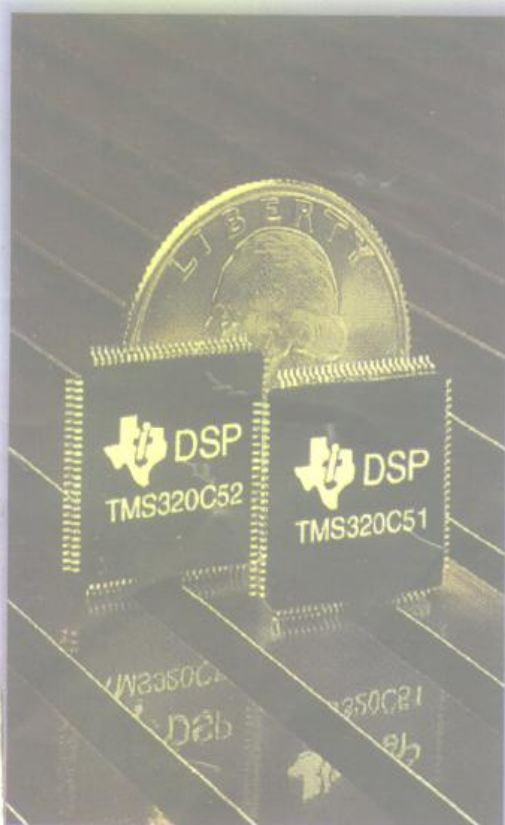


DSP

技术

彭启琮 李玉柏 编著



电子科技大学出版社

TN911.7
P4-8

DSP 技术

彭启琮 李玉柏 编著

电子科技大学出版社

内 容 简 介

以高速高位数字信号处理器(DSP)为基础的实时数字信号处理技术正在迅速发展,并得到广泛应用。本书对数字信号处理理论和方法作了简明扼要的讨论,重点介绍了近年来发展起来并得到广泛应用的各种定点运算DSP和浮点运算DSP,以及IIR滤波器、FIR滤波器、自适应滤波器、FFT等常用的数字信号处理算法及其DSP实现。对实现上述各种算法的数十个DSP程序作了详细的注释和说明,以帮助读者了解和掌握各种实时处理算法的DSP实现方法和技巧。有些例子和程序可以直接用于科研和新产品开发中。

本书的读者对象是电子学和通信类各专业的研究生和本专科学生,以及各领域内从事信号处理的科研和工程技术人员。

DSP 技术

彭启琮 李玉柏 编著

*

电子科技大学出版社出版
(成都市建设北路二段四号)邮编610054

成都青羊福利东方彩印厂印刷

新华书店发行

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 475 千字
版次 1997年11月第一版 印次 1997年11月第一次印刷
印数 1—2500 册

ISBN 7-81043-845-X/TN·79

定价:22.00 元

前言

我们生活在一个数字化的时代。数字式程控交换机、数字式移动电话、多媒体计算机、计算机网络(包括因特网, INTERNET)、数字式电视、数字式照相机、数字音响、VCD 及DVD、电子游戏机及智能化玩具、智能化及模糊控制家用电器,等等,把我们的工作、学习、生活、通信以及人际交往与数字化紧紧地联系在一起。

以信息高速公路为标志的信息化,已成为社会发展的大趋势,并在逐步变成现实。信息化是以数字化为背景的,而数字信号处理技术(DSP, Digital Signal Processing)则是数字化最重要的基本技术之一。

信息化的进程和计算机科学与技术、大规模集成电路技术、信号处理理论与方法等的迅速发展,为DSP 技术提供了广阔的发展空间和坚实的技术基础。

利用数字信号处理技术不断地开发出大量新产品。拾取实时、高速的信息,诸如无线电、声音或视频信号,并将其用于不同的目的。把古老的音乐录音或唱片恢复成为象原来那样清晰;消除电话线路的噪声和回声;使卫星摄取的图象经过处理能够分辨陆地上象高尔夫球那样小的目标。在汽车中,数字信号处理技术创造数字式环绕声;根据道路的情况自动地调整液压系统,以避免路面不平引起的震动。在蜂窝移动电话中,数字信号处理技术把多路通话压缩到狭窄的空间信道中,并且能够防止窃听和盗用。在多媒体计算机中,数字信号处理技术可以实时产生专业水平的音频信号,作图象处理或三维动画处理。在现代化的医院里,最新的X 射线断层扫描(CT)、核磁共振、B 型超声波等检查与诊断设备大量地使用了DSP 技术。在学术研究和军事领域里,数字信号处理也得到了广泛的应用。总之,数字信号处理已成为一种广泛应用的军事技术与商业技术。

在过去短短的十几年里,各种集成化的单片数字信号处理器(DSP, Digital Signal Processor)的性能得到很大改善,软件和开发工具也越来越多、越来越好,而价格却大幅度下降,从而使得数字信号处理器件及技术更容易使用,价格也能够为广大用户所接受。

由此可见,社会的发展和技术的进步已将DSP 从一门很专门的学科,推进成极为活跃并广为人知的前沿技术。广大学生和技术人员学习DSP 技术的积极性空前高涨,迫切需要有关的教材和技术资料。

传统的数字信号处理的教材与著作,大多着重于理论阐述,基本上不讨论实现的方法;DSP 厂家的产品手册又只着重各自DSP 芯片的硬件结构和指令系统的介绍,缺乏系统的数字信号处理方法与应用的介绍与讨论。

本书的目的在于将这两者有机地结合起来。这也是教学改革和教材改革的方向所在。本书各章在简明扼要地介绍数字信号处理理论和方法的基本要点之后,概述DSP 的最新进展,并以目前国际国内都使用得最为广泛的德克萨斯仪器公司(TI, Texas Instruments)的TMS320 系列DSP 为代表(重点是定点运算DSP TMS320C2xx 和浮点运算DSP TMS320C3x),讨论各种数字信号处理算法的实现方法及实践中可能遇到的主要问题,着重

介绍了用得较多的IIR 滤波器、FIR 滤波器、FFT、自适应滤波器等算法及其DSP 实现。对于实现上述算法的数十个DSP 程序作了详细的注释和说明,以帮助读者了解和掌握各种算法DSP 实现的方法和技巧,具有很强的实用性。

本书可以作为电子学与通信类各专业的研究生和本专科高年级学生的教材。对于工作在各领域从事信号处理的科研和工程技术人员来说,也不失为一本有用的参考书。

本书由彭启琮主编,李玉柏编写了第八章和第九章。

本书的出版得到德克萨斯仪器公司(TI,Texas Instruments)和电子科技大学出版社的大力支持和帮助,作者在此表示衷心的感谢。

由于DSP 技术的发展极为迅速,而作者的水平和掌握的资料有限,书中的不当与错误之处,恳请读者批评指正。

作 者

1997 年9 月于电子科技大学

目 录

第一章 概论

§ 1.1 数字化决定信号处理的未来	(1)
§ 1.2 DSP 的发展	(2)
§ 1.3 DSP 的应用	(8)

第二章 离散信号和系统

§ 2.1 引言	(14)
§ 2.2 离散时间信号	(14)
§ 2.3 离散时间系统	(18)
§ 2.4 z 变换	(22)
§ 2.5 模拟信号和数字信号之间的转换	(28)

第三章 定点运算DSP

§ 3.1 主要机种简介	(34)
§ 3.2 TMS320C54x 概述	(43)
§ 3.3 TMS320C2xx 概述	(46)
§ 3.4 TMS320C2xx 的硬件结构	(47)
§ 3.5 C2xx 的指令系统	(59)
§ 3.6 C2xx 的编程	(70)

第四章 浮点运算DSP

§ 4.1 主要机种简介	(82)
§ 4.2 TMS320C30 概述	(91)
§ 4.3 TMS320C30 的硬件结构	(92)
§ 4.4 TMS320C30 的指令系统	(104)
§ 4.5 C30 的编程	(113)

第五章 DSP 的开发环境

§ 5.1 C 优化编译器	(115)
§ 5.2 汇编语言工具	(124)
§ 5.3 系统集成与调试工具	(130)
§ 5.4 DSP 的操作系统	(136)

第六章 无限冲激响应(IIR)滤波器

§ 6.1	引言	(140)
§ 6.2	模拟滤波器的频率响应	(141)
§ 6.3	IIR 滤波器的结构	(149)
§ 6.4	使用双线性变换方式设计IIR 滤波器的 $H(z)$	(154)
§ 6.5	IIR 滤波器的DSP 实现	(157)
§ 6.6	定标与溢出	(172)

第七章 有限冲激响应(FIR)滤波器

§ 7.1	引言	(178)
§ 7.2	线性相位滤波器的结构	(178)
§ 7.3	以付氏级数实现FIR 滤波器	(181)
§ 7.4	用窗函数改善FIR 滤波器的特性	(183)
§ 7.5	FIR 滤波器的DSP 实现	(187)

第八章 自适应滤波器

§ 8.1	引言	(194)
§ 8.2	自适应滤波器的应用	(195)
§ 8.3	自适应滤波器的结构体系	(198)
§ 8.4	LMS 自适应算法	(206)
§ 8.5	实际应用中的其他问题	(216)
§ 8.6	LMS 算法的变形算法	(219)

第九章 快速付氏变换(FFT)

§ 9.1	引言	(233)
§ 9.2	基-2 按时间抽取FFT 算法	(234)
§ 9.3	基-2 按频率抽取FFT 算法	(237)
§ 9.4	TMS320C2xx 的FFT 编程	(240)
§ 9.5	TMS320C3x 的FFT 编程	(261)

第十章 实验及应用实例

§ 10.1	数字振荡器	(268)
§ 10.2	伪随机序列发生器	(273)
§ 10.3	实现调幅(AM)/调频(FM)	(278)
§ 10.4	实现跳频	(286)
§ 10.5	双音多频电话拨号音频解调/发生器	(296)
§ 10.6	32 信道双音多频解码器	(298)

§ 10.7 飞行器进气道风洞试验动态参数实时处理系统.....	(301)
§ 10.8 虚拟仪器(VI)和自动测试系统(ATE)	(305)
参考文献	(310)

第一章 绪 论

数字信号处理作为信号与信息处理的一个分支学科,已有很长的发展历史。但它又是一个新兴的、极富活力的学科,活跃在电子学、计算机、应用数学等学科的最前沿,渗透到科学研究、技术开发、工业生产以及国防和国民经济的各个领域,起着越来越重要的作用。

§ 1.1 数字化决定信号处理的未来

数字信号处理的基础是数字计算机和算法。算法一旦建立,设计者就要寻找合适的计算机来最有效地实现它们。最开始的目标是在可以接受的时间内对算法作仿真。随后是将波形存储起来,事后再加以处理。随着计算机技术和DSP技术与器件的发展,这种仿真和脱机处理逐步演变成为实时处理。

连续信号的基本数学模型是基于19世纪提出的拉普拉斯变换和付氏变换。通过简单的扩展和适当的解释,即可推出离散信号的Z变换。随着40年代末数字计算机的出现,离散付氏变换和Z变换的应用日益广泛。1965年,库利(Cooley)和图基(Tukey)发表了他们有名的快速付氏变换(FFT, Fast Fourier Transform),极大地降低了付氏变换的计算量,从而为数字信号的实时处理奠定了算法基础。近年来,在DSP的各种快速算法、模糊和遗传算法、神经网络等方面都不断有所进展。

在通常的信号处理中,采用数字技术有许多的优点。DSP所能完成的功能,有许多靠模拟技术完成起来很困难,甚至是无法完成的。数字技术的主要优点概述如下:

1. 可编程

可以只设计一个硬件配置,然后设计各种软件来执行多种多样的信号处理任务。例如,一个数字滤波器可以通过重新编程来完成低通、高通、带通带阻等不同的滤波任务,而不需要改变硬件。而在模拟系统中,随着任务的不同,所有的设计都必须改变。

在很多情况下,甚至不需要重新编程,而只需要改变有关的数据和操作就可以完成不同的任务,而在模拟系统中,这样作是很难的,甚至是不可能的。

2. 稳定性好

模拟电路中的电阻、电容、运算放大器等器件的特性都会随着温度的改变而改变。这就意味着,一个模拟电路的性能在0℃时和70℃时会大不一样。而数字电路在其保证的工作范围内受温度变化的影响就要小得多。

此外,对于模拟电路来说,还必须考虑到器件及制造器件的材料的使用寿命,这将极大地影响整个电路的性能。

对于模拟电路来说, 这些问题是不可克服的。但对于数字信号处理器, 它们所带来的影响要小得多。而且, DSP 电路还可以通过编程来检测和补偿模拟系统的变化。

3. 可重复性好

数字系统本身就固有可重复性。如果用500 台计算机去计算同一个序列的和, 则它们会提供一模一样的答案。但如果将同样的信号输入配置相同的500 个模拟系统, 则每个系统的输出都不会相同。其原因非常简单, 模拟系统中的器件的性能各不相同。电阻允许的误差通常是其阻值的5%, 更高档的可能是2%或1%。电容的误差是20%或更差。与此相类似, 模拟半导体器件也有其技术规格的范围, 制造过程中的各种条件变化使得器件与器件各不相同。这就意味着, 即便是设计完全相同的模拟系统, 其性能也是各不相同的。

4. 易于实现自适应算法

目前, 已开发了一些DSP 系统来消除汽车和飞机座舱内的噪声。以汽车为例, 噪声是由发动机以及仪表盘等对发动机振动的共鸣所引起的。噪声消除系统以发动机的速度作为参照, 产生一个“反噪声”信号, 从而消除座舱内的噪声。在每个座位处设有麦克风, 根据其所检测到的变化, 系统会调整反噪声的特性, 直至达到最佳效果。当发动机的速度改变时, 系统也会根据新的速度自适应地加以改变。

一个DSP 系统可以很容易地自适应于外部环境的改变。自适应算法只是计算新的参数, 并存储起来, 取代原有的值。一些基本的自适应功能在模拟系统中是可能实现的, 但类似于噪声消除等复杂的自适应变化就非模拟系统所能了。

5. 大规模集成

随着集成电路技术的发展, 各种新型的大规模和超大规模集成电路不断涌现。与模拟电路相比, 数字电路的集成度可以作得高得多。特别是和计算机技术结合在一起, 使得数字信号处理系统的功能越来越强。本书重点讨论的DSP 器件, 就是基于超大规模集成电路技术和计算机技术发展起来的、适合于作数字信号处理的高速高位单片计算机。它们体积小, 功能强, 功耗小, 产品一致性好, 使用方便, 性能/价格比很高, 从而得到了广泛的应用。

§ 1.2 DSP 的发展

在数字信号处理技术发展的初期(本世纪50~60 年代), 人们只是在通用数字计算机上进行算法的研究和处理系统的模拟与仿真。尽管人们已经认识到数字系统的优越性, 并将其应用在处理信号的实际系统之中, 但由于受到速度、成本和体积的限制, 实时数字信号处理系统还只是美好的期望。

快速付氏变换方法的提出和集成电路技术的发展, 使得用硬件来实现各种数字滤波和FFT 受到了极大的关注。从而导致了近二十年来DSP 技术与器件的极为迅速的发展。

我们无意在这里详细列举与介绍这个发展过程中出现过的众多器件与系统, 这不是本

书的主要任务。在本节中，我们只简要介绍DSP 芯片的主要结构特征，选择几种具有代表性的器件来简要介绍数字信号处理硬件的发展，以及目前所达到的水平。在第三章和第四章中，我们还将较为系统地介绍目前用得比较多的定点运算与浮点运算DSP。

自从40年代第一台数字式电子计算机问世以来，计算机科学与技术飞速地发展。尤其是微处理器和微型计算机的出现和迅速推广应用，为科学技术的发展，国民经济、人民生活乃至观念，都带来了一次革命性的变革。

通用型微处理器，采用的是冯·诺依曼结构，即程序指令和数据共用一个存储空间和单一的地址与数据总线。

为了进一步提高运算速度，以满足实时数字信号处理算法的要求，当前的DSP 都采用了与通用微处理器不同的结构，即放弃了冯·诺依曼结构，而采用了哈佛结构。

所谓哈佛结构，是将程序指令与数据的存储空间分开，各有自己的地址与数据总线。这就使得处理指令和数据可以同时进行，从而大大提高了处理效率。

DSP 大多采用了流水技术。计算机在执行一条指令时，总要经过取指、译码、访问数据、执行等几个步骤，需要若干个指令周期才能完成。流水技术是将各指令的执行时间重叠起来。第一条指令取指后，译码时，第二条指令取指；第一条指令访问数据时，第二条指令译码，第三条指令取指，…。尽管每一条指令的执行时间仍然是几个指令周期，但由于指令的流水作业，综合起来看，使得每条指令的最终执行时间是在单个指令周期内完成的。这就使得处理速度大为提高。DSP 所采用的程序存储区及其总线与数据存储区及其总线分开的哈佛结构，为采用流水技术提供了很大的方便。

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、快速付氏变换、相关计算、矩阵运算等算法中，都有大量类似于

$$\sum A(k)B(n-k)$$

一类的运算。通用计算机的乘法是用软件来实现的，往往需要若干个机器周期才能完成。而DSP 中都设置了硬件乘法器和MAC（乘法并累加）一类的指令，取两个操作数到乘法器中作乘法，并将乘积加到累加器中。这些操作往往可以在单个指令周期内完成，使得DSP 作乘和累加这种基本运算的速度大为提高。

1.2.1 1980年前后的DSP 产品

1. Intel 2920

一般认为，70年代后期推出的Intel 2920是第一块脱离了通用型微处理器结构的DSP 芯片。

Intel 2920 的结构框图如图1.2.1所示。可以看出，这是一个用数字方式来对模拟信号实施处理的系统。

它的程控多路转换开关可以从4路模拟输入中选择一路，采样/保持(S/H)，A/D变换，存储在RAM中，经过数字处理之后，再经D/A变换，将模拟信号输出。

2920的数字处理部分包括25位字长的ALU（Arithmetic and Logic Unit 算术逻辑单

元), 192 字×24-bit 程序存储器, 40 字×25-bit 数据存储器, 双向移位器等。

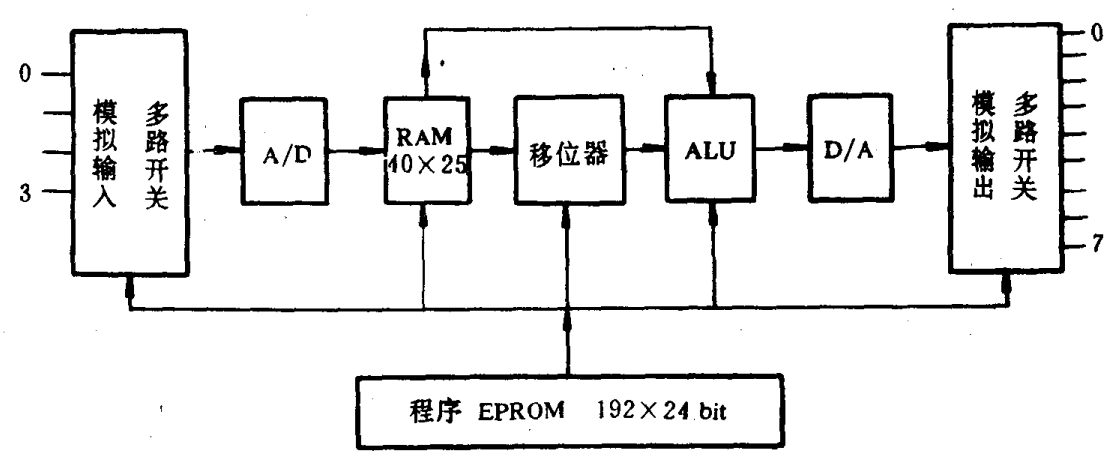


图1. 2. 1 Intel 2920 框图

2. NEC μ PD7720

NEC 于1980 年前后推出的 μ PD7720 具有专门的硬件乘法器, 从而被认为是第一块单片DSP 器件。其框图如图1. 2. 2 所示。

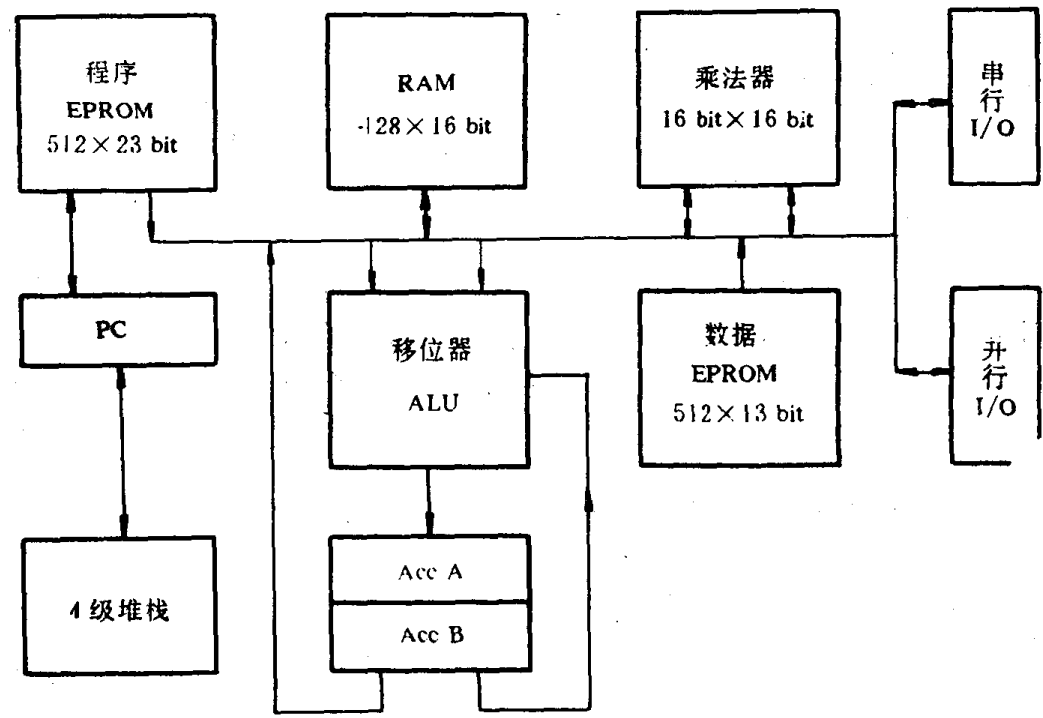


图1. 2. 2 NEC μ PD7720 框图

与Intel 2920 相比, μ PD7720 更象是一个通常的微处理器。外接8MHz 时钟信号, 指令周期为250ns。它具有独立的16×16-bit 乘法器, 能在单指令周期内完成乘法运算, 乘积为31-bit。两个16-bit 的累加器 (ACC) A 和B, 以便作复数或双精度实数运算。程序ROM 为

128 字×23-bit，数据RAM 为128 字×16-bit，数据/系数ROM 为512 字×13-bit。4 级堆栈及1 级中断处理能力。一个串口及一个8-bit 并口。

3. Texas Instrument (TI) TMS32010

TI 于1983 年推出的TMS 系列，标志着实时数字信号处理领域的重大突破。它们有着很强的生命力，得到了广泛的应用。

TMS32010 是TMS320 系列中的第一代产品，其框图如图1. 2. 3 所示。

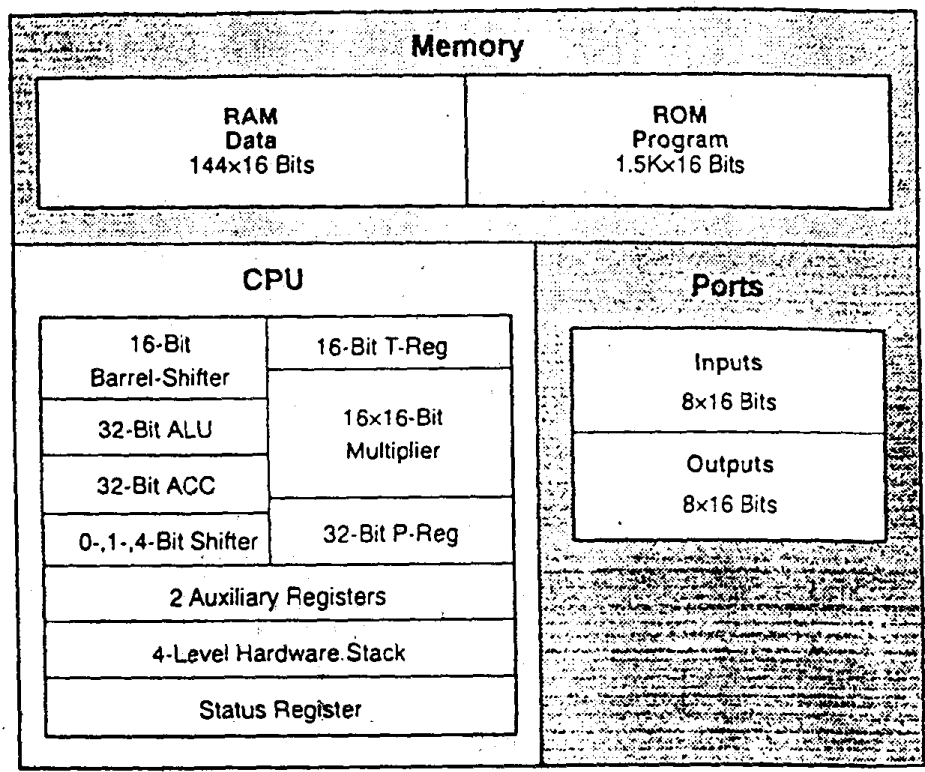


图1. 2. 3 TMS32010 框图

它采用了改进的哈佛结构。这种结构与严格的哈佛结构的区别在于：它允许数据在程序存储空间和数据存储空间之间传输，从而提高了运行的速度和编程的灵活性。由于可以将数据从程序存储空间传送到数据存储空间，也就没有必要设置专门的系数ROM，这给系统设计所带来的好处是显而易见的。

TMS32010 的时钟频率为20MHz，指令周期为200ns。32-bit ALU 及ACC，16×16-bit 并行乘法器。片内有144 字×16-bit 数据RAM，片内还可有1.5K 字×16-bit 程序ROM。片外程序RAM 可扩展至4K 字×16-bit。数据总线传输速率为40Mbit/s。8 个I/O 口，2 个16-bit 辅助寄存器，0~15-bit 桶形移位器。4×12-bit 堆栈，最多可接受4 层嵌套子程序或中断。

1. 2. 2 当前DSP 产品的主要特点

为了适应数字信号处理的需要，当前的DSP 都设置了硬件乘法/累加器，大都能在单个指令周期内完成乘法/累加运算。当前的水平已达到每秒数千万次乃至数十亿次定点运算或

浮点运算的速度。

为了满足FFT、卷积等数字信号处理的特殊要求，当前的DSP 大多在指令系统中设置了“循环寻址”（Circular addressing）及“位倒序”（bit-reversed）指令和其他特殊指令，使得在作这些运算时寻址、排序及计算速度大大提高。单片DSP 作1024 点复数FFT 所需时间已降到微秒量级。

高速数据传输能力是DSP 作高速实时处理的关键之一。新型的DSP 大多设置了单独的DMA 总线及其控制器，在不影响或基本不影响DSP 处理速度的情况下，作并行的数据传输，传送速率可以达到每秒数百兆字节，主要受到片外存储器速度的限制。

随着应用的日益广泛，DSP 已经成为了许多高级设计不可或缺的组成部分。其结果，使DSP 厂商的投资集中于DSP 体系结构、智能化程度更高的编译程序、更好的查错工具、以及更多的支持软件。

最明显的结构改进在于提高“并行性”，即在一个指令周期内，DSP 所能完成的操作的数量。一个突出例子是德克萨斯仪器公司（TI）1997 年推出的带有8 个功能单元，使用超长指令字（VLIW，Very Long Instruction Word）的DSP TMS320C6x，其结构如图1.2.4 所示。这种32-bit 定点运算DSP 在每个周期内可以完成8 个操作，其运算速度达到了每秒执行20 亿条指令（2000MIPS）；如果片外存储器能够支持，其DMA 的数据传输能力可以达到每秒800MByte。

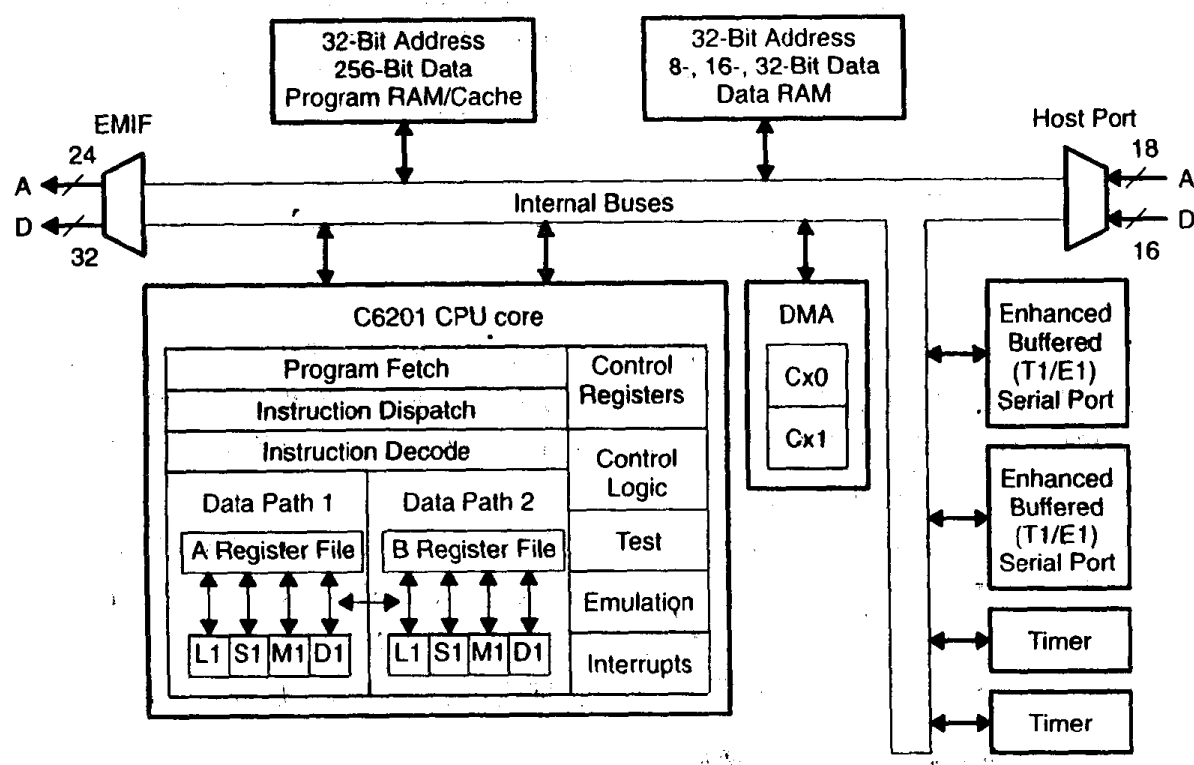


图1.2.4 TMS320C6x 框图

尽管当前的DSP 已达到较高的水平，但在一些实时性要求很高的场合，单片DSP 的处

理和能力还不能满足要求。因而，多处理器系统就成为提高应用性能的重要途径之一。许多算法，例如数字滤波、FFT、矩阵运算等，都包含有建立和一积形式的数列，或者是对矩阵一类规则结构作有序处理。在许多情况下，都可以将算法分解为若干级，用串行或并行来加快处理速度。因此，新型DSP的发展方向，是在提高单片DSP性能的同时，十分注重在结构设计上为多处理器的应用提供方便。例如，TI的TMS320C40，设置了6个8-bit的通信口，既可以作级联，也可以作并行连接。每个口都有DMA能力。这就是专门为多处理器应用而设计的。

DSP系统设计和软件开发是一个重要而困难的问题，往往需要相当规模的仿真调试系统，包括在线仿真器、许多电缆、逻辑分析仪以及其他的测试设备。在多处理器系统中，这个问题尤为突出。为了方便用户的设计与调试，许多DSP在片上设置了仿真模块或仿真调试接口。

Motorola在其DSP片上设置了一个OnCE (On-Chip Emulation) 功能块，用特定的电路和引脚，使用户可以检查片内的寄存器、存储器及外设，用单步运行、设置断点、跟踪等方式控制与调试程序。

TI则在其TMS320系列芯片上设置了符合IEEE1149标准的JTAG (Joint Test Action Group) 标准测试接口及相应的控制器，从而不但能控制和观察多处理器系统中每一个处理器的运行，测试每一块芯片，还可以用这个接口来装入程序。在PC机上插入一块调试插板，接通JTAG接口，就可以在PC上运行一个软件去控制它。PC机上有多个窗口显示，每个窗口观察多个处理器中的一个，这就极大地简化了多处理器系统开发的复杂性。在TMS320中，和JTAG测试口同时工作的还有一个分析模块，它支持断点的设置和程序存储器、数据存储器、DMA的访问，程序的单步运行和跟踪，以及程序的分支和外部中断的计数等。

DSP的处理速度越来越高，功能越来越强，但随之而付出的代价是功耗也越来越大。而且，随着钟频的提高，功耗急速加大。尽管生产厂家几乎没有例外地都采用了CMOS工艺等技术手段来降低功耗，但有的单片DSP的功耗已达10W以上。随着DSP的大量使用，特别是在用电池供电的便携式设备中的大量使用，例如便携式计算机、移动通信设备和便携式测试仪器等，迫切要求DSP在保持与提高工作性能的同时，降低工作电压，减小功耗。为此，各DSP生产厂家正积极研制并陆续推出低电压片种。在降低功耗方面，有的片种设置了IDLE或WAIT状态，在等待中断到来期间，片内除时钟和外设以外的电路都停止工作；有的片种设置了STOP状态，它比WAIT状态更进一步，连内部时钟也停止工作，但保留了堆栈和外设的状态。总之，低工作电压和低功耗已成为DSP性能表征的重要技术指标之一。

随着专用集成电路 (ASIC, Application Specific Integrated Circuit) 的广泛使用，迫切要求将DSP的功能集成到ASIC中。例如，在磁盘/光盘驱动器、调制解调器 (Modem)、移动通信设备和个人数字助理 (PDA, Personal Digital Assistant) 等应用中，这种要求来得相当突出。为了顺应这种发展并更加深入地开拓DSP市场，各DSP生产厂家相继提出了DSP核 (DSP core) 的概念并推出了相应的产品。一般说来，DSP核是通用DSP器件中的CPU部分，再配以按照客户的需要所选择的存储器 (包括Cache、RAM、ROM、flash、E-

PROM 等以及固化的用户软件)和外设(包括串口、并口、主机接口、DMA、定时器等),组成用户的ASIC。DSP 核概念的提出与技术的发展,使用户得以将自己的设计,通过DSP 厂家的专业技术来加以实现,从而提高ASIC 的水准,并大大缩短产品的上市时间。从图1.2.4中可以看到,它就是由DSP 核C6201 及相应的存储器与外设所构成的。DSP 核的一个典型的应用是U. S. Robotics 公司利用TI 的DSP 核技术所开发的X2 芯片,最早成功地将56kbps 的Modem 推向了市场。除开TI 公司的TMS320 系列DSP 核之外, Motorola 公司的DSP566xx 系列和AD 公司的ADSP21000 系列等,也都是得到成功应用的DSP 核。

在DSP 硬件结构和性能不断改善的同时,其开发环境和支持软件,也得到了迅速的发展与不断的完善。

各公司出品的DSP 都有各自的汇编语言指令系统。使用汇编语言来编制DSP 应用软件是一件繁琐与困难的工作。随着DSP 处理速度的加快与功能的增强,其寻址空间越来越大,目标程序的规模也越来越大,从而使得用高级语言来对DSP 编程成为必须而且紧迫的任务。各公司陆续推出了适用于DSP 的高级语言编译器,主要是C 语言编译器,也有Ada, Pascal 等编译器。它们能将高级语言编写的程序,编译成相应的DSP 汇编源程序。程序员可在这里对DSP 源程序作修改与优化,尤其是对实时处理要求很苛刻的部分作优化,然后汇编与连接,成为DSP 的目标代码。

在应用软件开发与调试环境方面,除开传统的,在硬件或软件仿真器上用Debug 来调试之外,各厂家陆续推出了一些针对DSP 的操作系统(例如Spectron Microsystem 的SPOX)。这些操作系统运行在IBM-PC 或其他的主机上,为DSP 应用软件的开发提供良好的集成开发环境:用C 语言等高级语言编写的程序的调试,用针对DSP 的C 语言等编译器将其编译成相应的DSP 汇编源程序,进一步的修改、调试与检查,最后汇编与连接成DSP 可执行目标代码。这些操作系统的适用范围正在扩大。例如, SPOX 原来是为TMS320C30 开发的,但已扩大到适用于TMS320C40、Motorola 的DSP96002、Analog Devices 的21020 等。

DSP 的生产厂家和一些其他的软件公司,为DSP 应用软件的开发准备了一些适用的函数库与软件工具包,如针对数字滤波器和各种数字信号处理算法的子程序,以及各种接口程序等。这些经过优化的子程序为用户提供了极大的方便。

随着专用集成电路(ASIC)技术的发展和DSP 应用范围的迅速扩大,一些EDA 公司也将DSP 的硬件和软件的开发纳入了EDA 工作站的工作范畴,陆续推出了一些大型软件包,为用户自行设计所需要的DSP 芯片和软件提供了更为良好的环境。

§ 1.3 DSP 的应用

随着DSP 性能的不断改善,用DSP 来作实时处理已成为当今和未来技术发展的一个新热点。随着生产技术的改进和产量的增大,其成本与售价大幅度下降,又使得它的应用范围不断扩大,成为当前产量和销售量增长幅度最大的电子产品之一。

DSP 的应用几乎已遍及电子学的每一个领域,要详细介绍起来是很困难的,甚至是不

可能的。本节先列举目前常见的一些典型应用，然后再举几个例子来稍加说明。

1.3.1 DSP 的典型应用

1. 通用数字信号处理

数字滤波，卷积，相关，FFT，希尔伯特变换，自适应滤波，窗函数，波形生成等。

2. 通信

高速调制解调器，编/解码器，自适应均衡器，传真，蜂房网移动电话，数字留言机，语音信箱，回音消除，噪音对消，电视会议，扩频通信等。

3. 声音/语音信号处理

语音信箱，语音识别，语音鉴别，语音合成，文字变声音，语音矢量编码等。

4. 图形/图像信号处理

三维图形变换处理，机器人视觉，模式识别，图像鉴别，图像增强，动画，电子地图，桌面出版系统等。

5. 控制

磁盘/光盘伺服控制，激光打印机伺服控制，机器人控制，发动机控制，卡尔曼滤波等。

6. 仪器

谱分析，函数发生，波形发生，数据采集，暂态分析，模态分析，石油/地质勘探，飞行器风洞试验等。

7. 医学电子学

助听器，X—射线断层扫描，超声设备，心电图/脑电图，核磁共振，病员监护，胎儿监视等。

8. 军事

雷达与声纳信号处理，导航，制导，保密通信，全球定位，搜索与跟踪等。

9. 计算机

阵列处理器，图形加速器，工作站，神经网络，多媒体计算机等。

10. 消费电子

数字电视，高清晰度电视（HDTV），数字声，音乐合成器，玩具与游戏机，数字应答/留言机等。