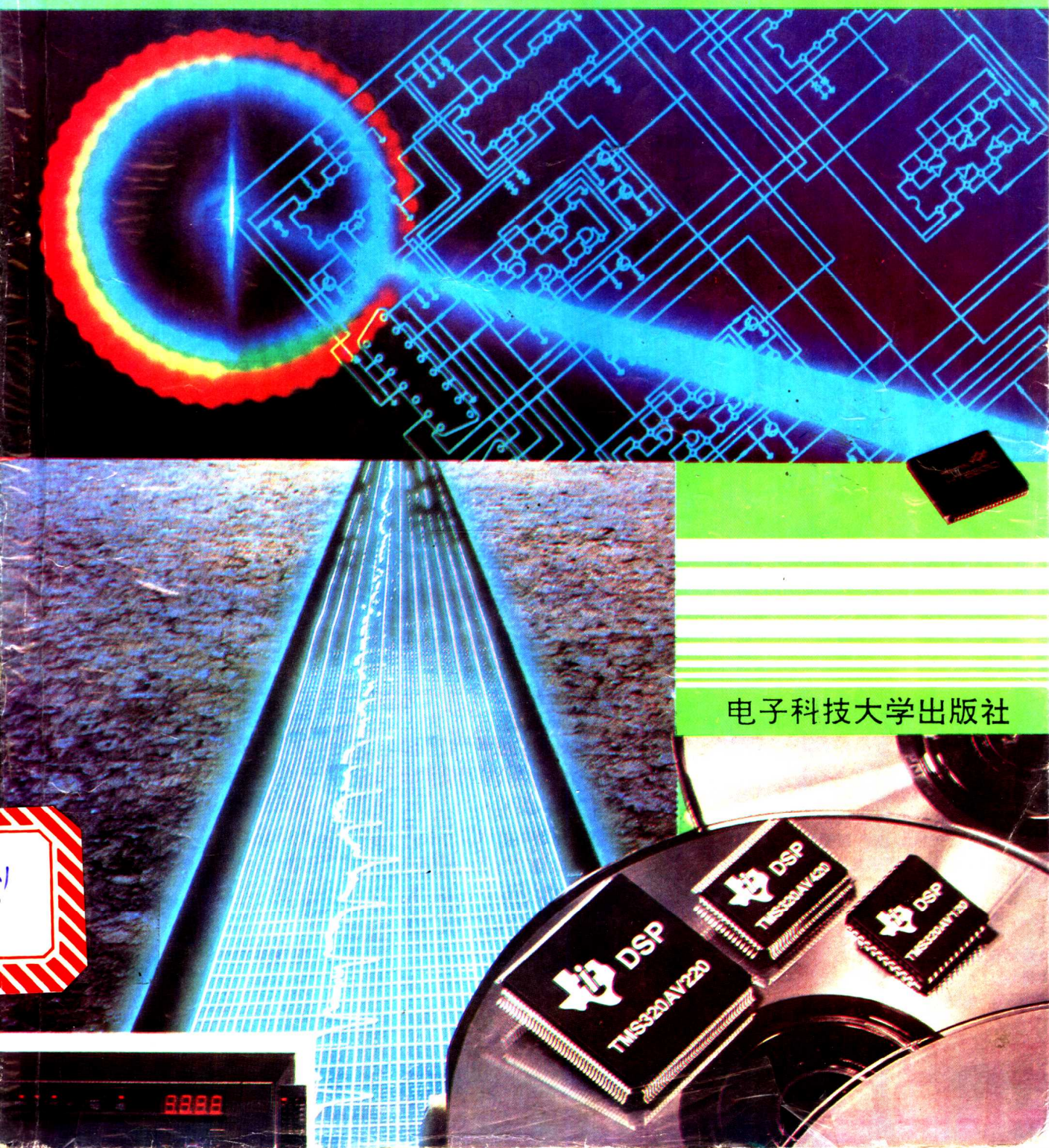


彭启琮 李玉柏 管 庆 编著

DSP 与实时数字信号处理



电子科技大学出版社

DSP 与实时数字信号处理

彭启琮 李玉柏 管 庆 编著

电子科技大学出版社

• 1995 •

[川]新登字 016 号

DSP 与实时数字信号处理

彭启琮 李玉柏 管 庆 编著

*

电子科技大学出版社出版发行
(成都市建设北路二段四号)邮编 610054
西南冶金地质印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 426.8 千字
版次 1995 年 4 月第一版 印次 1995 年 4 月第一次印刷

印数 1—3000 册

ISBN 7-81043-115-3/TN · 14

定价:15.80 元

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 32bit 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在科研和新产品开发中。

本书的读者对象是通信和电子技术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。

前 言

经过多年的理论研究与科学实践,数字信号处理的理论和实现技巧日趋成熟,已有的算法不断得到完善,新的快速算法不断涌现。数字信号处理在科学研究、军事及国民经济各领域正日益广泛而深入地推广应用,起着越来越重要的作用,日益受到关注与重视。

然而,受到计算机运算速度及存储空间的限制,数字信号处理的实时性在相当长的时间内远不如人意,从而在很大程度上影响了其应用范围与深度。

八十年代以来,随着超大规模集成电路技术与计算机技术的飞速发展,适应实时数字信号处理的迫切要求,各生产厂家相继推出了一系列的数字信号处理器(DSP, Digital Signal Processor)。这些 DSP 具有很高的运算速度,大存储空间的高速寻址能力,功能很强又很灵活的指令系统等特点;最新的 DSP 还具有很强而又灵活的接口与通讯能力,便于组织多处理器并行运算、流水作业以及资源共享等,从而使处理速度与精度进一步得到提高。DSP 的这些新发展,使得数字信号实时处理的理论和实践研究空前地活跃起来,新成果新产品层出不穷,应用领域不断扩大。

传统的数字信号处理的教材与专著,大多着重于理论阐述,基本上不讨论实现的方法;而 DSP 厂家的产品手册又只着重芯片的硬件结构与指令系统的介绍,缺乏系统的数字信号处理方法与应用的讨论与介绍。

本书力图将这两者有机地结合起来。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,概述了 DSP 的最新进展,并以目前使用得最为广泛的美国德克萨斯仪器公司(Texas Instruments)的 TMS320 系列 DSP 为代表(重点为 16bit 定点运算 DSP TMS320C25 和 32bit 浮点运算 DSP TMS320C30),讨论实时处理的实现方法及实践中可能遇到的主要问题;介绍了诸如 IIR、FIR、自适应滤波,实时 FFT 等算法的 DSP 实现及其应用。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实时处理算法的 DSP 实现的方法和技巧。有些例子和程序直接来源于编著者的科研和工程实践,具有很强的实用性,可以很方便地直接应用在科研和新产品开发中。

本书可以作为通信及电子技术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人员和工程技术人员来说,也不失为一本有用的参考书。

本书第一章到第六章由彭启琮编写,第七章和第八章由李玉柏编写,第九章由管庆编写。全书由彭启琮统编。彭岷绘制了部分插图。

本书的出版得到电子科技大学出版社的大力支持与帮助,作者在此表示衷心的感谢。

由于受掌握的资料和编著者的水平所限,书中的不当与错误之处,恳请读者批评指正。

编著者

1994 年 7 月于电子科技大学

目 录

第一章 绪论

§ 1.1 数字信号处理的发展	1
§ 1.2 DSP 的发展	2
§ 1.3 DSP 的应用	7

第二章 离散时间信号与系统

§ 2.1 引言	11
§ 2.2 离散时间信号	11
§ 2.3 离散时间系统	14
§ 2.4 z 变换	18
✓ § 2.5 模拟信号与数字信号之间的转换	24

第三章 定点运算 DSP

§ 3.1 主要机种简介	28
§ 3.2 Texas Instruments TMS320C25 概述	34
§ 3.3 TMS320C25 的硬件结构	35
§ 3.4 TMS320C25 的指令系统	43
§ 3.5 TMS320C25 的开发环境	47

第四章 浮点运算 DSP

§ 4.1 主要机种简介	50
§ 4.2 Texas Instruments TMS320C30 概述	58
§ 4.3 TMS320C30 的硬件结构	59
§ 4.4 TMS320C30 的指令系统	69
§ 4.5 TMS320C30 的开发环境	78

第五章 无限冲激响应(IIR)滤波器

§ 5.1 引言	82
§ 5.2 模拟滤波器的频率响应	83
§ 5.3 IIR 滤波器的结构	90
§ 5.4 使用双线性变换来设计 $H(z)$	96
§ 5.5 IIR 滤波器的 DSP 实现	98

§ 5.6 定标与溢出	109
第六章 有限冲激响应(FIR)滤波器	
§ 6.1 引言	114
§ 6.2 线性相位滤波器的结构	114
§ 6.3 用付氏级数实现 FIR 滤波器	117
§ 6.4 用窗函数改善 FIR 滤波器的特性	119
§ 6.5 FIR 滤波器的 DSP 实现	122
第七章 快速付氏变换(FFT)	
§ 7.1 引言	
§ 7.2 基-2 按时间抽取 FFT 算法	138
§ 7.3 基-2 按频率抽取 FFT 算法	142
§ 7.4 TMS320C25 的 FFT 编程	144
§ 7.5 TMS320C30 的 FFT 编程	166
§ 7.6 不同基的 FFT	172
§ 7.7 实数 FFT 和 DFT 逆变换实现	184
第八章 自适应滤波器	
§ 8.1 引言	191
§ 8.2 自适应滤波器的应用	192
§ 8.3 自适应滤波器的横向型结构	195
§ 8.4 LMS 自适应算法	200
§ 8.5 格形结构的自适应滤波器	210
§ 8.6 实际应用中的其他问题	219
§ 8.7 LMS 算法的变形算法	222
§ 8.8 自适应滤波器应用举例	235
第九章 实验及应用举例	
§ 9.1 数字振荡器	250
✓ § 9.2 伪随机序列发生器	255
§ 9.3 实现调幅(AM)/调频(FM)	260
§ 9.4 实现跳频	268
§ 9.5 双音多频电话拨号音频解调/发生器	278

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，其历史可以追溯到很早以前。然而，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领域，扮演着越来越重要的角色。

§ 1.1 数字信号处理的发展

现代的信号处理起源于 17~18 世纪的数学，尤其以十九世纪初叶 J·付里叶提出的付里叶变换作为标志。

通过信号处理，我们往往可以达到两个目的。一是对信号在时域以及各种变换域内的特性进行分析，以便对信号的特性与本质有更清楚的认识。二是对信号实施处理，以改善其性能。

与模拟信号处理技术相比，数字信号处理具有极大的优越性。以下作一概略描述。

1. 灵活性好

当信号处理的方法和参数发生改变时，模拟处理系统往往需要修改硬件设计，或调整硬件参数，而数字处理系统则可以通过软件设置来实现。例如，改变一个模拟滤波器的频率与带宽，至少需要重新调整原有的电路参数，而数字滤波器则只需要向计算机置入新的参数就可以了。又如，应用广泛的自适应滤波器用模拟电路是板难实现的，但用 DSP（数字信号处理器）就比较容易实现。

2. 精度高

模拟电路受其元器件精度的影响，系统的精度很难作得很高。但数字系统可以通过提高 A/D 变换器的位数与计算机的字长，选择适当的算法来达到所需要的精度，从而使得数字系统的精度往往可以比相应的模拟系统的精度高若干数量级。

3. 可靠性好

数字系统受环境温度、湿度、噪声、电磁场等的干扰所造成的影响要比模拟系统小得多，因而可靠性与可重复性要好得多。

4. 大规模集成

随着集成电路技术的发展，各种新型的大规模与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。本书所要讨论的数字信号处理器（DSP），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。

然而，模拟电路对信号的处理是实时的。由于受到计算机的计算速度和存储空间的限制

制, 数字信号处理系统的实时性在相当长的时间内远不如模拟信号处理系统。因而在许多对实时性要求较高的场合, 数字信号处理的应用受到限制。但是, 随着 DSP 器件的出现、发展和不断完善, 这种情况已得到极大的改善。这就使得数字信号实时处理系统的研究与发展空前地活跃起来。

我们现在所讨论的数字信号处理, 是随着数字电子计算机的出现和发展而发展起来的。

最初, 是将需要分析和处理的信号, 例如某些地球物理的试验数据以及飞行器模型风洞试验的数据等, 记录在磁带上, 然后用计算机进行处理。这种数字信号处理当然不是实时的, 往往是几秒钟内记录的信号, 需要用几小时乃至几十小时的时间来处理。即便如此, 数字处理方式所能提供的灵活性仍然受到人们的高度重视。由于数字信号处理的极大的优越性, 吸引着人们去探索提高处理速度的方法和途径, 期盼着能实现数字信号的实时处理。

1965 年库利—图基 (Cooley—Tukey) 提出的快速付里叶变换算法 (FFT), 是数字信号处理发展历史上的一个重要里程碑。

快速付里叶变换本身就是建立在离散时间概念之上的, 形成了一套针对离散时间信号 (或称为序列) 的计算方法, 从而彻底地改变了数字信号处理仅仅是模拟信号处理技术的一种近似的传统观念。这种观念的转变, 对数字信号处理理论的发展和体系的建立, 具有深远的影响。

使用快速付里叶变换算法, 可以将付里叶变换的计算时间缩短几个数量级。这就意味着很多新的更复杂的信号处理算法是可能实现的, 也为数字信号的实时处理带来了希望。

在快速付里叶变换的影响下, 人们对广义的快速变换进行了广泛而深入的研究, 使得各种快速正交变换理论和计算方法得到了充分的发展, 并在今天的数字信号处理中占据了极为重要的地位, 而且仍然是目前最为活跃的研究领域之一。

快速付里叶变换方法和其他高效算法的提出和发展, 促进了 FFT 和其他算法专用处理硬件的发展, 最终导致了高速高位 DSP 的出现。DSP 的出现和发展, 使得数字信号的实时处理终于成为现实, 并很快在科学技术、国防、工业和国民经济建设的各领域得到广泛的应用。

由此可见, 实时数字信号处理技术是集中了数字信号处理理论和方法、计算机科学与技术、集成电路技术等诸多领域的最新成果, 并相互协同, 相互促进而发展起来的。这个新兴的学科分支还在迅速发展。虽然它的历史并不长, 但在已有的应用中, 已尽显其优越的性能和极大的潜力。我们有充分的理由预见其广阔发展的未来。

§ 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。

快速付里叶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、快速付里叶变换、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×24bit 程序存储器,40 字×25bit 数据存储器,双向移位器等。

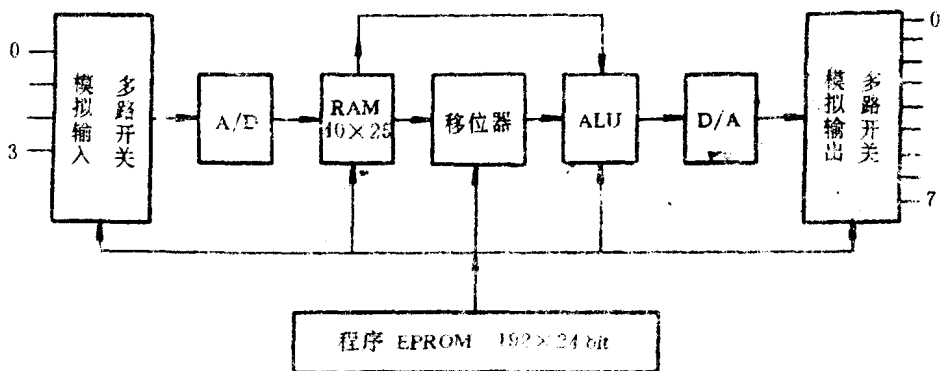


图 1.2-1 Intel 2920 框图

②NEC 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。

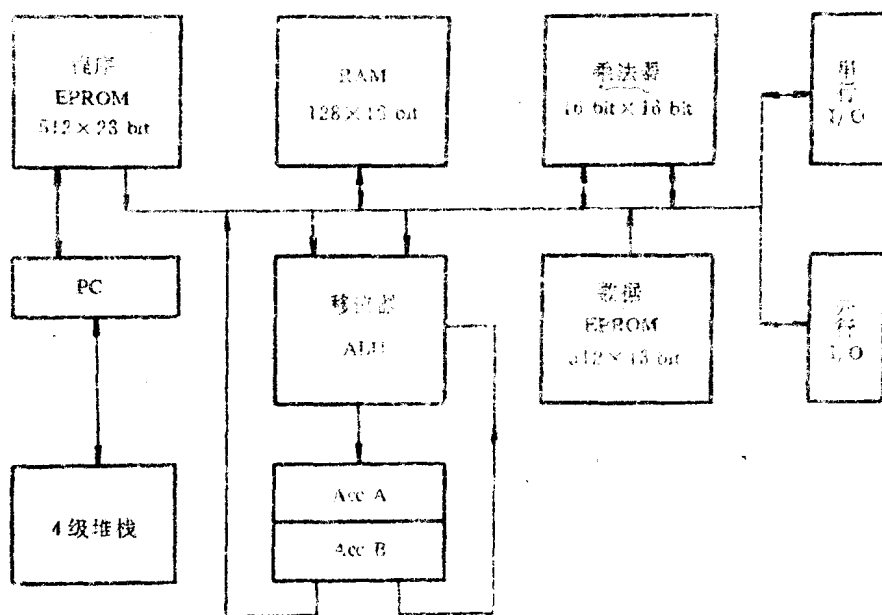


图 1.2-2 NEC μ PD7720 框图

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 bits 乘法器, 能在单指令周期内完成乘法运算, 乘积为 31bit。两个 16bits 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 512 字 $\times$ 23bit, 数据 RAM 为 128 字 $\times$ 16bits, 数据/系数 ROM 为 512 字 $\times$ 13bit。4 级堆栈及 1 级中断处理能力。一个串口及一个 8bits 并口。

③Texas 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。

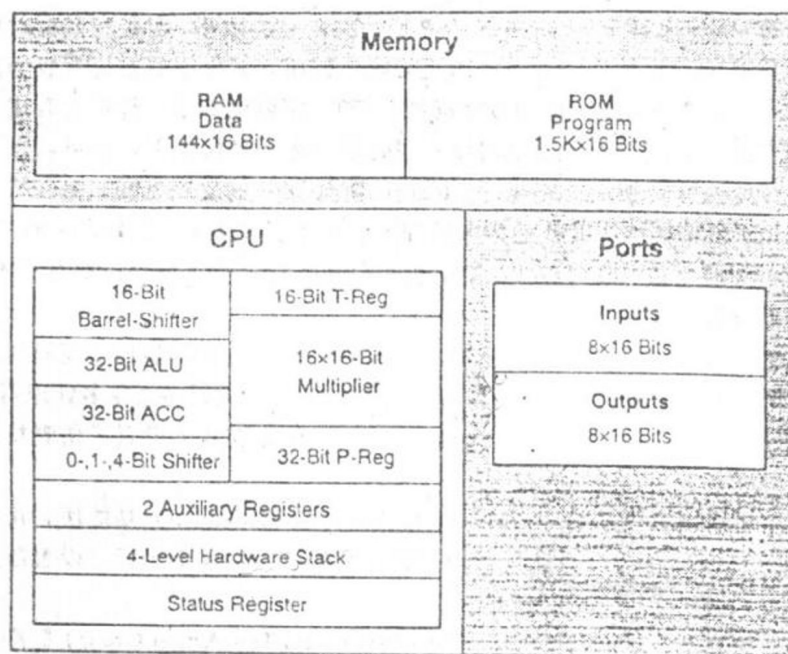


图 1.2-3 TMS32010 框图

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，32bits ALU 及 Acc，16×16bits 并行乘法器。片内有 144 字×16bits 数据 RAM，片内还可有 1.5K 字×16bits 程序 ROM。片外程序 RAM 可扩展至 4K 字×16bits。数据总线传输速率为 40Mbit/s。8 个 I/O 口，2 个 16bits 辅助寄存器，0~15bit 桶形移位器，4×12bits 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亿次浮点运算的速度。

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 1ms 以下。

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,作并行的数据传送。传送速率已达 40Mbyte/s 以上。

尽管当前的 DSP,尤其是 32bits 浮点 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 8bits 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 TMS320C40 片上设置了一个 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 TMS320C40 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工作电压为 3V 的片种。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。

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 和 AT&T 的 VCOM 等)。这些操作系统运行在 IBM-PC 或其他的主机上,为 DSP 应用软件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, 航空器风洞试验等。

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。

1.3.2 应用举例

1. 通信

在当前的 DSP 市场上, 通信设备是其最大的用户。使用数字信号处理技术的数字蜂房移动电话、室内无绳电话、传真、调制解调器、数字应答/留言机, 以及视频会议设备等, 都大量使用 DSP 器件。

使用 DSP 技术对语音作压缩编码, 便可大大节约每路语音所占用的频带宽度, 再加上数字系统所特有的时分复用功能, 从而为由于通信量急剧增加而超载运转的电话系统提供了一个有效的解决途径。

数字信号处理技术所提供的高保真、低噪音及避免交调干扰, 可以大大地改善语音、图像等的通信质量。

数字留言机是当前增长最为迅速的通信器材之一。与传统的模拟式磁带留言机相比, 数字留言机的声音信号数字化后经压缩, 存入存储器。每段留言都有特定的地址, 可以单独存取, 不象磁带那样只能顺序存取。数字留言机不需要电机及磁带等, 避免了机械与磁带的故障以及磁头的磨损等所带来的问题。

视频会议是随着多媒体技术的应用而发展起来的一种新的通信方式。它们能同时传送压缩后的声音及图像信号, 打破了地域的界限, 为数字通信网开辟了新的应用领域。

2. 数字电视及高清晰度电视

数字电视不仅能克服模拟电视系统所固有的缺陷, 而且可以发展许多模拟电视系统根本无法实现的新功能。

数字化的电视信号, 比模拟电视信号具有强得多的抗干扰能力, 经过长距离传输或反

复录制,可以几乎无失真地复原;由于高层建筑反射等多径传输所造成的重影,也易于消除。

数字电视信号容易存储与处理。例如对录像信号或经长距离传输的信号作时基校正;不同制式之间的转换;用数字滤波器对信号进行处理以提高质量;对画面作压缩、扩大、冻结、旋转等几何变换和亮度、色度变化等,以产生节目制作者所希望的特技效果;不同步信号源节目之间实现同步切换;等等。这些,都有赖于 DSP 技术和 DSP 器件来实现。

现行的 525/625 行电视系统的图像清晰度远低于人眼的视觉要求,还有其他的一些弊病。从 70 年代起,首先由日本开始了高清晰度电视 (HDTV) 的研究。其行数 (1125 行) 约为现行行数的两倍。当图像幅型比为 16:9 时,图像信息量约为现行电视的 5 倍,需要更宽的频带来传送。

数字信号处理技术的进步,不仅极大地提高了信号的质量,还能在无损图像质量,或损失可以容许的条件下把信号码率压缩到几十比一,从而有可能在现用的 6~8MHz 射频通道内,传送一路 HDTV 节目。也就是说,数字信号处理技术能用现有的通道把一路 HDTV 图像和伴音传送到千家万户,这是以往所想象不到的。显然,数字信号处理技术决定着电视的未来。

使用数字信号处理技术,还使得在现有的频带内,不仅传送 HDTV 节目,还能增设各种高速数据传输业务,以及使 HDTV 成为多媒体数据网络的一部分。

显然,数字电视及高清晰度电视有赖于 DSP 技术及器件才能发展,而新一代电视又必将极大推动 DSP 技术及器件向更高的水平前进。

3. 计算机

DSP 在计算机中的应用包括调制/解调器,语音识别、处理及语音合成,图形识别,图像与图形处理等。例如,IBM 在其 RS/6000 工作站的图形子系统中,使用了 TMS320C30 阵列,来作高分辨力的二维及三维图形;AT&T 也使用了十几片 DSP32 于其图像处理机中。

神经网络和模糊逻辑系统是目前研究的热点之一。高速 DSP 芯片被研究者们看作是模拟神经特性的理想工具,并可以直接用在将来的神经网络计算机系统中。

多媒体技术是当前的又一研究热点。多媒体是指荷载信息的多种媒体,包括文字、符号、图形、语言、静止图像与活动图像等。计算机交互地处理这些媒体的技术就是多媒体技术。它是随着通信技术、计算机技术、数字信号处理技术以及超大规模集成电路技术的发展,以及这些技术的交汇而产生和发展的。多媒体技术的发展为 DSP 提供了广阔的活动空间,同时又极大地推动了 DSP 的发展。

多媒体计算机研制中的关键技术之一是数据压缩技术。一幅 640×480 中等分辨率的彩色图像的数据量大约为 7.4Mbit。如果存放在 250MB 的硬盘中,还播放不到 10 秒钟。因此,必须在保证图像质量的前提下对图像数据进行压缩。目前,多种满足静止图像压缩编码 JPEG 标准和运动图像压缩编码 MPEG-I 标准的专用 DSP 芯片已投入使用,压缩比约为 50:1。

4. 汽车及其他工业应用

高速公路上汽车密集,车速又很高,恶性事故时有发生,使用 DSP 作实时处理的防撞雷达可以在极短的时间内作出判断并起动控制系统,以防事故的发生。

减轻震动, 是汽车的又一重要技术指标。以往的机械弹簧减震系统, 效果并不十分理想, 尤其是在路况不好时。在新型减震系统中, 汽车的速度、加速度、车轮的位置等信息由传感器拾取后送给 DSP, 作出实时判断后动态地调整控制车轮的液压系统, 以保证乘客始终感到是象行驶在平坦的路面上一样舒服。

新型的汽车静噪系统, 将车内的噪声信息送入 DSP, 经实时处理后, 产生幅度相同但相位相反的声音, 以抵消原有的噪声, 从而创造了无噪声车厢的舒适环境。

再加上使用 DSP 的节油系统和废气监控系统等, 一部新型汽车所使用的 DSP 已达十几个, 从而使汽车工业成为 DSP 的一大用户。

其他工业领域与此相类似。DSP 在工业中的应用着重于伺服控制, 在自动组装、自动加工、工业机器人等方面的应用中起着越来越重要的作用。

5. 石油勘探、飞行器风洞试验的高速数据处理

地震勘探是石油勘探的重要方法之一。它利用人工爆炸, 产生地震波, 当遇到波抗不同的两组岩层界面时, 就会反射上来, 由多个传感器接收, 通过信号处理, 来求出界面的深度和形态。

风洞试验是飞行器及其部件设计和研制过程中必不可少的重要实验环节。在飞行器模型上装入大量的传感器, 放在风洞中模拟实际的飞行状况, 将传感器采得的信号加以处理, 从而验证飞行器的性能, 并得出修改设计的数据。

石油勘探和风洞试验等的共同特点是传感器众多 (可达几百个之多), 信号数据量大, 信号处理的数学模型复杂。

传统的模拟测试系统, 是将传感器送来的信号记录在磁带上, 等试验结束后, 再重放磁带, 将记录的数据加以处理。由于数据量很大, 一般都需要很长的时间来处理 (有的长达数月)。这对工程的时效性显然是很不利的。磁带机等模拟信号记录与处理系统所固有的非线性失真、噪声等对处理结果的精度带来不利的影响。

以 DSP 为核心的实时处理系统, 充分体现数字系统的优越性。它可将采得的数据按既定的数学模型作实时处理, 试验一结束, 就可以得到全部试验结果, 使时效性从根本上得到改善。改变信号处理模型是通过软件来实现的, 其灵活性是模拟系统无法比拟的。数字系统的精度高, 抗干扰性好, 也是模拟系统所不及的。

6. 测试

自动测试设备 (ATE) 是 DSP 应用的又一活跃领域。它集高速数据采集、传输、存储、实时处理于一体, 自动完成时域、频域、调制域、数据域等的测试, 进行相关分析、波形分析、模态分析、谱估计, 以及其他指定的数学模型的分析与估计。它精度高, 可靠性好, 用户界面友好, 正在逐步取代传统的模拟测试设备。

在医疗测试与诊断方面, 以 DSP 技术与器件装备的超声、X-射线断层扫描、核磁共振等新型设备, 代表着医学诊断设备革命性变革的方向。

总之, DSP 技术的不断完善, 各种各样 DSP 器件的不断推出, 为实时数字信号处理的应用创造了前所未有的广阔空间, 真正的限制可能在于设计人员的想象能力。