



全国高职高专规划教材·通信工程系列

DSP 技术及应用

D S P J I S H U J I Y I N G Y O N G

黎步银 张平川 主 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



全国高职高专规划教材·通信工程系列

DSP 技术及应用

黎步银	张平川	主 编
	薛宏甫	副主编
	黄兆祥	主 审



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书针对目前应用最为流行的 TI 公司 C54 系列 DSP, 通过典型实例的模块化的形式, 详细介绍了 C54 系列 DSP 常用模块与综合应用系统设计的方法与技巧。全书共分 3 篇 12 章, 第 1 篇为 DSP 应用基础知识, 主要介绍 DSP 基本硬件知识、指令系统及编译方法工具 CCS, 主要让读者先对 DSP 及其开发有一个基本了解。第 2 篇为 DSP 基本模块设计与实训, 主要介绍键盘与数码、液晶显示、ADC/DAC、信号发生器、基本信号 FFT、LMS 处理、通信等常用模块。第 3 篇为 DSP 综合应用系统设计案例, 重点介绍 DSP 短波通信系统、多路视频处理系统、数据采集系统、指纹采集系统应用项目, 详细介绍了如何以 DSP C54 等系列芯片为控制核心, 实现大型综合应用系统的整个设计思路和详细过程。通过此篇的学习, 对 DSP 的综合系统设计的能力将迅速得到提升。

本书适合作为电子信息工程技术、自动化技术、仪器仪表、检测技术、应用电子技术、计算机技术等相关专业的学生用书, 也可作为从事 DSP 应用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

DSP 技术及应用 / 黎步银, 张平川主编. —北京: 北京大学出版社, 2011. 10

(全国高职高专规划教材·通信工程系列)

ISBN 978-7-301-19266-5

I. ①D… II. ①黎… ②张… III. ①数字信号处理—高等职业教育—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 145766 号

书 名: DSP 技术及应用

著作责任者: 黎步银 张平川 主编

策划编辑: 桂 春

责任编辑: 桂 春

标准书号: ISBN 978-7-301-19266-5/TN·0072

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: zyjy@pup.cn

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 14.25 印张 365 千字

2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

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

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着电子信息技术的发展,数字信号处理器及其技术应用也得以迅速普及,其中 TI 公司的系列 DSP 芯片及其应用最为典型。该系列 DSP 技术的相关课程已经成为各大学电子信息、自动化、计算机等相关专业的必修课程,迄今为止,其他任何系列的 DSP 系列都无法与它相提并论。

DSP 的应用开发,是软件与硬件相结合的综合过程。要完成 DSP 应用系统的开发,用户不仅需要掌握编程技术,还需要针对实际应用选择合理的 DSP 芯片和外围器件,并以此为基础,设计硬件电路。所以,通过具体实例来学习 DSP 系统的开发是一条科学且快捷的途径。基于这个原则,本书作者根据多年积累的 DSP 系统开发经验,以典型应用模块为载体,详细介绍了 TI 公司 DSP 常用模块与综合应用系统设计的方法与技巧。

本书有以下几点特色。

(1) 围绕“经验”和“实践”:从基本知识开始,然后根据不同模块和应用领域,分篇安排应用实例。

(2) 突出“应用”和“实用”:安排具有代表性、技术先进性、应用广泛的典型实例,供读者借鉴。除介绍基本设计原理外,还穿插了一些基本经验、技巧和注意事项,有利于读者快速提高。

(3) 体现“即学即用、学以致用”的境界:在学习中,尽量做到反复理解和演练,以达到融会贯通、举一反三的功效。尽量和工作实践联系起来,以期更好的收获。

本书共分 3 篇,主要内容安排如下。

第 1 篇为 DSP 应用基础知识,由第 1、2、3、4 四章内容组成,主要介绍 DSP 系列的基本硬件知识、指令系统及编译方法工具 CCS。主要让读者先对 DSP 及其开发程序有一个基本了解。

第 2 篇为 DSP 基本模块设计与实训,由第 5、6、7、8 四章内容组成。涵盖了键盘与数码、液晶显示、ADC/DAC、信号发生器、基本信号 FFT、LMS 处理、通信模块等常用模块。而且这些模块实例基础实用、易学易懂,全部调试通过,读者即使是门外汉,也可以一学就会,轻松自如。

第 3 篇为 DSP 综合应用系统设计案例,由第 9、10、11、12 四章内容组成。重点通过 DSP 短波通信系统、多路视频处理系统、数据采集系统、指纹采集系统应用项目,详细介绍了如何以 DSP C54 等系列芯片为控制核心,实现大型综合应用系统的设计。通过此篇的学习,可以使 DSP 的综合系统设计能力迅速得到提升,高速加入优秀 DSP 工程师的行列。

本书第 1~6 章及附录 1、2 由漯河职业技术学院张平川老师编写,第 7~9 章由漯河电视台高级工程师薛宏甫编写,第 10~12 章由华中科技大学黎步银教授编写。全书由张平川统稿,华中科技大学文华学院黄兆祥主审。

由于时间仓促,书中难免存在不足和错误之处,欢迎广大读者批评指正。

目 录

第 1 篇 DSP 应用基础知识	1
第 1 章 绪论	2
1.1 DSP 芯片发展概况	2
1.2 DSP 分类及技术指标	4
1.3 DSP 的特点	5
1.4 TMS320 系列 DSP 的典型应用	7
1.5 本章小结	8
1.6 习题	8
第 2 章 TMS320C54x 硬件结构	9
2.1 TMS320C54x DSP 内部结构	9
2.2 TMS320C54x 的 CPU 结构	14
2.3 TMS320C54x 的总线结构	19
2.4 TMS320C54x 存储器和 I/O 空间	20
2.5 本章小结	29
2.6 习题	29
第 3 章 指令系统与寻址方式	30
3.1 寻址方式	30
3.2 TMS320C54x 的指令系统	38
3.3 TMS320C54x 汇编语言程序设计的基本方法	81
3.4 本章小结	90
3.5 习题	91
第 4 章 DSP 开发工具 CCS 安装及应用	92
4.1 CCS 简介	92
4.2 CCS 的安装与配置	100
4.3 CCS 应用	110
4.4 本章小结	118
4.5 习题	118
第 2 篇 DSP 基本模块设计与实训	119
第 5 章 键盘与显示模块	120
5.1 键盘模块	120
5.2 液晶显示屏 (LCD) 模块	129

5.3	数码管显示模块	136
第 6 章	正弦信号发生器与滤波器模块设计及应用	141
6.1	正弦信号发生器模块	141
6.2	滤波器模块	142
6.3	快速傅立叶变换 (FFT) 模块	146
6.4	自适应滤波器 (LMS) 实现	153
第 7 章	通信模块	155
7.1	以太网卡与 TCP/IP 协议模块	155
7.2	通用异步串行接口 (UART) 模块	162
第 8 章	高精度 ADC 与 DAC 模块	166
第 3 篇	DSP 综合应用系统设计案例	178
第 9 章	基于 DSP 的单兵背负式短波数字通信系统	179
9.1	软件无线电技术	179
9.2	系统硬件组成及工作原理	180
9.3	系统软件工作流程及关键技术	181
第 10 章	基于 TMS320 DM642 的多路视频处理系统设计	183
10.1	引言	183
10.2	系统整体方案	183
10.3	软件设计	186
10.4	系统应用	186
10.5	本章小结	187
第 11 章	数据采集系统设计	188
11.1	信号采集与处理系统总体设计方案	188
11.2	信号采集系统程序总体设计	191
11.3	系统监控及接口处理程序设计与实现	192
11.4	AD 转换模块的实现	194
11.5	系统调试	194
第 12 章	指纹识别系统	197
12.1	系统整体设计	197
12.2	指纹预处理算法	198
12.3	FPS200 与 5402 的 SPI 连接	200
12.4	系统效果	200
附录 1	TMS320C5410 DSP 芯片简介	201
附录 2	TMS320C54x 指令速查表	207
参考文献	219

第 1 篇

DSP 应用基础知识

第 1 章 绪 论

DSP 是 Digital Signal Processing (数字信号处理) 或 Digital Signal Processor (数字信号处理器) 的缩写。数字信号处理, 或者说对信号的数字处理, 是利用计算机或专用的数字设备对数字信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩和识别等加工处理, 以获得符合人们需要的信号形式并进行有效的传输与应用。DSP 是 20 世纪 60 年代发展起来的, 并广泛应用于许多领域的新兴学科。数字信号处理系统是以数字信号处理为基础的。

DSP 系统的输入信号可以有各种各样的形式, 例如: 声音、图像、温度、压力等。假设我们输入的是语音信号, DSP 系统首先对语音信号进行带限滤波和抽样, 根据 Nyquist 定理, 采样频率至少必须是输入带限信号最高频率的两倍, 以防止信号频谱混叠, 保证语音信息不丢失。

DSP、单片机以及嵌入式微处理器都是嵌入式家族的一员。与单片机相比, DSP 是功能更强大的单片机, 是现代电子技术、大规模集成电路、计算机技术和数字信号处理技术相结合的产物, 特别适合于数字信号处理运算, 主要应用于实时快速实现各种数字信号处理算法 (如卷积运算、FFT、DFT、矩阵乘法等)。数字信号处理运算的特点是乘/加及反复相乘求和 (乘积累加)。为了能快速地进行数字信号处理的运算, DSP 设置了硬件乘法/累加器, 并能在单个指令周期内完成乘/加运算。为满足 FFT、卷积等数字信号处理的特殊要求, 目前 DSP 大多在指令系统中设置了“循环寻址”及“位倒序”寻址指令和其他特殊指令, 使得寻址、排序的速度大大提高。嵌入式微处理器与 DSP 的一个很大区别, 就是嵌入式处理器的地址线要比 DSP 的数目多, 所能扩展的存储器空间要比 DSP 的存储器空间大得多, 所以可配置实时多任务操作系统 (RTOS)。RTOS 是针对不同处理器优化设计的高效率、可靠性和可信性很高的实时多任务内核, 它将 CPU 时间、中断、I/O、定时器等资源都包装起来, 留给用户一个标准的应用程序接口 (API), 并根据各个任务的优先级, 合理地不同任务之间分配 CPU 时间。DSP 是一种具有特殊结构的微处理器, 为了达到快速进行数字信号处理的目的, DSP 的总线结构大都采用了程序和数据分开形式, 并具有流水线操作的功能, 单周期完成乘法的硬件乘法器以及一套适合数字信号处理运算的指令集。

1.1 DSP 芯片发展概况

目前, DSP 的主要生产厂家有美国德州仪器公司 (TI, Texas Instruments) 的 TI 公司、AD 公司、Lucent 公司、Motorola 公司, 其中 TI 公司的 DSP 产品占据市场主导地位。

TI 作为全球 DSP 的领导者, TI 公司的产品包括低端的低成本低速度 DSP 到高端大运算量的 DSP 产品。当前主推三个 DSP 平台: TMS320C2000、TMS320C5000 和

TMS320C6000。其中包括多个子系列，数十种 DSP 器件，为用户提供广泛的选择，以满足各种不同应用的需求。TMS320C2000 系列 DSP 主要用于代替 MCU，应用于各种工业控制领域，尤其是电机控制领域。TMS320C5000 系列 DSP 是为实现低功耗、高性能而专门设计的 16 位定点 DSP 芯片，它主要应用于通信和消费类电子产品，如手机、数码相机、无线通信基础设备、VoIP 网关、IP 电话、MP3 等。TMS320C6000 系列的 DSP 主要应用于高速宽带和图像处理等高端应用，如宽带通信、3G 基站和医疗图像处理等。

TI 公司成功地推出了 DSP 芯片的一系列产品。TMS320 是包括定点、浮点和多处理器在内的数字信号处理器（DSP）系列，其结构非常适合于做实时信号处理，其发展示意图如图 1-1 所示。本书后续内容将以 TMS320C5000 系列为主进行介绍。

TI 的三大主力 DSP 产品：

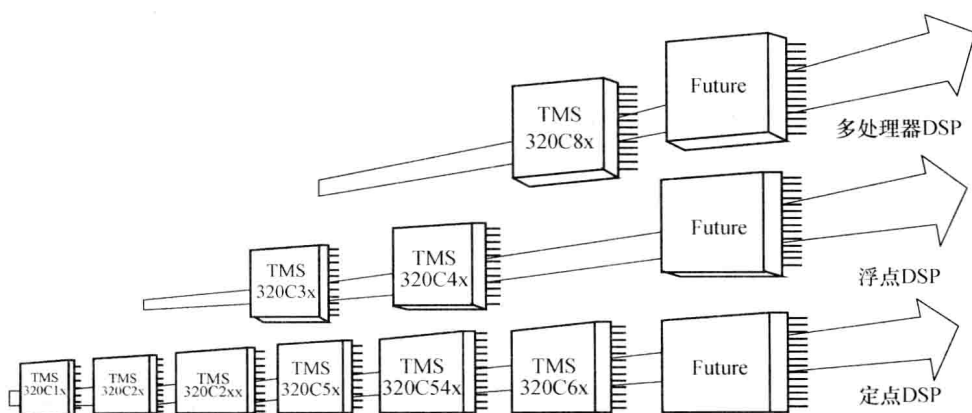


图 1-1 TMS320 系列 DSP 发展示意图

C5000 系列：C54X, C54XX, CSSX（低功耗）；

C2000 系列：C20X, F20X, F24X, F24XX（控制器）；

C6000 系列：C62XX, C67XX, C64X（高性能）。

TI 其他 DSP 产品：

C3X 系列（浮点）：C30, C31, C32, VC33；

C2X 和 C5X 系列：C20, C25, C50 等；

C4X, C8X 系列。

DSP 的发展趋势：

- 更高的运行速度和信号处理速度；
- 多 DSP 协同工作；
- 更方便的开发环境；
- 大量专用 DSP 的出现（DSP 核）；
- 更低的价格，或更高的性能/价格比；
- 更广泛的应用（每年以 30% 增长）；
- 更低的功耗（C55X 0.05mw/MIPS）。

1.2 DSP 分类及技术指标

1.2.1 DSP 分类

DSP 一般按以下两种方式分类。

1. 按数据格式分

按数据格式分可分为定点芯片和浮点芯片两类。定点 DSP 芯片按照定点的数据格式进行工作，其数据长度通常为 16 位、24 位、32 位。定点 DSP 的特点：体积小、成本低、功耗小、对存储器的要求不高；但数值表示范围较窄，必须使用定点定标的方法，并要防止结果的溢出。

浮点 DSP 芯片按照浮点的数据格式进行工作，其数据长度通常为 32 位、40 位。由于浮点数的数据表示动态范围宽，运算中不必顾及小数点的位置，因此开发较容易。但它的硬件结构相对复杂、功耗较大，且比定点 DSP 芯片的价格高。通常，浮点 DSP 芯片使用在对数据动态范围和精度要求较高的系统中。不同的 DSP 的浮点格式不一定完全一样，如 IEEE 的标准浮点格式（如摩托罗拉的 MC96002）、自定义的浮点格式（如 TI 公司的 TMS320C3X）。

2. 按照用途分类

DSP 按照用途分类可分为：通用型和专用型。通用型：适用于普通的数字信号处理应用。专用型：适用于不同的数字信号处理运算或特定的应用场合。例如，数字卷积、数字滤波、FFT 等。

1.2.2 DSP 技术指标

DSP 的主要技术指标比较多，不同厂商的产品指标从不同角度描述了 DSP 的处理能力或技术性能，主要指标包括以下几个方面。

1. 时钟频率

时钟频率要考虑两个方面：一是 DSP 内部工作主频，真正的工作频率。一般是内部主频越高，DSP 的数据处理速度越快。另一个是 DSP 的外部时钟频率，这是 DSP 片外所加的实际时钟频率，这个时钟频率一般要经过 DSP 内部的锁相环倍频至 DSP 的内部工作主频。外部时钟频率低有利于减少外部电路间的干扰，使 PCB 布线容易。所以一般是外部时钟频率低（减少干扰），内部时钟频率高（提高处理速度）。

2. 机器周期

机器周期是执行一条指令所需要的时间。DSP 的大部分指令是单周期指令，即执行时间为一个机器周期。它也从一个方面反映了 DSP 的数据处理速度。

3. MIPS

目前,最通常使用的是 MIPS (Millions of Instruction Per Second),即每秒执行的百万条指令。它综合了时钟频率、DSP 并行度、机器周期等描述 DSP 处理速度的指标。可从 MIPS 来计算机器周期:

例如, TMS320LF2407A 的 MIPS 为 40MIPS,其机器周期为 25 ns。

4. 指令执行速度 MOPS

MOPS (Millions of Operation Per Second) 是指每秒执行的百万条操作。但是操作次数并不等于指令条数。一般完成一条指令需要若干次操作。但是不同的 DSP 对于操作的定义不同,不同指令所需要完成的操作次数也不相同。所以 MOPS 指标只是相对于同一种 DSP 系列使用才有意义。

5. 浮点运算速度 MFLOPS

MFLOPS (Millions of Float Operation Per Second) 是指每秒执行的百万次浮点运算,是衡量浮点 DSP 浮点运算能力的又一个指标。是指浮点 DSP 内部浮点处理单元每秒钟执行浮点运算的次数。

6. MACSMACS

MACSMACS 是指 DSP 在 1 秒内完成乘—累加运算的次数。因为乘/累加运算是数字信号处理算法中的基本运算。但是 DSP 的应用涉及许多乘/累加运算以外的运算,MACS 并不是全面评价 DSP 性能的指标。

上述的有关衡量 DSP 运算速度的指标,均以程序、数据都在 DSP 内部, DSP 全速运行的结果。实际上,当程序、数据有一部分在 DSP 片外时,尤其是存储器的速度跟不上 DSP 速度要求时, DSP 处理速度就不得不降下来。

1.3 DSP 的特点

1.3.1 DSP 的性能特点

1. 数字信号处理的主要优点

(1) 灵活性

当需要改变一个模拟系统的应用时,你可能不得不修改硬件设计,或调整硬件参数。而在数字处理系统,你可以通过改变数字信号处理软件来修改设置,以适应不同的需要。

(2) 精度

在模拟处理系统,系统精度受元器件影响,同一批次产品可能有不同的性能。而在数字处理系统中,精度仅与 A/D 的位数和计算机字长、算法有关,它们是在设计系统时就已经决定了的。

(3) 可靠性和可重复性

模拟系统易受环境温度、湿度、噪声、电磁场等的干扰和影响，而数字系统的可靠性和可重复性好。

(4) 大规模集成

模拟系统尽管已有一些模拟集成电路，但品种较少、集成度不高、价格较高。而数字系统中 DSP 体积小、功能强、功耗小、一致性好、使用方便、性价比高。

(5) 虚拟特性与升级

一套模拟系统只能对应一种功能，升级意味着新型号的系统的研制。而数字系统中一套系统对应多种功能，只要装上不同的软件即可。

(6) 特殊应用

有些应用只有数字系统才能实现。例如：信息无失真压缩 (LOSSLESS COMPRESSION)，V 型滤波器 (NOTCH FILTER)，线性相位滤波器 (LINEAR PHASE FILTER) 等。

2. 数字信号处理的局限性

(1) 实时性

模拟系统中除开电路引入的延时外，处理是实时的。而数字系统是由计算机的处理速度决定。

(2) 高频信号的处理

模拟系统可以处理包括微波毫米波乃至光波信号，而数字系统按照奈奎斯特准则的要求，受 S/H, A/D 和处理速度的限制。

(3) 模拟与数字信号的转换

现实世界的信号绝大多数是模拟的 (温度、速度、压力等)，转换成的电信号也是模拟的 (电流、电压等)。要实现数字处理，就必须进行转换。所以一般在一个 DSP 系统中都有 A/D 或 D/A 转换电路，这也限制了 DSP 的应用。

1.3.2 DSP 的结构特点

1. 哈佛结构

哈佛结构是指程序与数据存储空间分开，各有独立的地址总线 and 数据总线，取指和读数可以同时进行，从而提高速度。

2. 用指令流水线

三级流水线的工作过程如下所示。

取指	译码	寻址	取数	运算	存储		
	取指	译码	寻址	取数	运算	存储	
		取指	译码	寻址	取数	运算	存储

3. 硬件乘法/累加器

在卷积、数字滤波、FFT、相关、矩阵运算等算法中，都有 $\sum SA(k)B(n-k)$ 一类的运算，其中包含大量重复乘法和累加。在通用计算机的乘法用软件实现，需要用若干个机器周期。而 DSP 有专用的硬件乘法器，使用 MAC 指令（取数、乘法、累加），可以在单周期内完成。

4. 多种寻址方式

循环寻址（circular addressing），位倒序（bit-reversed）等特殊指令，使 FFT、卷积等运算中的寻址、排序及计算速度大大提高。1024 点 FFT 的时间已小于 1 ms。

5. 独立的 DMA 总线和控制器

有一组或多组独立的 DMA 总线，可以与 CPU 的程序、数据总线并行工作。在不影响 CPU 工作的条件下，DMA 速度已达 800 Mb/s 以上。

6. 多处理器接口

现在的 DSP 中大多都提供了串口和并口，使多个处理器可以很方便地并行或串行工作。如 TMS320C40 有 6 个 8-bit 的接口，VC5420 提供 MsBSP 和 16 位的并口，ADI 的 AD-SP21160 也有类似的结构。

7. 仿真及测试

所有 DSP 芯片都包含 JTAG（Joint Test Action Group）标准测试接口（IEEE 1149 标准接口），便于对 DSP 芯片上的在线仿真和多 DSP 条件下的调试。

1.4 TMS320 系列 DSP 的典型应用

自从 20 世纪 70 年代末第一个 DSP 芯片诞生以来，DSP 芯片取得了飞速的发展。在随后的 20 年里，DSP 芯片已经在信号处理、音/视频、通信、消费、军事等诸多领域得到了广泛的应用。随着 DSP 芯片性价比的不断提高，单位运算量功耗的显著降低，DSP 芯片的应用领域将会不断扩大。DSP 第一类应用：采用专门的复杂算法来处理大量数据。以声纳和地震探矿为例，算法非常复杂，产品的设计工作量很大，也更复杂。因此使用性能最高的、最容易使用的、能支持多处理器配置的方案。DSP 第二类应用：大量便宜的嵌入式系统，如手机、硬盘和光盘驱动器（用于伺服控制）和便携式播放器。在这些应用中，成本和集成是极为重要的。对便携式的以电池供电的产品，功耗也极为重要。表 1-1 列出了 TMS320 系列 DSP 的典型应用。

表 1-1 TMS320 系列 DSP 的典型应用

音 频	视频和影像	宽带解决方案	无线通信	数位控制
音/视频接收机	数码相机	802.11 无线局域网	蓝牙解决方案	数字电源
数字广播	多功能打印机	线缆解决方案	2.5G 和 3G 的 OMAP	开关电源
数字音频	网上媒体	DSL 解决方案	射频产品	不间断电源
网络音频	视频和影像产品	企业 IP 电话	无线芯片组	
	有线数字媒体	分组网络语音 (VoIP)	无线基础设施	
	● IP 视频电话	VoIP 网关解决方案		
	● 监控系统			
	● 视频统计型多工机			
汽 车	马达控制	电话设备	光 网	安 全
车身系统	● HVAC	用户端电话设备	光层应用	生物识别
底盘系统	● 工业控制/马达驱动	嵌入式 Modem	实体层应用	
汽车网络信息系统	● 电源工具			
传动系统	● 打印机/影印机			
安全系统	● 大型家电			
防盗系统				

1.5 本章小结

本章主要介绍了 DSP 的基本概念、结构特点及性能特点、分类和技术指标、芯片的发展概况和发展趋势以及 TMS320 系列的典型应用。应主要掌握 DSP 的基本概念、性能指标、和机构特点。

1.6 习 题

1. 什么是 DSP?
2. DSP 的特点是什么?
3. DSP 的哪些结构保证它能高速实时处理信号?

第 2 章 TMS320C54x 硬件结构

2.1 TMS320C54x DSP 内部结构

2.1.1 TMS320C54x DSP 的基本结构

C54x DSP 是 TMS320C5000TM DSP 平台中比较典型的芯片。图 2-1 为 TMS320C54x 的组成框图，图 2-2 为 TMS320C54x 的内部功能框图。

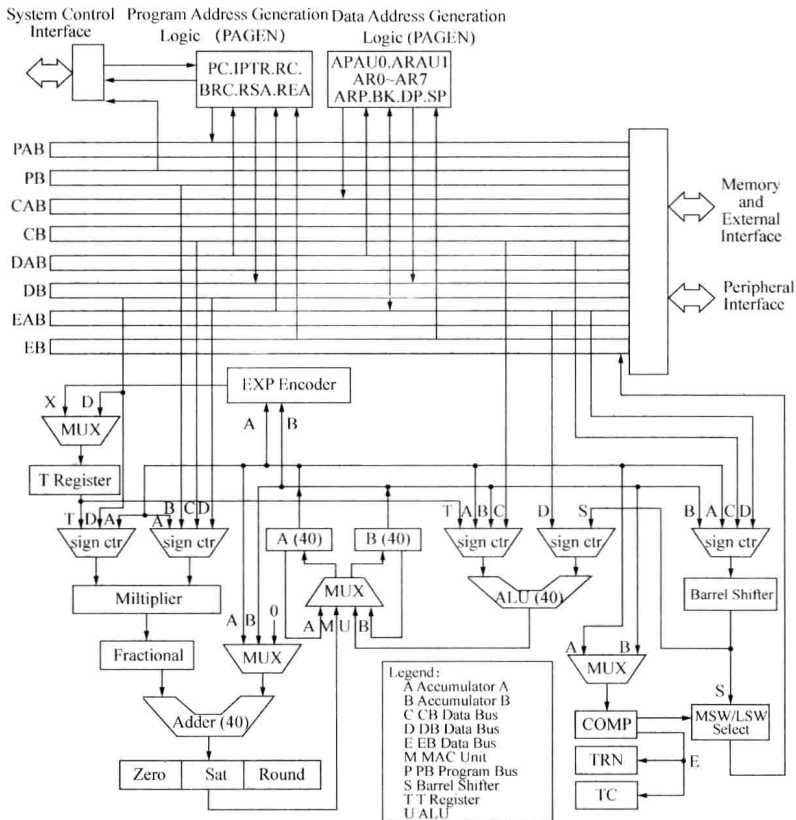


图 2-1 TMS320C54x 的组成框图

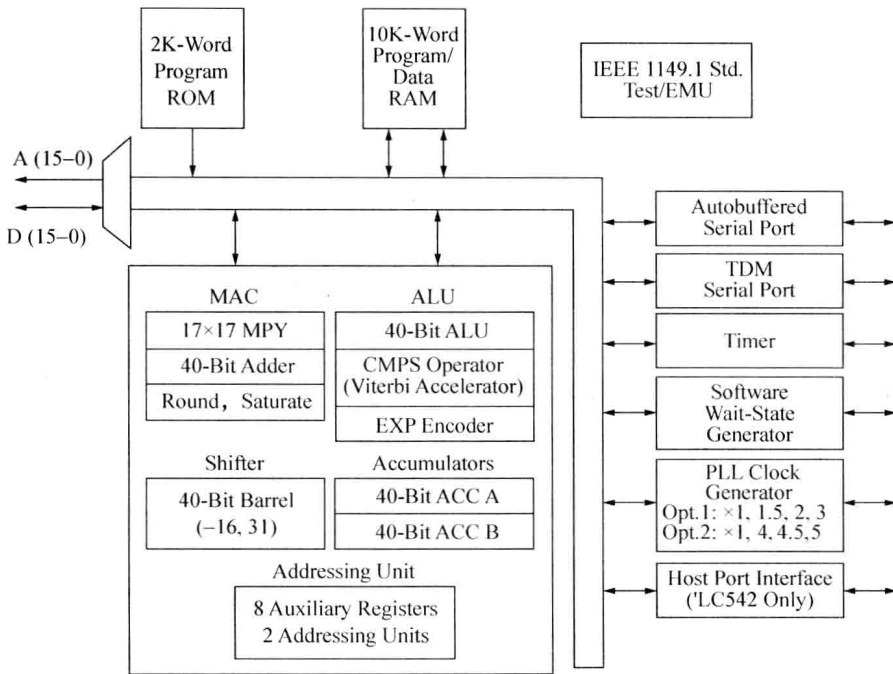


图 2-2 TMS320C54x 的功能框图

TMS320C54x 是 16 位定点 DSP。TMS320C54x 的中央处理单元（CPU）具有改进的哈佛结构、低功耗设计和高度并行性等特点。另外，高度专业化的指令系统可以全面地发挥系统性能。使用 TMS320C54x 的专用硬件逻辑的 CPU，再按照用户需要所选择的片内存储器和片内外设，可组成用户的专用集成电路 ASIC（Application Specific Integrated Circuit）以更加灵活的应用到电子产品中。

C54x DSP 的基本结构围绕 8 条总线（4 条程序/数据总线和 4 条地址总线），有中央处理器（CPU）、存储器及片内外设与专用硬件电路三类。CPU 包括乘累加单元（MAC）、算术逻辑单元（ALU）、累加器（ACC）、移位寄存器和寻址单元等。存储器包括片内 ROM、单访问 RAM（SARAM）和双访问 RAM（DARAM；Dual access RAM）。片内外设与专用硬件电路包括片内各种类型的同步串口、主机接口、定时器、时钟发生器、锁相环及各种控制电路。

2.1.2 TMS320C54x DSP 的主要特点

TMS320C54x 系列定点 DSP 芯片具有同样的 CPU 内核和总线结构，但每一种器件片内存储器的配置和片内外设不尽相同。表 2-1 列举了 TMS320C54x 系列 DSP 基本配置。

表 2-1 TMS320C54x 系列基本配置汇总表

Features	C5401	C5402	C5404	C5407	C5409	C5410	C5416	C5420	C5441	C5470
MIPS	50	30/80/ 100/160	120	120	30~160	100~160	160	200	532	100
RAM/K	8	16	16	40	32	64	128	200	640	72
ROM/K	4	4/16	64	128	16	16	16	—	—	—
McBSP	2	2	3	3	3	3	3	6	12	2
HPI	8 bit	8/16 bit	8/16 bit	8/16 bit	8/16 bit	8/16 bit	8/16 bit	16 bit	8/16 bit	—
DMA	6 ch	6 ch	6 ch	6 ch	6 ch	6 ch	6 ch	12 ch	24 ch	6 ch
USB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
UART	—	—	X	X	—	—	—	—	—	2
I ² C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Timer	2	2	2	2	1	1	1	2	4	3
Core Voltage/V	1.8	1.8/1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	1.5	1.8
Power/mW	40 (50 MHz)	60 (100 MHz)	50 (100 MHz)	50 (100 MHz)	72 (100 MHz)	80 (120 MHz)	90 (160 MHz)	266 (100 MHz)	550 (133 MHz)	200 (100 MHz)
Package	144LQFP 144BGA	144LQFP 144BGA	144LQFP 144BGA	144LQFP 144BGA	144LQFP 144BGA	144LQFP 144BGA	144LQFP 144BGA	144LQFP 144BGA	176LQFP 169BGA	257BGA
Samples	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Production	NOW	NOW	NOW	NOW	NOW	NOW	NOW	NOW	NOW	NOW
Price (10KU)	\$ 3.87	\$ 5~\$9.9	\$ 10.02	\$ 15.56	\$ 7.50~14	\$ 16~\$19	\$ 24	\$ 50	\$ 100	\$ 17.57

TMS320C54x 的主要特征如下：

(1) 高度专业化的指令集能够快速地实现算法并用于高级语言编程优化。其包括：

- ① 单指令重复和块指令重复。
- ② 用于更好地管理程序存储器和数据存储器的块移动指令。
- ③ 32 位长整数操作指令。
- ④ 指令同时读取 2 或 3 个操作数。
- ⑤ 并行存储和加载的算术指令。
- ⑥ 条件存储指令。
- ⑦ 快速中断返回。

(2) 片内外设和专用电路采用模块化的结构设计，可以快速地推出新的系列产品。其包括：

- ① 可编程分区转换逻辑电路。
- ② 可编程定时器。
- ③ 可使用内部振荡源或外部振荡源的锁相环 (PLL) 时钟发生器。当使用外部振荡源时，内部允许使用多个值对芯片倍频。
- ④ 可编程软件等待状态发生器。
- ⑤ 串行口：全双工串口（支持 8 bit 或 16 bit 数据传送）、时分多路 (TDM) 串口和缓冲 (BSP) 串口。
- ⑥ 8 bit 并行主机接口 (HPI)。
- ⑦ 外部总线接口可以禁止或允许外部数据总线、地址总线和控制线的输出。