

高等学校电子信息工程专业教材

# DSP

# 技术与应用实例

赵红怡 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校电子信息工程专业教材

# DSP 技术与应用实例

赵红怡 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书以 TMS320C54x 系列 DSP 为描述对象,全书共分 8 章。首先详细介绍 DSP 的硬件结构,指令系统及软件应用程序开发和仿真过程;其次给出 DSP 实现正弦波发生器, FIR 滤波器, IIR 滤波器, FFT 等的汇编语言实现方法和应用实例;最后从应用角度给出串行口, 主机接口与 I/O 口的接口设计及典型硬件系统定时器的设计和应用。本书的特点是围绕 TMS320C54x 的具体应用, 尽可能详细地介绍软、硬件设计和实现的方法。

本书可以作为电子信息工程、通信工程、自动化专业高年级本科生和研究生的教材和参考书,也可作为相关技术人员从事 DSP 芯片开发与应用的参考书。

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 技术与应用实例/赵红怡编著.—北京:电子工业出版社,2003.6  
高等学校电子信息工程专业教材  
ISBN 7-5053-8795-2

I . D . . . II . 赵 . . . 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 . ①TN911.72②TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 044665 号

责任编辑:韩同平 特约编辑:明足群

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:20.75 字数:528 千字

印 次:2004 年 6 月第 2 次印刷

印 数:3 000 册 定价:27.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlt@ phei. com. cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@ phei. com. cn。

# 前 言

信息技术的发展日新月异,数字化的浪潮正在迅速地席卷全球。数字信号处理作为数字化最重要的技术之一,在其应用的广度和深度方面,正以前所未有的速度向前发展。数字化是各种信息进行有效获取、存储、处理、交换、综合与应用的基础,而数字信号处理技术及其集成化产品为信号数字化处理提供了广阔的发展和空间。随着数字信号处理器性能的不提高,开发工具的日臻完善,价格迅速下降,使其在语音合成与识别、图像处理、雷达、通信、声呐、多媒体、高速控制、医疗设备、仪器仪表、家用电器等众多领域得到了极为广泛的应用。

本书介绍 TMS320C54x 系列 DSP 的原理与应用,全书共分 8 章。第 1 章综述 DSP 芯片的特点,发展趋势和应用范围;第 2 章介绍 TMS320C54x 系列 DSP 的硬件结构;第 3 章介绍 TMS320C54x 系列的指令系统;第 4 章和第 5 章介绍 TMS320C54x 应用程序的开发过程和开发仿真工具;第 6 章介绍 TMS320C54x 汇编语言编程方法和技巧;第 7 章以 TMS320C54x 为例介绍数字信号处理和通信中最常见、最具有代表性的应用,如正弦波发生器、FIR 滤波器、IIR 滤波器、FFT 等的实现方法;第 8 章从应用角度介绍串行口、主机接口与 I/O 口的接口设计及典型硬件系统定时器的设计和应用。

作者在编写本书的过程中,得到了张常年教授的大力支持与帮助,曹淑琴、范珍良、焦宇、范锦宏、黄盛杨、崔志兵为本书提出了宝贵的意见,王立娜、刘佳凝、郑静静、卢思竹等为本书绘制了部分插图,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和疏漏之处,恳请读者批评指正。

作 者

# 目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 DSP 概述	(1)
1.2 DSP 芯片的特点	(2)
1.3 DSP 芯片的现状及其应用	(4)
第 2 章 TMS320C54x 的硬件结构	(10)
2.1 结构概述	(10)
2.2 总线结构	(12)
2.3 中央处理器	(13)
2.3.1 运算部件	(13)
2.3.2 控制部件	(18)
2.4 中央存储器	(21)
2.5 片内外围设备	(26)
2.6 复位电路	(28)
第 3 章 TMS320C54x 指令系统	(30)
3.1 寻址方式	(30)
3.1.1 立即数寻址	(30)
3.1.2 绝对地址寻址	(31)
3.1.3 累加器寻址	(32)
3.1.4 直接寻址	(32)
3.1.5 间接寻址	(34)
3.1.6 存储器映射寄存器寻址	(39)
3.1.7 堆栈寻址	(40)
3.2 指令系统	(41)
3.2.1 符号与意义	(41)
3.2.2 TMS320C54x 的指令系统	(44)
第 4 章 TMS320C54x 应用程序开发过程	(59)
4.1 DSP 应用系统开发方法	(59)
4.1.1 数字信号处理的特点	(59)
4.1.2 数字信号处理系统的设计过程	(60)

4.2	TMS320C54x 应用软件开发过程 .....	(64)
4.2.1	TMS320C54x 应用软件开发流程 .....	(64)
4.2.2	TMS320C54x 开发工具 .....	(66)
4.3	汇编语言程序的编写方法 .....	(67)
4.3.1	汇编语言源程序格式 .....	(67)
4.3.2	汇编语言中的常数与字符串 .....	(71)
4.3.3	汇编源程序中的符号 .....	(74)
4.3.4	汇编源程序中的表达式 .....	(78)
4.4	公共目标文件格式 .....	(81)
4.4.1	COFF 文件中的段 .....	(81)
4.4.2	汇编器对段的处理 .....	(83)
4.4.3	链接器对段的处理 .....	(87)
4.4.4	程序重新定位 .....	(89)
4.4.5	程序装入 .....	(90)
4.4.6	COFF 文件中的符号 .....	(90)
4.5	汇编器 .....	(91)
4.5.1	汇编器及其调用 .....	(91)
4.5.2	汇编器的内部函数 .....	(93)
4.5.3	汇编器伪指令 .....	(94)
4.5.4	列表文件 .....	(102)
4.5.5	交叉引用清单 .....	(105)
4.6	链接器 .....	(106)
4.6.1	链接器及其调用 .....	(107)
4.6.2	链接器命令文件的编写与使用 .....	(109)
4.6.3	目标库 .....	(112)
4.6.4	MEMORY 伪指令及其使用 .....	(113)
4.6.5	SECTIONS 伪指令及其使用 .....	(115)
4.6.6	链接器应用实例 .....	(122)
4.7	汇编源程序的编辑、汇编和链接过程 .....	(125)
第 5 章	Simulator 的使用方法 .....	(128)
5.1	软件仿真器概述 .....	(128)
5.2	仿真命令 .....	(130)
5.3	仿真器初始化命令文件 .....	(135)
5.4	仿真外部中断 .....	(136)
第 6 章	汇编语言程序设计 .....	(139)

6.1	程序的控制与转移 .....	(139)
6.2	堆栈的使用方法 .....	(142)
6.3	加减法和乘法运算 .....	(144)
6.4	重复操作 .....	(148)
6.5	数据块传送 .....	(152)
6.6	双操作数乘法 .....	(154)
6.7	长字运算和并行运算 .....	(157)
6.8	小数运算 .....	(167)
6.9	除法运算 .....	(169)
6.10	浮点运算 .....	(172)
<b>第 7 章</b>	<b>TMS320C54x 应用程序开发实例 .....</b>	<b>(176)</b>
7.1	正弦信号发生器 .....	(176)
7.2	FIR 滤波器的 DSP 实现方法 .....	(188)
7.3	IIR 滤波器的 DSP 实现方法 .....	(208)
7.4	快速傅里叶变换的 DSP 实现方法 .....	(218)
<b>第 8 章</b>	<b>TMS320C54x 片内外设及其应用 .....</b>	<b>(231)</b>
8.1	中断系统 .....	(231)
8.1.1	中断请求 .....	(231)
8.1.2	中断寄存器 .....	(233)
8.1.3	中断控制 .....	(234)
8.1.4	中断系统应用 .....	(239)
8.2	定时器 .....	(243)
8.2.1	定时器结构 .....	(244)
8.2.2	时钟发生器 .....	(247)
8.2.3	定时器/计数器应用 .....	(250)
8.3	主机接口 .....	(259)
8.4	串行口 .....	(263)
8.4.1	标准同步串行口 .....	(263)
8.4.2	缓冲同步串行口 .....	(270)
8.4.3	TDM 时分复用串口 .....	(278)
8.4.4	McBSP 多通道带缓冲串口 .....	(279)
8.4.5	串口应用 .....	(294)
8.5	存储器与 I/O 扩展 .....	(296)
8.5.1	存储器和 I/O 扩展基本方法 .....	(297)
8.5.2	省电模式和复位时序 .....	(306)

8.5.3	程序存储器扩展应用 .....	(311)
8.5.4	静态数据存储器扩展 .....	(313)
8.5.5	I/O 扩展应用 .....	(314)
参考文献 .....		(321)



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 DSP 概述

数字信号处理(Digital Signal Processing,简称 DSP)是一门涉及许多学科而又广泛应用于众多领域的新兴学科。步入 21 世纪以后,社会进入数字化时代,而 DSP 正是这场数字化革命的核心。从 20 世纪 60 年代数字信号处理理论的崛起,到 80 年代数字信号处理器的产生,数字信号处理器的发展无论在其应用的广度还是在其深度方面,都以前所未有的速度向前发展。对于其重要意义与其发展前景,无论怎样估计都不为过。

数字信号处理器是利用计算机或专用设备,以数字形式对信号进行采样、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理,以得到符合人们需要的信号形式。数字信号处理器作为快速处理与实时处理最重要的载体之一,正日益受到科学技术界与工程界的关注。随着 DSP 在我国应用的日益广泛,对掌握 DSP 技术的人才的需求甚为迫切。

数字信号处理是围绕着数字信号处理的理论、实现和应用等几个方面发展起来的。数字信号处理在理论上的发展推动了数字信号处理应用的发展。反过来,数字信号处理的应用又促进了数字信号处理理论的发展。而数字信号处理的实现则是理论和应用之间的桥梁。

数字信号处理是以众多学科为理论基础的,它所涉及的范围极其广泛。例如,在数学领域,微积分、概率统计、随机过程、数值分析等都是数字信号处理的基本工具,与网络理论、信号与系统、控制理论、通信理论、故障诊断等也密切相关。近年来新兴的一些学科,如人工智能、模式识别、神经网络等,都与数字信号处理密不可分。可以说,数字信号处理是把许多经典的理论体系作为自己的理论基础,同时又使自己成为一系列新兴学科的理论基础。

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(如 PC)上用软件(如 Fortran, C 语言)实现。
- (2) 在通用计算机系统中加上专用的加速处理机实现。
- (3) 用通用的单片机实现——可用于不太复杂的数字信号处理,如数字控制等。
- (4) 用通用的可编程 DSP 芯片实现——与用单片机相比,DSP 芯片具有更加适合数字信号处理的软件和硬件资源,可用于复杂的数字信号处理算法。
- (5) 用专用的 DSP 芯片实现——在一些特殊的场合,要求的信号处理速度极高,用通用 DSP 芯片很难实现(例如,专用于 FFT、数字滤波、卷积、相关等算法的 DSP 芯片),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。

在上述几种方法中,第 1 种方法的缺点是速度较慢,一般用于 DSP 算法的模拟;第 2 种和第 5 种方法专用性强,应用受到很大的限制,第 2 种方法也不便于系统的独立运行;第 3 种方法只适用于实现简单的 DSP 算法;只有第 4 种方法才使数字信号处理的应用打开了新的局面。

虽然数字信号处理的理论发展迅速,但在 20 世纪 80 年代以前,由于实现方法的限制,数字信号处理的理论还得不到广泛的应用。直到 20 世纪 80 年代初,世界上第一片单片可编程 DSP 芯片的诞生,才将理论研究成果广泛应用到低成本的实际系统中,并且推动了新的理论和应用领域的发展。可以毫不夸张地说,DSP 芯片的诞生及发展对近 20 年来通信、计算机、控制等领域的技术发展起到十分重要的作用。

## 1.2 DSP 芯片的特点

DSP 有两种含义:一种是 Digital Signal Processing,指的是数字信号处理技术;另一种是 Digital Signal Processor,指的是数字信号处理器。数字信号处理器,也称 DSP 芯片,是一种专门用于数字信号处理的微处理器。DSP 芯片的内部采用程序和数据分开的哈佛结构,具有专门的硬件乘法器,采用流水线操作,提供特殊的 DSP 指令,可以用来快速实现各种数字信号处理算法。根据数字信号处理的要求,DSP 芯片一般具有如下的一些主要特点:

- (1) 在一个指令周期内可以完成一次乘法和一次加法;
- (2) 程序和数据空间分开,可以同时访问数据空间和程序空间;
- (3) 片内具有快速 RAM,通常可通过独立的数据总线同时访问两块芯片;
- (4) 具有低开销或零开销循环及跳转的硬件支持;
- (5) 快速的中断处理和硬件 I/O 支持;
- (6) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器;
- (7) 可以并行执行多个操作;
- (8) 支持流水线操作,取指、译码和执行等操作可以流水执行。

### 1. 哈佛结构

早期的微处理器内部大多采用冯·诺依曼(Von-Neumann)结构。其片内程序空间和数据空间是合在一起的,取指令和取操作数都是通过一条总线分时进行的;当高速运算时,不但不能同时取指令和取操作数,而且还会造成传输通道上的瓶颈现象。DSP 内部采用的是程序空间和数据空间分开的哈佛(Havard)结构(一组程序存储器总线,三组数据存储器总线,四组地址总线),允许同时取指令(来自程序存储器)和取操作数(来自数据存储器);还允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据,即改进的哈佛结构。

## 2. 多总线结构

许多 DSP 芯片内部都采用多总线结构,保证在一个机器周期内可以多次访问程序空间和数据空间。例如 TMS320C54x 内部有 P, C, D, E 等 4 条总线(每条总线又包括地址总线和数据总线),可在一个机器周期内从程序存储器取 1 条指令、从数据存储器读 2 个操作数和向数据存储器写 1 个操作数,大大提高了 DSP 的运行速度。因此,对 DSP 来说,内部总线是个十分重要的资源;总线越多,可以完成的功能就越复杂。

## 3. 流水线(pipeline)结构

DSP 执行一条指令,需要通过取指、译码、取操作数和执行等几个阶段。在 DSP 中,采用流水线结构,在程序运行过程中这几个阶段是重叠的,如图 1-1 所示。这样,在执行本条指令的同时,还依次完成了后面 3 条指令的取操作数、译码和取指,将指令周期降低到最小值。

利用这种流水线结构,加上执行重复操作,就能保证数字信号处理中用得最多的乘法累加运算

$$y = \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

可在单个指令周期内完成。

## 4. 多处理单元

DSP 内部一般都包括多个处理单元,如算术逻辑运算单元(ALU)、辅助寄存器运算单元(ARAU)、累加器(ACC)及硬件乘法器(MUL)等。它们可以在一个指令周期内同时进行运算。例如,当执行一次乘法和累加运算的同时,辅助寄存器单元已经完成了下一个地址的寻址工作,为下一次乘法和累加运算做好了充分的准备。因此,DSP 在进行连续的乘加运算时,每一次乘加运算都是单周期的。DSP 的这种多处理单元结构,特别适用于 FIR 和 IIR 滤波器。许多 DSP 的多处理单元结构还可以将一些特殊的算法,例如 FFT 的位码倒置寻址和取模运算等,在芯片内部用硬件实现以提高运行速度。

## 5. 特殊的 DSP 指令

为了更好地满足数字信号处理应用的需要,在 DSP 的指令系统中,设计了一些特殊的 DSP 指令。例如,TMS320C54x 中的 FIRS 和 LMS 指令,专门用于系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

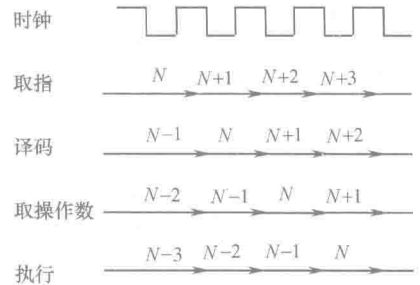


图 1-1 四级流水线操作

## 6. 指令周期短

早期的 DSP 的指令周期约 400ns,采用 4 $\mu$ m NMOS 制造工艺,其运算速度为 5MIPS (每秒执行 5 百万条指令)。随着集成电路工艺的发展,DSP 广泛采用亚微米 CMOS 制造工艺,其运行速度越来越快。以 TMS320C54x 为例,其运行速度可达 100MIPS。

## 7. 运算精度高

早期 DSP 的字长为 8 位,后来逐步提高到 16 位、24 位、32 位。为了防止运算过程中溢出,有的累加器达到 40 位。此外,一批浮点 DSP,例如 TMS320C3x, TMS320C4x, AD-SP21020 等,则提供了更大的动态范围。

## 8. 硬件配置强

新一代 DSP 的接口功能愈来愈强,片内具有串行口、主机接口(HPI)、DMA 控制器、软件控制的等待状态产生器、锁相环时钟产生器,以及实现在片仿真符合 IEEE 1149.1 标准的测试访问口,更易于完成系统设计。许多 DSP 芯片都可以工作在省电方式,使系统功耗降低。

DSP 是一种特殊的微处理器,不仅具有可编程性,而且其实时运行速度远远超过通用微处理器。其特殊的内部结构、强大的信息处理能力以及较高的运行速度,是 DSP 最重要的特点。

DSP 芯片是一种专用微处理器,是高性能系统的核心。它接收模拟信号,如光和声,将它们转化成为数字信号,实时地对大量数据进行数字技术处理。这种实时能力使 DSP 在声音处理、图像处理等不允许时间延迟领域的应用十分理想,成了全球 70% 数字电话的“心脏”,同时 DSP 在网络领域也有广泛的应用。DSP 芯片的上述特点,使其在各个领域得到越来越广泛的应用。

# 1.3 DSP 芯片的现状及其应用

## 1. DSP 芯片的发展

1978 年 Microsystems 公司的 AMI 子公司宣布了世界上第一块单片 DSP 芯片 S2811。1979 年美国 Intel 公司发布了商用可编程器件 2920,它是 DSP 芯片的一个主要里程碑。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必需的单周期硬件乘法器。1980 年日本 NEC 公司推出的  $\mu$ PD7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。第一个采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片的是日本的 Hitachi 公司,它于 1982 年推出了浮点 DSP 芯片。1983 年,日本的 Fujitsu 公司推出了 MB8764,其指令周期为 120ns,双内部总线,从而使处理器的吞吐量有了一个大的飞跃。第一个高性能的浮点 DSP 芯片应是 AT&T 公司于

1984年推出的DSP32。TI公司1982年成功推出第一代DSP芯片TMS32010及其系列产品TMS32011, TMS32C10/C14/C15/C16/C17等,之后相继推出了第二代DSP芯片TMS32020, TMS320C25/C26/C28,第三代DSP芯片TMS320C30/C31/C32,第四代DSP芯片TMS320C40/C44,第五代DSP芯片TMS320C50/C51/C52/C53/C54以及集多个DSP于一体的高性能DSP芯片TMS320C80/C82等。

自1980年以来,DSP芯片得到了突飞猛进的发展,DSP芯片的应用也越来越广泛。从运算速度来看,MAC(一次乘法和一次加法)时间已经从80年代初的400ns缩短到40ns,处理能力提高了10多倍。DSP芯片内部关键的乘法器部件从1980年的占模区的40左右下降到5以下,片内RAM增加一个数量级以上。从制造工艺来看,1980年采用4 $\mu$ m的NMOS工艺,而现在则普遍采用微米CMOS工艺。DSP芯片的引脚数量从1980年的最多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。此外,随着DSP芯片的发展,DSP系统的成本、体积、重量和功耗有很大程度的下降。

现在,世界上的DSP有300多种,其中定点DSP有200多种。迄今为止,生产DSP的公司有80多家,主要厂家有TI公司、AD公司、Lucent公司、Motorola公司和LSI Logic公司。TI公司作为DSP生产商的代表,生产的品种很多,定点和浮点DSP大约都占市场份额的60%;AD公司的定点和浮点DSP大约分别占16%和13%;Motorola公司的定点和浮点DSP大约分别占7%和14%;而Lucent公司则主要生产定点DSP约占5%。

## 2. DSP 芯片的分类

DSP芯片可以按照下列3种方式进行分类。

### (1)按基础特性分类

它是根据DSP芯片的工作时钟和指令类型来分类的。如果在某时钟频率范围内的任何时钟频率上,DSP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DSP芯片一般称为静态DSP芯片。例如,日本OKI电气公司的DSP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DSP芯片,它们的指令集和相应的机器代码及管脚结构相互兼容,则这类DSP芯片称为一致性DSP芯片,例如美国TI公司的TMS320C54x。

### (2)按数据格式分类

它是根据DSP芯片工作的数据格式来分类的。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, TMS320C54x/C62xx系列,AD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DSP芯片,如TI公司的TMS320C3x/C4x/C8x,AD公司的ADSP21xxx系列,AT&T公司的DSP32/32C, Motorola公司的MC96002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;有的 DSP 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。

### (3)按用途分类

按照 DSP 的用途来分类,可分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。通用型 DSP 芯片适合普通的 DSP 应用,如 TI 公司的一系列 DSP 芯片属于通用型 DSP 芯片。专用 DSP 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。

## 3. 国内 DSP 的发展

目前,我国 DSP 产品主要来自海外。TI 公司的第一代产品 TMS32010 在 1983 年最早进入中国市场,以后 TI 公司通过提供 DSP 培训课程,不断扩大市场份额,现约占国内 DSP 市场的 90%,其余为 Lucent、AD、Motorola、ZSP 和 NEC 等公司所占有。目前全球有数百家直接依靠 TI 公司的 DSP 而成立的公司,称为 TI 的第三方(third party),它们有的做 DSP 开发工具,有的从事 DSP 硬件平台开发,也有的从事 DSP 应用软件开发。这些公司基本上是 20 世纪 80 年代末、90 年代初才创建的,开始时往往只有几个人,经过 20 余年,现在均发展到相当规模。

相对国外 DSP 应用开发的情况,我国的差距相当大。近年来,在国内一些专业 DSP 用户的推动下,我国 DSP 的应用日渐普及。20 世纪 80 年代末期主要用 TMS320C25,而目前 TMS320F206/F240/F2407/C5409/C5410/C6201/C6701 等系列产品已经成为 DSP 用户的主流。

国内除了一些专业的 DSP 公司外,一些高校在 DSP 的发展上也起到了关键的作用。目前许多高校都建立了 DSP 实验室。

对 DSP 的发展,与国外相比,我国在硬件、软件上还有很大的差距,还有很长一段路要走。DSP 毕竟是一个新兴产业,我们对 DSP 的应用前景充满希望和信心,也盼望有更多的高校、科研机构、公司开展 DSP 的应用研究,为振兴我国电子工业做出贡献。

## 4. DSP 技术的发展趋势

互联网是计算机时代全球经济新的增长点,也是 DSP 潜在的应用领域。手机, PDA, MP3 播放机以及笔记本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,对 DSP 的要求是处理速度更高,性能更多更全,功耗更低,存储器用量更少。所以,其技术发展将会有以下一些趋势。

### (1)DSP 的内核结构进一步改善

多通道结构和单指令多重数据(SIMD)、特大指令字组(VLIM)将在新的高性能处理器中占主导地位,如 AD 公司的 ADSP—2116x。

### (2)DSP 和微处理器的融合

微处理器(MPU)是低成本的,主要执行智能定向控制任务的通用微处理器,能很好地执行智能控制任务,但是其数字信号处理功能很差。而 DSP 的功能正好与之相反,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,如数字蜂窝电话就需要监测和声音处理功能。因此,把 DSP 和微处理器结合起来,用单一芯片的处理器实现这两种功能,将加速个人通信机(PCB)、智能电话、无线网络等产品的开发,同时简化设计,减小体积,降低功耗和整个系统的成本。例如, Motorola 公司有多个处理器的 DSP5665x, TI 公司把 MPU 功能扩展成 DSP 和 MPU 功能的 TMS320C27x,以及 Hitachi 公司的 SH-DSP,都是 DSP 和 MPU 融合在一起的产品。互联网和多媒体的应用将进一步加速这一融合过程。MPU 可对文字进行处理,管理数据库和对科学工程进行数学运算,而 DSP 则主要针对代表信号的数字进行数学运算,得到处理结果。很多工程问题都可以用数学方式来表达,而不同的工程有不同的数学表达式。例如,医药、医疗、电信、雷达、声呐、助听器、声音、图像、工业控制等都有不同的数学表达式,因此数字信号处理器的种类很多。另外,数字信号处理器处理的信号大部分是无头无尾的连续量,而且是实时的(on-time),故其取样、运算过程应尽可能短,以免影响信号的连续性,这也是对 DSP 处理速度要求很高的原因所在。这一点和 CPU 处理的静止信号(off-line)不同。例如,对复数 FIR 滤波器进行计算,工作在 300MHz 的 SC140 为  $2\mu\text{s}$ ,而 1000MHz 的 Pentium IV 需要  $6\mu\text{s}$ 。

### (3) DSP 和高档 CPU 的融合

大多数高档 MCU,如 Pentium 和 PowerPC 都是 SIMD 指令组的超标量结构,速度很快。LSI Logic 公司的 LSI401Z 采用高档 CPU 的分支预示和动态缓冲技术,结构规范,利于编程,不用担心指令排队,使得性能大幅度提高。

### (4) 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。比如, Virata 公司购买了 LSI Logic 公司的 ZSP400 处理器内核使用许可证,将其与系统软件,如 USB, 10BaseT, 以太网, UART, GPIO, HDLC 等一起集成在芯片上,应用在 XDSL 上,得到很好的经济效益。因此, SOC 芯片近几年销售很好,由 1998 年的 1.6 亿片猛增至 1999 年的 3.45 亿片。1999 年,约 39% 的 SOC 产品应用于通信系统。今后几年, SOC 将以每年 31% 的平均速度增长,到 2004 年将达到 13 亿片。毋庸置疑, SOC 将成为市场中越来越耀眼的明星。

### (5) DSP 和 FPGA 的融合

FPGA 是现场可编程门阵列器件。它和 DSP 集成在一块芯片上,可实现宽带信号处理,大大提高信号处理速度。据报道, Xilinx 公司的 Virtex-11 FPGA 对快速傅里叶变换的处理速度可提高 30 倍以上,它的芯片中有自由的 FPGA 可供编程。Xilinx 公司开发出一种称做 Turbo 全卷积编译码器的高性能内核,设计者可在 FPGA 中集成一个或多个 Turbo 内核,它支持多路大数据流,以满足 3G WCDMA 无线基站和手机的需要,同时大大节省开发时间,使功能的增加或性能的改善非常容易,因此在无线通信、多媒体等领域

将有广泛应用。

#### (6)实时操作系统 RTOS 与 DSP 的结合

DSP 软件开发越来越复杂,开发者会在两个矛盾的方向上努力:一方面,设计者必须对底层代码优化,以满足实时应用;另一方面由于系统越来越复杂,需要高层次的设计手段,包括应用库和第三方软件包。

对 DSP 应用提供 RTOS 支持,是 DSP 的性能和功能日益增加的必然结果。DSP 正在从高速数字引擎转变为具有主流处理器特性的芯片,需要 DSP 设计人员集中精力解决应用问题,而不是重复实施系统级功能。

DSP 系统一般表现为两个极端:一种是简单的单片 DSP 设计,用于 MODEM 或蜂窝电话等;另一种是高性能的多处理器 DSP 系统,用于大批输入流的实时处理。

DSP 的发展面临的挑战是 CPU 速度的快速增长和价格的持续下降,使 DSP 制造商面临两种选择:一种是加快 DSP 的发展,另一种是退出竞争。主要的 DSP 制造商都选择了第一种路线,全球 DSP 公司在对本公司的产品进行结构性调整,确立以 DSP 为主要发展的产品,即集所有技术、所有产品于 DSP。

### 5. DSP 的应用

DSP 芯片的高速发展,一方面得益于集成电路的发展,另一方面也得益于巨大的市场。经过 20 余年的发展,DSP 应用领域日渐宽广,DSP 芯片已经在信号处理、通信、雷达等许多领域得到广泛的应用。目前,DSP 芯片的价格越来越低,性能价格比日益提高,具有巨大的应用潜力。

#### (1) DSP 芯片的主要应用

① 信号处理——数字滤波,自适应滤波,快速傅里叶变换,相关运算,频谱分析,卷积,模式匹配,加窗,波形产生等。

② 通信——调制解调器,自适应均衡,数据加密,数据压缩,回波抵消,多路复用,传真,扩频通信,纠错编码,可视电话等。

③ 语音处理——语音编码,语音合成,语音识别,语音增强,说话人辨认,说话人确认,语音邮件,语音储存等。

④ 图像/图形——二维和三维图形处理,图像压缩与传输,图像识别,机器人视觉,多媒体,动画,电子地图,图像增强等。

⑤ 军事——保密通信,雷达处理,声呐处理,导航,全球定位,跳频电台,搜索和反搜索等。

⑥ 仪器仪表——频谱分析,函数发生,数据采集,地震数据处理等。

⑦ 自动控制——控制,升空作业,自动驾驶,机器人控制,磁盘控制等。

⑧ 医疗——助听,超声设备,诊断工具,病人监护,心电图等。

⑨ 家用电器——高保真数字音响,数字电视,可视电话,音乐合成,音调控制,玩具与



游戏等。

## (2) DSP 普遍应用的热门产品

随着 DSP 芯片性能价格比的不断提高, DSP 芯片将会在更多的领域得到更为广泛的应用。

① 通信电子类(Communication Electronics)——蜂窝电话(Cellular Phone), ADSL 调制解调器(MODEM), 线缆调制解调器(Cable MODEM), 蓝牙技术(Blue Tooth)产品, 数字电话应答机(Digital Telephone Answering Device), 全球定位系统(Global Positioning System, GPS), 卫星电话(Satellite Phone), 电话会议(Conference Speaker Phone), 电视电话会议编译码器(Video Conferencing Code), IP 电话(Voice Over IP), IP 传真(Fax Over IP), ATM 电话(Voice Over ATM), 智能天线(Smart Antenna), PCS 用户端(Subscriber Set)。其中 DSP 在通信领域的应用大约占 DSP 市场份额的 60%。

② 计算机类(Computer Electronics)——计算机电话卡(Computer Telephone Board, CTB), 硬盘驱动器(Hard Disk Driver), DDRML 读取通道(Read Channel), PCI 声卡芯片(Audio/Sound Chip), 声卡(Sound Board)。

③ 消费电子类(Consumer Electronics)——数字多用光盘(Digital Versatile Disk, DVD), 数字电视/高清晰度电视(Digital TV/HDTV), 数字助听器(Digital Hearing Aid), 数字相机芯片(Digital Camera Chip), MPEG 编码器芯片(Encoder Chip), MPEG 译码器芯片(Decoder Chip), MP3 播放机芯片(Player Chip), 机顶盒(Set Top Box)。

④ 仪器电子类(Instrumentation Electronics)——马达控制芯片(Motor Control Chip)。

⑤ 军事电子类(Military Electronics)——雷达系统(Radar System), 声呐系统(Sonar System)。

⑥ 办公自动化设备(Office Automation Electronics)以及数字无线电广播(Digital Radio Broadcasting, DAB)等。