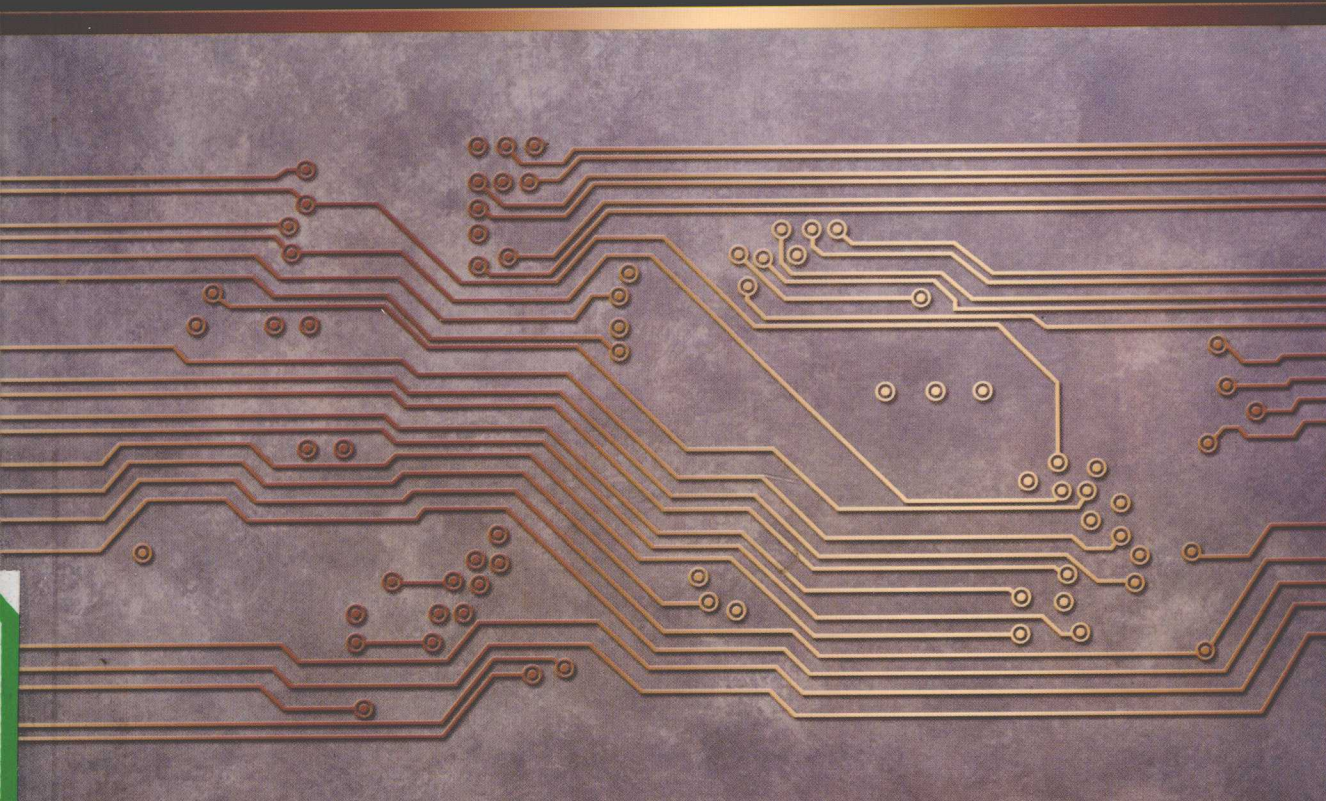


新编电气与电子信息类本科规划教材

TMS320C28x系列

DSP原理与应用技术

王忠勇 陈恩庆 编著



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编电气与电子信息类本科规划教材

DSP 原理与应用技术

王忠勇 陈恩庆 编著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在介绍 DSPs 芯片特点和应用的基础上,以 TI 公司 C28x 系列的 TMS320F2812 芯片为描述对象,系统地介绍了 DSPs 芯片的基本特点、硬件结构、工作原理、开发环境和使用方法,内容包括 CPU 内部结构、时钟和系统控制、存储空间及通用 I/O 接口、中断管理方式、片内外设、寻址方式和指令系统、集成开发环境 CCS、DSP 最小系统及相应软件设计等。本书免费提供电子课件、例程源代码等教辅资源。

本书简明易读、概念清晰、例程丰富、实践性强,通过框架式学习方法,使读者建立 DSPs 芯片的主要知识体系;通过概念联系方法,使读者建立基本概念与逻辑概念、物理概念之间的联系,力图让读者能将理论知识应用到实际的 DSP 系统中,达到开发设计目的。

本书可作为自动化、电子信息工程、通信工程等电类专业的高年级本科生及研究生的教学用书,也可以作为从事 DSPs 芯片开发的科研及工程技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理与应用技术/王忠勇,陈恩庆编著. —北京:电子工业出版社, 2009.10

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 978-7-121-09670-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 183304 号

策划编辑:史鹏举

责任编辑:谭海平 文字编辑:史鹏举

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23.75 字数:670 千字

印 次:2009 年 10 月第 1 次印刷

定 价:37.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

数字信号处理器(Digital Signal Processors, 简称 DSPs)是为独立快速地实现各种数字信号处理(DSP)运算而专门设计的一种处理器件,它广泛应用于电气控制、通信、信号处理、仪器仪表、航空航天、生物医学和消费电子等领域。TMS320C2000 系列 DSPs 芯片是美国德州仪器公司(Texas Instruments Incorporation, 简称 TI 公司)的三大 DSPs 芯片系列之一,主要针对控制领域应用而设计,其中又以 C28x 子系列应用最为广泛。同时该系列芯片又与 TI 公司其他两大系列 DSPs 芯片(TMS320C5000 系列和 TMS320C6000 系列)一样具有较强的信号处理能力。

本书在介绍 DSPs 芯片特点和应用的基础上,以 TI 公司 C28x 系列的 TMS320F2812 芯片为描述对象,系统地介绍了 DSPs 芯片的基本特点、硬件结构、工作原理、开发环境和使用方法,包括 CPU 内部结构、时钟和系统控制、存储空间及通用 I/O 接口、中断管理方式、片内外设、寻址方式和指令系统、集成开发环境 CCS、DSP 最小系统及相应软件设计等。

TMS320F2812 芯片是目前 C2000 系列中应用最广泛、最具代表性的芯片。它不仅具有多数 DSPs 芯片广泛使用的 32 位内核结构、片内/外存储器映射、时钟和中断管理机制,而且还具有事件管理器(EV)、串行通信接口(SCI)、串行外设接口(SPI)、多通道缓冲串行口(McBSP)、eCAN 总线模块和模数转换模块(ADC)等多种片内外设。它为实现高性能、高精度的数字控制提供了很好的解决方案,同时也是学习和熟悉 DSPs 芯片原理和开发应用的理想入门学习芯片。

本书结合作者多年来从事 DSPs 课程教学和项目开发的经验,通过介绍框架式学习方法使读者建立 DSPs 芯片的主要知识体系,避免初学者过早地陷入到细节学习中;通过介绍概念联系学习方法,力求使读者建立 DSP 系统的基本概念与逻辑概念、物理概念之间的联系,从而能更好地将 DSPs 的基本概念和原理应用到实际 DSP 系统的开发设计中。

全书共 9 章:

第 1 章:简要概述 DSP 系统和 DSPs 芯片的特点、应用现状、发展前景、芯片选型注意事项及 TMS320F2812 芯片性能特点和引脚分布;

第 2 章:介绍 CPU 的内部结构、主要寄存器和时钟控制系统;

第 3 章:介绍存储器组成、分配、扩展,以及外部扩展接口和应用;

第 4 章:介绍中断及中断扩展模块的结构、工作原理和使用方法;

第 5 章:介绍 EV、SCI、SPI、McBSP、eCAN 和 ADC 等片内外设模块的结构、特点和工作方式,并给出应用实例;

第 6 章:介绍寻址方式和汇编指令系统;

第 7 章:介绍 DSPs 开发中涉及的伪指令、宏指令和链接器命令文件的编写;

第 8 章:介绍集成开发环境和开发流程;

第 9 章:介绍 DSP 最小系统的硬件设计,并给出相关应用程序。

本书可作为自动化、电子信息工程、通信工程等电类专业的高年级本科生及研究生的教学用书,也可以作为从事 TMS320F2812 DSPs 芯片开发的科研及工程技术人员参考用书。

本书配有电子课件、程序源代码等教辅资源,需要者可从华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 免费注册下载。

本书由王忠勇、陈恩庆编著，宋豫全参与了部分书稿和程序的编写及整理。研究生张传宗、卢亮亮、于洋、许领、李小魁、薛金辉、李轩昂、谢金鹏等对书稿的录入、校对和程序验证做了很多工作，在此对他们付出的努力表示感谢！

另外，本书在编写过程中参考了许多优秀的 DSP 书籍，在此一并向这些书籍的作者表示真诚的谢意！

由于作者水平有限，书中难免存在错误或不当之处，恳请广大读者批评指正。

咨询、意见和建议可反馈至本书责任编辑邮箱：shipj@phei.com.cn

编 著 者

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 DSP 系统及 DSPs 芯片的特点	(1)
1.1.1 DSP 技术的发展	(1)
1.1.2 DSP 系统的特点	(2)
1.1.3 DSPs 芯片的基本特点	(2)
1.2 DSPs 芯片的类别和使用选择	(4)
1.2.1 DSPs 芯片的分类	(4)
1.2.2 DSPs 芯片的选择	(5)
1.3 DSPs 芯片开发应用现状与前景	(6)
1.3.1 DSPs 芯片开发应用现状	(6)
1.3.2 DSPs 技术展望	(8)
1.4 TMS320F2812 的主要特点	(8)
1.4.1 TMS320X28x 系列芯片	(8)
1.4.2 TMS320F281x 系列芯片的主要性能	(10)
1.5 TMS320F2812 外部引脚和信号说明	(13)
1.6 本课程特点和学习方法	(20)
1.6.1 本课程与其他课程的关系	(20)
1.6.2 概念联系学习方法	(21)
1.6.3 框架式学习方法	(22)
本章小结	(23)
习题与思考题	(24)
第 2 章 CPU 内部结构与时钟系统	(25)
2.1 CPU 概述	(25)
2.1.1 兼容性	(25)
2.1.2 CPU 组成及特性	(27)
2.1.3 CPU 信号	(28)
2.2 CPU 的结构及总线	(28)
2.2.1 CPU 结构	(28)
2.2.2 地址和数据总线	(29)
2.3 CPU 寄存器	(30)
2.3.1 累加器 (ACC、AH、AL)	(32)
2.3.2 被乘数寄存器 (XT)	(32)
2.3.3 结果寄存器 (P、PH、PL)	(33)
2.3.4 数据页指针 (DP)	(34)
2.3.5 堆栈指针 (SP)	(34)

2.3.6	辅助寄存器(XAR0~XAR7、AR0~AR7)	(35)
2.3.7	程序计数器(PC)	(35)
2.3.8	返回程序寄存器(RPC)	(35)
2.3.9	中断控制寄存器(IFR、IER、DBGIER)	(35)
2.3.10	状态寄存器 0(ST0)	(36)
2.3.11	状态寄存器 1(ST1)	(38)
2.4	时钟及系统控制	(41)
2.4.1	时钟寄存器组	(42)
2.4.2	晶体振荡器及锁相环	(44)
2.4.3	定时器及其应用	(47)
2.4.4	看门狗定时器及其应用	(53)
2.5	程序流	(58)
2.5.1	中断	(58)
2.5.2	分支、调用和返回	(58)
2.5.3	单指令重复执行	(58)
2.5.4	指令流水线	(58)
	本章小结	(59)
	习题与思考题	(60)
第 3 章	存储器与通用 I/O 口	(61)
3.1	存储器	(61)
3.1.1	片上程序/数据存储器	(62)
3.1.2	外设帧 PF	(65)
3.1.3	32 位数据访问的地址分配	(65)
3.2	外部扩展接口	(66)
3.2.1	外部接口描述	(66)
3.2.2	外部接口的访问	(67)
3.2.3	外部接口配置寄存器组	(68)
3.2.4	信号说明	(72)
3.2.5	外部接口的配置	(73)
3.2.6	外部接口 DMA 访问	(76)
3.2.7	外部接口操作时序	(76)
3.3	通用输入/输出(GPIO)多路复用器	(79)
3.3.1	GPIO 多路复用器概述	(79)
3.3.2	GPIO 多路复用器的寄存器	(82)
3.3.3	GPIO 应用举例	(83)
	本章小结	(87)
	习题与思考题	(88)
第 4 章	中断管理和复位	(89)
4.1	中断矢量	(89)
4.2	可屏蔽中断	(91)

4.2.1	中断标志寄存器 (IFR)	(91)
4.2.2	中断使能寄存器 (IER) 和调试中断使能寄存器 (DBGIER)	(92)
4.2.3	可屏蔽中断的标准操作	(94)
4.3	不可屏蔽中断	(97)
4.3.1	INTR 指令	(97)
4.3.2	TRAP 指令	(97)
4.3.3	不可屏蔽硬件中断	(99)
4.4	非法指令陷阱	(99)
4.5	复位操作	(100)
4.6	低功耗模式	(101)
4.7	外设中断扩展模块 (PIE)	(103)
4.7.1	PIE 控制器概述	(103)
4.7.2	向量表映像	(105)
4.7.3	中断源	(107)
4.7.4	PIE 配置和控制寄存器组	(115)
4.7.5	外部中断控制寄存器组	(117)
4.7.6	中断应用	(119)
	本章小结	(131)
	习题与思考题	(132)
第 5 章	TMS320F2812 片内外设模块	(133)
5.1	事件管理器 (EV)	(133)
5.1.1	通用定时器	(133)
5.1.2	脉宽调制电路 PWM	(141)
5.1.3	捕获单元与正交编码脉冲电路	(144)
5.1.4	事件管理器模块的中断	(147)
5.1.5	EV 应用举例	(148)
5.2	串行通信接口 (SCI)	(152)
5.2.1	SCI 结构和特点	(152)
5.2.2	SCI 工作方式	(155)
5.2.3	SCI 应用举例	(158)
5.3	串行外设接口 (SPI)	(165)
5.3.1	SPI 结构和特点	(165)
5.3.2	SPI 工作方式	(167)
5.3.3	SPI 应用举例	(170)
5.4	eCAN 总线模块	(173)
5.4.1	eCAN 结构和特点	(174)
5.4.2	eCAN 工作方式	(177)
5.4.3	eCAN 应用举例	(180)
5.5	多通道缓冲串行口 (McBSP)	(184)
5.5.1	McBSP 结构和特点	(184)

5.5.2	McBSP 工作方式	(187)
5.5.3	McBSP 应用举例	(189)
5.6	模数转换模块 (ADC)	(193)
5.6.1	ADC 结构和特点	(193)
5.6.2	ADC 工作方式	(195)
5.6.3	ADC 应用举例	(198)
	本章小结	(200)
	习题与思考题	(200)
第 6 章	寻址方式和汇编指令	(201)
6.1	寻址方式	(201)
6.1.1	寻址方式选择位 AMODE	(202)
6.1.2	直接寻址方式	(203)
6.1.3	堆栈寻址方式	(204)
6.1.4	间接寻址方式	(205)
6.1.5	寄存器寻址方式	(208)
6.1.6	其他可用的几种寻址方式	(209)
6.1.7	32 位操作的定位	(210)
6.2	汇编语言指令集	(210)
6.2.1	指令集概述	(210)
6.2.2	指令句法描述	(222)
6.2.3	指令集	(222)
6.3	汇编源程序	(262)
6.3.1	汇编源程序格式	(262)
6.3.2	常量	(263)
6.3.3	表达式与运算符	(264)
6.3.4	源列表文件	(264)
	本章小结	(266)
	习题与思考题	(267)
第 7 章	伪/宏指令和目标文件链接	(268)
7.1	伪指令	(268)
7.1.1	伪指令作用及分类	(268)
7.1.2	伪指令汇总	(269)
7.2	宏指令	(300)
7.2.1	宏定义和宏调用	(301)
7.2.2	与宏相关的伪指令	(302)
7.3	内嵌函数	(303)
7.4	目标文件链接	(304)
7.4.1	段	(304)
7.4.2	段程序计数器	(304)
7.4.3	链接器命令文件和链接器伪指令	(305)

7.4.4 重定位	(310)
本章小结	(311)
习题与思考题	(312)
第 8 章 软件开发环境	(313)
8.1 软件开发工具	(313)
8.1.1 代码生成工具	(313)
8.1.2 代码调试工具	(315)
8.2 软件开发平台 CCS 及其应用	(318)
8.2.1 CCS 的安装与设置	(318)
8.2.2 CCS 软件界面组成	(320)
8.2.3 文件管理功能(File)	(320)
8.2.4 编辑功能(Edit)	(321)
8.2.5 视图功能(View)	(323)
8.2.6 工程管理(Project)	(328)
8.2.7 调试功能(Debug)	(329)
8.2.8 代码性能评估(Profiler)	(332)
8.2.9 通用扩展语言(GEL)	(333)
8.2.10 选项(Option)	(334)
8.2.11 工具(Tools)	(335)
8.2.12 DSP 实时操作系统(DSP/BIOS)	(335)
8.2.13 窗口(Windows)	(335)
8.2.14 CCS 的应用	(336)
本章小结	(337)
习题与思考题	(338)
第 9 章 DSP 应用系统设计	(339)
9.1 DSP 最小系统	(339)
9.1.1 系统原理	(339)
9.1.2 电源电路	(339)
9.1.3 时钟电路	(340)
9.1.4 复位电路	(340)
9.1.5 调试与测试接口	(341)
9.1.6 外部扩展存储器	(341)
9.2 其他外围设备	(342)
9.2.1 GPIO 扩展设备	(342)
9.2.2 SCI 接口	(347)
9.2.3 ADC 接口	(347)
9.3 应用程序设计	(348)
9.3.1 链接命令文件	(348)
9.3.2 F2812 头文件	(352)
9.3.3 应用程序中调用的源文件	(356)

9.3.4 应用程序示例 (358)

9.4 Flash 烧写方法 (362)

9.4.1 烧写前的硬件设置 (362)

9.4.2 Bootloader 功能 (362)

9.4.3 插件安装 (364)

9.4.4 编译应用程序 (364)

9.4.5 烧写 Flash (367)

本章小结 (368)

习题与思考题 (368)

参考文献 (369)

第1章 绪 论

学习要点

- ◆ DSP 系统和 DSPs 芯片的基本结构与特点
- ◆ DSPs 芯片分类和选型的依据
- ◆ TMS320F2812 芯片的主要性能特点
- ◆ DSPs 芯片原理与应用课程特点及学习方法

1.1 DSP 系统及 DSPs 芯片的特点

1.1.1 DSP 技术的发展

信号处理本质上是对自然界中的物理过程或系统进行变换、分析或设计,目的是从中获取感兴趣的信息。传统的信号处理或系统分析采用模拟技术进行,其处理设备和器件均为模拟器件(电阻、电容和运算放大器等)。20 世纪 60 年代以来,随着大规模集成电路、数字计算机等信息技术的飞速发展,数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)技术应运而生并得到快速的发展。在过去的 20 多年时间里, DSP 在理论和应用方面不断地进步和完善,在越来越多的应用领域中迅速取代传统的模拟信号处理方法,并且开辟出许多新的应用领域。目前数字信号处理技术已经在通信、雷达、航空航天、工业控制、生物医学工程、网络及家电等领域得到极为广泛的应用,数字化时代正在到来。

由于 DSP 技术应用非常广泛,迫切需要一种能高效完成复杂数字信号处理或数字系统控制,能够作为 DSP 系统核心的器件。因此,众多半导体厂商投入到高性能数字信号处理器(Digital Signal Processors, DSPs)芯片的研发当中。1982 年,美国德州仪器公司(Texas Instruments Incorporation, 简称 TI 公司)推出了该公司的第一款 DSPs 芯片,很快 DSPs 芯片就以其数字器件特有的稳定性、可重复性、可大规模集成和易于实现 DSP 算法等优点,为数字信号处理技术带来了更大的发展和应用前景。采用各种类型 DSPs 实现系统的数字化处理和控制已经成为未来发展的趋势,并且随着 DSPs 运算能力的不断提高,数字信号处理的研究重点也由最初的非实时应用转向高速实时应用。

从数字信号处理领域来看,无论是 DSP 算法和理论研究,还是 DSPs 的开发和应用,都需要大量高素质的 DSP 研发人才,所以数字信号处理理论及其实现的课程也得到学术界和大专院校的高度重视。包括算法理论和实现在内的整个数字信号处理技术已成为一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的蓬勃发展的新兴学科。基于高速数字计算机和超大规模数字集成电路的 DSP 新算法、新实现技术、高速 DSPs 器件、多维处理和 DSPs 的新应用成为 DSP 学科发展方向和研究热点。本书以介绍 DSP 技术应用的一个重要方面——基于 DSPs 芯片的系统开发和应用为目标,通过对 TI 公司 TMS320F2812 芯片的原理、结构及开发应用的介绍,使读者对该型号的 DSPs 芯片的开发和应用有一个比较系统的认识,从而也对整个 DSPs 芯片家族各芯片的开发有一个整体的了解。

1.1.2 DSP 系统的特点

以 DSPs 芯片为核心构成的 DSP 系统一般由控制处理器(其控制功能可由通用处理器完成,也可直接由 DSPs 芯片完成)、DSPs、输入/输出接口、存储器和数据传输网络构成,其结构框图如图1-1-1所示。

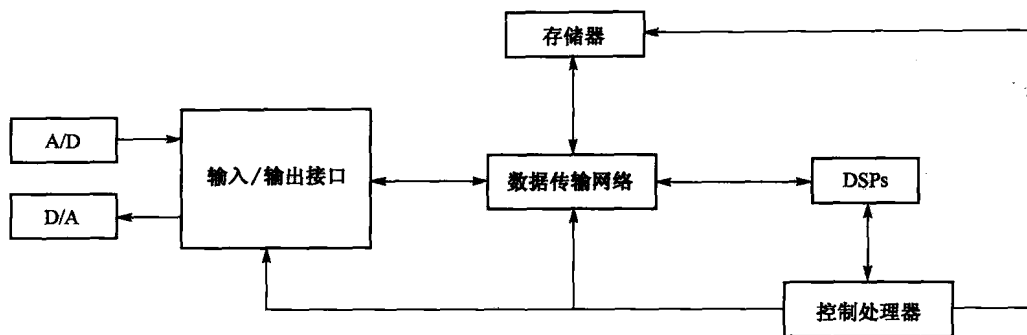


图 1-1-1 DSP 系统结构图

以 DSPs 芯片为核心构建的 DSP 系统是以数字化处理为基础的,因此具有数字处理的全部优点:

(1) 接口方便。DSP 系统与其他以现代数字技术为基础的系统或设备都是相互兼容的,用这样的系统接口实现某种功能要比模拟系统与这些系统接口容易。

(2) 编程方便。DSP 系统中的可编程 DSPs 芯片可使设计人员在开发过程中灵活方便地对软件进行修改和升级。

(3) 稳定性好。DSP 系统以数字处理为基础,受环境温度及噪声的影响较小,可靠性高。

(4) 精度高。16 位数字系统就可以达到 10^{-5} 的精度,而目前推出的 DSPs 芯片大多是 32 位或更高的,因此可以达到很高的处理精度。

(5) 可重复性好。模拟系统的性能受元器件性能参数变化比较大,而数字系统基本不受影响,因此数字系统便于测试、调试和大规模生产。

(6) 集成方便。DSP 系统中的数字部件有高度的规范性,便于大规模集成。

当然,DSP 系统也有它的不足。例如,对于简单的信号处理任务,若采用 DSPs 则使成本增加。此外,随着处理速度的提高,DSP 系统中的高速时钟也可能带来高频干扰和电磁泄漏等问题,而且 DSP 系统功率损耗也相对较大。

虽然 DSP 系统存在着不足,但其突出的优点已经使之在通信、语音、图像、雷达、生物医学、工业控制、仪器仪表等众多领域得到越来越广泛的应用。由于每个 DSP 系统的具体应用不同,DSP 系统的组成和复杂度千差万别。有的 DSP 系统的硬件平台可能是以一颗 DSPs 芯片为核心的板卡,有的则可能是由多颗 DSPs 芯片并联同其他芯片共同组成的主从结构式的板卡。因此,在实际工程中应该根据具体问题设计开发不同的软硬件系统以便高效地完成给定任务。

1.1.3 DSPs 芯片的基本特点

为了快速实现 DSP 运算,DSPs 芯片一般都采用特殊的软硬件结构。下面以 TMS320 系列为例介绍 DSPs 芯片的基本特点。

TMS320 系列 DSPs 芯片的基本特点包括:哈佛结构,流水线操作,专用的硬件乘法器,特殊的 DSP 指令,快速的指令周期。

这些特点使得 TMS320 系列 DSPs 芯片可以实现快速的 DSP 运算, 并使大部分运算(如乘法运算)能够在—个指令周期内完成。由于 TMS320 系列 DSPs 芯片是软件可编程器件, 因此具有通用微处理器具有的方便灵活的特点。下面分别介绍这些特点是如何在 TMS320 系列 DSPs 芯片中应用并使得芯片的功能得到加强的。

1. 哈佛结构

哈佛结构是不同于传统的冯·诺伊曼(Von Neumann)结构的并行体系结构, 其主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中, 即程序存储器和数据存储器是两个相互独立的存储器, 每个存储器独立编址, 独立访问。与两个存储器相对应的是系统中设置了程序和数据两条总线, 从而使数据的吞吐率提高了一倍。而冯·诺伊曼结构则是将指令、数据、地址存储在同一存储器中, 统一编址, 依靠指令计数器提供的地址来区分是指令、数据还是地址, 取指令和取数据都访问同一存储器, 数据吞吐率低。

在哈佛结构中, 由于程序和数据存储器在两个分开的空间中, 因此取指和执行能完全重叠运行。为了进一步提高运行速度和灵活性, TMS320 系列 DSPs 芯片在基本哈佛结构的基础上做了改进, 一是允许数据存放在程序存储器中, 并被算术运算指令直接使用, 增强了芯片的灵活性; 二是指令存储在高速缓冲器(Cache)中, 当执行此指令时, 不需要再从存储器中读取指令, 节约了一个指令周期的时间。

2. 流水线操作

与哈佛结构相关, DSPs 芯片广泛采用流水线以减少指令执行时间, 从而增强了处理器的处理能力。TMS320 系列处理器的流水线深度从 2~8 级不等。第一代 TMS320 处理器采用 2 级流水线, 第二代采用 3 级流水线, 第三代采用 4 级流水线, 而本书介绍的芯片 TMS320F2812 则用 8 级流水线。也就是说, 处理器可以并行处理 2~8 条指令, 每条指令处于流水线上的不同阶段。图 1-1-2 所示为一个 4 级流水线操作的例子。

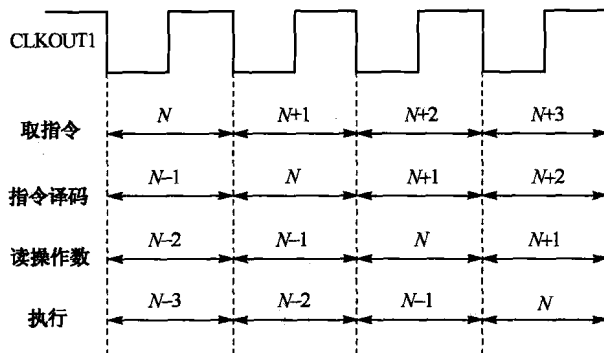


图 1-1-2 4 级流水线操作

在 4 级流水线操作中, 取指令、指令译码、读操作数和执行操作可以独立地处理, 这可使指令执行完全重叠。在每个指令周期内, 四条不同的指令处于激活状态, 每条指令处于不同的操作阶段。例如, 在第 N 条指令取指令时, 前一条指令即第 $N-1$ 个指令正在译码, 第 $N-2$ 个指令正在读操作数, 而第 $N-3$ 条指令则正在执行。一般来说, 流水线对用户是透明的。

3. 专用的硬件乘法器

在 DSPs 中具有硬件连线逻辑的高速“与或”运算器(乘法器和累加器), 取两个操作数到乘法器中进行乘法运算, 并将乘积加到累加器中, 这些操作都可以在单个周期内完成。

在数字信号处理算法中,乘法和累加是基本的大量的运算。例如:在卷积运算、数字滤波、FFT、相关计算和矩阵运算等算法中,都有大量的类似于 $\sum A(k)B(n-k)$ 的运算。DSPs 中设置的硬件乘法器和 MAC(乘法并累加)一类的指令,可以使这些运算速度大大提高。乘法速度越快,DSPs 性能就越高。在通用的微处理器中,乘法指令是由一系列加法来实现的,故需许多个指令周期来完成。相比而言,DSPs 芯片的特征就是有一个专用的硬件乘法器。

4. 特殊的 DSPs 指令

在 DSPs 的指令系统中,有许多指令是多功能指令,即一条指令可以完成多种不同的操作,或者说一条指令具有多条指令的功能。如 TMS320F2812 中的 XMACD 指令,它在一个指令周期内完成乘法、累加和数据移动 3 项功能,相当于执行了 MOV、DMOV、MPY 和 ADDL 4 条指令(MOV 和 MPY 完成两存储器内容相乘的功能)。再如重复指令 RPT,可以使它后面的指令执行 1~65536 次。

5. 快速的指令周期

哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器、特殊的 DSPs 指令再加上集成电路的优化设计,大大缩短了 DSPs 芯片的指令周期,目前 TMS320 系列多数处理器的指令周期已经降低到了 10 ns 以下,快速的指令周期使得 DSPs 芯片满足了高实时性场合的需求。

1.2 DSPs 芯片的类别和使用选择

1.2.1 DSPs 芯片的分类

DSPs 芯片可以按照下列方式进行分类。

1. 按数据格式分

这是根据 DSPs 芯片工作的数据格式来分类的。数据以定点格式工作的 DSPs 芯片称为定点 DSPs 芯片,如 TI 公司的 TMS320C1X/C2X、TMS320C2XX/C5X、TMS320C54X/C62XX 系列,ADI 公司的 ADSP21XX 系列,AT&T 公司的 DSP16/16A, Motorola 公司的 MC56000 等。以浮点格式工作的称为浮点 DSPs 芯片,如 TI 公司的 TMS320C3X/C4X/C8X,ADI 公司的 ADSP21XXX 系列,AT&T 公司的 DSP32/32C, Motorola 公司的 MC96002 等。

不同的浮点 DSPs 芯片所采用的浮点格式不完全一样,有的 DSPs 芯片采用自定义的浮点格式,如 TMS320C3X;而有的 DSPs 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式,如 Motorola 公司的 MC96002、FUJITSU 公司的 MB86232 和 ZORAN 公司的 ZR35325 等。

2. 按用途分

按照 DSPs 的用途来分,可分为通用型 DSPs 芯片和专用型 DSPs 芯片。通用型 DSPs 芯片适合普通的 DSP 应用,如 TI 公司的一系列 DSPs 芯片属于通用型 DSPs 芯片。专用 DSPs 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的,更适合特殊的运算,如数字滤波、卷积和 FFT,如 Motorola 公司的 DSP56200, Zoran 公司的 ZR34881, Inmos 公司的 IMSA100 等就属于专用型 DSPs 芯片。

3. 按生产厂家分

每个厂家的 DSPs 芯片都有各自的特点和开发系统,例如,美国的德州仪器公司(Texas Instruments Incorporation, 简称 TI 公司)、亚德诺半导体技术公司(Analog Devices, Inc., 简称 ADI 公司)、3DSP 公司和摩托罗拉公司(Motorola)、荷兰的飞利浦公司(Philips)、法国的 Equator 公司、德国的英飞凌公司(Infineon)等,其中 TI 公司的产品尤为丰富,并且在芯片性能和应用平台上占有优势。

另外,有的资料上介绍了静态 DSPs 芯片和一致性 DSPs 芯片。如果在某时钟频率范围内的任何时钟频率上,DSPs 芯片都能正常工作,除计算速度有变化外,没有性能的下降,这类 DSPs 芯片称为静态 DSPs 芯片。例如,日本 OKI 电气公司的 DSPs 芯片、TI 公司的 TMS320C2XX 系列芯片属于这一类。如果有两种或两种以上的 DSPs 芯片,它们的指令集、相应的机器代码及引脚结构相互兼容,则这类 DSPs 芯片称为一致性 DSPs 芯片。例如,TI 公司的 TMS320C54X 就属于这一类。

1.2.2 DSPs 芯片的选择

要设计 DSP 应用系统,选择 DSPs 芯片是非常重要的环节。只有选定了 DSPs 芯片,才能进一步设计其外围电路及系统的其他电路。总的来说,DSPs 芯片的选择应根据实际的应用系统需要而确定。不同的 DSP 应用系统由于应用场合、应用目的等不尽相同,对 DSPs 芯片的选择也是不同的。一般来说,选择 DSPs 芯片时应考虑到如下主要因素:

1. DSPs 芯片的运算速度

运算速度是 DSPs 芯片最重要的性能指标,也是选择 DSPs 芯片时所需要考虑的主要因素。DSPs 芯片的运算速度可以用以下几种性能指标来衡量:

(1) 指令周期:执行一条指令所需的时间,通常以 ns(纳秒)为单位。如 TMS320LC549-80 在主频为 80MHz 时的指令周期为 12.5 ns。

(2) MAC 时间:一次乘法加上一次加法的时间。大部分 DSPs 芯片可在一个指令周期内完成一次乘法和一次加法操作,如 TMS320LC549-80 的 MAC 时间为 12.5 ns。

(3) FFT 执行时间:运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。由于 FFT 涉及的运算在 DSP 中很有代表性,因此 FFT 运算时间常作为衡量 DSPs 芯片运算能力的一个指标。

(4) MIPS:每秒执行百万条指令。如 TMS320LC549-80 的处理能力为 80 MIPS,即每秒可执行 8 千万条指令。

(5) MOPS:每秒执行百万次操作。如 TMS320C40 的运算能力为 275 MOPS。

(6) MFLOPS:每秒执行百万次浮点操作。如 TMS320C31 在主频为 40MHz 时的处理能力为 40 MFLOPS。

(7) BOPS:每秒执行十亿次操作。如 TMS320C80 的处理能力为 2 BOPS。

2. DSPs 芯片的价格

DSPs 芯片的价格也是选择 DSPs 芯片所需考虑的一个重要因素。如果采用价格昂贵的 DSPs 芯片,即使性能再高,其应用范围肯定会受到一定的限制,尤其是民用产品。因此根据实际系统的应用情况,需确定一个价格适中的 DSPs 芯片。当然,由于 DSPs 芯片发展迅速,DSPs 芯片的价格往往下降较快,因此在开发阶段选择 DSPs 芯片时应充分注意芯片的价格走向。

3. DSPs 芯片的硬件资源

不同的 DSPs 芯片所提供的硬件资源是不相同的,如片内 RAM、ROM 的数量,外部可扩展的

程序和数据空间、总线接口、I/O 接口等。即使是同一系列的 DSPs 芯片也具有不同的内部硬件资源(如 TI 的 TMS320C54x 系列),以适应不同的需要。

4. DSPs 芯片的运算精度

定点 DSP 芯片的数据长度通常为 16 位、32 位,如 TMS320 系列。但有的公司的定点芯片为 24 位,如 Motorola 公司的 MC56001 等。浮点芯片的字长一般为 32 位,累加器为 40 位。

5. DSPs 芯片的开发工具

在 DSP 系统的开发过程中,软件和硬件的开发工具是必不可少的。如果没有开发工具的支持,要想开发一个复杂的 DSP 系统几乎是不可能。有功能强大的开发工具支持,开发的时间就会大大缩短。所以在选择 DSPs 芯片的同时,必须考虑其开发工具的支持情况。

6. DSPs 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。如便携式的 DSP 设备、手持设备、野外应用的 DSP 设备等都对功耗有特殊的要求。目前 3.3 V 供电的低功耗高速 DSPs 芯片已大量使用。

7. 其他

除了上述因素外,选择 DSPs 芯片还应考虑到封装的形式、质量标准、供货情况、生命周期等因素。有的 DSPs 芯片可能有 BGA、PGA、PLCC、LQFP 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到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 系统不仅是一个实验系统,而是需要批量生产并可能有几年甚至十几年的生命周期,那么需要考虑所选的 DSPs 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 DSPs 芯片的价格较便宜,功耗较低,但运算精度稍低。而浮点 DSPs 芯片的优点是运算精度高,且 C 语言编程调试方便,但价格稍贵,功耗也较大。例如, TI 的 TMS320C2XX/C54X 系列属于定点 DSPs 芯片,低功耗和低成本是其主要的特点。而 TMS320C3X/C4X/C67X 属于浮点 DSPs 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。

1.3 DSPs 芯片开发应用现状与前景

1.3.1 DSPs 芯片开发应用现状

1978 年 AMI 公司发布的 S2811 芯片是世界上第一个单片 DSPs 芯片,另一款早期 DSPs 芯片是 1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920。这两种芯片内部都没有现代 DSPs 芯片所必须有的单周期乘法器。1980 年,日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。在这以后,众多公司推出了各自不同系列的多款 DSPs 芯片产品。其中较为成功的 DSPs 芯片当数 TI 公司的一系列产品,它为各种应用开发提供了多种 DSPs 平台。目前常用的 TI 公司 DSPs 包括实时控制处理器、低功耗 DSPs、高性能 DSPs、高性价比 DSPs、浮点 DSPs、数字媒体处理器、OMAP 应用处理器及数字信号控制器等。TI 公司各系列产品介绍如下: