



普通高等教育电气信息类规划教材



免费电子教案下载

www.cmpedu.com

TMS320C54x DSP

应用技术教程

叶青 黄明 宋鹏 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气信息类规划教材

TMS320C54x DSP 应用技术教程

叶 青 黄 明 宋 鹏 编著



机械工业出版社

本书以美国 TI 公司的 TMS320C54x 系列 DSP（数字信号处理器）为描述对象，从初学者的角度入手，对 DSP 系统所涉及的硬件和软件技术进行了系统的介绍。全书共分 8 章，第 1、2 章针对初学者对 DSP 及利用 DSP 进行系统设计所需的基本知识进行了概述；第 3～5 章详细介绍了 TMS320C54x DSP 的硬件结构、指令系统及其软件开发与设计方法；第 6、7 章以 DSP 集成开发环境 CCS 的新版本 v3.3 为例详细介绍了 CCS 的使用方法，并以 TMS320C54x DSP 最小系统为平台详细讲解了多个应用实例；第 8 章从硬件构成原理和应用编程两个方面对 DSP 外设进行了详细的描述。

本书内容新颖全面、通俗易懂、实用性强，可作为高等院校电子信息、通信、自动化、电气及相关专业高年级本科生和研究生的教材和参考用书，也可以作为从事 DSP 处理器开发的科研及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

TMS320C54x DSP 应用技术教程 / 叶青，黄明，宋鹏编著. —北京：机械工业出版社，2011.8（2015.1 重印）

普通高等教育电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-35536-6

I. ①T... II. ①叶...②黄...③宋... III. ①数字信号处理—微处理器—高等学校—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 156793 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：时 静

责任编辑：时 静 韩 静

责任印制：李 洋

北京铭成印刷有限公司印刷

2016 年 12 月第 1 版·第 3 次印刷

184mm×260mm·21 印张·519 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-35536-6

定价：39.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服 务 中 心：（010）88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部：（010）68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部：（010）88379649

读者购书热线：（010）88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

数字信号处理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。随着信息技术的发展,数字信号处理作为数字化最重要的技术之一正以前所未有的速度向前发展。数字信号处理器(DSP)是专为实时数字信号处理而设计的一种可编程嵌入式微处理器,其自20世纪70年代末80年代初问世以来,已经经历了30年的飞速发展,并且已在信号处理、通信、自动控制、航空航天、军事、仪器仪表、语音合成、图形图像、医疗工程和家用电器等众多高科技领域和日常生活中得到了越来越广泛的应用。事实上,它已经来到了我们每一个人的身边。在21世纪的今天,社会进入了数字化的时代,DSP应用技术的飞速发展极大地提高了人们对数字世界的把握能力。毫不夸张地说,DSP应用技术是这个时代的核心技术之一,而DSP正是这场数字化革命的核心。

由于DSP应用技术的内容涉及的理论与技术非常广泛,实践性又很强,DSP应用技术已成为电子信息、通信、自动化、电器类专门人才应具备的一项重要的专业技能。由于当前对DSP技术的迫切需求,从事DSP开发与应用的广大工程技术人员正在大幅度的增加,各高校也先后在高年级本科生和研究生教学中开设了“DSP应用技术”课程。为了适应DSP应用技术的发展,满足教学和产业市场的需要,让更多的本科生、研究生和工程技术人员能尽快入门并掌握DSP应用技术,我们编写了本书。

本书是作者根据“DSP应用技术”课程的特点,结合多年来讲授“DSP应用技术”课程的教学经验及科研体会,在作者原有教学讲稿和实验讲义的基础上编写而成的。本书以美国TI公司推出的性价比高、结构典型、应用广泛的TMS320C54x系列DSP为描述对象,从初学者的角度入手,用通俗易懂的语言引导读者由浅入深、循序渐进地学习DSP应用技术所涉及的软硬件知识。掌握了TMS320C54x DSP应用技术,就不难举一反三、触类旁通地掌握其他DSP处理器了,并可以不断扩大应用的深度和广度。

全书共分8章。第1章介绍DSP的特点、分类、应用、国内外发展现状及发展趋势。第2章从DSP系统设计和实现的最基本要求入手,介绍DSP系统的基本构成、设计开发过程及开发工具。第3章介绍TMS320C54x的内部硬件资源,包括总线结构、CPU、存储器、片内外设、中断和流水线等。第4章介绍TMS320C54x的寻址方式、指令表示方法和指令系统,并采用大量图示来描述指令执行前后数据的变化情况,给读者更直观的印象。第5章介绍TMS320C54x应用软件开发的整体流程及一些关键步骤,包括在开发过程中,对源代码的汇编、链接的控制方法;开发用的汇编语言、嵌入式C编程以及C与汇编混合编程的基础知识等。第6章介绍当前较常用的DSP集成开发环境新版本CCS v3.3的安装与设置、应用界面及使用方法。第7章以TMS320C54x DSP最小系统硬件设计为开端,以熟悉DSP应用技术的软硬件设计为目的,介绍典型DSP应用系统的设计和实现方法。第8章介绍TMS320C54x系列DSP片内外设中的定时器、主机接口HPI、串行口的使用及外部I/O扩展的方法。本书各章最后都配有小结,帮助读者加深对各知识点的理解,并配有配套习题,给读者以更多的启发

和思考。同时本书有配套电子课件和源程序供广大读者参考。

本书由叶青、黄明、宋鹏共同编写。其中第1章由宋鹏编写；第2、3、4、6章由叶青编写；第5、7、8章由黄明编写。全书由宋鹏审稿、叶青统稿。

作者在编写本书的过程中，得到了王振红老师的大力支持和帮助，并对本书内容提出了许多宝贵的意见，特此深表感谢。同时感谢北方工业大学信息工程学院及电子信息工程系的领导和老师的热情帮助和鼓励，在此表示衷心的感谢。感谢机械工业出版社的领导和编辑对本书提出的宝贵意见和大力支持。在本书的编写过程中，参考了大量的文献及相关资料，在此对本书所参考的文献的作者表示由衷的感谢。

由于作者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 数字信号处理概述	1
1.1.1 数字信号处理的概念及其发展	1
1.1.2 数字信号处理的特点	2
1.1.3 数字信号处理的实现方法	3
1.2 数字信号处理器	5
1.2.1 数字信号处理器的定义	5
1.2.2 DSP 的特点	5
1.2.3 DSP 的分类	8
1.2.4 DSP 的应用	9
1.2.5 DSP 的发展现状和趋势	10
1.3 本章小结	13
1.4 习题	14
第 2 章 DSP 系统设计概述	15
2.1 DSP 系统的基本构成	15
2.2 DSP 系统的设计开发过程	16
2.2.1 DSP 系统设计开发前的准备工作	16
2.2.2 DSP 系统的设计开发流程	18
2.3 DSP 的选择	22
2.3.1 主要的 DSP	23
2.3.2 选择 DSP 考虑的因素	28
2.4 DSP 系统的开发工具	31
2.4.1 软件开发工具	32
2.4.2 硬件开发工具	33
2.4.3 不同系列 DSP 的开发工具	35
2.5 典型的 DSP 应用系统	36
2.5.1 语音编解码应用系统	36
2.5.2 电机控制应用系统	36
2.5.3 移动通信应用系统	36
2.6 本章小结	38
2.7 习题	39
第 3 章 TMS320C54x 的硬件结构	40
3.1 TMS320C54x 的内部结构和主要特性	40

3.1.1	TMS320C54x 的内部结构	40
3.1.2	TMS320C54x 的主要特性	42
3.2	总线结构	45
3.3	中央处理单元	46
3.3.1	算术逻辑运算单元	47
3.3.2	累加器	49
3.3.3	桶形移位器	50
3.3.4	乘法器/加法器单元	52
3.3.5	比较、选择和存储单元	54
3.3.6	指数编码器	55
3.3.7	CPU 状态和控制寄存器	56
3.3.8	地址发生器	60
3.4	存储器	62
3.4.1	存储器空间分配	63
3.4.2	程序存储器	66
3.4.3	数据存储器	68
3.4.4	I/O 存储器	72
3.5	片内外设	72
3.5.1	通用 I/O 引脚	73
3.5.2	时钟发生器	73
3.5.3	软件可编程等待状态发生器	77
3.5.4	可编程块切换逻辑	78
3.5.5	定时器	79
3.5.6	主机接口	81
3.5.7	串行口	81
3.5.8	直接存储器访问控制器	82
3.6	复位操作及省电方式	83
3.6.1	复位操作	83
3.6.2	省电方式	85
3.7	中断	87
3.7.1	中断类型	87
3.7.2	中断寄存器	89
3.7.3	中断处理过程	90
3.7.4	重新映射中断向量地址	92
3.8	流水线	92
3.9	TMS320C54x 系列 DSP 的引脚及说明	96
3.10	本章小结	102
3.11	习题	103
第 4 章	TMS320C54x 指令系统	105

4.1 寻址方式	105
4.1.1 立即数寻址	106
4.1.2 绝对寻址	107
4.1.3 累加器寻址	109
4.1.4 直接寻址	110
4.1.5 间接寻址	112
4.1.6 存储器映射寄存器寻址	121
4.1.7 堆栈寻址	122
4.2 TMS320C54x 的指令表示方法	123
4.2.1 指令系统中的符号	124
4.2.2 指令系统中的记号和运算符	127
4.3 TMS320C54x 的指令系统	128
4.3.1 算术运算指令	128
4.3.2 逻辑运算指令	140
4.3.3 程序控制指令	147
4.3.4 加载和存储指令	156
4.4 本章小结	167
4.5 习题	167
第 5 章 TMS320C54x 的软件开发与设计	170
5.1 TMS320C54x 应用软件开发过程	170
5.1.1 TMS320C54x 软件开发流程	170
5.1.2 集成开发环境简介	172
5.2 TMS320C54x 汇编语言程序设计	172
5.2.1 汇编语言的语句格式	173
5.2.2 汇编语言中的伪指令	174
5.2.3 汇编语言中的常数及字符串	177
5.2.4 汇编语言中的表达式	179
5.3 汇编器的使用	180
5.4 链接器和命令文件	181
5.4.1 链接器及其调用	181
5.4.2 链接器命令文件的编写与使用	182
5.5 公共目标文件格式	182
5.5.1 COFF 文件中的段	183
5.5.2 汇编器对段的处理	183
5.5.3 链接器对段的处理	188
5.5.4 重新定位	192
5.5.5 程序装入	193
5.5.6 COFF 文件中的符号	193
5.6 TMS320C54x C 语言编程	193

5.6.1	相关基础知识	193
5.6.2	应用 C 语言编程的示例	197
5.6.3	C 程序目标文件的段存储结构	197
5.6.4	C 语言编程链接命令文件的设计	199
5.7	用 C 语言和汇编混合编程	199
5.7.1	C 模块和汇编模块的数据相互访问	199
5.7.2	C 模块和汇编模块的函数相互调用	203
5.7.3	在 C 程序中直接嵌入汇编语句	210
5.8	本章小结	210
5.9	习题	211
第 6 章	CCS 集成开发环境及其使用	213
6.1	CCS 集成开发环境简介	213
6.1.1	CCS 的组成	213
6.1.2	CCS 的主要功能	214
6.2	CCS 的安装和设置	215
6.2.1	CCS 的安装	215
6.2.2	CCS 的配置	216
6.2.3	CCS 的启动	217
6.3	CCS 的应用界面	219
6.3.1	CCS 应用界面	219
6.3.2	CCS 菜单	220
6.3.3	CCS 工具栏	227
6.4	CCS 集成开发环境的使用	231
6.4.1	创建一个新工程	232
6.4.2	创建源文件	232
6.4.3	在工程中添加源文件	233
6.4.4	查看源代码	234
6.4.5	编译与链接	236
6.4.6	可执行文件的加载与运行	238
6.4.7	修改 Build 选项并更正语法错误	239
6.4.8	使用断点调试程序	240
6.4.9	使用 Watch 窗口观察变量	241
6.4.10	为 I/O 文件添加探针断点	242
6.4.11	利用图形功能观察数据	244
6.4.12	动态显示程序和图形	245
6.4.13	增益调节	246
6.4.14	观察可视范围外变量	247
6.4.15	统计代码执行时间	247
6.5	本章小结	248

6.6 习题	249
第7章 TMS320C54x 应用实例	251
7.1 TMS320C54x DSP 最小系统硬件设计	251
7.1.1 系统设计要求	251
7.1.2 系统设计方案	251
7.1.3 系统设计与实现	252
7.1.4 硬件测试	259
7.2 I/O 控制 LED 实例	260
7.2.1 XF 输出控制原理	260
7.2.2 I/O 控制 LED 的实现	261
7.3 在线 FLASH 烧写实例	265
7.3.1 AM29LV800B FLASH 芯片的编程方法	265
7.3.2 在线 FLASH 读写的实现	267
7.3.3 在线 FLASH 烧写应用测试	269
7.4 DSP 高速采样实例	269
7.4.1 扩展高速 A/D 采样的应用背景	270
7.4.2 高速 A/D 采样的硬件设计	270
7.4.3 A/D 采样软件设计	273
7.5 快速傅里叶变换设计实现	276
7.5.1 FFT 原理	276
7.5.2 FFT 设计实现	277
7.5.3 观察信号时域波形及其频谱	284
7.6 本章小结	284
7.7 习题	285
第8章 TMS320C54x 的外设应用编程	286
8.1 定时器的原理与应用	286
8.1.1 定时器的工作原理	286
8.1.2 定时器的应用实例	288
8.2 主机接口应用原理与实例	289
8.2.1 主机接口应用原理	289
8.2.2 主机接口应用实例	293
8.3 串行通信口原理与应用	294
8.3.1 标准同步串行口	294
8.3.2 缓冲同步串行口	299
8.3.3 时分多路串行口	303
8.3.4 多通道缓冲串行口	304
8.3.5 McBSP 串行口应用实例	318
8.4 外部 I/O 扩展原理与应用	319
8.4.1 I/O 空间扩展外设原理	319

8.4.2 I/O 空间扩充存储器的设计	321
8.4.3 I/O 空间扩展按键设计	322
8.4.4 GPIO 扩展	323
8.5 本章小结	324
8.6 习题	324
参考文献	325

第1章 绪 论

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP), 也就是对信号的数字处理, 它是从 20 世纪 60 年代发展起来的一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科。在过去的很长一段时期内, 由于受计算机集成电路技术和数字化器件发展水平的限制, 数字信号处理理论的实时应用都很难实现。直到 20 世纪 80 年代初, 随着计算机、信息技术和大规模集成电路 (LSI) 以及微电子技术的飞速发展, 世界上第一片单片可编程数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 的诞生为数字信号处理理论的实际应用开辟了一条广阔的通道。数字信号处理器的诞生与发展, 不但使各种数字信号处理理论和方法得以在大量实际应用中实时实现, 同时推动了数字信号处理新的理论和应用领域的发展。在数字信号处理器诞生近 30 年的时间里, 数字信号处理技术已经形成一门独立的学科系统并且日趋完善和成熟, 它在理论和实现技术两个方面都获得了高速的发展。数字信号处理技术已经被广泛应用于通信、自动控制、航空航天、军事、仪器仪表、语音合成、图像处理、医疗工程和家用电器等各个领域。事实上, 它已经改变了人们的生活。在 21 世纪的今天, 社会进入了数字化的时代, 数字信号处理技术的飞速发展极大地提高了人们对数字世界的把握能力。可以毫不夸张地说, 数字信号处理技术是这个时代的核心技术之一, 而数字信号处理器正是实现这场数字化革命的核心。本章主要介绍数字信号处理的基本概念、特点和实现方法以及数字信号处理器的定义、特点、分类、应用领域、国内外发展现状及发展趋势。

1.1 数字信号处理概述

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备, 以数字的形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理, 以便提取有用的信息并进行有效的传输与应用。数字信号处理是围绕着数字信号处理的理论、实现和应用等几个方面发展起来的。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, 数字信号处理越来越广泛的应用需求又促进了数字信号处理理论的不不断提高。

数字信号处理以众多学科的理论为基础, 它所涉及的范围极其广泛。例如, 数学领域中的微积分、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、控制论、通信理论、故障诊断等也密切相关; 一些新兴的学科, 如人工智能、模式识别、神经网络等, 都是与数字信号处理密不可分的。因此可以说, 数字信号处理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。

1.1.1 数字信号处理的概念及其发展

DSP 既是 Digital Signal Processing (数字信号处理) 的缩写, 也是 Digital Signal Processor (数字信号处理器) 的缩写, 二者英文缩写相同, 但含义不同。前者指数字信号处

理的理论和方法，后者则指用于数字信号处理的可编程微处理器，简称数字信号处理器。数字信号处理器不仅具有可编程性，而且其数字运算的速度远远超过通用微处理器，是一种适合于数字信号处理的高性能微处理器。数字信号处理器已成为数字信号处理技术和实际应用之间的桥梁，并进一步促进了数字信号处理技术的发展，也极大地拓展了数字信号处理技术的应用领域。本书中 DSP 这一英文缩写主要用来指数字信号处理器。本书所说的 DSP 技术，则是指使用通用 DSP 或基于 DSP 核的专用器件来实现数字信号处理的方法和技术，从而完成有关的任务。

自从 20 世纪 70 年代微处理器诞生以来，一直沿着 3 个方向发展。它们分别是：

- 1) 通用 CPU：微型计算机中央处理器（如使用最多的奔腾等）。
- 2) 微控制器（MCU）：单片微型计算机（如 MCS-51、MCS-96、MSP430 系列等）。
- 3) DSP：可编程的数字信号处理器。

这 3 类微处理器虽然在技术上不断地相互借鉴和交融，但它们又有各自的特点和应用领域。

随着信息数字化进程的急速发展以及信号实时处理需求的日益提高，DSP 技术的地位突显出来。数字化的基础技术就是数字信号处理，而数字信号处理的任务，特别是实时处理（Real-Time Processing）的任务，主要是由通用的或专用的 DSP 来完成的。由于 DSP 实现技术在数字运算处理速度上具有不可比拟的优势，因此，即使在整个半导体产品发展趋缓的情况下，DSP 还在以较快的速度增长。

DSP 技术的发展是数字信号处理理论研究与应用需求相互作用的结果。

一方面是数字信号处理的理论和方法近年来得到了迅速发展。在数字信号处理的算法研究方面，主要研究如何以最小的运算量和存储器的使用量来完成指定的任务。目前各种数字信号处理快速算法，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、频谱分析、多媒体和流媒体等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。

另一方面是 DSP 性能的提高。为了满足应用市场的需求，随着微电子科学技术的进步，DSP 的性能也在迅速的提高。目前，DSP 的时钟频率已达到 1GHz 以上；处理速度达到每秒近百亿次 32bit 浮点运算；数据吞吐率达到每秒数 GB；所采用的工艺水平已经达到 45nm，采用当前最先进的 28nm 生产工艺的 DSP 预计在 2011 年的下半年也将会投产。DSP 在性能大幅度提高的同时，其体积、功耗和成本却在大幅度地下降，以满足低成本便携式电池供电应用系统的要求。

DSP 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 数字信号处理的特点

与模拟信号处理相比，数字信号处理具有如下一些明显的优点。

1. 精度高

模拟系统的精度由元器件决定，模拟元器件的精度很难达到 10^{-3} 以上。而数字系统的精度与 A/D 转换器的位数、计算机字长有关，只要 14 位字长就可达到 10^{-4} 的精度。当前的数字信号处理器和数字器件可以实现 32 位以上的字长，可达到 10^{-10} 以上的精度。因此在高精度系统中，有时只能采用数字系统。

2. 可靠性高

模拟电路中的电阻、电容、电感和运算放大器等元器件的特性，都会随着环境的改变而改变，也会随着时间的改变而改变。也就是说，当时间和环境的温度、湿度、振动等条件改变时，模拟系统的性能就会发生改变，甚至可能是大的改变。与此相比，数字器件是逻辑器件，数字信号是由 0 和 1 构成的二进制数表示的，一定范围内的干扰不会引起数字值的变化。因此数字系统的抗干扰性强、可靠性高，利于数据永久稳定地保存。

3. 灵活性强

在模拟系统中，当需要改变系统的功能时，必须重新进行系统的设计与调试，而且调试工作的难度大，非常费时费力。而对于数字信号处理系统，当需要改变系统的功能时，硬件上只需侧重更改 A/D 采样精度、速率，其余工作可由软件编程实现，设计灵活性非常大。例如，数字滤波器可以通过重新编程来完成低通、高通、带通和带阻等不同的滤波任务，不需要改变硬件；而模拟滤波器则必须改变其设计并重新调试，才能达到目的。

4. 易于大规模集成

数字部件由于高度的规范性，对电路参数要求不严，因此便于大规模集成和生产。随着微电子科学与技术的发展，集成电路已经不再是数字电路的专利。近年来，出现了大量的模拟集成电路和模拟/数字混合集成电路。但从选择的种类、集成度、功能与性能、性能价格比等方面而言，它们还是不能与超大规模数字集成电路相比。DSP 就是基于超大规模数字集成电路技术和计算机技术而发展起来的，其体积小、功能强、功耗小、使用灵活方便、性能价格比高，一经问世就得到了迅速的发展和广泛的应用。

5. 可获得高性能指标

数字系统可获得高性能指标。例如，在数字的谱分析中，已能做到 10^{-3}Hz 的谱分析。而模拟频谱仪在频率低端只能分析到 10Hz 以上的频率，且难以做到高分辨率（即足够窄的带宽）。又如，有限长冲激响应数字滤波器可实现准确的线性相位特性，而这在模拟系统中是很难达到的。

数字信号处理的最大特点是大量复杂的处理都可以用软件来实现，并且这样的软件既可以在计算机上运行，也可以在数字信号处理器上运行。因此，数字信号处理系统功能大幅度增强，体积缩小，可靠性、稳定性提高，调试和改变系统功能方便。这也是为什么移动电话等通信电子产品的功能越来越丰富、性能越来越高，而体积却越来越小的原因。

数字信号处理与模拟信号处理相比尽管具有以上诸多优点，但从根本上说，数字信号处理也有其局限性，模拟信号处理仍然不可缺少，不可能被数字信号处理完全代替。现实世界的信号绝大多数是模拟信号，如声音、图像、温度、压力、速度、加速度等，要将这些信号用数字信号处理系统处理，必须首先用模拟系统和模拟/数字混合系统加以处理。射频信号的处理也要由模拟系统来完成。模拟信号处理系统除了系统引入的某些延时外，从理论上说其处理是实时的，而数字信号处理本质上是通过计算来实现的，尽管以 DSP 为代表的数字信号处理系统的处理速度在很快地提高，但总会在很多的情况下不能达到实时的要求。因此模拟处理系统也是必不可少的。

1.1.3 数字信号处理的实现方法

数字信号处理的实现方法可以分为三类：软件实现法、硬件实现法和软硬件结合实现

法。具体实现方式一般有以下儿种:

1. 在通用的计算机上用软件实现

一般采用 C 语言、MATLAB 语言等通过编程实现信号处理, 这种方法的优点是实现方便, 缺点是速度慢, 不便于实时完成, 主要用于数字信号处理算法的模拟与仿真。

2. 在通用计算机系统中加上专用的加速处理器实现

这种方法专用性强, 实现比较复杂, 应用受到很大的限制, 也不便于系统的独立运行。

3. 用通用的单片机(如 MCS-51、MCS-96、MSP430 系列等)实现

这种方法只适用于实现简单的数字信号处理算法, 可用于一些不太复杂的 DSP 应用领域, 如数字控制等。

4. 用通用可编程 DSP 实现

与单片机相比, 通用 DSP 具有更加适合于数字信号处理的软件和硬件资源, 它是以高速计算为目标而设计的, 如采用改进的哈佛结构、内部有硬件乘法器、采用流水线操作、具有良好的并行性, 并具有专门适于数字信号处理的指令, 可用于复杂的数字信号处理算法。DSP 的优点是灵活性大、速度快、实时性好, 可用于复杂的数字信号处理算法。通用 DSP 是目前用得最多的数字信号处理应用器件, 在实时数字信号处理领域中处于主导地位。

5. 用专用 DSP 实现

一些特殊的场合所要求的信号处理速度极高, 用通用 DSP 很难实现, 则可采用专用 DSP 实现, 如专用于快速傅里叶变换(FFT)、数字滤波、卷积、相关等算法的 DSP。专用 DSP 将相应的信号处理算法在处理器内部用硬件实现, 无需进行编程。这种方法处理速度极高、专用性强, 仅适用于特定的算法, 其应用受到比较大的限制。

6. 用 FPGA 等可编程逻辑阵列器件来实现

和使用专用 DSP 一样, 这种方法也是利用硬件完成数字信号处理运算, 其特点是速度快, 但对于复杂算法实现设计难度高, 只适用于实现高速数据的预处理系统(例如雷达信号的预处理器等应用), 不适合复杂处理过程应用(例如通信协议处理、信号复杂的编解码处理等)。

7. 用专用集成电路 ASIC 实现

将特定的信号处理算法由一个集成电路来实现, 例如快速傅里叶变换专用集成电路芯片。这种方法的优点是处理速度快, 系统规模化成本低, 缺点是功能有限、系统灵活性差、开发成本高。目前, 采用专用集成电路的数字系统只适用于处理任务不很复杂而要求大批量生产的情况。

8. 片上系统 SoC

SoC (System on Chip) 是数字化应用产品市场和微电子技术迅速发展的产物, 是新一代基于 DSP 的产品的主要发展方向之一。直接面向特定应用对象的 SoC 是将系统集成在一个芯片上。通常, 为满足系统的性能要求和提高效率, 会将 DSP 和 MCU 的多处理器处理平台集成在一起。它支持语音、音频、图像和视频信号处理应用的各种性能。如 DSP+ARM 的双核 SoC 器件。以 TI 公司为例, 为了开辟手机芯片市场, TI 公司专门成立了平行于 DSP 组的无线芯片组, 下设 OMAP 分部, 专门为手机开发处理器, 如面向第 3 代无线通信终端的双核 SoC 器件 OMAP1510。其他 SoC 器件还有如面向数码相机的 DM270, 如面向专用音频设备的 DA610, 面向媒体处理的 DM642 等。

在上述几种实现方法中, 由于通用 DSP 软硬件资源丰富, 开发也比较方便, 才使数字

信号处理的应用打开了新的局面。在具体选择数字信号处理的实现方法时，应根据实际应用系统的特色和需要，选择合适的数字信号处理框架和技术。

本书主要讨论数字信号处理的软硬件实现方法，即利用通用 DSP，通过配置硬件和进行软件编程，实现所要求的数字信号处理任务。

1.2 数字信号处理器

1.2.1 数字信号处理器的定义

数字信号处理器是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器，其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法。可以毫不夸张地说，DSP 自 20 世纪 80 年代初诞生以来，对通信、计算机、控制等各个领域的技术发展起到了十分重要的推动作用。

根据数字信号处理的要求，DSP 一般具有如下优点：

- 1) 在一个指令周期内一般至少可完成一次乘法和一次加法。
- 2) 程序空间和数据空间分开，可以同时访问指令和数据。
- 3) 片内具有快速 RAM，通常可通过独立的数据总线在两块中同时访问。
- 4) 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持。
- 5) 快速的中断处理和硬件 I/O 支持。
- 6) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器。
- 7) 可以并行执行多个操作。
- 8) 支持流水线操作，使取指、译码和执行等操作可以并行执行。

1.2.2 DSP 的特点

DSP 是专门设计用来进行高速数字信号处理的微处理器。与通用的 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。尽管不同的厂商所采用的技术和措施不尽相同，但往往有许多共同的特点。以下介绍的就是它们的共同点。

1. 哈佛结构和改进的哈佛结构

DSP 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，比通用微处理器的冯·诺依曼结构有更快的指令执行速度。

(1) 冯·诺依曼结构 (Von Neumann Architecture)

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，这样的结构称为冯·诺依曼结构，如图 1-1a 所示。当进行高速运算时，取指令和取操作数是分时操作的，这样很容易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 (Harvard Architecture) 和改进的哈佛结构 (Modified Harvard Architecture)

DSP 将程序代码和数据的存储空间分开，各空间有自己独立的地址总线 and 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，这就是所谓的哈佛结构，如图 1-1b 所示。采用哈佛结构可同时取指令和取操作数，并行地进行指令和数据的处理，从而可以大

大地提高运算的速度，非常适合于实时的数字信号处理。为了进一步提高信号处理效率，人们在哈佛结构的基础上又加以改进，使得程序代码和数据存储空间之间也可以进行数据的传送，称为改进的哈佛结构，如图 1-1c 所示。例如，在做数字滤波处理时，将滤波器的参数存放在程序代码空间里，而将待处理的样本存放在数据空间里，这样，处理器就可以同时提取滤波器参数和待处理的样本，进行乘和累加运算。

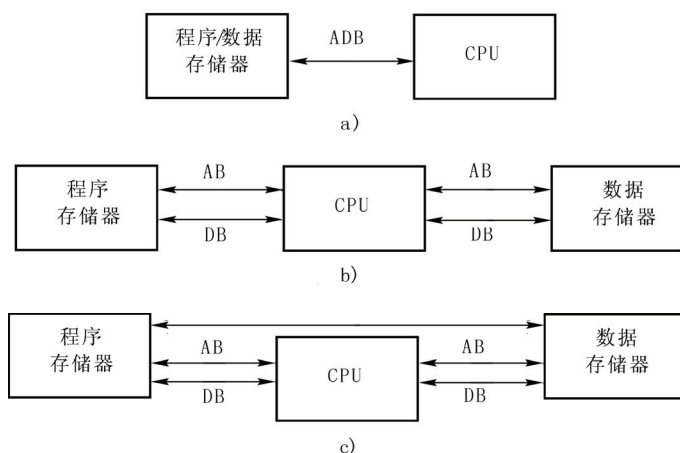


图 1-1 微处理器的结构

a) 冯·诺依曼结构 b) 哈佛结构 c) 改进的哈佛结构

2. 多总线结构

许多 DSP 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，大大提高了 DSP 的运行速度。例如 TMS320C54x DSP 系列内部有 P、C、D、E 4 条总线，每条总线中都有地址总线 and 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。

因此，对于 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. 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，尽管每一条指令的执行仍然要经过这些步骤，需要同样的指令周期数，但从总体统计平均上来看，其中的每一条指令的执行就都是在一个指令周期内完成的。DSP 所采用的将程序存储空间和数据存储空间的地址与数据总线分开的哈佛结构，为采用流水线技术提供了很大的方便。

利用这种流水线结构，加上执行重复操作，就能保证数字信号处理中用的最多的乘法累加运算