

新编电气与电子信息类本科规划教材

# DSP 原理及应用

邹彦 主编

唐冬 宁志刚 副主编

王毓银 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

本书以 TI 公司的 TMS320C54x 系列芯片为描述对象,以应用系统设计为主线,系统地介绍了 DSP 芯片的基本结构、开发和应用。全书共分为 9 章,首先详细介绍了 TMS320C54x 的体系结构、原理和指令系统;其次介绍了汇编语言开发工具、汇编程序设计和应用程序开发实例;然后从应用的角度介绍了 DSP 芯片的片内外设应用和 DSP 系统的硬件设计,并通过两个应用系统设计实例介绍了 DSP 芯片的开发过程;最后对集成开发环境 CCS 软件的使用方法进行了详尽的描述。

本书旨在使读者了解 TMS320C54x 的体系结构和基本原理,熟悉 DSP 芯片的开发工具和使用方法,掌握 DSP 系统的设计和应用系统的开发方法。

本书内容全面、通俗易懂、实用性强,可作为电子信息、通信工程、自动化等专业高年级本科生和研究生的教材或参考书,也可供从事 DSP 芯片开发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 原理及应用 / 邹彦主编. —北京:电子工业出版社, 2005. 1

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 7-121-00523-9

. D... . 邹... . 数字信号—信号处理—高等学校—教材 . TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 110319 号

责任编辑:王 颖

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:26.25 字数:672 千字

印 次:2005 年 1 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:32.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。  
联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

# 前 言

21 世纪是数字化的时代，随着越来越多的电子产品将数字信号处理（DSP）作为技术核心，DSP 已经成为推动数字化进程的动力。作为数字化最重要的技术之一，DSP 无论在其应用的深度还是广度，正在以前所未有的速度向前发展。

数字信号处理器，也称 DSP 芯片，是针对数字信号处理需要而设计的一种具有特殊结构的微处理器，它是现代电子技术、计算机技术和信号处理技术相结合的产物。随着信息处理技术的飞速发展，数字信号处理技术已逐渐发展成为一门主流技术，它在电子信息、通信、软件无线电、自动控制、仪器仪表、信息家电等高科技领域得到了越来越广泛的应用。

数字信号处理器由于运算速度快，具有可编程特性和接口灵活的特点，使得它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。采用 DSP 芯片来实现数字信号处理系统更是当前的发展趋势。

近年来，DSP 技术在我国也得到了迅速的发展，不论是在科学技术研究，还是在产品的开发等方面，其应用越来越广泛，并取得了丰硕的成果。为了紧跟 DSP 技术的发展，越来越多的高校开设了有关 DSP 技术的课程和实验。目前有关这方面的书籍大部分是关于 DSP 技术本身的介绍，理论知识过多，实现方法和实际应用较少，为了适应 DSP 技术的发展，满足教学和产业市场的需求，让更多的本科生、研究生和工程技术人员能尽快学习、掌握 DSP 应用技术，促进我国 DSP 技术水平的不断提高，我们编写了这本教材。

本教材依据作者近几年为本科生开设“DSP 原理及应用”课程的讲义和讲稿，参考国内外最新的教材和文献资料，结合近几年来学习、开发 DSP 系统的体会编写而成。其目的是使读者了解 TMS320C54x 的体系结构和基本原理，熟悉 DSP 芯片的开发工具和使用，掌握 DSP 系统的软硬件设计和应用系统的开发方法，具备独立从事 DSP 应用开发的能力。

本教材的主要特点是以 TI 公司 16 位定点处理器 TMS320C54x 系列芯片为描述对象，以应用系统设计为主线，系统地介绍了 DSP 芯片的基本结构、软件开发和硬件设计，并给出设计实例，使读者尽快掌握 DSP 系统的设计方法。

全书共分为 9 章，其内容如下。

第 1 章：绪论。

第 2 章：TMS320C54x 的硬件结构。详细介绍了 TMS320C54x 的体系结构与原理，内容包括总线结构、中央处理器、存储器结构、片内外设电路、系统控制和外部总线等。

第 3 章：TMS320C54x 的指令系统。首先详细地介绍了数据的七种寻址方式，然后介绍了指令的表示方式，最后重点介绍 DSP 的指令系统。

第 4 章：汇编语言程序的开发工具。主要介绍汇编语言程序的开发工具和开发过程。第一部分简要地介绍软件开发过程，包括汇编语言程序的编辑、汇编和链接过程等；第二部分介绍了公共目标文件格式（COFF）；第三部分介绍了程序语言开发工具的使用方法，包括汇编器和链接器等。

第 5 章：TMS320C54x 的汇编语言程序设计。主要介绍汇编语言程序设计的方法。首先概述了汇编源程序，包括汇编语言源程序的格式、常数、字符串、符号和表达式；然后详细介绍了汇编语言程序设计，包括堆栈使用方法、控制程序、算术运算程序、重复操作程序、

数据块传送程序、小数运算程序和浮点运算程序等。

第 6 章：应用程序设计。介绍了数字信号处理和通信中最常见、最具有代表性的应用，如：FIR 滤波器、IIR 滤波器、FFT 变换、正弦信号发生器等实现方法。

第 7 章：TMS320C54x 片内外设、接口及应用。从应用的角度介绍了主机接口、串行口、定时器和中断系统应用设计。

第 8 章：TMS320C54x 的硬件设计。主要介绍了基于 TMS320C54x DSP 系统的硬件设计方法。首先概述了系统的硬件设计过程；其次详细介绍了 DSP 系统的基本设计，包括电源电路、复位电路和时钟电路的设计；然后介绍了 DSP 电平转换电路的设计、DSP 存储器和 I/O 的扩展、DSP 与 A/D 和 D/A 转换器的接口设计；最后通过两个实例介绍 DSP 系统的硬件设计。

第 9 章：DSP 集成开发环境 CCS。主要介绍了 TI 公司推出的集成开发环境——CCS 的使用方法。

本书主要作为电子信息、通信工程和自动化等专业高年级本科生和研究生学习 DSP 课程的教材或参考书，包括实验在内大约 50~60 学时；也可供从事 DSP 芯片开发应用的工程技术人员参考。

本教材由邹彦、唐冬和宁志刚合作编写。其中，邹彦编写了第 1、2、6、8、9 章和附录，唐冬编写第 3、5 章和第 4 章的部分内容，宁志刚编写了第 4 章的部分内容和第 7 章。全书由邹彦统稿和定稿。另外董湘君、李圣参加了本教材第 3、5、8 章中部分例子的编写。

本教材由王毓银教授主审，王毓银教授认真审阅了全部文稿，并提出了中肯的意见，使我们受益匪浅。在此，向王毓银教授表示衷心的感谢。

本教材在电子工业出版社的大力支持下得以出版，编辑们为此付出了艰辛的劳动。我们对他们的敬业精神和出色的工作表示由衷的敬意和感谢。

由于 DSP 技术是一门发展迅速的新技术，加上作者水平有限，编写时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

第 1 章 绪论	( 1 )
1.1 数字信号处理概述	( 2 )
1.2 可编程 DSP 芯片	( 3 )
1.2.1 DSP 芯片的发展概况	( 3 )
1.2.2 DSP 芯片的特点	( 4 )
1.2.3 DSP 芯片的分类	( 7 )
1.2.4 DSP 芯片的应用	( 8 )
1.2.5 DSP 芯片的发展现状和趋势	( 8 )
1.3 DSP 系统	( 12 )
1.3.1 DSP 系统的构成	( 12 )
1.3.2 DSP 系统的特点	( 12 )
1.3.3 DSP 系统的设计过程	( 13 )
1.3.4 DSP 芯片的选择	( 14 )
1.4 DSP 产品简介	( 16 )
本章小结	( 17 )
思考题与习题	( 17 )
第 2 章 TMS320C54x 的硬件结构	( 18 )
2.1 'C54x 的基本结构	( 19 )
2.2 'C54x 的主要特性和外部引脚	( 21 )
2.2.1 'C54x 的主要特性	( 21 )
2.2.2 'C54x 的引脚功能	( 22 )
2.3 'C54x 的内部总线结构	( 27 )
2.4 'C54x 的中央处理器	( 28 )
2.4.1 算术逻辑运算单元 ( ALU )	( 28 )
2.4.2 累加器 A 和 B	( 30 )
2.4.3 桶形移位寄存器	( 31 )
2.4.4 乘法-累加单元 ( MAC )	( 32 )
2.4.5 比较、选择和存储单元 ( CSSU )	( 34 )
2.4.6 指数编码器 ( EXP )	( 34 )
2.4.7 CPU 状态和控制寄存器	( 35 )
2.5 'C54x 的存储空间结构	( 39 )
2.5.1 存储空间结构	( 39 )
2.5.2 程序存储空间	( 40 )
2.5.3 数据存储空间	( 42 )
2.5.4 I/O 空间	( 44 )

2.6	'C54x 的片内外设电路	(44)
2.7	'C54x 的系统控制	(47)
2.7.1	程序地址的产生	(47)
2.7.2	流水线操作	(48)
2.7.3	系统的复位	(59)
2.7.4	中断操作	(60)
2.7.5	省电和保持方式	(61)
2.8	'C54x 的外部总线	(63)
2.8.1	外部总线接口	(63)
2.8.2	外部总线等待状态控制	(64)
2.8.3	外部总线接口时序	(68)
	本章小结	(71)
	思考题与习题	(71)
<b>第 3 章</b>	<b>TMS320C54x 的指令系统</b>	<b>(73)</b>
3.1	寻址方式	(74)
3.1.1	立即寻址	(74)
3.1.2	绝对寻址	(75)
3.1.3	累加器寻址	(75)
3.1.4	直接寻址	(76)
3.1.5	间接寻址	(77)
3.1.6	存储器映像寄存器寻址	(81)
3.1.7	堆栈寻址	(81)
3.2	TMS320C54x 指令的表示方法	(81)
3.2.1	指令系统中的符号	(82)
3.2.2	指令系统中的运算符	(84)
3.3	TMS320C54x 的指令系统	(84)
3.3.1	数据传送指令	(84)
3.3.2	算术运算指令	(86)
3.3.3	逻辑运算指令	(90)
3.3.4	程序控制指令	(91)
3.3.5	并行操作指令	(92)
3.3.6	重复操作指令	(94)
	本章小结	(95)
	思考题与习题	(95)
<b>第 4 章</b>	<b>汇编语言程序的开发工具</b>	<b>(97)</b>
4.1	TMS320C54x 软件开发过程	(98)
4.2	汇编语言程序的编辑、汇编和链接过程	(100)
4.3	COFF 的一般概念	(101)
4.3.1	COFF 文件的基本单元	(102)
4.3.2	汇编器对段的处理	(103)

4.3.3	链接器对段的处理	(106)
4.3.4	链接器对程序的重新定位	(108)
4.3.5	程序装入	(109)
4.3.6	COFF 文件中的符号	(109)
4.4	源程序的汇编	(110)
4.4.1	汇编程序的运行	(110)
4.4.2	汇编时的列表文件	(111)
4.4.3	汇编伪指令	(113)
4.4.4	宏定义和宏调用	(122)
4.5	链接器的使用	(124)
4.5.1	链接器的运行	(125)
4.5.2	链接器命令文件的编写与使用	(126)
4.5.3	目标库	(127)
4.5.4	MEMORY 命令	(128)
4.5.5	SECTIONS 命令	(130)
4.5.6	多个文件的链接实例	(132)
	本章小结	(135)
	思考题和习题	(136)
第 5 章	TMS320C54x 的汇编语言程序设计	(137)
5.1	概述	(138)
5.1.1	汇编语言源程序格式	(138)
5.1.2	汇编语言中的常数与字符串	(140)
5.1.3	汇编源程序中的符号	(142)
5.1.4	汇编源程序中的表达式	(145)
5.2	堆栈的使用方法	(147)
5.3	控制程序	(148)
5.3.1	分支操作程序	(149)
5.3.2	循环操作程序	(152)
5.4	算术运算程序	(152)
5.4.1	加减法运算和乘法运算	(152)
5.4.2	除法运算	(153)
5.4.3	长字运算和并行运算	(154)
5.5	重复操作程序	(157)
5.5.1	单指令重复操作	(158)
5.5.2	块程序重复操作	(158)
5.5.3	循环嵌套	(159)
5.6	数据块传送程序	(160)
5.7	小数运算程序	(162)
5.8	浮点运算程序	(164)
	本章小结	(167)

思考题与习题	(167)
第6章 应用程序设计	(169)
6.1 FIR 滤波器的 DSP 实现	(170)
6.1.1 FIR 滤波器的基本结构	(170)
6.1.2 FIR 滤波器的设计方法	(171)
6.1.3 FIR 滤波器的 MATLAB 设计	(173)
6.1.4 FIR 滤波器的 DSP 实现	(176)
6.1.5 FIR 滤波器的设计实例	(184)
6.2 IIR 滤波器的 DSP 实现	(187)
6.2.1 IIR 滤波器的基本结构	(187)
6.2.2 IIR 滤波器的设计	(190)
6.2.3 IIR 滤波器的 MATLAB 设计	(192)
6.2.4 IIR 滤波器的 DSP 实现	(197)
6.3 快速傅里叶变换 (FFT) 的 DSP 实现	(203)
6.3.1 FFT 算法的简介	(203)
6.3.2 FFT 算法的 DSP 实现	(206)
6.4 正弦波信号发生器	(217)
6.4.1 产生正弦波的算法	(217)
6.4.2 正弦波的实现	(218)
本章小结	(223)
思考题与习题	(224)
第7章 TMS320C54x 片内外设、接口及应用	(225)
7.1 'C54x 的主机接口	(226)
7.2 'C54x 的定时器	(230)
7.2.1 定时器结构	(230)
7.2.2 'C54x 定时器/计数器的应用	(232)
7.3 'C54x 的串行口	(240)
7.3.1 标准同步串行口	(241)
7.3.2 缓冲同步串行口	(245)
7.3.3 TDM 时分复用串行口	(250)
7.3.4 McBSP 多通道带缓冲串行口	(251)
7.3.5 'C54x 串行口的应用	(265)
7.4 'C54x 的中断系统	(268)
7.4.1 中断寄存器	(268)
7.4.2 中断控制	(269)
7.4.3 中断系统的应用	(273)
本章小结	(277)
思考题与习题	(277)
第8章 TMS320C54x 的硬件设计	(278)
8.1 硬件设计概述	(279)

8.2	DSP 系统的基本设计	(280)
8.2.1	电源电路的设计	(281)
8.2.2	复位电路的设计	(283)
8.2.3	时钟电路的设计	(285)
8.3	DSP 的电平转换电路设计	(289)
8.4	DSP 存储器和 I/O 的扩展	(292)
8.4.1	程序存储器的扩展	(292)
8.4.2	数据存储器的扩展	(293)
8.4.3	I/O 的扩展应用	(295)
8.4.4	综合扩展应用	(300)
8.5	DSP 与 A/D 和 D/A 转换器的接口	(300)
8.5.1	'C54x 与 A/D 转换器的接口	(301)
8.5.2	'C54x 与 D/A 转换器的接口	(311)
8.6	DSP 系统的硬件设计实例	(316)
8.6.1	基于 G.729A 标准的 DSP 实时系统的设计	(316)
8.6.2	语音基带处理模块的设计	(321)
	本章小结	(330)
	思考题与习题	(331)
<b>第 9 章</b>	<b>DSP 集成开发环境 CCS</b>	<b>(334)</b>
9.1	CCS 的简介	(335)
9.1.1	CCS 的组成	(335)
9.1.2	CCS 的主要功能	(336)
9.2	CCS 的安装及设置	(337)
9.2.1	系统配置要求	(337)
9.2.2	安装 CCS 软件	(337)
9.2.3	CCS 系统配置	(337)
9.2.4	CCS 文件名介绍	(339)
9.3	CCS 的基本操作	(339)
9.3.1	CCS 的窗口和工具条	(340)
9.3.2	文件的编辑	(344)
9.3.3	反汇编窗口的使用	(347)
9.3.4	存储器窗口的使用	(349)
9.3.5	寄存器窗口的使用	(352)
9.3.6	观察窗口的使用	(353)
9.4	CCS 工程项目的创建	(356)
9.4.1	工程项目的管理	(356)
9.4.2	工程项目的建立、打开和关闭	(358)
9.4.3	工程项目的构建	(358)
9.5	CCS 工程项目的调试	(361)
9.5.1	程序的运行控制	(361)

9.5.2 断点 .....	( 365 )
9.5.3 探测点 .....	( 367 )
9.5.4 图形工具的使用 .....	( 369 )
9.5.5 数据输入与输出 .....	( 373 )
9.5.6 评价点 .....	( 375 )
9.6 CCS 开发软件使用举例 .....	( 378 )
9.6.1 CCS 开发流程 .....	( 378 )
9.6.2 CCS 使用举例 .....	( 378 )
本章小结 .....	( 383 )
思考题与习题 .....	( 384 )
附录 A TMS320C54x 芯片引脚图 .....	( 385 )
附录 B TMS320C54x 系列 DSP 芯片汇总表 .....	( 395 )
附录 C TMS320C54x 助记符汇编指令集 .....	( 397 )
参考文献 .....	( 407 )

# 第1章

# 绪论

## 内容提要

本章首先对数字信号处理进行概述,介绍 DSP 的基本知识;接着介绍可编程 DSP 芯片,对 DSP 芯片的发展、特点、分类、应用和发展趋势进行论述;然后介绍 DSP 系统,对 DSP 系统的构成、特点、设计过程及芯片的选择进行详细的介绍;最后对 DSP 产品做简要介绍。

## 知识要点

- 数字信号处理
- DSP 芯片的特点
- DSP 系统
- DSP 系统的设计过程

## 教学建议

本章对 DSP 做了概述,建议学时数为 2~3 学时。

## 1.1 数字信号处理概述

数字信号处理 (Digital Signal Processing, 简称 DSP) 是一门涉及多门学科并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, 随着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。在过去的二十多年时间里, DSP 技术已经在通信等领域得到了极为广泛的应用。

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。

步入 21 世纪以后, 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技术 (Digital Signal Processing), 也可以代表数字信号处理器 (Digital Signal Processor), 其实两者是不可分割的。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, 应用越来越广泛, 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工具。它与网络理论、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, 例如, 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。

数字信号处理包括以下两个方面的内容。

### 1. 算法的研究

算法的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的任务, 如 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, 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. 数字信号处理的实现

数字信号处理的实现是用硬件、软件或软硬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:

在通用计算机 (PC) 上用软件 (如 Fortran、C 语言) 实现, 但速度慢, 不适用于实时数字信号处理, 只用于算法的模拟;

在通用计算机系统加入专用的加速处理机实现, 以增强运算能力和提高运算速度。不适用于嵌入式应用, 专用性强, 应用受到限制;

用单片机实现, 用于不太复杂的数字信号处理。不适用于以乘法-累加运算为主的密集型 DSP 算法;

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，可完成复杂的数字信号处理的算法，在实时 DSP 领域中处于主导地位；

用专用的 DSP 芯片实现，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；

用基于通用 DSP 核的 ASIC 芯片实现。随着专用集成电路 ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 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。

## 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 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。

### 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 FFT (Fast Fourier Transform)，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，各大集成电路厂商都在为生产通用 DSP 芯片做了大量的工作。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 Intel2920，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 200~250ns，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：Intel2920 (Intel)、 $\mu$ PD7720 (NEC)、TMS32010 (TI)、DSP16 (AT&T)、S2811 (AMI)、ADSp-21 (AD) 等。值得一提的是 TI 公司的第一代 DSP 芯片——TMS32010，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，在语音合成和编码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，许多国际上著名集成电路厂家都相继推出自己的 DSP 产品。如：TI 公司的 TMS320C20、30、40、50 系列，Motorola 公司的

DSP5600、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 80~100ns。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 10ns 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，而且逐渐渗透到了人们日常消费领域。

目前，DSP 芯片的发展非常迅速。硬件结构方面主要是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 and 程序总线分离的哈佛结构或改进的哈佛结构，比传统处理器的冯·诺依曼结构有更快的指令执行速度。

##### (1) 冯·诺依曼 (Von Neumann) 结构

该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 1.2.1 给出了冯·诺依曼结构。

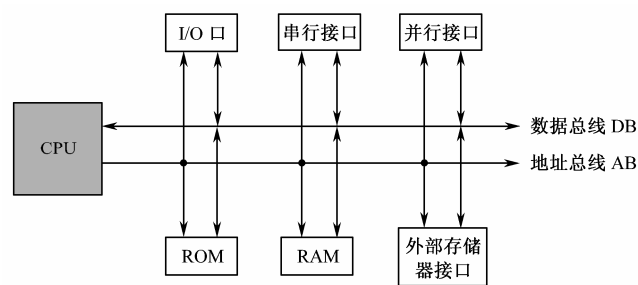


图 1.2.1 冯·诺依曼结构

### (2) 哈佛 (Harvard) 结构

该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 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,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 1.2.2 所示。

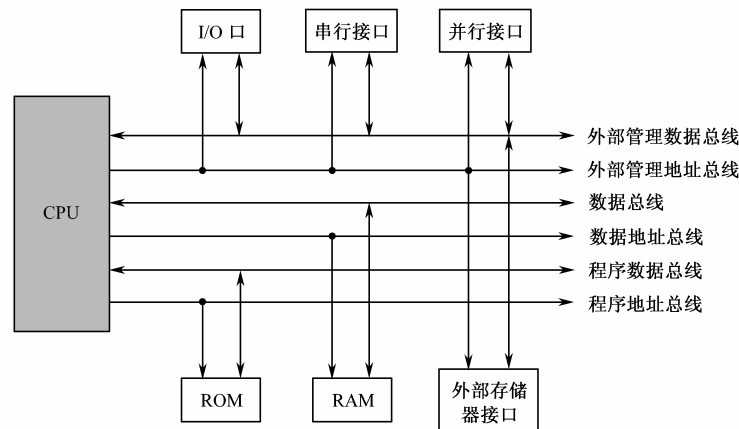


图 1.2.2 哈佛结构

### (3) 改进型的哈佛结构

改进型的哈佛结构是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。其特点如下:

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;

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。

### 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 and 数据总线,这样在一个机器周期内可以完成如下操作:

- 从程序存储器中取一条指令;
- 从数据存储器中读两个操作数;
- 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

每条指令可通过片内多功能单元完成取指、译码、取操作数和执行等多个步骤,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 1.2.3 所示。

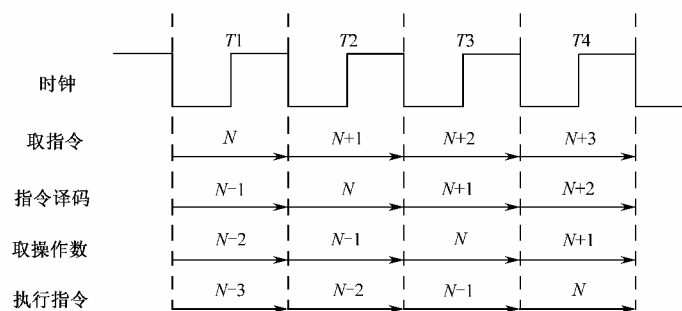


图 1.2.3 四级流水线操作过程

利用这种流水线结构,加上执行重复操作,就能保证在单指令周期内完成数字信号处理中用得最多的乘法-累加运算。如： $y = \sum_{i=1}^n a_i x_i$ 。

#### 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

为了满足数字信号处理的需要,在 DSP 的指令系统中,设计了一些完成特殊功能的指令。如:TMS320C54x 中的 FIRS 和 LMS 指令,专门用于完成系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

为了实现 FFT、卷积等运算,当前的 DSP 大多在指令系统中设置了“循环寻址”(Circular addressing)及“位码倒置”(bit-reversed)指令和其他特殊指令,使得在进行这些运算时,其寻址、排序及计算速度大大地提高。

#### 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/秒;TMS320C6203 的时钟为 300MHz,运算速度为 2400MIPS。

#### 7. 硬件配置强

新一代的 DSP 芯片具有较强的接口功能,除了具有串行口、定时器、主机接口(HPI)、DMA 控制器、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、PLL、片内存储器、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。

高速数据传输能力是 DSP 进行高速实时处理的关键之一。新型的 DSP 大多设置了单独的 DMA 总线及其控制器,在不影响或基本不影响 DSP 处理速度的情况下,进行并行的数据传送,传送速率可以达到数百兆字每秒(16 位)\*,但受片外存储器速度的限制。

#### 8. 支持多处理器结构

尽管当前的 DSP 芯片已达到较高的水平,但在一些实时性要求很高的场合,单片 DSP 的

\* 以后本书中未标注的“字”,均指 16 位。

处理能力还不能满足要求。如在图像压缩、雷达定位等应用中，若采用单处理器将无法胜任。因此，支持多处理器系统就成为提高 DSP 应用性能的重要途径之一。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。

由于支持多处理器结构，可以实现完成巨大运算量的多处理器系统，即将算法划分给多个处理器，借助高速通信接口来实现计算任务并行处理的多处理器阵列。

### 9. 省电管理和低功耗

DSP 功耗一般为 0.5~4W，若采用低功耗技术可使功耗降到 0.25W，可用电池供电，适用于便携式数字终端设备。

## 1.2.3 DSP 芯片的分类

为了适应数字信号处理各种各样的实际应用，DSP 厂商生产出多种类型和档次的 DSP 芯片。在众多的 DSP 芯片中，可以按照下列 3 种方式进行分类。

### 1. 按基础特性分类

这种分类是依据 DSP 芯片的工作时钟和指令类型进行的。可分为静态 DSP 芯片和一致性 DSP 芯片。

如果 DSP 芯片在某时钟频率范围内的任何频率上都能正常工作，除计算速度有变化外，没有性能的下降，这类 DSP 芯片一般称为静态 DSP 芯片。例如，TI 公司的 TMS320 系列芯片、日本 OKI 电气公司的 DSP 芯片都属于这一类芯片。

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及管脚结构相互兼容，则这类 DSP 芯片被称为一致性 DSP 芯片，例如，TI 公司的 TMS320C54x。

### 2. 按用途分类

按照 DSP 芯片的用途来分类，可以将 DSP 芯片分为通用型芯片和专用型芯片两大类。

通用型 DSP 芯片一般是指可以用指令编程的 DSP，适合于普通的 DSP 应用，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的算法，如 TI 公司的一系列 DSP 芯片。

专用型 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的，通常只针对某一种应用，相应的算法由内部硬件电路实现，适合于数字滤波、FFT、卷积和相关算法等特殊的运算。主要用于要求信号处理速度极快的特殊场合。这类芯片主要有：Motorola 公司的 DSP56200、ZORAN 公司的 ZR34881、Inmos 公司的 IMSA100 等。

### 3. 按数据格式分类

这是根据 DSP 芯片工作的数据格式来分类的，即按精度或动态范围将通用 DSP 划分为定点 DSP 和浮点 DSP。

数据以定点格式工作的 DSP 芯片称之为定点 DSP 芯片。如 TI 公司的 TMS320C1x/C2x、TMS320C2xx/C5x、TMS320C54x/C62xx 系列，AD 公司的 ADSP21xx 系列，AT&T 公司的 DSP16/16A，Motorola 公司的 MC56000 等。大多数定点 DSP 芯片都采用 16bit 定点运算，只