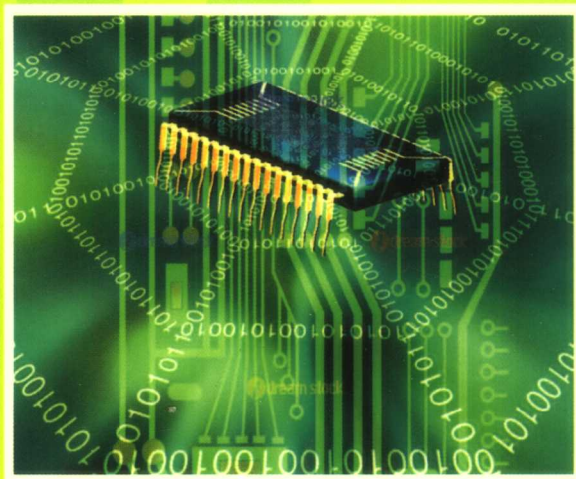


DSP

芯片技术及应用

主编 刘卯国



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)是一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科。20世纪60年代以来,随着计算机和信息技术的飞速发展,数字信号处理技术应运而生并得到迅速的发展。在过去的20多年时间里,数字信号处理已经在通信等领域得到了极为广泛的应用。本书系统地对DSP芯片进行了介绍,并对TI、ADI等DSP芯片业领导者生产的最新型号的DSP芯片进行了详细的介绍,最后给出了当今最新款DSP芯片的应用举例。

本书可作为数字信号处理以及相关专业高年级本科生及研究生的教材和教学参考书,也可供相关专业教师及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

DSP芯片技术及应用/刘卯国主编. —北京:国防工业出版社,2007.8

ISBN 978-7-118-05217-6

I. D... II. 刘... III. 数字信号-信号处理 IV. TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第087929号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17¼ 字数 429千字

2007年8月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 35.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

随着科技的进步以及信息产业的蓬勃发展,数字信号处理(DSP)已经广泛地进入到人们的日常生活和工业生产的各个领域。

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备,以数字形式对信号进行采集、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提高,而数字信号处理的实现则是理论和应用之间的桥梁。本书介绍的 DSP 芯片就是实现这个桥梁的基础。

数字信号处理运算十分复杂,经过人类不断的探索,最终确定用通用的可编程 DSP 芯片实现,这就是我们现在熟知的 DSP 芯片。20 世纪 70 年代末 80 年代初,世界上第一片单片可编程 DSP 芯片的诞生第一次将理论研究结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。

近年来,随着半导体技术的进步,处理器芯片的处理能力越来越强大,使得信号处理的研究可以主要放在算法和软件方面,而不再像过去那样需要过多考虑硬件。由于它的出色性能, DSP 芯片已经广泛运用于音频、宽带应用、数字控制、影响与视频、光网络、安全保密、无线通信、航空航天、汽车工业、嵌入式处理、精密仪器等众多的领域,可以说 DSP 芯片已经完全渗入到我们工作、生活的方方面面。处在信息时代的科研人员有必要了解、掌握这一门前沿的基础科学,掌握实现 DSP 算法的 DSP 芯片应用。

为了推进 DSP 芯片的研究、开发、生产与应用,作者综合整理了当今主流 DSP 芯片的系统结构、技术特点,并多方收集与整理了其在各个应用领域的实际素材而编成此书,希望能对读者有所裨益。

全书共分 6 章,从理论、系统特点、硬件结构、软件开发、应用实例及发展趋势等方面进行了阐述,整个编写过程中发挥了集体的力量,体现了团队精神,并参考了国内外有关书籍、文献以及该领域的最新研究成果。

本书从编排上可分为三大部分,首先从基础理论和 DSP 芯片一般特点等方面

对 DSP 芯片技术涉及的一些概念进行了深入的介绍;然后分别对当今世界三大 DSP 芯片制造商 TI、ADI、Motorola 具有代表性的 DSP 芯片系列的结构、特性以及应用领域进行了深入的介绍;最后详细介绍了当前应用最为广泛的 TI C6000 系列芯片和 ADI TigerSHARC、Blackfin 系列芯片,同时详细介绍了 TI 公司最新款芯片 TMS320DM642 芯片。

本书内容较系统、完整,而且实用性强,除了可供从事数字信号处理、电路与系统、多媒体应用等行业的科技人员、管理人员阅读外,也可供相关专业的高年级本科生和研究生作为教材或教学参考书,还可供相关专业的教师和研究人員参考。由于本书涉及的内容较多,加之编者知识面和水平所限,时间又非常紧迫,书中难免出现疏漏和不妥之处,在此,衷心欢迎读者提出宝贵意见,以便及时修正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 数字信号处理及数字信号处理芯片	1
1.1.1 数字信号处理	1
1.1.2 数字信号处理芯片	1
1.2 DSP 系统构成	1
1.3 DSP 系统的特点	2
1.4 DSP 系统的设计流程	2
1.5 DSP 芯片的发展	3
第 2 章 DSP 芯片的特点及分类	5
2.1 DSP 芯片特点	5
2.2 DSP 处理器与通用处理器(GPP)的比较	5
2.3 DSP 芯片的分类	7
2.4 DSP 芯片的选择	8
2.5 DSP 系统的运算量	9
2.6 DSP 芯片的应用	10
第 3 章 各主要 DSP 厂商的 DSP 芯片产品概况	12
3.1 TI 公司	12
3.1.1 C2000 系列芯片	12
3.1.2 C5000 系列芯片	15
3.1.3 C6000 系列芯片	28
3.2 ADI 公司	32
3.2.1 21XX 系列	32
3.2.2 SHARC 系列	33
3.2.3 TigerSHARC 系列	34
3.3 Motorola 公司	35
3.3.1 16b 定点系列	36
3.3.2 24b 定点系列	37
3.3.3 浮点系列	38

第 4 章 TI 公司的芯片技术	39
4.1 概述	39
4.2 C6000 系列芯片	39
4.2.1 硬件组成结构	41
4.2.2 指令系统	87
4.3 TMS320DM642 芯片	97
4.3.1 DM64X 系列技术特点	97
4.3.2 CPU 单元	99
4.3.3 Cache 结构	99
4.3.4 增强 DMA 控制器(EDMA)	102
4.3.5 视频端口	103
4.3.6 以太网口	107
4.3.7 多路音频串口(McASP)	108
4.3.8 外围设备	110
4.3.9 视频应用举例	113
第 5 章 ADI TigerSHARC 芯片技术	123
5.1 概述	123
5.2 技术特点	123
5.3 硬件组成结构	123
5.3.1 总体结构	124
5.3.2 程序控制器	132
5.3.3 I/O 端口	135
5.3.4 片内 SRAM 存储器	139
5.3.5 整数 ALU	141
5.3.6 双运算模块	142
5.3.7 总线	143
5.3.8 总线仲裁	145
5.3.9 调试模块	148
5.4 指令系统	149
第 6 章 Blackfin 系列	207
6.1 概述	207
6.2 硬件结构	213
6.2.1 运算单元	213
6.2.2 DAG	215

6.2.3	存储器	216
6.2.4	总线结构	218
6.2.5	动态功耗管理	221
6.2.6	外围设备	222
6.3	指令系统	237
6.4	音频应用实例	259
6.5	视频使用实例	261

第 1 章 概 述

1.1 数字信号处理及数字信号处理芯片

1.1.1 数字信号处理

数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)是利用计算机或专用处理设备,以数字形式对信号进行采集、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,它是一门涉及并广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代以来,随着计算机、大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)以及微处理器技术的迅猛发展,数字信号处理无论是在理论上还是在工程应用中都是发展最快的学科之一。

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提高。而数字信号处理的实现则是理论和应用之间的桥梁。同时,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。

1.1.2 数字信号处理芯片

DSP 芯片也称数字信号处理器,是一种具有特殊结构的微处理器。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,广泛采用流水线操作,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。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 70 年代末 80 年代初世界上第一片单片可编程 DSP 芯片的诞生,才将理论研究结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。

1.2 DSP 系统构成

如图 1-1 所示为一个典型的 DSP 系统,图中的输入信号可以有各种各样的形式。例如,它可以是麦克风输出的话音信号或是电话线来的已调数据信号,也可以是编码后在数字链路上传输或存储在计算机里的摄像机图像信号等。

输入信号首先进行带限滤波和抽样,然后进行模/数(Analog to Digital)变换,将信号转换成数字比特流。根据奈奎斯特抽样定理,为保证信息不丢失,抽样频率至少必须是输入带限信号最高频率的 2 倍。

DSP 芯片的输入是模/数变换后得到的以抽样形式表示的数字信号,DSP 芯片对输入的数字信号进行某种形式的处理,如进行一系列的乘累加操作(MAC)。数字处理是 DSP 的关键,这与其他系统(如电话交换系统)有很大的不同,在交换系统中,处理器的作用是进行路由

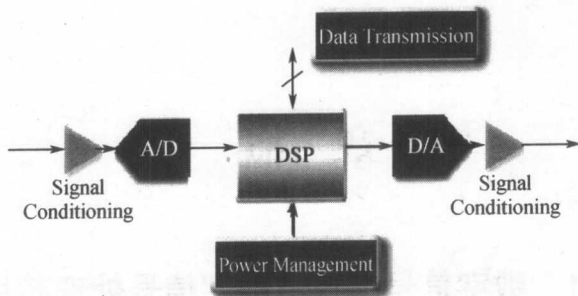


图 1-1 一个典型的 DSP 系统

选择，它并不对输入数据进行修改。因此虽然两者都是实时系统，但两者的实时约束条件却有很大的不同。最后，经过处理后的数字样值再经数/模(Digital to Analog)变换转换为模拟样值，之后再行内插和平滑滤波就可得到连续的模拟波形。

必须指出的是，上面给出的 DSP 系统模型是一个典型模型，但并不是所有的 DSP 系统都必须具有模型中的所有部件。如语音识别系统在输出端并不是连续的波形，而是识别结果，如数字、文字等；有些输入信号本身就是数字信号(如 CD 即 Compact Disk)，因此就不必进行模/数变换了。

1.3 DSP 系统的特点

数字信号处理系统是以数字信号处理为基础的，因此具有数字处理的全部特点。

(1) 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，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要容易得多，这些特点便于系统设备之间的连接和系统功能的扩展。

(2) DSP 系统以数字处理为基础，受环境温度以及噪声的影响较小，可靠性高。同时，模拟系统的性能受元器件参数性能变化比较大，而数字系统基本上不受影响，因此数字系统便于测试、调试和大规模生产。

(3) 系统中的可编程 DSP 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。

当然，数字信号处理系统也存在一定的缺点。例如，对于简单的信号处理任务，数/模与模/数变换模块可能增加系统的复杂度。DSP 系统中的频率可能带来高频干扰和电磁泄漏等问题，而且 DSP 系统消耗的功率也较大。此外，DSP 技术更新的速度快，数学知识要求多，开发和调试工具还不尽完善。

1.4 DSP 系统的设计流程

1. 系统分析

在设计 DSP 系统之前，首先必须根据应用系统的目标确定系统的性能指标、信号处理的要求，通常可用数据流程图、数学运算序列、正式的符号或自然语言来描述。

2. 算法模拟

第二步是根据系统的要求进行高级语言的模拟。一般来说，为了实现系统的最终目标，

需要对输入的信号进行适当的处理,而处理方法的不同会导致不同的系统性能,要得到最佳的系统性能,就必须在这一步确定最佳的处理方法,即数字信号处理的算法(Algorithm),因此这一步也称算法模拟阶段。

3. DSP 系统硬件设计

硬件设计首先要根据系统运算量的大小、对运算精度的要求、系统成本限制以及体积、功耗等要求选择合适的 DSP 芯片,然后设计 DSP 芯片的外围电路及其他电路。

4. DSP 系统软件设计

软件设计和编程主要根据系统要求和所选的 DSP 芯片编写相应的 DSP 汇编程序,若系统运算量不大且有高级语言编译器支持,也可用高级语言(如 C 语言)编程。由于现有的高级语言编译器的效率还比不上手工编写汇编语言的效率,因此在实际应用系统中常常采用高级语言和汇编语言的混合编程方法,即在算法运算量大的地方用手工编写的方法编写汇编语言,而运算量不大的地方则采用高级语言。采用这种方法既可缩短软件开发的周期,提高程序的可读性和可移植性,又能满足系统实时运算的要求。

5. DSP 硬件和软件调试

设计完成后,就需要进行硬件和软件的调试。软件的调试一般借助于 DSP 开发工具,如软件模拟器、DSP 开发系统或仿真器等。调试 DSP 算法时一般采用比较实时结果与模拟结果的方法,如果实时程序和模拟程序的输入相同,则两者的输出应该一致。应用系统的其他软件可以根据实际情况进行调试。硬件调试一般采用硬件仿真器进行调试,如果没有相应的硬件仿真器,且硬件系统不是十分复杂,则也可以借助于一般的工具进行调试。

6. 实际运行

需要说明的是,DSP系统的开发,特别是软件开发,是一个需要反复进行的过程,因为实际上模拟环境不可能做到与实时系统环境完全一致,而且将模拟算法移植到实时系统时必须考虑算法是否能够实时运行的问题。

1.5 DSP 芯片的发展

世界上第一个单片 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司宣布的 S2811,1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920 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芯片。

自 1980 年以来,DSP 芯片得到了突飞猛进的发展,DSP 芯片的应用越来越广泛。从运算速度来看,MAC(一次乘法和一次加法)时间已经从 20 世纪 80 年代初的 400ns(如 TMS32010)降低到 40ns(如 TMS32C40),处理能力提高了 10 倍多。DSP 芯片片内 RAM 增加一个数量级以上。从制造工艺来看,1980 年采用 4 μ m 的 N 沟道 MOS 工艺,而现在则普遍采用亚微米 CMOS 工艺。DSP 芯片的管脚数量从 1980 年的最多 64 个增加到现在的 200 个以上,管脚数量的增加意味着结构灵活性的增加。

此外,DSP 芯片的发展使 DSP 系统的成本、体积、质量和功耗都有很大程度的下降。

① 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。

② 1982 年,Hitachi 公司推出了采用 CMOS 工艺生产的浮点 DSP 芯片。

③ 1983 年,日本的 Fujitsu 公司推出了 MB8764,其指令周期为 120ns,且具有双内部总线,从而处理的吞吐量发生了一个大的飞跃。

④ 1984 年, AT&T 公司推出第一个高性能的浮点 DSP 芯片 DSP32。

被认为世界 DSP 霸主的美国 Texas Instruments 公司从 1982 年推出第一个 DSP 芯片 TMS32010 至今, 已陆续推出定点和浮点运算的 TMS320 系列 DSP 处理器。

TI 公司在 1982 年成功推出其第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品 TMS32011、TMS320C10/C14/C15/C16/C17 等, 之后又相继推出了第二代 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 TMS320C5X/C54X, 第二代 DSP 芯片的改进型 TMS320C2XX, 集多片 DSP 芯片于一体的高性能 DSP 芯片 TMS320C8X, 以及第六代 DSP 芯片 TMS320C62X/C67X、C64X 等。

TI 公司将常用的 DSP 芯片归纳为三大系列, 即:

- ① TMS320C2000 系列(包括 TMS320C2X/C2XX)。
- ② TMS320C5000 系列(包括 TMS320C5X/C54X/C55X)。
- ③ TMS320C6000 系列(包括 TMS320C62X/C67X/C64X)。

如今, TI 公司的一系列 DSP 产品已经成为当今世界上最有影响的 DSP 芯片。TI 公司也成为世界上最大的 DSP 芯片供应商, 其 DSP 市场份额占全世界份额近 50%。

与其他公司相比, Motorola 公司在推出 DSP 芯片方面相对较晚。1986 年, 该公司推出了定点处理器 MC56001; 1990 年推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 MC96002, 此后相继推出了 568XX 系列 16 位(bit, 简称为 b)定点 DSP、563XX 系列 24b 定点 DSP、采用 MCU+DSP 结构的 566XX 系列和采用著名的 StarCore 结构的 DSP MSC 系列。

美国模拟器件公司(Analog Devices, AD)在 DSP 芯片市场上也占有一定的份额, 相继推出了一系列具有自己特点的 DSP 芯片, 主要包括 16b 定点 21XX 系列、32b 浮点 SHARC 系列、32b 浮点 TigerSHARC 和高性能 16b BlackFin 系列。

另外, AT&T、Motolora、NEC、IDT、INMOS、Harris、Samsung、ISSI 和 Macronix 等厂商也在生产各种 DSP 芯片。

值得一提的是, 2003 年 2 月 26 日, 中国首个完全具有自主知识产权的“汉芯一号” DSP 芯片经过了技术鉴定。这是继中国第一个 CPU 芯片“龙芯一号”之后, 国内集成电路领域在芯片核心技术上的又一重大突破, 它将全面打破国外对芯片市场的垄断。

第 2 章 DSP 芯片的特点及分类

2.1 DSP 芯片特点

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. 哈佛结构

哈佛结构的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总线 and 数据总线，从而使数据的吞吐率提高了一倍。由于程序和存储器在两个分开的空间中，因此取指和执行能完全重叠。

2. 支持流水线操作

使取指、译码和执行等操作可以重叠执行。流水线与哈佛结构相关，DSP 芯片广泛采用流水线以减少指令执行的时间，从而增强了处理器的处理能力。处理器可以并行处理 2 条~4 条指令，每条指令处于流水线的不同阶段。

3. 独立的硬件乘法器

乘法指令在单周期内完成，优化卷积、数字滤波、FFT(快速傅里叶变换)、相关、矩阵运算等算法中的大量重复乘法。

4. 循环寻址(Circular Addressing)、位倒序(Bit-Reversed)等特殊指令

这些指令使 FFT、卷积等运算中的寻址、排序及计算速度大大提高。如采用循环寻址实现零开销的循环将大大增进如卷积、相关、矩阵运算、FIR 等算法的实现速度。

5. 独立的 DMA 总线和控制器

有一组或多组独立的 DMA 总线，与 CPU 的程序、数据总线并行工作，在不影响 CPU 工作的条件下，DMA 速度已达 800MB/s 以上。

6. 多处理器接口

使用多个处理器可以很方便地进行并行或串行工作，以提高处理速度。

7. JTAG(Joint Test Action Group)标准测试接口(IEEE 1149 标准接口)

该接口便于对 DSP 作片上的在线仿真和多 DSP 条件下的调试。

2.2 DSP 处理器与通用处理器(GPP)的比较

1. 对密集的乘法运算的支持

GPP 不是设计来做密集乘法任务的，即使是一些现代的 GPP，也要求多个指令周期来做一次乘法。而 DSP 处理器使用专门的硬件来实现单周期乘法。DSP 处理器还增加了累加器寄存器来处理多个乘积的和。累加器寄存器通常比其他寄存器宽，它增加了被称为结果字节的额外字节来避免溢出。

同时，为了充分体现专门的乘法—累加硬件的好处，几乎所有的 DSP 的指令集都包含有显式的 MAC 指令。

2. 存储器结构

GPP 一般使用冯·诺依曼存储器结构。在这种结构中，只有一个存储器空间通过一组总线(一个地址总线和一个数据总线)连接到处理器核。通常，做一次乘法会发生 4 次存储器访问，用掉至少 4 个指令周期。

大多数 DSP 采用了哈佛结构，将存储器空间划分成两个，分别存储程序和数据。它们有两组总线连接到处理器核，允许同时对它们进行访问。这种安排将处理器存储器的带宽加倍，更重要的是同时为处理器核提供数据与指令。在这种布局下，DSP 得以实现单周期的 MAC 指令。

GPP 使用控制逻辑来决定哪些数据和指令字存储在片内的高速缓存里，其程序员并不加以指定(也可能根本不知道)。与此相反，DSP 使用多个片内存储器和多组总线来保证每个指令周期内存储器的多次访问。在使用 DSP 时，程序员要明确地控制哪些数据和指令要存储在片内存储器中。程序员在写程序时必须保证处理器能够有效地使用其双总线。

此外，DSP 处理器几乎都不具备数据高速缓存，这是因为 DSP 的典型数据是数据流。也就是说，DSP 处理器对每个数据样本做计算后就丢弃了，几乎不再重复使用。

3. 零开销循环

如果了解到 DSP 算法的一个共同的特点，即大多数的处理时间都花在执行较小的循环上，也就容易理解为什么大多数 DSP 都有专门的硬件用于零开销循环。所谓零开销循环是指处理器在执行循环时不用花时间去检查循环计数器的值、条件转移到循环的顶部、将循环计数器减 1。

与此相反，GPP 的循环使用软件来实现。某些高性能的 GPP 使用转移预报硬件，几乎达到与硬件支持的零开销循环同样的效果。

4. 定点计算

大多数 DSP 使用定点计算，而不使用浮点。虽然 DSP 的应用必须十分注意数字的精确，用浮点来做应该容易得多，但是对 DSP 来说，价格也是非常重要的。定点机器比相应的浮点机器要便宜(而且更快)。为了不使用浮点机器而又保证数字的准确，DSP 处理器在指令集和硬件方面都支持饱和计算、舍入和移位。

5. 专门的寻址方式

DSP 处理器往往都支持专门的寻址模式，它们对通常的信号处理操作和算法是很有用的。例如，模块(循环)寻址(对实现数字滤波器的延时功能很有用)、位倒序寻址(对 FFT 很有用)。这些非常专门的寻址模式在 GPP 中是不常使用的，只有用软件来实现。

6. 执行时间的预测

大多数的 DSP 应用(如蜂窝电话和调制解调器)都是严格的实时应用，所有的处理必须在指定的时间内完成。这就要求程序员准确地确定每个样本需要多少处理时间，或者至少要知道在最坏的情况下需要多少时间。

如果打算用低成本的 GPP 去完成实时信号处理的任任务，则执行时间的预测就会比较容易，这是因为低成本 GPP 具有相对直接的结构。然而，大多数实时 DSP 应用所要求的处理能力是低成本 GPP 所不能提供的。

DSP 对高性能 GPP 的优势在于，即便是使用了高速缓存的 DSP，将哪些指令放进去

也是由程序员(而不是处理器)来决定的,因此很容易判断指令是从高速缓存中读取还是从存储器中读取。DSP 一般不使用动态特性,如转移预测和推理执行等。因此,根据一段给定的代码来预测所要求的执行时间是简单易行的,这使程序员可以很容易地确定芯片的性能限制。

7. 定点 DSP 指令集

定点 DSP 指令集是按两个目标来设计的。

① 使处理器能够在每个指令周期内完成多个操作,从而提高每个指令周期的计算效率。

② 将存储 DSP 程序的存储器空间减到最小(由于存储器对整个系统的成本影响甚大,该问题在对成本敏感的 DSP 应用中尤为重要)。

为了实现这些目标,DSP 处理器的指令集通常都允许程序员在一个指令内说明若干个并行的操作。例如,在一条指令中包含了 MAC 操作,即同时的一个或两个数据移动。在典型的例子里,一条指令就包含了计算 FIR 滤波器的一节所需要的所有操作。这种高效率付出的代价是:其指令集既不直观,也不容易使用(与 GPP 的指令集相比)。

GPP 的程序通常并不在意处理器的指令集是否容易使用,因为它们一般使用 C 或 C++ 等高级语言。而对于 DSP 的程序员来说,不幸的是主要的 DSP 应用程序都是用汇编语言写的(至少部分是汇编语言优化的)。这里有两个理由:首先,大多数广泛使用的高级语言(例如 C 语言)并不适合于描述典型的 DSP 算法;其次,DSP 结构的复杂性,如多存储器空间、多总线、不规则的指令集、高度专门化的硬件等,使得程序员难于为其编写高效率的编译器。

即使用编译器将 C 源代码编译成为 DSP 的汇编代码,优化的任务仍然很重。典型的 DSP 应用都具有大量计算的要求,并有严格的开销限制,使得程序的优化必不可少(至少是对程序的最关键部分)。因此,考虑选用 DSP 的一个关键因素是,是否存在足够的能够较好地适应 DSP 处理器指令集的程序员。

8. 开发工具的要求

因为 DSP 应用要求高度优化的代码,大多数 DSP 厂商都提供一些开发工具,以帮助程序员完成其优化工作。例如,大多数厂商都提供处理器的仿真工具,以准确地仿真每个指令周期内处理器的活动。无论对于确保实时操作还是代码的优化,这些都是很有用的工具。

GPP 厂商通常并不提供这样的工具,主要是因为 GPP 程序员通常并不需要详细了解这一层的信息。GPP 缺乏精确到指令周期的仿真工具,是 DSP 应用开发者所面临的大问题。由于几乎不可能预测高性能 GPP 对于给定任务所需要的周期数,从而无法说明如何去改善代码的性能。

2.3 DSP 芯片的分类

1. 定点芯片与浮点芯片

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 DSP 芯片称为浮点 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)。不同的浮点 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,有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式。

2. 通用芯片与专用芯片

DSP 芯片按照其用途来分, 可分为通用型 DSP 芯片和专用型的 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。专用型 DSP 芯片为特定的 DSP 运算而设计, 更适合特殊的运算, 如数字滤波、卷积和 FFT 等。

3. 静态芯片

这是根据 DSP 芯片的工作时钟和指令类型来分类的。如果 DSP 芯片在某时钟频率范围内的任何频率上都能正常工作, 且除计算速度有变化外, 没有性能的下降, 则称这类 DSP 芯片为静态 DSP 芯片。

4. 一致性芯片

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管脚结构相互兼容, 则称这类 DSP 芯片为一致性 DSP 芯片。

2.4 DSP 芯片的选择

在设计 DSP 应用系统中, 选择 DSP 芯片是非常重要的一个环节。只有选定了 DSP 芯片才能进一步设计外围电路及系统的其他电路。总的来说, DSP 芯片的选择应根据实际的应用系统需要而确定。

市场上较多的是 TI 公司的 TMS320 系列, 定点运算的 DSP 芯片从 TMS320C10 到 TMS320C53, 单指令周期从 200ns 到 35ns; 浮点运算的 DSP 芯片从 TMS320C30 到 TMS320C82, 单指令周期从 50ns 到 35ns。

AD 公司的 ADSP 系列, 定点运算的 DSP 芯片从 ADSP2101 到 ADSP2181, 单指令周期从 80ns 到 30ns; 浮点运算的 DSP 芯片从 ADSP21020 到 ADSP21062, 单指令周期从 50ns 到 25ns, 都有不同的产品。

在实际应用中不仅要考虑芯片的速度, 还要考虑其他因素, 如总线结构, 直接存储器存取(DMA), I/O 总线结构是否便于连接, 片内、外存储器容量大小, 可编程能力、运算精度、功耗、价格、封装和体积大小, 有无开发工具等因素。用户可根据自己的需要来选择这些重要因素。

定点运算的 DSP 芯片的最主要优点是功耗低、价格便宜、体积小但运算精度不太高, 一般是 16b, 片内也只有 32b。由于它突出的优点, 在专用方面, 如数字通信、侦察干扰、家电及便携式小仪表等方面发展得很快。而浮点运算的 DSP 芯片功耗大、价格高、体积也稍大, 但运算精度高, 一般是 32b, 片内可达到 40b。

从实际使用中, TI 公司和 AD 公司的产品比较适合自行研制产品的需要, 电路可根据需要设计, 外围电路芯片可根据需要选择, 且芯片市场上较多, 但编程相对复杂, 电路设计搭配也较复杂。

其他公司的产品相对专用性较强, 大多是为其产品配套设计, 价格较高, 外围电路芯片专用性较强, DSP 芯片及配套芯片市场上较少, 但其电路设计及程序设计较简单、效果也较好, 设计产品周期较短。

另外, 大多数公司采用 C 语言辅助开发软件, 在实际使用中, 用 C 语言编的开发程序都对芯片的运行速度有较大影响, 使其处理速度变慢, 不能正常发挥芯片的速度。在选择芯片时尽量选择较新的产品, 以防止因芯片的停产而造成不必要的损失。工程技术人员可根据需

要选择不同的芯片。

一般来说,选择 DSP 芯片时应考虑如下因素。

(1) DSP 芯片的运算速度。运算速度是 DSP 芯片的一个最重要的性能指标,也是选择 DSP 芯片时所需要考虑的一个主要因素。DSP 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。即执行一条指令所需要的时间,通常以纳秒(ns)为单位。
- ② MAC 时间。即一次乘法加上一次加法的时间。
- ③ FFT 执行时间。即运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。
- ④ MIPS。即每秒执行百万条指令。
- ⑤ MOPS。即每秒执行百万次操作。
- ⑥ MFLOPS。即每秒执行百万次浮点操作。
- ⑦ BOPS。即每秒执行十亿次操作。

(2) DSP 芯片的价格。根据实际应用情况确定一个价格适中的 DSP 芯片。DSP 芯片的价格也是选择 DSP 芯片所需考虑的一个重要因素。如果采用价格昂贵的 DSP 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。因此需根据实际系统的应用情况确定一个价格适中的 DSP 芯片。

(3) DSP 芯片的硬件资源。选择 DSP 芯片时必须对 DSP 芯片的硬件资源进行充分考虑,如存储器大小、外围设备接口的定义以及种类等。用户可结合设计的需要进行合适的选择。

(4) DSP 芯片的运算精度。选择合适的字长,既要求工程师不能盲目追求高精度带来设计的冗杂,又要求设计者通过合适的算法设计和系统分析,在合适的字长条件下提高运算精度。

(5) DSP 芯片的开发工具。在激烈的市场竞争下,高效的开发工具为 DSP 工程师提供了快速、便捷、始于开发调试的研发环境。所以,在选择 DSP 芯片的同时必须注意其开发工具的支持情况,包括软件和硬件的开发工具。

(6) DSP 芯片的功耗。目前许多设备都要求移动工作,即对功耗提出了更高的要求。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。

(7) 其他的因素,如封装的形式、质量标准、生命周期等。

2.5 DSP 系统的运算量

DSP 应用系统的运算量是确定选用处理能力多大的 DSP 芯片的基础。通常,运算量的确定按照以下几种方式确定。

1. 按样点处理

按样点处理就是 DSP 算法对每一个输入样点循环一次。例如,一个采用 LMS 算法的 256 抽头的自适应 FIR 滤波器,假定每个抽头的计算需要 3 个 MAC 周期,则 256 抽头计算需要 $256 \times 3 = 768$ 个 MAC 周期。如果采样频率为 8kHz,即样点之间的间隔为 $125\mu\text{s}$ 的时间,DSP 芯片的 MAC 周期为 $200\mu\text{s}$,则 768 个周期需要 $153.6\mu\text{s}$ 的时间,显然无法实时处理,需要选用速度更快的芯片。

2. 按帧处理

有些数字信号处理算法不是每个输入样点循环一次,而是每隔一定的时间间隔(通常称为

帧)循环一次。所以选择 DSP 芯片应该比较一帧内 DSP 芯片的处理能力和 DSP 算法的运算量。假设 DSP 芯片的指令周期为 $P(\text{ns})$ ，一帧的时间为 $\Delta\tau(\text{ns})$ ，则该 DSP 芯片在一帧内所提供的最大运算量为 $\Delta\tau/P$ 条指令。

2.6 DSP 芯片的应用

DSP 的发展已有超过 25 年的历史了，DSP 芯片已达到相当高的水平，现在国际上已形成包括 DSP 芯片设计、制造，DSP 开发工具研制生产、应用和咨询共同组成的产业链。

全球有 5 万多客户选用 TI 公司定制的软件开发环境，这使得 TI 公司能非常容易地将 DSP 结合到他们的系统中去。围绕 DSP 周边的业务就由许许多多称为第三方(Third Party)的小公司承担，TI 公司的第三方有 650 多家公司，他们生产数千种基于 DSP 的产品。

DSP 芯片的应用已经越来越广泛，图 2-1 给出了 DSP 芯片在 IP 电话中的应用，从图中可以看到 DSP 芯片和数/模转换模块、模/数转换模块、以太网接口模块等进行数据交互。因此可以说，DSP 芯片是 IP 电话应用中的关键模块。

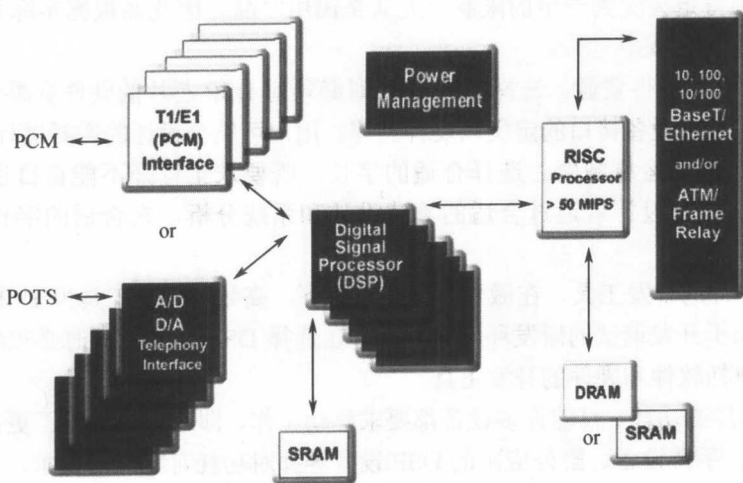


图 2-1 DSP 芯片在 IP 电话中的应用

中国是发展中的大国，在 DSP 应用方面一直保持着与国际先进技术同步的态势。从 DSP 芯片面世开始，中国就有单位应用、销售 DSP 芯片。中国社会数字化、信息化的进展和中国经济的持续稳定增长刺激了电子信息产业和市场的快速发展，推动了 DSP 的广泛应用。

2002 年中国市场上的移动电话、数码相机等 DSP 产品的主要应用领域走势良好，需求旺盛，成为推动中国 DSP 市场持续增长的主要因素。中国新兴的数字消费类电子产品进入增长活跃期，市场呈现高速增长态势，用户认知率和普及率大幅度提高，而上述市场的高速增长带动了 DSP 市场的高速发展。此外，计算机、通信和消费类电子产品的数字化融合也为 DSP 提供了进一步的发展机会。

目前，在 VoIP、Internet Audio、DSL、Cable Modem、3G、数码相机和马达控制等需要实时处理大量数据应用中都可见到 DSP 的身影。目前，中国 DSP 市场的主要应用集中在移动电话领域，然而随着中国数字消费类产品需求的大幅增长，及 DSP 对数字信号高速运算与同步处理能力的提高，DSP 的应用领域将逐渐从移动电话领域扩展到新型数字消费类产品领域，