计, 通常只针对某一种应用, 其相应的算法由内部硬件电路实现, 适合于数字滤波、FFT、卷积和相关算法等特殊的运算, 这种芯片主

要用于对信号处理速度要求极高的特殊场合，如 Motorola 公司的 DSP56200，Zoran(佐兰)公司的 ZR34881 都属于专用型 DSP 芯片。

本书只讲述通用型 DSP 芯片。

1.2.3 DSP 芯片的特点

数字信号处理不同于普通的科学计算与分析，它强调运算的实时性。除了具备普通处理器的高速运算和控制能力外，针对实时数字信号处理的特点，DSP 在结构、指令系统和指令流程上作了很大改进，其主要特点可概括为以下几点。

1. 哈佛结构

总线结构可分为两种，一种是冯·诺依曼结构，另一种是哈佛结构。

图 1-2 为冯·诺依曼结构的示意图，该结构的特点是程序存储器和数据存储器共用一个存储空间，程序和数据存储器使用单一的地址和数据总线，取指令和取操作数通过一条总线分时进行。因此当进行高速运算时，不但取指令和取操作数不能同时进行，还会造成数据传输通道的瓶颈现象，工作速度较慢。

与冯·诺依曼结构相比，哈佛结构更适合处理高实时要求的数字信号，如图 1-3 所示。该结构采用双存储空间，程序存储器和数据存储器分开，有各自独立的程序总线 and 数据总线，可独立编址和独立访问，程序和数据独立传输，取指操作、指令执行操作和数据吞吐并行完成，大大提高了数据处理能力和指令的执行速度，非常适合实时数字信号处理。

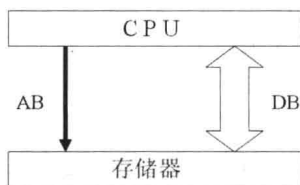


图 1-2 冯·诺依曼结构

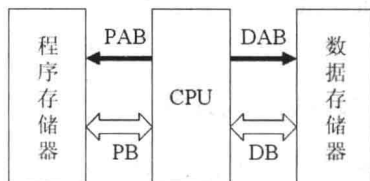


图 1-3 哈佛结构

很多 DSP 芯片有两套或两套以上内部数据总线，该总线结构称为改进型哈佛结构，如图 1-4 所示。对于乘法或加法等运算，一条指令要从存储器中取两个操作数，多套数据总线就使得两个操作数可以同时取得。TI 公司的 DSP 芯片采用改进型的哈佛结构，改进之处有以下两点。

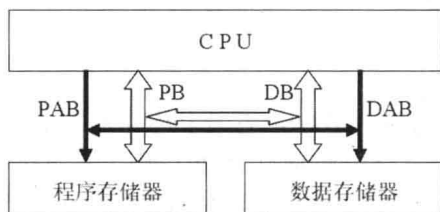


图 1-4 改进型哈佛结构

(1) 允许程序空间和数据空间之间相互传送数据,使这些数据可以由算术运算指令直接调用,增强芯片的灵活性。

(2) 提供了存储指令的高速缓冲器(cache)和相应指令,当重复执行这些指令时,只需读入一次就可连续使用,不需要再次从程序存储器中读出,从而减少了指令执行所需要的时间。

2. 流水线操作

所谓流水线操作,指的是取指令和执行指令可以同时进行,从而缩短指令执行的时间,进一步增强处理器的数据处理能力。流水线操作可以使两个或多个不同操作重叠执行。在处理器内,每条指令的执行可分为取指、解码、执行等若干个阶段,每个阶段称为一级流水。流水处理使若干条指令的不同执行阶段并行执行,因而能够提高程序执行速度。不同的 DSP 芯片具有不同的流水线深度,深度越高,可以同时执行的指令数越多。图 1-5 为一个四级流水操作的示意图。



图 1-5 四级流水线操作

3. 特殊的 DSP 指令

为了满足数字信号处理的需要, DSP 的指令系统中设计了一些完成特殊功能的指令。如 TMS320C54x 中的 FIRS 和 LMS 指令,专门用于完成系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

4. 采用硬件乘法器

一般的处理器没有硬件乘法器,它的算术逻辑单元只能完成两个操作数的加、减和逻辑运算,而乘法和除法是由加法和移位来实现的,因此在这类处理器上实现乘法和除法很浪费时间;但在数字信号处理中,有大量的乘法运算,因此 DSP 芯片都有专门的硬件乘法器。硬件乘法器是 DSP 区别于通用处理器的一个重要标志。

5. 支持多种寻址方式

DSP 处理所需的数据一般存放在片内或片外存储器上,伴随着对数据的频繁访问,数据地址的计算时间也会线性增加,因此 DSP 芯片通常有支持地址计算的算术单元,即地址产生器,地址产生器与算术逻辑单元并行工作,因此地址的计算不额外占用 CPU 时间。此外, DSP 通常支持位倒序寻址(如实现 FFT 快速倒序)和循环寻址等方式,以提高处理速度。

6. 高速的处理能力

DSP 芯片的主频不断提高,加上采用哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器、特



殊的指令以及集成电路的优化设计,使 DSP 芯片具有高速的处理能力。如: TMS320C67x 的运算速度为 100MIPS,即一亿条指令/秒。

7. 丰富的硬件配置

DSP 具有丰富的片上存储器,包括 RAM、ROM、Flash 等,也具有丰富的片内外设,如 AD、定时器、串行口、CAN 总线接口等,还配有中断处理器、PLL、JTAG 等单元电路,可方便地构成一个嵌入式自封闭控制的处理系统。

1.2.4 DSP 芯片的选择

设计 DSP 应用系统,DSP 芯片的选择是一个重要环节。只有选定了 DSP 芯片,才能进一步设计系统的外围电路。总的来说,DSP 芯片的选择应根据实际的系统需要而定。不同的 DSP 应用系统由于应用场合、应用目的等不尽相同,对 DSP 芯片的选择也不同。一般来说,选择 DSP 芯片时主要考虑下列因素。

1. 芯片的运算速度

运算速度是 DSP 芯片重要的性能指标,也是选择 DSP 芯片时要考虑的一个主要因素。DSP 芯片的运算速度可用以下几种性能指标来衡量:

- 指令周期:即执行一条指令所需的时间,通常以 ns(纳秒)为单位。
- MAC 时间:即一次乘法加上一次加法的时间。
- FFT 执行时间:即运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。由于 FFT 运算涉及的运算在数字信号处理中很有代表性,因此 FFT 运算时间常作为衡量 DSP 芯片运算能力的一个指标。
- MIPS:即每秒执行百万条指令。
- MOPS:即每秒执行百万次操作。这里的操作除了包括 CPU 的操作外,还包括地址计算、DMA 访问、数据传输和 I/O 操作等。
- MFLOPS:即每秒执行百万次浮点操作。MFLOPS 是表征浮点 DSP 芯片处理性能的重要指标。其中浮点操作包括浮点乘法、加法、减法和存储等操作。
- BOPS:即每秒执行十亿次操作。

2. 芯片的价格

DSP 芯片的价格也是选择 DSP 芯片时所需考虑的一个重要因素。若采用价格昂贵的 DSP 芯片,即使性能再高,其应用范围也会受限,尤其在民用产品中。因此根据实际系统的应用情况,需选择一个价格适中的 DSP 芯片。

3. 芯片的硬件资源

不同的 DSP 芯片所提供的硬件资源是不相同的,如片内 RAM 和 ROM 的数量、外部可扩展的程序和数据空间、总线接口和 I/O 接口等。即使是同一系列的 DSP 芯片,系列中的不同芯片也具有不同的内部硬件资源,以适应不同的需要。

4. 芯片的运算精度

DSP 芯片的精度与芯片的字长有关,且相同字长的浮点 DSP 的精度一般要高于定点 DSP 的精度。

5. 芯片的开发工具

在 DSP 系统的开发过程中,开发工具是必不可少的。若没有开发工具的支持,想开发一个复杂的 DSP 系统几乎是不可能的;若有功能强大的开发工具的支持(如 C 语言),开发时间则会大大缩短。所以,在选择 DSP 芯片的同时必须考虑选择开发工具,包括软件和硬件的开发工具。

6. 芯片的功耗

在某些 DSP 应用场合,功耗也是一个需要特别注意的问题。如便携式设备、手持设备和野外应用的 DSP 设备等都对功耗有特殊的要求。目前,供电 3.3V 的低功耗高速 DSP 芯片已被大量使用。

7. 其他因素

除上述因素外,选择 DSP 芯片还应考虑封装形式、质量标准、供货情况、生命周期等因素。有的 DSP 芯片可能有 DIP、PGA、PLCC、PQFP 等多种封装形式。有些 DSP 系统可能最终要求的是工业级或军用级标准,在选择时就需要注意所选的芯片是否有工业级或军用级的同类产品。如果所设计的 DSP 系统不仅仅是一个实验系统,而且是需要批量生产并可能有几年甚至十几年生命周期的,那么在选择时就需要考虑所选的 DSP 芯片供货情况如何,是否也有同样甚至更长的生命周期等。

在上述诸多因素中,一般而言,定点 DSP 芯片的价格较便宜,功耗较低,但运算精度稍低;浮点 DSP 芯片的优点是运算精度高,且 C 语言编程方便,但价格稍贵,功耗也较大。如 TI 的 TMS320C2xx/C54x 系列属于定点 DSP 芯片,低功耗和低成本是其主要特点;而 TMS320C3x/C4x/C67x 为浮点 DSP 芯片,运算精度高、用 C 语言编程方便、开发周期短,但同时其价格和功耗也相对较高。

DSP 应用系统的运算量是决定选用多大处理能力 DSP 芯片的基础。运算量小的 DSP 系统可选用处理能力不是很强的 DSP 芯片,从而降低系统成本;相反,运算量大的 DSP 系统则必须选用处理能力强的 DSP 芯片。如果单个 DSP 芯片的处理能力达不到系统要求,则必须使用多个 DSP 芯片并行处理。

1.2.5 TI 的 DSP 芯片

TI 公司作为全球 DSP 的领导者,将常用的 DSP 芯片归纳为三大系列: TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列和 TMS320C6000 系列(见图 1-6),每个系列包括多个子系列,共有数十种 DSP 器件,可满足各个领域的不同需要。