



高等学校电子与电气工程及自动化专业“十二五”规划教材



TMS320C3x系列 DSP原理与开发技术

范瑞荣 高国旺 等编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材

TMS320C3x 系列 DSP 原理与开发技术

党瑞荣 高国旺 等编著
谢 雁 任志平

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书基于作者多年来对 DSP 进行开发、应用研究及教学的经验与成果。

全书以 TI 公司 TMS320C3x 系列中性价比较高的 DSP 芯片 TMS320VC33 为例,系统地讲述了 DSP 芯片的原理结构和开发技术。

本书共 9 章,内容包括 DSP 概述、TMS320VC33 处理器结构、TMS320C3x 的浮点数格式与寻址类型、TMS320C3x 汇编语言指令与命令文件、基于汇编语言的程序设计、基于 C 语言的 DSP 芯片开发、开发工具与集成开发环境、DSP 最小系统的设计与程序引导、TMS320VC33 芯片的应用实例等。

本书内容丰富,实用性强,可作为相关专业本科生和研究生的教材,也可供电子技术、信号处理等领域的工程技术人员参考,还可作为自学 TMS320C3x 系列 DSP 芯片的参考书。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

TMS320C3x 系列 DSP 原理与开发技术 / 党瑞荣等编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2011.2
高等学校电子与电气工程及自动化专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2525-6

I. ① T… II. ① 党… III. ① 数字信号—信号处理—高等学校—教材

② 数字信号—微处理器—高等学校—教材 IV. ① TN911.72 ② TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 249950 号

策 划 马乐惠

责任编辑 夏大平 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 22.25

字 数 523 千字

印 数 1~3000 册

定 价 32.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2525 - 6/TN · 0589

XDUP 2817001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业 “十二五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦 力	王建中	巨永锋	孙 强	陈在平	李正明
吴 斌	杨马英	张九根	周玉国	党宏社	高 嵩
秦付军	席爱民	穆向阳			

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉	李荣正	余健明
段晨东	郝润科	谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋	刘晓婷	朱建公	朱若燕	何法江	李鹏飞
麦云飞	汪传生	张功学	张永康	胡小平	赵玉刚
柴国钟	原思聪	黄惟公	赫东锋	谭继文	

项目策划：马乐惠

策 划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP, 也称 DSP 芯片)是专门为快速实现各种数字信号处理算法而设计的、具有特殊结构的微处理器。在微电子技术和计算机技术飞速发展的带动下, DSP 芯片的发展日新月异, 功能日益强大, 性能价格比不断提高, 开发手段和开发环境不断升级, 在通信、自动控制、测试、信号处理、雷达、兵器、航空航天、电子工业、医疗、家用电器、玩具、电力等许多领域得到广泛的应用, 而且 DSP 新的应用领域仍在不断地被发掘, 表现出了非常好的应用前景。

TI、AD、AT&T、Motorola 和 Lucent 等公司是 DSP 芯片的主要生产商, 产品种类高达上百种, 其用途各有侧重点, 硬件和软件一般也不完全兼容。其中, TI 公司的 TMS320 系列 DSP 在市场上占有的份额最大, 在我国同样被用户广泛使用。到目前为止, TI 公司共推出了 10 余种系列的 DSP 芯片, 大多数已成为数字信号处理系统中的主流产品。特别指出的是, TMS320C3x 系列 DSP 为浮点型的, 其中 TMS320VC33 为 TI 公司 TMS320C3x 系列中性价比较高的产品, 由于浮点型 DSP 具有处理浮点数能力强、精度高的优点, 在数字信号处理领域得到越来越多的应用。本书作者从 2001 年起开始应用 TMS320VC33 芯片开发 DSP 系统, 并在多个科研项目中成功实现系统功能, 积累了丰富的经验, 之后把相关资料整理成讲义对本科生、研究生开设相关的课程。作者在多次修订讲义的基础上, 于 2006 年由陕西科技出版社出版了一本专门介绍 TMS320VC33 硬件结构和汇编语言程序设计的教材。随着开发手段和开发环境的不断更新, 作者决定在原有教材的基础上进行修订、充实, 增加 C 语言编程和开发系统应用方面的内容, 并附上作者利用 TMS320VC33 完成的科研成果, 最终形成了此书。

全书共分 9 章。

第 1 章 DSP 概述, 内容包括数字信号处理概述, 可编程 DSP 芯片以及 TI 公司 DSP 芯片的命名规则、DSP 系统等。

第 2 章 TMS320VC33 处理器结构, 内容包括该芯片的概述、引脚描述、CPU 结构以及总线结构及管理、存储器管理、CPU 寄存器、中断管理、外围设备等。

第 3 章 TMS320C3x 的浮点数格式与寻址类型, 介绍了浮点 DSP 芯片支持的浮点数格式, 详细说明了浮点数的结构组成、数据格式间的转换和浮点数运算; 讲述了寻址方式以及系统堆栈和用户堆栈管理; 同时, 还以大量实例说明了七种寻址类型及其操作过程。

第 4 章 TMS320C3x 汇编语言指令与命令文件, 通过大量的程序实例, 详细介绍了汇编语言指令的用法, 以及常用的流程控制程序的编写方法等; 介绍了软件开发过程中的链接文件的结构和设计方法, 包括段的概念、链接器和编译器对段的处理、公共目标文件格式

式设计方法等。

第5章 基于汇编语言的程序设计, 首先介绍了汇编语言编程的技巧, 详细说明了流水线操作的概念、流水线结构、流水线冲突及冲突解决方案; 然后给出了初始化程序、常用流程控制和典型算法汇编语言程序, 如 FIR 滤波器、IIR 滤波器、FFT 等。

第6章 基于C语言的DSP芯片开发, 详细介绍了用C语言开发DSP芯片的方法, 包括C语言基础知识、基本编程规则以及汇编语言和C语言的混合编程。

第7章 开发工具与集成开发环境, 介绍了开发工具中的代码生成工具和代码调试工具; 重点介绍了CC集成开发环境的操作方法和软件调试过程。

第8章 DSP最小系统的设计与程序引导, 主要介绍了系统中DSP芯片外围器件的选择、最小系统设计方法、与外围存储器的接口、程序引导功能的实现方式、工作流程以及引导程序文件的生成方法。

第9章 TMS320VC33芯片的应用实例, 结合高分辨率感应测井仪数据采集系统和基于DSP芯片的USB通信接口的实现两个具体的应用实例, 介绍了TMS320VC33芯片在系统中得以功能实现的硬件结构和软件设计。

书中每章都附有小结、思考题与习题, 方便学生自学。

本书的完成得益于作者所在课题组成员的全力合作和配合, 他们的辛勤工作, 为DSP系统开发积累了许多经验, 也成为本书的特点。

本书由党瑞荣教授负责全书的组织和统稿, 并负责编写第1章和第2章的部分内容; 高国旺编写了第3、6、9章以及每章的思考题与习题; 谢雁编写了第5章及第2章部分内容, 并对第1~5章内容进行了校对; 任志平编写了第4、8章; 李利品编写了第5章, 并对书中的程序实例进行了大量的验证工作; 宋汐瑾编写了第7章, 并对第6~9章内容进行了校对。贾伟、张鹏、陈亮、雷文英、张伟安、牛云鹏等在资料整理、录入、校对和实验验证等方面做了大量工作, 对他们的辛勤劳动我们表示感谢。西安电子科技大学出版社的老师对本书的出版付出了大量的劳动, 在此向他们一并表示感谢。

本书的出版得到了西安石油大学教材建设项目的资助。

由于作者水平有限, 书中难免存在不妥之处, 敬请读者批评指正。

作 者
2010年8月
于西安石油大学

目 录

第 1 章 DSP 概述	1
1.1 数字信号处理概述	1
1.2 可编程 DSP 芯片	2
1.2.1 DSP 芯片的发展概况	2
1.2.2 DSP 芯片的特点	3
1.2.3 DSP 主要产品简介	6
1.2.4 DSP 芯片的分类	7
1.2.5 DSP 芯片的运算速度和 DSP 应用系统的运算量	8
1.2.6 DSP 芯片的应用	9
1.2.7 DSP 芯片的现状和发展趋势	11
1.3 TI 公司 DSP 芯片的命名规则	13
1.4 DSP 系统	15
1.4.1 DSP 系统的构成	15
1.4.2 DSP 系统的特点	15
1.4.3 DSP 系统设计过程	16
1.4.4 DSP 芯片的选择	20
本章小结	21
思考题与习题	21
第 2 章 TMS320VC33 处理器结构	22
2.1 TMS320VC33 概述	22
2.2 TMS320VC33 的引脚描述	23
2.2.1 主总线接口信号	27
2.2.2 控制信号	28
2.2.3 串行口信号	29
2.2.4 定时器信号	30
2.2.5 电源及振荡器信号	30
2.2.6 JTAG 仿真信号	33
2.3 TMS320VC33 的 CPU 结构	34
2.4 总线结构及管理	35
2.4.1 内部总线	37
2.4.2 外部总线	37
2.4.3 总线管理	38
2.5 存储器管理	39

2.5.1 存储器组织	40
2.5.2 中断向量和分支指令存储器分配	41
2.5.3 外围寄存器地址分配	42
2.5.4 指令高速缓存器	44
2.6 CPU 寄存器与其它寄存器	45
2.6.1 扩展精度寄存器	46
2.6.2 辅助寄存器	47
2.6.3 数据页指针	47
2.6.4 索引寄存器	47
2.6.5 块规模寄存器	47
2.6.6 系统堆栈指针	47
2.6.7 状态寄存器	47
2.6.8 CPU/DMA 中断使能寄存器	49
2.6.9 CPU 中断标志寄存器	50
2.6.10 I/O 控制寄存器	50
2.6.11 重复计数器和块重复寄存器	51
2.6.12 其它寄存器	51
2.7 中断管理	51
2.7.1 TMS320VC33 中断向量表	51
2.7.2 中断优先级	52
2.7.3 与中断有关的控制寄存器	53
2.7.4 中断标志寄存器描述	53
2.7.5 中断处理过程	54
2.7.6 CPU 中断响应时间	55
2.7.7 外部中断	55
2.8 外围设备	56
2.8.1 定时器	56
2.8.2 串行口	64
2.8.3 DMA 控制器	79
本章小结	88
思考题和习题	88
第 3 章 TMS320C3x 的浮点数格式与寻址类型	90
3.1 浮点数格式	90
3.1.1 IEEE 浮点数格式	90
3.1.2 TMS320C3x 的浮点数格式	91
3.1.3 数据格式间的转换	93
3.1.4 浮点数的运算	96
3.2 寻址类型	98
3.2.1 立即数寻址	98

3.2.2 直接寻址	99
3.2.3 寄存器寻址	100
3.2.4 间接寻址	100
3.2.5 PC 相对寻址	107
3.2.6 循环寻址	108
3.2.7 位反转寻址	112
3.3 寻址方式	113
3.3.1 普通寻址方式	113
3.3.2 三操作数寻址方式	114
3.3.3 并行寻址方式	114
3.3.4 长立即寻址方式	115
3.3.5 条件转移寻址方式	115
3.4 系统堆栈和用户堆栈管理	115
3.4.1 系统堆栈指针	115
3.4.2 用户堆栈	116
3.4.3 队列	116
本章小结	117
思考题与习题	117
第 4 章 TMS320C3x 汇编语言指令与命令文件	118
4.1 汇编伪指令	118
4.2 TMS320C3x 汇编语言指令	118
4.2.1 数据传输指令	118
4.2.2 二操作数指令	120
4.2.3 三操作数指令	125
4.2.4 流程控制指令	128
4.2.5 互锁指令	137
4.2.6 并行指令	137
4.3 公共目标文件格式	142
4.3.1 汇编器的作用	142
4.3.2 链接器的作用	143
4.3.3 公共目标文件格式的相关概念	143
4.3.4 汇编器对段的处理	144
4.3.5 链接器对段的处理	147
4.4 命令文件	150
本章小结	152
思考题和习题	153
第 5 章 基于汇编语言的程序设计	154
5.1 汇编语言源程序格式	154
5.2 用汇编语言编程的技巧	154

5.3 流水线操作	155
5.3.1 流水线结构	156
5.3.2 流水线冲突	156
5.3.3 解除寄存器冲突	164
5.4 初始化程序设计	166
5.5 典型流程控制程序设计举例	167
5.5.1 子程序调用	167
5.5.2 中断服务程序	168
5.5.3 延时跳转	170
5.5.4 重复操作	170
5.5.5 位操作	172
5.5.6 数据块转移	173
5.6 算术运算和数据转换程序设计	174
5.6.1 整数和浮点数除法	174
5.6.2 平方根	175
5.6.3 扩展精度算法	177
5.7 典型的信号处理算法程序设计	178
5.7.1 压扩	178
5.7.2 FIR、IIR 和自适应滤波器	181
5.7.3 快速傅里叶变换	186
5.7.4 格型滤波器	201
本章小结	203
思考题与习题	204
第 6 章 基于 C 语言的 DSP 芯片开发	205
6.1 引言	205
6.2 ANSIC 编译器	205
6.2.1 优化 ANSIC 编译器	205
6.2.2 优化编译器	208
6.3 C 语言编程基础知识	211
6.3.1 数据类型	211
6.3.2 关键字	212
6.3.3 寄存器变量	214
6.3.4 Pragma 指令(预处理指令)	214
6.3.5 asm 语句	217
6.3.6 初始化静态和全局变量	217
6.4 基于 C 语言的 DSP 芯片开发的运行环境	218
6.4.1 存储器模式	218
6.4.2 目标请求	221
6.4.3 寄存器规则	223

6.4.4 函数结构和调用规则	225
6.4.5 中断处理	228
6.4.6 系统初始化	230
6.4.7 TMS320C3x C 程序开发举例	232
6.5 C 语言与汇编语言的混合编程	235
6.5.1 汇编与 C 语言接口	236
6.5.2 独立的 C 语言和汇编模块接口	236
6.5.3 从 C 程序中访问汇编语言变量	238
6.5.4 在汇编程序中访问 C 程序变量	240
本章小结	243
思考题与习题	243
第 7 章 开发工具与集成开发环境	245
7.1 引言	245
7.2 代码生成工具	245
7.2.1 代码生成工具程序	245
7.2.2 宏汇编器和链接器	246
7.2.3 C 编译器	247
7.2.4 文档管理器和库生成器	247
7.2.5 代码格式转换器	248
7.2.6 编译汇编链接应用举例	249
7.3 代码调试工具	250
7.3.1 C/汇编源码调试器	250
7.3.2 初学者工具 DSK	254
7.3.3 软件模拟器	255
7.3.4 评价模块	257
7.3.5 软件开发系统	257
7.3.6 仿真器	257
7.4 CC 集成开发环境	258
7.4.1 CC 功能简介	258
7.4.2 CC 软件的安装	259
7.4.3 CC 软件的设置	260
7.4.4 CC 文件名介绍	261
7.4.5 CC 的应用界面	262
7.4.6 主菜单	262
7.4.7 常用工具条	267
7.4.8 CC 开发软件应用举例	270
本章小结	274
思考题与习题	275

第 8 章 DSP 最小系统的设计与程序引导	276
8.1 TI 公司 DSP 主要外围器件选择	276
8.2 基于 TMS320VC33 的 DSP 最小系统设计	277
8.2.1 电源设计	277
8.2.2 复位信号的产生	277
8.2.3 时钟电路设计	280
8.2.4 等待	281
8.2.5 JTAG 仿真接口	282
8.3 DSP 与外围存储器的接口	283
8.3.1 存储器的发展现状	283
8.3.2 EPROM 和 DSP 的接口	283
8.3.3 FLASH、RAM 与 DSP 的接口	284
8.3.4 NVSRAM 与 DSP 的接口	286
8.4 3.3 V 和 5 V 混合逻辑系统设计	287
8.5 程序引导功能的实现	289
8.5.1 引导方式选择	289
8.5.2 引导程序的工作流程	290
8.5.3 引导数据结构	291
8.5.4 中断的考虑	292
8.5.5 HEX 格式的转换	292
8.5.6 命令文件的建立	294
本章小结	295
思考题与习题	295
第 9 章 TMS320VC33 芯片的应用实例	296
9.1 高分辨率感应测井仪数据采集系统	296
9.1.1 系统功能描述	296
9.1.2 硬件电路设计	298
9.1.3 软件设计	303
9.2 基于 DSP 芯片的 USB 通信接口的实现	316
9.2.1 USB 接口概述	316
9.2.2 USB 接口设计方案选择	316
9.2.3 USB 接口芯片 PDIUSB12	317
9.2.4 DSP 与 PDIUSB12 硬件接口	318
9.2.5 软件设计	319
本章小结	342
思考题与习题	342
参考文献	343

第 1 章 DSP 概述

1.1 数字信号处理概述

步入 21 世纪以来,信息社会已经进入了数字化时代,DSP 技术已成为数字化社会最重要的技术之一。DSP 可以代表数字信号处理(Digital Signal Processing),也可以代表数字信号处理器(Digital Signal Processor)。前者是理论和计算方法上的技术,后者是指实现这些技术的通用或专用可编程微处理器芯片。随着 DSP 芯片的快速发展,DSP 这一英文缩写已被大家公认为是数字信号处理器的代名词。

数字信号处理是一门涉及多门学科并被广泛应用于很多科学和工程领域的新兴学科。20 世纪 60 年代以来,计算机和信息技术的飞速发展,有力地推动和促进了 DSP 技术的发展进程。在过去近 30 年的时间里,DSP 技术已经在通信等领域得到了极为广泛的应用。

所谓数字信号处理,就是利用计算机或专用处理设备,以数字的形式对信号进行分析、采集、合成、变换、滤波、估算、压缩、识别等加工处理,以便提取有用的信息并进行有效的传输与应用。与模拟信号处理相比,数字信号处理具有精确、灵活、抗干扰能力强、可靠性高、体积小、易于大规模集成等优点。

数字信号处理是以众多学科为理论基础的,所涉及的范围极其广泛。如在数学领域中,微积分、概率统计、随机过程、数字分析等都是数字信号处理的基础。数字信号处理与网络理论、信号与系统、控制理论、通信理论、故障诊断等密切相关。近年来,一些新兴学科,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,数字信号处理将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。数字信号处理包括算法研究和实现方法两个方面的内容。

1. 算法研究

算法研究是指如何以最小的运算量和存储器的使用量来完成指定任务的分析研究过程。20 世纪 60 年代出现的快速傅里叶变换(FFT),使数字信号处理技术发生了革命性的变化。近几年来,数字信号处理的理论和方法得到了迅速的发展,诸如:语音与图像的压缩编码、识别与鉴别,信号的调制与解调、加密和解密,信道的辨识与均衡,智能天线的智能处理,频谱分析等各种快速算法都成为研究的热点,并取得了长足的进步,为各种实时处理的应用提供了算法基础。

2. 实现方法

数字信号处理的实现是指用硬件、软件或软硬件相结合的方法来实现各种算法。数字信号处理的实现一般有以下几种方法:

(1) 在通用计算机(PC)上用软件(如 FORTRAN、C 语言)实现。但这种方法速度慢,不适合于实时数字信号处理,主要用于算法的模拟。

(2) 在通用计算机系统中加入专用的加速处理器实现。这种方法可以增强运算能力和提高运算速度,但不适合于嵌入式应用,专用性强,应用受到限制。

(3) 用单片机实现。这种方法用于不太复杂的数字信号处理,不适合于以乘法—累加运算为主的密集型运算。

(4) 用通用的可编程 DSP 芯片实现。这种方法具有可编程性和强大的处理能力,可完成复杂的数字信号处理,在实时 DSP 领域中处于主导地位。

(5) 用专用的 DSP 芯片实现。这种方法可用在要求信号处理速度极快的特殊场合,如专用于 FFT、数字滤波、卷积、相关算法的 DSP 芯片,相应的信号处理算法由内部硬件电路实现,用户无需编程,但专用性强,应用受到限制。

(6) 用基于通用 DSP 核的 ASIC 芯片实现。随着专用集成电路(Application of Specific Integrated Circuit, 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。DSP 核概念的提出与技术的发展,使用户可将自己的设计,通过 DSP 厂家的专业技术来加以实现,从而提高 ASIC 的水准,并大大缩短产品的上市时间。

在上述几种方法中,(1)的缺点是速度较慢,一般可用于 DSP 算法的模拟;(2)和(5)的专用性强,应用受到很大的限制,(2)也不便系统的独立运行;(3)只适用于实现简单的 DSP 算法;只有(4)才使数字信号处理的应用打开了新的局面;(6)是最新发展起来的技术,具有集成度高、速度快的特点,具有很好的发展前景。

1.2 可编程 DSP 芯片

数字信号处理器(DSP)是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器,主要用于实时快速实现各种数字信号处理的算法。在 20 世纪 80 年代以前,由于受实现方法的限制,数字信号处理的理论还不能得到广泛的应用。直到 20 世纪 80 年代初,世界上第一块单片可编程 DSP 芯片的诞生,才使理论研究成果广泛应用到实际的系统中,并且推动了新的理论和应用领域的发展。可以毫不夸张地讲, DSP 芯片的诞生及发展对近 30 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。

1.2.1 DSP 芯片的发展概况

DSP 芯片诞生于 20 世纪 70 年代末,至今已经得到了突飞猛进的发展,并经历了以下三个阶段。

第一阶段, DSP 的雏形阶段(1980 年前后)。在 DSP 芯片出现之前,数字信号处理只能依靠通用微处理器(MPU)来完成。由于 MPU 处理速度较低,难以满足高速实时处理的要求。1965 年库利(Cooley)和图基(Tukey)发表了著名的快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT),极大地降低了傅里叶变换的计算量,从而为数字信号的实时处理奠定了算法的基础。

与此同时,伴随着集成电路技术的发展,各大集成电路厂商在通用 DSP 芯片的生产方面做了大量的工作。1978 年 AMI 公司生产出第一片 DSP 芯片 S2811。1979 年美国 Intel 公司发布了商用可编程 DSP 器件 Intel 2920,由于内部没有单周期的硬件乘法器,使芯片的运算速度、数据处理能力和运算精度受到了很大的限制。运算速度大约为单指令周期 200~250 ns,应用仅局限于军事或航空航天领域。这个时期的代表性器件主要有: Intel 2920(Intel)、PD 7720(NEC)、TMS320C10(TI)、DSP16(AT&T)、S2811(AMI)、ADSP-21(AD 公司)等。值得一提的是美国德州仪器(TI)公司的第一代 DSP 芯片——TMS 320C10,它采用了改进的哈佛结构,允许数据在程序存储空间与数据存储空间之间传输,大大提高了运行速度和编程灵活性,在语音合成和编解码器中得到了广泛的应用。

第二阶段, DSP 的成熟阶段(1990 年前后)。这个时期,许多国际上著名的集成电路厂家都相继推出了自己的 DSP 产品。如: TI 公司的 TMS320C20、30、40、50 系列, Motorola 公司的 DSP 5600、9600 系列, AT&T 公司的 DSP32 等。这个时期的 DSP 器件在硬件结构上更适合于数字信号处理的要求,能进行硬件乘法、硬件 FFT 变换和单指令滤波处理,其单指令周期为 80~100 ns。如 TI 公司的 TMS320C20,它是该公司的第二代 DSP 器件,采用了 CMOS 制造工艺,其存储容量和运算速度成倍提高,为语音处理、图像硬件处理技术的发展奠定了基础。20 世纪 80 年代后期,以 TI 公司的 TMS320C30 为代表的第三代 DSP 芯片问世,伴随着运算速度的进一步提高,其应用范围逐步扩大到通信、计算机领域。

第三阶段, DSP 的完善阶段(2000 年以后)。这一时期各 DSP 制造商不仅使信号处理能力更加完善,而且使系统开发更加方便、程序编辑调试更加灵活、功耗进一步降低、成本不断下降。尤其是各种通用外设集成到片上,大大地提高了数字信号处理能力。这一时期的 DSP 运算速度可达到单指令周期 10 ns 左右,可在 Windows 环境下直接用 C 语言编程,使用方便灵活,使 DSP 芯片不仅在通信、计算机领域得到了广泛的应用,而且逐渐渗透到了日常消费领域。

目前, DSP 芯片的发展非常迅速。硬件结构方面主要向多处理器的并行处理结构、便于外部数据交换的串行总线传输、大容量片上 RAM 和 ROM、程序加密、增加 I/O 驱动能力、外围电路内装化、低功耗等方面发展。软件方面主要是综合开发平台的完善,使 DSP 的应用开发更加灵活方便。

1.2.2 DSP 芯片的特点

数字信号处理不同于普通的科学计算与分析,它强调运算的实时性。因此, DSP 除了具备普通微处理器所强调的高速运算和控制能力外,针对实时数字信号处理的特点,在处理器的结构、指令系统、指令流程上做了很大的改进,其主要特点如下。

1. 采用哈佛结构

DSP 芯片普遍采用数据总线和程序总线分离的哈佛(Harvard)结构或改进的哈佛结构,比传统处理器的冯·诺依曼(Von Neumann)结构有更快的指令执行速度。

1) 冯·诺依曼结构

冯·诺依曼结构采用单存储空间,即程序指令和数据公用一个存储空间,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的。当进行高速运算时,

不但不能同时进行取指令和取操作数，而且还会造成数据传输通道的瓶颈现象，其工作速度较慢。图 1.1 给出了冯·诺依曼结构。

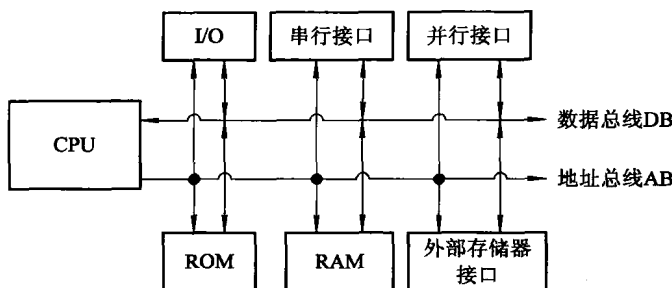


图 1.1 冯·诺依曼结构

2) 哈佛结构

哈佛结构采用双存储空间，程序存储器和数据存储器分开，有各自独立的程序总线和数据总线，可独立编址和独立访问，可对程序和数据进行独立传输，使取指令操作、指令执行操作、数据吞吐并行完成，大大地提高了数据处理能力和指令的执行速度，非常适合于实时的数字信号处理。微处理器的哈佛结构如图 1.2 所示。

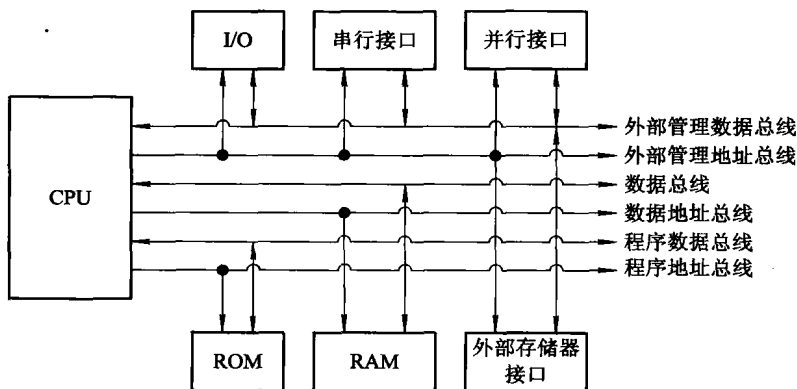


图 1.2 哈佛结构

3) 改进型的哈佛结构

改进型的哈佛结构采用双存储空间和数条总线，即一条程序总线和多条数据总线。结构如图 1.3 所示。

其特点如下：

(1) 允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据，使这些数据可以由算术运算指令直接调用，增强了芯片的灵活性；

(2) 提供了存储指令的高速缓冲器(Cache)和相应的指令，当重复执行这些指令时，只需读入一次就可连续使用，不需要再次从程序存储器中读出，从而减少了指令执行所需要的时间。如：TMS320C6200 系列的 DSP，整个片内程序存储器都可以配制成高速缓冲结构。

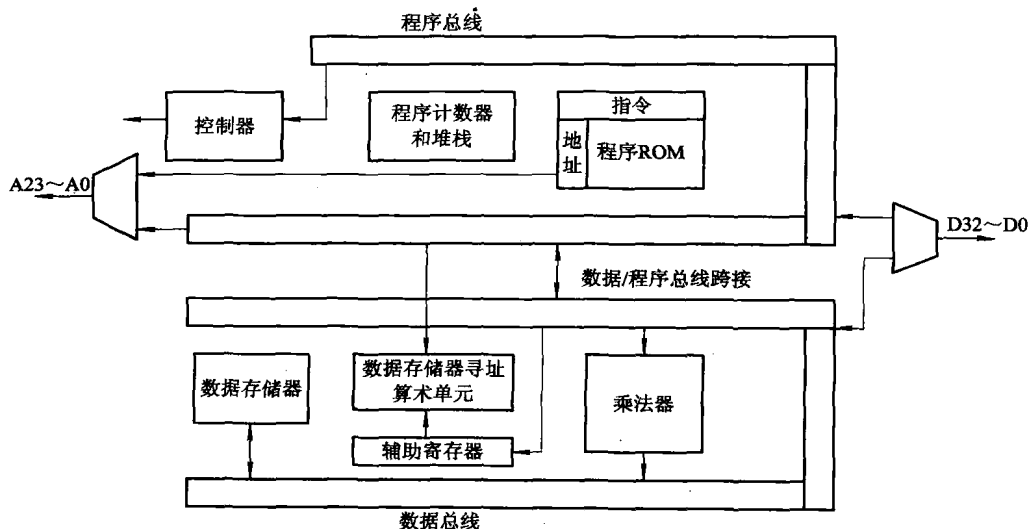


图 1.3 改进型的哈佛结构

2. 采用多总线结构

DSP 芯片都采用多总线结构，可同时进行取指令和多个数据存取操作，并由辅助寄存器自动增减地址进行寻址，使 CPU 在一个机器周期内可多次对程序空间和数据空间进行访问，大大提高了 DSP 的运行速度。如：TMS320C54x 系列内部有 P、C、D、E 等 4 组总线，每组总线中都有地址总线和数据总线，这样在一个机器周期内可以完成如下操作：

- (1) 从程序存储器中取一条指令；
- (2) 从数据存储器中读两个操作数；
- (3) 向数据存储器写一个操作数。

对于 DSP 芯片，内部总线是个十分重要的资源，总线越多，可以完成的功能就越复杂。

3. 采用流水线技术

每条指令都可通过片内多功能单元完成取指、译码、取操作数和执行指令等多个步骤，实现多条指令的并行执行，从而在不提高系统时钟频率的条件下减少每条指令的执行时间。其过程如图 1.4 所示。

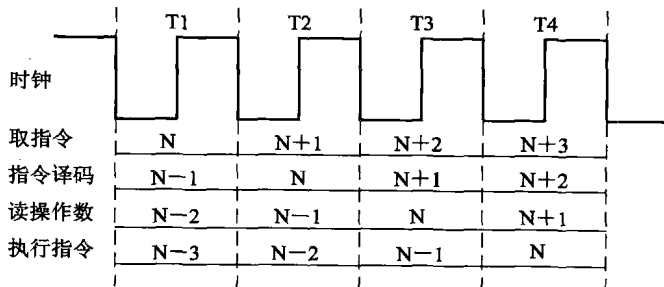


图 1.4 四级流水线操作过程

4. 专用的硬件乘法器

在通用的微处理器中算法指令需要多个指令周期，如 MCS-51 的乘法需要 4 个周期。相比而言，DSP 芯片的特征就是有一个专用的硬件乘法器，乘法可以在一个指令周期内完