

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业



DSP 技术及应用

黄仁欣 主编 宗成阁 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

DSP 技术及应用

黄仁欣 主 编
宗成阁 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

DSP 芯片及技术的应用几乎遍及电子与信息的每一个领域,对通信、计算机以及控制等领域的发展起到了十分重要的推动作用。本书系统介绍 TI 公司 TMS320C54x 系列 DSP 芯片的体系结构和工作原理、指令系统、汇编语言、C 语言程序设计与混合编程、CCS 开发工具的使用,以及 DSP 系统的软/硬件设计和调试方法。

本书内容新颖、重点突出、通俗精炼、强化实践。在内容的安排上,兼顾 DSP 技术的系统性和实用性,既方便初学者学习,又适应工程技术人员的需要。书中实例及实验内容丰富,分别独立成章,读者完全可以通过对多个典型实例和实验的学习及实际操作,很好地掌握 DSP 的开发设计方法和应用。书中所有程序都经过上机验证,具有很强的实用性。本书的电子教案及实验用到的程序,都可通过电子工业出版社华信教育资源网下载。

本书可作为高职及高等院校电子信息、通信工程和自动化等相关专业学生的教材及实践教学指导书,也可供从事 DSP 开发和应用的工程技术人员参考。

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 技术及应用/黄仁欣主编. —北京:电子工业出版社,2007.8
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业
ISBN 978-7-121-04729-9

I. D… II. 黄… III. 数字信号—信号处理—高等学校:技术学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 114534 号

策划编辑:程超群

责任编辑:裴杰

印刷:北京季峰印刷有限公司

装订:三河市万和装订厂

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

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:389 千字

印次:2007 年 8 月第 1 次印刷

印数:5 000 册 定价:23.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

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。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

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。近 30 年来, 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发展, 已逐渐发展成为一门主流技术。数字信号处理器也称 DSP 芯片, 由于运算速度快, 具有可编程特性和接口灵活等特点, 在许多电子产品的研制、开发与应用中发挥着越来越重要的作用。DSP 芯片及技术的应用几乎遍及电子与信息的每一个领域, 已经在信号处理、通信、软件无线电、语音识别与处理、图形/图像处理、雷达与尖端科技、医学工程、自动控制、仪器仪表、计算机与工作站, 以及信息家电等许多领域得到广泛应用; 同时对通信、计算机、控制等领域的发展起到了十分重要的推动作用, 其应用广度和深度还在不断地扩展和深化。

为适应 DSP 技术发展趋势, 我国许多高校的相关专业都开设了 DSP 课程和实验, 学习 DSP 课程的同学和利用 DSP 进行开发的工程师也越来越多。但是, 目前介绍 DSP 技术的书籍多偏重于理论, 实践和实际应用方面的内容较少。作者根据近年来 DSP 课程的教学经验, 综合国内一些 DSP 相关教材的优点, 按照当前教学改革的要求编写了本书。

本书在编写思路上有如下特点:

(1) 方便初学者学习, 同时兼顾工程技术人员参考的需要。在内容的安排上, 既考虑 DSP 技术的系统性和完整性, 又突出实用性和实践性。力求做到内容新颖、重点突出、通俗精炼。

(2) 强化实践, 理论与实践相结合, 特别注重对读者应用能力的培养。书中实例及实验内容丰富, 读者完全可以通过学习和实际操作第 8 章的多个典型应用设计实例和第 9 章的多项实验, 很好地掌握 DSP 的开发设计方法和应用。书中所有程序都经过上机验证, 具有很强的实用性。

本书以 TI 公司 16 位定点处理器 TMS320C54x 系列芯片为讲解对象, 以应用系统设计为主线, 全面系统地介绍 DSP 芯片的体系结构和工作原理、指令系统、汇编语言、C 语言程序设计与混合编程、CCS 开发工具的使用, 以及 DSP 系统的软/硬件设计和调试方法。安排设计实例和实验项目, 使读者提高实验及实际操作能力, 尽快掌握 DSP 应用系统的设计方法。

全书共分为 9 章, 具体内容如下。

第 1 章, 绪论。介绍 DSP 的含义、DSP 技术发展的两个领域和数字信号处理的实现方法, DSP 芯片的特点、发展、分类及应用, DSP 系统的构成、特点、设计过程及芯片的选择。

第 2 章, TMS320C54x 的总体结构及工作原理。介绍 TMS320C54x 的总体结构与工作原理, 中央处理器、存储器结构和系统控制等。

第 3 章, TMS320C54x 的片内外设。从应用的角度介绍定时器、时钟发生器、主机接口 HPI、串行通信接口 SCI、串行外设接口 SPI、中断系统及其应用。

第 4 章, TMS320C54x 的指令系统。首先介绍指令的表示方法和数据的 7 种寻址方式; 然后介绍 DSP 的指令系统, 重点讲解算术运算、逻辑运算、数据传送、程序控制指令的语法规则、功能和应用。

第 5 章, 汇编语言程序设计。首先概述汇编语言源程序的格式、常数、字符串、符号和表达式; 然后结合实例介绍汇编语言程序设计的方法, 包括堆栈的使用方法, 控制程序、数据块传送程序、算术运算程序的编写。

第 6 章, C 语言程序设计与混合编程。介绍 DSP 的 C 语言程序设计, 以及如何用 C 语言和汇编语言混合编程。

第 7 章, DSP 应用系统的软、硬件设计。首先, 通过举例介绍 CCS 的使用方法; 然后分别对 DSP 应用系统的软件设计与调试、硬件设计与调试做了详细阐述。

第 8 章, DSP 技术典型应用实例。首先阐述 DSP 最小系统电路设计, 接着详细分析正弦信号发生器、语音信号采集、步进电动机控制等典型实例的 DSP 应用程序设计。最后以 IIR 滤波器设计和信号的谱分析 (FFT) 为例, 介绍 MATLAB 语言在 DSP 设计中的应用。

第 9 章, DSP 应用技术实验。安排了 17 个具体的 DSP 实验, 帮助读者总体熟悉 DSP 开发的全过程。

本书可作为高职及高等院校电子信息、通信工程和自动化等相关专业学生的教材, 及实验、课程设计、毕业设计等实践教学的指导书; 也可供从事 DSP 芯片开发和应用的工程技术人员参考。本书包括实验在内大约安排 60 教学学时。

全书由江西工业工程职业技术学院黄仁欣副教授主编。在编写过程中, 参考了一些专家的著作, 在此谨向这些专家深表谢意! 本书由哈尔滨工业大学宗成阁教授主审, 他认真审阅了书稿, 并提出了不少中肯的意见, 在此表示衷心感谢!

感谢电子工业出版社对本书出版的大力支持, 对编辑们的敬业精神和艰辛劳动表示由衷的敬意。本书的电子教案及第 9 章实验用到的程序, 都可通过华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>) 下载。

由于 DSP 技术发展迅速, 加上作者水平有限, 编写时间仓促, 书中难免存在不妥之处, 敬请读者指正。作者 E-mail: huangrenxin@126.com。

编 者
2007 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 DSP 及其实现	(1)
1.1.1 DSP 的含义	(1)
1.1.2 数字信号处理的实现方法	(2)
1.2 DSP 芯片	(2)
1.2.1 DSP 芯片的特点	(2)
1.2.2 DSP 芯片的发展现状	(5)
1.2.3 DSP 芯片的发展趋势	(7)
1.2.4 DSP 芯片的分类	(8)
1.2.5 DSP 芯片的应用	(9)
1.3 DSP 系统	(9)
1.3.1 DSP 系统的构成	(9)
1.3.2 DSP 系统的特点	(10)
1.3.3 DSP 系统的设计过程	(11)
1.3.4 DSP 芯片的选择	(12)
本章小结	(14)
习题 1	(14)
第 2 章 TMS320C54x 的总体结构及工作原理	(15)
2.1 基本结构和引脚功能	(15)
2.1.1 基本结构	(15)
2.1.2 引脚功能	(18)
2.1.3 内部总线结构	(21)
2.2 中央处理单元 (CPU)	(22)
2.2.1 CPU 状态和控制寄存器	(22)
2.2.2 算术逻辑单元 (ALU)	(24)
2.2.3 累加器	(26)
2.3 存储器	(27)
2.3.1 存储器地址空间分配	(27)
2.3.2 程序存储器	(28)
2.3.3 数据存储器	(30)
2.3.4 I/O 空间	(32)
2.4 TMS320C54x 的系统控制	(32)
2.4.1 数据地址的产生	(32)
2.4.2 程序地址的产生	(33)
2.4.3 流水线操作	(34)
2.4.4 系统复位	(35)

本章小结	(36)
习题 2	(37)
第 3 章 TMS320C54x 的片内外设	(38)
3.1 通用 I/O 端口	(38)
3.2 定时器	(38)
3.2.1 定时器的组成及工作原理	(38)
3.2.2 定时器/计数器的应用	(41)
3.3 时钟发生器	(42)
3.4 主机接口 (HPI)	(47)
3.4.1 HPI 结构及其工作模式	(47)
3.4.2 HPI 接口设计	(49)
3.4.3 HPI 控制寄存器 (HPIC)	(50)
3.5 串行通信接口 (SCI)	(51)
3.5.1 SCI 模块结构	(52)
3.5.2 SCI 多处理器通信	(54)
3.6 串行外设接口 SPI	(54)
3.7 中断系统	(57)
3.7.1 中断系统概述	(57)
3.7.2 中断寄存器	(58)
3.7.3 中断控制	(59)
本章小结	(63)
习题 3	(63)
第 4 章 TMS320C54x 的指令系统	(64)
4.1 指令的表示方法	(64)
4.1.1 指令系统中的符号	(64)
4.1.2 指令系统中的运算符	(66)
4.2 寻址方式	(67)
4.2.1 立即寻址	(68)
4.2.2 绝对寻址	(68)
4.2.3 累加器寻址	(69)
4.2.4 直接寻址	(70)
4.2.5 间接寻址	(71)
4.2.6 存储器映像寄存器寻址	(74)
4.2.7 堆栈寻址	(75)
4.3 TMS320C54x 的指令系统	(75)
4.3.1 算术运算指令	(75)
4.3.2 逻辑运算指令	(80)
4.3.3 数据传送指令	(83)
4.3.4 程序控制指令	(87)
本章小结	(91)

习题 4	(92)
第 5 章 汇编语言程序设计	(94)
5.1 汇编语言的基本概念	(94)
5.1.1 汇编语言源程序格式	(94)
5.1.2 汇编语言中的符号	(96)
5.1.3 汇编语言中的表达式	(98)
5.1.4 汇编伪指令	(99)
5.1.5 宏指令	(106)
5.2 堆栈的使用方法	(107)
5.3 控制程序设计	(108)
5.3.1 分支结构程序	(109)
5.3.2 重复操作程序	(112)
5.3.3 循环结构程序	(113)
5.4 数据块传送程序	(114)
5.5 算术运算程序	(115)
5.5.1 加减法运算和乘法运算	(115)
5.5.2 除法运算	(116)
5.5.3 长字运算和并行运算	(117)
5.5.4 小数运算程序	(119)
5.5.5 浮点运算程序	(120)
本章小结	(123)
习题 5	(123)
第 6 章 C 语言程序设计与混合编程	(125)
6.1 C 语言程序设计	(125)
6.1.1 C 语言的特点及语法	(125)
6.1.2 系统堆栈的使用	(126)
6.1.3 存储器模式及分配	(127)
6.1.4 C54x DSP 的 C 语言规则	(129)
6.1.5 C 语言程序实例	(132)
6.2 用 C 语言和汇编语言混合编程	(135)
6.2.1 C54x DSP 混合编程方法	(135)
6.2.2 混合编程实例	(138)
本章小结	(140)
习题 6	(140)
第 7 章 DSP 应用系统的软、硬件设计	(141)
7.1 CCS 的安装及软件开发过程	(141)
7.1.1 CCS 的安装及设置	(141)
7.1.2 CCS 软件开发过程	(142)
7.2 CCS 集成开发环境的使用	(143)
7.2.1 菜单	(145)

7.2.2	工具栏	(152)
7.3	C54x DSP 应用系统的软件设计与调试	(155)
7.3.1	汇编语言程序的编辑、汇编和链接过程	(155)
7.3.2	汇编源文件 (.asm) 格式	(156)
7.3.3	汇编器	(156)
7.3.4	COFF 目标文件	(157)
7.3.5	链接器	(157)
7.3.6	C 编译器	(159)
7.3.7	建立工程文件	(160)
7.3.8	构建工程	(160)
7.3.9	调试及固化用户程序	(161)
7.4	C54x DSP 应用系统的硬件设计与调试	(161)
7.4.1	硬件设计	(161)
7.4.2	硬件调试	(164)
7.4.3	独立 DSP 应用系统的形成	(165)
	本章小结	(165)
	习题 7	(165)
第 8 章	DSP 技术典型应用实例	(167)
8.1	DSP 最小系统电路设计	(167)
8.1.1	TMS320C5409 芯片	(167)
8.1.2	JTAG 仿真口的连接	(167)
8.1.3	电源转换芯片	(168)
8.1.4	时钟信号的接入	(170)
8.1.5	其他端子和测试信号	(170)
8.2	正弦波信号发生器设计	(172)
8.2.1	产生正弦波的算法	(172)
8.2.2	正弦波的 DSP 实现	(172)
8.3	语音信号采集	(177)
8.3.1	语音接口芯片 TLC320AD50C 简介	(177)
8.3.2	TLC320AD50C 与 DSP 的连接	(178)
8.3.3	语音采集和回放程序	(179)
8.4	步进电动机的 DSP 控制	(182)
8.4.1	步进电动机的特点及基本控制	(182)
8.4.2	步进电动机的脉冲分配	(183)
8.4.3	步进电动机的速度控制	(186)
8.4.4	步进电动机的位置控制	(186)
8.5	MATLAB 语言在 DSP 设计中的应用	(188)
8.5.1	MATLAB 简介	(189)
8.5.2	IIR 滤波器设计	(192)
8.5.3	信号的谱分析 (FFT)	(197)

本章小结	(198)
习题 8	(198)
第 9 章 DSP 应用技术实验	(200)
实验 1 常用指令实验	(200)
实验 2 汇编语言程序设计	(202)
实验 3 数据存储实验	(203)
实验 4 I/O 读写实验	(205)
实验 5 汇编程序的控制设计	(208)
实验 6 外部标志输出引脚 (XF) 实验	(208)
实验 7 定时器实验	(209)
实验 8 中断实验	(212)
实验 9 A/D 采样实验	(213)
实验 10 D/A 转换实验	(215)
实验 11 CCS 环境下的 C 语言程序设计	(216)
实验 12 正弦波信号发生器	(218)
实验 13 语音实时回放及延迟实验	(220)
实验 14 液晶显示器驱动实验	(221)
实验 15 快速傅里叶变换 (FFT) 算法实验	(223)
实验 16 有限冲击响应滤波器 (FIR) 算法实验	(226)
实验 17 无限冲击响应滤波器 (IIR) 算法实验	(228)
参考文献	(232)

第1章 绪 论

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许多领域的新兴学科。20 世纪 80 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发展, 已经在信号处理、通信、语音、图像、雷达、生物医学、工业控制、仪器仪表等许多领域得到广泛应用。

本章首先介绍 DSP 的含义和数字信号处理的实现方法; 接着论述 DSP 芯片的特点、发展、分类及应用; 最后详细介绍 DSP 系统的构成、特点、设计过程及芯片的选择。

1.1 DSP 及其实现

1.1.1 DSP 的含义

DSP 既是 Digital Signal Processing 的缩写, 也是 Digital Signal Processor 的缩写, 二者的英文简写相同, 但含义不同。

Digital Signal Processing——指数字信号处理的理论和方法, 即数字信号处理技术。

Digital Signal Processor (DSP)——指用于进行数字信号处理的可编程微处理器, 人们常用 DSP 一词来指通用数字信号处理器。

DSP 技术的发展因其内涵而分为两个领域。

(1) 数字信号处理理论和方法的发展。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, 数字信号处理与网络理论、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。

数字信号处理在算法研究方面, 主要研究如何以最小的运算量和存储器使用量来完成指定的任务。对数字信号处理系统的实现而言, 除了有关的输入/输出部分外, 最核心的就是其算法的实现, 即用硬件、软件或软、硬件相结合的方法来实现各种算法, 如 FFT 算法的实现。目前各种快速算法 (如声音与图像的压缩编码、识别与鉴别、加密解密、调制解调、信道辨识与均衡、智能天线、频谱分析等算法) 都成为研究的热点, 并有长足的进步, 为各种实时处理的应用提供了算法基础。

(2) DSP 处理器性能的提高。为了满足应用市场的需求, 随着微电子科学与技术的进步, DSP 处理器的性能也在迅速地提高。在目前的工艺水平上其时钟频率达到 1.1GHz, 处理速度达到每秒 90 亿次 32 位浮点运算, 数据吞吐率达到 2Gb/s。在性能大幅度提高的同时, 体积、功耗和成本却大幅度地下降, 以满足低成本便携式电池供电应用系统的要求。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了十分重要的作用。

DSP 技术的发展在上述两方面是互相促进的, 理论和算法的研究推动了应用, 而应用的

需求又促进了理论的发展。

1.1.2 数字信号处理的实现方法

数字信号处理一般有以下几种实现方法。

(1) 在通用计算机(如 PC)上用软件(如 FORTRAN、C、MATLAN 语言)实现。但速度较慢,只用于 DSP 算法的模拟。

(2) 在通用计算机系统中加上专用的加速处理机实现。但专用性强,不适合嵌入式应用,因为其应用受到很大的限制。

(3) 用通用的单片机(如 MCS-51、96 系列等)实现。这种方法可用于一些不太复杂的数字信号处理,如数字控制等。不适合以乘法-累加运算为主的密集型 DSP 算法。

(4) 用通用的可编程 DSP 芯片实现。具有可编程性和强大的处理能力,可用于复杂的数字信号处理算法,在实时 DSP 领域处于主导地位,为数字信号处理的应用打开了新的局面。

(5) 用专用的 DSP 芯片实现。可用在要求信号处理速度极高的特殊场合,如专用于 FFT、数字滤波、卷积相关算法的 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,无须进行编程。但专用性强,应用受到限制。

(6) 用基于通用 DSP 核的 ASIC 芯片(如 FPGA/CPLD)实现。随着专用集成电路 ASIC 的广泛使用,可以将 DSP 的功能集成到 ASIC 中。一般说来,DSP 核是通用 DSP 器件中的 CPU 部分,再配上用户所需的存储器(包括 Cache、RAM、ROM、FLASH、EPROM)和外设(包括串口、并口、主机接口、DMA、定时器等),组成用户的 ASIC 芯片。

1.2 DSP 芯片

1.2.1 DSP 芯片的特点

数字信号处理就是将现实世界的模拟信号转换成数字信号,再用数学的方法来处理此数字信号,并得到相应的结果。经典的数字信号处理有时域的信号滤波(如 IIR、FIR)和频域的频谱分析(如 FFT)。IIR、FIR 和 FFT 归根结底为 $\sum a_i \times x_i$,即乘加运算。数字信号处理的关键在于研发一种处理器,对这种处理器从结构上进行优化,使其更适合于乘加运算,从而高速实现 IIR、FIR 和 FFT 等数字信号处理算法。美国 TI 公司从 20 世纪 80 年代初推出了第一款数字信号处理器 TMS32010 后,由此引发了一场数字信号处理领域的革命。我们现在所说的 DSP 实际上是指数字信号处理器,它是一种特别适合于进行数字信号处理的微处理器。它强调运算处理的实时性,因此除了具备普通微处理器所强调的高速运算和控制功能外,主要针对实时数字信号处理,在处理器结构、指令系统和数据流程上做了较大的改动。

1. 采用改进的哈佛结构

(1) 冯·诺伊曼结构。冯·诺依曼结构(VonNeumann Architecture)采用单存储空间,即程序指令和数据共用一个存储空间,使用单一的地址和数据总线,取指令和取操作数都是通过一条总线分时进行,如图 1.1(a)所示。当进行高速运算时,不但不能同时取指令和取操作数,而且还会造成数据传输通道的瓶颈现象,其工作速度较慢。

(2) 哈佛结构和改进的哈佛结构。DSP 芯片普遍采用数据总线和程序总线分离的哈佛结

构或改进的哈佛结构如图 1.1 (b)、图 1.1 (c) 所示, 比传统处理器的冯·诺伊曼结构有更快的指令执行速度。

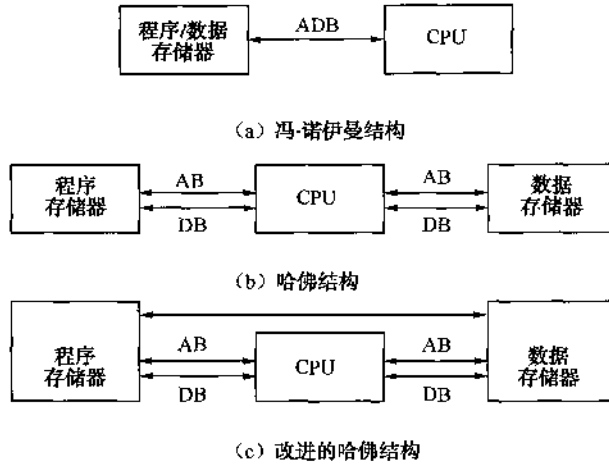


图 1.1 微处理器的结构

2. 采用多总线结构

许多 DSP 芯片内部都采用多总线结构, 这样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 四条总线 (每条总线又包括地址总线和数据总线), 可以在一个机器周期内从程序存储器取一条指令、从数据存储器读两个操作数和向数据存储器写一个操作数, 大大提高了 DSP 的运行速度。因此, 对 DSP 来说, 内部总线是十分重要的资源, 总线越多, 可以完成的功能就越复杂。

3. 采用流水线技术 (Pipeline)

计算机在执行一条指令时, 总要经过取指、译码、取数、执行运算等步骤, 需要若干个指令周期才能完成。流水线技术是将各指令的各个步骤重叠起来执行, 而不是一条指令执行完成之后, 才开始执行下一条指令。即第一条指令取指后, 在译码时, 第二条指令就取指; 第一条指令取数时, 第二条指令译码, 而第三条指令就开始取指, …… , 依次类推, 如图 1.2 所示。使用流水线技术后, 实现多条指令的并行执行。

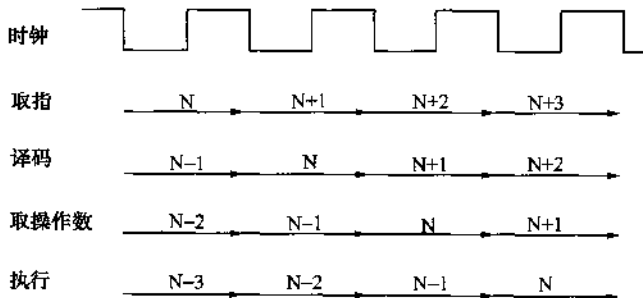


图 1.2 流水线技术示意图

4. 配有专用的硬件乘法-累加器

为了适应数字信号处理的需要，当前的 DSP 芯片都配有专用的硬件乘法-累加器，可在一个周期内完成一次乘法和一次累加操作，从而可以实现数据的乘法-累加操作。如矩阵运算、FIR 和 IIR 滤波、FFT 变换等专用信号的处理。

5. 具有特殊的 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。

6. 快速的指令周期

由于采用哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器、特殊的指令及集成电路的优化设计，使指令周期可在 20ns 以下。如 TMS320C54x 的运算速度为 100MIPS，即 100 百万条每秒；MS320C6203 的时钟为 300MHz，运行速度达到 2400MIPS。

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。为防止在运算过程中溢出，有的累加器达到 40 位。此外，一批浮点 DSP 如 TMS320C3x、TMS320C4x、ADSP21020 等，则提供了更大的动态范围。

8. 外设丰富，硬件配置强

新一代 DSP 的接口功能越来越强，除了具有串行通信口、定时器、主机接口（HPI）、直接存储器访问控制器（DMAC）、软件可编程等待状态发生器等片内外设外，还配有中断处理器、锁相环（PLL）、外部存储器扩展口、符合 IEEE 1149.1 标准的在片仿真测试接口等单元电路，可以方便地构成一个嵌入式自封闭控制的处理系统。

9. 支持多处理器结构

为了满足多处理器系统的设计，许多 DSP 芯片都采用支持多处理器的结构。如：TMS320C40 提供了 6 个用于处理器间高速通信的 32 位专用通信接口，使处理器之间可直接对通，应用灵活、使用方便；TMS320C80 是一个多处理器芯片，其内部有 5 个微处理器，通过共享数据存储空间来交换信息。

10. 省电管理和低功耗

许多芯片都可以工作在省电方式，使系统功耗降低。一般芯片为 0.5~4W，若采用低功耗技术可使功耗降到 0.1W，如 TMS3205510 仅 0.25W，可用电池供电，适用于便携式数字终端设备。

总之，DSP 特殊的内部结构、强大的信息处理能力及较高的运行速度，是 DSP 最重要的特点，使其在各个领域得到越来越广泛的应用。

1.2.2 DSP 芯片的发展现状

1. DSP 芯片的发展历程

世界上第一个单片 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司发布的 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。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。

在这之后, 最成功的 DSP 芯片当数美国德州仪器公司 (Texas Instruments, 简称 TI) 的一系列产品。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/C55x, 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 及目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62x/C67x 等。

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 Fujitsu 公司推出的 MB8764, 其指令周期为 120ns, 且具有双内部总线, 从而使处理吞吐量发生了一个大的飞跃。而第一个高性能浮点 DSP 芯片应是 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。

与其他公司相比, Motorola 公司推出 DSP 芯片的时间相对较晚, 该公司 1986 年推出了定点处理器 MC56001, 1990 年推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 MC96002。

美国模拟器件公司 (Analog Devices, 简称 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, 其定点 DSP 芯片有 ADSP2101/2103/2105、ADSP2111/2115、ADSP2161/2162/2164 及 ADSP2171/2181, 浮点 DSP 芯片有 ADSP21000/21020、ADSP21060/21062 等。

2. DSP 芯片的发展现状

自 1978 年以来, DSP 芯片得到了突飞猛进的发展, 主要表现在以下几个方面。

(1) 制造工艺。早期 DSP 采用 $4\mu\text{m}$ 的 NMOS 工艺, 现在的 DSP 芯片普遍采用 $0.25\mu\text{m}$ 或 $0.18\mu\text{m}$ 的 CMOS 工艺。芯片引脚从原来的 40 个增加到 200 个以上, 需要设计的外围电路越来越少, 成本、体积和功耗不断下降。

(2) 内部结构。目前, DSP 内部均采用多总线、多处理单元和多级流水线结构, 加上完善的接口功能, 使 DSP 的系统功能、数据处理能力和与外部设备的通信功能都有了很大的提高。

(3) 存储器容量。早期的 DSP 芯片, 其片内程序存储器和数据存储器只有几百个单元。目前, 片内程序和数据存储器可达到几十 K 字节, 而片外程序存储器和数据存储器可达到 $16\text{M} \times 48$ 位和 $4\text{G} \times 40$ 位以上。

(4) 高度集成化。集滤波、A/D、D/A、ROM、RAM 和 DSP 内核于一体的模拟混合式 DSP 芯片已有较大的发展和应用。

(5) 运算速度。经过近 30 年的发展, 使 DSP 的 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 10ns 以下 (如 TMS320C54x、

TMS320C62x/67x 等), 其相应的速度从 2.5MIPS 提高到 2000MIPS 以上, 处理能力提高了几十倍。如 TMS320C6201 执行一次 1024 点复数 FFT 运算的时间只有 66ms。

(6) 运算精度和动态范围。DSP 的字长从 8 位已增加到 32 位, 累加器的长度也增加到 40 位, 从而提高了运算精度。同时, 采用超长字指令字 (VLIW) 结构和高性能的浮点运算, 扩大了数据处理的动态范围。

(7) 开发工具。具有较完善的软件和硬件开发工具, 如: 软件仿真器 Simulator、在线仿真器 Emulator、C 编译器和集成开发环境 CCS 等, 给开发应用带来很大方便。

CCS 是 TI 公司针对本公司的 DSP 产品开发的集成开发环境。它集成了代码的编辑、编译、链接和调试等诸多功能, 而且支持 C/C++ 和汇编语言的混合编程。

如表 1.1 是世界上主要 DSP 芯片供应商代表芯片的一些技术数据。

表 1.1 单片可编程 DSP 芯片的技术数据

公 司	DSP 芯片	推出时间 (年)	MAC 周期 (ns)	定点位数	浮点位数
AMI	S2811	1978	300	12/16	
NEC	μ PD7720	1980	250	16/32	
	μ PD77230	1985	150	16/32	32
TI	TMS32010	1982	390	16/32	
	TMS32020	1987	200	16/32	
	TMS320C25	1989	100	16/32	
	TMS320C30	1989	60	24/32	
	TMS320C40	1992	40	32	
	TMS320C50	1990	35	16/32	32/40
	TMS320C203	1996	12.5	16/32	40
	TMS320LC549	1996	10	16/32	
	TMS320C62x	1997	5	16/32	
Motorola	MC56001	1986	75	24	
	MC96002	1990	50	32/64	
	MC56002	1991	50	24/48	32/44
AT&T	DSP32C	1988	80	16/24	32/40
	DSP16A	1988	25	16/36	
	DSP3210	1992	60	24	32/40
AD	ADSP2101	1990	60	16	
	ADSP21020	1991	40	32	32/40

3. TI 公司 DSP 芯片简介

世界上主要 DSP 芯片供应商有 TI、Motorola、NEC、AT&T (现在的 LUCENT) 和 AD 公司等。其中, 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, 是全球数字信号处理技术的领导者。

TI 目前主推三个 DSP 平台: TMS320C2000 系列 (TMS320C2x/C2xx)、TMS320C5000 系列 (TMS320C5x/C54x/C55x)、TMS320C6000 系列 (TMS320C62x/C67x)。其中包括多个子系列、数十种 DSP 器件, 为用户提供广泛的选择, 以满足各种不同应用的需求。

TMS320C2000 系列 DSP 主要用于代替 MCU, 应用于各种工业控制领域和消费类电子产品, 尤其是电机控制领域。

TMS320C5000 系列 DSP 是为实现低功耗、高性能而专门设计的 16 位定点 DSP 芯片,它主要应用于通信和消费类电子产品,如手机、数码相机、无线通信基础设备、VoIP 网关、IP 电话、MP3 等。

TMS320C6000 系列的 DSP 主要应用于高速宽带和图像处理等高端应用,如宽带通信、3G 基站和医疗图像处理等。

4. 国内 DSP 的发展现状

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。国内引入的主流产品有 TMS320F2407 (电机控制)、TMS320C5409 (信息处理)、TMS320C6201 (图像处理)等。

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)。我国也有 TI 的第三方公司,他们有的做 DSP 开发工具,有的从事 DSP 硬件平台开发,也有从事 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,经过 20 余年,现在已发展成规模。

进入 21 世纪以后,中国新兴的数字消费类电子产品进入增长期,市场呈现高增长态势,普及率大幅度提高,从而带动了 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。

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领域。

我国 DSP 的发展与国外相比,在硬件、软件上还有很大的差距,还有很长一段路要走。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,我们对 DSP 的应用前景充满信心。

1.2.3 DSP 芯片的发展趋势

未来的 10 年,全球 DSP 产品将向着高性能、低功耗、加强融合和拓展多种应用的趋势发展,DSP 芯片将越来越多地渗透到各种电子产品当中,成为各种电子产品尤其是通信类电子产品的技术核心。

DSP 技术将会有以下一些发展趋势。

(1) DSP 的内核结构将进一步改善。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 ADSP2116x。

(2) DSP 的并行处理结构。为了提高 DSP 芯片的运算速度,各 DSP 厂商纷纷在 DSP 芯片中引入并行处理机制。这样,可以在同一时刻将不同的 DSP 与不同的任意存储器连通,大大提高数据传输的速率。

(3) 功耗越来越低。随着超大规模集成电路技术和先进的电源管理设计技术的发展,DSP 芯片内核的电源电压将会越来越低,TMS320C6200 系列产品从 TMS320C6201 的 1.5V 内核电压,下降到目前 TMS320C6400 系列的 1.1V,甚至更低。除了内核单元外,周边装置、存储器的功耗也在不断地下降。这样,使得整个 DSP 的功耗随之下降,预计 2010 年 DSP 的功耗可下降到 0.001mW/MIPS 左右。