

DSP应用丛书

TMS320C2000系列 DSP原理及实用技术

何苏勤 王忠勇 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

DSP 应用丛书

TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术

何苏勤 王忠勇 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

DSP 芯片是一种新型的、结构特殊的高速高位单片微计算机,已成为现代信息处理技术的重要器件。本书系统阐述了数字信号处理器的性能、种类及其应用,详细介绍了 TMS320C2000 系列 DSP 芯片的基本结构特征、片内外设、汇编语言、程序设计、开发环境及其使用方法、常用数字信号处理算法的 DSP 实现等。

本书内容新颖,系统性强,例题丰富,具有较强的实用性。全书将 DSP 芯片原理、结构和系统设计、算法融为一体,既方便读者掌握 DSP 的基础知识,也有利于读者进行 DSP 系统的项目开发。

本书可供从事数字信号处理和 DSP 芯片开发的科研及工程技术人员阅读,也可以作为高等学校信息、通信、计算机、自动控制等专业高年级学生和研究生的教学用书。

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

TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术/何苏勤,王忠勇编著. —北京:电子工业出版社,2003.9

(DSP 应用丛书)

ISBN 7-5053-9116-X

I. T… II. ①何… ②王… III. ①数字信号—信号处理—数字通信系统, TMS320C2000 ②数字信号—微处理器 IV. ① TN911.72 ② TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 077857 号

责任编辑:沈艳波 许 楷

印 刷:北京民族印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

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:787×1092 1/16 印张:26.75 字数:682 千字

版 次:2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:36.00 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

我国自 20 世纪 80 年代引进数字信号处理器 (DSP) 以来, 数字信号处理器已在各个领域得到了广泛的应用, DSP 理论和技术已成为 IT 领域的核心技术。由于 DSP 芯片既具有高速数字信号处理功能, 又具有实时性强、低功耗、高集成度等嵌入式微计算机的特点, 因此在通信、航空航天、工业控制、医疗、国防、汽车等应用领域得到了很好的应用。为了使广大工程技术人员更好地进行 DSP 的学习与开发, 我们在近年从事 DSP 的教学与开发的基础上编写了此书。

在 DSP 领域, 美国德州仪器 (Texas Instruments) 公司的产品具有较强的竞争力, 而且在国内有较多的熟悉该芯片的用户群, 相应的软件和技术支持也较多, 因此我们选定 TMS320 DSP 这个代表系列, 同时考虑到 TMS320C2000 系列具有很好的性能价格比, 以及该系列的新成员 TMS320LF240X 芯片所具有的低成本、低功耗、高性能和高外设集成度、高 A/D 转换速度的特点, 在工业控制系统中有很好的应用前景; 该类芯片所提供的 CAN 总线通信外设模块为工业控制系统中高可靠性的数据传输提供了一种新的解决方案。因此本书选用了 TMS320C2000 系列, 阐述了其相关原理和应用。

本书共分为 10 章, 第 1 章介绍了数字信号处理器 DSP 的特点、结构、应用开发前景以及目前广泛应用的 DSP 器件的种类和性能; 第 2 章描述了 TMS320C2000 系列 DSP 芯片的内部结构及常用芯片的外部引脚; 第 3 章主要讨论了 TMS320C2000 系列芯片控制程序流程所涉及的过程和特性; 第 4 章介绍了 TMS320C2000 系列芯片的存储器配置、器件与外部存储器及外部输入/输出设备接口的方法, 并对几种 C2000 器件的存储器地址分配进行了描述; 第 5 章介绍了 TMS320C2000 汇编指令的寻址方式和指令系统, 并对每条指令给出详细的解释; 第 6 章对汇编语言源语句格式、伪指令、宏指令, 通用目标文件格式、汇编语言程序设计进行详细讨论, 给出了几个实例; 第 7 章则对 TMS320C20X 和 C240X 的片内外设的种类、工作原理及使用方法进行了详细的描述; 第 8 章介绍了 DSP 芯片的开发环境, 着重描述了 DSP 芯片的开发平台 CC 软件; 第 9 章通过一些数字信号处理的算法实例说明了 DSP 定点运算编程方法; 第 10 章则概略地介绍了利用 C 语言开发 DSP 芯片以及混合编程的方法。书中提供的所有程序均调试通过。

本书可作为普通高校通信、信息、电子、自动化、电气、计算机等有关专业高年级本科生和研究生的教材, 还可作为有关教师和科研人员参考用书。

本书由何苏勤主编, 并编写了第 1、3、5、6、7 章, 第 8、9、10 章由王忠勇编写, 第 2、4 章由宋豫全编写, 清华大学应启珩教授对全书进行了认真、详细的审阅, 提出了许多极为宝

贵的意见。在本书的编写过程中研究生刘琴、陶英、顾锦华、李志军、毕士强对书中的程序进行了验证调试。陶英、陈恩庆、刘琴、张颜芬承担了书稿的录入和整理工作，并绘制了部分插图。本书得到了北京化工大学化新教材建设基金资助和美国德州仪器公司大学计划项目的支持。在此一并向他们表示衷心的感谢。

本书在编写的过程中参考了许多优秀的 DSP 技术书籍，在此向这些书籍的作者表示真诚的谢意。

由于 DSP 芯片发展迅速及编者水平和掌握的资料有限，书中不当和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编著者

2003 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 DSP 及 DSP 的特点	(1)
1.2 DSP 芯片的发展历程	(2)
1.3 DSP 芯片的性能指标	(3)
1.4 实时 DSP 系统的构成	(4)
1.5 DSP 芯片的类别和使用选择	(5)
1.6 DSP 的应用和开发前景	(7)
1.7 TMS320C2000 概述	(9)
第 2 章 内部结构及外部引脚	(12)
2.1 中央处理单元	(13)
2.1.1 输入比例部分	(13)
2.1.2 乘法部分	(13)
2.1.3 中央算术逻辑部分	(14)
2.1.4 辅助寄存器算术单元 (ARAU)	(14)
2.1.5 状态寄存器 ST0 和 ST1	(15)
2.2 系统配置寄存器	(16)
2.3 总线结构	(19)
2.4 引脚和信号说明	(20)
2.4.1 TMS320C203/F206 引脚和信号说明	(20)
2.4.2 TMS320F243 引脚和信号说明	(23)
2.4.3 TMS320LF240X 引脚和信号说明	(28)
第 3 章 程序控制和中断管理	(36)
3.1 程序地址的产生	(36)
3.1.1 程序计数器 (PC)	(37)
3.1.2 堆栈	(38)
3.1.3 微堆栈 (MSTACK)	(39)
3.1.4 流水线操作	(39)
3.2 转移、调用和返回	(39)
3.2.1 无条件指令	(40)
3.2.2 有条件指令	(40)
3.3 重复指令	(41)
3.4 中断	(42)
3.4.1 中断矢量表	(42)
3.4.2 TMS320C20X 器件的可屏蔽中断	(44)
3.4.3 TMS320LF/LC240X 器件的可屏蔽中断	(48)

3.4.4	非屏蔽中断	(56)
3.4.5	中断服务程序 (ISR)	(57)
3.4.6	中断等待时间	(58)
3.5	复位操作	(59)
3.6	低功耗模式	(60)
3.6.1	进入低功耗模式	(60)
3.6.2	结束低功耗模式	(61)
第 4 章	存储器与 I/O 空间	(63)
4.1	存储器的类型	(63)
4.2	程序存储器	(64)
4.3	数据存储器	(65)
4.3.1	数据存储器第 0 页的地址映射	(65)
4.3.2	TMS320C2000 器件与外部数据存储器接口	(66)
4.3.3	局部数据存储器 and 全局数据存储器	(66)
4.3.4	外部全局数据存储器接口	(67)
4.4	引导加载程序	(68)
4.4.1	EPROM 与处理器的连接	(68)
4.4.2	EPROM 编程	(69)
4.4.3	引导加载程序清单	(70)
4.5	I/O 空间	(72)
4.6	TMS320C20X 使用 HOLD 操作直接访问存储器	(72)
4.7	TMS320C2000 器件的存储器配置	(76)
4.7.1	TMS320C203 的存储器配置	(76)
4.7.2	TMS320C204 的存储器配置	(77)
4.7.3	TMS320F206 的存储器配置	(79)
4.7.4	TMS320LF2407 的存储器配置	(80)
4.7.5	TMS320LF2406 的存储器配置	(81)
4.7.6	TMS320LF2402 的存储器配置	(81)
4.7.7	TMS320LF240X 片内外设的存储器映射	(82)
第 5 章	寻址方式和汇编指令	(83)
5.1	寻址方式	(83)
5.1.1	立即寻址方式	(83)
5.1.2	直接寻址方式	(84)
5.1.3	间接寻址方式	(86)
5.2	汇编指令	(87)
5.2.1	指令集概述	(88)
5.2.2	指令句法描述	(93)
5.2.3	指令集	(94)
第 6 章	汇编语言	(145)
6.1	汇编语言格式	(145)

6.1.1	常数、字符串和符号	(146)
6.1.2	表达式与运算符	(147)
6.1.3	源列表文件	(148)
6.2	伪指令	(150)
6.3	宏指令	(168)
6.4	通用目标文件格式	(169)
6.4.1	段	(169)
6.4.2	段程序计数器	(169)
6.4.3	连接器命令文件和连接器伪指令	(169)
6.5	程序举例	(178)
6.5.1	TMS320C20X 程序举例	(178)
6.5.2	TMS320C240X 程序举例	(183)
第 7 章	TMS320C2000 片内外设	(195)
7.1	TMS320C20X 片内外设	(195)
7.1.1	时钟发生器	(195)
7.1.2	定时器	(197)
7.1.3	等待状态发生器 WSGR	(200)
7.1.4	通用 I/O 引脚	(201)
7.1.5	同步串行口 SSP	(202)
7.1.6	异步串行口 ASP	(211)
7.2	TMS320LF/LC240XA 片内外设模块	(218)
7.2.1	看门狗 (WD) 定时器模块	(218)
7.2.2	数字输入/输出 (I/O) 模块	(221)
7.2.3	事件管理器 (EV) 模块	(227)
7.2.4	模数转换器 (ADC) 模块	(258)
7.2.5	串行通信接口 (SCI) 模块	(273)
7.2.6	串行外设接口 (SPI) 模块	(284)
7.2.7	CAN 控制器模块	(293)
第 8 章	DSP 芯片的开发环境	(316)
8.1	开发流程和开发工具	(316)
8.2	代码生成工具	(317)
8.2.1	C 编译器	(317)
8.2.2	汇编器	(317)
8.2.3	链接器	(317)
8.2.4	文档管理器	(318)
8.2.5	交叉引用列表器	(318)
8.2.6	代码格式转换器	(318)
8.2.7	绝对列表器	(318)
8.2.8	应用举例	(319)
8.3	代码调试工具	(321)

8.3.1	C/汇编源码调试器	(321)
8.3.2	初学者工具 DSK	(322)
8.3.3	软件模拟器	(322)
8.3.4	评价模块 EVM	(322)
8.3.5	软件开发系统 (SWDS)	(323)
8.3.6	硬件仿真器 XDS	(323)
8.4	XDS510 仿真器的应用	(323)
8.4.1	仿真器连接器	(323)
8.4.2	仿真时序	(325)
8.4.3	仿真器与目标系统的连接	(326)
8.4.4	仿真器的连接参数设置	(328)
8.5	软件开发平台 Code Composer 及其应用	(329)
8.5.1	Code Compose 的安装	(329)
8.5.2	CC 软件的设置	(329)
8.5.3	文件管理功能 (File)	(331)
8.5.4	编辑功能 (Edit)	(333)
8.5.5	视图功能 (View)	(336)
8.5.6	工程管理 (Project)	(343)
8.5.7	调试功能 (Debug)	(345)
8.5.8	代码性能评估 (Profiler)	(350)
8.5.9	选项 (Option)	(352)
8.5.10	GEL	(354)
8.5.11	工具 (Tools)	(355)
8.5.12	窗口 (Windows)	(355)
8.5.13	CC 的应用	(355)
第 9 章	软件编程实例	(357)
9.1	定点运算方法	(357)
9.2	无限冲激响应 IIR 数字滤波器	(361)
9.2.1	基本原理	(361)
9.2.2	滤波器的设计方法	(363)
9.2.3	程序实现	(364)
9.3	有限冲激响应 FIR 数字滤波器	(367)
9.3.1	基本原理	(367)
9.3.2	设计方法	(368)
9.3.3	程序实现	(369)
9.4	自适应滤波器	(375)
9.4.1	基本原理	(375)
9.4.2	程序实现	(378)
9.5	快速傅里叶变换	(384)
9.5.1	基本原理	(384)

9.5.2 程序实现.....	(388)
9.6 功率谱估计.....	(398)
9.6.1 基本原理.....	(398)
9.6.2 程序实现.....	(399)
第 10 章 利用 C 语言开发 DSP 芯片及混合编程.....	(405)
10.1 优化 ANSI C 编译器	(405)
10.2 TMS320C2000 的 C 语言开发	(406)
10.2.1 存储器模式	(406)
10.2.2 寄存器规则	(407)
10.2.3 函数调用规则	(408)
10.2.4 中断函数	(409)
10.2.5 C 语言程序开发举例	(409)
10.3 C 语言和汇编语言的混合编程方法	(410)
10.3.1 独立编写 C 程序和汇编程序	(411)
10.3.2 在 C 程序中直接嵌入汇编语句	(413)
10.3.3 修改编译器的输出	(413)
10.3.4 混合编程举例	(414)
参考文献.....	(416)

第1章 绪 论

本章主要介绍数字信号处理器（DSP）及其特点，并对 DSP 的结构和采用的先进技术进行了讨论。同时还介绍了 DSP 的发展历程和应用开发前景，以及目前广泛应用的 DSP 器件的种类和性能。

1.1 DSP 及 DSP 的特点

数字信号处理（Digital Signal Processing）是一门以众多学科为理论基础而又广泛应用于许多领域的新兴学科。数字信号处理器（Digital Signal Processor）是微电子学、数字信号处理、计算机技术这 3 门学科综合研究的成果。两者的简称都是 DSP。

自然界中的模拟信号（如声音、图像）通过采样成为一组用数字表示的序列即数字信号。数字信号处理就是对这样的数字信号进行分析、处理，它侧重于理论分析、算法确定及软件实现，如快速傅里叶变换（FFT）、卷积、数字滤波等。要实现这些算法，特别是要实时地完成某种算法，就需要有特殊的硬件支持，这种硬件支持的最佳方案之一就是数字信号处理器。数字信号处理技术（简称 DSP 技术）能够得到广泛的普及和应用，在很大程度上得益于数字信号处理器性能的提高和价格的下降。

在数字信号处理中需要频繁地进行大量数据的乘法和加法运算，以前是利用大型计算机进行卷积、相关、滤波及 FFT 变换等算法的研究和处理，实现系统的模拟和仿真。后来使用了微型计算机，但它的体积仍然比较大，成本也比较高，特别是不易嵌入到产品中。而通用的微处理器单片机因适用的目的不同，在运算速度上难以适应信号实时处理的要求。所以在 20 世纪 70 年代末，科技人员开发出了这种基于超大规模集成电路技术和计算机技术的数字信号处理器——DSP 芯片。

DSP 芯片实际上就是一种单片机，是集成高速乘法器，具有多组内部总线，能够进行快速乘法和加法运算，适用于高速数字信号处理的高速、高位单片计算机，这种器件常常被称为单片数字信号处理器。它具有体积小、功耗小、使用方便、实时处理迅速、处理数据量大、处理精度高、性能价格比高等优点。

DSP 之所以有上述优点，是因为 DSP 内部采用了以下 5 种技术。

1. 采用哈佛（Harvard）结构体系或改进哈佛结构体系

DSP 芯片采用程序总线、数据总线分别独立并具有多条总线的哈佛结构。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，用独立的程序总线、数据总线或多条总线分别进行访问。这种内部总线并行技术，即相互独立的总线允许在一个机器指令周期内同时进行程序读出（来自程序存储器）和数据存取（来自数据存储器）而互不干扰。

改进哈佛结构的程序存储器和数据存储器之间可以进行数据的传送，从而更有效地提高效率。

2. 采用流水线技术

计算机在执行一条指令时，总要经过取指令、译码、访问操作数、执行等几个步骤，需

要若干个机器周期才能完成。DSP 的流水线结构是指它的这几个阶段在执行过程中是重叠的：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；……即在任意给定的周期内，可能有 1~4 条不同的指令是激活的，每一条指令都处于不同的阶段。也就是说在执行本条指令时，下面的 3 条指令已依次完成了取操作数、译码、取指令的操作。尽管每一条指令的执行时间仍然是几个机器周期，但由于指令的流水作业，使得每条指令基本上都是单周期指令。衡量 DSP 的速度也经常以单周期指令时间为标准，其倒数就是 MIPS（兆条指令/秒）。

3. 硬件乘法器

在 DSP 中备有硬件连线逻辑的高速“与或”运算器（乘法器和累加器），取两个操作数到乘法器中进行乘法运算，并将乘积加到累加器中，这些操作都可以在单个周期内完成。

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、FFT、相关计算、矩阵运算等算法中，都有大量的类似于 $\sum A(k)B(n-k)$ 的运算。DSP 中设置的硬件乘法器和 MAC（乘法并累加）一类的指令，可以使这些运算的速度大大提高，而硬件乘法器则是 DSP 实现快速运算的重要保障。

4. 多处理单元

DSP 内部一般都包括多个处理单元，如硬件乘法器（MUL）、累加器（ACC）、算术逻辑单元（ALU）、辅助算术单元（ARAU）。同时在 DSP 内部还综合地集成有适用于高速信号处理的许多功能，包括因频繁使用而部分硬件化的特殊功能（如数字信号处理算法特有的循环寻址功能，溢出时仍可继续运算的饱和处理、纠错功能等）、单独的 DMA 总线和 DMA 控制器、大容量存储器、模/数与数/模转换器、高速串并行端口等。它们都可以在单周期内执行完各自的任務。例如：当完成一个乘法和累加的同时，辅助算术单元已经完成了下一个地址的寻址工作，为下一次的运算作好了充分的准备，因此 DSP 可以完成连续的乘加运算，而每一次的运算都是单周期的。这些都为数据的采集、高速度的处理以及实时控制提供了完备的硬件基础。

5. 特殊的 DSP 指令

在 DSP 的指令系统中，有许多指令是多功能指令，即一条指令可以完成几种不同的操作，或者说一条指令具有几条指令的功能。如 TMS320C2000 中的 MACD 指令，它在一个指令周期内完成乘法、累加和数据移动 3 项功能，相当于执行了 LT、DMOV、MPY 和 APAC 4 条指令（LT 和 MPY 完成两个存储器内容相乘的功能）。再如重复指令 RPT，可以使它后面的那条指令执行 1~65 536 次。

总之，DSP 是伴随着数字信号处理技术的发展，为适应数字信号处理技术中所要求的快速实时处理、处理数据量大、处理精度高等优点而开发的一种专用单片机。

1.2 DSP 芯片的发展历程

自 1979 年 Intel 公司开发的 2920 诞生以来，数字信号处理器（DSP）的发展历程概括地划分为 4 代。

第一代的 DSP 芯片包括：1979 年 Intel 公司开发的 2920 和 AMI 公司的 S28H，1980 年 NEC 公司开发的 μ pd7720 和 Bell 研究所开发的 DSP20，1982 年日立公司开发的 61810，Texas Instruments（TI）公司开发的 TMS32010 等。这一代产品的特点是采用了哈佛结构，设置了硬

件乘法器。

第二代的 DSP 芯片有 1985 年 TI 公司开发的 TMS320C20, 1986 年 NEC 公司开发的 μ pd77230, AD 公司开发的 ADSP2100, MOTOROLA 公司开发的 DSP5600 等。第二代 DSP 芯片与第一代相比, 在功能、速度及内存容量方面都有了很大的突破, 并且还强化和完善了指令功能及寻址方式。

第三代 DSP 芯片是 1987 年 TI 公司开发的 TMS320C30 和 1991 年开发的 TMS320C40, 以及 MOTOROLA 公司开发的 DSP96002, AD 公司开发的 ADSP21000 系列等, 这些芯片都是在第一、二代的基础上, 为满足高速实时信号处理技术的需求而开发的 32 位浮点数信号处理器。其特点是高速、高性能、高内存, 能进行 32 位浮点运算, 并且能使用高级语言。

第四代则为近几年开发的 DSP 芯片, 主要是 TI 公司开发的 TMS320C2XX/C5X/C54X, TMS320C62XX/C67XX/C8X 等; AD 公司开发的 ADSP210XX/211XX 等; GEC PLESSY 半导体公司开发的 PDSP16256 专用 FIR 滤波器等。第四代的 DSP 芯片在第一、二、三代芯片的基础上又增加了以下几种功能。

(1) 多处理器并行工作: 如 TMS320C82 一个芯片集成了 2 枚并行处理的 DSP 芯片的 CPU, C84 则集成了 4 枚。

(2) 多处理器系统: 如 TMS320C4X 设置 6 个 8bit 的通信口, 可以作级联, 也可以作并行连接。

上述两个功能用于对实时性要求很高的场合。因为许多算法如数字滤波、FFT、矩阵运算等都包含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。所以用多处理的系统可以解决此问题。

(3) 在指令系统中设置了“循环寻址”和“位倒序”指令及其他特殊指令: 这些指令使得在作 FFT、卷积等运算时寻址、排序及计算的速度大大提高(单片 DSP 作 1024 点复数 FFT 所需时间已降到微秒级)。

(4) 设置了单独的 DMA 总线及其控制器以提高数据传输能力: 在不考虑片外存储器处理速度的情况下, DSP 作并行数字传输速度可以达到每秒数百兆字节。

1.3 DSP 芯片的性能指标

由于各个 DSP 厂商的 DSP 结构和数据传输能力差别较大, 而且数据传输能力也相差很大, 因此 DSP 的性能不能像 PC 那样可以用 CPU 的时钟频率和型号来表征, 而必须用可量化的性能指标来衡量。

DSP 的综合性能指标除了与芯片的处理能力直接有关外, 还与 DSP 的片内、片外数据传输能力有关。

DSP 的数据处理能力通常用 DSP 的处理速度来衡量, 数据传输能力用内部总线和外部总线的配置、总线或 I/O 口的数据吞吐率来衡量。

以下是衡量 DSP 处理性能的一些常用指标。

● 指令周期 执行一条指令所需的时间

指令周期以 ns (纳秒) 为单位。因为大多数 DSP 的指令是单周期指令, 所以 DSP 的指令周期实际上也是时钟周期。例如主频为 40MHz 的 TMS320C2000 芯片的指令周期为 $1/40\text{MHz}=20\text{ns}$ 。TMS320C549 在主频为 80MHz 时, 其指令周期为 12.5ns。

- **MIPS** (Million Instruction Per Second) 兆条指令/秒

一般的 DSP 为 20~100MIPS, 使用超长指令字的 TMS320C6XXX (如 C6202), 处理能力为 2000MIPS (每秒执行 20 亿条指令); 300MHz 时钟的 TMS320C6203 可达 2400MIPS。

- **MOPS** (Million Operations Per Second) 兆次操作数/秒

这里的操作, 除了包括 CPU 的操作外, 还包括地址计算、DMA 访问、数据传输、I/O 操作等。MOPS 可以对 DSP 的综合性能进行描述, MOPS 愈高意味着“积、和”运算能力愈强。如 200MHz 时钟的 TMS320C6201 可达 2400MOPS。

- **MFLOPS** (Million Floating Point Operations Per Second) 兆次浮点操作/秒

MFLOPS 是描述浮点 DSP 芯片处理性能的重要指标。如 TMS320C67XX 可以达到 1GMFLOPS, ADSP21160 可以达到 1200MFLOPS。

- **MBPS** (Million Bit Per Second) 兆位/秒

MBPS 用于衡量 DSP 的数据传输能力, 通常指某个总线或 I/O 口的带宽, 它是对总线或 I/O 口数据吞吐率的量度。例如, 对于 TMS320C6000 系列外部总线接口, 如果总线时钟选择 200MHz, 则总线数据吞吐率为 800MB/s (32 位数据总线), 即 6400MBPS ($800\text{M} \times 8\text{bit}=6400\text{Mbit}$)。

随着 DSP 结构的多样化和复杂化, 以上这些指标不可能完全表征处理器完成特定算法的特定能力, 只能作为系统设计的参考数据。在应用上常常也用 N 点 FFT 的处理时间、 N 点的 FIR 处理时间来描述其处理速度。在系统设计时, 要想得到具体参数的精确指标, 则必须通过软件仿真器、软件评估模块开发工具, 在 DSP 上进行实验。

1.4 实时 DSP 系统的构成

由于实时信号的处理系统所要处理的信号多为物理信号, 因此必须通过传感器将物理信号转换成电信号, 若为模拟信号可通过 A/D 转换器转换成数字信号后输送给数字处理部件; 若为开关数字信号可通过 I/O 接口输送给数字处理部件。

实时处理要求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, 而且从信号输入到处理后信号输出的延迟必须足够小。所以采用 DSP 芯片作为数字信号处理部件是最好的选择。

图 1.1 是一个实时 DSP 系统框图。

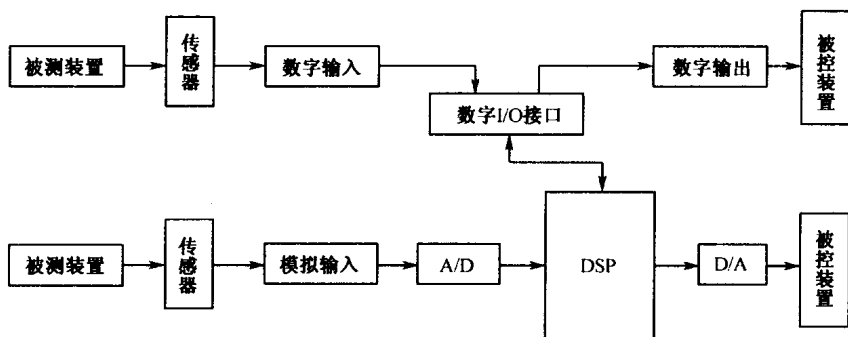


图 1.1 实时 DSP 系统框图

实际上它与 MPU 系统框图没有很大差别, 只是它的核心部分换成了 DSP, 这就使得该系

统具备了高速实时数字信号处理功能。

1.5 DSP 芯片的类别和使用选择

在 DSP 市场上,从廉价型到超高性能型各类品种都有,世界上生产和开发 DSP 芯片的公司也很多,著名的有美国德州仪器 (Texas Instruments, 简称 TI) 公司,美国模拟器件 (Analog Devices, 简称 AD) 公司, MOTOROLA, AT&T, Intel, NEC, Fujitsu, National 等。在我国推广和应用较多的有 TI 公司、AD 公司和 MOTOROLA 公司的 DSP 芯片。

1. 芯片类别

DSP 芯片的分类有几种不同的方式,如按特性分类,即以工作时钟和指令类型为指标来分;按用途分类,可分为通用型和专用型 DSP 芯片;按运算时的数据格式来分,可分为定点格式和浮点格式两种。另外,各个厂家还根据 DSP 芯片的 CPU 结构和性能将产品分成若干系列。以下是以数据格式的分类形式对几家常用 DSP 芯片公司的产品进行介绍。

TI 公司的 TMS320 系列 DSP 芯片是目前最有影响、最为成功的数字信号处理器,其产品销量一直处于领先地位,公认为世界 DSP 霸主,从 1982 年推出第一个 DSP 芯片 TMS32010 以来,以惊人的速度更新换代,该系列主要产品如下。

• 定点 DSP 芯片

TMS320C1X (10, C10, C14, C15, C16, C17)

TMS320C2X (20, C25, C26, C28)

TMS320C5X (C50, C51, C52, C53)

TMS320C2000 系列

TMS320C20X (C203, C204, C205, C207, C209, F206, F207)

TMS320C24X (C240, C242, C243, F240, F241, F243, LF2402 (A), LF2406 (A), LF2407 (A), LC2402 (A), LC2404 (A), LC2406 (A))

TMS320C28X (F2810, F2812)

TMS320C5000 (C541, C542, C543, C545, C546, C548, C549, C5401, C5402, C5404, C5407, C5409, C5410, C5416, C5420, C521, C5441, C5470, C5471, C5502, C5509, C5510)

TMS320C6000 (C6201, C6202, C6211, C6203, C6204, C6205, C6414, C6415, C6416)

• 浮点 DSP 芯片

TMS320C3X (C30, C31, C32, VC33)

TMS320C4X (C40, C44)

TMS320C67XX (C6701, C6711, C6712)

• 多处理器芯片

TMS320C8X (C80, C82)

其中,各芯片名称中的英文字母代表意义如下:

C——CMOS; LC——3.3V, 低功耗, CMOS;

F——片内带 Flash; LF——3.3V, 低功耗, 片内带 Flash;

A——芯片带加密位。

AD 公司的 DSP 芯片的内部电路有其独特之处,加上编程所用的汇编语言接近高级语言,

功能强,灵活性大,有较高的编程效率,近几年也广泛应用于各个领域。其产品主要包括定点 DSP 芯片和浮点 DSP 芯片。

定点 DSP 芯片 (ADSP2100 系列): ADSP2100/2101/2103/2105, ADSP2111/2115, ADSP2161/2162/2163/2164/2165/2168, ADSP2171/2173/ADSP2181 等。

浮点 DSP 芯片 (ADSP21000 系列): ADSP21000/21010/21020/21022, ADSP21060/21062 等。

MOTOROLA 公司的 DSP 芯片可分为定点、浮点和专用 3 种。

定点 DSP 芯片: MC56000, MC56001, MC56002 等。

浮点 DSP 芯片: 以 MC96002 为代表, 采用 IEEE-754 标准浮点格式, 累加器精度达 96 位, 可支持双精度浮点数。

专用 DSP 芯片: 如 MC56200 是一种适合于自适应滤波的专用定点 DSP 芯片。MC56156 是一种用于蜂窝电话等通信应用的 DSP 芯片。

AT&T 公司是一家较早推出高性能浮点 DSP 芯片的公司, 该公司的 DSP 芯片也包括定点和浮点两大类。

定点 DSP 芯片: DSP16/16A/16C/1610/1616 等。

浮点 DSP 芯片: DSP32/32C/3210 等。

另外还有一些公司的 DSP 芯片也在广泛应用, 如 NEC 公司的定点芯片 μ PD77C25, μ PD77220 和浮点芯片 μ PD77240 等。

随着多媒体技术的广泛应用, TI 等几家公司推出了一种新型的 DSP 芯片——媒体处理器 (Media Processor), 用以设计便携的多媒体设备。例如 TI 公司的 TMS320DM642, Philips 公司的 Trimedia 和 Equator 公司的 MAPCA 等。不同系列的芯片其应用领域侧重点不同。例如 TMS320C2XX, TMS320F2XX, TMS320C5X 主要应用于工业控制领域; TMS320C54X 主要应用于低功耗、通信领域; TMS320C3X, C4X, C8X 主要应用于图像处理领域; TMS320C6XXX 主要应用于军事通信、电子对抗、雷达系统、精确制导武器等需要高度智能化的领域等。TI 公司目前正在大力推广三大系列平台产品, 即 TMS320C2000 系列, TMS320C5000 系列, TMS320C6000 系列。

2. 使用选择

在设计 DSP 系统时, 如何根据系统要求选择合适的 DSP 芯片, 是决定系统性能的一个重要环节。由于 DSP 芯片的发展速度很快, 并且种类很多, 用户在选用芯片时, 要考虑以下几种因素。

(1) 性能: 描述 DSP 性能的最重要的技术指标是运算速度。在快速的实时处理系统中, 要选择运算速度快的 DSP 芯片。例如定点运算的 DSP 芯片特点是运算速度快、功耗低, 价格便宜, 体积小, 但运算精度不高, 一般是 16 位, 片内也只有 32 位, 所以用得最多。而浮点运算的 DSP 芯片特点是运算速度慢、功耗大, 成本较高, 体积稍大, 但运算精度高, 一般是 32 位, 片内一般可达 40 位, 适合于对数据动态范围和精度要求高的特殊应用。

(2) 片内硬件资源: 不同的 DSP 芯片所具有的片内硬件资源是不相同的, 即使是同一公司的同一系列的 DSP 芯片, 也具有不同的片内硬件资源。片内硬件资源包括片内 RAM、ROM 的数量, I/O 接口的种类和个数, 总线驱动能力, 外部可扩展的程序和数据空间等。选用片内硬件资源丰富的 DSP 芯片, 其系统设计更为简单、可靠, 且体积小、抗干扰能力强。

(3) 价格: TI 公司的价格规律是刚上市的 DSP 芯片价格一般较贵, 上市 1 至 2 年后, 芯

片价格会大幅度下降；将要淘汰的芯片（公司不推广的）价格略高；量越大，价格越便宜；厂家主推的产品，价格较便宜。

因此，选择 DSP 除了考虑运算速度以外，还要对其总线结构、数据的传输能力、运算精度、存储器容量、可编程能力、功耗、价格等因素进行选择，同时还要有功能完善的开发工具（软、硬件仿真）支持，这样才能使所选的芯片不仅满足数字信号处理系统设计的要求，而且使用方便，性能价格比高。

1.6 DSP 的应用和开发前景

经过 20 年的推广，DSP 的应用几乎已遍及电子学的每一个领域，其典型应用包括以下几个方面。

（1）通用数字信号处理——自适应滤波，卷积，相关，数字滤波，快速傅里叶变换，希尔伯特变换，波形生成，窗函数等。

（2）语音信号处理——语音增强，语音识别，语音合成，语音编码，文字/语音转换，语音信箱等。

（3）图形/图像处理——三维动画，图像鉴别/增强/压缩/传输，机器人视觉，模式识别，电子地图，桌面印刷系统等。

（4）特殊应用数字信号处理——振动和噪声分析与处理，声呐和雷达信号处理，地震信号分析与处理，汽车安全及全球定位，航天制导，生物医学工程等。

正如 CPU 在 PC 时代所发挥的作用一样，在 Internet 时代，核心技术将是 DSP 技术。在今后的几年中，每个人所拨的每一个电话，所进行的每一次网上连接，所传递的每一个图像，都将基于 DSP 技术及相应的模拟产品技术。

随着 DSP 性能的不断完善，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。据美国的一家市场调查研究公司 Forword Concepts 报告：DSP 市场主要分布在通信（Communication, 43.3%）、消费类电子产品（Consumer, 35%）和计算机（Computer, 11.6%）这三大市场，共占市场需求的 90%，其余 10% 涉及办公自动化、仪器仪表、军事和工业控制等各个部门。

通信市场是牵动 DSP 发展的火车头，在通信领域中，应用 DSP 较多的产品包括：调制解调器（MODEM）、蜂窝电话、个人通信网、综合业务数字网（ISDN）、交换机、双音多频编解码器、BP 机等。

消费类电子产品市场主要包括：CD 立体声、游戏机、数字式应答机、数字无绳电话、网络电话、机顶盒、电子乐器、语音合成器、抗噪声汽车立体声、高清晰度电视等，尤其是 DVD 的发展将成为 DSP 的巨大市场。

计算机的应用约占 12%，是 DSP 的第三大市场：包括硬盘机、磁盘伺服控制器、声卡、视频卡、互动多媒体、语音合成、图形加速器、阵列处理器、神经网络等。其中，硬盘机是 DSP 的重要增长领域。1996~2001 年硬盘机从 1 亿台增加至 2 亿台以上。由于图像信息的增多，办公软件组的添加以及无休止地从 Internet 下载软件，计算机对硬盘存储量的要求日益增大，绝大多数几千兆字节的新型硬盘机都采用了 DSP 技术。

专家预测，未来计算机（Computer）、通信（Communication）、消费类电子产品