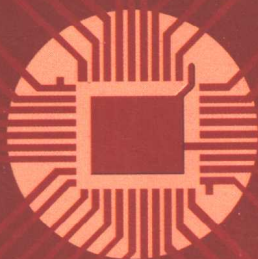


DSP 工程技术应用系列

DSP

系统设计与实现

周霖 主编



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

图书在版编目(CIP)数据

DSP 系统设计与实现/周霖主编. —北京:国防工业出版社, 2003. 10

(DSP 工程技术应用系列)

ISBN 7-118-03187-9

I. D... II. 周... III. 数字信号—信号处理—数字通信系统, DSP IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 052450 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)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 24 544 千字

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

数字化浪潮正在迅速席卷全球。数字信号处理作为数字化最重要的技术之一,无论在其应用的广度还是深度方面,都在以前所未有的速度向前发展。对于其重要意义和发展前景,无论怎样估计都不为过。

数字信号处理器(DSP 器件)是在模拟信号变换成数字信号以后进行高速实时处理的专用处理器,其处理速度比最快的 CPU 还快 10 倍~50 倍。在当今的数字化时代背景下,DSP 已成为通信、计算机、消费类电子产品等领域的基础器件,被誉为信息社会革命的旗手。

自从德州仪器(TI)在 1982 年推出第一个通用可编程 DSP 芯片以来,DSP 技术带来了决定数字技术未来的突破性应用。最初,DSP 只是一种专门为实时处理大量数据而设计的微处理器,但目前它已经在许多领域取得了新的进展,应用于网络和互联网、高速调制解调器、无线通信、语音识别、音频、视频和影像产品、机顶盒、汽车、硬盘驱动器、工业控制及制造、导航等广阔领域。全世界 3 万多名用户把目光转向 DSP 方案。TIDSP 技术已遍布全球,其普及程度达到每 10 分钟就有 1 个高科技用户使用 DSP 1 次,每 2 个数字蜂窝电话中有 1 个、每 10 个高性能硬盘驱动器中有 9 个、每 3 个高速调制解调器中有 1 个采用 TIDSP 技术。

TI 公司的 DSP 产品全部以 TMS320 系列命名,分为浮点和定点两大类。从理论上讲,虽然浮点 DSP 的动态范围比定点 DSP 大,且更适合于 DSP 的应用场合,但定点运算的 DSP 器件的成本较低,对存储器的要求也较低,而且耗电较省。因此,定点运算的可编程 DSP 器件仍是市场上的主流产品。据统计,目前销售的 DSP 器件中的 80% 以上属于 16 位定点可编程 DSP 器件,预计今后的比重将逐渐增大。

本书以 TI 公司 16 位定点处理器 TMS320C54 为例介绍了 DSP 系统的设计与实现方法。本书共 9 章。

第 1 章概述了关于 DSP 的基础知识与系统设计的方法。内容主要包括 3 部分。第一部分介绍了现代数字信号处理的相关知识 with DSP 的应用;第二部分首先介绍了 DSP 的特征、发展、分类以及选择方法,然后重点介绍 TMS320C54X 系列 DSP 与 TI 其他典型 DSP;第三部分介绍 DSP 系统的开发方法,包括系统整体设计、硬件设计、软件设计以及系统集成方法。

第 2 章详细介绍了 TMS320C54X 的体系结构与原理,内容包括总线结构、中央处理单元、存储器、程序地址生成方式、在片外围电路、串行口和外部总线。

第 3 章详细介绍了 TMS320C54X 的指令系统。内容包括 3 部分。第一部分介绍了数据寻址方式,包括立即寻址、绝对寻址、累加器寻址、直接寻址、间接寻址、存储器映像寄存器寻址和堆栈寻址;第二部分介绍了 TMS320C54X 的流水线;第三部分首先介绍了指令

的表示方法,然后详细介绍了各条 DSP 指令的用法。

第 4 章介绍了公共目标文件格式。

第 5 章介绍了程序语言开发工具的使用方法,包括汇编器、链接器与 C 编译器。

第 6 章介绍了汇编语言程序的设计方法与技巧,以及设计汇编程序应注意的问题。

第 7 章介绍了用 C 语言开发 DSP 程序的方法,内容包括 TMS320C54X C 语言的特点,代码的优化、链接、运行环境以及如何与汇编语言进行混合编程。

第 8 章介绍了 DSP 的硬件设计方法,内容包括 EVM 硬件平台设计、电源设计、3.3V 和 5V 混合逻辑设计以及片外存储器接口设计。

第 9 章介绍了 DSP 的几种应用实例,包括 PC 机与 EVM 平台通信的实现、语音压缩算法的实现以及 CRC 码算法在 DSP 上的实现。

由于作者水平有限,编写时间仓促,书中错误在所难免,恳请读者批评。

编 者

2003.9

内 容 简 介

本书以德州仪器(TI)公司 16 位定点 DSP TMS320C54X 为例介绍了 DSP 系统的设计与实现方法。首先概括性地介绍了 DSP 的基础知识以及 DSP 系统的设计方法。然后详细介绍了 TMS320C54X 的体系结构与原理和它的指令系统。接着介绍了汇编语言程序开发方法、高级 C 语言程序开发方法以及两者的混合编程。最后介绍了 DSP 系统的硬件设计方法以及 DSP 在不同领域的几个应用实例。

本书旨在使读者对 DSP 的原理有个清晰的理解,并在此基础上较快掌握 DSP 系统的设计与实现方法。本书以 TMS320C54X 为例讲述的系统设计方法与思想,完全可以作为其他类型 DSP 系统设计的参考,望读者灵活掌握。

本书可以作为高等院校工科电子类研究生和高年级本科生教材,也可供从事数字信号处理技术和 DSP 芯片开发应用的广大工程技术人员参考。

目 录

第 1 章 DSP 概述	1
1.1 现代数字信号处理	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 数字信号处理的发展阶段	2
1.1.3 DSP 的应用	3
1.2 DSP 芯片	4
1.2.1 DSP 芯片的基本结构	4
1.2.2 DSP 芯片的发展	6
1.2.3 DSP 芯片的分类	6
1.2.4 DSP 芯片的选择	7
1.2.5 TMS320C54X 系列	8
1.2.6 TI 其他典型定点 DSP 芯片	9
1.3 DSP 系统的设计与实现	18
1.3.1 DSP 系统的构成及特点	18
1.3.2 DSP 系统的整体设计	21
1.3.3 DSP 系统的软件设计	22
1.3.4 DSP 系统的硬件设计	23
1.3.5 系统集成	24
第 2 章 TMS320C54X 的体系结构原理	25
2.1 总线结构	25
2.2 中央处理单元	26
2.2.1 算术逻辑运算单元	26
2.2.2 累加器 A 和 B	27
2.2.3 桶形移位器	28
2.2.4 乘法器/加法器单元	30
2.2.5 比较、选择和存储单元	30
2.2.6 指数编码器	32
2.2.7 CPU 状态和控制寄存器	32
2.3 存储器	36
2.3.1 存储器空间	36
2.3.2 程序存储器	39
2.3.3 数据存储器	40

2.3.4	I/O 存储器	43
2.4	程序存储器地址生成方式	43
2.4.1	程序计数器	44
2.4.2	分支转移	45
2.4.3	调用与返回	45
2.4.4	条件操作	46
2.4.5	重复操作	47
2.4.6	复位操作	48
2.4.7	中断	49
2.4.8	省电方式	53
2.5	在片外围电路	54
2.5.1	通用 I/O 引脚	54
2.5.2	定时器	54
2.5.3	时钟发生器	56
2.5.4	主机接口	59
2.6	串行口	63
2.6.1	串行口概述	63
2.6.2	串行口的组成框图	64
2.6.3	串行口控制寄存器	66
2.7	外部总线	68
2.7.1	外部总线接口	68
2.7.2	外部总线操作的优先级别	69
2.7.3	等待状态发生器	69
2.7.4	分区转换逻辑	71
2.7.5	外部总线接口定时图	74
2.7.6	复位和 IDLE3 省电工作方式	76
2.7.7	保持方式	78
第 3 章	TMS320C54X 指令系统	80
3.1	数据寻址方式	80
3.1.1	立即寻址	81
3.1.2	绝对寻址	81
3.1.3	累加器寻址	81
3.1.4	直接寻址	81
3.1.5	间接寻址	82
3.1.6	存储器映像寄存器寻址	85
3.1.7	堆栈寻址	85
3.2	流水线	86
3.2.1	流水线操作	86
3.2.2	延迟分支转移	88

3.2.3	条件执行	89
3.2.4	双寻址存储器与流水线	90
3.2.5	单寻址存储器与流水线	90
3.3.6	流水线的等待周期	91
3.3	指令系统	93
3.3.1	指令的表示方法	94
3.3.2	算术指令	98
3.3.3	控制指令	136
3.3.4	数据传送指令	164
3.3.5	逻辑运算指令	187
3.3.6	并行操作指令	199
第4章	公共目标文件格式简介	209
4.1	COFF 文件的基本单元——段	209
4.2	汇编器对段的处理	210
4.3	链接器对段的处理	212
4.4	重新定位	213
4.5	COFF 文件中的符号	215
第5章	汇编语言开发工具	216
5.1	汇编器	216
5.1.1	汇编器简介及其调用	216
5.1.2	汇编器的内部函数	220
5.1.3	汇编器伪指令	221
5.2	链接器	231
5.2.1	运行连接程序	231
5.2.2	链接器的选项	232
5.2.3	链接器命令文件	232
5.3	C 编译器	237
5.3.1	TMS320C54X C 编译器综述	237
5.3.2	TMS320C54X C 编译器的使用	240
第6章	TMS320C54X 汇编语言程序设计	257
6.1	汇编语言源程序格式	257
6.2	汇编语言中的常数与字符串	259
6.3	汇编源程序中的符号	262
6.4	汇编源程序中的表达式	266
6.5	源清单文件	268
6.6	交叉引用清单文件	272
第7章	TMS320C54X C 语言程序设计	275
7.1	TMS320C54X C 语言	275
7.1.1	TMS320C54X C 语言的特征	275

7.1.2	TMS320C54X C 语言的数据类型	276
7.1.3	关键字	276
7.1.4	寄存器变量与全局寄存器变量	279
7.1.5	Pragma 伪指令	280
7.1.6	产生链接名	283
7.1.7	初始化静态和全局变量	283
7.2	C 代码优化	284
7.2.1	使用优化器	284
7.2.2	执行文件级优化(-o3 选项)	285
7.2.3	执行程序级优化(-pm 和 -o3 选项)	285
7.2.4	控制程序级优化(-op 选项)	286
7.2.5	在优化代码中访问别名变量	286
7.2.6	自动直接插入展开(-oi 选项)	287
7.2.7	运行优化器时交织工具的使用	287
7.2.8	优化代码的调试	289
7.2.9	执行优化的类型	289
7.3	链接 C 代码	294
7.3.1	调用链接器	295
7.3.2	控制链接过程	296
7.4	运行时间环境	299
7.4.1	存储器模式	299
7.4.2	字符串常数	302
7.4.3	函数结构和调用约定	303
7.5	汇编语言与 C 混合编程	306
7.5.1	用 C 代码调用汇编语言模块	306
7.5.2	在 C 程序中访问汇编语言变量	307
7.5.3	使用直接插入的汇编语言	309
7.5.4	使用内部函数访问汇编语言语句	310
7.5.5	C 和汇编混合代码的优化	311
7.5.6	在优化后的 C 代码中使用 asm 语句	312
7.5.7	中断处理	312
第 8 章	TMS320C54X 的硬件设计	314
8.1	TMS320C54X 芯片的电源设计	314
8.2	3.3V 和 5V 混合逻辑系统设计	315
8.3	外部存储器接口	318
8.4	TMS320C54X 硬件平台设计	319
8.4.1	TMS320C54X EVM 硬件平台结构	319
8.4.2	TMS320C54X EVM 对主机的要求	320
8.4.3	TMS320C54X EVM 操作	321

第9章 DSP 的应用实例	329
9.1 PC 机与 EVM 平台通信的实现	329
9.2 一个基于 TMS320LC549 DSP 应用系统的开发	354
9.2.1 G.729A 及系统简介	354
9.2.2 系统构成	355
9.2.3 系统软、硬件设计	355
9.2.4 系统调试	357
9.2.5 独立系统形成	358
9.3 DSP 实现分组纠错编码	359
9.3.1 分组编码基础	359
9.3.2 循环码	361
9.3.3 循环冗余检验(CRC)码	365
9.3.4 CRC 码算法在 TMS320C54X DSP 上的实现	367

第 1 章 DSP 概述

1.1 现代数字信号处理

1.1.1 引言

计算机技术的发展使我们身不由己地步入了信息时代网络时代。虽然不能说这个世界已经是一个数字化的世界,因为这个世界本身主要还是由模拟的信息组成。但毫无疑问,数字信号处理技术的飞速发展极大地提高了人们对模拟世界的把握能力。可以毫不夸张地说,数字信号处理技术是这个时代最核心的技术之一,未来世纪是一个数字信号处理技术大展身手的世纪。

在阐述数字信号处理之前,要先明确信号、系统与信号处理的定义,弄清它们之间的关系。

信号是信息的载体。所谓信息是指人类对外界事物的感知。人类在不断地进步,对信息的表达、获取、传递的能力也在不断地进步。从远古时代的手势、火、击鼓、旗语到今天的电报、电话、广播、传真、电视、多媒体网络,人们对信息的表达越来越准确,对信息的获取手段越来越广泛,获取方式越来越先进,信息的传递也越来越有效、可靠和迅速。

人们对信息的处理是通过对信号的处理来实现的。通常把对信号进行处理的整个设备称为系统。如果对信号的处理是通过模拟部件来进行的,则设备被称为模拟系统;如果对信号的处理是通过数字部件进行的,则设备被称为数字系统。

所谓信号处理是指将信号从一种形式变成另一种形式,比如将信号从时域转化到频域,从模拟信号转化为数字信号等。信号处理的内容很广泛,这在以后的篇幅中将有比较详细的介绍。

由信号、系统和信号处理的定义可以清晰地看到它们之间的关系,即信号分析是基础,系统分析是桥梁,信号处理是手段,系统综合是目的。信号处理作为手段贯穿信号分析、系统分析、系统综合等的始终。假如把世界本身视为一个大系统,那么对这个世界的认识能力在某种意义上无非是信号获取与分析能力、系统分析与综合能力、信号处理能力的综合。

信息时代正使这个世界发生日新月异的变化,无论是信息获取与分析手段、系统的分析与综合能力,还是信息传递的质量都取得了极大的进步。可以说,这一切变化首先是由信号表达方式的突破引发的。由 1 和 0 来表达一切信号的表达方式直接导致了 A/D, D/A 的快速发展。另外,信号处理理论与技术的诞生、萌芽和飞速发展是导致这一变化的重要原因。信号处理理论和算法的不断发展,使得许多信号处理运算的运算量得以极大的降低,从而也使这些运算的实现逐渐成为可能。FFT 算法的提出使 DFT 的实现与应用成为可能便是最好的例子。信号处理理论与技术的发展还促进了数字信号处理器的诞生和发展。最后,微电子技术的飞速发展造成这一变化的另一重要原因。首先,微电子技术的高速发展是 DSP 芯片诞生并取得快速发展的技术基础,而各种 DSP 芯片是使数字信号处理理论成果不断转化为现实的

重要物质基础。同时 DSP 芯片的发展又极大地促进了新的数字信号处理和算法的诞生。

因此,从某种视角可以说,数字化技术的发展是数字信号处理理论与算法的发展和数字信号处理器的发展相互促进的结果。

1.1.2 数字信号处理的发展阶段

数字信号处理亦称信号的数字处理。若从信号数字处理的研究史看,可以归纳为几个阶段:

- ① 信号解析手段的研究阶段。
- ② 各种模拟信号的数字化阶段。

前两个阶段在时间上处在 17 世纪到 18 世纪离散数学诞生到 20 世纪 60 年代之间。

③ 信号数字处理技术本身的发展阶段。这一阶段是以 1965 年 Collev-Tukev 提出快速傅里叶变换算法为标志的。这时 DSP 技术主要用于图像处理、快速数据传输、生物医学系统等。

④ 现代数字信号处理阶段。这一阶段的特点是随着数字信号处理的飞速发展,数字信号处理的应用领域也正在飞速发展。新理论、新算法也不断涌现。

从信号的数字处理技术的发展历程,可以看出数字信号处理技术在理论上所涉及的范围是相当广泛的,在数字领域中,微积分、概率统计、随机过程、高等代数、数值分析、近世代数、复变函数、线性代数、泛函分析等都是它的分析工具。网络理论、图论、信号与系统均是它的理论基础。在学科发展上,数字信号处理又是现代控制理论(包括最优控制、人工智能、模式识别、神经网络、模糊控制)、现代通信理论、故障理论和现代测量等的理论基础。在算法的实现上(无论是硬件还是软件),数字信号处理技术和计算机学科及微电子技术密不可分。因此可以说数字信号处理是把经典的理论(如数字系统)作为自己的理论基础,把现代计算机技术、微电子技术作为技术支撑的一门新兴学科。同时它又是许多新兴学科的理论基础,并与它们相互交叉、相辅相成、相互促进。

数字信号处理理论经过 30 年的发展已经形成了比较完善的理论体系。主要内容有:

- ① 信号的采集(A/D 技术、抽样定理、多抽样率、量化噪声分析等)。
- ② 离散信号的分析(时域及频率分析、多种变换技术、信号特征的描述等)。
- ③ 离散系统分析(系统的描述、系统的单位抽样响应、转移函数及频率特性等)。
- ④ 信号处理中的快速算法(快速傅里叶变换、快速卷积与相关等)。
- ⑤ 信号的估值(各种估值理论、相关函数与功率谱估计等)。
- ⑥ 滤波技术(各种数字滤波器的设计与实现)。
- ⑦ 信号的建模(最常用的是 AR, MA, ARMA, PRONY 等各种模型)。
- ⑧ 信号处理中的特殊算法(如抽取、插值、奇异值分解、反卷积、信号重建等)。

现在,信号处理进入了一个新的发展时期。信号处理在优化、自适应、高分辨率、多维多通道等一些主要领域内的理论和方法日趋系统化。对系统的分析已不再限于理想模型,而是考虑到各种实际因素,研究其鲁棒性,对性能的描述也不仅仅停留在定性的水平而是要作出系统的统计性能评价。

以前通常假设信号及其背景是高斯的、平稳的。而对信号的分析只是基于它的二阶矩阵和傅氏谱,其对象系统也限于时不变(准时变)的线性因果最小相位系统。随着数字信号处理应用领域的不断扩大,人们开始研究非平稳、非高斯的信号与背景噪声,研究时变、非因果、非最小相位、非线性的系统。这些都是现代信号处理的热点问题。

总之,随着基础理论的不断完善,交叉学科的不断发展,微电子技术与计算机的不断进

步,可以预见 21 世纪将是数字信号处理理论与算法的大发展时期。

1.1.3 DSP 的应用

自从德州仪器 (TI) 在 1982 年推出通用可编程 DSP 芯片以来, DSP 技术带来了决定数字技术未来的突破性应用。最初 DSP 只是一种专门为实时处理大量数据而设计的微处理器,但目前它已经在多种不同的领域取得了许多新的进展。它们应用于网络和互联网、高速调制解调器、无线通信、语音识别、音频、视频和影像产品、机顶盒、汽车、硬盘驱动器、工业控制及制造、雷达、声呐、地震检测、生物医学工程、机械振动、遥感遥测、地质勘测、航空航天、电力系统故障检测、自动化仪器等, DSP 技术的应用已遍布全球。以 TI 公司的 DSP 为例,其普及程度达到了每 10 分钟就有 1 个高科技用户使用 DSP 1 次;每 2 个数字蜂窝电话中有 1 个、每 10 个高性能硬盘驱动器中有 9 个、每 3 个高速调制解调器有 1 个采用 TI DSP 技术。DSP 是促使计算机、消费类产品和通信产品融合在一起的粘合剂。2000 年 TI 公司 DSP 销售额达到 50 亿美元。他们预计,到 2003 年全球市场对 DSP 及其相关混合模拟芯片的需求将达到 170 亿片,到 2009 年将达到 500 亿片。

表 1-1 概括了数字信号处理器应用的 11 个大方面。

表 1-1 TMS320 DSP 的典型应用

汽 车	消费类电子	控 制
自适应行驶控制 防滑制动 装置蜂窝电话 数字收音机 引擎控制 全球定位 导航 振动分析 语音命令	数字收音机 教育类玩具 音乐和成器 动力工具 雷达检测器 传呼机	磁盘驱动控制 引擎控制 激光打印机控制 马达控制 机器人控制 伺服控制
通用场合	图形/图像	工 业
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 波形产生 加密	三维旋转 动画 / 数字地图 同态处理 图像压缩 / 传输 图像增强 模式识别 机器眼 工作站	数字化控制 电力线监控 机器人 安全检修
仪 器	医 学	军 事
数字滤波 函数产生 模式匹配 锁相环 地震信号处理 谱分析 瞬态分析	诊断设备 胎儿监护 助听器 病人监护 整形术 超声设备	图像处理 导弹控制 导航 雷达信号处理 射频调制解调器 安全通信 声呐信号处理

(续)

电 信		语 音
自适应均衡	个人通信系统 (PH)	说话人检验
ADPCM 码变换器	个人数字助理 (PDA)	语音增强
基站	电话	语音识别
蜂窝电话	扩频通信	语音合成
信道复用	数字语音插值 (DSI)	语音声码器技术
数据加密	视频会议	文本 / 语音转换
数字用户交换机 (PBX)	X.25 分组交换	语音邮箱
数字语音插值 (DSI) 回波抵消		

1.2 DSP 芯 片

1.2.1 DSP 芯片的基本结构

为了快速实现数字信号处理运算, DSP 芯片一般都采用特殊的软硬件结构。下面以 TMS320 系列为例介绍 DSP 芯片的基本结构。

TMS320 系列 DSP 芯片的基本结构包括: ①哈佛结构; ②流水线操作; ③专用的硬件乘法器; ④特殊的 DSP 指令; ⑤快速的指令周期。

这些特点使得 TMS320 系列 DSP 芯片可以实现快速的 DSP 运算, 并使大部分运算 (例如乘法) 能够在一个指令周期内完成。由于 TMS320 系列 DSP 芯片是软件可编程器件, 因此具有通用微处理器具有的方便灵活的特点。下面分别介绍这些特点是如何在 TMS320 系列 DSP 芯片中应用并使得芯片的功能得到加强的。

1. 哈佛结构

哈佛结构是不同于传统的冯·诺依曼 (Von Neuman) 结构的并行体系结构, 其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 数据总线两条总线, 从而使数据的吞吐率提高了一倍。而冯·诺依曼结构则是将指令、数据、地址存储在同一存储器中, 统一编址, 依靠指令计数器提供的地址来区分是指令、数据还是地址。取指令和取数据都访问同一存储器, 数据吞吐率低。

在哈佛结构中, 由于程序和数据存储器在两个分开的空间中, 因此取指和执行能完全重叠运行。为了进一步提高运行速度和灵活性, TMS320 系列 DSP 芯片在哈佛结构的基础上作了改进, 一是允许数据存放在程序存储器中, 并被算术运算指令直接使用, 增强了芯片的灵活性; 二是指令存储在高速缓冲器 (Cache) 中, 当执行此指令时, 不需要再从存储器中读取指令, 节约了一个指令周期的时间。如 TMS320C30 具有 64 个字的 Cache。

2. 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时间, 从而增强了处理器的处理能力。TMS320 系列处理器的流水线深度从 2 级~6 级不等。第一代 TMS320 处理器采用二级流水线, 第二代采用三级流水线, 而第三代则采用四级流水线。也就是说, 处理器可以并行处理 2 条~6 条指令, 每条指令处于流水线上的不同阶段。图 1-1 所示为一个三级流水线操作的例子。在三级流水线操作中, 取指、译码和执行操作可以独立地处理, 这可使指令执

行能完全重叠。在每个指令周期内, 3 个不同的指令处于激活状态, 每个指令处于不同的阶段。例如, 在第 N 个指令取指时, 前一个指令即第 $N-1$ 个指令正在译码, 而第 $N-2$ 个指令则正在执行。一般来说, 流水线对用户是透明的。

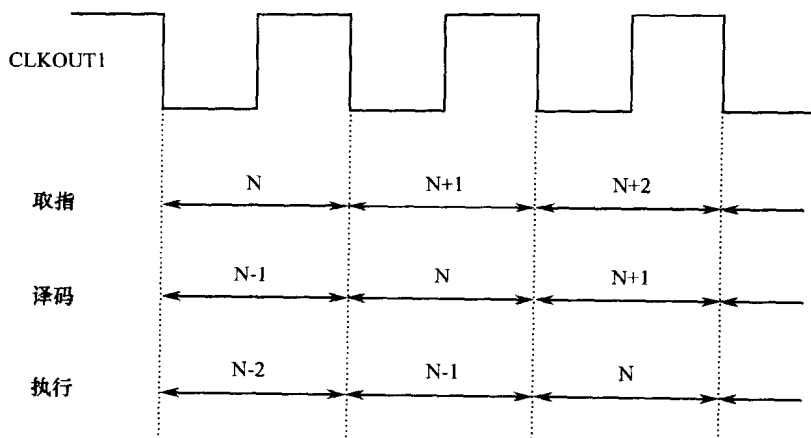


图 1-1 三级流水线操作

3. 专用的硬件乘法器

在一般形式的 FIR 滤波器中, 乘法是 DSP 的重要组成部分。对每个滤波器抽头, 必须做一次乘法和一次加法。乘法速度越快, DSP 处理器的性能就越高。在通用的微处理器中, 乘法指令是由一系列加法来实现的, 故需许多个指令周期来完成。相比而言, DSP 芯片的特征就是有一个专用的硬件乘法器。在 TMS320 系列中, 由于具有专用的硬件乘法器, 乘法可在一个指令周期内完成。从最早的 TMS32010 实现 FIR 的每个抽头算法可以看出, 滤波器每个抽头需要一条乘法指令 MPY:

LT ; 装乘数到 T 寄存器
DMOV ; 在存储器中移动数据以实现延迟
MPY ; 相乘
APAC ; 将乘法结果加到 ACC 中

其他 3 条指令用来将乘数装入到乘法器电路 (LT), 移动数据 (DMOV) 以及将乘法结果 (存在乘积寄存器 P 中) 加到 ACC 中 (APAC)。因此, 若采用 256 抽头的 FIR 滤波器, 这 4 条指令必须重复执行 256 次, 且 256 次乘法必须在一个抽样间隔内完成。在典型的通用微处理器中, 每个抽头需要 30 个~40 个指令周期, 而 TMS32010 只需 4 条指令。如果采用特殊的 DSP 指令或采用 TMS320C54X 等新一代的 DSP 芯片, 可进一步降低 FIR 抽头的计算时间。

4. 特殊的 DSP 指令

DSP 芯片的另一个特征是采用特殊的指令。上面介绍的 DMOV 就是一个特殊的 DSP 指令, 它完成数据移位功能。在数字信号处理中, 延迟操作非常重要, 这个延迟就是由 DMOV 来实现的。TMS32010 中的另一个特殊指令是 LTD, 它在一个指令周期内完成 LT、DMOV 和 APAC 3 条指令。LTD 和 MPY 指令可以将 FIR 滤波器抽头计算从 4 条指令降为 2 条指令。在第二代处理器中, 如 TMS320C25, 增加了 2 条更特殊的指令, 即 RPT 和 MACD 指令, 采用这 2 条特殊指令, 可以进一步将每个抽头的运算指令数从 2 条降为 1 条:

RPTK 255 ; 重复执行下条指令 256 次

MACD ; LT, DMOV, MPY 及 APAC

5. 快速的指令周期

哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器、特殊的 DSP 指令再加上集成电路的优化设计, 可使 DSP 芯片的指令周期在 200ns 以下。TMS320 系列处理器的指令周期已经从第一代的 200ns 降低至现在的 20ns 以下。快速的指令周期使得 DSP 芯片能够实时实现许多 DSP 应用。

1.2.2 DSP 芯片的发展

世界上第一个 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。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片必须有的单周期乘法器。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 TMS320011、TMS320C10/C14/C15/C16/C17 等, 之后相继推出第二代 DSP 芯片 TMS32020、TMS320C25/C26/C28, 第三代 DSP 芯片 TMS320C3/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 以及目前最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62X/C67X 等。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芯片。TI 公司已经成为世界上最大的 DSP 芯片供应商, 其市场份占全世界份额 50% 左右。

日本东芝公司于 1982 年推出的浮点 DSP 芯片和 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32 是较早具备高性能的 DSP 处理器。

DSP 芯片从出现到现在的 20 年间发展迅速, 已经有 20 个~30 个家厂商推出了上百种型号的产品。除 TI 公司的 TMS320 系列外, 其他具有代表性并得到广泛发展应用的 DSP 芯片主要有 AT&T 公司的 DSP16、DSP32, INMOSE 公司的 A100、A110, NEC 公司的 μ PD7720、 μ PD77230, Motorola 公司的 DSP56000、DSP96000 等。

1.2.3 DSP 芯片的分类

DSP 芯片可以按照三种方式进行分类。

1. 按基础特性分

这是根据 DSP 芯片的工作时钟和指令类型来分类的。如果在某时钟频率范围内的任何时钟频率上, DSP 芯片都能正常工作, 除计算速度有变化外, 没有性能的下降, 这类 DSP 芯片一般称之为静态 DSP 芯片。例如, 日本 OKI 电气公司的 DSP 芯片属于这一类。这种 DSP 芯片在存取速度较慢的存储器时不必再插入等待状态。

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机管脚结构相互兼容, 则这类 DSP 芯片称为一致性芯片。例如, 美国 TI 公司的 TMS320C54X 就属于这一类。

2. 按数据格式分

这是根据 DSP 芯片工作的数据格式来分类的。数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 MP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C1X/C2X、TMS320C55X/C54X 系列、AD 公司的 DSP16/16A 系列、Motorola 公司的 DSP56000 等。以浮点格式工作的称为浮点 DSP 芯片, 如 TI 公司的

TMS320C62X/C67X、AD 公司的 ADS21XXX 系列。

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,如 TMS320C3X,而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式,如 Motorola 公司的 MC96002。

3. 按用途分

按照 DSP 的用途来分,可分为通用型 DSP 芯片和专用型 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 芯片属于通用型 DSP 芯片。专用 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计,更适合特殊的运算,如数字滤波、卷积和 FFT,如 Motorola 公司的 DSP56200。

1.2.4 DSP 芯片的选择

设计 DSP 应用系统,选择 DSP 芯片是非常重要的一环。只有选定了 DSP 芯片才能进一步设计其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。不同的 DSP 应用系统由于应用的场合、应用目的等不尽相同,对 DSP 芯片的选择也是不同的。一般来说,选择 DSP 芯片时应考虑到如下诸多因素。

1. DSP 芯片的运算速度

运算速度是 DSP 芯片的一个量重要的性能指标,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:就是执行一条指令所需的时间,通常以 ns(纳秒)为单位。如 TMS320LC549 在主频为 80MHz 时的指令周期为 12.5ns。

(2) MAC 时间:即一次乘法加上一次加法的时间。大部分 DSP 芯片可在一个指令周期内完成一次乘法和加法操作。

(3) FFT 执行时间:即运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。由于 FFT 运算涉及的运算在数字信号处理中很有代表性,因此 FFT 运算时间常作为衡量 DSP 芯片运算能力的一个指标。

(4) MIPS:即每秒执行百万条指令。TMS320LC549 在时钟为 80MHz 时的处理能力为 80 MIPS,即每秒执行八千万条指令。

(5) MOPS:即每秒执行百万次操作。如 TMS320C40 的运算能力为 275 MOPS。

(6) MFLOPS:即每秒执行百万次浮点操作。如 TMS320C31 在主频为 40MHz 时的处理能力为 40 MFLOPS。

(7) BOPS:即每秒执行十亿次操作。如 TMS320C 的处理能力为 2 BOPS。

2. DSP 芯片的价格

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。因此根据实际系统的应用情况,需要确定一个价格适中的 DSP 芯片。当然,由于 DSP 芯片发展迅速,DSP 芯片的价格往往下降较快,因此在开发阶段选用某种价格稍贵的 DSP 芯片,等到系统开发完毕,其价格可能已经下降一倍甚至更多。

3. DSP 芯片的硬件资源

不同的 DSP 芯片所提供的硬件资源是不相同的,如片内 RAM、ROM 的数量,外部可扩展的程序和数据空间,总线接口、I/O 接口等。即使是同一系列的 DSP 芯片,如 TMS320 系列,不同的 DSP 芯片也可以适应不同的需要。