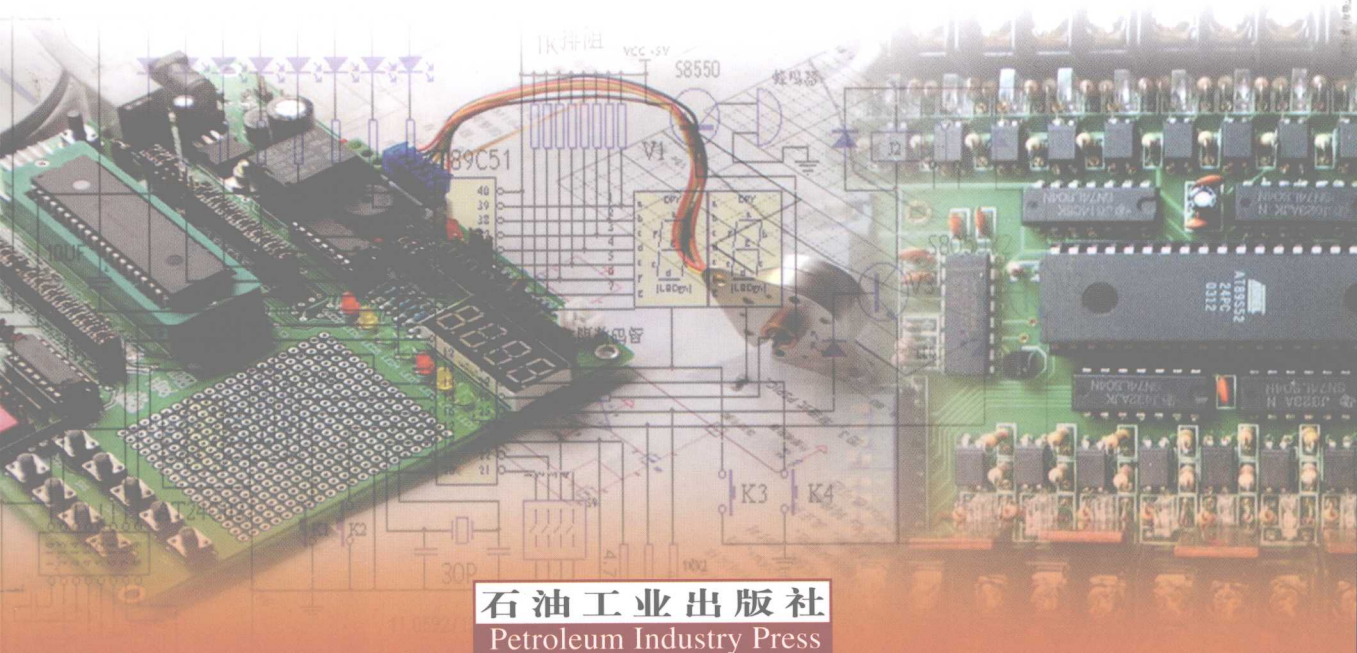




石油高等院校特色教材

DSP单片机原理及应用

刘显德 唐世伟 戴庆 司国海 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高等院校特色教材

DSP单片机原理及应用

刘显德 唐世伟 戴 庆 司国海 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是作者在近 10 年来对 TI 公司 C6000 系列 DSP 平台的应用开发过程中, 结合教学、科研并参考相关资料编著而成。本书详细介绍了 TMS320C6000 系列单片机的原理、体系结构、汇编语言、代码调试器 (CCS) 以及 DSP 应用程序的编写、优化和调试等内容。

本书可作为高等院校信息类专业本科生教材, 也可作为从事相关领域研究人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 单片机原理及应用/刘显德等编著.

北京: 石油工业出版社, 2009. 4

石油高等院校特色教材

ISBN 978 - 7 - 5021 - 7011 - 0

I. D...

II. 刘...

III. 单片微型计算机 - 高等学校 - 教材

IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020124 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523574 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 中国石油报社印刷厂

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 12. 25

字数: 311 千字

定价: 20. 00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

数字信号处理器 DSP (Digital Signal Processor) 是针对数字信号处理需要而设计的一种可编程单片机,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。当今 DSP 的应用几乎遍及整个电子领域,在自动化控制、信号处理、数据采集、图像处理、现代通信系统等领域尤其表现出不可替代的优势。数字信号处理技术是数字化的核心技术,数字信号处理器的采用大大加速了数字化的进程。可编程 DSP 单片机的开发与应用是当前电子信息领域的热点。

TI (德州仪器) 的 C6000 系列 DSP 平台提供了一个软件可兼容的定点与浮点 DSP 系列,该系列使高性能系统的开发者可以选择最适合他们特殊用途的器件;该平台包括了目前最好的 DSP 系列,使用户可以突破性能上的障碍,在成本效率方面达到新水平并实现低能耗。C62xx 和新型的 C64xx 系列定点 DSP 一代也能够升级至 1.16GHz 的时钟,用它驱动的有线和无线宽带网络及数字化成像装置将打破现存的速度纪录。C67xx 浮点 DSP 一代可提供一系列高性能浮点处理器,使诸如专业和家用音响、工业自动化、语音识别、高端图形与成像等对成本敏感领域的创新成为可能。

CCS (Code Composer Studio) 代码调试器是 DSP 芯片集成开发环境,由 TI 公司推出,继承了 C6000 代码产生工具、软件模拟器、实时数据交换软件、实时分析和数据可视化等软件。在 CCS 环境下,开发者可以对软件进行编辑、编译、调试、代码性能测试等工作。

本教材在参考相关资料的基础上,详细介绍了 TMS320C6000 系列 DSP 单片机的原理、体系结构、汇编语言、代码调试器 (CCS) 以及 DSP 应用程序的编写、优化和调试等内容。全书共分五章,第一章:概述,介绍了数字信号处理以及数字信号处理单片机的基本概念;第二章:TMS320C6000 体系结构,介绍了 C6000 的 CPU 结构、流水线及中断的相关内容;第三章:TMS320C6000 的汇编指令集,介绍了 C62xx、C67xx 和 C64xx 的汇编指令;第四章:线性汇编语言及开发环境,介绍了线性汇编程序的结构、CCS 功能及软件的开发流程;第五章:TMS320C6000 的软件编程及代码优化,介绍了 CCS 的编译器和优化器以及代码优化的方法。

本书可作为高等院校信息类专业本科生教材。

全书由大庆石油学院刘显德、唐世伟、戴庆和司国海编写。

由于作者水平有限,书中难免存在许多缺点与不足之处,恳请广大读者和同行批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 数字信号处理基础	(1)
1.1.1 信号、系统和信号处理	(1)
1.1.2 数字信号处理的概貌	(3)
1.1.3 数字信号处理的特点	(3)
1.1.4 数字信号处理的应用	(4)
1.1.5 数字信号处理的发展趋势	(5)
1.2 实时数字信号处理	(6)
1.2.1 实时数字信号处理的概念	(6)
1.2.2 实时 DSP 系统的构成	(6)
1.2.3 DSP 子系统	(7)
1.2.4 以通用 DSPs 为核心的实时 DSP 子系统	(7)
1.2.5 DSPs 在实时数字信号处理中的应用	(8)
1.3 DSPs 芯片	(8)
1.3.1 DSPs 芯片概述	(8)
1.3.2 DSPs 芯片的特点	(10)
1.3.3 流水线技术	(11)
1.3.4 DSPs 性能指标	(12)
习题一	(13)
第二章 TMS320C6000 体系结构	(14)
2.1 TMS320C6000 系列概述	(14)
2.1.1 TMS320C6000 简介	(14)
2.1.2 TMS320C6000 的结构特点	(14)
2.1.3 C6000 的应用	(15)
2.2 C6000 系列 CPU 的结构	(16)
2.2.1 中央处理器 (CPU) 结构	(16)
2.2.2 CPU 数据通路与控制	(17)
2.2.3 通用寄存器组	(21)
2.2.4 功能单元	(21)
2.2.5 寄存器组交叉通路	(23)

2.2.6 数据寄存器及读取存储通路	(23)
2.2.7 数据地址通路	(23)
2.2.8 TMS320C6000 控制寄存器	(23)
2.3 流水线	(25)
2.3.1 TMS320C6000 流水线概述	(25)
2.3.2 TMS320C67xx 流水线	(26)
2.3.3 C6000 流水线运行的几个问题	(30)
2.4 中断	(32)
2.4.1 中断类型和中断信号	(33)
2.4.2 中断服务表 (IST)	(34)
2.4.3 中断控制寄存器	(37)
2.4.4 中断性能和编程考虑事项	(39)
2.5 存储器结构	(40)
2.5.1 片内存储器	(40)
2.5.2 直接存储器访问 (DMA)	(43)
2.5.3 主机口 (HPI)	(45)
2.6 外部存储器接口及扩展总线	(45)
2.6.1 外部存储器接口	(45)
2.6.2 C6000 的扩展总线	(46)
2.6.3 其他片内外设	(46)
习题二	(48)
第三章 TMS320C6000 的汇编指令集	(51)
3.1 TMS320C6000 公共指令集概述	(51)
3.1.1 TMS320C6000 公共指令集的分类	(51)
3.1.2 C6000 指令和公共单元之间的映射关系	(51)
3.1.3 C6000 公共指令集的延迟间隙	(54)
3.1.4 C6000 二进制指令操作码映射图	(55)
3.1.5 C6000 指令的并行操作	(55)
3.1.6 C6000 指令的条件操作	(57)
3.2 寻址方式及 Load/Store 类指令	(57)
3.2.1 寻址方式	(57)
3.2.2 Load/Store 类指令	(58)
3.3 C6000 公共指令集	(61)
3.3.1 算术运算类指令	(61)

3.3.2	逻辑及位域操作指令	(66)
3.3.3	搬移类指令	(68)
3.3.4	程序转移类指令	(68)
3.3.5	资源对公共指令集的限制	(70)
3.4	TMS320C67xx 浮点运算指令	(72)
3.4.1	IEEE 标准的浮点数表示法	(72)
3.4.2	C67xx 增加的浮点运算控制寄存器	(73)
3.4.3	C67xx 特有的浮点运算指令	(77)
3.4.4	C67xx 指令的延迟间隙以及资源对 C67xx 指令的约束	(79)
3.5	TMS320C64xx 扩展的定点运算指令	(81)
3.5.1	扩展的寻址方式及 Load/Store 类指令	(82)
3.5.2	扩展的算术运算指令	(83)
3.5.3	扩展的逻辑及位域操作指令	(88)
3.5.4	数据打包与解包类指令	(90)
3.5.5	扩展的控制转移类指令	(91)
3.5.6	资源对 C64xx 指令的限制	(92)
	习题三	(93)
第四章	线性汇编语言及开发环境	(98)
4.1	线性汇编语言简介	(98)
4.1.1	线性汇编语言的基本结构	(98)
4.1.2	线性汇编中的伪指令	(99)
4.1.3	汇编优化器选项	(100)
4.2	软件开发流程和开发工具	(101)
4.2.1	开发流程和常用开发工具	(101)
4.2.2	C6000 程序基本结构	(107)
4.2.3	其他代码开发工具	(111)
4.3	集成开发环境 (Code Composer Studio)	(111)
4.3.1	CCS 概述	(111)
4.3.2	CCS 的安装	(112)
4.3.3	CCS 的设置	(112)
4.3.4	CCS 项目的创建	(112)
4.3.5	源程序的编辑	(115)
4.3.6	CCS 项目的构建 (Build)	(118)
4.3.7	程序调试的基本操作	(118)

4.3.8	多处理器调试	(121)
4.3.9	断点和探测点 (Break Points and Probe Points)	(123)
4.3.10	文件输入、输出与探测点	(124)
4.3.11	加载、存储数据文件	(126)
4.3.12	图形窗口	(126)
4.3.13	存储器映射 (Memory Maps)	(129)
4.3.14	变量观察窗口	(130)
4.3.15	代码剖析 (Profile)	(131)
4.3.16	GEL 语言	(133)
习题四		(137)
第五章 TMS320C6000 的软件编程及代码优化		(140)
5.1	概述	(140)
5.2	TMS320C6000 的 C 语言编程及优化	(140)
5.2.1	TMS320C6000 C/C++ 编译器简介	(140)
5.2.2	编写及编译 C 语言程序	(142)
5.2.3	优化 C 语言程序	(146)
5.3	通过线性汇编优化汇编代码	(146)
5.3.1	写并行代码	(146)
5.3.2	使用字访问短型数据和使用双字访问字 (数据打包处理)	(150)
5.3.3	软件流水	(153)
5.3.4	多周期循环的模编排	(161)
5.3.5	其他优化	(171)
习题五		(172)
附录 A TMS320C6000 汇编指令汇总表		(173)
附录 B TMS320C6000 与存储器有关的指令汇总		(186)
参考文献		(187)

第一章 概 述

1.1 数字信号处理基础

数字信号处理(DSP, Digital Signal Processing)是从20世纪60年代以来,随着信息学科和计算机学科的高速发展而迅速发展起来的一门新兴学科。它的重要性日益在各个领域的应用中表现出来。

简而言之,数字信号处理是把信号用数字或符号表示的序列,通过计算机或通用(专用)信号处理设备,用数字的数值计算方法处理(例如滤波、变换、压缩、增强、估计、识别等),以达到提取有用信息的目的。

1.1.1 信号、系统和信号处理

1. 信号

信号是信息的物理表现形式,或者说是传递信息的函数,而信息则是信号的具体内容。例如,交通红绿灯是信号,它传递的信息是:红——停止,绿——通行。根据载体的不同,信号可以是电的、磁的、声的、光的、机械的、热的等各种信号。

同一种信号,例如电信号,又可以从不同角度进行分类。

(1) 一维信号、二维信号、矢量信号。

信号的变量可以是时间,也可以是频率、空间或其他物理量。若信号是一个变量(例如时间)的函数,则称它为一维信号;若信号是两个变量(例如空间坐标 x, y) 的函数,则称它为二维信号;推而广之,若信号是多个(例如 M 个, $M \geq 2$) 变量的函数,则称它为多维(M 维)信号。若信号表示成 M 维的矢量,如:

$$\mathbf{x} = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_M(n)]^T$$

式中 τ 为转置, n 为时间变量,则称 $\mathbf{x}$ 是一个 M 维的矢量信号。

本书只讨论一维信号。

(2) 周期信号和非周期信号。

若信号满足 $x(t) = x(t + kT)$, k 为整数;或 $x(n) = x(n + kN)$, N 为正整数, $k, n + kN$ 为任意整数,则 $x(t)$ 和 $x(n)$ 都是周期信号,周期分别为 T 和 N ;否则就是非周期信号。

(3) 确定信号和随机信号。

若信号在任意时刻的取值能精确确定,则称它为确定信号;若信号在任意时刻的取值不能精确确定,或说取值是随机的,则称它为随机信号。

(4) 能量信号和功率信号。

若信号能量 E 有限,则称它为能量信号;若信号功率 P 有限,则称它为功率信号。信号能

量 E 可表示为:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$$

信号功率 P 可表示为:

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^2 dt$$

周期信号及随机信号一定是功率信号,而非周期的绝对可积(和)信号一定是能量信号。

(5) 连续时间信号、离散时间信号、模拟信号和数字信号。

信号变量的取值方式有离散和连续两种。若信号变量(一般都看成时间)是连续的,则称它为连续时间信号;若信号变量是离散数值,则称它为离散时间信号。信号的幅值取值方式又分为连续与离散两种方式(幅值的离散称之为量化),因此,组合起来信号应该有以下四种情况:

- ① 连续时间信号:时间是连续的,幅值可以是连续的,也可以是离散(量化)的。
- ② 模拟信号:时间是连续的,幅值是连续的,这是上一种信号的特例。
- ③ 离散时间信号(或称序列):时间是离散的,幅值是连续的。
- ④ 数字信号:时间是离散的,幅值是量化的。由于幅值是量化的,故数字信号可用一序列的数来表示,而每个数又可表示为二进制码形式。

2. 系统

系统定义为处理(或变换)信号的物理设备,或者进一步说,凡是能将信号加以变换以达到人们要求的各种设备都称为系统。因为系统是完成某种运算(操作)的,因而还可把软件编程也看成一种系统的实现方法。

按所处理的信号种类的不同可将系统分为四类:

- (1) 模拟系统:处理模拟信号,系统输入、输出均为连续时间、连续幅度的模拟信号。
- (2) 连续时间系统:处理连续时间信号,系统输入、输出均为连续时间信号。
- (3) 离散时间系统:处理离散时间信号——序列,系统输入、输出均为离散时间信号。
- (4) 数字系统:处理数字信号,系统输入、输出均为数字信号。

系统可以是线性的或非线性的、时(移)不变的或时(移)变的等。

3. 信号处理

信号处理是研究用系统对含有信息的信号进行处理(变换),以获得人们所希望的信号,从而达到提取信息、便于利用的一门学科。信号处理的内容包括滤波、变换、检测、谱分析、估计、压缩、识别等一系列的加工处理。

因为多数项目和工程中遇到的是模拟信号,所以以前都是研究模拟信号处理的理论和实践。但是模拟信号处理难以做到高精度,受环境影响较大,可靠性差,且有不灵活等缺点或不足。随着大规模集成电路以及数字计算机的飞速发展,加之从 20 世纪 60 年代末以来数字信号处理理论和技术的成熟和完善,用数字方法来处理信号,即数字信号处理已逐渐取代模拟信号处理。

随着信息时代、数字世界的到来,数字信号处理已成为一门极其重要的学科和技术领域。

1.1.2 数字信号处理的概貌

自从1965年库利和图基在《计算数学》上发表了“用机器计算复序列傅里叶级数的一种算法”即“快速傅里叶变换算法”以来,数字信号处理这一学科蓬勃发展起来,逐渐形成了一整套较为完整的学科领域和理论体系。

数字信号处理包含有:

- (1) 离散时间线性时不变系统分析。
- (2) 离散时间信号时域和频域分析、离散傅里叶变换(DFT)理论。
- (3) 信号的采集,包括A/D、D/A技术,抽样,量化噪声理论等。
- (4) 数字滤波技术。
- (5) 谱分析与快速傅里叶变换(FFT),快速卷积与相关算法。
- (6) 自适应信号处理。
- (7) 估计理论,包括功率谱估计及相关函数估计等。
- (8) 信号的压缩,包括语音信号与图像信号的压缩。
- (9) 信号的建模,包括AR、MA、ARMA、CAPON、PRONY等各种模型。
- (10) 其他特殊算法(同态处理、抽取与内插、信号重建等)。
- (11) 数字信号处理的实现。
- (12) 数字信号处理的应用。

以上(1)、(2)、(3)三点是理论和技术分析的基础,是最基本的部分。

1.1.3 数字信号处理的特点

数字信号处理具有以下一些明显的优点。

- (1) 精度高。

模拟网络的精度由元器件决定,模拟元器件的精度很难达到 10^{-3} 以上,而数字系统只要14位字长就可达到 10^{-4} 的精度。在高精度的系统中,有时只能采用数字系统。由于数字信号可无损地存储在磁盘和光盘上,因而可随时传送,可在远端脱机处理。另外,对数字信号,时间可倒置、压缩或扩张处理,还可以进行同态处理(模拟系统则不能)。

- (2) 灵活性强。

数字系统的性能主要由乘法器的系数决定,而系统是存放在系数存储器中的,因而只需改变存储的系数就可得到不同的系统,比改变模拟系统方便得多。另外,由于工艺水平的提高,集成度越来越高,而且可运用的频率也越来越高。

- (3) 可靠性强。

因为数字系统只有两个信号电平“0”和“1”,因而受周围环境的温度及噪声的影响较小。而模拟系统的各元器件都有一定的温度系数,且电平是连续变化的,易受温度、噪声、电磁感应等的影响。数字系统如采用大规模集成电路,其可靠性就更高。

- (4) 容易大规模集成。

由于数字部件具有高度规范性,便于大规模集成、大规模生产,而对电路参数要求不严,故产品成品率高。尤其是对于低频信号,例如地震波分析需要过滤几赫兹到几十赫兹信号,用模

拟网络处理,电感器、电容器的数值、体积和重量都非常大,性能也不能达到要求,而数字信号处理系统在这个频率上却表现出非常优越。

(5)时分复用。

时分复用是指利用数字信号处理器可同时处理几个通道的信号。由于某一路信号的相邻两抽样值之间存在着很大的空隙时间,因而可在同步器的控制下,在此时间空隙中送入其他路的信号,而各路信号则利用同一个信号处理器,在同步器的控制下,算完一路信号后再算另一路信号。处理器的运算速度越高,能处理的信道数目也就越多。

(6)可获得高性能指标。

例如对信号进行频谱分析,模拟频谱仪在频率端只能分析到 10Hz 以上的频率,且难以做到高分辨率(足够窄的带宽);但在数字谱分析中,已能做到 10^{-3} Hz 的谱分析。又如,有限长冲激响应数字滤波器可实现准确的线性相位特性,这在模拟系统中是很难达到的。

(7)二维与多维处理。

对于数字系统,利用庞大的存储单元可以存储一帧或数帧图像信号,实现二维甚至多维信号的处理,包括二维或多维滤波、二维或多维谱分析等。

1.1.4 数字信号处理的应用

由于数字信号处理的突出优点,使得它在通信、语音、雷达、地震测报、声呐、遥感、生物医学、电视、仪器中得到愈来愈广泛的应用。

(1)滤波与变换。

包括数字滤波/卷积、相关、快速傅里叶变换(FFT)、希尔伯特(Hilbert)变换、自适应滤波、加窗法等。

(2)通信。

包括自适应差分脉码调制、自适应脉码调制、脉码调制、差分脉码调制、增量调制、自适应均衡、纠错、数字公用交换、信道复用、移动电话、调制解调器、数据或数字信号的加密、破译密码、扩频技术、通信制式的转换、卫星通信、TDMA/FDMA/CDMA 等各种通信制式、回波对消、IP 电话、软件无线电等。

(3)语音、语言。

包括语言邮件、语音声码器、语音压缩、数字录音系统、语音识别、语音合成、语音增强、文本语音变换、神经网络等。

(4)图像、图形。

包括图像压缩、图像增强、图像复原、图像重建、图像变换、图像分割与描绘、模式识别、计算机视觉、固态处理、电子地图、电子出版、动画等。

(5)消费电子。

包括数字音频、数字电视、音乐综合器、电子玩具和游戏、CD/VCD/DVD 播放机、数字留言/应答机、汽车电子装置等。

(6)仪器。

包括频谱分析仪、函数发生器、地震信号处理器、瞬态分析仪、锁相环、模式匹配等。

(7) 工业控制与自动化。

包括机器人控制、激光打印机控制、伺服控制、电力线监视器、计算机辅助制造、引擎控制、自适应驾驶控制等。

(8) 医疗。

包括健康助理、病人监视、超声仪器、诊断工具、CT 扫描、核磁共振、助听器等。

(9) 军事。

包括雷达处理、声呐处理、导航、射频调制解调器、全球定位系统(GPS)、侦察卫星、航空航天测试、自适应波束形成、阵列天线信号处理等。

另外,数字信号处理将在数字汇聚(Digital Convergence)、远程会议系统(Teleconference System)、融合网络(Fusion Net)、数字图书馆(Cyberary)、图书与文本合一的信息检索业务、多媒体通信及个人信息终端等方向有广阔的发展前景。

1.1.5 数字信号处理的发展趋势

未来的 10 年,全球 DSP 产品将向着高性能、低功耗、加强融合和扩展多种应用的发展趋势发展,DSP 芯片将越来越多地渗透到各种电子产品中,成为各种电子产品,尤其是通信类电子产品的技术核心。

互联网是继计算机时代后新的全球经济增长点,也是 DSP 潜在的应用领域。而手机、PDA、MP3 播放机及手提电脑等则是设备个性化的典型代表,这些设备的发展水平取决于 DSP 的发展。在新的形势下,DSP 面临的要求是处理机器速度更高、性能更多更加全面、功耗更低、存储器用量更少。因此,DSP 技术会有以下一些发展趋势。

(1) DSP 的内核结构将进一步改善。

多通道结构和单指令多重数据(SIMD)、甚长指令字(VLIW)等技术将在新的高性能处理器中占主导地位,如 TI 公司的 TMS320C6xxx、AD 公司的 ADSP-2116x 等。

(2) DSP 和微处理器的融合。

低成本的微处理器(MPU)是一种执行智能定向控制任务的通用处理器,它能很好地执行智能控制任务,但对数据信号的处理能力很差;而 DSP 的功能正好相反。在许多应用中均需要同时具有智能控制和数字信号处理两种功能,因此,将 DSP 和微处理器结合起来,用单一芯片的处理器实现两种功能将具有很好的发展趋势。

(3) DSP 和 SOC 的融合。

SOC(System on Chip)是指把一个系统集成在一块芯片上。这个系统包括 DSP 和系统接口软件等。

(4) 实时操作系统 RTOS 与 DSP 的结合。

随着 DSP 处理能力的增强,芯片结构越来越复杂,甚至有些芯片在其片内集成了多个芯核,使得软件的规模越来越大,往往需要运行多个任务,各任务间的通信、同步等问题就变得非常突出。因此,对 DSP 应用提供 RTOS 的支持已成为必然的结果。

(5) DSP 的并行处理结构。

为了提高 DSP 芯片的运算速度,各厂商纷纷在 DSP 芯片中引入并行机制,主要分为片内并行和片间并行。

1.2 实时数字信号处理

1.2.1 实时数字信号处理的概念

信号处理的实质是对信号进行变换,目的是获取信号中包含的有用信息,并用更直观的方式进行表达。数字信号处理就是用数字的方法对信号进行变换来获取有用信息,如离散傅里叶变换(DFT)就是最常用的 DSP 算法。这里介绍的实时信号处理就是实时数字信号处理。

实时指的是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更新的速度(常见信号的典型数据率见图 1-1),而且从信号输入到处理后输出的延迟必须足够小,如一个制导系统的输出延迟就要求在几毫秒。

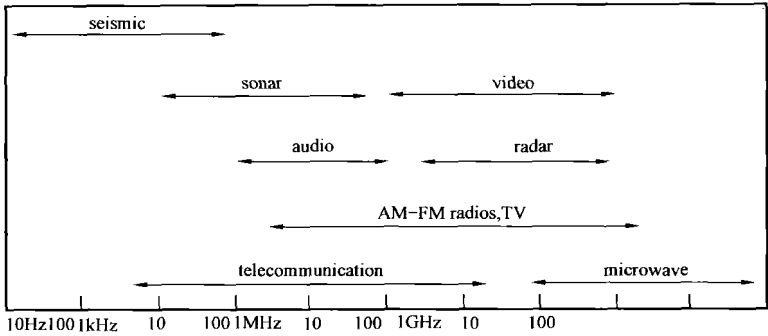


图 1-1 常见信号的典型数据率

从图 1-1 可以看到,不同类型的信号所要求的实时信号处理速度相差很大。如对一个音频信号,假设用 40kHz 时钟采样,样本数据字长 16 bit,则该信号的输入数据率就是 80kB/s,它对实时处理速度的要求是大于等于 80kB/s。对于一个每帧数据字长 $512 \times 512 \times 16\text{bit}$ 、传输速率为 30 帧/s 的图像信号,其输入数据率是 15MB/s,因而它对实时处理速度的要求是大于等于 15MB/s。由此可知,对实时信号处理速度的要求与原始模拟信号带宽以及数据格式(字长、维数)等因素是密切相关的。

目前单片 DSPs(数字信号处理系统)的处理能力已达到每秒 48 亿条指令(4800MIPS)和每秒 10 亿次浮点操作(1GFLPOS)的水平,使实时信号处理的应用空间越来越广阔。

1.2.2 实时 DSP 系统的构成

实时信号处理系统所要求处理的信号多为自然信号,因此,首先需要通过传感器将自然信号转换为电信号。另外,要对自然界的信号进行数字处理,就必须通过 A/D 子系统将其转换为数字形式。DSP 子系统对数字信号处理完后,有时还需要通过 D/A 子系统把处理后的数字信号重新转换为模拟信号。图 1-2 是一个完整的实时 DSP 系统框图,其中,DSP 子系统是整个系统的核心。下面主要介绍 DSP 子系统的实现和构成。

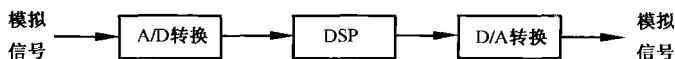


图 1-2 实时 DSP 系统框图

1.2.3 DSP 子系统

在当前技术条件下,DSP 子系统一般有 6 种实现方法:

- (1)在通用计算机上用软件实现。
- (2)在通用计算机系统中加入专用的加速处理模块。
- (3)利用通用单片机(用于数字控制等不太复杂的数字信号处理,如 Intel 的 MCS51 系列)。
- (4)利用通用可编程 DSPs 芯片。
- (5)利用专用 DSPs 芯片。
- (6)利用基于通用 DSPs 内核的 ASIC(Application Specific Integrated Circuits,专用集成电路)。

在用量较大的通信、硬盘控制等领域,一些 DSPs 厂商提供了一种基于通用 DSPs 内核的 ASIC 设计和生产服务,即用户可以在通用 DSPs 的 CPU 基础上选用所需要的外设接口和存储器等资源,并在片内固化所需软件。

上述方法中,第一种方法的缺点是速度相对较慢,不适合于实时 DSP,一般只用于 DSP 算法模拟;第二种方法不适合于嵌入式应用,而且和第五种方法一样具有专用性较强的特点,应用受到很大限制;第三种方法不适合于以乘加运算为主的运算密集型 DSP 算法;第四种方法通用可编程 DSPs 芯片,由于其可编程性和强大的处理能力,在实时 DSP 领域居于主导地位。另外在应用中,基于通用 DSPs 核的 ASIC 由于其较好的系统性价比在近几年得到了广泛应用。

1.2.4 以通用 DSPs 为核心的实时 DSP 子系统

基于 DSPs 的 DSP 子系统一般由控制处理器(其控制功能可由通用微处理器或 DSPs 实现)、DSPs、数据传输网、存储器和输入/输出接口构成,其结构框图见图 1-3。

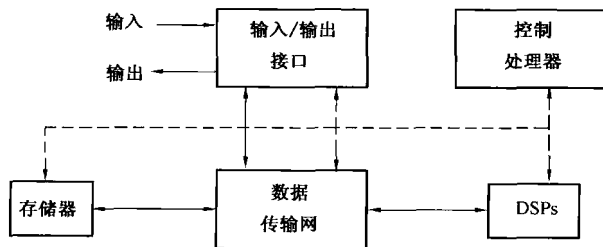


图 1-3 基于 DSPs 的 DSP 子系统结构

(1)控制处理器。

完成系统控制功能,包括主机命令解释、数据传输控制和数据输入/输出等控制功能。控制处理器可以使 DSPs 专注于高速实时 DSP 算法的实现。根据具体的系统不同,控制处理器

可以用通用微处理器或 DSPs 独立实现,也可以放在图 1-3 中的 DSPs 内实现。

(2) DSPs。

完成实时信号处理算法。

(3) 数据传输网。

实现各个模块之间的互连,以传输数据。对于模块之间有大量数据传输的高速 DSP 系统设计,数据传输网的设计是一个关键的环节,它很可能成为系统的瓶颈。

(4) 存储器。

支持数据存储。它的主要参数指标有存储器容量、存储器字长、访问速度、对特殊寻址方式的支持和存储器管理控制能力。

(5) 输入/输出接口。

用于输入待处理的数据或输出处理结果。输入/输出接口的主要参数有接口带宽、缓冲存储能力、数据字长、接口所支持的输入输出个数。

上述 DSP 子系统,对具体应用来说其复杂程度会有很大的差异。其硬件平台可能是以单个 DSPs 为核心的一个板卡,也可能是围绕多个 DSPs 组成的一个分布式 DSP 系统。同时由于所选用的 DSPs 速度不同,以及软件 DSP 算法等方面的差异,DSP 的设计和实现难度也千差万别。

1.2.5 DSPs 在实时数字信号处理中的应用

自从 20 世纪 80 年代初 DSPs 投入市场以来,实时 DSPs 技术在国民经济和社会生活的各个方面得到了广泛的应用。特别是随着信息技术的发展和互联网的普及,机顶盒(Top Set Box)、网络电话(Internet Phone)以及个人数字助理(Personal Digital Assistant)等信息家电(Information Apparatus)的发展如雨后春笋。实时 DSP 技术有了更广阔的消费品市场,其发展又有了一次空前的机遇。

信号处理的复杂性和通信协议的发展更新快,决定了以可编程的 DSPs 芯片为核心的应用系统具有以下优点:

(1)能够快速制造原理样机和进行验证,加快产品上市时间。

(2)高度可编程性产品能够迅速应用新算法、新标准或新协议。

(3)可以通过软件更新,快速地进行产品升级。

1.3 DSPs 芯片

1.3.1 DSPs 芯片概述

1. DSPs 芯片的出现和发展

在 DSPs 出现之前,实时信号处理一般是在通用处理器(8086 和 80286 等)中完成的。随着集成电路制造工艺的不断改进,20 世纪 70 年末出现了专门的可编程数字信号处理器,简称 DSPs。第一代 DSPs 以 AMD2900、NEC7720 和 TMS32010 为代表,其中 TI(Texas Instrument)公司的 TMS32010 第一次使用了哈佛总线结构和硬件乘法器。

由于开发工具的问题,最初的 DSPs 开发非常困难,要设计并实现一个基于 DSPs 的系统

是一个专业性很强的工作。美国的 TI 公司给 DSPs 引入了许多通用计算机微处理器的特点, 并为其产品开发了汇编语言和 C 语言代码产生工具以及各种软硬件调试工具, 使得 DSPs 的开发难度大大降低, 并且在 20 世纪 80 年代末和 90 年代初进入了快速发展时期。现在 TI 公司的 DSPs 包括了定点、浮点和多处理器 3 个类型的产品, 每个类型又有不同性能和价格的具体系列可以供用户选择。

2. DSPs 芯片的分类

为了适应数字信号处理各种各样的实际应用, DSPs 厂商生产出多种类型和档次的 DSPs 芯片, 在诸多的 DSPs 芯片中, 可以按照下列 3 种方式进行分类。

(1) 按数据格式分类。

按照所支持的数据类型不同, DSPs 分为定点产品和浮点产品两大类。

定点 DSPs 进行算术操作时, 使用的是小数点位置固定的有符号数或无符号数。浮点 DSPs 进行算术操作时, 使用的是带有指数的小数, 小数点的位置随着具体数据的不同进行浮动。

定点器件在硬件结构上比浮点器件简单, 具有价格低和速度快的特点, 因而应用的最多; 而浮点器件的优点是精度高, 不需要进行定标和考虑有限字长效应, 但是其成本和功耗相对较高, 速度较慢, 适合于对数据动态范围和精度要求高的特殊应用。

(2) 按基本特性分类。

按照 DSPs 芯片的工作时钟和指令类型的不同, 可分为静态 DSPs 芯片和一致性 DSPs 芯片。如果 DSPs 芯片在某时钟频率范围内的任何频率上都能正常工作, 除计算速度有变化外, 没有性能的下降, 这类芯片一般称为静态 DSPs 芯片。如果有两种或两种以上的 DSPs 芯片, 它们的指令集或相应的机器代码及管脚结构相互兼容, 这类 DSPs 芯片称为一致性 DSPs 芯片。

(3) 按用途分类。

按照 DSPs 芯片的用途, 可以将 DSPs 芯片分为通用型芯片和专用型芯片两大类。通用型 DSPs 芯片一般是指可以用指令编程的 DSPs, 适合于普通的 DSP 应用, 具有可编程性和强大的处理能力, 可以完成复杂的数字信号处理的算法。专用型 DSPs 芯片是为特定 DSP 运算而设计的, 通常只针对某一种应用, 相应的算法由内部硬件电路实现, 主要用于要求信号处理速度极快的特殊场合。

另外, 各个 DSPs 厂家还根据 DSPs 的 CPU 结构和性能, 把自己的产品划分了不同系列。如 TI 公司的定点系列 DSPs 有 C20x、C24x、C5x、C54xx 和 C62xx; 浮点系列 DSPs 有 C3x、C4x 和 C67xx。不同系列 DSPs 的 CPU 结构有所不同, 性能和价格也有很大差异。

同一系列 DSPs 产品中, 各个不同型号的 DSPs 在 CPU 结构上基本相同, 不同之处只在于 DSPs 芯片内存储器和外设接口的配置不同。如 TI 公司的 C5x 系列中的 C50 和 C52, 它们的 CPU 结构完全相同, 不同之处在于 C50 的片内 ROM 为 2k 字, 片内 RAM 为 10k 字, 具有标准串口和 TDM 串口各 1 个; 而 C52 的片内 ROM 为 4k 字, 片内 RAM 为 1k 字, 只有 1 个标准串口。由于同一系列不同型号产品具有丰富多样的外设接口和存储器配置, 因此可以在不同的应用场合最大限度地减少 DSPs 的外围器件, 缩小电路板面积, 从而提高系统性价比。

3. DSPs 的代码兼容问题

代码兼容, 是指某种 DSPs 产品开发的代码可以在不加修改或只作很小修改的情况下在