



普通高校“十二五”规划教材

DSP 原理 与实践

——基于TMS320F28x系列



主 编 周 鹏 许 钢
副主编 张明艳 俞晓峰



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

DSP 原理与实践

——基于 TMS320F28x 系列

主 编 周 鹏 许 钢

副主编 张明艳 俞晓峰

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书分为理论和实验两篇,共15章。理论篇包括第1~13章,在介绍DSP基本概念、特点和应用基础上,详细介绍了TI公司TMS320C2000系列DSP的基本结构及性能,同时以TMS320F2812为例,介绍DSP的硬件结构、工作原理、软件开发环境以及应用设计等。实验篇包括第14、15章,该部分基于北京瑞泰创新科技有限责任公司推出的ICETEK-F2812 DSP教学实验箱,实验内容涵盖常规实验、算法实验以及控制应用实验等,关键代码都标注有详细的中文注释。

本书通俗易懂,例程丰富,注重原理与实验实践的结合。每章后附有习题以配合教学需要。

本书可作为高等院校电子信息工程、自动化以及测控等专业高年级本科生及研究生“DSP原理及应用”相关课程的教材或参考书,也可作为从事DSP的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理与实践:基于TMS320F28x系列 / 周鹏, 许钢
主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2014.7
ISBN 978-7-5124-1449-5

I. ①D… II. ①周… ②许… III. ①数字信号处理
IV. ①TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第101997号

版权所有,侵权必究。

DSP 原理与实践——基于TMS320F28x系列

主 编 周 鹏 许 钢

副主编 张明艳 俞晓峰

责任编辑 张耀军 陈 旭 金小贤 何 献

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316524

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:24 字数:511千字

2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷 印数:3 000册

ISBN 978-7-5124-1449-5 定价:49.00元

前 言

数字信号处理器(Digital Signal Processor,简称 DSP)强调的是通过通用或专用集成电路芯片,利用数字信号处理理论在芯片上运行目标程序,实现对信号的某种处理,已经广泛应用于信号处理、通信、家用电器、航空航天、控制、生物医学及军事等领域。DSP 芯片的应用还将在宽带 Internet 接入业务、下一代无线通信系统、嵌入式云计算与视频大数据、数字消费市场、汽车电子等新兴领域不断拓展。

德州仪器公司(Texas Instruments, TI)是全球 DSP 研发和生产的领先者,自 1982 年推出第一颗 DSP 芯片以来,已经先后推出了众多系列的 DSP 产品,包含 TMS320C2000、TMS320C5000、TMS320C6000 系列单核处理器,以及 DSP+ARM 处理器、多核处理、DaVinci(达芬奇)视频处理器及 OMAP 处理器。需要说明的是,现在 TI 公司针对 TMS320C2000 的处理器做了重新分类,分为 C28x 定点系列、C28x Piccolo、C28x Delfino、C28x+ARM Cortex-M3 的 Concerto 系列,目前也属于 32 位实时控制 MCU 系列。该系列 DSP 主要针对控制领域应用而设计,应用领域包括数字电源、数字电机控制、位置传感、汽车雷达等,其中又以 C28x 定点系列应用最为广泛。同时该系列芯片既具有一般 DSP 芯片的高速信号处理和运算能力,与单片机相比又具有丰富的片内外设及接口。

TMS320F2812 是目前 TMS320C2000 系列芯片中应用最广泛、最具代表性的芯片。它不仅具有多数 DSP 芯片广泛使用的 32 位内核结构、片内/外存储器映射、时钟和中断管理机制,而且还具有事件管理器(EV)、模数转换模块(ADC)、串行外设接口(SPI)、串行通信接口(SCI)、多通道缓冲串行口(McBSP)、eCAN 总线模块等多种片内外设。它为实现高性能、高精度的数字控制提供了很好的解决方案,同时也是学习和掌握 DSP 芯片原理和应用的理想入门芯片。

本书主要内容

本书分为理论和实验两篇,共 15 章。第 1 篇为理论篇,包括第 1~13 章,在介绍 DSP 基本概念、特点和应用基础上,详细介绍 TI 公司 TMS320C2000 系列 DSP 的基本结构及性能,同时以 TMS320F2812 为例,介绍 DSP 的硬件结构、工作原理、软件开发环境以及应用设计等。第 2 篇为实验篇,包括第 14、15 章,该部分基于北京瑞泰创新科技有限责任公司推出的 ICETEK-F2812 DSP 教学实验箱,实验内容涵盖常规实验、算法实验以及控制应用实验等,关键代码都标注有详细的中文注释。各章的主要内容如下:

第 1 章:简要介绍 DSP 的概念、结构特点、应用现状、发展前景、DSP 芯片选型、

前 言

TI 公司常用系列 DSP 以及应用现状与技术展望。

第 2 章:简要介绍 C28x Piccolo 系列、C28x Delfino 系列以及 Concerto 系列的基本结构及性能,重点讲述 C28x 定点系列的基本结构及性能,介绍目前使用较为广泛的 TMS320F2812 芯片性能特点和引脚分布。

第 3 章:主要讲述 TMS320F2812 的内部资源,包括中央处理单元 CPU、时钟和系统控制、存储器及外部扩展接口、程序流以及中断系统及复位等内容。

第 4 章:简要介绍 C28x 系列 DSP 的寻址方式和指令系统。

第 5 章:介绍 TMS320F28x 系列 DSP 的软件开发,包括 CCS 集成开发环境、构成一个完整工程所需的文件以及链接器命令文件的编写等内容。

第 6 章:介绍通用输入/输出多路复用器 GPIO 的工作原理及相关的寄存器。

第 7 章:介绍事件管理器模块(EV)的结构、特点、原理、功能以及应用。

第 8 章:介绍 ADC 的结构与特点、寄存器、工作方式以及时钟预定标等内容。

第 9 章:介绍 SPI 的结构、特点、主要寄存器以及操作等内容。

第 10 章:介绍 SCI 的结构、特点、主要寄存器以及操作等内容。

第 11 章:介绍 McBSP 的结构、特点、主要寄存器以及工作方式等内容。

第 12 章:介绍 eCAN 模块结构、特点以及配置等内容。

第 13 章:以 TMS320F2812 芯片为例,介绍 DSP 系统的硬件设计基础和设计步骤,以及基于该芯片的最小系统及相关电路设计和硬件 PCB 板设计时的注意事项。

第 14 章:简要介绍 ICETEK - F2812 教学实验箱的技术指标以及硬件资源。

第 15 章:介绍基于该评估板的教学实验箱可以设计实现的一些典型实验,包括基本实验、算法实验以及控制应用实验。

本书特点

本书不同于以往的 DSP 教程,一般的书都只注重 DSP 的基本理论与编程软件 CCS 的操作技能。而本书结合作者多年来从事 DSP 课程教学和项目开发的经验,在介绍 DSP 基本理论和 CCS 软件的基础上,注重建立读者 DSP 知识体系以及掌握具体实验的讲解,从而能够更好地将 DSP 的基本概念和原理应用到实际 DSP 系统的开发设计中。

本书可作为高等院校电子信息工程、自动化以及测控等专业高年级本科生及研究生“DSP 原理及应用”相关课程的教材或参考书,也可作为从事 DSP 技术的技术人员的参考书。

配套资料

本书配套资料收录了实验篇的所有例程,且均在 ICETEK - F2812 DSP 教学实验箱上测试通过。配套资料还汇总了 TMS320F28x 系列 DSP 的相关数据手册,以方便读者查阅学习。配套资料还包括本书配有的教学课件 PPT。读者可以到北京航空航天大学出版社网站(www.buaapress.com.cn)的“下载专区”免费下载。

致 谢

本书由安徽工程大学周鹏和许钢主编。第 1 章由周鹏、许钢编写,第 5 章由俞晓峰编写,第 12 章由张明艳编写,其余章节均由周鹏编写,全书由周鹏负责统稿,林园胜同学对本书部分书稿进行了校对。另外,吴穹、陈亮、周云等同学为本书的编写提出了宝贵的建议。本书在编著过程中,得到了安徽工程大学电气工程学院许多老师的大力帮助,也参阅了许多国内外出版的优秀 DSP 书籍以及 TI 公司的原版技术资料,同时得到了邵左文老师和北京瑞泰创新科技有限责任公司宋辉工程师的鼎力帮助,北京航空航天大学出版社对本书的出版给予了大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免有错误或不妥之处,恳请广大读者批评指正,不吝赐教,以便我们更加努力地去改进。作者联系方式 E-mail:zhpytu@163.com。

周 鹏

2014 年 3 月于安徽工程大学

目 录

理论篇

第 1 章 DSP 概述	3
1.1 DSP 简介	3
1.1.1 DSP 概念	3
1.1.2 DSP 的发展	4
1.1.3 DSP 的基本特点	5
1.1.4 数字信号处理系统的优势	8
1.1.5 DSP 与通用 CPU、MCU、ARM 以及 FPGA 的区别	9
1.2 如何选择 DSP	11
1.2.1 DSP 的分类	12
1.2.2 TI 公司常用 DSP 系列	13
1.2.3 DSP 的选择	16
1.3 DSP 的应用与技术展望	18
习 题	20
第 2 章 TMS320C2000 系列 DSP 的基本结构及性能	21
2.1 C28x Piccolo 系列基本结构及性能	21
2.1.1 F2802x 系列	22
2.1.2 F2803x 系列	25
2.1.3 F2805x 系列	26
2.1.4 F2806x 系列	26
2.2 C28x Delfino 系列基本结构及性能	27
2.2.1 F2833x 系列	28
2.2.2 C2834x 系列	29
2.2.3 F2837xD 系列	31
2.3 Concerto 系列基本结构及性能	32
2.3.1 F28M35x 系列	34
2.3.2 F28M36x 系列	34

目 录

2.4 C28x 系列基本结构及性能	35
2.4.1 TMS320F281x 系列 DSP 的主要性能	35
2.4.2 TMS320F2812 DSP 的功能结构图及片内外设	39
2.4.3 TMS320F2812 DSP 的引脚分布及功能	42
习 题	53
第 3 章 TMS320F2812 DSP 的内部资源	54
3.1 中央处理单元(CPU)	54
3.2 时钟和系统控制	66
3.2.1 时 钟	66
3.2.2 晶体振荡器及锁相环	71
3.2.3 低功耗模式	73
3.2.4 看门狗模块	76
3.2.5 CPU 定时器	80
3.3 存储器及外部扩展接口 XINTF	84
3.4 程序流	96
3.5 中断系统及复位	98
习 题	116
第 4 章 TMS320F28x 系列 DSP 的寻址方式及指令系统	117
4.1 TMS320F28x 系列 DSP 的寻址方式	117
4.2 TMS320F28x 系列 DSP 指令系统	121
习 题	121
第 5 章 TMS320F28x 系列 DSP 的软件开发	122
5.1 集成开发环境 CCS	122
5.1.1 CCS3.3 的窗口和工具栏	123
5.1.2 CCS3.3 中代码生成工具	127
5.1.3 通用扩展语言 GEL	127
5.2 构成一个完整工程的文件	130
5.3 CMD 文件的使用	132
5.3.1 COFF 格式和段的定义	133
5.3.2 CDM 文件的编写	134
5.4 建立 DSP 的工程文件	135
5.4.1 C 语言与汇编语言的混合编程	136
5.4.2 实例:利用 CCS3.3 调试程序	138
习 题	143

第 6 章 通用输入/输出多路复用器 (GPIO)	144
6.1 GPIO 概述	144
6.2 GPIO 寄存器	146
6.3 GPIO 寄存器的位与 I/O 引脚对应关系	149
习 题	152
第 7 章 事件管理器 (EV)	153
7.1 事件管理器功能概述	153
7.1.1 事件管理器结构功能框图	155
7.1.2 事件管理器的寄存器列表	157
7.1.3 事件管理器的中断	160
7.2 通用定时器	164
7.2.1 概 述	165
7.2.2 通用定时器的输入与输出	166
7.2.3 通用定时器的寄存器	167
7.2.4 通用定时器的计数操作	172
7.2.5 通用定时器的比较操作	175
7.2.6 通用定时器的 PWM 输出	178
7.2.7 通用定时器的复位	179
7.3 全比较单元及 PWM 电路	179
7.3.1 概 述	180
7.3.2 全比较单元的输入与输出	181
7.3.3 全比较单元的寄存器	181
7.3.4 全比较单元的操作	185
7.3.5 与全比较单元相关的 PWM 电路	185
7.3.6 全比较单元和 PWM 电路中的 PWM 波形产生	189
7.3.7 事件管理器的空间矢量 PWM 波形产生	191
7.4 捕获单元	193
7.5 正交编码脉冲电路	200
习 题	202
第 8 章 模数转换器 (ADC)	203
8.1 ADC 概述	203
8.1.1 ADC 的结构与特点	203
8.1.2 ADC 的寄存器	205
8.2 ADC 的工作方式	215
8.2.1 自动转换排序器的工作原理	215

目 录

8.2.2	连续自动排序模式	219
8.2.3	排序器的启动/停止模式	220
8.2.4	输入触发源	220
8.2.5	排序转换时的中断操作	221
8.3	ADC 时钟预定标	221
8.4	低功耗模式与上电次序	223
	习 题	224
第 9 章	串行外设接口(SPI)	225
9.1	增强型 SPI 模块	225
9.2	SPI 的操作	228
9.3	SPI 的主要寄存器	235
9.4	SPI 应用程序举例	236
	习 题	239
第 10 章	串行通信接口(SCI)	240
10.1	增强型 SCI 模块	240
10.2	SCI 的操作	245
10.3	SCI 应用程序举例	250
	习 题	255
第 11 章	多通道缓冲串行口(McBSP)	256
11.1	概 述	256
11.2	McBSP 的工作方式	260
	习 题	265
第 12 章	增强型控制器局域网(eCAN)	266
12.1	CAN 总线概述	266
12.2	TMS320F28x eCAN 模块概述	269
12.3	eCAN 的配置	274
	习 题	279
第 13 章	DSP 应用系统硬件设计	280
13.1	概 述	280
13.2	基于 TMS320F2812 的最小系统及外围电路设计	283
13.2.1	电源电路设计	283
13.2.2	时钟电路设计	289
13.2.3	复位电路设计	290
13.2.4	JTAG 仿真接口电路设计	290

13.2.5 外部扩展存储器接口电路设计·····	290
13.2.6 GPIO 的扩展设计·····	292
13.3 ADC 电路设计·····	293
13.3.1 模拟信号与 DSP 片上 A/D 模块接口设计·····	294
13.3.2 AD7674 与 TMS320F2812 的接口设计·····	295
13.4 DAC 电路设计·····	296
13.5 硬件 PCB 板设计时的注意问题·····	297
习 题·····	298
实验篇	
第 14 章 ICETEK - F2812 - A 实验箱硬件介绍·····	301
14.1 ICETEK - F2812 - A 的技术指标·····	301
14.2 ICETEK - F2812 - A 原理图和实物图·····	302
14.3 ICETEK - F2812 - A 评估板接口说明·····	304
第 15 章 实验的设计与实现·····	308
15.1 CCS3.3 的安装与设置·····	308
15.2 CPU 定时器操作实验·····	316
15.3 基本内存操作实验·····	319
15.4 I/O 基本操作实验·····	322
15.5 PWM 脉冲输出实验·····	326
15.6 单路/多路模数转换实验·····	330
15.7 快速傅里叶变换(FFT)算法实验·····	335
15.8 有限冲激响应滤波器(FIR)算法实验·····	340
15.9 无限冲激响应滤波器(IIR)算法实验·····	345
15.10 交通灯综合控制实验·····	350
15.11 直流电机控制实验·····	362
参考文献·····	372

理论篇

- 第 1 章 DSP 概述
- 第 2 章 TMS320C2000 系列 DSP 的基本结构及性能
- 第 3 章 TMS320F2812 DSP 的内部资源
- 第 4 章 TMS320F28x 系列 DSP 的寻址方式及指令系统
- 第 5 章 TMS320F28x 系列 DSP 的软件开发
- 第 6 章 通用输入/输出多路复用器(GPIO)
- 第 7 章 事件管理器(EV)
- 第 8 章 模数转换器(ADC)
- 第 9 章 串行外设接口(SPI)
- 第 10 章 串行通信接口(SCI)
- 第 11 章 多通道缓冲串行口(McBSP)
- 第 12 章 增强型控制器局域网(eCAN)
- 第 13 章 DSP 应用系统硬件设计

第 1 章

DSP 概述

本章首先介绍 DSP 的概念以及发展,然后重点讨论 DSP 的基本结构特点以及数字信号处理的优势,并阐述 DSP 与通用 CPU、MCU、ARM 以及 FPGA 的区别。本章着重阐述 DSP 的选择以及 TI 公司常用 DSP 系列的特点,最后简要介绍了 DSP 的应用。

1.1 DSP 简介

1.1.1 DSP 概念

DSP 是 Digital Signal Processing 的缩写,强调的是对以数字形式表现的信号进行处理和研究的方法,是一门涉及许多学科且广泛应用于许多领域的新兴学科;同时也是 Digital Signal Processor 的缩写,强调的是通过通用或专用集成电路芯片,利用数字信号处理理论,在芯片上运行目标程序,实现对信号的某种处理。本书所涉及的内容为如何利用通用或专用数字信号处理芯片,通过数字计算的方法对信号进行处理的方法与技术,研究内容为 DSP 的结构和特点,如何通过程序编写实现对数字信号的处理。

DSP 主要用来实现相关的数据处理或者比较复杂的算法,其发展以众多的经典理论体系(如微积分、概率统计、随机过程、数值分析、网络理论、通信理论、控制论)作为理论基础,同时又是新兴学科(如人工智能、模拟识别、神经网络)的理论基础。因其内涵不同,DSP 应用可分为两个领域。一方面,数字信号处理的理论和方法近年来得到迅速的发展,为各种实时处理的应用提供了算法基础。另一方面,为了满足市场需求,随着微电子科学与技术的进步,DSP 的性能在迅速提高,但其体积、成本和功耗却大幅度地降低。在这两个领域中,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,应用又促进了理论的提高。一个典型的 DSP 系统结构图如图 1-1 所示。

数字信号处理的实现方法一般有以下几种:

① 在通用的微型计算机(PC 机)上用软件(如 C、Fortran 语言)实现,缺点是执行速度慢,一般可用于 DSP 算法的模拟仿真。

第 1 章 DSP 概述

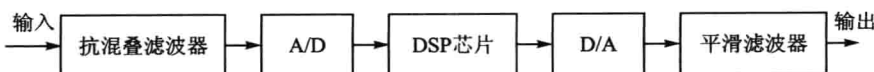


图 1-1 典型的 DSP 系统结构图

② 用单片机(如 MCS-51 等)实现,缺点是只用于一些不太复杂的简单数字信号处理。

③ 用 FPGA 等产品实现数字信号处理算法,缺点是专用性太强,而且这种方法的研发工作也不是由一般的用户来完成的。

④ 用通用的可编程 DSP 芯片实现。DSP 芯片有更适合于数字信号处理的软件和硬件资源,可用于复杂的数字信号处理算法,非常适合于通用数字信号处理的开发,为数字信号处理的应用打开了新局面。

DSP 是专门用于数字信号处理方面的处理器,在系统结构和指令算法等方面进行特殊设计,具有很高的编译效率和指令执行速度,在数字滤波、FFT 和频谱分析仪器上获得了广泛的应用。

1.1.2 DSP 的发展

世界上第一颗单片 DSP 是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811,1979 年,美国 Intel 公司生产的 2920 可以看作商用 DSP 的开端,这两种芯片是 DSP 发展的一个主要里程碑。由于这种芯片内部还没有现代 DSP 所必须的单周期硬件乘法器,极大地限制了处理速度,但是该芯片却内含了一个完整的数字信号处理器。1980 年,日本 NEC 公司推出了第一片具有乘法器的商用 DSP—— μ PD7720。1981 年,美国贝尔实验室推出具有硬件乘法器的 DSP——DSPI。

1982 年,美国德州仪器公司(Texas Instruments, TI)推出第一代 DSPT-MS320010,成为具有现代意义的 DSP,它以成本低廉、应用简单、功能强大等特点取得了巨大成功,其具有出色性能备受业界关注。随后又陆续推出了一系列产品,TI 公司的 DSP 系列产品已经成为当今世界最有影响的 DSP,其 DSP 市场占有率占全世界份额的 50%,成为世界上最大的 DSP 供应商。

与此同时,1982 年,日本 Hitachi(东芝)公司推出了第一颗采用 CMOS 工艺生产的浮点 DSP。1984 年,AT&T 公司推出 DSP32,是较早的具备较高性能的浮点 DSP。1986 年,Motorola 公司推出了定点 DSP——MC56001;1990 年,推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP——MC96002。美国模拟器件公司(Analog Devices Inc, ADI)在 DSP 市场也占有一定份额,相继推出了定点 ADSP21xx 系列、浮点 ADSP210xx 系列。

21 世纪 DSP 市场竞争更加激烈。目前,市场上较为流行的 DSP 有 TI 公司的 TMS320 系列、Freescale(原 Motorola)公司的 DSP56000 和 DSP96000 系列、AT&T 公司的 DSP16 系列和 DSP32 系列、ADI 公司的 ADSP2100 系列等。在众多 DSP 生

产厂商中,无论是在产品的应用领域,还是在市场推广以及技术支持等方面,最成功的还当属 TI 公司。由美国 TI 官方数据显示,截至 2013 年,全球销售额 128 亿美元,其嵌入式处理器已达 20 多亿美元。

我国还没有设计出 DSP,DSP 产品主要来自海外的半导体公司,1983 年开始引进 TI 公司 TMS32010 系列芯片。TI 公司的产品约占国内 DSP 市场的 90% 以上,其余为 Agere Systems(原 Lucent)、ADI、Freescape、ZSP 和 NEC 等公司。与国外相比,我国在硬件和软件上还有很大的差距,国内目前还只是停留在 DSP 芯片的应用层面上。国内有 TI 十余家第三方合作伙伴,如瑞泰创新、艾睿合众达、闻亭、英蓓特等,可为用户提供 DSP 开发工具、DSP 硬件平台开发、DSP 应用软件开发等。

1.1.3 DSP 的基本特点

DSP 是专门用来进行高速数字信号处理的微处理器。和通用的 CPU 和微控制器(MCU)相比,DSP 在结构上采用了许多专门的技术和措施来提高处理速度。尽管不同的厂商采用的技术和措施不尽相同,但都具有一些相同的特点。

1. 硬件特点

(1) 哈佛结构和改进的哈佛结构

对于以奔腾为代表的通用微处理器,其程序代码和数据共用一个公共的存储空间和单一的地址与数据总线,这样的结构称为冯·诺依曼结构(Von Neuman Architecture),如图 1-2(a)所示。其特点是将指令、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。

DSP 则将程序代码与数据的存储空间分开,各自有自己的地址与数据总线,这就是哈佛结构(Harvard Architecture),如图 1-2(b)所示。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,可使数据的吞吐率提高了一倍。

为了进一步提高信号处理的速度和灵活性,有些系列 DSP 芯片在基本哈佛结构的基础上做了改进,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,这种结构称为改进的哈佛结构(Modified Harvard Architecture),如图 1-2(c)所示。

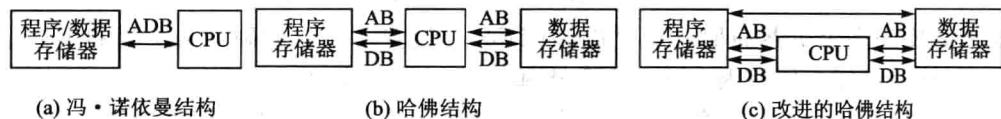


图 1-2 微处理器的结构

(2) 多总线结构

多总线结构可以保证在一个机器周期内多次访问程序空间和数据空间。如：TMS320C54x 内部有 P、C、D、E 的 4 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 2 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。

(3) 流水线技术(pipeline)

DSP 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。DSP 采用将程序存储空间和数据存储空间的地址与数据分开的哈佛结构，为采用流水技术提供了很大的方便。DSP 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 DSP 的流水线深度从 2~8 级不等，即可以并行处理 2~8 条指令，每条指令处于流水线上的不同阶段。而 TMS320F2812 则采用了 8 级流水线操作。图 1-3 为一个 4 级流水线操作技术。其中，取指、译码、取数和执行操作可以独立处理，这可使指令执行能完全重叠。在每个指令周期内，4 个不同的指令处于激活状态，每个指令处于不同的操作阶段。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，第 $N-2$ 个指令则正在取数，而第 $N-3$ 个指令则正在执行。一般来说，流水线对用户是透明的。

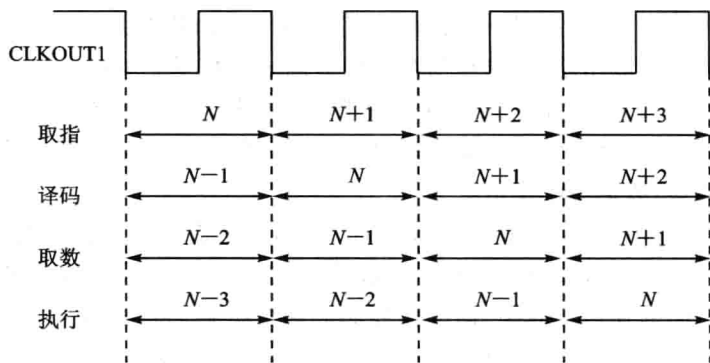


图 1-3 4 级流水线操作技术

(4) 专用的硬件乘法器

在数字信号处理的算法中，乘法和累加是基本而又大量的运算。例如，在数字滤波、优化卷积、FFT、相关计算、向量和矩阵运算等算法中，都有大量的类似于 $\sum A(k)B(n-k)$ 的运算。通用计算机的乘法是由一系列加法来实现的，一次乘法往往需要许多个机器周期才能完成，而 DSP 中设置了专门的硬件乘法器和乘法指令，可在一个指令周期内完成一次乘法和一次加法运算 (Multiply and Accumulate, MAC)，可以大大提高运算速度。乘法速度越快，DSP 处理器的性能就越高。

(5) 多处理单元

在提高运算速度方面，为了充分领略哈佛结构和改进的哈佛结构在提高运算速